

Bio-CO₂ voor de glastuinbouw



Date

21 juni 2023

Author(s)

Rian Visser (TNO), Christiaan van der Meijden (TBM-R&D),
Chris van Dijk (WUR)

Samenvatting succesvolle toepassing Bio-CO₂

In kassen wordt CO₂ gedoseerd als een gasvormige “meststof”. In Nederland wordt deze CO₂ meestal gegenereerd door gasmotoren op aardgas bij de kas waar ook warmte wordt geproduceerd. De rookgassen van deze gasmotoren wordt katalytisch gereinigd en dan direct ingebracht in de kas. Indien er lokaal geen CO₂ productie is, bijvoorbeeld omdat de warmte op een andere manier wordt opgewekt of van elders binnengebracht dan wordt de CO₂ meestal aangevoerd per tankauto. Deze CO₂ is ook gemaakt van fossiele brandstoffen en meestal een wat duurdere optie.

In een eerder project werd bij een paprikateler het rookgas van een houtgestookte ketel door een amine-scrubstelsysteem geleid om de CO₂ af te vangen voor gebruik als meststof in de kas. Het regenereren (desorptie van CO₂) van het aminesysteem kost echter veel energie die de kweker goed zou kunnen gebruiken voor het verwarmen van de kas en daarmee wordt het dus ook een heel dure optie.

In de recente jaren is de gasreiniging achter houtgestookte centrales veel uitgebreider geworden en het gas ook veel schoner. Met name de regelgeving rond de uitstoot van NO_x in het rookgas vereiste extra maatregelen maar het is economisch ook aantrekkelijk geworden om ook de lage temperatuur-warmte die nog in het gas zat terug te winnen m.b.v. een condensor. Het resultaat is dat de moderne houtgestookte centrales zijn uitgerust met ammonia injectie en een katalytische de-NO_x beiden om NO_x te reduceren tot N₂ (wat ongeveer 80% is van onze gewone schone lucht is) en vervolgens nog een condensor waar overgebleven elementen uit het gas opgelost worden in het afgevangen condenswater. Het rookgas is nu zo schoon geworden dat in het hier beschreven onderzoek is gekeken of dit gas direct gebruikt zou kunnen worden als Bio-CO₂ meststof in de kas, d.w.z. zonder amine-scrub systeem zodat het kosteneffectief is en als een groen alternatief dat in gebruik vergelijkbaar is met het toepassen van het gas dat met aardgasmotoren wordt opgewekt.

De belangrijkste uitdagingen voor het gebruik van Bio-CO₂ van een houtgestookte centrale zijn, net als bij aardgas, de gehalten aan ethyleen en NO_x. Onderzoek van van Dijk et al. (2010) in Wageningen heeft aangetoond dat voor het kweken van paprika's waarbij CO₂ uit aardgasmotoren werd gebruikt, een gehalte van 600 ppm NO_x niet schadelijk was voor de planten of de vruchtopbrengst naar een gehalte van 10 **ppb** ethyleen wel. Deze concentratie ethyleen is op zichzelf onschadelijk maar het is een plantenhormoon dat interfereert met het groei- en rijpingsproces van de vruchten. De auteurs adviseren daarom om het gehalte aan ethyleen rond de 4 ppb te houden wat hetzelfde is als de achtergrond waarde. Belangrijk om nog mee in beschouwing te nemen is dat voor gebruik het rookgas nog wordt verdund met lucht om op een gewenst CO₂ gehalte rond 600 ppm tijdens daglicht uren te komen, terwijl de concentratie van CO₂ in het rookgas bij de paprikateler 4.2 vol% was.

Het Bio CO₂ project startte met de aanname dat er een sorbent filter nodig zou zijn om de lage concentraties aan ethyleen te halen. Er is een omvangrijk testprogramma met adsorbentia uitgevoerd waarbij een gas van stikstof en CO₂ met 5 ppm werd gebruikt. De gebruikte materialen voor het adsorberen van ethyleen waren: Biochars van verschillende houtsoorten, commercieel verkrijgbare actief kool en KMnO₄ op een kleidrager. Deze laatste component wordt ook breed toegepast in verpakt fruit in supermarkten om de door fruit geproduceerde ethyleen af te vangen en zo de houdbaarheid te verlengen door een trager rijpingsproces. Naast het gas met N₂ en CO₂ met 5 ppm ethyleen werd ook waterdamp in de mix toegepast voor een zo realistisch mogelijke praktijksituatie.

Zowel de biochar als ook de duurdere actief kool bleken een relatief lage adsorptiecapaciteit te hebben voor ethyleen van 2-3 mg/kg sorbent onder condities zonder vocht. In aanwezigheid van vocht was de adsorptiecapaciteit nog lager omdat er ook vocht wordt geadsorbeerd aan deze materialen. De desorption van ethyleen van de biochar was wel eenvoudig en bij relatief lage temperature van 50-70 °C . Bij deze temperatuur bleef het vocht geadsorbeerd waardoor de adsorptiecapaciteit van ethyleen in de loop van de tijd afnam. Maar in langdurige experimenten werd vastgesteld dat biochar wel een piek aan ethyleen zou kunnen afvangen om deze in veel lagere concentraties dan weer af te geven. Daarmee zou een incidentele piekconcentratie dus opgevangen kunnen worden. De KMnO_4 op klei-pellets liet ethyleen adsorptie zien over 300 uur maar wel met een continue slip van ethyleen. De totale adsorptiecapaciteit was conform de opgave van de producent, namelijk zo'n 4.5 L/kg sorbent. Voor dit materiaal werd dus eveneens geconcludeerd dat het een ethyleen-piek zou kunnen dempen maar dat er continue ethyleen aan het filter zou ontsnappen. Het KMnO_4 materiaal is heeft nog als nadeel dat het niet (economisch) geregenereerd kan worden. De algemene conclusie is dus dat er een gedeeltelijke oplossing is gevonden om piekconcentraties af te vangen met sorbents maar dat het geen goede oplossing geeft voor continue concentraties ethyleen boven de achtergrond waarden.

In de volgende fase werd stookgas bemonsterd bij een commerciële biomassa-gestookte WKK installatie bij een paprikateler. In plaats van de bedachte adsorbentia werd een bemonsteringsprotocol bedacht waarbij alleen bij zeer continue en zeer goede verbrandingscondities het gas werd ingenomen. Onder minder goede condities, bijvoorbeeld bij verandering van het vochtgehalte in de brandstof, werd de stookgasinname gestaakt tot het system zichzelf weer goed had bijgesteld. Deze methode bleek bij ethyleenmetingen in Wageningen van voldoende nauwkeurigheid en van voldoende lage ethyleen-concentraties.. Deze oplossing is relatief low-tech en het betekent in de praktijk dat er in principe geen adsorbentia nodig zijn als de inname-procedure en regeling op orde is.

Het bemonsterde gas werd vervolgens gebruikt voor plantproeven in Wageningen. De locatie waar het gas werd ingenomen bestaat uit 2 TBM rooster verbrandingsinstallaties die stoom produceren bij ongeveer 20 bar. De totale biomassa input capaciteit is 14,9 MW_{th} en bestaat uit schone houtchips. De temperatuur op het rooster is ongeveer 900 C wat wordt behaald door rookgas-recirculatie. In een deel van het rookgas-circuit echter, is de temperatuur zeer hoog om complete verbranding te realiseren. In deze zone wordt ook ureum geïnjecteerd om primaire NO_x vorming te vermijden. Na koeling is er ook nog een catalytische DeNO_x aanwezig om NO_x concentraties nog verder te reduceren en vervolgens is er een doekenfilter en een rookgascondensator aanwezig waarbij stof en een groot deel van het water in het gas worden verwijderd.

De paprika-potproeven werden uitgevoerd bij de WUR in Wageningen en ongeveer 30 m^3 /week aan rookgas was nodig voor de gasvormige bemesting met CO_2 . Twee keer per week ging er zak van 15 m^3 bag in bus van de verbrandingsinstallatie naar Wageningen. Deze zak kon worden verwarmd om condensatie van water te voorkomen. De zak zelf is ook gecontroleerd op ethyleenemissies.

Bij WUR zijn 2 serie plantproeven gedaan van ieder 7 weken lang. De eerste serie was in November 2021 en de tweede serie in Maart 2022. Deze 7 weken waren een maximale duur van de test vanwege de maximale grootte van de planten die in de gesloten kasruimten pasten en ook vanwege de optimale gasuitwisseling. De 4 klimaatkamers waarin de planttesten plaatsvonden waren 160x90x135 cm (1,94 m^3) en bevatte ieder 8 planten. Twee klimaatkamers kregen commerciële CO_2 uit de fles en de andere twee kregen verdund rookgas met dezelfde CO_2 dosering. De resultaten waren zeer goed. Er was geen vruchtafstoot in de testen en alle

gemeten planteigenschappen en product-metingen waren vergelijkbaar. Droogstofgehalte van de planten en van de vruchten waren eveneens vergelijkbaar net als het aantal knoppen, bloemen en vruchten.

De resultaten laten zien dat de gebruikte procedure voor gasbemonstering van een commerciële houtgestookte WKK-installatie in continubedrijf succesvol was en goede kwaliteit gas met CO₂ als gasvormige meststof kon leveren waar paprika-planten of groeien die in niets verschillen van de paprikaplanten die geteeld werden met CO₂ geleverd in gasflessen.

Dit is een belangrijke bevinding omdat in een poging om aardgasverbruik te minderen in de glastuinbouw, de houtgestookte WKK nu een beter alternatief is omdat op een vergelijkbare wijze ook CO₂ gebruikt kan worden als gasvormige meststof zonder dat er een duur en energetisch zeer ongunstig aminesysteem nodig is.

Een eerste economische verkenning laat zien dat een simpele kosten-bate rekening bij een investering van zo'n 1200 keuro in extra hardware voor de commerciële schaal op de locatie waar werd gewerkt leidt tot een lineaire terugverdientijd van ongeveer 5 jaar. Daarbij is uitgegaan van CO₂ levering van 2 ton/h tegen 100 euro/ton. In de hardware zit een warmtepomp en een extra condensator die ook extra warmte oplevert. De business case is verder sterk afhankelijk van het aantal draaiuren per jaar. In de terugverdientijd van 5 jaar is uitgegaan van 2000 draaiuren (vullast).

De belangrijkste conclusie, naast de bewezen kwaliteit van het rookgas en de optimaal vergelijkbare plantproeven met CO₂ uit gasflessen, is dat alle resultaten zo gunstig zijn omdat de technologie relatief simpel en goedkoop is en gekoppeld wordt aan een bestaande installatie die al voorzien is van een katalytische DeNO_x en rookgascondensator. De auteurs raden aan om een significante vervolgstap te maken met deze opzet door een praktijktest voor langere duur op een deel van een commerciële kas te doen (bijv. 1 hectare) en als deze slaagt kan de Bio-CO₂ technologie relatief eenvoudig op volle schaal worden geïmplementeerd. Het past in een strategie die het gebruik van fossiel aardgas terugdringt. Het gebruik van de houtgestookte WKK is dan niet afhankelijk van extern aan te voeren CO₂ of van het gebruik van een duur en energetisch ongunstig aminesysteem. Er is aangetoond dat ook het rookgas van een houtgestookte WKK op een vergelijkbare manier gebruikt kan worden als die bij aardgasketels mits er dus voldoende reiniging van het gas al aanwezig is.

Nadere details voor de bemonstering van het gas en de uitgevoerde plantproeven.

Voor wie graag meer wil weten.



Figuur 1: Foto van de opstelling op de locatie van TBM in Maasbree

De rookgassen werden van Maasbree naar Wageningen getransporteerd in een PVC gaszak die ingebouwd was in een grote bestelbus. Zie Figuur 2 en Figuur 3. De gaszak was voorzien van een overdruk beveiliging die uitzetten van de zak (en de bestelbus) moest beperken bij een verlaging van de buitendruk door b.v. een lage druk gebied.



Figuur 2: Gaszak tijdens vullen in Maasbree



Figuur 3: Gaszak na legen in Wageningen

Om condensatie van het nog aanwezige water en mogelijke andere vluchtige componenten te beperken was de bodem van de zak voorzien van verwarming, die aangezet kon worden bij lage buitentemperaturen.

Aandachtspunten voor de toekomstige demonstratiefase:

De blower voor het op lichte overdruk brengen van het gekoelde rookgas zat na stilstand regelmatig vast. Bij inspectie bleek dat in de blower een afzetting zat van zouten. Figuur 4 toont een foto van de blower, genomen na afloop van de 2 duurtesten, waarin de (vermoedelijke) zoutaanslag duidelijk waarneembaar is.



Figuur 4: Zoutaanslag in blower

Tijdens de testen was de biomassa kwaliteit relatief slecht. Voor een vervolg of een commerciële toepassing is het van belang een goede kwaliteit biomassa in te kopen. Tijdens de hier beschreven test was dit niet mogelijk, vanwege een extreme vraag naar biomassa, veroorzaakt door hoge gasprijzen en ongebruikelijk lang stookseizoen voorafgaand aan de test. Toch bleek ook bij deze matige kwaliteit het bemonsteren goed te werken. Alleen intervallen waarin niet kan worden ingenomen zullen dan vaker voorkomen en langer duren wat ongunstig is voor de CO₂ bemesting.

Aanleiding planttesten

Op basis van alleen stikstofoxiden- en etheen-metingen aan de biomassa-installatie is niet volledig uit te sluiten dat er in het Bio-CO₂ nog andere componenten voorkomen die mogelijk toxisch zijn voor planten. Om die reden zijn de gereinigde rookgassen als 'cocktail' in een proefopstelling gedurende langere tijd getest. Belangrijkste doel hierbij is om vast te stellen of er eventueel verontreinigen in het rookgas zitten die een negatieve invloed op de groei van gewassen kunnen hebben. Indien uit de testen blijkt dat er geen indicaties zijn dat Bio-CO₂ toxisch zou zijn voor planten kan de volgende stap worden gezet door het op praktijkbedrijven met verschillende gewassen op grotere schaal te testen.

Opzet planttesten

Voor het testen van Bio-CO₂ op phytotoxiciteit werden paprikaplanten gedurende zeven weken aan een voor de glastuinbouw representatieve CO₂ concentratie blootgesteld. Er zijn in totaal twee testen uitgevoerd. De eerste test is gestart op 25 nov 2021 met het inzetten van de planten voor acclimatisatie. De CO₂-dosering is gestart op 3 december en beëindigd op 18/19 januari 2022.

De tweede test is gestart op 26 januari, de dosering is gestart op 1 februari en beëindigd op 21/22 maart 2022. Een testduur van ca. zeven weken is het maximaal haalbare omdat de paprikaplanten te groot worden voor de plantkamers en er geen optimale gasuitwisseling meer kan plaatsvinden.

Voor elke test werden planten blootgesteld in vier onafhankelijk van elkaar werkende plantkamers (zie Figuur 5 voor een schematische weergave) die stonden opgesteld in een geconditioneerde klimaatkamer (Figuur 7 en 8). De luchtdichte plantkamers zijn gemaakt van polycarbonaat (lexaan) in een frame van aluminium profielen. De afmetingen van de netto plantruimte van elk kasje zijn: 160x90x135 cm (1,94 m³). De bodem bestaat uit een bak afgedekt met een geperforeerde plaat, beide van RVS. Met een centrifugaalventilator wordt de snelheid van de circulatielucht op ca. 0,5 m.sec⁻¹ gehouden (recirculatie 60 m³ min⁻¹). Verversingslucht wordt met een hoeveelheid van ca. 0,5 m³ min⁻¹ aangezogen via een koelfilter. Uitgaande lucht wordt rechtstreeks naar de buitenlucht afgevoerd. In elke plantkamer werd een lichte onderdruk aangehouden om weglekken van gassen naar de klimaatkamer te voorkomen.

In twee van de vier plantkamers werden de planten gedurende de lichtperiode (5.00-17.00 uur) blootgesteld aan ca. 600-650 ppm Bio-CO₂ en in de twee andere plantkamers aan ca. 600-650 ppm zuivere CO₂ als controle behandeling (nul-behandeling). De behandelingen werden random toegewezen aan de verschillende plantkamers.

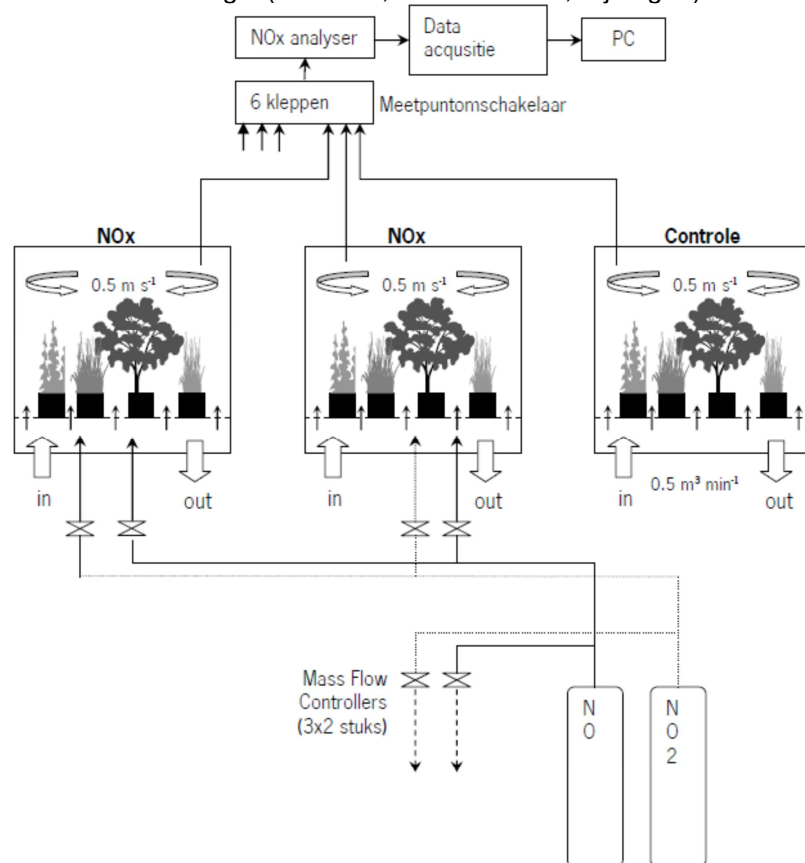
Concentratie metingen

Tijdens de duurttest van de biomassa-installatie in Maasbree is een deel van de rookgassen opgevangen in gaszakken (≈10 m³). De gaszakken zijn verdeeld over de tijd gevuld zodat ze representatief zijn voor de testduur. Tweemaal per week zijn

de gevulde gaszakken over de weg naar de testlocatie in Wageningen getransporteerd (Figuur 5). De voor de planttesten benodigde hoeveelheid gas werd vanuit de gaszak naar de verschillende plantkamers gepompt. De gewenste concentratieniveaus werden bereikt door het gas in de juiste hoeveelheid toe te dienen aan de ingaande luchtstroom onder de geperforeerde bodemplaat door middel van regelbare flowkleppen. De theoretisch berekende volumestromen naar de verschillende plantkamers om de gewenste concentraties te realiseren werden voor aanvang van de test (zonder planten) ingeregeld op het gewenste niveau met behulp van real-time metingen met stikstofoxide (NO) als test-gas.

Voorafgaande aan de planttesten zijn de gaszakken die voor transport gebruikt gaan worden getest op afgifte van etheen. De rookgassen mogen namelijk niet vervuilen met etheen dat vrij kan komen uit de gaszakken zelf. Etheen kan toxisch zijn voor planten in de ppb range.

Gedurende de testperioden zijn ter controle de achtergrondconcentraties van NO_x en etheen in de verschillende plantkamers gemeten. Hogere NO_x en/of etheen concentraties in de omgevingslucht zouden de resultaten kunnen beïnvloeden. Etheen wordt in kleine hoeveelheden ook afgegeven door planten bij veroudering en stress. De NO_x concentraties werden gemeten met een NO_x chemiluminiscentie monitor (Monitor Labs 8840, San Diego, California). Etheen werd gemeten met behulp van lasertechnologie (ETD-300, Sensor Sense, Nijmegen).



Figuur 5: Schematische weergave van een deel van de proefopstelling voor blootstelling aan het te onderzoeken gas (NO en NO₂ in het schema dienen alleen als voorbeeld)



Figuur 6: Aanlevering van BioCO₂ met behulp van een gaszak

Klimaatinstellingen

Tijdens de testen werd een daglengte aangehouden van 12 uur (5.00-17.00 uur). De lichtintensiteit op planthoogte werd ingesteld op ca. 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Philips TL 54 W, kleur 840). Aan het begin van de lichtperiode werd de lichtintensiteit gedurende 30 minuten geleidelijk opgebouwd en aan het einde van de lichtperiode ook gedurende 30 minuten weer geleidelijk afgebouwd. Van 16:45 tot 17:15 werd additioneel verrood licht toegediend door middel van gloeilampen (Philips, Superlux Agro 150 W, negen stuks).

De temperatuur en luchtvochtigheid in de klimaatcel werd zodanig ingesteld dat de temperatuur in de plantkamers ca. 21/20 °C dag/nacht bedroeg bij een relatieve luchtvochtigheid van circa 75%. Gedurende de test is de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid in elke plantkamer geregistreerd.

Plantverzorging

De jonge paprikaplanten van het ras 'Keessie' (van RijkZwaan) zijn geleverd door plantenkwekerij 'Plantise' uit Bleiswijk. Het betreft een gangbare rode paprika die redelijk representatief is voor de glastuinbouw. Per behandeling (plantkamer) werden acht paprikaplanten ingezet (Figuur 8). Op het moment van inzetten hadden de planten een gesloten bloemknop in de splitsing en twee of drie scheutjes met hele kleine bloemknopjes. De planten zijn gesnoeid op twee stengels. De op steenwolblokjes opgekweekte planten werden op steenwolmatten in plastic goten (libra) met drain geplaatst en door middel van een automatisch doseersysteem naar behoefte voorzien van standaard voedingsoplossing. De paprikaplanten werden vervolgens wekelijks gesnoeid op twee stengels, waarbij per stengel steeds één knop en één blad werd aangehouden bij de gediefde scheut.

Tijdens de test werden de planten dagelijks gecontroleerd op zichtbare symptomen (chlorose, bladbeschadiging, blad/bloem of vruchtabortie, andere bladstand etc.). Na afloop van de testperiode werden de belangrijkste groeiparameters bepaald (biomassa, bladoppervlak, aantal vruchten etc.). Alleen het deel boven de eerste splitsing is geoogst, inclusief de hartvrucht, om effecten op het tijdens de blootstellings-periode gevormde deel van de planten zo goed mogelijk te kunnen meten.



Figuur 7: Opstelling van de plantkamers in de klimaatkamer

Figuur 8: Paprikaplanten (8) in een van de plantkamers bij aanvang van de test.

Resultaten planttesten

CO₂ concentraties en klimaatomstandigheden

Voorafgaande aan de planttesten zijn de gaszakken die voor het transport gebruikt zouden gaan worden getest op afgifte van etheen. In de lucht uit de gaszakken was geen etheen (in de ppb range) aantoonbaar.

Gemiddeld over de twee testen was de etmaal temperatuur in de plantkamers met zuiver CO₂ 20.6 °C (dag 21.1 °C en nacht 20.2 °C). In de plantkamers met BioCO₂ was de gemiddelde etmaal temperatuur ook 20.6 °C (dag 21.0 °C en nacht 20.2 °C). De gemiddelde luchtvochtigheid per etmaal was 67 % (dag 69 % en nacht 66 %) (Tabel 1).

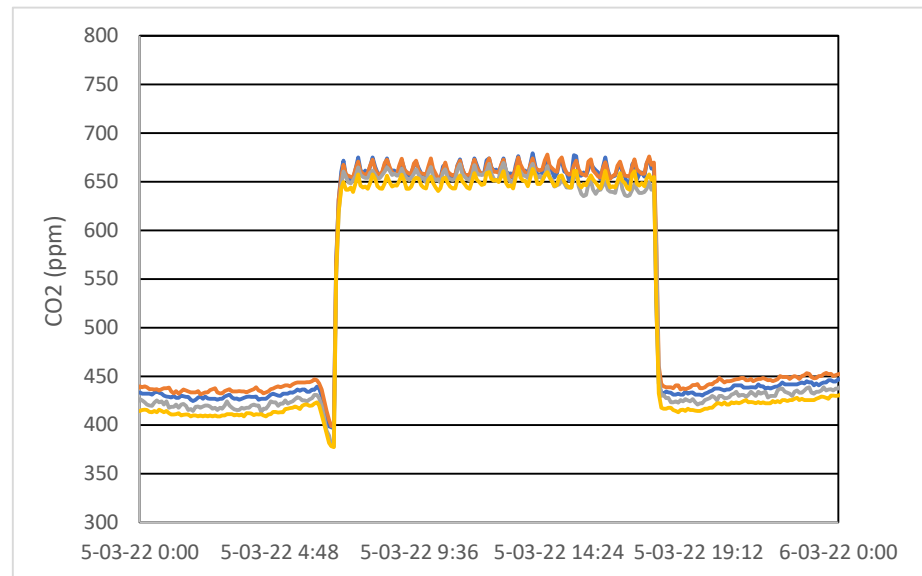
De gemiddelde CO₂ concentratie gedurende de lichtperiode was bij de eerste test met zuiver CO₂ 574 ppm en bij de tweede test 586 ppm. Voor de behandelingen met BioCO₂ was dat respectievelijk 576 en 557 ppm. Gemiddeld over de twee testen bedroeg de zuiver CO₂ concentratie 580 ppm en de BioCO₂ concentraties was 567 ppm. Dat de gemiddelde concentraties iets lager uitkwamen dan het gewenste niveau van 600-650 ppm is het gevolg van lagere concentraties aan het begin van de lichtperiode, het duurt namelijk even voordat na start van de dosering het gewenste niveau is bereikt en gedurende de onderbrekingen van de dosering bij het wisselen van de gaszakken (2x per week gedurende enkele uren). Gedurende het grootste deel van de lichtperiode lag de CO₂ concentratie rond de 650 ppm (Figuur 9: verloop van de CO₂ concentratie in vier plantkamers (ppm) op 5 maart 2022). De gemiddelde etheenconcentratie gedurende de testen van ca. 5 ppb kwam overeen met het achtergrondniveau. De 24 uurs-gemiddelde NO_x concentraties waren relatief laag, met name als gevolg van lage concentraties gedurende de nacht. Gedurende de dag konden de concentraties oplopen tot ca. 20 ppb, wat overeen komt met het achtergrondniveau voor de betreffende regio (Tabel 2).

Tabel 1: Overzicht gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid gedurende de twee testen

Test	Behandeling	Temperatuur (° C)			RH (%)		
		Etmaal	Licht periode	Donker periode	Etmaal	Licht periode	Donker periode
1	Zuiver CO ₂	20.5	20.9	20.1	68	69	67
	Bio-CO ₂	20.7	21.1	20.3	65	67	64
2	Zuiver CO ₂	20.7	21.2	20.3	66	68	65
	Bio-CO ₂	20.5	20.9	20.1	70	71	68
1 en 2	Zuiver CO ₂	20.6	21.1	20.2	67	69	66
	Bio-CO ₂	20.6	21.0	20.2	67	69	66

Tabel 2: Overzicht gemiddelde CO₂, NO_x en etheen concentraties gedurende de twee testen

Test	Behandeling	CO ₂ lichtperiode (ppm)	NO _x 24h-gemiddelde (ppb)	Etheen 24h-gemiddelde (ppb)
1	Zuiver CO ₂	574	4.64	5.85
	Bio-CO ₂	576	6.13	5.85
2	Zuiver CO ₂	586	0.49	5.14
	Bio-CO ₂	557	1.06	5.17
1 en 2	Zuiver CO ₂	580	2.56	5.50
	Bio-CO ₂	567	3.60	5.51



Figuur 9: verloop van de CO₂ concentratie in vier plantkamers (ppm) op 5 maart 2022

Visuele beoordeling

Tijdens de doseringsperiode zijn de planten dagelijks beoordeeld op eventuele zichtbare symptomen als gevolg van de blootstelling aan BioCO₂. Gedurende de gehele testperiode zijn er geen zichtbare effecten waargenomen op blad, knop of vrucht (Figuur 10 en Figuur 11). Er werd bloemabortie waargenomen in alle 4 kasjes na ongeveer 5 tot 6 weken. Op dat moment was er veel zetting onderin de planten. Er werden geen verschillen waargenomen tussen de verschillende CO₂ behandelingen. Er is geen vruchtabortie waargenomen.



Figuur 10: Paprika: einde behandeling zuiver CO₂ (≈ 650 ppm)

Figuur 11: Paprika: einde behandeling Bio-CO₂ (≈ 650 ppm)

Bepaling groei-parameters

Na beëindiging van de test zijn de meest relevante groeiparameters bepaald, namelijk aantal internodia, bladoppervlak, aantallen knoppen, bloemen en vruchten en droge stof productie. Alleen het deel van de plant boven de eerste splitsing, inclusief de hartvrucht, is geoogst (Figuur 12 en Figuur 13). Om eventuele verschillen in opbrengst te bepalen is de 'Harvest Index' berekend als het aandeel droge-stof van de vruchten als fractie van het totaal aan droge stof van de geoogste planten. Alleen de tijdens de begassing gevormde biomassa is in de berekening betrokken.



Figuur 12: Eind oogst van twee stengels per plant



Figuur 1: Verschillende fracties voor drogestofbepaling (vruchten, en blad+stengel)

Bij beëindiging van beide testen zijn geen zichtbare verschillen geconstateerd in de morfologie van de paprikaplanten die aan BioCO₂ of zuiver CO₂ zijn blootgesteld. Met betrekking tot de bepaalde groeiparameters zijn er geen eenduidige verschillen geconstateerd tussen de behandelingen (Tabel 2). Afgezien van een kleine variatie tussen plantkamers was gemiddeld over de twee experimenten de totale droge stof productie van de aan BioCO₂ blootgestelde planten nagenoeg gelijk aan die van de planten die zuiver CO₂ toegediend hebben gekregen. Bij de teelt van paprika gaat het uiteindelijk om de opbrengst aan vruchten. De gemiddelde droge stof productie van de vruchten is na blootstelling aan BioCO₂ nagenoeg gelijk aan die voor zuiver CO₂. Uit de berekende 'Harvest Index' blijkt dat deze voor aan BioCO₂ blootgestelde planten vrijwel gelijk is aan de index voor de aan zuiver CO₂ blootgestelde planten. Dit laat zien dat het aandeel droge-stof van de vruchten als fractie van het totaal aan droge stof niet verschilt tussen BioCO₂ en zuiver CO₂. Ook in het gesommeerde aantal knoppen, bloemen en vruchten zijn geen verschillen gevonden tussen de behandelingen.

Conclusies planttesten

- Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat blootstelling van paprikaplanten aan een gemiddelde Bio-CO₂ concentratie tot 600-650 ppm tijdens de lichtperiode over een periode van zeven weken leidt tot negatieve effecten zoals zichtbare bladbeschadiging en/of groeireductie;

- Er zijn in totaal twee plantesten na elkaar uitgevoerd. Elke planttest is in duplo uitgevoerd (in twee van de vier plantkamers werden de planten blootgesteld aan Bio-CO₂ en in de twee andere plantkamers aan zuivere CO₂). Deze opzet geeft redelijke zekerheid over de betrouwbaarheid van de resultaten;
- De planttesten zijn uitgevoerd in een experimentele setting. Het is aan te bevelen om een (kleinschalige) test onder praktijkomstandigheden te doen alvorens de Bio-CO₂ grootschalig en bedrijfsmatig toe te passen.

Dankwoord

Hierbij willen we iedereen bedanken die heeft bijgedragen aan een zeer succesvol en zeer pragmatisch en praktijkgericht onderzoek dat hopelijk op korte termijn al tot praktijktoepassing kan leiden.

Dit is een project dat is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Nationale regelingen EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland en ook deze organisaties worden vriendelijk bedankt voor het mede mogelijk maken van dit onderzoek.