



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 32 01

info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2004/485

**CO₂ buffering in de glastuinbouw,
economische haalbaarheid voor een
paprikabedrijf**

Datum	oktober 2004
Auteurs	Ir. W.A.J. Appelman Mw.Ir. P.D.M. de Boer Ir. B. Henstra Ir. D.C. Heslinga Dr.Ir. R. van der Welle
Projectnummer	34657
Trefwoorden	Glastuinbouw CO ₂ dosering
Bestemd voor	Productschap Tuinbouw Ministerie van LNV, GLAMI programma

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

CO₂ is een noodzakelijk nutriënt bij de groei van gewassen. Door het verhogen van de CO₂ concentratie in het kasklimaat kan de groei van de gewassen en daardoor de opbrengst worden verhoogd. Het doseren van CO₂ in kassen gebeurt nu voornamelijk door het injecteren van de rookgassen van de bestaande verwarmingsketels. CO₂ is hierbij een nevenproduct van de opgewekte warmte die nodig is om de temperatuur in de kas op de gewenste waarde te houden. CO₂ wordt echter ook gedoseerd in perioden dat er geen warmtevraag aanwezig is. Warmtebuffers kunnen het extra energiegebruik voor deze CO₂ dosering inperken doordat de dan niet benodigde warmte wordt opgeslagen en benut op tijden dat deze nodig is.

Tijdelijke opslag (buffering) van CO₂ geproduceerd in koude en donkere periodes gedurende de dag of het jaar en gebruik ervan in warme en lichte periodes kan voorkomen dat ketels of WKK installaties alleen voor de CO₂ productie draaien. Opslag van teveel geproduceerde CO₂ tijdens warmtevraag vindt nog niet plaats in de glastuinbouw. Uit oogpunt van energiebesparing is het loskoppelen van de warmtevraag en het doseren van de daarbij geproduceerde CO₂ wenselijk.

TNO ontwikkelt een nieuwe technologie voor CO₂ buffering. In opdracht van het Productschap Tuinbouw en het ministerie van LNV hebben TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie en DLV Bouw, Milieu en Techniek de economische haalbaarheid van CO₂ -buffering in de glastuinbouw onderzocht. Hierbij is een paprikabedrijf als voorbeeld genomen. Het rekenmodel dat hiervoor is opgesteld koppelt de werking van zowel CO₂ buffering als warmtebuffering aan de CO₂- en warmtevraag van een representatieve kas. Met behulp van dit model is bepaald hoeveel op energiekosten kan worden bespaard door inzet van CO₂ - buffering. Het model is beschikbaar gesteld op internet en kan dienen als basis voor optimalisatie van beide manieren van bufferen maar ook om inzicht te krijgen in de relatie tussen buffering, verschillende regelingstrategieën en kosten.

Met het model zijn verschillende scenario's doorgerekend met als voorwaarde dat aan de warmte- en CO₂ -vraag van de teelt voldaan wordt. Andere teeltaspecten, bijvoorbeeld extra groei door extra CO₂ dosering, zijn door het model buiten beschouwing gelaten. Op basis van de gevonden resultaten kan gesteld worden dat voor het genoemde paprikabedrijf:

- een CO₂ buffer in plaats van een warmtebuffer economisch onhaalbaar is omdat er geen mogelijkheden zijn voor verlagen van contractcapaciteit en voorkomen van piekoverschrijdingen (peakshaving);
- een combinatie van warmte- en CO₂ buffer een geringe kostenbesparing kan opleveren, echter te weinig voor een eventuele investering in een CO₂ buffer;
- de energiebesparing die met alleen CO₂ buffering kan worden bereikt vergelijkbaar is met de energiebesparing gerealiseerd door een warmtebuffer.

Dit geldt naar verwachting ook voor andere glasgroentebedrijven met een verwarmingsketel.

Wel wordt verwacht dat CO₂ buffering bij andere teelten, zoals belichte teelten met een WKK installatie of bij centrale levering van CO₂, interessant kan zijn. In deze situaties kan CO₂ buffering mogelijkheden bieden die niet met warmtebuffering kunnen worden bereikt. Aanbevolen wordt daarom om verder onderzoek uit te voeren naar de haalbaarheid voor deze situaties.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding	5
1.1 CO ₂ is een belangrijk productiemiddel	5
1.2 Overheid eist energiebesparing	5
1.3 Sector moet energie besparen, CO ₂ buffering biedt mogelijk oplossingen	6
1.4 Doel van het onderzoek	6
2. Huidige situatie	8
2.1 Aardgas levert warmte en CO ₂	8
2.2 Warmtebuffers beperken energiegebruik voor de CO ₂ dosering	8
2.3 CO ₂ aanbod en vraag in onbalans	9
2.4 Gasverbruik zomer en winter sterk verschillend	9
2.5 Vloeibaar CO ₂ een kostbaar alternatief	10
3. Randvoorwaarden voor CO ₂ buffering	12
3.1 Ketels geven schone rookgassen	12
3.2 CO ₂ buffering goed inpasbaar	12
3.3 Ondersteuning vanuit overheid mogelijk	13
4. Casestudy: paprikabedrijf als intensieve CO ₂ gebruiker	14
4.1 CO ₂ behoefte verschillend voor groenten, potplanten en snijbloemen teelten	14
4.2 Paprika: een CO ₂ intensief gewas	14
4.3 Paprikaweke moet energie besparen	15
4.4 Modelvorming met verschillende regelstrategieën	15
4.5 Toelichting op gebruik van het model	17
4.6 Resultaten model	18
5. Resultaten en discussie	21
5.1 Wanneer is het interessant om CO ₂ te bufferen?	21
5.2 Lange termijn (seizoen) opslag	22
5.3 Vergelijking warmte- en CO ₂ buffering	23
5.4 Perspectievolle mogelijkheden voor CO ₂ buffering	24
5.4.1 CO ₂ buffering mogelijk interessant bij warmte- krachtinstallaties	24
5.4.2 CO ₂ buffering mogelijk interessant bij centrale levering van CO ₂ door derden	26
6. Conclusies en aanbevelingen	27
7. Literatuur	28
8. Verantwoording	29

1. Inleiding

1.1 CO₂ is een belangrijk productiemiddel

CO₂ is een noodzakelijke factor bij de groei van gewassen. Door het verhogen van de CO₂ concentratie in het kasklimaat kan de groei van de gewassen worden bevorderd en daardoor ook de opbrengst significant verhoogd.

Het doseren van CO₂ in kassen gebeurt voornamelijk door het injecteren van de rookgassen van de bestaande verwarmingsketels. CO₂ is hierbij een nevenproduct van de opgewekte warmte. CO₂ wordt echter ook gedoseerd in perioden dat er geen warmtevraag aanwezig is. De in dat geval vrijkomende warmte wordt dan opgeslagen voor later gebruik of afgevoerd. De toenemende CO₂ dosering in kassen wordt gezien als een belangrijke reden voor het achterblijven van de energiebesparingsresultaten in de glastuinbouw op de met de overheid gemaakte afspraken.

1.2 Overheid eist energiebesparing

De Nederlandse glastuinbouwsector is een energie-intensieve bedrijfspgroep. De glastuinbouwsector heeft in het in 1997 ondertekende Convenant Glastuinbouw en Milieu 1997-2010 (GLAMI) met de overheid afspraken gemaakt. Hierbij zijn doelstellingen vastgelegd voor energiebesparing maar ook voor het gebruik van bestrijdingsmiddelen en meststoffen, lozingen op het oppervlaktewater en andere activiteiten van de sector die het milieu kunnen belasten.

Volgens het convenant moeten in 2010 de volgende energiereductie doelen bereikt zijn:

- een verbetering van de energie-efficiëntie van 65% ten opzichte van 1980;
- een verhoging van het aandeel duurzame energie tot 4%.

Voor uitvoering van deze doelstellingen moet het Besluit Glastuinbouw zorgen. Het Besluit Glastuinbouw is een Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) met als basis de Bestrijdingsmiddelenwet, de Wet verontreiniging oppervlaktewateren (WVO) en de Wet milieubeheer (Wm). Deze AMvB is sinds 1 april 2002 van kracht en geldt voor alle glastuinbouwbedrijven. In de AMvB staat hoeveel energie, meststoffen en gewasbescherming de glastuinders mogen gebruiken. Elke glastuinder is ook persoonlijk verantwoordelijk voor de te halen milieudoelen.

Naast het verhogen van de energie-efficiency zijn tuinders continu op zoek naar mogelijkheden om op een zo goedkoop en efficiënt mogelijke manier om te gaan met de energiecontracten die zij door de verschillende leveranciers krijgen aangeboden. Hierbij kan worden gedacht aan peakshaving of bijvoorbeeld de inkoop van aardgas of elektriciteit in daluren. Om aan de beide doelstellingen van energie- en kostenbesparing te kunnen voldoen zal het aardgasverbruik van de tuinders moeten

worden gereduceerd, waarbij de warmte en CO₂ afkomstig van het aardgas zo optimaal mogelijk worden ingezet.

1.3 Sector moet energie besparen, CO₂ buffering biedt mogelijk oplossingen

CO₂ dosering is door verbranden van aardgas een energievragend proces waarop nog besparingen mogelijk lijken te zijn. Doorgaans wordt CO₂ gedoseerd door rookgassen van de verwarmingsinstallatie in de kassen te injecteren. Op momenten dat de kassen geen warmte vragen dient de vrijkomende warmte te worden afgevoerd. Om de energieverliezen bij CO₂ dosering te beperken wordt momenteel warmtebuffering toegepast. De op dat moment niet benodigde warmte wordt opgeslagen in grote watertanks en op momenten van warmtevraag weer onttrokken. Dit systeem heeft een aantal beperkingen:

- beperkte capaciteit waardoor onder bepaalde omstandigheden toch weer warmte moet worden afgevoerd;
- beperkt rendement door warmteverliezen;
- groot ruimteverbruik.

Opslag van CO₂ geproduceerd in koude en donkere periodes gedurende de dag of het jaar en gebruik ervan in warme en lichte periodes voorkomt dat ketels of WKK installaties alleen voor de CO₂ productie draaien. Opslag van op het bedrijf geproduceerde CO₂ vindt nog niet plaats in de glastuinbouw. Om het energieverbruik van CO₂ dosering te verlagen is buffering van CO₂ in perioden van warmtevraag en onttrekken en doseren tijdens CO₂-vraag daaruit daarom een mogelijke oplossing.

1.4 Doel van het onderzoek

In opdracht van het Productschap Tuinbouw en het ministerie van LNV heeft TNO MEP in samenwerking met DLV- Bouw, Milieu en Techniek onderzocht of CO₂ buffering interessant is voor de glastuinbouw en aan welke randvoorwaarden moet worden voldaan.

Dit onderzoek richt zich op verkenning van de mogelijkheden voor CO₂ opslag in de glastuinbouw aan de hand van een modelmatige beschouwing bij een paprika bedrijf, een representatief geachte voorbeeld case. DLV-BMT heeft hiervoor een dataset beschikbaar gesteld die als input voor het opstellen van een rekenmodel is gebruikt.

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in wat CO₂ opslag mag kosten en wat het kan opleveren aan besparing op het energiegebruik.

De onderzoeksvragen zijn daarbij:

1. is er een economisch voordeel te vinden met CO₂ buffering in plaats van warmte- buffering voor het voorbeeldgewas van paprika?
2. kan CO₂ buffering aanvullend aan reeds aanwezige warmte- buffering economische voordelen geven voor dit voorbeeldgewas?
3. zijn de resultaten te extrapoleren zodat voor de gehele glastuinbouwsector kwalitatieve uitspraken kunnen worden gedaan over de economische voordelen van CO₂ buffering?

Hiertoe is een model opgesteld dat de werking van zowel CO₂ buffering als warmtebuffering aan de CO₂- en warmtevraag van een paprikakas koppelt (hoofdstuk 3,4 en 5). Met behulp van dit model is bepaald hoeveel op kosten kan worden bespaard door inzet van CO₂ – buffering (hoofdstuk 6). Het model is beschikbaar gesteld op internet en kan dienen als basis voor optimalisatie van verschillende manieren van buffering maar ook om inzicht te krijgen in de relatie tussen buffering, verschillende regelingsstrategieën en kosten.

Deze inzichten zijn in deze rapportage gepresenteerd, los van de eventueel te gebruiken technologieën om CO₂ te bufferen. Hierdoor kan deze studie dienen als basis voor nieuwe ontwikkelingen op het gebied van CO₂ afvangst en/of opslag.

TNO ontwikkelt samen met een industriële partij een nieuwe technologie voor CO₂ buffering. Doordat deze technologie nog in ontwikkeling is, is op dit moment nog niet bekend welke investeringen gemoeid zullen zijn met CO₂ buffering. Daarom is in deze studie vooral aandacht besteed aan het maximale besparingspotentieel in economische zin. Dit zal in belangrijke mate de ruimte voor de te ontwikkelen methode voor CO₂ buffering bepalen.

Door het Productschap is hierbij tevens de vraag gesteld om aandacht aan seizoensopslag te schenken. Dit is, net als de haalbaarheid van CO₂ buffering voor andere teelten dan paprika, kwalitatief gebeurd. De economische ruimte voor CO₂ - buffering is bepaald op basis van een jaarrond berekening over 365 dagen.

2. Huidige situatie

2.1 Aardgas levert warmte en CO₂

Verbranding van aardgas in verwarmingsketels levert warmte en CO₂. Beiden zijn echter niet altijd tegelijkertijd nodig, hetgeen voornamelijk van het seizoen afhangt. In het voorjaar en de zomer lopen warmte- en CO₂ behoefte niet parallel en is er overdag meer behoefte aan CO₂. De kas wordt dan voor een groot deel door de zon verwarmd. Warmtebehoefte is er vaak 's nachts. De overdag geproduceerde warmte kan gedurende de nacht ingezet worden. Deze warmte wordt opgeslagen in een watertank, de warmtebuffer. Warmte, en dus energie, wordt gespuid indien onvoldoende of geen opslagcapaciteit aanwezig is. Dit is een ongewenste situatie.

2.2 Warmtebuffers beperken energiegebruik voor de CO₂ dosering

Warmtebuffers kunnen het extra energiegebruik door CO₂ dosering beperken en hebben hun nut en economische haalbaarheid inmiddels bewezen. Van alle glastuinbouwbedrijven heeft 34 procent warmteopslag. De dimensies van deze warmtebuffers worden onder meer bepaald door het type gewas dat geteeld wordt maar ook door overeenkomsten die aangegaan zijn met de energieleverancier (verlaging contractkosten vs boetebedragen voor piekoverschrijdingen). De gemiddelde bufferinhoud neemt steeds verder toe. Eind 2001 was het gemiddelde ruim 100 m³ warmtebuffer per hectare kas.

Om kosten voor CO₂ dosering te minimaliseren, is een optimale warmtebuffercapaciteit nodig die is afgestemd op de voor- en najaarsnachten. Een opslagcapaciteit van 100-140 m³ per ha is volgens berekeningen [2] optimaal.

Naast de opbrengsten door gebruik van de warmtebuffer en opbrengsten door extra productie, zijn er ook extra kosten. Deze zijn er voor extra gasverbruik, extra afzet en arbeidskosten en de kosten voor de warmtebuffer zelf. De warmte kan bij optimale buffercapaciteit slechts voor korte tijd worden opgeslagen en, als de warmtebuffer vol zit, moet de warmte worden gespuid.

Daarnaast werken de huidige warmtebuffers indirect met betrekking tot CO₂ dosering. Aanvullende methoden om CO₂ dosering los te koppelen van de warmtelevering geven meer vrijheidsgraden in de procesregeling van tuinders. Er wordt daarom gezocht naar technologie die CO₂-dosering los kan koppelen van de warmtelevering.

2.3 CO₂ aanbod en vraag in onbalans

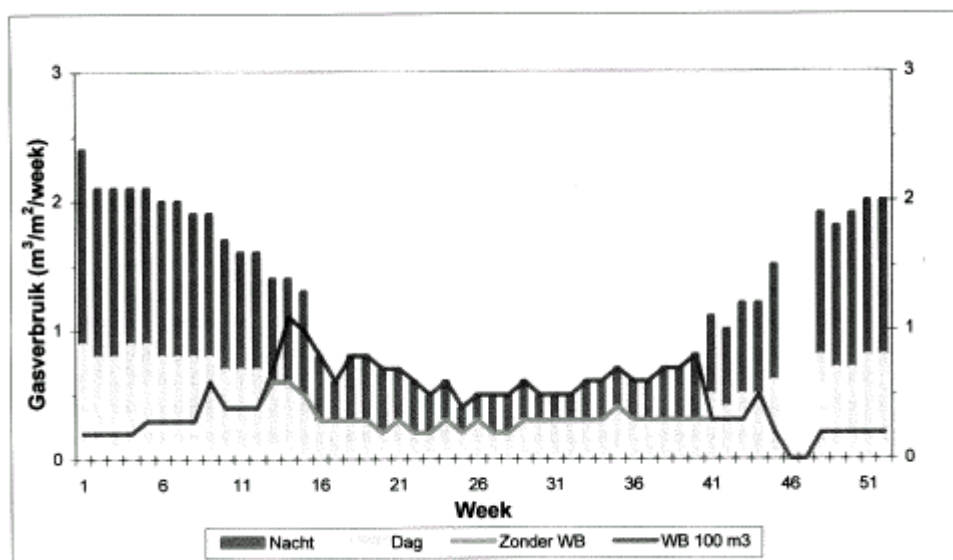
Op dit moment hangt de beschikbare hoeveelheid CO₂ geheel af van de warmtebehoefte van het gewas en de hieraan gekoppelde geproduceerde rookgassen. Hoe hoger het gasverbruik, hoe hoger de beschikbare hoeveelheid CO₂.

Over het algemeen kan gesteld worden dat 25 tot 50% van de CO₂ overdag vrijkomt. Circa 75% van de CO₂ komt hierbij in de wintermaanden beschikbaar en de rest van mei tot en met september. De CO₂ vraag is daartegen het hoogst in de zomer.

2.4 Gasverbruik zomer en winter sterk verschillend

Met behulp van warmteopslag komt CO₂ beschikbaar voor doseren zonder dat de warmte hoeft te worden vernietigd. Zonder warmteopslag zijn namelijk alleen de rookgassen die overdag bij verwarming vrijkomen, voor CO₂ doseren beschikbaar. De opgeslagen warmte wordt 's nachts gebruikt voor verwarming als er geen CO₂ nodig is.

Figuur 1 [2] geeft de warmtebehoefte per m² per week voor een tomatenteelt als voorbeeld. Het onderste deel van de staven geeft het gasverbruik overdag weer terwijl het bovenste deel het verbruik 's nachts weergeeft. De lijnen geven dat deel van het gas aan dat tevens voor CO₂ doseren wordt gebruikt.



Figuur 1 Verdeling gasverbruik zonder en met warmtebuffer voor een tomatenteelt (gas voor de nacht, gas voor de dag, waarvan gas voor CO₂ doseren). Eenheid gas: m³/m²/week [2].

In de winterperiode wordt weinig geventileerd en is het CO₂-verlies laag. De warmtevraag is groot, zodat een klein deel van de rookgassen al volstaat om voldoende CO₂ te kunnen doseren. Tussen week 48 en 8 is dit minder dan de helft van de overdag benodigde hoeveelheid aardgas. De CO₂ in de rookgassen hoeft 's nachts niet te worden gebruikt.

In de zomerperiode, week 13 tot week 40, wordt alle CO₂ die overdag bij het verwarmen van de kas vrijkomt, benut in de kas. Deze hoeveelheid is echter niet genoeg voor een optimale gewasgroei en er is eigenlijk meer CO₂ nodig. De warmtebuffer maakt het mogelijk om dan meer CO₂ te produceren en de daarbij vrijkomende warmte op te slaan voor 's nachts. In de figuur is aangegeven hoeveel gas overdag voor extra CO₂-productie kan worden gebruikt met een warmtebuffer van 100 m³ per ha. Uitgangspunt hierbij is dat de warmte die bij deze extra CO₂-productie vrijkomt niet groter is dan de verwachte warmtebehoefte voor de daarop volgende nacht. Er gaat dus geen warmte verloren.

2.5 Vloeibaar CO₂ een kostbaar alternatief

Door het toedienen van extern aangeleverd zuiver CO₂ is het mogelijk om voor CO₂ dosering nog minder afhankelijk te zijn van de verbrandingsinstallaties bij de kassen. Gassenleveranciers kunnen vloeibaar CO₂ leveren waarmee de noodzaak om de rookgassen aan te wenden voor CO₂ vervalft. Voordelen van het gebruik van deze zuivere CO₂ zijn een hoge zuiverheid en een instantane beschikbaarheid die slechts wordt beperkt door de maximale doseercapaciteit van het CO₂ doseringssysteem in de kas.

Het nadeel van het gebruik van zuiver CO₂ is de relatief hoge kostprijs. De kosten voor toediening van zuivere CO₂ liggen op dit moment rond 0,10 – 0,14 euro /kg. Hierbij komen nog kosten van de installatie zoals de huur van de CO₂ tank, regelpaneel en leidingen tot aan de kas. Deze kosten bedragen op dit moment zo'n 240 euro / maand (tank van 3000 liter) tot 300 euro per maand (tank van 6000 liter) [1].

Wanneer deze kosten vergeleken worden met die van het doseren van CO₂ uit rookgassen valt op dat dit niet snel economisch interessant is. Zolang men bij het stoken van de verwarmingsketels voor het doseren van CO₂ niet boven de gecontracteerde uurcapaciteit uitkomt, dan mag voor een m³ gas voor CO₂-levering alleen de commodity-prijs gerekend worden (ca. 0,12 euro per m³ aardgas waardoor CO₂ dan 0,07 euro per kg CO₂ is). De transportkosten worden voornamelijk bepaald door gecontracteerde uurcapaciteit. Door warmtebuffering kunnen deze kosten bijna volledig kunnen worden toegeschreven aan de warmtelevering. De CO₂ die in combinatie met warmtebuffering geproduceerd wordt kan daardoor als bijna gratis worden beschouwd. Hierdoor is het gebruik van zuivere CO₂.

Binnen het Besluit Glastuinbouw verlaagt het gebruik van zuivere CO₂ het totale energieverbruik, wat een lagere totaalscore geeft en gunstig is voor de beoordeling van de milieubelasting van de tuinder.

3. Randvoorwaarden voor CO₂ buffering

3.1 Ketels geven schone rookgassen

Om schade aan de gewassen in de kas te voorkomen worden er eisen gesteld aan de maximaal toelaatbare concentraties van schadelijke stoffen in de rookgassen die gebruikt worden voor CO₂ dosering. De rookgassen dienen zo min mogelijk koolmonoxide (CO), etheen (ethyleen) en andere onverbrande koolwaterstoffen te bevatten. Etheen is bijvoorbeeld een schadelijke stof die veroudering van de gewassen bevordert. De ketels worden daarom afgesteld op een zo laag mogelijke CO emissie, ver onder de humane toxiciteitsgrens. Hierdoor wordt ook de emissie voor andere componenten geminimaliseerd in de rookgassen. De rookgassen kunnen zo ongereinigd worden gebruikt voor CO₂ doseren.

Bij rookgassen van WKK installaties (met een verbrandingsmotor en relatief slechte verbranding) gaat deze relatie CO vs onverbrande koolwaterstoffen niet op en zijn rookgasreiniginginstallaties en etheenmonitors nodig. De samenstelling van het rookgas wordt weergegeven in onderstaande tabel 3.1 [3].

Tabel 3.1 Samenstelling rookgassen (voor de condensor) [3].

Rookgascomponent	Gasketel	WKK installatie met RGR
CO ₂ [v%]	9 – 10,5 %	7 – 9
CO [ppm]	0 – 50	
C ₂ H ₄ [ppm]	0 – 0,2	
NO _x [ppm]	20 – 85	
H ₂ O [%rv]*	100%	

* na de rookgascondensor is de relatieve vochtigheid van de rookgassen 100%.

De rookgassen van gasgestookte verwarmingsketels kunnen ongezuiverd worden gebruikt voor CO₂ dosering. CO₂ opslag zal geen invloed hebben op de kwaliteit van de CO₂-rijke gasstroom voor CO₂-dosering.

3.2 CO₂ buffering goed inpasbaar

CO₂ buffering moet passen binnen de bedrijfsvoering van een tuinder. Het benodigde ruimtebeslag bijvoorbeeld zal voor CO₂ buffering in dezelfde orde moeten liggen of kleiner moeten zijn als momenteel voor warmtebuffering benodigd.

Inpassingsaspecten zoals aansluiting op het CO₂ doseringssysteem en de verwarmingsketel kunnen nog wel voor praktische problemen zorgen. In tegenstelling tot een warmtebuffer waar de verwarmingsleiding kan worden doorgetrokken naar de buffer dient er bij CO₂ opslag een extra aansluiting te worden gemaakt op het rookkanaal, bijvoorbeeld na de rookgascondensor. Tevens dient er een verbinding

met het CO₂ doseringssysteem te worden gemaakt. Naar verwachting zal dit echter niet voor problemen zorgen. Er lijken dus voldoende integratiemogelijkheden met reeds aanwezige installaties en energiemaatregelen te zijn.

Op milieugebied kan gesteld worden dat door een extra mogelijkheid tot bufferen een verder gaande energiebesparing kan worden bereikt. De methode die momenteel door TNO ontwikkeld wordt gebruikt geen chemicaliën maar een vast adsorbens. Dit is milieuvriendelijk en ook arbeidshygiënisch verantwoord.

3.3 Ondersteuning vanuit overheid mogelijk

Investerings in energiebesparingsmaatregelen kunnen in een aantal gevallen door de overheid worden ondersteund door subsidies en fiscale maatregelen. In het geval van CO₂ buffering is nog onbekend welke regelingen precies in aanmerking kunnen komen. Dit komt ook omdat technologie hiervoor nog in ontwikkeling is en er op dit moment dan ook nog geen duidelijk beeld bestaat welke investeringen benodigd zijn en welke besparingen hiermee gepaard zullen gaan.

Waarschijnlijk zal CO₂ buffering in aanmerking kunnen komen voor een fiscale maatregel als de VAMIL of MIA regeling. Met deze VAMIL- en MIA-regelingen worden investeringen in bedrijfsmiddelen die in het belang zijn van de bescherming het Nederlandse milieu fiscaal gestimuleerd. De VAMIL (Aanwijzingsregeling Willekeurige afschrijving milieu-investeringen) biedt de mogelijkheid van vrije afschrijving van een investering. De MIA (Aanwijzingsregeling milieu-investeringsaftrek) biedt de mogelijkheid de fiscale winst te verlagen. Een ieder jaar opnieuw geactualiseerde milieulijst geeft aan voor welke bedrijfsmiddelen de MIA- en/of de VAMIL-regeling geldt. Op het moment dat de technologie voor CO₂ buffering beschikbaar komt kan deze worden aangemeld als bedrijfsmiddel voor deze lijst.

4. Casestudy: paprikabedrijf als intensieve CO₂ gebruiker

4.1 CO₂ behoefte verschillend voor groenten, potplanten en snijbloemen teelten

Om de haalbaarheid van CO₂ buffering te kunnen bepalen is een modelmatige beschouwing voor een voorbeeldsituatie uitgevoerd.

De teeltsoorten in de glastuinbouw zijn ruwweg in drie hoofdklassen te verdelen, groenten, snijbloemen en potplanten. Deze teeltsoorten kennen verschillen in zowel de warmtevraag als de CO₂ vraagpatronen. Niet alle teelten zijn hierbij jaarrond en bij sommige teelten worden ook gewassen gecombineerd.

Potplanten worden bijvoorbeeld vaak gecombineerd met andere gewassen waardoor een vergelijking met andere bedrijven lastig wordt. Bedrijven met potplanten kennen meestal een lage CO₂ behoefte. Daarom hebben potplantbedrijven geen warmtebuffer en lijkt CO₂-buffering voor deze groep op dit moment minder interessant.

Op bedrijven met snijbloemen wordt vaak gewerkt met warmtekracht- (WKK) installaties en belichting. WKK installaties vallen buiten deze studie, omdat daarbij de samenstelling van de afgassen in verband met CO₂-buffering ongunstiger is dan bij gasketels.

Gekozen is daarom voor een groentebedrijf als voorbeeldsituatie. Hiervoor zijn de opties tomaten, paprika's en komkommers besproken. Tomaten zijn afgefallen, omdat deze alleen bij nieuwbouw isolatie schermen plaatsen en bij bestaande kassen meestal niet. Hiermee is het gasverbruik bij nieuwbouw heel anders opgebouwd dan bij bestaande kassen. Voor komkommers is niet gekozen, omdat teelten daar door elkaar lopen en ook omdat voor deze teelt minder informatie direct voor handen is.

In overleg met productschap Tuinbouw en het ministerie van LNV is besloten de modellering rondom de haalbaarheid van CO₂ buffering uit te voeren op basis van de voorbeeldsituatie van een Paprikabedrijf. Paprika's zijn een goed gestandaardiseerd en geaccepteerd gewas en goed te modelleren. Paprika kent zowel in de zomerperiode als in de winterperiode een (piek)vraag aan aardgas.

4.2 Paprika: een CO₂ intensief gewas

Het als voorbeeld genomen bedrijf teelt rode paprika's op een oppervlak van 2,5 ha, heeft (XLS 10) isolatie schermen en is al wat ouder, namelijk zo'n 10 tot 15 jaar. Het bedrijf kan maximaal 80 m³ CO₂ per hectare per uur doseren worden en

kent een gasverbruik van zo'n 35 tot 39 m³ / m² per jaar. Dit bedrijf wordt als representatief beschouwd voor een grote groep glasgroentebedrijven. Glasgroentebedrijven doseren over het algemeen veel CO₂ en hebben bijna allemaal warmtebuffers.

4.3 Paprikakweker moet energie besparen

In 2004 is de handhaving van het Besluit Glastuinbouw van kracht geworden. In eerste instantie wordt vooral het pesticide gebruik gecontroleerd waarna in 2005 ook op energie zal worden gehandhaafd. Dit zal betekenen dat binnenkort het bevoegd gezag van tuinders kan eisen maatregelen te nemen. Het bedrijf in de voorbeeldsituatie moet de komende tijd energie gaan besparen. Zie tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Energiedoelstellingen voor paprikatuinder, de voorbeeldcase [4].*

Energiedoelstellingen voor paprikatuinder	Jaar		
Teelt: paprika, geen schermen	2003	2005	2010
Areaal: 25.000 m ²			
Aardgasverbruik: 551.000 m ³ per ha			
Weken: 52			
Huidig energie verbruik per hectare:	19,4 TJ		
normen voor dit bedrijf volgens Besluit	15,5 TJ	15,6 TJ	13,8 TJ
Benodigde besparing:	19.8%	22.4%	28.9%

Uit deze tabel blijkt dat het huidige energieverbruik van de tuinder in de voorbeeld case nog niet overeen komt met de doelstellingen die volgens GLAMI op bedrijfsniveau gelden. De tuinder in de voorbeeldsituatie zal dus maatregelen moeten nemen om meer energie te gaan besparen. Omdat het bufferen van de CO₂ uit rookgassen aardgas kan besparen kan dit wellicht interessant zijn.

4.4 Modelvorming met verschillende regelstrategieën

Om de effecten van CO₂ buffering in de voorbeeldsituatie te kunnen doorrekenen is een model opgesteld. Het model maakt gebruik van een dataset die door DLV Bouw, Milieu en Techniek is toegeleverd. Deze dataset bevat de uurlijkse waarden van de warmte- en CO₂ behoefte per ha. Aan de hand van deze dataset en model zijn de kosten voor het ingekochte aardgas berekend aan de hand van de inzet van warmte- of CO₂ buffering of een combinatie van beiden. Het model maakt hiervoor gebruik van de energietariefstructuur zoals die volgens het huidige CDS systeem gangbaar is.

Met het model zijn voor kortdurende opslag een aantal gevallen doorgerekend. De uitgangspunten, ontleent aan de praktijksituatie, zijn als volgt:

- Grootte warmtebuffer 100 m³/ha ~ 21000 MJ/ha
- Grootte CO₂ opslag 100 kg CO₂/ha

- Rendement warmteopslag 100%
- Ketelrendement 93% op bovenwaarde (35,17 MJ/m³)
- Contractcapaciteit 110 m³/h (aardgas)
- Systeemdiensten 140 €/m³h
- Commodityprijs 0,12 €/m³

De warmtebuffer is omgerekend naar een warmte-inhoud onder aanname dat de temperatuurverhoging in de buffer 50 °C is; dit levert 21000 MJ/ha.

Het model heeft drie verschillende regelconcepten, die naar keuze kunnen worden gebruikt. De regelmogelijkheden zijn (zie ook figuur 4.1 interface model):

- op uurlijkse CO₂/warmtevraag;
- op daggemiddelde warmtevraag;
- op gecontracteerde capaciteit.

Uurlijkse CO₂ en/of warmtevraag

Bij regeling van het stoken op de uurlijkse CO₂ en warmtevraag wordt de verwarmingsketel direct aangestuurd op de actuele vraag. Deze regeling is de standaard regeling op de CO₂ vraag; indien daarbij teveel warmte wordt geproduceerd, wordt deze opgeslagen in de warmtebuffer. Als deze vol is (of niet aanwezig) wordt de warmteproductie teruggeregeld, dit leidt tot een tekort aan CO₂. Het alternatief is om warmte te spuien, zodat aan de CO₂ vraag kan worden voldaan.

Daggemiddelde warmtevraag

Stoken op daggemiddelde warmtevraag is een ook in de praktijk gangbare situatie. De ketel wordt gestookt op basis van een verwachte warmtevraag. Het gematigde klimaat in Nederland maakt het dat het weer voor de volgende dag redelijk te voorspellen is.

Gecontracteerde maximale capaciteit

Door een maximale inzet van zowel warmte als CO₂ buffers kan het hele jaar op de gecontracteerde capaciteit worden gestookt zonder deze te overschrijden. Door de buffers is het bovendien mogelijk de gecontracteerde capaciteit lager te nemen dan in de huidige situaties. Dit betekent wel dat de buffers voor zowel warmte als CO₂ voldoende groot moeten zijn om langere perioden te kunnen overbruggen. Dit zal in de praktijk niet snel gebeuren omdat op voorhand nooit bekend is hoe de warmtevraag zal verlopen.

Bij de beide laatste regelingen, daggemiddelde warmtevraag en gecontracteerde capaciteit, kan een tekort aan CO₂ voorkomen. Dit is in feite niet conform de aannames van het model omdat altijd aan de opgelegde vraag dient te worden voldaan. Aangenomen is dan ook dat de ontbrekende CO₂ toch wordt geleverd door de ketel. Dit geeft een toename in het aardgasverbruik en het spuien van de bijbehorende warmte.

4.5 Toelichting op gebruik van het model

Het model maakt gebruik van een dataset, die door DLV is toegeleverd. Deze dataset bevat de uurlijkse waarden van de warmte- en CO₂ behoefte voor één hectare paprika teelt. Figuur 4.1 toont de interface van het model.

De getoonde waarden in de invoervelden geven de huidige toestand bij de tuinder weer. In deze velden kunnen naar keuze van de gebruiker andere waarden ingevuld worden.

Het model heeft drie verschillende regelconcepten, die naar keuze kunnen worden gebruikt. De regelmogelijkheden zijn:

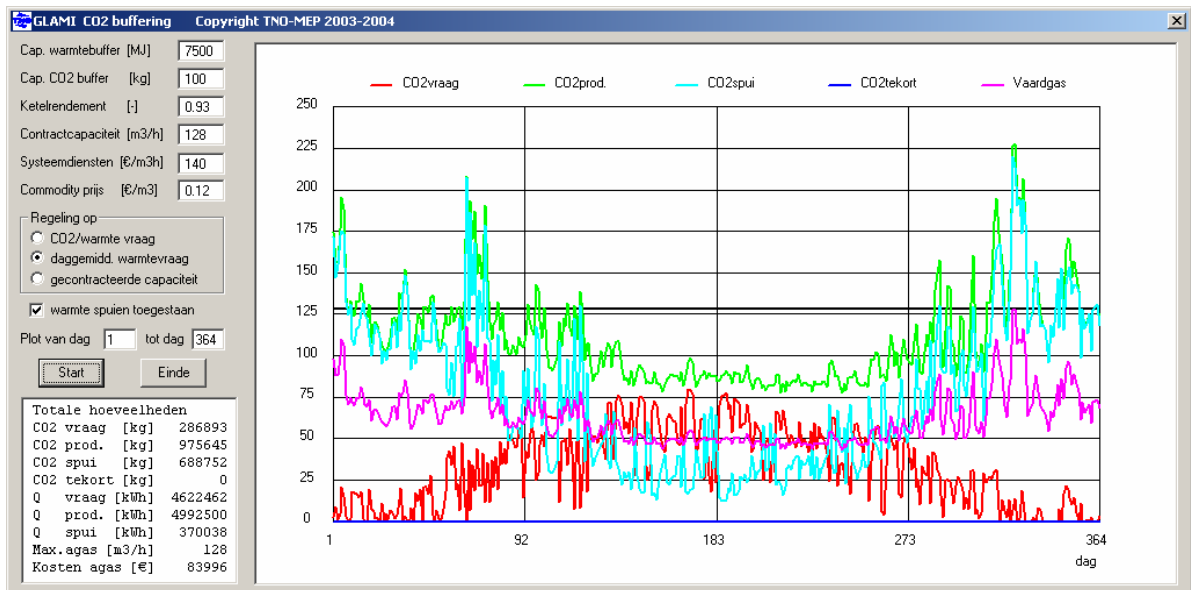
- op uurlijkse CO₂ /warmtevraag
- op daggemiddelde warmtevraag
- op gecontracteerde capaciteit

De gebruikelijke regeling is op de CO₂ /warmte vraag. Het model bepaalt hoeveel warmte wordt opgewekt bij het voldoen aan de CO₂ vraag. Indien meer warmte wordt geproduceerd dan er wordt gevraagd, wordt het overschot opgeslagen in de warmtebuffer. Indien deze vol is wordt de warmteproductie teruggeregeld, waarbij een tekort aan CO₂ ontstaat. Het alternatief is om warmte te spuien, zodat toch aan de CO₂ vraag wordt voldaan. Bij een tekort aan warmte uit de ketel wordt deze uit de buffer gehaald. Als de buffer leeg is wordt aan de warmtevraag voldaan door de ketel, waarbij het teveel geproduceerde CO₂ verloren gaat.

In de uitvoer box links onder worden de totale hoeveelheden over het gehele jaar vermeld. De op één na onderste regel geeft het maximale aardgasverbruik in het jaar weer en de onderste regel de kosten van het verbruikte aardgas. Deze kosten zijn gebaseerd op de contractcapaciteit, de prijs van de systeemdiensten en de commodity prijs van het gas.

De berekende resultaten worden geplot in de grafiek; de range van de te plotten dagen kan worden opgegeven. De grafiek toont de berekeningsresultaten; hierin is uitgezet de vraag, de productie, de gespuide hoeveelheid en het tekort aan CO₂ en de gebruikte hoeveelheid aardgas. De verticale as heeft als eenheid kg/h CO₂ of m³/h voor het aardgasverbruik. De horizontale as geeft de dag in het jaar aan. Indien meer dan 8 dagen worden weergegeven, worden in de figuur daggemiddelde waarden van iedere variabele getoond (anders zou de grafiek totaal onleesbaar zijn). Als het aantal te plotten dagen 8 is (van 1 tot 9), worden uurlijkse waarden getoond; zie figuur 4.2. De dikke horizontale zwarte lijn geeft de contractcapaciteit weer.

Voor het in detail bestuderen van het gedrag van de CO₂ buffer kan het beste voor de uurlijkse weergave over een aantal dagen worden gekozen. Dankzij de invloed van de grote warmtebuffer is het effect van de CO₂ buffer beperkt. Indien de grootte van de warmtebuffer op nul wordt gezet, is de invloed van de CO₂ buffer duidelijk aanwezig.



Figuur 4.1 Interface model, jaarpatroon paprika bedrijf en CO₂ buffering.



Figuur 4.2 Interface model, paprika bedrijf, uurlijkse weergave.

4.6 Resultaten model

Onderstaande tabel 4.2 geeft een overzicht van de berekeningsresultaten. Bij kosten aardgas zijn drie bedragen vermeld voor de drie bovengenoemde regelinstellingen.

Alle vermelde waarden gelden per ha. De resultaten worden hieronder besproken aan de hand van de situatie genoemd in de tabel.

Tabel 4.2 Resultaten van modelberekeningen met variabele grootte van warmte- en CO₂-buffers (alle vermelde waarden per ha).

Situatie:	A (geen buffers)	B (warmte-buffer)	C (aangepaste contract. capaciteit)	D (kleine warmte buffer)	E (grote CO ₂ buffer)	F (CO ₂ - en warmte-buffer)	G (grote CO ₂ - en warmte-buffer)
Warmte buffer (MJ)	0	21.000	21.000	7.500	0	7.500	7.500
CO ₂ opslag (kg)	0	0	0	0	5000	100	700
Contract cap.	200	200	128	128	200	128	128
Kosten aardgas (uurlijkse CO ₂ of warmtevraag)	€ 102.075	€ 89.222	€ 104.184	€ 104.828	€ 89.162	€ 104.763	€ 104.523
Kosten aardgas (dag-gemiddelde warmtevraag)	--	€ 95.230	€ 85.286	€ 85.286	--	€ 83.996	€ 80.120
Aardgasverbruik ten opzichte geen buffering (situatie A, 100%)		83%	83%	84%	83%	84%	83%

Begonnen is met een situatie waarin er geen buffers zijn (**situatie A**). Uit proefberekeningen is gebleken, dat de aangenomen contractcapaciteit van 110 m³/h te laag is en wegens de vaak optredende overschrijdingen tot relatief hoge kosten leidt. Daarom is de contractcapaciteit zodanig gekozen dat net geen overschrijding optreedt, dat is bij 200 m³/h. Zonder buffers moet op ieder moment aan de warmte en CO₂ vraag worden voldaan. De stookkosten bedragen dan € 102.075. Zonder buffers heeft het geen zin op daggemiddelde warmtevraag of contractcapaciteit te regelen omdat dit tot een tekort aan warmte en/of CO₂ leidt.

Vervolgens is een warmtebuffer toegevoegd (**situatie B**), daarmee dalen de kosten tot € 89.222 voor de standaard regeling. De beide andere regelingen zijn in het nadeel omdat de kosten daarbij hoger zijn. Dit wordt veroorzaakt door de hoge contractcapaciteit. Voor de daggemiddelde vraag kan deze veel lager zijn, namelijk 128 m³/h (**situatie C**). In dit geval blijkt de regeling met daggemiddelde vraag de laagste kosten (€ 85.286) te hebben.

De warmtebuffer lijkt te groot te zijn voor dit voorbeeld met paprika teelt. Nagegaan is in hoeverre de buffer verkleind kan worden (**situatie D**). Het blijkt dat een buffer van 7.500 MJ (komt overeen met ca. 36 m³) dezelfde kosten geeft.

Vervolgens is nagegaan hoe groot de CO₂ buffer moet zijn, bij afwezigheid van een warmtebuffer (**situatie E**), onder aanname van vergelijkbare kosten. Dat is bij een buffer van 5.000 kg.

Tenslotte is nagegaan in hoeverre de kosten dalen bij het gebruik van een CO₂ buffer naast de warmtebuffer; eerst van 100 kg, vervolgens van 700 kg (**situatie F**). De kosten bij regeling op daggemiddelde vraag dalen tot € 83.996, respectievelijk

€ 80.120. Dit levert een besparing op energiekosten van resp. 1,5% en 6%. De besparing bij de standaardregeling is dan minder dan 1% (**situatie G**).

Bij de uitgevoerde berekeningen blijkt de regeling op daggemiddelde warmtevraag de laagste kosten voor het ingekochte aardgas op te leveren. Dit valt ook te verwachten omdat bij deze regeling een piekvraag boven de contractcapaciteit wordt voorkomen en de contractcapaciteit daarbij ook laag is. Bij deze berekeningen “achteraf” is de daggemiddelde warmtevraag bekend; in de praktijk is dat moeilijk van tevoren in te schatten.

De regeling op contractcapaciteit is minder aantrekkelijk; er wordt vaak op een te hoog vermogen gestookt, waarbij met het overschot de buffer wordt volgehouden. Per saldo brengt dit hogere kosten met zich mee dan bij de regeling op daggemiddelde warmtevraag.

Uit bovenstaande berekeningen wordt geconcludeerd dat toevoeging van een CO₂ buffer slechts een beperkte kostenreductie van enkele procenten geeft indien er al een warmtebuffer aanwezig is. Daarnaast kan worden gezien dat de buffer in dit voorbeeld met 21.000 MJ (100 m³) eigenlijk drie maal te groot is. In de praktijk is dit normaal en wordt vooral gedaan om eventuele fouten in de regeling op te kunnen vangen.

Tenslotte kan uit tabel 4.2 gezien worden dat op het gebied van energiebesparing CO₂- en warmtebuffering een zelfde effect hebben. Voor zowel CO₂- als warmtebuffering wordt een zelfde besparing gezien van zo'n 16 tot 17%, ofwel 83 – 84% van het aardgasverbruik in het geval er geen warmtebuffer aanwezig zou zijn er toch aan zowel de CO₂ als de warmte dient te worden voldaan.

5. Resultaten en discussie

5.1 Wanneer is het interessant om CO₂ te bufferen?

Als een tuinder overweegt een warmtebuffer aan te schaffen, dan is doorgaans de reden daarvoor, dat men CO₂ wil gaan doseren of die wil gaan opvoeren. Daarnaast kan het zijn dat hij zijn gas-afnamepatroon wil afvlakken (peakshaving). Om te bepalen of een warmtebuffer interessant is wordt bepaald wat de verwachte toename van de energiekosten wordt en dit vervolgens vergeleken met alternatieven, zoals vloeibaar CO₂ inkopen en straks mogelijk dus ook CO₂-buffering.

Het stookpatroon en de veranderingen daarin met buffering of andere CO₂ voorziening van een tuinder zijn dus bepalend voor de keuze die wordt gemaakt. Het stookpatroon is voor het gemak onder te verdelen in een winter- en zomerperiode.

De winterperiode

In de winter is er voldoende CO₂ omdat de warmtevraag groot is en de verwarmingsketels daardoor een hoge inzet kennen. Piekoverschrijdingen, dat wil zeggen een afgenomen hoeveelheid gas hoger dan de gecontracteerde capaciteit (“de contractcapaciteit”), worden in dit geval door warmtebuffers weggenomen. Warmtebuffers leveren extra, eerder opgeslagen warmte, in zeer koude dagen wanneer er een grote warmtevraag bestaat. Dit is vooral s’ nachts het geval. Piekoverschrijdingen kunnen niet meer voorkomen worden wanneer een periode van extreme kou te lang aanhoudt. De warmtebuffers kunnen dan niet meer “opgeladen” worden aangezien alle warmte (van de beschikbare contract capaciteit) nodig is voor de warmtevraag.

Vrijheidsgraden voor een tuinder bestaan dan uit het feit dat er een keuze gemaakt kan worden voor een lagere kastemperatuur zodat bijvullen van de warmtebuffer kan plaatsvinden, of het op temperatuur houden van de kas en een piekoverschrijding toestaan. Dit is in hoge mate afhankelijk van de teelt en de gevolgen voor groei van de teelt.

CO₂ bufferen in de winter heeft zin indien een tuinder (regelmatig) een hoeveelheid CO₂ wil doseren die, omgerekend in hoeveelheid aardgas (1 m³ aardgas ≡ 1.78 kg CO₂), boven de contractcapaciteit uitkomt en er bovendien geen warmtebuffer aanwezig is. Daarnaast moeten de kosten van warmtebuffering en / of CO₂ buffering vergelijkbaar zijn. Een tuinder kan dus de keuze maken tussen een warmtebuffer en een CO₂ buffer. De warmtebuffer is in feite een indirecte CO₂ buffer die de bij CO₂ doseren vrijgekomen warmte buffert en deze warmte in de opvolgende nacht vrijgeeft. Het voordeel van de CO₂ buffer is hier dat een CO₂ voorraad kan worden opgebouwd door regelmatig meer te stoken dan nodig voor de warmtevraag. CO₂ kan dan op elk moment worden ingezet.

De zomerperiode

Een tuinder zonder warmtebuffer zal in de zomer (ruwweg week 16 tot 40) CO₂ moeten bijkopen of maken om in de behoefte te voorzien. Met name bij groenteteelt, zoals paprika, tomaat en komkommer wordt 's zomers aardgas verstoekt speciaal voor CO₂ dosering. Een warmtebuffer zorgt er dan voor dat de extra stookwarmte voor het maken van CO₂ opgeslagen wordt en 's nachts ingezet kan worden. Indien er meer CO₂ benodigd is dan er 's nachts aan warmte gevraagd wordt, zal de buffer niet leeg raken en moet de warmte gespuid worden. In theorie zou de warmte die gespuid wordt kunnen worden opgeslagen en in de winter worden ingezet. Dit is vergelijkbaar met de opslag van CO₂ die geproduceerd wordt in de winter en in de zomer gebruikt zou kunnen worden.

Een tuinder zal van dag tot dag zijn teeltwijze bekijken en een en ander tegen elkaar afwegen. Zo zal de tuinder bekijken of hij met extra, kostbare, maatregelen (zoals CO₂ dosering) de productie en dus opbrengst zal kunnen verhogen. Dit moet dan natuurlijk wel opwegen tegen de gemaakte kosten. Echter, de tuinder zal te allen tijde zijn gewas tegen bedreigende condities moeten beschermen. Dit zijn condities waarbij het gewas onherstelbaar beschadigd wordt of een kritische groeifase niet gehaald wordt. Hierbij zal een tuinder bijvoorbeeld zeker zijn contractcapaciteit overschrijden om zijn gewas te beschermen. Indien een gewas minder gevoelig is voor bijvoorbeeld temperatuur, zal een tuinder kunnen overwegen minder te stoken teneinde een piekoverschrijding te voorkomen.

Voor de voorbeeldsituatie van het paprikabedrijf kan echter gesteld worden dat het voor deze tuinder vanuit kostenoverwegingen niet interessant is om CO₂ te bufferen.

5.2 Lange termijn (seizoen) opslag

De productie van CO₂ van de besproken case van de paprikatuinder bedraagt zo'n miljoen kilogram per jaar indien warmte gespuid wordt ten behoeve van CO₂ productie en de daggemiddelde regeling gehanteerd wordt. De CO₂ vraag is echter zo'n 287.000 kg. Dit betekent dat er per jaar netto zeer veel CO₂ gespuid wordt. Helaas vindt de productie hiervan voornamelijk plaats in de wintermaanden. In het rapport "CO₂ in de glastuinbouw" [1] is aandacht besteed aan de kosten van deze zogenaamde seizoensopslag. Voor paprika teelt met een CO₂ voorziening van 450 ppm overdag bij een gasprijs van 0,12 €/m³ wordt een bedrag van €21.000,- per ha per jaar als bestedingsruimte voor CO₂ scheiding en opslag genoemd.

Een theoretisch kostenminimum wordt gevonden in de volgende situatie: Sluit een lage (doch voldoende voor warmtevoorziening) contractcapaciteit af en laat gedurende het hele jaar de ketel op dezelfde (maximale) contractcapaciteit branden. Op deze manier wordt de jaarlijkse warmtebehoefte uitgesmeerd en worden de buffers in periode van minder warmtevraag (de zomer) opgeladen. De buf-

fers zorgen in de zomer voor voldoende CO₂ overdag en warmte s' nachts, in de winter voor de warmte voor dag en nacht. In de winter is er voldoende aanbod voor CO₂.

Als we deze situatie voor de voorbeeldcase uitrekenen komt dit neer op de volgende resultaten (tabel 5.1):

Tabel 5.1 *Verschillende cases bij regeling op gecontracteerde capaciteit.*

	Case 1	Case 2	Case 3
Contractcapaciteit [m ³ /h]	59	80	110
Grootte van warmtebuffer [MJ]	600.000	72.000	12.000
Grootte van CO ₂ buffer [kg]	1.100	7.000	7.000
Kosten aardgas [€]	69.312,-	72.252,-	76.452,-

Om het hele jaar door voorzien te zijn van warmte en CO₂, uitsluitend geleverd door de ketel, is in het eerste geval een extreem grote warmtebuffer nodig. Het behoeft geen uitleg dat een dergelijke situatie niet reëel is, doch een zuiver theoretische. Opvallend is dat in dit geval een relatief kleine CO₂ buffer nodig is voor de CO₂ voorziening van de zomer. De grootte van de CO₂ buffer neemt toe met een verhoging van de contract capaciteit, doch blijft vanaf 80 m³/h constant op 7000 kg CO₂. De warmtebuffer is bij een contract capaciteit van 80 m³/h nog vrij fors van omvang, namelijk zo'n 350 m³.

Genoemde cases vormen een theoretisch kostenminimum. De CO₂ buffers worden hierbij in de wintermaanden gevuld om het tekort in de zomer, dat ondanks de warmtebuffer nog ontstaat, weg te werken.

5.3 Vergelijking warmte- en CO₂ buffering

Warmte- en CO₂ buffering uitwisselbaar?

Verbranding van aardgas in verwarmingsketels levert warmte en CO₂. Buffering van warmte en CO₂ is daardoor ook uitwisselbaar. Onderstaande tabel 5.2 geeft een indruk hoeveel CO₂ er op indirecte wijze gebufferd wordt door een warmtebuffer.

Tabel 5.2 *CO₂ op indirecte wijze gebufferd door een warmtebuffer.*

Capaciteit warmte- buffer [MJ]	Inhoud warmte- buffer [m ³]	Equivalent met kg CO ₂ ¹	Kosten warmtebuffer ²
19.000	90	1040	45.000
25.000	120	1387	52.000
74.000	350	4046	75.000

¹ uitgegaan is van een temperatuurverschil van 50 °C over de warmtebuffer

² kosten inclusief aansluiting, regeling, expansie uitbreiding beton en isolatie [1]

Verliezen

Warmte is, in tegenstelling tot CO₂ niet lang op te slaan. In de praktijk lijkt dit mee te vallen. Het warmteverlies van een warmtebuffer is slechts 2%, op de totale jaarlijkse warmtevraag. Hierdoor gaat slechts 1% verloren (slechts een deel van de warmte wordt tijdelijk in de warmtebuffer opgeslagen). Bij de nieuwste buffers is het warmteverlies zelfs gereduceerd tot 1% van de opgeslagen warmte.

CO₂ opslag zal in principe zonder verliezen kunnen plaatsvinden. Door afsluiten van het systeem waarin de CO₂ is opgeslagen zullen verliezen nihil zijn.

Peakshaving

Een situatie waarbij alleen een CO₂ buffer aanwezig is zal voor de meeste teelten geen peakshaving als gevolg hebben, doordat het CO₂ aanbod op zo'n koude dag ruimschoots voldoende is, en de warmte niet kan worden opgeslagen.

Wel interessant lijkt het optimalisatie-instrument dat in 2004 door Gasunie is ingevoerd. Met het 'off-peak' instrument heeft de tuinder voordeel indien de afname gedurende de nacht en/of middag meer is dan gedurende de ochtend en aan het begin van de avond. CO₂ buffering kan hierbij dan een rol spelen door deze perioden te overbruggen en kan wellicht naast een warmtebuffer worden ingezet. Hierdoor kan er op goedkope uren extra gedraaid worden ("off-peak stoken") en zowel warmte als CO₂ worden opgeslagen.

Andere aspecten zijn niet onderscheidend voor warmte en CO₂ opslag

Voor andere aspecten zullen er voor warmte en CO₂ opslag geen grote verschillen te verwachten zijn.

5.4 Perspectievolle mogelijkheden voor CO₂ buffering

Eén van de onderzoeksvragen was hoe de resultaten van de studie te extrapoleren naar de gehele sector. Er zijn in de studie nog een aantal andere perspectievolle mogelijkheden geïdentificeerd maar nog niet verder modelmatig uitgewerkt. Dit betreft de mogelijkheden voor CO₂ buffering bij:

- bedrijven met belichte teelt en WKK (bijvoorbeeld roos of tomaat);
- centrale CO₂ levering (bedrijven met beperkte afnamecapaciteit).

Deze mogelijkheden zijn hieronder kort weergegeven.

5.4.1 CO₂ buffering mogelijk interessant bij warmtekrachtinstallaties

Tijdens de studie zijn er veel inzichten verkregen, onder andere over een groep bedrijven waar waarschijnlijk een grote behoefte aan CO₂ buffering bestaat. Dit zijn de ca. 2000 bedrijven met warmtekrachtinstallaties (WKK). Het doseren van CO₂ is slechts bij een deel van deze WKK's mogelijk. Momenteel worden de rook-

gassen van deze warmtekrachtinstallaties bij een groot aantal bedrijven (ca. 250) middels rookgasreinigingssystemen (RGR) geschikt gemaakt voor CO₂ dosering. De inzet van deze warmtekrachtinstallaties is voornamelijk bedoeld om elektriciteit op te wekken voor de belichting. De draaiuren zijn hierbij niet geheel overlappend met zowel de warmte als ook CO₂ behoefte van kas. Buffering van warmte is ook bij deze bedrijven gangbaar maar geeft geen oplossing voor het extra doseren van CO₂. De meeste van deze bedrijven hebben daarom hulpketels staan die voorzien in de benodigde extra CO₂ (en warmte).

Voor deze bedrijven is CO₂ buffering geen vervanging voor de warmtebuffer maar een mogelijkheid om het gebruik van hulpketels overbodig te maken. In hoeverre dit vergelijkbaar is voor oud- en nieuwbouwsituaties moet nog worden onderzocht.

Daarnaast is het voorzien van een oplossing voor CO₂ buffering bij de bedrijven met WKK installaties zonder rookgasreinigingssysteem interessant. De rookgasreinigingssystemen die deze rookgassen geschikt maken voor gebruik in de kas zijn zeer kostbaar (ca 100.000 – 200.000 Euro). Een ideaal CO₂ bufferingsysteem zou bij voorkeur tegelijk reiniging- en buffering moeten verenigen. Dit zal echter technisch nog de nodige aandacht vergen en verder moeten worden uitgewerkt. Wel kunnen er op korte termijn mogelijkheden liggen doordat met CO₂ buffering de inzet van de ketels voor CO₂ dosering bij deze bedrijven beter kan worden afgestemd op het gasafnamepatroon.

CO₂ buffering lijkt daarom voor toepassing bij WKK interessant en geen vervanging voor een al bestaande oplossing. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen wat het milieurendement en economisch perspectief is bij deze toepassing. Zie ook tabel 5.3.

Tabel 5.3 Mogelijkheden voor CO₂ buffering bij andere teelten.

Type teelt	Voorbeeld	Warmtebuffering	CO ₂ buffering (in plaats van warmtebuffering)	CO ₂ buffering én warmtebuffering
Onbelicht energiebron verwarmingsketel	Paprika Tomaat Komkommer Aardbei Aubergine potplanten	++ (peakshaving levert voordelen door verlaging contractcapaciteit)	+ (geen peakshaving, verder economisch vergelijkbaar met warmtebuffering)	+ (voegt niet veel toe)
Belicht energiebron wkk installatie*	Tomaat Roos Chrysant Anjer Freesia Gerbera		++ (peakshaving, kan economische voordelen bieden door verlaging contractcapaciteit of optimalisatie instrumenten)	++ idem aan CO ₂ buffering

* Bij de WKK installaties is er onderscheid te maken met en zonder RGR en eilandbedrijf of teruglevering. Er is onderscheid van de geproduceerde CO₂ hierbij door de WKK of de ketel wordt geleverd en op welke manier de WKK ingezet wordt (eilandbedrijf of teruglevering aan het net). Verwacht wordt dat CO₂ buffering voor al deze situaties kan leiden tot besparingen op de aardgaskosten.

5.4.2 CO₂ buffering mogelijk interessant bij centrale levering van CO₂ door derden

CO₂ buffering is mogelijk ook interessant bij centrale levering van CO₂ door derden. Hierbij kan bijvoorbeeld het ROCA project worden genoemd waarbij diverse tuinders zijn aangesloten op een centrale leiding met rookgassen van een STEG centrale. Deze tuinders hebben een continue bron van rookgas CO₂ maar hierbij is de beschikbare CO₂ capaciteit voor een aantal tuinders te beperkt. Door deze tuinders zijn extra voorzieningen zoals ketels bij geplaatst. Omdat er maar voor een beperkt aantal uren een CO₂ vraag is kan buffering van CO₂ voordeel leveren.

Een andere ontwikkeling rondom centrale levering van CO₂ is het OCAP project. In december 2003 is bekend geworden dat OCAP medio 2005 zuivere CO₂ van een raffinaderij gaat leveren aan grote glastuinbouwgebieden in het Westland.

Verder onderzoek zal ook hier moeten uitwijzen wat het milieurendement en economisch perspectief is bij deze toepassing.

6. Conclusies en aanbevelingen

Op de vraag of CO₂ buffering interessant is voor de glastuinbouw, is voor een paprikabedrijf als voorbeeldsituatie onderzocht wat de besparingen kunnen zijn op energie en energiekosten. Met een model zijn verschillende scenario's doorgerekend met als voorwaarde dat aan de warmte- en CO₂ vraag van de teelt voldaan wordt. Andere teeltaspecten, zoals bijvoorbeeld extra groei door extra CO₂ dosering, zijn door het model buiten beschouwing gelaten.

Op basis van de gevonden resultaten kan gesteld worden dat voor genoemd paprikabedrijf:

- een CO₂ buffer in plaats van een warmtebuffer economisch onhaalbaar is. Gebruik van een CO₂ buffer levert geen mogelijkheden voor verlagen van de contractcapaciteit en het voorkomen van piekoverschrijdingen (peakshaving), zoals de warmtebuffer dit kan;
- een combinatie van warmte- en CO₂ buffer kan een geringe kostenbesparing opleveren, echter te weinig voor een eventuele investering in een CO₂ buffer;
- de energiebesparing die met alleen CO₂ buffering kan worden bereikt vergelijkbaar is met de energiebesparing gerealiseerd door een warmtebuffer.

Dit geldt naar verwachting ook voor andere glasgroentebedrijven met een verwarmingsketel.

Wel wordt verwacht dat CO₂ buffering bij andere teelten, zoals belichte teelten met een WKK installatie of bij centrale levering van CO₂, interessant kan zijn. In deze situaties kan CO₂ buffering mogelijkheden bieden die niet met warmtebuffering kunnen worden bereikt. Aanbevolen wordt daarom om verder onderzoek uit te voeren naar de haalbaarheid voor deze situaties.

7. Literatuur

- [1] Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2003 – 2004 (KWIN)
- [2] CO₂ in de glastuinbouw. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente Aalsmeer/Naaldwijk. 3e druk (1999)
- [3] CO₂ - bemesting met rookgassen van w/k-gasmotoren, Cogen Projects, september 2003
- [4] Berekeningsmethode voor energiebesparingdoelstellingen GLAMI:
<http://www.zibb.nl/tuinbouw/glastuinbouw/index.asp>

8. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Productschap Tuinbouw Ministerie van LNV, GLAMI programma

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Mw.Ir. P.D.M. de Boer

Dr.Ir. R. van der Welle

Ir. D.C. Heslinga

Ir. B. Henstra

Ir. W.A.J. Appelman

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

DLV Bouw, Milieu en Techniek B.V.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

juli 2003 – april 2004

Ondertekening:

Goedgekeurd door:

Ir. W.A.J. Appelman
projectleider

Ir. H.S. Buijtenhek
hoofd Expertiseteam