

SW
HW

n. 97-68

Dienst Landbouwkundig
Instituut voor Milieu- en A

Energiebesparing door warmtebuffers in de glastuinbouw

Fase 1 voorstudie en meetmethode – ontwikkeling
Eindrapportage

J.C. Bakker, B.J.v.d.Sluis, F.L.K. Kempkes,
H.F. de Zwart

imag-dlo



Lei-dlo

Novem
↙

Nota P 97 - 68
Oktober 1997



SW
HW
n.p 97-68

Energiebesparing door warmtebuffers in de glastuinbouw

Fase 1 voorstudie en meetmethode-ontwikkeling

Eindrapportage



imag - dlo



lei - dlo

Nederlandse onderneming voor energie en milieu bv



Energiebesparing door warmtebuffers in de glastuinbouw, Fase 1: voorstudie en meetmethode-ontwikkeling. J..C. Bakker, B.J. van der Sluis, F.L.K. Kempkes, H.F. de Zwart

- Wageningen : DLO Instituut voor Milieu-en Agritechniek (IMAG-DLO). -

Eindrapportage van een onderzoeksproject medegefinancierd door Novem bv.

Trefwoorden: kassen, energiebesparing, warmtebuffers, modellen.

© 1997 IMAG-DLO, Postbus 43, 6700 AA Wageningen

Telefoon 0317-476300, Telefax 0317-425670

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No parts of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0935 5617

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	4
1. Inleiding	5
2. Opzet en uitvoering	6
2.1 Inventarisatie bedrijven en buffers	6
2.2 Ontwikkeling meetmethode	6
2.2.1 Selectie bedrijven	6
2.2.2 Metingen en meetperiode	7
2.2.3 Modelaanpassing en berekeningen	7
3 Resultaten	9
3.1 Inventarisatie	9
3.1.1 CO ₂ dosering	9
3.1.2 Warmteopslag in relatie tot brandstofverbruik, brandstofintensiteit en bedrijfsgrootte	9
3.1.3 Aansluitwijze van de warmte-opslagtank op het verwarmingssysteem	9
3.2 Ontwikkeling meetmethode	11
3.2.1 Gerealiseerde lucht- en buistemperatuur	11
3.2.2 Controle en aanpassing KASPRO	12
3.2.3 Energiestromen naar de buffer	12
3.2.4 Energiebesparing door de buffer	13
3.2.5 Effect van het referentieklimaat bij de besparingsberekeningen	13
3.2.6 Extra CO ₂ dosering door plaatsing of aanpassing van een warmtebuffer	13
3.2.7 Verbetering buffergebruik	14
4 Discussie en conclusies	15
4.1 Aanbevolen meetmethode en berekeningsstappen bij praktijkevaluatie	17
5 Plan van aanpak praktijkevaluatie	18
6 Referenties	20
Bijlage 1: Deelnemende bedrijven	21
Bijlage 2 Berekeningsschema	22
Bijlage 3 Resultaten berekeningen	23
Bijlage 4 Kengetallen en beschrijvingswijze buffergrootte	31

Voorwoord

De Nederlandse overheid en het tuinbouwbedrijfsleven zijn in het kader van de Meerjarenaafspraken Energie Glastuinbouw (MJA-E) overeengekomen de energie-efficiëntie in de glastuinbouw te verbeteren. Het gebruik van warmtebuffers in de glastuinbouw vormt hierbij een belangrijke optie. Dit onderzoek heeft als doel het ontwikkelen van een meetmethode om in de praktijk de effecten van warmtebuffers op het energiegebruik te kunnen kwantificeren.

Het onderzoek is uitgevoerd door het IMAG-DLO en het LEI-DLO. Vanuit het IMAG-DLO hebben de volgende personen een bijdrage geleverd: J.C. Bakker (projectleiding), N.J. van de Braak, F.L.K. Kempkes, R. Telle en H.F. de Zwart. De bijdrage door het LEI-DLO is verzorgd door B. J. van der Sluis.

Het IMAG-DLO heeft de meetmethode ontwikkeld en het LEI-DLO heeft de informatie verzameld over de aanwezigheid van buffers en de huidige wijze van inpassing.

Het onderzoek is in deze fase mede gefinancierd door de Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu (NOVEM). Bij het onderzoek hebben een viertal Westlandse tuinders hun bedrijf beschikbaar gesteld voor het uitvoeren van de metingen.

Het hier beschreven onderzoek heeft inmiddels een vervolg gekregen met de uitvoering van een grootschalige praktijkevaluatie op 40 bedrijven. Dit vervolgonderzoek, met een looptijd van twee jaar, wordt mede gefinancierd door de NOVEM en het Landbouwschap.

Samenvatting

Om de energie-efficiëntie in de glastuinbouw te verbeteren zijn in principe verschillende technische mogelijkheden aanwezig zoals bij voorbeeld energieschermen, het gebruik van een rookgascondensor, de inzet van Warmte Kracht Koppeling en warmtebuffers. Het gebruik van warmtebuffers in de glastuinbouw is momenteel nog relatief beperkt terwijl de potentiële penetratie aanzienlijk is.

Doelstelling van dit onderzoek is het verkrijgen van kwantitatief inzicht in de te behalen energiebesparing door warmtebuffers om daarmee bijdrage te leveren aan een verdere penetratie en betere inzet van warmtebuffers.

Om dit te kunnen realiseren is als eerste stap een meetmethode ontwikkeld om de energiebesparing door het gebruik van buffers te kunnen bepalen en tevens is geïnventariseerd op welke bedrijfstypen buffers worden gebruikt. De ontwikkelde meetmethode zal in een vervolgproject, gericht op een uitgebreide praktijkevaluatie worden ingezet.

Bij de inventarisatie van de bedrijven met en zonder warmtebuffer blijkt dat buffers vooral worden toegepast op de grotere bedrijven met een hoge brandstofintensiteit. Er zijn geen aanwijsbare verschillen in verwarmingssysteem en overige bedrijfsuitrusting. De bedrijven zonder buffer zijn in het algemeen kleiner, namelijk 1 ha ten opzichte van 2 ha voor de bedrijven met buffer.

Voor het ontwikkelen van de meetmethode zijn, op twee bedrijven met en twee zonder buffer, gedurende ruim vier maanden uitgebreide metingen uitgevoerd aan gasverbruik, CO₂ dosering, kaslucht- en buistemperaturen en de warmtestroom. De meetgegevens zijn met behulp van een eerder ontwikkeld, maar voor deze specifieke toepassing aangepast, simulatiemodel verwerkt.

Bij het ontwikkelen van de meetmethode zijn twee mogelijkheden vergeleken:

- metingen van het kasklimaat in combinatie met modelberekeningen
- meting van de warmtestroom in combinatie met berekeningen

Beide methoden bleken vergelijkbare resultaten op te leveren met betrekking tot de berekende energiebesparingen door de buffer. Voor een uitgebreide praktijkevaluatie is daarom vanuit kostenoverwegingen gekozen om te kiezen voor de combinatie met modelberekeningen.

Op de twee bedrijven met buffer werden niet systematisch hogere buistemperaturen in de nacht aangehouden dan bij bedrijven zonder buffer, voorlopig is daaruit geconcludeerd dat er op de bufferbedrijven geen warmte onnodig wordt afgevoerd om de buffer te legen.

De aanwezige buffers worden niet altijd volledig gevuld en/of geleegd waardoor de beschikbare warmteopslagcapaciteit niet volledig wordt benut. De gemiddelde warmtestroom naar de buffers was over de meetperiode ongeveer 80-85% van de maximale buffercapaciteit, gemiddeld blijft dus 15% van de buffercapaciteit onbenut.

Ondanks de aanwezigheid van een buffer wordt incidenteel 's nachts bijgestookt. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn: te kleine- of onvoldoende gevulde buffer, onvoldoende uitkoelen, parallel schakeling van meerdere buffertanks. Een eerste indicatieve berekening gaf aan dat bij een gemiddeld 5 °C mindere uitkoeling ongeveer 7% van de buffercapaciteit onbenut blijft.

Door verdere optimalisatie van het buffergebruik kan de hoeveelheid gedoseerde CO₂, bij een gelijkblijvend energiegebruik dus nog verder toenemen. In een praktijkevaluatie dient met name aan dit aspect aandacht te worden geschonken.

Voor de uitvoering van een praktijkevaluatie zijn een aantal aanbevelingen opgenomen met betrekking tot opzet en uitvoering.

1 Inleiding

In 1994 werd in de Nederlandse glastuinbouw voor het verwarmen van tuinbouwkassen circa 127 PJ aan energie gebruikt. In de Meerjarenaafpraak Energie Glastuinbouw (MJA-E) zijn de Ministeries LNV en EZ, met het Landbouwschap overeengekomen de energie-efficiëntie in de glastuinbouw te verbeteren.

Om dit te bereiken zijn in principe verschillende opties mogelijk: verhoging van de productie bij een gelijkblijvend energieverbruik, een lager energieverbruik bij een gelijkblijvende productie, of een combinatie van deze twee. Voor de besparing van energie staan de tuinder verschillende technische mogelijkheden ter beschikking zoals bij voorbeeld energieschermen, het gebruik van een rookgascondensor, de inzet van Warmte Kracht Koppeling en warmtebuffers.

In de Meerjarenaafpraak-Energie wordt gestreefd naar verhoging van de energie-efficiëntie. Deze doelstelling lijkt realiseerbaar maar het absolute brandstofverbruik is in de afgelopen jaren niet duidelijk afgenomen. Een van de oorzaken van het hoge brandstofverbruik is het steeds intensiever doseren van CO₂ in de kas en het gebruik van minimum buistemperaturen. Met het intensiever doseren van CO₂ wordt gestreefd naar een hoger produktieniveau. Dit gebeurt vaak in perioden zonder warmtevraag en kan in de nabije toekomst verder toenemen. CO₂-doseren gebeurt in hoofdzaak met rookgasen uit de gasketel. Tijdens het CO₂-doseren met de ketel komt warmte vrij, op een moment dat er niet altijd warmtevraag in de kas is. De overtollige warmte kan men afvoeren (b.v. afluchten) of tijdelijk opslaan in een warmtebuffer. De opgeslagen warmte kan in een periode met warmtevraag benut worden (b.v. 's nachts). De hiermee te realiseren energiebesparing wordt geschat op 5-10%. Het gebruik van warmtebuffers in de glastuinbouw is momenteel beperkt tot ongeveer 13% van de bedrijven (Van der Velden et al., 1996). Het al of niet toepassen van warmtebuffers door tuinders is onder andere afhankelijk van de economische haalbaarheid. Kwantitatief inzicht in de te behalen energiebesparing door warmtebuffers kan een belangrijke bijdrage leveren aan een verdere penetratie en betere inzet van warmtebuffers.

Door gezamenlijke financiering van LNV en Novem bv heeft IMAG-DLO met medewerking van het LEI-DLO de eerste fase van een onderzoeksproject met als titel: "**Energiebesparing met warmtebuffers in de glastuinbouw**" (**Fase 1, Ontwikkeling meetmethode en verkenning van de mogelijkheden voor een praktijkevaluatie**) kunnen uitvoeren. Deze eerste fase van het onderzoek had als doel de ontwikkeling van een meetmethode om de energiebesparing door het gebruik van buffers te bepalen en het inventariseren van de bedrijfstypen waar buffers worden gebruikt.

In dit rapport worden de uitvoering en de resultaten van fase 1 besproken. Op basis van de resultaten is een opzet gemaakt voor een evaluatie van het gebruik van warmtebuffers in de praktijk.

2 Opzet en uitvoering

2.1 Inventarisatie bedrijven en buffers

Om een beeld te krijgen van de typen bedrijven die warmtebuffers gebruiken en de wijze waarop deze zijn ingepast op het bedrijf is door LEI-DLO een inventarisatie uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van gegevens uit de databank van "Algemene monitoring" en andere specifieke energieprojecten uitgevoerd door LEI-DLO en/of IMAG-DLO.

2.2 Ontwikkeling meetmethode

De aanwezigheid van een buffer geeft de tuinder de mogelijkheid om het aanbod van warmte- en CO₂ tot op zekere hoogte te ontkoppelen. Op bedrijven met en zonder buffer treden daardoor in de praktijk momentaan verschillende kasklimaatomstandigheden op. Dit is het gevolg van verschillen in bijvoorbeeld een andere CO₂-dosering (op buffer bedrijven is de dosering meestal hoger) en een andere buistemperatuur (op bufferbedrijven wordt de bij het CO₂ doseren gegenereerde warmte opgeslagen, zonder een buffer moet deze warmte via het verwarmingssysteem worden afgevoerd zoda de buistemperatuur hoger kan liggen) en luchting. Op bedrijven met een buffer verschillen hierdoor, onder dezelfde buitenomstandigheden, zowel de CO₂ concentratie, de kasluchttemperatuur als de luchtvochtigheid van bedrijven zonder buffer. Deze verschillen in kasklimaat leiden tot verschillen in fotosynthese, verdamping, groei en ontwikkeling en daarmee in productie en kwaliteit. Voor het verkrijgen van inzicht in de werkelijke energiebesparing en benutting van de warmte uit de buffer is hierom vergelijking van deze twee situaties in de praktijk niet geschikt.

Omdat een rechtstreekse praktijkvergelijking niet mogelijk is, is een indirecte methode ontwikkeld die is gebaseerd op een combinatie van metingen en modelberekeningen. Daarbij zijn twee methoden met elkaar vergeleken:

- a - meting van de warmtestroom naar en vanuit de buffer met behulp van flowmeting en temperatuurmetingen
- b-berekeningen op basis van gemeten klimaatgegevens en gemeten gasverbruik.

In de paragrafen 2.2.1 t/m 2.2.3 wordt nader ingegaan op de gehanteerde aanpak.

2.2.1 Selectie bedrijven

Er zijn vier bedrijven met een vroege tomatenteelt geselecteerd: twee bedrijven met een warmtebuffer en twee bedrijven zonder buffer. Reden voor de keuze van tomaat is dat bij dit gewas veel warmte-opslag wordt toegepast en dat daarbij grote verschillen in opslagcapaciteit voorkomen (van der Sluis et. al., 1995). De bedrijven, drie in 's Gravenzande en één in Maasdijk, zijn geografisch dicht bij elkaar gekozen waardoor de verschillen in buitenomstandigheden beperkt blijven. Hierdoor kan worden volstaan met verzamelde buitenklimaatgegevens (straling, temperatuur, windsnelheid) op één locatie. Bij de selectie is een aantal criteria gehanteerd: moderne kassen, poothoogte minimaal 3,5 meter (i.v.m. hoge draad tomaat), alleen buisverwarming, een ketel met condensor, substraatteelt en vroege plantdatum. Op alle bedrijven werd CO₂ gedoseerd vanuit de ketel, op één van de bedrijven zonder buffer werd ook aanvullend zuivere CO₂ gedoseerd. Dit heeft geen verdere consequenties voor de verder uitgevoerde berekeningen.

Tijdens de selectie is getracht bedrijven met eenzelfde type tomaat te vinden, dit bleek echter niet haalbaar. Daarom is besloten om één bedrijf met en één zonder buffer te kiezen met een tussentype tomaat en daarnaast één bedrijf met en één zonder buffer met tros tomaat.

De details van de bedrijven zijn in bijlage 1 schematisch weergegeven.

2.2.2 Metingen en meetperiode

De oorspronkelijke planning ging uit van metingen vanaf april tot en met oktober. In deze periode wordt de warmtebuffer effectief ingezet en is in vergelijking met de winter de warmtebehoefte overdag laag en de CO₂-behoefte hoog. De volgende kasklimaat- en verbruiksgegevens zijn geregistreerd en als gemiddelde per 15 minuten opgeslagen:

- kasluchttemperatuur
- buistemperatuur (-temperaturen)
- hoeveelheid gedoseerde CO₂
- gasverbruik van de ketel
- warmtestroom uit de buffer (indien aanwezig)

De inbouw van de warmtestroommeters is in overleg met de tuinder en zijn verwarmings-installateur uitgevoerd. De warmtestroommeters bestaan uit magnetisch inductieve flow-meters die, tezamen met een gepaarde set PT-100 elementen de warmtestroom konden berekenen. Bij beide bedrijven met buffer is een ander type warmtestroommeter gebruikt in verband met de verschillende diameters van de aansluitleidingen en de gewenste doorstroomsnelheden. Hierbij is door het zeer koude voorjaar een vertraging van ruim drie weken opgetreden omdat gewacht moest worden tot een geschikt moment waarop de verwarming volledig kon worden uitgeschakeld. Hierdoor waren beide meters pas eind april ingebouwd. Hierdoor is per 1 april gestart met de gegevensverzameling op twee bedrijven.

Om onafhankelijk van het debiet in het verwarmingsnet te kunnen meten is gekozen voor het meten van één buistemperatuur halverwege op een representatieve spiraal per groep in plaats van het meten van de temperatuur van aanvoer- en retourwater. Van de verwarmingsgroepen is hiervoor bij een vaste buistemperatuur met een infra-rood thermometer de buistemperatuur van de spiralen bepaald om te zien of er geen grote afwijkingen tussen spiralen onderling bestonden. Het NUTS bedrijf Westland heeft gezorgd voor het controleren en geschikt maken van de gasmeters voor uitlezing door de dataloggers.

Bij het testen van de meetinstallatie bleek een aantal storingen op te treden als gevolg van een slechte kwaliteit geleverde thermokoppelkabel en mogelijk door inductiespanningen. Op een aantal bedrijven zijn daarom opnieuw thermokoppelkabels getrokken of vervangen door PT-100 sensoren. Tevens bleek de warmtestroommeter op één bedrijf regelmatig storingen te geven.

Als gevolg van de verschillende problemen zijn vanaf begin mei op twee bedrijven (één met en één zonder buffer) en pas vanaf eind mei van alle vier bedrijven alle meetgegevens beschikbaar zijn. De metingen zijn vervolgens tot en met september zonder problemen verlopen.

2.2.3 Modelaanpassing en berekeningen

Het model KASPRO (De Zwart, 1996) is ten behoeve van dit project aangepast zodat op basis van de gemeten kasklimaatomstandigheden het energiegebruik berekend kan worden, zowel voor de bedrijven met als zonder buffer. Dit model is een dynamisch model waarvan de uitkomsten ook betrouwbaar zijn voor korte tijdsintervallen. De berekende waarden zijn ter toetsing vergeleken met het werkelijk gemeten gasverbruik. Op basis van eerdere berekeningen kan worden afgeleid dat de verliezen uit de buffer (de Zwart, 1996) in verhouding tot de totale warmtestromen van dezelfde orde zijn als de te verwachten meetfouten (1.5%). Voor de ontwikkeling van de meetmethode zijn de volgende stappen uitgevoerd:

- 1 - De gemeten klimaatgegevens van de twee bedrijven *zonder buffer* zijn met het aangepaste KASPRO-programma en de gegevens van de bedrijfsuitrusting (o.a. ketelrendement) omgerekend naar gasverbruik.
- 2 - De gemeten klimaatgegevens van de twee bedrijven *met buffer* zijn ook met het aangepaste KASPRO-programma en de gegevens van de bedrijfsuitrusting (o.a. ketelrendement, buffercapaciteit) omgerekend naar gasverbruik. Daarnaast zijn de warmtestromen uit de ketel en de warmtebuffer berekend.

- 3 - Ter toetsing (controle/validatie) van het aangepaste KASPRO-programma zijn de berekende gasverbruiken van de vier bedrijven (op weekbasis) vergeleken met de gemeten gasverbruiken. Tevens zijn de berekende warmtestromen uit de buffer vergeleken met de gemeten warmtestromen. Indien noodzakelijk zijn specifiek afwijkende bedrijfsuitrustingen in het model opgenomen (bijvoorbeeld ongeïsoleerde transportleidingen buiten de kas).
- 4 - Uit het gerealiseerde klimaat op de twee bedrijven *met buffer* is met het (voor die specifieke situatie aangepaste) KASPRO programma berekend *hoe hoog het gasverbruik op deze twee bedrijven geweest zou zijn zonder de buffer* (bij hetzelfde kasklimaat). Het verschil tussen het hier berekende en het onder punt 2 berekende is de (bruto) energiebesparing door de buffer.
- 5 - De berekende energiebesparing (punt 4) is ter toetsing van KASPRO vergeleken met de (gecumuleerde) metingen van de warmtestroom uit de buffer (tweede controle/validatie KASPRO).

Om na te gaan in hoeverre de warmte uit de buffer nuttig gebruikt wordt (in de zin van noodzakelijk voor de warmtevraag/ vochtregeling) zijn berekeningen gemaakt voor de nachtperiode:

- 6 - Uitgangspunt is hierbij het gerealiseerde nachtklimaat op de bedrijven zonder buffer. Verondersteld wordt dat dit klimaat voor het gewas minimaal nodig is. Met KASPRO is met dit klimaat voor de bedrijven *met buffer* berekend *hoe hoog het energieverbruik op deze twee bedrijven geweest zou zijn geweest als ze het nachtklimaat van de bedrijven zonder buffer hadden gehad*. Het verschil met het onder punt 2 berekende energiegebruik geeft de zogenaamde netto besparing. Het verschil tussen de "bruto" en "netto" besparing geeft een beeld van de mate waarin de warmte uit buffer gedurende de nacht minder, gelijk of meer is dan voor de warmtevraag/ vochtregeling noodzakelijk. Hieruit kan worden bepaald in hoeverre de warmte die uit de buffer onttrokken wordt noodzakelijk is voor warmtelevering dan wel "onnuttig" afgevoerd wordt om de buffer leeg te trekken in verband met de CO₂-dosering overdag.

Ter verduidelijking is in bijlage 2 een schematische weergave gegeven van de uitgevoerde berekeningsstappen 1 t/m 6.

3 Resultaten

3.1 Inventarisatie bedrijven met buffers

3.1.1 CO₂ dosering

Een van de oorzaken van het stijgende brandstofverbruik in de glastuinbouw is dat steeds meer en steeds intensiever CO₂ gedoseerd wordt in de kas, circa 80% van de gespecialiseerde glastuinbouwbedrijven doseerde in 1994 CO₂. Deze bedrijven omvatten 90% van het areaal. In de groenteteelt wordt op ruim 90% van de bedrijven en op vrijwel het gehele areaal CO₂ gedoseerd. Met het intensiever doseren van CO₂ wordt gestreefd naar een hogere produktie. Dit gebeurt overdag en daardoor vaak in perioden zonder warmtevraag: in de groenteteelt op circa 60% van de bedrijven en op ruim 70% van het areaal.

Op 13% van de bedrijven en op een kwart van het areaal wordt warmte-opslag toegepast om de warmte die overdag vrijkomt tijdens het CO₂ doseren, te bufferen en tijdens de nacht te benutten. Deze bedrijven blijken met name groenteteeltbedrijven te zijn. Binnen de groenteteelt is het aandeel warmte-opslag bijna 30% van de bedrijven en ruim 40% van het areaal.

Uit eerder onderzoek op praktijkbedrijven (van der Sluis et al., 1995) blijkt een relatie tussen CO₂-doseren en de grootte van de warmtebuffer. Zoals te verwachten hangt de grootte van de warmte-opslagtank positief samen met de CO₂-intensiteit. Dit komt met name tot uitdrukking in de zomerperiode (week 17 tot week 42): per 25 m³ bufferinhoud per ha neemt de CO₂-intensiteit op jaarbasis toe met 2 kg per m².

3.1.2 Warmte-opslag in relatie tot brandstofverbruik, brandstofintensiteit en bedrijfsgrootte

Warmte-opslag komt praktisch alleen voor op bedrijven met een brandstofintensiteit van meer dan 40 m³ per m² per jaar en een absoluut brandstofverbruik van meer dan een half miljoen m³ per jaar (Tabel 1). Dit zijn met name de bedrijven groter dan 1 ha. Op de bedrijven groter dan 2 ha is het aandeel bedrijven met warmte-opslag hoger (Tabel 2). De gemiddelde bedrijfsgrootte van bedrijven met buffer is 2 ha, zonder buffer is dit 1 ha.

Het aandeel bedrijven met een buffer kleiner dan 40 m³ per ha is klein (14%). Op de bedrijven verschillen in warmteopslagcapaciteit lopen sterk uiteen. Op circa 14% van de groentebedrijven met buffers is de opslagcapaciteit kleiner dan 40 m³ per ha. Op ruim 40% van de bedrijven met buffer is de opslagcapaciteit tussen de 40 en 80 m³ per ha en op eveneens 40% is de capaciteit groter dan 80 m³ per ha. Vrijwel alle buffers liggen op bedrijven met een brandstofintensiteit boven de 40 m³ per m² per jaar.

3.1.3 Aansluitwijze van de warmte-opslagtank op het verwarmingssysteem

De buffertank is via het verdeelstuk aangesloten op de ketel en het verwarmingssysteem. Hierdoor is het in veel gevallen mogelijk de buffer zowel via het hoofdnet als het condensornet te legen. Vaak moet deze schakeling echter handmatig worden gedaan. Van de bedrijven met buffer heeft 65% één tank en 35% twee of meer tanks. In het onderzoek is geen informatie verzameld over of de twee of meer tanks parallel dan wel in serie geschakeld zijn.

Er zijn geen verschillen in het type verwarmingssysteem geconstateerd tussen bedrijven met en zonder warmteopslag. Ook het gemiddelde oppervlak van de buisverwarming(en) op bedrijven met

Energiebesparing door warmtebuffers in de glastuinbouw:
Fase 1 voorstudie en meetmethode-ontwikkeling

warmte-opslag ($0,027 \text{ m}^2/\text{m}^2 \text{ kas}$) is gelijk aan dat op bedrijven zonder warmte-opslag. Van de bedrijven zonder warmte-opslag heeft een relatief groot deel van het areaal $\varnothing 51 \text{ mm}$ staal gecombineerd met dunne stalen verwarmingsbuizen (condensor- of groeibuis net). Bij de bedrijven met warmte-opslag is het aandeel $\varnothing 51 \text{ mm}$ staal met kunststofslangen en overige nettypen relatief hoog (Tabel 3).

Tabel 1. Aandeel van de bedrijven met een warmte-opslagtank per klasse van brandstofintensiteit en brandstofverbruik per jaar in de groenteteelt in 1994 (uitgedrukt als % van de bedrijven met een ketel per groep)

Klasse van brand- Stofintensiteit	Klasse van brandstofverbruik ($\text{m}^3 \text{ a.e.} \times 1.000$)		
	< 500	500-1000	>1000
< $40 \text{ m}^3/\text{m}^2$	0	0	0
40-60 m^3/m^2	0	55	19
> $60 \text{ m}^3/\text{m}^2$	0	85	52

Bron: Bedrijven-Informatienet LEI-DLO

Tabel 2. Aandeel van de bedrijven met een warmte-opslagtank per klasse van brandstofintensiteit (per jaar) en bedrijfsgrootte in de groenteteelt in 1994 (% bedrijven met een ketel)

Klasse van brand- stofintensiteit	Klasse van bedrijfsgrootte (ha)		
	< 1	1-2	>2
< $40 \text{ m}^3/\text{m}^2$	0	0	0
40-60 m^3/m^2	9	71	81
> $60 \text{ m}^3/\text{m}^2$	0	36	54

Bron: Bedrijven-Informatienet LEI-DLO

Tabel 3. Verdeling van het areaal buisverwarming en het verwarmend oppervlak (vo) van de buisverwarming op de bedrijven met en zonder warmte-opslag naar buistype in de groeteteelt per eind 1993 (%)

type net	bedrijven zonder buffer			bedrijven met buffer		
	% van areaal	% van aantal	vo $\text{dm}^2/\text{m}^2 \text{ kas}$	% van areaal	% van aantal	vo $\text{dm}^2/\text{m}^2 \text{ kas}$
51mm staal	32	24	20	26	22	23
51mm+<51mm	32	37	31	19	17	24
51mm + kunststof slang	24	24	27	27	30	29
overig	12	15	34	28	31	30
Totaal	100	100	gem 27	100	100	gem 27

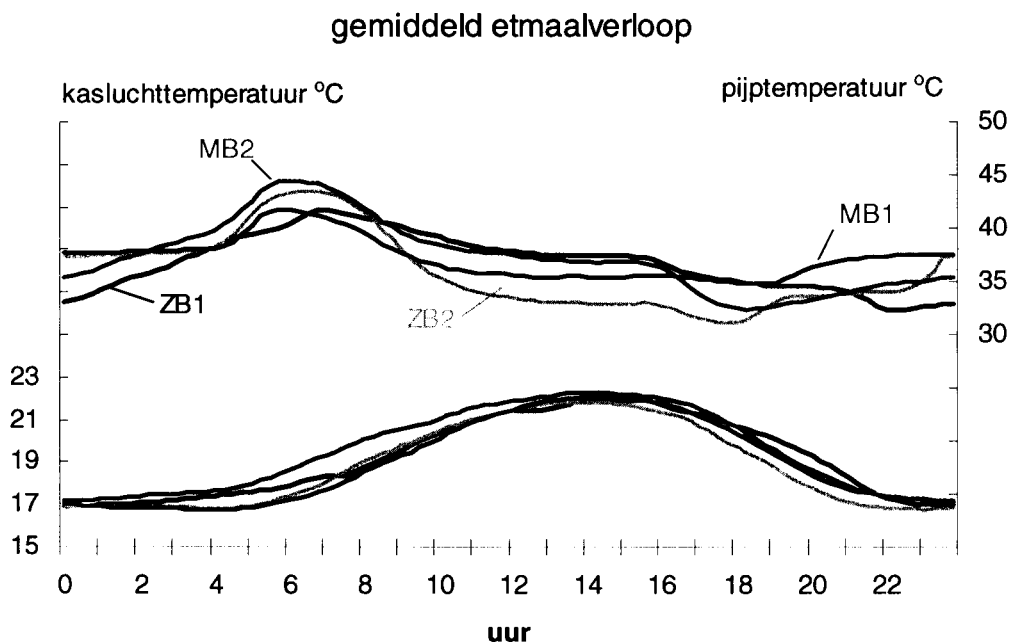
Bron: Bedrijven-Informatienet LEI-DLO

3.2 Ontwikkeling meetmethode

Door de genoemde vertraging en problemen bij de verzameling van de meetgegevens zijn niet alle gegevens van alle vier de bedrijven vanaf eind april beschikbaar. Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende bedrijven en meetmethoden is daarom gekozen voor presentatie van de gegevens over de periode waarin van alle bedrijven alle gegevens beschikbaar waren (vanaf eind mei 1996).

3.2.1 Gerealiseerde lucht- en buistemperatuur

Bij de opzet van het project is verondersteld dat bedrijven met een buffer vergeleken met die zonder buffer overdag relatief lagere, en 's nachts relatief hogere buistemperaturen zouden aanhouden. Immers, wanneer er geen buffer aanwezig is geeft een hoge buistemperatuur overdag de mogelijkheid veel CO₂ te doseren. Om de gemiddelde etmaaltemperatuur daarbij in de hand te houden zullen deze



Figuur 1. Gemiddeld gerealiseerde lucht- en buistemperaturen op de vier bedrijven

bedrijven 's nachts een lagere temperatuur moeten hanteren.

In figuur 1 is het gemiddelde verloop van de lucht- en buistemperaturen over het etmaal voor alle vier de bedrijven afgebeeld. Elk punt van de grafiek is het gemiddelde van de gemeten temperatuur op dat uur over de periode van week 23 t/m week 39. Duidelijk is dat alle bedrijven een verschillend stookpatroon hebben binnen de etmaalperiode. Ook tussen de bedrijven met buffer of zonder buffer onderling bestaan grote verschillen.

Gemiddeld liggen de etmaaltemperaturen niet al te ver uit elkaar met uitzondering van één bedrijf (zonder buffer), daar ligt de etmaaltemperatuur iets hoger. Ook blijkt er geen systematisch verschil te bestaan tussen de bedrijven met en zonder buffer met betrekking tot de buistemperatuur 's nachts. Bij een onderlinge vergelijking van de bedrijven met en zonder buffer met hetzelfde type gewas, dus MB1

met ZB2 en MB2 met ZB1, is wel de tendens aanwezig dat de buistemperaturen overdag bij de bedrijven zonder buffer hoger liggen en 's nachts juist lager. Ondanks deze trends is het niet mogelijk om op basis van deze zeer beperkte hoeveelheid bedrijven de genoemde veronderstelling voldoende te onderbouwen. Hiervoor zijn gegevens van veel meer vergelijkbare bedrijven met en zonder buffer nodig, na de uitgebreide praktijkevaluatie kunnen hierover waarschijnlijk meer betrouwbare uitspraken worden gedaan.

Op alle bedrijven is van alle verwarmingsgroepen de buis- en kasluchttemperatuur gemeten. Om een indruk te geven van de spreiding hierin is in bijlage 3, tabel 1, voor de weken 23 t/m 39 de standaarddeviatie voor de verwarmingsgroepen van alle vier de bedrijven gegeven. De standaarddeviatie is voor elk meettijdstip (dus elk kwartier) bepaald en vervolgens gemiddeld over een week. Uit deze resultaten blijkt dat er een beperkte variatie bestaat tussen de diverse verwarmingsgroepen binnen de individuele bedrijven. De berekende energiebesparing (zie onder 3.2.4 en 3.2.5) bleek slechts weinig gevoelig voor het gebruik van de meetgegevens van alle verwarmingsgroepen of gebruik van slechts één groep. Voor een uitgebreide praktijkevaluatie op een groot aantal bedrijven is het vanuit kosten oogpunt daarom voldoende om per bedrijf van slechts één verwarmingsgroep zowel de buis- als de luchttemperatuur te meten.

3.2.2 Controle en aanpassing KASPRO

Om de nauwkeurigheid van het gebruikte model na te gaan, is met het model voor zowel de niet als de wel bufferbedrijven het gasverbruik berekend en vergeleken met het werkelijk gemeten verbruik. De modelkwaliteit is beoordeeld op grond van het procentuele verschil tussen gemeten en berekend gasverbruik op weekbasis.

In tabel 2 van bijlage 3 zijn de resultaten voor de beide niet-buffer bedrijven weergegeven en in tabel 3 die voor de buffer bedrijven. De berekende gasverbruiken komen, met uitzondering van het bedrijf ZB1 zeer goed overeen met het gemeten verbruik. De afwijkingen bedragen gemiddeld 3 tot 4% met (op weekbasis) maximale momentane afwijkingen van 7 tot 8%. Bij het bedrijf ZB1 is er door het model een vrij systematische onderschatting van het gasverbruik, van gemiddeld 13%. Ondanks uitgebreide analyse van de mogelijke oorzaken is hiervoor geen eensluidende verklaring te geven.

3.2.3 Energiestromen van en naar de buffer

De warmtestroom is behalve gemeten met de warmtestroommeters, ook met het simulatiemodel berekend. In bijlage 3, tabel 4 zijn de wekelijkse ingaande gemeten en gesimuleerde warmtestromen en de verhouding berekend/gemeten warmtestroom gepresenteerd.

De berekende warmtestroom ligt in beide gevallen rond de 10% lager dan de gemeten warmtestroom. Aangezien de meet-onnauwkeurigheid van warmtestroommeters in het werkgebied ook in de orde van 10% ligt (Haskoning, 1994) wordt de modelberekening van de warmtestroom als acceptabel beschouwd.

De warmtestroom vertoont forse fluctuaties over de meetperiode, de gemiddelde gemeten warmtestroom naar de buffer in de periode week 23 t/m 39 bedraagt 218 GJ per week bij MB1 en 188 GJ per week bij MB2. Dit komt op dagbasis overeen met respectievelijk 84 en 77% van de maximale buffercapaciteit, die, op basis van de tankinhoud (bijlage 1), een ΔT van 55 °C en de kengetallen in bijlage 4, is geschat op 37 en 35 GJ.

De maximaal gemeten warmtestromen (bijlage 3 tabel 4), zijn respectievelijk 251 en 202 GJ per week voor MB1 en MB2. Omgerekend maximum per dag komt dit overeen met een maximum van ongeveer 36 en 30 GJ. Bij MB1 komt dit redelijk goed overeen met de op basis van de tankinhoud en ΔT berekende capaciteiten, bij MB2 is de maximaal gemeten warmtestroom per dag wat lager, mogelijk als gevolg van een minder optimaal gebruik (zie ook paragraaf 3.2.7).

3.2.4 Energiebesparing door de buffer

De energiebesparing die bij het gebruik van de buffer behaald kan worden hangt samen met de mate van rookgas CO₂ dosering die op de verschillende bedrijven wordt toegepast. Het doel van CO₂ dosering is om de gewasproductie te verhogen door verhoging van de fotosynthese gedurende de dag. Hiermee kunnen produktiestijgingen worden bereikt van enkele tientallen procenten (Nederhoff, 1994). De bij het CO₂ doseren vrijkomende warmte wordt 's nachts voor verwarming benut zodat, afhankelijk van de buffergrootte, er 's nachts niet of slechts in geringe mate extra hoeft te worden bijgestookt. De energiebesparing door gebruik van de buffer is bepaald door te berekenen hoe groot het gasverbruik van de bedrijven met een buffer zou zijn geweest als ze dezelfde doseerhoeveelheid CO₂ en buistemperaturen zouden hebben aangehouden maar geen buffer hadden gebruikt. De overtollige warmte tijdens het CO₂-doseren zou in dat geval bijvoorbeeld met een koeler kunnen worden afgevoerd. Deze hoeveelheid gasverbruik is in bijlage 3, tabel 5 en 6 weergegeven als "bruto verbruik". De "netto" hoeveelheid gasverbruik is op dezelfde wijze berekend maar nu met gebruikmaking van het nachtklimaat van een bedrijf zonder buffer maar met hetzelfde type tomaat (zie ook paragraaf 3.2.5).

Bij MB1 blijkt de bruto energiebesparing door het gebruik van de buffer over de totale meetperiode 26% en in absolute zin 4.6 m³. Bij MB2 ligt de besparing iets lager nl. op 22% met in totaal een besparing over de meetperiode van 17 weken van 4.0 m³. Uitgaande van een geschat energiegebruik in de maanden maart en april van 12 m³m⁻² (KWIN, 1994-1995) en een besparing tussen de 10 en 15% in die maanden is de extra besparing van 1.2 tot 1.8 m³. Op jaarbasis komt de besparing daarmee op circa 6 m³, of relatief een besparing van 8 tot 10%.

Uit de vergelijking van de berekende bruto en netto besparing blijkt dat deze op verschillende momenten wel verschillen maar dat voor de totale periode er vrijwel geen verschil bestaat. Het op deze bedrijven met buffer aangehouden klimaat (onder invloed van de buistemperatuur) wijkt dus wat betreft het energieverbruik, ondanks het verschil in stookpatroon (3.2.1: figuur 1), gemiddeld niet sterk af van dat op de niet buffer bedrijven. Omdat de berekende bruto en netto besparingen vrijwel gelijk zijn kan hieruit voorlopig geconcludeerd worden dat er op de bedrijven met buffer dus kennelijk niet systematisch hogere buistemperaturen tijdens de nacht worden aangehouden om de buffer te legen. Dit bleek ook al uit figuur 1.

3.2.5 Effect van het referentieklimaat bij de besparingsberekening

In de standaardberekeningen (resultaten in bijlage 3, tabel 5 en 6) is voor de bepaling van het netto buffereffect op het bedrijf MB1 het nachtklimaat van het bedrijf ZB2 gebruikt en voor het bedrijf MB2 de nachttemperaturen van het bedrijf ZB1. Deze keus is gemaakt op grond van een overeenkomstig type gewas (trostomaat of losse ronde tomaat).

Bij gebruik van een ander referentiebedrijf zouden dat de netto besparingscijfers kunnen veranderen. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in bijlage 3, tabellen 7 en 8.

Uit de resultaten blijkt dat op weekbasis enkele verschillen ontstaan, over de totale periode (week 23 t/m 39) heeft het gebruik van een ander referentiebedrijf echter nauwelijks effect op de berekende besparingen. De keus voor een bepaald referentiebedrijf wordt dus belangrijker naarmate over een kortere periode vergeleken moet worden.

3.2.6 Extra CO₂-dosering door plaatsing of aanpassing van een warmtebuffer

Het voordeel van een warmtebuffer is dat de CO₂-produktie gedeeltelijk ontkoppeld kan worden van de warmtevraag. De benodigde warmte voor de nacht kan op een gunstig tijdstip worden opgewekt, namelijk tijdens de dagperiode, wat een extra CO₂-dosering mogelijk maakt. In het algemeen zal een grotere buffer er toe leiden dat de hoeveelheid CO₂ die overdag aan het gewas kan worden toegediend zal toenemen.

Met het gemodificeerde model kan ook berekend worden hoeveel extra CO₂ op de niet bufferbedrijven gedoseerd had kunnen worden bij installatie van een buffer. Het inzetten van een buffer op een niet buffer bedrijf kan de hoeveelheid gedoseerde CO₂ aanzienlijk verhogen. Een eerste indicatieve berekening heeft laten zien dat zelfs bij een buffer van beperkte afmetingen (30 m³/ha) al 30-40%

extra CO₂ gedoseerd kan worden. Bij grotere bufferafmetingen zal dit nog verder oplopen. De daaraan gekoppelde produktieverhoging is sterk afhankelijk van de gerealiseerde CO₂ concentratie en de overige klimaatomstandigheden (met name straling) maar zal in de orde van procenten (2-15%) liggen (Nederhoff, 1994).

Het effect op de extra CO₂-gift zal afnemen naarmate de buffercapaciteit oploopt. Dit komt omdat bij zeer grote buffers, het meer voorkomt dat de buffer aan het eind van de nacht niet geheel geleegd is. De volgende dag kan er dan minder gebufferd worden waardoor de extra CO₂ gift op die dagen lager is.

Ook de capaciteit van de doseer-installatie speelt een rol in de hoeveelheid CO₂ die overdag kan worden toegediend. Is deze laag dan bepaalt dit de totale hoeveelheid CO₂ (en dus warmte) die gedurende de dagperiode kan worden geproduceerd.

Ook het teeltregiem is van belang bij het effect van een buffer op de gedoseerde hoeveelheid CO₂. Een tuinder die 's nachts lage buistemperaturen hanteert zal minder profijt van een toenemende bufferafmeting hebben dan een tuinder die 's nachts hogere buistemperaturen gebruikt.

Deze genoemde effecten zijn echter in het kader van deze voorstudie niet nader geanalyseerd.

3.2.7 Verbetering buffergebruik

De optimale buffergrootte verschilt per bedrijfssituatie. Als de aanwezige buffer optimaal gebruikt wordt, wordt er 's nachts niet extra bijgestookt. Dat wil zeggen dat alle geproduceerde rookgassen worden als CO₂ gedoseerd.

Dit blijkt in de praktijk niet het geval te zijn: voor week 25 (de eerste week waarbij van beide met-buffer bedrijven de gegevens beschikbaar waren) is het verschil berekend tussen het totale gasverbruik en de als CO₂ gedoseerde hoeveelheid gas. In de optimale situatie zou dit verschil dus gelijk zijn aan nul. Bij MB2 bedroeg het verschil voor deze week ruim 2000 m³ aardgas en bij MB1 ongeveer 1000. Deze hoeveelheid gas had in principe ook overdag verbrand kunnen worden als de vrijgekomen warmte in de buffer had kunnen worden opgeslagen. In dat geval was de totale hoeveelheid gasverbruik gelijk gebleven maar hadden al de rookgassen als CO₂ gedoseerd kunnen worden. Omgerekend naar CO₂ komt dit overeen met respectievelijk zo'n 3600 en 1800 kg extra CO₂ op het totale bedrijf in die enkele week. Per vierkante meter is dit ongeveer 200 en 100 gram extra CO₂. Het effect hiervan op de produktie is zonder aanvullende gegevens niet exact te berekenen maar uitgaande van de effecten zoals gemeten op praktijkbedrijven (van der Sluis et al., 1995) wordt deze geschat op minimaal 0.05-0.10 kg m⁻².

Voor het feit dat er ondanks de buffer toch 's nachts bijgestookt wordt zijn een aantal mogelijke oorzaken, bijvoorbeeld: een te kleine- of onvoldoende gevulde buffer en het niet voldoende uitkoelen van de buffer. Uit de meetgegevens (3.2.3) blijkt dat bij MB2 de gemiddelde warmtestroom naar de buffer 77% was van de maximaal haalbare, terwijl dit bij MB1 op 84% lag. Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat door de parallel schakeling van de twee buffertanks bij MB2 er eerder opmenging van het buffer water met het retour optreedt.

Daarnaast wordt bij het legen van de buffer bij MB2 omgeschakeld van het hoofd- naar condensor-net. Dit kan betekenen dat de buffer minder ver uit koelt dan bij MB1. Als indicatie is berekend dat bij een gemiddeld 5 °C mindere uitkoeling ongeveer 7% van de buffercapaciteit niet benut wordt.

Een nadere analyse van het gebruik van buffers om tot een verdere optimalisatie in de praktijk te komen is daarom gewenst.

4 Discussie en conclusies

Bij de inventarisatie van de bedrijven met en zonder warmtebuffer blijkt dat buffers vooral worden toegepast op de grotere bedrijven met een hoge brandstofintensiteit. Er zijn geen aanwijsbare verschillen in verwarmingssysteem en overige bedrijfsuitrusting. De bedrijven zonder buffer zijn in het algemeen kleiner, namelijk 1 ha ten opzichte van 2 ha voor de bedrijven met buffer. Bij de uitvoering van een praktijkevaluatie zou dit kunnen betekenen dat bij de selectie van de deelnemers op het punt van de vergelijkbaarheid van de bedrijven extra aandacht moet worden geschonken aan het bedrijfsoppervlak.

De beschikbare modellen blijken voldoende nauwkeurig (afwijkingen van het gemiddeld gemeten gasverbruik in de orde van 3%) om het energiegebruik en de energiebesparing door warmtebuffers in beeld te brengen op basis van gemeten temperaturen. Bovendien blijkt dat op de bedrijven met buffer niet systematisch hogere buistemperaturen in de nacht worden aangehouden dan bij bedrijven zonder buffer. Daaruit wordt voorlopig geconcludeerd dat er op bedrijven met buffer geen warmte onnodig afgevoerd wordt om de buffer te legen. Deze conclusie is echter gebaseerd op slechts twee bedrijven en zal nader moeten worden onderzocht.

De ontwikkelde meetmethode om de energiebesparing door warmtebuffers in de praktijk te bepalen gaat uit van het produktieneutraal ten opzichte van elkaar te vergelijken van de situatie met en zonder buffer. Er wordt daarbij bepaald hoeveel gas nodig geweest zou zijn om dezelfde kasklimaatomstandigheden en daarmee dus dezelfde produktie en kwaliteit te realiseren op een identiek bedrijf maar zonder buffer. Het verschil met het gasverbruik in de situatie met buffer is de energiebesparing die op dat bedrijf bereikt is door het inzetten van de buffer.

Het al of niet meten van de warmtestroom van en naar de buffer verandert niets aan de conclusies over het energiegebruik en de -besparing vergeleken met het meten van alleen de buis- en luchttemperatuur in combinatie met modelberekeningen. Gezien de hoge kosten van de installatie van warmtestroommeters wordt deze methode voor een grootschalige praktijkevaluatie afgeraden. Tevens is gebleken dat het meten van meerdere hoofdverwarmingsgroepen die gebruikt worden in dezelfde kasruimte geen nauwkeuriger resultaten geeft ten opzichte van meting van slechts één hoofdverwarmingsgroep. In verband met het beperken van de kosten voor een praktijkevaluatie wordt daarom geadviseerd alleen te werken met klimaatmetingen (kas- en luchttemperatuur) gemeten van één verwarmingsgroep (of: in tuinderstermen -afdeling) in combinatie met modelberekeningen van het gasverbruik.

Bij de metingen zijn regelmatig storingen opgetreden (b.v. uitval datalogger, draadbreek etc.) die pas na enkele dagen en/of weken bij het ophalen van de gegevens geconstateerd werden. Bij metingen op een groot aantal bedrijven is de kans op uitval van een aanzienlijk deel van de gegevens daardoor relatief groot. Voor een grootschalige praktijkevaluatie is het wenselijk om de data-acquisitie-apparatuur uit te lezen via telefoonverbindingen om daarmee enerzijds tijd te besparen en anderzijds problemen en storingen in een eerder stadium te kunnen traceren en oplossen.

De aanwezige buffers worden niet altijd volledig gevuld en/of geleegd waardoor de beschikbare warmteopslagcapaciteit niet volledig wordt benut. De gemiddelde gemeten warmtestroom naar de buffers was over de meetperiode ongeveer 80-85% van de maximale buffercapaciteit. Door verdere optimalisatie van het buffergebruik kan de hoeveelheid gedoseerde CO₂, bij een gelijkblijvend energiegebruik dus nog verder toenemen.

Samengevat zijn de belangrijkste conclusies:

- buffers worden vooral toegepast op de grotere bedrijven met een hoge brandstofintensiteit
- er zijn geen verschillen in verwarmingssysteem en overige bedrijfsuitrusting tussen bedrijven met en zonder buffer
- bedrijven zonder buffer zijn kleiner (gemiddeld 1 ha) dan bedrijven met buffer (gemiddeld 2ha)
- de beschikbare modellen zijn voldoende nauwkeurig om het energiegebruik en de energiebesparing door warmtebuffers in beeld te brengen
- op de twee bedrijven met buffer werden niet systematisch duidelijk hogere buistemperaturen in de nacht aangehouden dan bij bedrijven zonder buffer
- meting van de warmtestroom van en naar de buffer leidt niet tot andere resultaten met betrekking tot de energiebesparing dan meting van de buis- en luchttemperatuur in combinatie met modelberekeningen
- metingen aan meerdere hoofdverwarmingsgroepen in dezelfde kasruimte hebben geen meerwaarde voor de berekening van de energiebesparingen
- bij een praktijkevaluatie is het wenselijk om de data-acquisitie-apparatuur uit te lezen via telefoonverbindingen om tijd te besparen en eventuele problemen en storingen in een vroegtijdig stadium te kunnen traceren en oplossen
- de aanwezige warmteopslagcapaciteit wordt niet volledig benut. Gemiddeld was de benutting over de meetperiode ongeveer 80-85% van de maximale buffercapaciteit
- ondanks aanwezigheid van een buffer wordt incidenteel 's nachts bijgestookt. Mogelijke oorzaken zijn: te kleine- of onvoldoende gevulde buffer, onvoldoende uitkoelen, parallel schakeling van meerdere buffertanks
- bij een gemiddeld 5 °C mindere uitkoeling blijft ongeveer 7% van de buffercapaciteit onbenut

4.1 Aanbevolen meetmethode en berekeningsstappen bij praktijkevaluatie

- 1 - *Energiebesparing door de warmtebuffer.* Deze wordt als volgt bepaald: uit de gemeten klimaatgegevens (T-kas, T-buis, CO₂-hoeveelheid) gasverbruik en de gegevens van de bedrijfsuitrusting (o.a. ketelrendement, etc) van een bedrijf met buffer wordt (uitgaande van een productie-neutrale situatie) bepaald hoeveel extra gas nodig geweest zou zijn op een identiek bedrijf zonder buffer. In die situatie wordt de overtollige warmte die ontstaat bij CO₂ dosering dus direct afgevoerd en niet aangewend ten behoeve van temperatuur of luchtvochtigheidsregeling. De op deze wijze berekende hoeveelheid gas is de (bruto) energiebesparing door het inzetten van de buffer (zie paragraaf 3.2.4).
- 2 - Bepaling van de gemiddelde buistemperatuur tijdens de nacht op de bedrijven met en zonder buffer bij het gewas tomaat. Hieruit kan worden bepaald of er op de bedrijven met buffer (in bepaalde periodes) systematisch hogere buistemperaturen worden aangehouden. Indien dit zo is volgt een extra berekeningsslag: de onder 1 genoemde berekeningen worden opnieuw uitgevoerd waarbij nu het gemiddelde nachtklimaat van de niet-bufferbedrijven wordt gebruikt. Het verschil tussen de onder punt 1 en de op deze wijze berekende besparingen geeft een indicatie van de *hoeveelheid warmte die via de kas wordt "afgevoerd"*. De hier berekende besparingen zijn in hoofdstuk 3.2.4. aangeduid met de term: "Netto besparing".

In aanvulling op de bovenstaande stappen kan de praktijkevaluatie aan waarde winnen door extra aandacht te geven aan de mogelijkheden tot extra CO₂ dosering op de niet-buffer bedrijven en de gebruikswijze van de buffers op de met-buffer bedrijven. De hiervoor aanbevolen extra berekeningen zijn:

- 3 - Voor de niet-buffer bedrijven wordt op basis van de metingen bepaald hoeveel warmte er 's nachts gegeven is. Uit deze gegevens wordt (bij diverse buffergroottes) bepaald hoeveel *extra CO₂* op deze bedrijven gegeven had kunnen worden *bij een gelijk totaal gasverbruik*. In combinatie met de empirische relatie tussen gedoseerde hoeveelheid CO₂ en productie (vast te stellen op de te verzamelen gegevens in deze fase) en de door E.M. Nederhoff (1994) opgestelde vuistregel over CO₂ en productie wordt een betrouwbare indicatie gegeven van de extra productie bij een gelijk gasverbruik.
- 4 - Bepaling van de mate waarin het gebruik van de buffer op de bedrijven met buffer nog verder is te verbeteren (bv. door de buffer nog verder uit te koelen). Hierbij wordt bepaald hoe vaak de buffer volledig gevuld wordt maar niet volledig geleegd, terwijl er 's nachts toch nog wordt bijgestookt (zie ook 3.2.7). De hoeveelheid warmte die nog uit de buffer gehaald had kunnen worden geeft een beeld van hoeveelheid gas die nog extra bespaard had kunnen worden. Voor situaties waarbij de buffer niet volledig gevuld wordt terwijl er 's nachts ook wordt bijgestookt, wordt bepaald hoeveel van de warmte uit het gas, dat 's nachts is verstoekt, nog in de buffer had gekund. Die hoeveelheid geeft weer hoeveel extra gas er nog voor CO₂-dosering had kunnen worden aangewend. Hierbij wordt rekening gehouden met een maximaal in de kas toelaatbare CO₂-concentratie (800-1000 ppm). Op dezelfde wijze als onder 3 kan vervolgens een indicatie worden gegeven van de extra productie die hierdoor nog te realiseren is.

5 Plan van aanpak praktijkevaluatie

Het hier beschreven plan van aanpak is een verkorte weergave van de totale projectbeschrijving van fase 2 zoals ingediend bij de NOVEM en het Landbouwschap.

Op basis van een aantal selectiecriteria wordt een overzicht gemaakt van de potentiële deelnemers. Hierbij wordt gezocht binnen de groep bedrijven die is aangesloten op "Groeinet". Er wordt een beperkt aantal (10) bedrijven zonder warmtebuffer in het onderzoek betrokken. Binnen de groep met warmtebuffer ligt de nadruk op het gewas tomaat (20 bedrijven) met daarnaast een aantal (10) met een ander gewas (paprika). De motivatie voor de keus van paprika als tweede gewas is dat dit gewas een relatief hoge temperatuurbehoefte heeft. De verwachting is dat de buffer daardoor op een andere wijze wordt gebruikt dan bij het gewas tomaat met een relatief lage temperatuurbehoefte, met name tijdens de nacht. Hierdoor wordt het mogelijk in het onderzoek bedrijfsvergelijking uit te voeren op basis van de bedrijven met en zonder buffer bij hetzelfde gewas. Daarnaast kan een nadere analyse uitgevoerd worden over het buffergebruik bij twee gewassen.

Als selectiecriteria worden in eerste instantie gehanteerd:

- bedrijven met/zonder warmte-opslagtank;
- alleen buisverwarming (geen hetelucht);
- bedrijven zonder w/k en restwarmte;
- volledig substraat;
- teelt van tomaten of komkommer of paprika of aubergine;
- locatie ZHG (Westland)

Om inzicht te krijgen in de energiebesparing door de warmtebuffer wordt uitgegaan van metingen in combinatie met berekeningen zoals in de voorgaande hoofdstukken besproken. Hierbij zijn minimaal de volgende gegevens op uurbasis noodzakelijk:

- gasverbruik
- kastemperatuur (van een groep)
- verwarmingstemperatuur van een groep van het hoofdnet en het groeibuisnet
- hoeveelheid gedoseerde CO₂ (op basis van het gasverbruik tijdens CO₂ doseren)

Voor de uitvoering van de metingen moeten op de deelnemende bedrijven gasmeters met pulsuitgangen aanwezig zijn. Bij afwezigheid wordt er vanuit gegaan dat deze (kosteloos) worden geïnstalleerd door het betreffende nutsbedrijf. Voor de uitlezing van de gaspulsen en de stand van de CO₂-ventilator wordt mogelijk uitgegaan van het gebruik van 30 reeds eerder (in andere LEI projecten) gemaakte uitleeskastjes. De klimaatmetingen worden uitgevoerd door een eenvoudige datalogger met PT-100 elementen of thermistors (dit in tegenstelling tot de in fase 1 gebruikte thermokoppels die weliswaar goedkoper maar minder betrouwbaar zijn gebleken). Voor uitlezing op afstand wordt de datalogger gekoppeld aan een modem. Afhankelijk van de mogelijkheden wordt per bedrijf een extra (al dan niet draadloze) telefoon aansluiting aangelegd of wordt gebruik gemaakt van ISDN lijnen. De keuze wordt in overleg met de eigenaar van het deelnemend bedrijf gemaakt.

Voor de bepaling van de energiebesparing en de evaluatie en analyse van de resultaten zijn behalve de bovengenoemde metingen een aantal bedrijfskenmerken noodzakelijk m.b.t. kasconstructie, isolatie, ketelrendement, condensor, buffergrootte, bedrijfsgrootte, aansluitwijze etc. Deze gegevens worden voorafgaand aan de metingen per bedrijf vastgelegd tijdens de installatie van de meetinstrumenten. Aan het begin van de teelt wordt tevens de gasmeterstand genoteerd. Vanaf het IMAG-DLO worden de gegevens via de telefoonverbinding opgehaald en gecontroleerd. Bezoek aan de individuele bedrijven wordt, los van het bezoek tijdens de installatie, beperkt tot 2 maal per jaar, en in geval van calamiteiten. Tijdens deze bezoeken wordt de voortgang met de betrokken tuinder kort besproken en kan informatie verzameld worden over eventuele tussentijdse aanpassingen op het bedrijf.

De productiegegevens worden door LEI-DLO maandelijks verzameld, waarbij gebruik wordt gemaakt

van bij de telers opgevraagde gegevens en/of via de veilingen of uit groeinet opgevraagde gegevens.

Met de meetmethode zoals beschreven in hoofdstuk 4.1 van dit rapport wordt de noodzakelijke informatie verzameld en de daarmee gerelateerde kengetallen bepaald.

De resultaten van de berekeningen en de gemeten gewasproducties worden geanalyseerd.

De analyse richt zich in de eerste plaats op de energiebesparing (en de spreiding daarin) door buffers op basis van de verkregen gegevens. De gemeten en berekende gegevens (o.a. energiebesparing, hoeveelheid gasverbruik per eenheid produkt, hoeveelheid gedoseerde CO₂) worden gerelateerd aan de karakteristieke bedrijfskenmerken (bufferafmeting, bedrijfsuitrusting). Tevens wordt de empirische relatie tussen produktie en gedoseerde hoeveelheid CO₂ voor de onderzochte groep vastgesteld. Deze relatie wordt gebruikt bij het bepalen van de produktie-effecten.

Daarnaast wordt geanalyseerd op hoeveel bedrijven nog verdere optimalisatie van de buffer (en in welke mate) mogelijk is. Op basis hiervan worden aanbevelingen voor verbetering van het gebruik opgesteld. Uit de gerealiseerde energiebesparing wordt, in combinatie met de gerealiseerde produktie en het gemeten gasverbruik, de verbetering van het gasverbruik per eenheid produkt voor de buffer bedrijven als gevolg van de buffers berekend.

6 Referenties

Haskoning, 1994. Overzicht warmtemeters in Nederland. Nijmegen.

Nederhoff, E.M., 1994. Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse vegetable crops. Thesis Wageningen University, 213 blz.

Sluis, B.J. van der, A.A. Rijdsdijk, G.P.A. van Holsteijn, N.J.A. van der Velden, 1995. Het gebruik van energieschermen bij tomaat. Publikatie 4.138, LEI-DLO.

Velden, N.J.A. van der, B.J. van der Sluis en A.P. Verheagh, 1996. Energie in de glastuinbouw van Nederland; Ontwikkelingen in de sector en op de bedrijven t/m 1995, Den Haag, LEI-DLO, Periodieke Rapportage 39-94.

Zwart, H.F. de, 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Thesis Wageningen University/ IMAG-DLO rapport 96-05, 236blz.

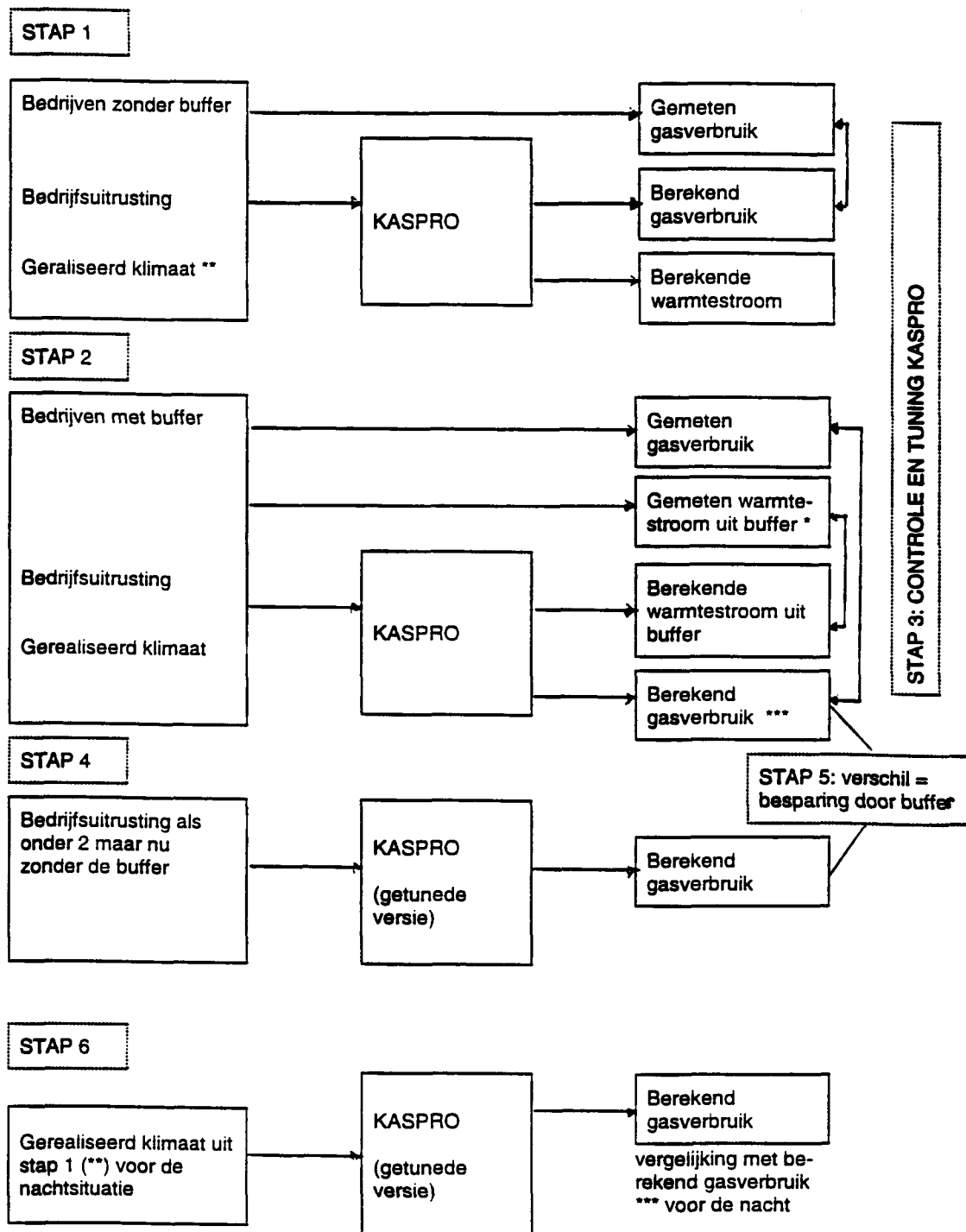
Bijlage 1 Deelnemende bedrijven

Informatie per bedrijf (in verband met de bescherming van de privacy van de deelnemers zijn de namen en adressen van de deelnemers niet vermeld)

	type tomaat	inhoud buffer	verwarmings- groepen	groeibuis net	vak maat	poot hoogte	glas maat	oppervlak m ²	bouw jaar
MB1	tros	160 m ³	4	1	4	3.5	1.0	20107	87
MB2	tussen	154 m ³	5	1	4.5	4.0	1.125	18198	91
ZB1	tussen	-	2	1	4.5	3.5	1.125	17531	87/89
ZB2	tros	-	3	-	4.5	3.5	1.0	11221	87/91

Bijlage 2

Gevolgde stappen in fase 1 (Berekeningsschema).



Bijlage 3 Resultaten berekeningen

Tabel 1. Standaarddeviatie van de verschillen in kaslucht- en buistemperaturen voor de vier bedrijven

	ZB1		ZB2		MB1		MB2	
week	lucht	buis	lucht	buis	lucht	buis	lucht	buis
23	0.27	0.50	0.53	0.84	0.43	0.83	0.20	0.39
24	0.31	0.62	0.40	0.98	0.52	0.76	0.46	1.32
25	0.59	0.86	0.18	1.07	0.49	0.66	0.34	1.27
26	0.50	0.72	0.21	0.72	0.38	0.84	0.41	1.16
27	0.44	0.78	0.41	0.95	0.43	0.63	0.45	1.12
28	0.54	0.97	0.78	0.88	0.44	0.59	0.46	1.01
29	0.48	0.83	0.86	0.95	0.50	0.71	0.65	0.73
30	0.41	0.80	0.49	0.72	0.36	0.81	0.44	0.66
31	0.60	1.26	0.49	0.72	0.41	0.87	0.48	0.74
32	0.56	1.09	0.54	0.73	0.32	0.86	0.48	1.30
33	0.49	1.11	0.57	0.67	0.50	0.88	0.48	0.81
34	0.55	1.05	0.54	0.79	0.38	0.95	0.41	0.67
35	0.59	1.05	0.73	1.07	0.42	0.81	0.34	0.80
36	0.80	0.86	0.69	1.22	0.42	0.97	0.51	1.13
37	1.18	0.84	0.66	1.09	0.46	1.02	0.34	1.05
38	1.08	1.13	0.51	1.74	0.41	1.31	0.41	1.33
39	0.87	1.10	0.55	1.07	0.40	1.13	0.43	1.19
gem	0.60	0.92	0.54	0.95	0.43	0.86	0.43	0.98

Bijlage 3 Resultaten berekeningen

Tabel 2. Gemeten en gesimuleerde wekelijks gasverbruik in m³ per m² per week

	ZB1			ZB2		
week	meting	model	model/meting %	meting	model	model/meting %
23		0.74		0.53	0.57	107
24		0.83			0.71	
25	1.03	0.91	88		0.87	
26	1.06	0.93	88		0.92	
27	1.00	0.86	87		0.84	
28	0.92	0.80	87	0.82	0.83	101
29	0.75	0.67	89	0.57	0.62	108
30	0.79	0.69	88	0.66	0.69	104
31	0.77	0.65	85	0.63	0.65	104
32	0.77	0.66	86	0.65	0.68	105
33	0.81	0.68	84	0.64	0.67	106
34	0.68	0.59	87	0.58	0.61	106
35	0.87	0.74	85	0.71	0.74	104
36	0.91	0.78	87	0.68	0.72	105
37	1.06	0.93	88	0.82	0.83	101
38	1.09	0.94	86	0.92	0.96	104
39	1.09	0.93	85	0.93	0.92	99
gem.	0.91	0.79	87	0.70	0.75	104

Bijlage 3 Resultaten berekeningen

Tabel 3. Gemeten en gesimuleerde wekelijks gasverbruik in m³ per m² per week

	MB1			MB2		
week	meting	model	model/meting %	meting	model	model/meting %
23		0.58			0.83	
24		0.66		0.80	0.79	99
25	0.82	0.80	98	1.00	0.97	97
26	0.92	0.87	95	0.99	0.99	100
27	0.82	0.78	95	0.90	0.90	100
28	0.84	0.78	93	0.86	0.87	100
29	0.69	0.67	97	0.80	0.80	99
30	0.75	0.72	96	0.81	0.80	99
31	0.66	0.66	100	0.79	0.79	100
32	0.72	0.70	98	0.76	0.73	96
33	0.74	0.68	92	0.80	0.76	95
34	0.63	0.63	101	0.67	0.68	102
35	0.80	0.77	95	0.79	0.78	98
36	0.75	0.74	98	0.78	0.71	92
37	0.85	0.81	95	0.89	0.83	94
38	0.86	0.86	100	0.93	0.85	91
39	1.02	0.95	93	0.95	0.91	96
	0.79	0.75	96	0.85	0.82	97

Bijlage 3 Resultaten berekeningen

Tabel 4. Gemeten en gesimuleerde wekelijkse warmtestroom naar de buffer en de verhouding berekend/gemeten warmtestroom.

	MB1			MB2		
	buffer in [GJ]			buffer in [GJ]		
week	meting	model	model/meting %	meting	model	model/meting %
23		105			140	
24		120		197	179	91
25	253	218	86	191	166	87
26	232	209	90	189	139	74
27	239	213	89	199	154	77
28	215	193	90	186	149	80
29	253	196	77	202	170	84
30	201	183	91	187	136	73
31	251	205	82	197	147	74
32	150	155	103	156	145	93
33	165	166	101	188	163	87
34	188	171	91	190	145	76
35	240	212	88	194	156	81
36	225	192	85	201	179	89
37	218	204	94	198	209	106
38	221	198	90	181	176	98
39	215	189	88	146	147	101
gem	218	184	90	188	159	86

Bijlage 3 Resultaten berekeningen

Tabel 5. Buffereffect MB1

week	met buffer m ³ /m ² /week	perc CO ₂	zonder buffer bruto m ³ /m ² /week	zonder buffer netto m ³ /m ² /week	bruto besp perc.	netto besp perc
23	0.58	63	0.74	0.69	21	16
24	0.66	69	0.81	0.80	18	17
25	0.80	93	1.11	1.11	28	28
26	0.87	93	1.16	1.15	24	24
27	0.78	94	1.08	1.08	27	27
28	0.78	92	1.05	1.04	26	25
29	0.67	91	0.95	0.91	29	27
30	0.72	88	0.97	0.93	25	22
31	0.66	94	0.97	0.96	32	32
32	0.70	82	0.92	0.90	24	22
33	0.68	85	0.93	0.91	27	25
34	0.63	82	0.90	0.88	29	28
35	0.77	94	1.11	1.09	31	29
36	0.74	85	1.04	1.03	29	28
37	0.81	91	1.14	1.12	29	28
38	0.86	72	1.19	1.18	27	27
39	0.95	76	1.22	1.19	22	20
gem	0.75	85	1.02	1.00	26	25

Bijlage 3 Resultaten berekeningen

Tabel 6. Buffereffect MB2

week	met buffer m ³ /m ² /week	perc CO ₂	zonder buffer bruto m ³ /m ² /week	zonder buffer netto m ³ /m ² /week	bruto besp perc.	netto besp perc
23	0.83	68	0.97	0.90	15	9
24	0.78	80	1.01	0.98	23	21
25	0.96	80	1.19	1.16	20	17
26	0.98	85	1.19	1.18	17	17
27	0.89	87	1.11	1.11	20	21
28	0.86	85	1.08	1.05	20	19
29	0.79	84	1.03	1.01	23	22
30	0.79	85	1.01	1.01	22	22
31	0.78	83	1.00	1.01	22	23
32	0.73	82	0.94	0.94	23	23
33	0.75	82	0.99	0.98	24	23
34	0.67	83	0.89	0.88	24	24
35	0.77	84	1.01	1.01	24	24
36	0.71	80	1.01	1.06	30	33
37	0.82	82	1.11	1.16	26	29
38	0.84	67	1.14	1.22	26	31
39	0.90	58	1.03	1.11	13	19
gem	0.81	80	1.04	1.05	22	22

Bijlage 3 Resultaten berekeningen

Tabel 7. Effect van het referentiebedrijf op het berekende netto buffereffect voor MB1

week	met buffer m ³ /m ² /week	bruto zonder buffer m ³ /m ² /week	netto zonder buffer standaard referentie		netto zonder buffer met alternatief referentie	
			m ³ /m ² /week	%	m ³ /m ² /week	%
23	0.58	0.74	0.69	16	0.74	21
24	0.66	0.81	0.80	17	0.81	18
25	0.80	1.11	1.11	28	1.09	27
26	0.87	1.16	1.15	24	1.15	24
27	0.78	1.08	1.08	27	1.07	27
28	0.78	1.05	1.04	25	1.02	23
29	0.67	0.95	0.91	27	0.93	28
30	0.72	0.97	0.93	22	0.93	22
31	0.66	0.97	0.96	32	0.95	31
32	0.70	0.92	0.90	22	0.88	20
33	0.68	0.93	0.91	25	0.89	23
34	0.63	0.90	0.88	28	0.84	24
35	0.77	1.11	1.09	29	1.03	26
36	0.74	1.04	1.03	28	1.04	29
37	0.81	1.14	1.12	28	1.15	29
38	0.86	1.19	1.18	27	1.21	29
39	0.95	1.22	1.19	20	1.20	21
gem	0.75	1.02	1.00	25	1.00	25

Bijlage 3 Resultaten berekeningen

Tabel 8. Effect van het referentiebedrijf op het berekende netto buffereffect voor MB2

week	met buffer m ³ /m ² /week	bruto zonder buffer m ³ /m ² /week	netto zonder buffer standaard referentie		netto zonder buffer met alternatief referentie	
			m ³ /m ² /week	%	m ³ /m ² /week	%
23	0.83	0.97	0.90	9	0.90	8
24	0.78	1.01	0.98	21	1.00	22
25	0.96	1.19	1.16	17	1.18	18
26	0.98	1.19	1.18	17	1.20	18
27	0.89	1.11	1.11	21	1.13	22
28	0.86	1.08	1.05	19	1.09	22
29	0.79	1.03	1.01	22	1.01	22
30	0.79	1.01	1.01	22	1.01	21
31	0.78	1.00	1.01	23	1.01	22
32	0.73	0.94	0.94	23	0.94	23
33	0.75	0.99	0.98	23	0.98	23
34	0.67	0.89	0.88	24	0.92	27
35	0.77	1.01	1.01	24	1.04	26
36	0.71	1.01	1.06	33	1.03	31
37	0.82	1.11	1.16	29	1.11	26
38	0.84	1.14	1.22	31	1.15	26
39	0.90	1.03	1.11	19	1.08	17
gem	0.81	1.04	1.05	22	1.05	22

Bijlage 4 Kengetallen en berekeningswijze buffergrootte

- warmte-inhoud van een m³ gas die gebufferd wordt: 29 MJ (M= mega=1.000.000) Dit lijkt wat laag maar hierbij is de mogelijke condensor warmte niet meegerekend omdat de condensor warmte ook niet gebufferd wordt.
- warmte-inhoud van 1 liter water :4160 J/kg.K
- delta T van het buffer water : 50°C (is van 40 naar 90 graden)

Stel er is in 1 week 3000 m³ gas bijgestookt (dus niet als CO₂ gedoseerd), welke (extra) bufferruimte was dan noodzakelijk geweest om de warmte te kunnen bufferen en de rookgassen volledig als CO₂ te doseren:

$$\text{buffergrootte} = 3000 * 29 * 1.000.000 / (4160 * 50 * 1000^{\text{a)}} * 7^{\text{b)}} = 60 \text{ m}^3 \text{ buffer}$$

* a) 1000 om van liters naar m³ te berekenen

* b) 7 om van week naar grootte per dag te berekenen.