

Energiebesparing door verdampingsbeperking via klimaatregeling

Cecilia Stanghellini
Frank Kempkes

Onderzoek in het kader
van het Convenant
Glastuinbouw en Milieu



Gefinancierd door:



Rapport nr 309
ISBN 90-6754-872-3

Title	Energiebesparing door verdampingsbeperking via klimaatregeling
Author(s)	Cecilia Stanghellini, Frank Kempkes
A&F number	Report nr.309
ISBN-number	90-6754-872-3
Date of publication	23 december 2004
Confidentiality	No
Project code.	6305436001
Key-words	energiebesparing , verdampingsbeperking, klimaatregeling
Price	--

Agrotechnology and Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© 2004 Agrotechnology & Food Innovations B.V

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, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

*All right reserved. No part 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 permission of the publisher.
The publisher does not accept any liability for the inaccuracies in this report.*

Voorwoord

In het kader van het convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI) hebben de overheid (ministeries van LNV en EZ) en de glastuinbouwsector (LTO-Nederland) afspraken gemaakt over de maatschappelijke randvoorwaarden, met als horizon 2010. Als doelstellingen zijn geformuleerd:

“Het terugbrengen van het fossiele energiegebruik per eenheid product tot 35 % ten opzichte van dit gebruik in 1980” en “Het aandeel duurzame energie moet toegenomen zijn tot 4 %.” De overheid heeft hier recent aan toegevoegd dat de glastuinbouw haar bijdrage moet leveren aan het terugdringen van de CO₂-uitstoot.

Het binnen grenzen houden van de luchtvochtigheid draagt voor 10 tot 25 % bij aan het totale energieverbruik van kassen en is daardoor een goede kandidaat voor energiebesparing door verhoogde efficiëntie. Het LEI geeft aan dat vochtbeheersing en verlaging van de verdamping samen op zeer korte termijn een energiebesparing van meer dan 5% kunnen opleveren.

(Ravensbergen, 2002). Tegen deze achtergrond is in de herfst van 2002 in opdracht van het ministerie voor LNV en het Productschap Tuinbouw de voorstudie: “strategie verkenning verdamping” uitgevoerd, in een samenwerkingsverband van PPO-Naaldwijk en Agrotechnology & Food Innovation, Wageningen (toen nog IMAG). In die studie is aangetoond dat, in de meeste “vochtgevoelige omstandigheden”, het verdampen en afvoeren van een liter water ongeveer 0.15 kuub gas kost. Daarnaast zijn middelen om de verdamping te beperken dan wel het vocht in een energie efficiënte wijze af te voeren, de revue gepasseerd. In de laatst genoemde groep, werd gepleit voor het ontwikkelen van een “vocht”strategie die optimaal gebruik maakt van alle beschikbare middelen van de klimaatregeling, om zowel de energietoevoer als de waterdamp afvoer te beheersen.

Dit verslag heeft betrekking op de eerste fase (ontwikkeling) van zo’n strategie, waarbij een zelf ontwikkelde “energetisch optimaal” vochtafvoer regelalgoritme is vergeleken met de performance van twee zuinige tuinders (tomaat en paprika).

Aangezien de resultaten veel belovend zijn, is een voorstel voor implementatie, toetsing en kennisoverdracht hiervan opgenomen in de projectindicatie “Vochtbeheersing: een synthese”. Hierbij wordt de implementatie, toetsing en overdracht van de meest belovende (van de tot nu toe onderzochte) middelen om energie te besparen op vochtbeheersing, voorgesteld.

Voor het beschikbaar stellen van de klimaat- en verbruiks-gegevens willen wij hierbij de heren Frank Hendriks en Paul Bol, alsmede Ad de Koning van HortiMax b.v. voor het beschikbaar stellen van het data retrieval computerprogramma, bedanken.

Samenvatting

Gewasverdamping in een kas is het verplaatsen van water vanuit het wortelmilieu naar de kasbuitenlucht en/of een condensatieoppervlakte. Om dit proces in gang te zetten moeten er én water én energie voor het verdampingsproces aan het bladoppervlak beschikbaar zijn (“bron”). Daarnaast moet, om de water-waterdampstroom in gang te houden, de waterdamp afgevoerd worden uit de kaslucht, door ventilatie en/of condensatie (“afvoer”).

Afgezien van maatregelen om de verdamping te beperken (onderwerp van andere projecten), is de “energetisch” meest optimale manier om vocht af te voeren, afhankelijk van de combinatie van momentane weersomstandigheden met specifieke teelteisen.

In dit project is een gereedschap ontwikkeld om de juiste combinatie van klimaatmaatregelen aan elkaar te koppelen tot een optimale vocht- en verdampingsstrategie, waarbij rekening wordt gehouden met de momentane omstandigheden. Een dergelijk gereedschap, ingebouwd in de klimaatcomputer, kan een geavanceerde “vocht- en verdampingsregelaar” vormen, die optimaal gebruik maakt van alle beschikbare middelen van de klimaatregeling, om zowel de energietoevoer als de waterdamp afvoer te beheersen. Het optimalisatieproces houdt rekening met zowel weersomstandigheden als ook met kas- en gewaseigenschappen.

De specifieke doelstellingen van deze eerste fase van dit project waren:

1. Uit analyse van gegevens van tuinders de randvoorwaarden bepalen voor de optimaliserende vochtregelstrategie, om het gewas droog te houden met een minimale inzet van energie.
2. Het in concept ontwikkelen van een innovatieve klimaatregeling die de meest energiezuinige koers continu bepaalt op basis van momentane combinaties van klimaat en gewasfactoren; setpointgrootheden (als: RV; VPD; gewas- en dauwpuntstemperatuur) en actuatoren (kas- en buistemperatuur; schermen; temperatuur- en vochtkieren) en de beste uitvoering (bijvoorbeeld wel of geen integrerende set-points)
3. Het door middel van simulatie bepalen van de energiebesparingpotentie ten aanzien van de huidige state-of-the-art (zowel laatste generatie regelingen als zuinige tuinders)

Met betrekking tot punt 1 zijn klimaat-gegevens en -instellingen verzameld van een paprika en een tomaten tuinder, samen met hun respectievelijke wekelijks en dagelijks energie- en waterverbruik. Daarna is getracht om de door de tuinders toegepaste regelingen na te bootsen in het kas simulatie programma KASPRO. Hierbij moet wel de kanttekening geplaatst worden dat bij voorhoede tuinders met “groene vingers” (oftewel gevoel voor wat, wanneer, en in welke mate gedaan moet worden) er geen sprake is van klimaatinstellingen die weken lang worden vastgehouden, met name in de startfase van de teelt. Anders gezegd, zulke tuinders bereiken hun hoge performance door continu “aan de knopen van de regeling te zitten”, waardoor hun regelgedrag zich niet makkelijk leent voor nabootsing. Niettemin, zijn uiteindelijk de KASPRO voorspellingen (qua gerealiseerd klimaat en verbruik) redelijk overeen gebracht met de beschikbare praktijk gegevens.

Daarnaast (punt 2) is een berekeningswijze ontwikkeld om het effect van verschillende klimaatacties (in termen van vochtafvoer) te standaardiseren en de energiekosten ervan te bepalen. Deze berekeningswijze vormt de basis van een in KASPRO geïmplementeerd algoritme dat iedere rekenstap de meest energiezuinige optie kiest en ook realiseert, rekening houdend met de fysische performance van de actuatoren.

Als laatste (punt 3) is de performance van de regeling geëvalueerd ten opzichte van de praktijk, dat is: het bij de gekozen tuinders gerealiseerde klimaat. Omdat één van de doelstellingen van vochtbeheersing zeker het droog houden van het gewas is (afgezien van het wel dan niet stimuleren van de verdamping), is als maatstaf gekozen voor het aantal uren dat de (berekende) gewastemperatuur dicht bij het dauwpunt van de lucht komt, ten opzicht van de verstookte hoeveelheid gas.

Algemene conclusie is dat de nieuwe regeling een betere performance heeft dan de nu op de markt beschikbare regelingen (minder energieverbruik voor dezelfde resultaat, dan wel een betere resultaat met hetzelfde energieverbruik). De zuinige paprika tuinder ($34.3 \text{ m}^3 \text{ gas/m}^2$) volstaat waarschijnlijk met een relatief hoog aantal uren met kans op natslaan, alhoewel de nieuwe regeling met setpoints, die het verbruik beperken tot 34 m^3 , op een nog hogere aantal gevaarlijke uren uit komt.

Voor wat betreft tomaat, is aangetoond dat vrijwel alle regelingen, waarbij het gebruik van minimumbuis wordt uitgeschakeld, minder energie gebruiken (maar ook iets slechter presteren in termen van meer uren met hoger vochniveau) dan onze “referentie” tuinder, die wel minimumbuis gebruikt. Als deze referentie wordt losgelaten, dan is de trend van de resultaten vergelijkbaar met die van paprika: d.w.z. de nieuwe regeling bespaart energie onder dezelfde performance (traditionele regeling), dan wel heeft een betere performance met het zelfde energieverbruik (temperatuurintegratie).

Geconcludeerd kan worden dat in dit project een procedure is ontwikkeld waarbij vocht afgevoerd kan worden in een energie efficiëntere wijze dan gebruikelijk en dat er een potentie is voor enkele procenten energiebesparing door de sector, BOVEN de besparing die wijde implementatie van temperatuurintegratie kan opleveren.

Het aanvaarden op een hogere kans op natslaan kan natuurlijk resulteren in een grotere besparing. Daarom lijkt het zinvol om het regelalgoritme te toetsen met een echt gewas, zowel om de mogelijkheid tot besparing hard te maken [ter wille van het bevorderen van de acceptatie] als om de grenzen van het aanvaardbare te verkennen, eventueel in combinatie met de resultaten van andere projecten in hetzelfde kader, waarin de mogelijkheid tot beperking van de verdamping is onderzocht

Na een analyse, waarbij geconcludeerd is dat er een goed toepassingsperspectief voor deze regeling is, gezien de mogelijkheid tot energiebesparing tegen zeer geringe investeringskosten, zijn de volgende aanbevelingen gemaakt voor een vervolgfase van dit project:

Aanbeveling I: Er is behoefte aan een “fine-tuning” van het algoritme, dat ten dele ook door middel van simulaties uitgevoerd kan worden. Echter, ook ter wille van de geloofwaardigheid ten opzichte van tuinders, is er behoefte om zo’n algoritme daadwerkelijk te implementeren in een [onderzoek]kas

Aanbeveling II: Er is behoefte aan implementatie van de resultaten van het gewastemperatuuronderzoek, d.w.z. het afhankelijk van omstandigheden bepalen van een “veilige” set-point voor de verschil tussen de berekende gemiddelde gewastemperatuur en het dauwpunt van het lucht. Daarnaast is er ook behoefte aan het in kaart brengen van de omstandigheden [zowel klimaat, als gewas, als bedrijf] waarbij de kans op optreden van ziektes bij een bepaalde waarde van de indicator “dauwpuntexces” het grootste is.

Inhoud

Voorwoord	3
Samenvatting	5
1 Inleiding	11
2 Stand van zaken	13
3 De praktijkgegevens	15
3.1 Tomaat	15
3.2 Paprika	16
4 Het regelalgoritme	19
5 Implementatie en simulaties met KASPRO	23
6 Discussie	25
6.1 Paprika	25
6.2 Tomaat	26
6.3 Analyse	27
6.4 Besparingsperspectieven	28
7 Conclusies en aanbevelingen	29
Literatuur	31

1 Inleiding

De vochtregeling (het binnen grenzen houden van luchtvochtigheid) draagt voor 10 tot 25 % bij aan het totale energieverbruik van kassen en is daardoor een goede kandidaat voor energiebesparing als de efficiëntie ervan kan worden verhoogd. In het LEI-rapport “Richtingen voor het Glami energieonderzoek gezien vanuit onderzoeksoptiek” (Ravensbergen, 2002) wordt gesteld dat vochtbeheersing en verlaging van de verdamping samen, een energiebesparingpotentieel van boven de 5% op zeer korte termijn hebben. Mede op basis hiervan is in herfst 2002 door Agrotechnology & Food Innovation bv (toen nog IMAG) te Wageningen en PPO–Naaldwijk, in opdracht van het ministerie voor LNV en het Productschap Tuinbouw een “Strategieverkenning” uitgevoerd waarbij de mogelijke middelen om gewasverdamping te verlagen werden geëvalueerd ten aanzien van effectiviteit, energiebesparing en potentieel voor implementatie. Er werd met name naar twee groepen ingrepen gekeken: maatregelen om de afgifte van waterdamp door de plant te verminderen (zoals blad plukken, toepassing van antitranspirantia of verhoging van de wortel weerstand) en maatregelen om het afvoeren van vocht in een energie-efficiënte wijze te laten gebeuren. Hierbij werd aangetoond dat zowel de effectiviteit van een maatregel om vocht af te voeren, als de energiekosten daarvan, heel sterk afhankelijk zijn van alle momentane omstandigheden (weer, gewas en kasuitrusting). Dit heeft tot gevolg dat de meest zuinige actie continu gekozen moet worden door rekening te houden met alle concurrerende factoren, waardoor het noodzakelijk wordt om dit door middel van een rekenalgoritme te bepalen.

Het ontwikkelen van zo'n algoritme, het bepalen van de performance ervan door middel van simulaties en vergelijking met performance van zuinige tuinders was het onderwerp van het huidige project. Hiervoor is het volgende uitgevoerd:

1. Van twee tuinders zijn klimaat-, water- en gasverbruikgegevens verzameld. Het betreft een paprika tuinder met energiescherm en een tomatenteler die in de laatste weken van de oude teelt en de eerste periode van de nieuwe teelt een geperforeerd foliescherm gebruikt. Daarna is getracht om de regelingen na te bootsen in het kassimulatieprogramma KASPRO. Bij de analyse van deze praktijkgegevens is het water- en gas-verbruik gerelateerd aan de klimaatinstellingen. Hierdoor werd het simulatiemodel getoetst. Hierbij moet wel de kanttekening geplaatst worden dat bij voorhoede tuinders (met “groene vingers” het gevoel voor wat, wanneer, en in welke mate gedaan moet worden) er geen sprake is van een klimaatinstelling die weken lang worden vastgehouden. Kort gezegd, zulke tuinders bereiken hun hoge performance door veelvuldig, met name bij de teeltstartfase “aan de knopen van de regeling te zitten”, waardoor hun regelgedrag zich niet makkelijk leent voor nabootsing. Daarnaast wordt er, met name door de paprika teler grotere risico's met betrekking tot vocht genomen, maar als het vochtcriterium bereikt wordt, wordt er door de regeling ook fors (grote regelactie) ingegrepen. Niettemin, zijn uiteindelijk de KASPRO voorspellingen (qua gerealiseerd klimaat en verbruik) redelijk overeen gebracht met de in de praktijk gerealiseerde waarden.

2. Er is een procedure ontworpen waarbij de benodigde actie (toename raamstand dan wel toename kasttemperatuur) om een gestandaardiseerd “vocht” resultaat te bereiken wordt bepaald, afhankelijk van de momentane omstandigheden. Daarna is een regelalgoritme ontwikkeld (en in KASPRO geïmplementeerd) waarbij de actuatoren, benodigd om de meest gunstige actie uit te voeren, worden gestuurd.
3. Vervolgens zijn een aantal simulaties uitgevoerd, zowel met de nieuwe regeling (en verschillende set-points) als de meer traditionele RV regelingen, naast de referentietuinder. De performance van de regeling is beoordeeld op basis van a) energiekosten en b) aantal uren dat de berekend gewastemperatuur binnen een bepaald afstand van het dauwpunt van de kaslucht komt te staan.

Na een korte review van de huidige stand van zaken (hoofdstuk 2), worden deze drie onderdelen van het project respectievelijk beschreven in hoofdstuk 3; 4 en 5 van dit rapport. In hoofdstuk 6 wordt het geboden perspectief voor energiebesparing geanalyseerd.

2 Stand van zaken

Probleem

De vochtregeling zoals deze nu in de praktijk wordt toegepast, is verantwoordelijk voor een groot deel van het energieverbruik van kassen (b.v. Esmeijer, 1998; De Graaf, 2001; Blok & Mattias, 2002). Hier zijn twee reden voor:

1. voor het verdampen van water is veel energie benodigd (latente warmte), en deze energie komt vaak van het verwarmingssysteem
2. bij veel omstandigheden van vochtafvoer wordt ook nog warme lucht uit de kas afgevoerd (voelbare warmte). Stanghellini et al., 2003 hebben geschat dat in de meest voorkomende “vochtgevoelige” omstandigheden het verdampen en afvoeren van een liter water 0.15 kuub gas kan kosten. Bovendien, kan het vaak gebeuren dat de “vochtigheid” van de kaslucht amper daalt, terwijl er wel degelijk energie in de kas wordt gepompt (en via de ramen wordt afgevoerd) omdat het afvoeren van vocht in heel veel gevallen juist een stimulans zal zijn voor gewasverdamping.

State-of-the-art

De laatste generatie vochtregelingen (sinds eind 2002 op de markt) zijn veel genuanceerder dan de ouderwetse “minimumbuis” dan wel “minimumraamstand”. De moderne regelingen werken als volgt: de tuinder kiest een set-point (maximale RV dan wel minimaal dampdrukdeficit: hij/zij kan de regelgrootheid meestal zelf kiezen). Zodra het set-point wordt overschreden, wordt eerst gestookt daarna geventileerd, meestal via een P-regelaar. De meest geavanceerde regelingen hebben een additioneel set-point op het minimale temperatuurverschil tussen gewas(delen) en het dauwpunt van de kaslucht, als mate van kans op condensatie op gewas(delen). Dit set-point komt naast het “vocht” set-point (RV of dampdrukdeficit) te werken via een logische “OR”, dat wil zeggen welke van de twee condities dan ook als eerste wordt bereikt, dan wordt er direct actie ondernomen.

Mogelijke verbetering

Omdat er een sterke relatie is tussen de gewasverdamping en het energiegebruik, is het noodzakelijk om de kans op condensatie op gewasdelen zo klein mogelijk te houden, zonder de verdamping onnodig te stimuleren of, andersom, is het noodzakelijk om de vochtproductie (verdamping) te verlagen zonder de kans op een nat gewas onnodig te vergroten. Beide processen (verdamping en condensatie) zijn het gevolg van de momentane interactie tussen vele variabelen (energietoevoer, buitenomstandigheden, ventilatievoud, binnentemperatuur, eigenschappen van het kasdek, aanwezigheid van een scherm, belichting, etc.). De directe kosten (in termen van gasverbruik) van de één of andere actie variëren dan ook met de omstandigheden. De “ideale” regeling, moet dan ook rekening houden met de omstandigheden en de interactie tussen de factoren, en iedere keer op basis daarvan de meest energie-efficiënte koers kiezen. Dit optimalisatieproces moet rekening houden met zowel weersomstandigheden als ook met kasuitrusting en gewaseigenschappen.

Wellicht kan men ook door een juist gebruik van de huidige mogelijkheden in de klimaatcomputer zuiniger omgaan met de vochtregeling. Voor de meeste tuinders (afgezien van de tuinder met “groene vingers”), is er dan ook behoefte aan een geavanceerde “vocht- en verdampingsregelaar” die optimaal gebruik maakt van alle beschikbare middelen van de klimaatregeling, om zowel de energietoevoer als de waterdamp afvoer te beheersen.

Dit project bouwt voort op de resultaten van twee A&F (toen nog IMAG) projecten, te weten:

1. Energiebesparing van vochtintegrerende regeling
2. Strategieverkenning verdamping (in samenwerking met PPO): verlaagde verdamping als middel om energie te besparen

In het project “Energiebesparing door vocht integrerende regeling” is onder andere aangetoond dat een lager energieverbruik vrijwel zeker een lagere verdamping betekent, en andersom. Bij de gangbare vochtregelingen “om het gewas actief te houden” worden verdampingsniveaus in stand gehouden die in feite niet bijdragen aan de productie. In dezelfde studie is aangetoond dat door een grote verruiming van de mogelijkheid om “verdampingsintegratie” toe te passen, het toelaten van een kleine daling (bijvoorbeeld 5%) in de totale verdampingsom, een directe vermindering van het energieverbruik geeft op jaarbasis (11 à 13% en mogelijk nog meer). Acties die beperkt zijn tot bepaalde seizoenen, kunnen andere resultaten opleveren (zoals bijvoorbeeld bij het bladplukken bij paprika in de zomer). Alhoewel de exacte percentages kunnen variëren met de gewassen en kasuitrusting, is het een feit dat de relatieve besparing op energieverbruik groter is dan de relatieve daling in verdamping.

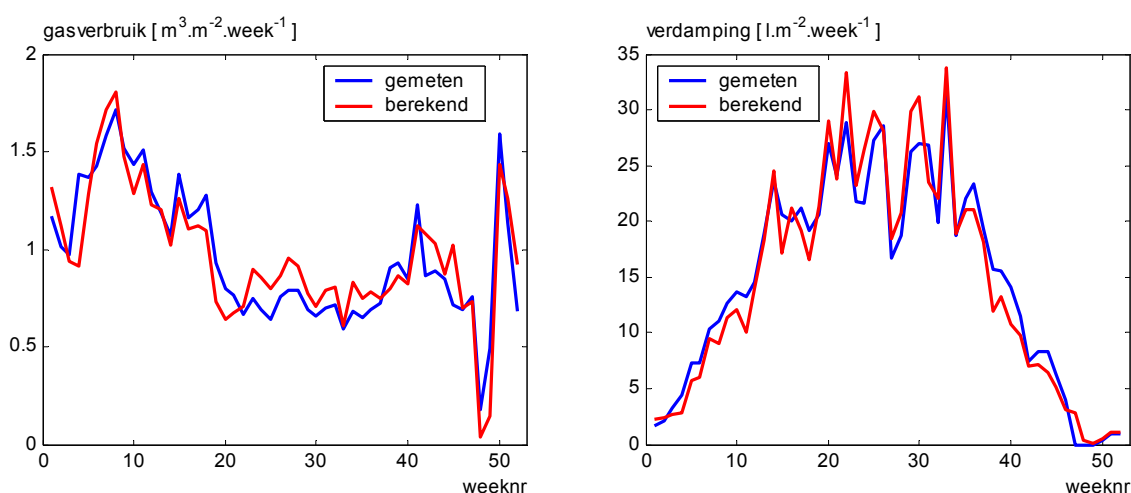
In de “strategieverkenning” is aangetoond dat zowel de effectiviteit van een maatregel om de verdamping te beïnvloeden als de energiekosten daarvan heel sterk afhankelijk zijn van alle momentane omstandigheden (weer, gewas en kasuitrusting). Dit heeft tot gevolg dat de meest zuinige actie continu gekozen moet worden door rekening te houden met alle concurrerende factoren.

Zoals later in hoofdstuk 4 aangetoond zal worden, is er een sterke relatie tussen het “dauwpunt exces” (het verschil tussen berekend gewastemperatuur en dauwpunt van de kaslucht) en de verdamping. Omdat de risico’s (natslaan) verbonden aan een te klein dauwpunt exces veel duidelijker zijn dan het risico van een te kleine verdamping, is in dit project ervoor gekozen om het handhaven van een minimaal dauwpunt exces als enige doelstelling van de vochtregeling te beschouwen. Gezien de sterke relatie tussen de twee kunnen onze resultaten zich heel makkelijk lenen voor een herschrijving in termen van “minimale verdamping”.

3 De praktijkgegevens

3.1 Tomaat

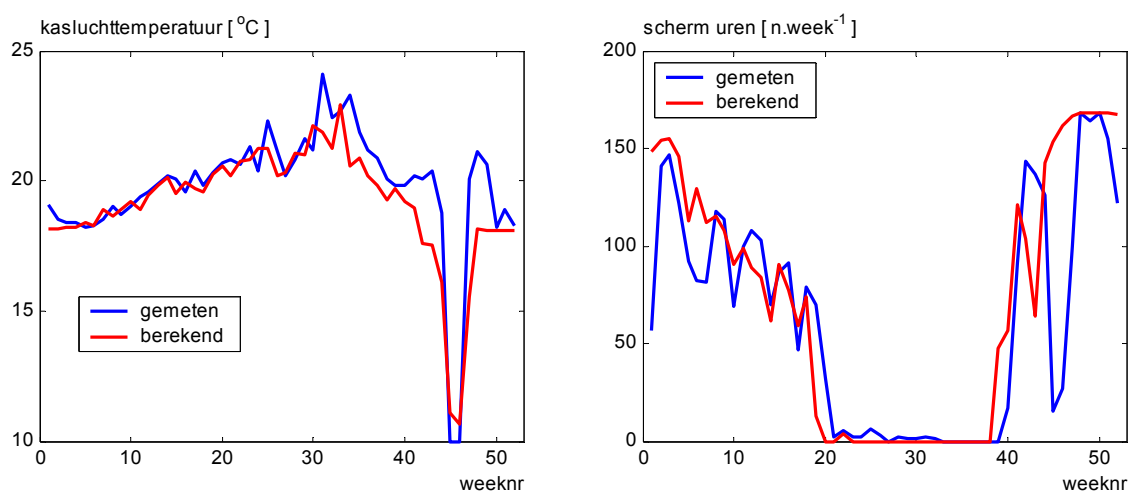
De gegevens van het tomatenbedrijf zijn afkomstig van een modern bedrijf (17500 m²) dat jaarrond kleine tomaten uit het smaaksegment produceert. Er wordt de laatste weken van de oude teelt en ca de eerste 6 weken van de nieuwe teelt gebruik gemaakt van een geperforeerd vast foliescherm. De overige bedrijfsuitrusting is vrijwel standaard, alleen de afmeting van het groeibuisnet (51mm) is opvallend. Dit verwarmingsnet wordt in de periode maart tot het einde van de teelt als primair verwarmingsnet ingezet. De tuinder maakt gebruik van een klimaatcomputer van PB (nu HORTIMAX), waaruit historische setpoints en gerealiseerd kasklimaat gehaald zijn. Daarnaast heeft de teler van zowel gas als waterverbruik dagelijkse overzichten gemaakt en ter beschikking gesteld. Uit een interview met de tuinder is gebleken dat deze relatief weinig op een directe manier (via een setpoint RV of vochtdeficit) het vochniveau in de kas stuurt. Om een gewenst vochniveau te handhaven wordt veelvuldig gebruik gemaakt van minimumbuis temperatuur en of minimumraaminstellingen (met een traject op de buitentemperatuur). Op het bedrijf wordt vrijwel geen gebruik gemaakt van temperatuurintegratie, in ieder geval niet automatisch via de klimaatcomputer. Alleen wordt het temperatuurintegratie effect soms gebruikt door het toepassen van maximumbuis temperaturen. Uit een analyse van de verkregen data is gebleken dat de buitenklimaatgegevens teveel onvolkomenheden bevatte. Deze zijn in de berekeningen vervangen door klimaatfiles van het PPO –Naaldwijk. Het door dit bedrijf in 2002 gerealiseerde gas- en water-verbruik (verdamping) van respectievelijk 50.2 m³/m² en 769 l/m² zijn door het model, in de zogenaamde referentiecasi, goed gesimuleerd met verbruiken van respectievelijk 50.7 m³/m² gas en een verdamping van 760 l/m². In Figuur 1 is het wekelijks verloop van het gemeten en berekende gasverbruik en de verdamping weergegeven van de validatie case met KASPRO. Deze case wordt in het vervolg van het project als de referentie case voor tomaat gebruikt.



Figuur 1 *Wekelijks verloop van het gemeten en berekende gasverbruik en de verdamping van de model validatie case voor tomaat.*

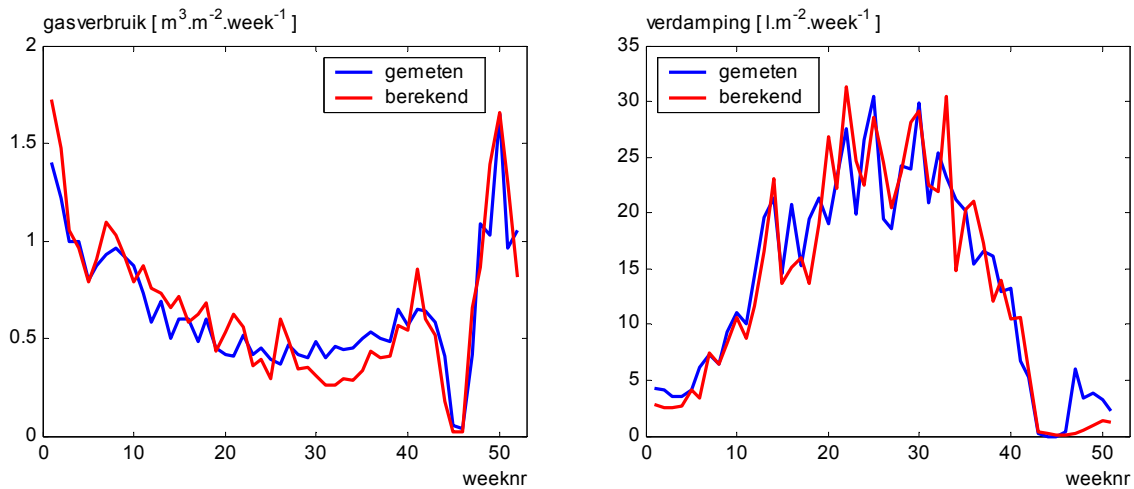
3.2 Paprika

Van het paprikabedrijf zijn van een beperkt aantal klimaatparameters weekgemiddelde waarden via de klimaatcomputer ter beschikking gekomen. Het betreft een modern paprika bedrijf van 41000m². De bedrijfsuitrusting is eenvoudig en zakelijk, zo is er bijvoorbeeld slechts 1 verwarmingsnet aanwezig. Er is een beweegbaar SLS-10-ultra plus scherm aanwezig, dat veel gebruikt wordt. Evenals bij tomaat maakt ook dit bedrijf weinig direct gebruik van een RV dan wel vochtdeficit regeling. Veel vochtafvoer wordt gerealiseerd met minimumraam en of minimumbuistemperaturen. Dit bedrijf maakt wel gebruik van temperatuurintegratie. De bedrijfsgegevens zijn in het model ingevoerd. Voor een 4 tal parameters is op basis van weekgemiddelden een vergelijking tussen de door het model berekende waarden en de praktijk metingen gemaakt, in Figuur 2 de kasluchttemperatuur en het aantal schermuren [zin loopt niet].



Figuur 2 *Weekgemiddelden kasluchttemperaturen berekend met het model en gemeten in de praktijk en het aantal schermuren per week volgens de modelberekeningen en gemeten in de praktijk.*

Uit Figuur 2 blijkt in het najaar soms een grote variatie te bestaan tussen de berekende en gemeten aantal schermuren. Voornaamste reden van deze verschillen is de teeltwisselingsperiode (week 45-47), waar in het model het scherm vrijwel continue dicht is terwijl dit in de praktijk juist omgekeerd het geval is. Iets wat goed kan samengaan met werkzaamheden in de kas die het gebruik van een scherm op dat moment verhinderen. Net voor de teeltwisseling is juist in de praktijk aanmerkelijk meer geschermd dan in het model. Dit kan veroorzaakt worden door een gewenste versnelling van de afrijping van de laatste vruchten, waarbij minder stringent naar vochtomstandigheden gekeken wordt, immers indien het gewas hiervan schade ondervindt is dit geen probleem omdat het gewas toch vrijwel direct verwijderd wordt.



Figuur 3 *Weekgemiddelden energieverbruiken berekend met het model en gemeten in de praktijk en het weekgemiddelde waterverbruik volgens de modelberekeningen en gemeten in de praktijk.*

Uit de in Figuur 3 weergegeven gasverbruiken en verdampingscijfers komt een goede overeenkomst tussen de praktijk gegevens en de modelberekeningen naar voren. Het energieverbruik wordt in de periode week 30 – 40 onderschat. Dit lijkt niet veroorzaakt te worden door een te hoge ingeschatte verdamping in deze periode (Figuur 3). Een mogelijke oorzaak kan zijn een wat stringenter handhaving van de vochtsetpoints in de periode, die niet uit het interview naar voren is gekomen.

Het door dit bedrijf in 2002 gerealiseerde gas- en water-verbruik (verdamping) van respectievelijk $33.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ en $700 \text{ l}/\text{m}^2$ zijn door het model, in de zogenaamde referentiecasi, goed gesimuleerd met verbruiken van respectievelijk $34.3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ gas en een verdamping van $678 \text{ l}/\text{m}^2$. De oorzaak van het hoge waterverbruik direct na de teeltwisseling is vrijwel zeker het voldruppelen van de matten (het totaal verschil komt rond de 20 liters per vierkante meter).

4 Het regelalgoritme

In dit hoofdstuk wordt op de theorie voortborduurd die is beschreven in het eindrapport “vochtintegratie” (Stanghellini & Kempkes, 2002) en in de “strategieverkenning vocht” (Stanghellini et al, 2003), allen gebaseerd op eerdere werken (Stanghellini, 1995 en Stanghellini en De Jong, 1995).

Eerst kan worden aangetoond dat de verdamping (vrijwel) evenredig is met het verschil tussen gewastemperatuur en dauwpunt van de lucht. Laten wij de verdamping schrijven als een transport vergelijking:

$$E = g_{\text{gewas}} (\chi_{\text{eff}} - \chi_a) \quad (1)$$

waarbij de volgende definities zijn gebruikt:

$$g_{\text{gewas}} \equiv \frac{2LAI}{(1 + \varepsilon)r_b + r_s} \quad (2)$$

en:

$$\chi_{\text{eff}} \equiv \chi_a^* + \varepsilon \frac{r_b}{2LAI} \frac{R_n}{L} \quad (3)$$

waarin:

E ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}_{\text{grond}} \cdot \text{s}^{-1}$)	=	gewasverdamping
g_{gewas} ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	=	kan gezien worden als een “samengestelde geleiding” op de verdampingsstroom
χ_{eff} ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	=	is een “effectieve” dampconcentratie op bladniveau, rekening houdend met de stralingswinst van het gewas
χ_a ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	=	vochtconcentratie van de lucht in de kas (absolute vochtigheid)
LAI (-)	=	bladoppervlakte (eenzijdig) per eenheid grondoppervlakte
ε (-)	=	δ/γ (helling van de vochtverzadigingscurve bij de momentane temperatuur / psychometrische constante)
r_b ($\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)	=	grenslaag weerstand (te berekenen met behulp van een model, bijvoorbeeld Stanghellini, 1987)
r_s ($\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)	=	gewas (huidmondjes) weerstand (te berekenen met behulp van een model, bijvoorbeeld Stanghellini, 1987)
χ_a^* ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	=	de verzadigde dampconcentratie van de kaslucht
R_n ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)	=	netto straling van het gewas (te berekenen met behulp van een model, bijvoorbeeld Stanghellini, 1987)
L ($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$)	=	Latente warmte van water

Als wij de gewastemperatuur definiëren zoals de temperatuur waarbij χ_{eff} is verzadigd en rekening houden met de definitie van dauwpunt, dan is vergelijking (1) door middel van de Taylor expansion te herschrijven zoals:

$$E \cong g_{\text{gewas}} K_T (T_{\text{gewas}} - T_{\text{dauw}}) \Rightarrow T_{\text{gewas}} - T_{\text{dauw}} \cong \frac{E}{g_{\text{gewas}} K_T} \quad (4)$$

waarbij K_T een evenredigheid"constante" is (ongeveer $1 \text{ g m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ bij 18°C en iets minder dan 1.2 bij 21°C).

Dit wil zeggen: zorgen dat de temperatuur van het gewas "voldoende" ver van het dauwpunt van de lucht is verwijderd (om de kans van condensatie op gewasdelen zo klein mogelijk te houden) komt (vrijwel) overeen met het handhaven van een minimaal verdampingsniveau. Hierbij is het wel van belang, te beseffen dat de zaken niet zo simpel zijn omdat de gewas geleiding (g_{gewas}) niet constant is, maar varieert met weer- en gewas-omstandigheden.

Vergelijking 4 betekent dat voor het bepalen van de invloed van regelacties op de "dauwpunt exces" wij gebruik kunnen maken van de resultaten (m.b.t. de verdamping) zoals weergegeven in de "strategieverkenning". Hierbij moet gememoreerd worden dat een belangrijk resultaat uit de strategieverkenning is, dat verreweg de meest economisch manier om waterdamp af te voeren door condensatie is. Daarom wordt in eerste instantie in het algoritme gekeken naar de mogelijkheid om een vochtmier in het scherm te openen. Als die mogelijkheid niet bestaat (geen scherm), of al benut wordt (mier is al maximaal open) en het temperatuurverschil tussen gewas en dauwpunt toch te klein is, dan blijven er twee mogelijkheden over om in te grijpen: stoken of ventileren. In principe is belichten ook een mogelijkheid. Echter dit is hier niet verder uitgewerkt, omdat de doelstelling van dit project is om te schatten hoeveel energie bespaard zou kunnen worden door een algemeen toepasbaar algoritme. Bovendien, geen van de referentie tuinders beschikt over kunstlicht. Natuurlijk is het altijd mogelijk om deze optie in het algoritme te bouwen.

Het principiële verschil tussen de regeling die hier ontwikkeld is en de meest moderne vochtregelingen op basis van temperatuur, is dat hier on-line berekend wordt welke actie (stoken of ventileren) het meest efficiënt is, terwijl de regelingen die nu op de markt zijn een vast volgorde: stoken en dan zonodig ventileren hebben. Om de beste strategie te berekenen, wordt een "normwaarde" gedefinieerd, dat zijn de energiekosten om het verschil tussen gewas temperatuur en het dauwpunt van de lucht met één graad te verhogen, door te ventileren, dan wel door te stoken. De berekening van de normwaarde is hierna uitgelegd.

In de strategieverkenning vocht, is de afgeleide van de verdamping bepaald ten opzichte van de luchttemperatuur (vergelijking 8). Deze kan gebruikt worden met vergelijking (4), zie hierboven, om de invloed op het dauwpunt exces bij variatie in de kasluchttemperatuur af te leiden:

$$\frac{\Delta(T_{\text{gewas}} - T_{\text{dauw}})}{\Delta T_{\text{kas}}} \cong \frac{g_{\text{condensatie}} + g_{\text{ventilatie}}}{g_{\text{gewas}} + g_{\text{condensatie}} + g_{\text{ventilatie}}} \quad (6)$$

waarbij:

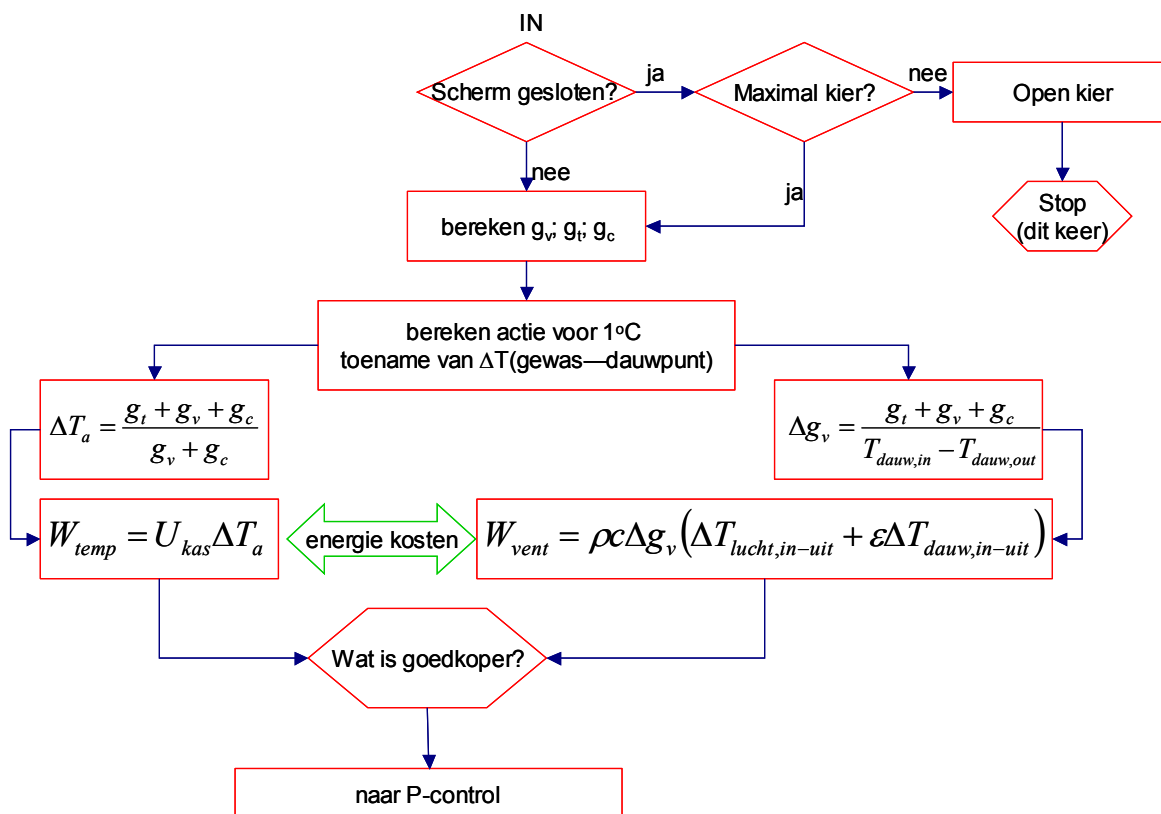
$g_{\text{condensatie}} \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$ = is een "samengestelde geleiding" op de condensatiestroom
 $g_{\text{ventilatie}} \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$ = is de geleiding op de ventilatiestroom (makkelijk te relateren aan de luchtverversingen per uur)

En uit vergelijking (11) van de strategieverkenning (is de afgeleide van de verdamping ten opzichte van ventilatie), is het mogelijk om te berekenen wat de invloed is van de ventilatie:

$$\frac{\Delta(T_{\text{gewas}} - T_{\text{dauw}})}{\Delta g_{\text{ventilatie}}} \cong \frac{T_{\text{dauw,in}} - T_{\text{dauw,out}}}{g_{\text{ventilatie}} + g_{\text{condensatie}} + g_{\text{gewas}}} \quad (7)$$

Vergelijkingen 6 en 7 maken het mogelijk om de grootte te berekenen van een actie (stoken dan wel ventileren) die nodig is om een beoogd resultaat, in termen van verhoging van het dauwpunt exces, te bereiken. Deze standaardisatie maakt het mogelijk om op ieder ogenblik (alle factoren op de rechterhand van vergelijkingen 6 en 7 zijn immers variabel) de energiekosten te berekenen van elke optie en de goedkoopste te kiezen.

De energiekosten worden berekend als de som van het extra verlies van voelbare en latente warmte als gevolg van de actie. In het geval dat er is geen warmtevraag is in de kas, wordt het latente onderdeel achterwege gelaten (de energie voor verdamping komt immers niet van het verwarmingssysteem). Hier wordt alleen de latente warmte achterwege gelaten omdat de voelbare warmte wel mee kan tellen in de temperatuurintegratie regeling. Het algoritme is schematisch weergegeven in onderstaand Figuur 4.



Figuur 4 Schematisch overzicht berekening en beslissingsstructuur voor de te bepalen regelactie. Eerst wordt gekeken naar de mogelijkheid van een kier (d.w.z. het scherm is dicht of is er een kier kleiner dan 4 %). Alleen als deze mogelijkheid niet bestaat worden de andere twee opties berekend.

5 Implementatie en simulaties met KASPRO

Zoals in hoofdstuk 3 al aangetoond is, is er een goede (model) referentieteelt van zowel tomaat als paprika aanwezig. Om de performance van de nieuwe regeling te testen, is een breed scala aan setpoints doorerekend, zowel met een “traditionele” regeling op RV, als met de hier ontworpen regeling op het verschil tussen de gewastemperatuur en de dauwpuntstemperatuur van de kaslucht, in het vervolg dt regeling genoemd. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de gebruikte setpoints van de verschillende regelingen. Additioneel is ook nog de temperatuurintegratie (24 uren met een bandbreedte van 2°C) bij beide regelingen in- dan wel uitgeschakeld.

Tabel 1 *Overzicht van de gebruikte setpoints van de verschillende regelingen.*

regeling	eenheid	setpoint(s)
RV_l	%	85
RV_m	%	87 / 85 *)
RV_h	%	90 / 87 *)
DT_g	°C	2 / 2.25 *)
DT_m	°C	2
DT_k	°C	1.75 / 2 *)
DT_xk	°C	1.5 / 1.75 *)
DT_xxxk	°C	1.0 / 1.25 *)
DT_xxxk	°C	0.5 / 0.75 *)

*) Indien 2 waarden gegeven worden, geldt het 2^{de} getal in de periode van 3 uur voor zonsopkomst tot 3 uur na zonsopkomst en de rest van de dag is het setpoint het eerste getal.

Voor wat betreft de schermkier (niet verondersteld in de tomaat berekeningen omdat het referentiebedrijf met een vast folie heeft gewerkt), is de maximale breedte ervan beperkt tot 4 cm, aangezien Kempkes et al., 2000 hebben aangetoond dat grotere kieren geen effect hebben op vochtafvoer, maar wel op energieverbruik. Verder, om de performance van de verschillende regelingen goed te kunnen vergelijken is in de berekeningen het gebruik van minimumraamstanden uitgeschakeld.

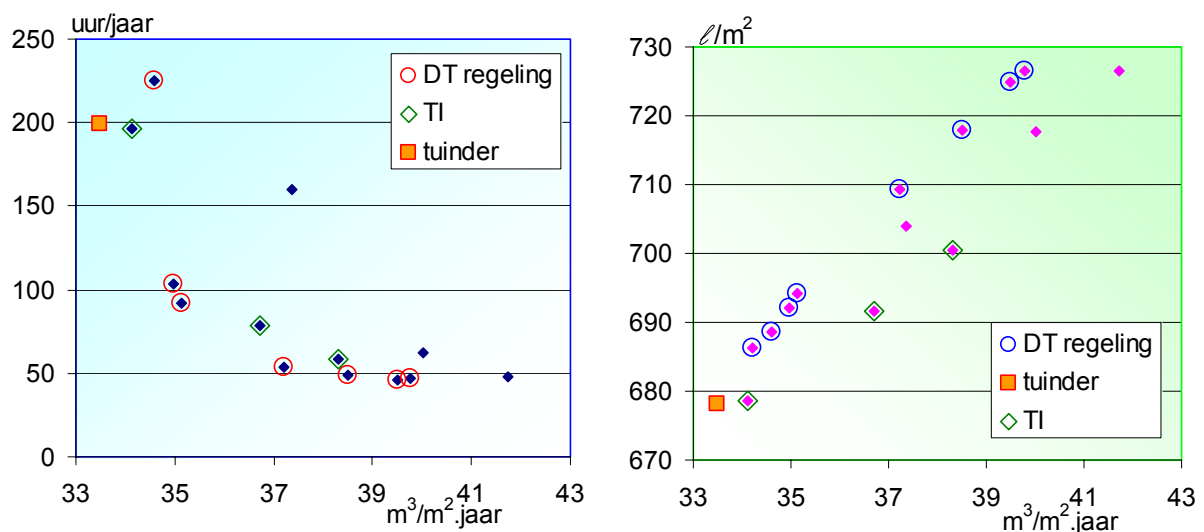
6 Discussie

Het veranderen van regeling van het kasklimaat zal altijd gevolgen hebben op het klimaat dat in de kas gerealiseerd wordt. Zo zal bijvoorbeeld door het inschakelen van temperatuurintegratie de gemiddelde kastemperatuur iets dalen omdat gecompenseerd wordt voor de verhoging van de ventilatielijn bij (hoge) instraling. De dt regeling is zodanig opgebouwd dat verhoging van de stooklijn, automatisch middels temperatuurintegratie gecompenseerd. Echter door de beperkte compensatieperiode wordt de gemiddelde kasluchttemperatuur fractioneel (ca. 0.1°C) hoger dan bij de traditionele regelingen en ca. 0.2°C voor de TI regelingen..

6.1 Paprika

Een vergelijking van de performance van alle regelingen voor paprika is in Figuur 5 gemaakt. Als we kijken naar de rechterkant van deze figuur (totale verdamping vs. gasverbruik) is het duidelijk dat de punten met betrekking tot de dt-regeling steeds boven de punten van alle andere regelingen komen te staan. Hetzelfde verdampingsniveau, wordt steeds met ongeveer 2 kuub minder gasverbruik bereikt. Dit wil zeggen dat deze regeling het inderdaad presteert om vocht uit de kas te voeren in een efficiëntere wijze dan de meer traditionele regelingen. Dat is grotendeels te danken aan de selectieve toepassing van de vochtkier, zoals al beredeneerd in de “strategieverkenning vocht” (Stanghellini et al., 2003).

De performance, in termen van kans op natslaan klein te houden (links), is moeilijker te



Figuur 5 Paprika. Links: aantal uren in het jaar dat de gewastemperatuur binnen een halve graad van het dauwpunt van de kaslucht komt te staan, vs het gasverbruik. Rechts: gewasverdamping vs gasverbruik. De rode vierkanten is de performance van de referentie tuinder (aantal uren is geschat, verdamping zie tekst); kleine punten zijn traditionele RV regelingen met verschillende setpoints; omcirkeld met \diamond zijn RV regelingen met dezelfde setpoints, wel met temperatuurintegratie en omcirkeld met \circ is de dt-regeling met verschillende setpoints.

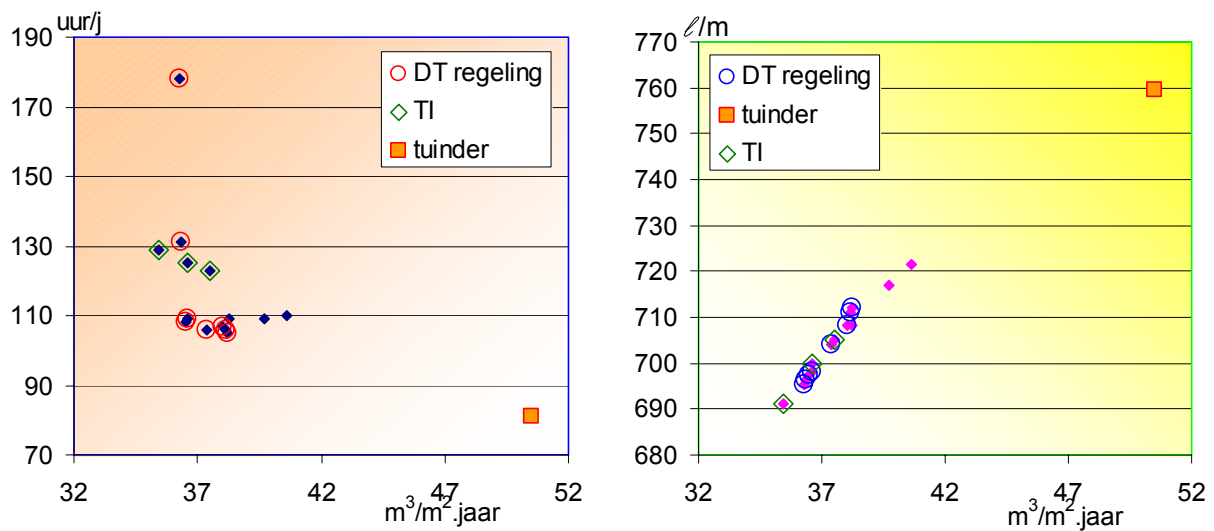
interpreteren, omdat de link tussen verstookte energie en het resultaat minder eenduidig is. Zo maakt het bijvoorbeeld voor het resultaat van de nieuwe regeling weinig uit of je nu 37 kuub stookt of 40. Je blijft met een “harde kern” van ongeveer 50 uur per jaar dat het gewas “niet droog is te houden” (met welke regeling dan ook, trouwens). Dit zijn voornamelijk uren rond zonsopgang in de zomer (mei t/m augustus) en zonsondergang in augustus t/m oktober. Het lijkt er dan ook op dat de strengere eisen rond zonsopgang (regelen op een hogere dauwpunt temperatuur exces in de na-nacht) een hele beperkte invloed hebben op het resultaat. Toepassing van het scherm biedt ook geen soelaas: het betreft immers omstandigheden waarin geen waterdamp kan worden afgevoerd door ventilatie (buiten is ook het warm en vochtig) en stoken is een te trage actie. In zulke omstandigheden zou een belichtingsinstallatie wel uitkomst kunnen bieden, omdat het gewas zeker meer wordt verwarmd dan dat het dauwpunt van de kaslucht verhoogd wordt.

Niettemin, het linker deel van Figuur 5 laat zien dat eenzelfde resultaat (qua uren met kans op natslaan) wordt bereikt door de nieuwe regeling met minder energie, ongeveer 8% relatief ten opzichte van de traditionele regeling en ongeveer 4% met betrekking tot temperatuur integratie. Andersom, bij hetzelfde energieverbruik komt het gewas meer uren in de “gevaarzone” met temperatuurintegratie dan met de dt regeling. Uit de berekende performance voor de referentie, dat is de tuinder, zou het lijken dat het “veelvuldig aan de knopen zitten” wel loont: qua energieverbruik lijkt hij beter te presteren dan zowel deze “dt” regeling als temperatuurintegratie, alhoewel met een relatief hoog aantal uren met hoge kans op natslaan.

6.2 Tomaat

Figuur 6 geeft de resultaten weer voor het gewas tomaat. Wat als eerste opvalt is dat onze tuinder wellicht een hele goed bedrijfsresultaat heeft, maar zuinig is hij zeker niet. Inderdaad wordt er veelvuldig gebruik gemaakt van minimumbuis temperaturen. Het zal dan ook niet verbazen, dat zijn performance qua kans van natslaan beter is dan welke van de andere regelingen dan ook: 10 kuub meer stoken zal niet helemaal voor niets zijn. Echter met deze 10 kuub worden de “gevaarlijk uren” terug gebracht van 110 naar 80; deze 30 uren vallen dus wel erg duur uit. In de berekeningen is het gebruik van minimumbuis uitgeschakeld om de regelingen maximale vrijheid te geven met betrekking tot de vochtbeheersing. De meeste uren met een klein temperatuur-exces vallen in de namiddag, in de maand november, de periode waarin het vaste scherm toegepast werd. Heel waarschijnlijk zou een mobiel scherm het aantal “gevaar”uren flink terugdringen. Als dat geen optie zou zijn, dan is toepassing van belichting wellicht effectiever dan minimumbuis, zoals door “onze” tuinder werd gedaan.

Afgezien hiervan, laten wij de drie type regelingen nu onder de loep nemen, de traditionele, traditionele met temperatuur integratie en de nieuwe “dt” regeling. Zoals Fig. 6 (links) laat zien, heeft de nieuwe regeling dezelfde performance (qua gevaarlijke uren) dan de traditionele regeling, maar met een 5% lager energieverbruik (36.5 kuub t.o.v. 38.3, voor dezelfde 108 uur dat de dauwpunt-exces onder 0.5 graad komt). Regelingen met temperatuurintegratie die resulteren in een vergelijkbaar energieverbruik hebben wel een slechtere performance (qua uren met een klein dauwpunt-exces). Het verschil doet zich voor voornamelijk in de vroege zomeravonden voor, waarin te weinig wordt geventileerd ter wille van de temperatuurintegraal.



Figuur 6 *Tomaat. Links: aantal uren in het jaar dat de gewastemperatuur binnen een half graad van de dauwpunt van de lucht komt te staan, vs het gasverbruik. Rechts: gewasverdamping vs gasverbruik. De rode vierkante is de performance van de referentie tuinder (aantal uren is geschat); kleine punten zijn traditionele RV regelingen met verschillende setpoints; omcirkeld met \diamond zijn RV regelingen met dezelfde setpoints, wel met temperatuurintegratie en omcirkeld met \circ is de dt-regeling met verschillende setpoints.*

Deze verbeterde regeling geeft dus een energiebesparing van ongeveer 5% t.o.v. een traditionele regeling met dezelfde performance en vermindert de kans op natslaan met 13% ten opzichte van een regeling (Temperatuur integratie) die hetzelfde energieverbruik heeft.

Bij vergelijking van de relatie verdamping- gasverbruik (rechtter deel van figuur) blijkt de dt regeling bij paprika meer invloed te hebben dan bij tomaat. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in het beperkte schermgebruik bij tomaat. Bij paprika staat dus één extra regelmogelijkheid ter beschikking, de schermkier, dat de vochtafvoer (en dus de verdamping) in een grotere mate kan verhogen dan dat het energieverbruik wordt verhoogd.

6.3 Analyse

De nieuwe regeling is dus efficiënter dan beiden andere regelingen. Het is wel opvallend dat de performance van de dt-regeling in beide gevallen verticaal verslechterd bij kleinere set-points. Met andere woorden: het aantal uren in het jaar dat de gewastemperatuur binnen een half graad van de dauwpunttemperatuur van de kaslucht komt te staan groeit sterk, terwijl het energieverbruik niet omlaag gaat. Het betreft hier meestal het voorjaar en zomerse avonden, waar geen verwarming plaatsvindt (dus ook geen energieverbruik) terwijl een hoger dt setpoint voor meer (en meer tijdig) ventilatie zorgt. Aangezien dit niet de omstandigheden zijn die relevant zijn voor energiebesparing, hebben wij geen verdere aandacht besteden aan verificatie of dit probleem uit de wereld geholpen kan worden door een aanpassing van de P-band (dat is: hoe snel en hoe wijd de ramen open gaan bij overschrijding van de grenswaarde).

Met betrekking tot de vraag of deze regeling wel energie kan besparen t.o.v. de meest moderne vochtregelingen op de markt, die ook het temperatuurverschil tussen gewas[delen] en dauwpunt trachten te sturen, hebben wij gekeken naar de verdeling van de regelacties (stoken dan wel ventileren). Zoals boven opgemerkt, de regelingen die nu op de markt zijn hebben een vaste volgorde: stoken en daarna zonodig ventileren. De in dit project ontwikkelde regeling berekent iedere moment wat het meest efficiënt is. Bij tomaat, als een “vocht stuur” actie noodzakelijk werd, werd in 2/3 van de gevallen gekozen voor ventileren en slechtst in 1/3 voor stoken; bij paprika was de verdeling ongeveer 50-50 (afgezien van de gevallen waarbij gekozen werd voor een kier). Hierbij kan afgeleid worden dat het on-line vaststellen van de “optimale” actie andere resultaten geeft dan een vooraf vastgestelde strategie, en dus effectiever en zuiniger moet zijn.

Het is wel opvallend dat onze “referentie tuinders” aan de randen staan van de “puntenwolk”. Zoals eerder opgemerkt, door de continue aanpassing van de setpoints bereikt de paprika tuinder een lagere energieconsumptie dan de door ons berekende regelingen. Keerzijde van de medaille is wel dat hij genoeg neemt met een relatief hoog risico van natslaan. Anderzijds is de tomatenteler wel degelijk bereid om gas te verbranden om de kans op natslaan van het gewas zo klein mogelijk te houden (minimumbuis). Misschien was in dit geval een mobielscherm een betere investering geweest.

6.4 Besparingsperspectieven

Algemeen toepassing van zo'n regeling kan dus resulteren in een energie besparing voor vochtbeheersing van 5 (tomaat) tot 8% (paprika) bij tuinders die geen temperatuur integratie toepassen. Als TI wordt toegepast dan is de additionele besparing ongeveer 3% bij paprika, terwijl het bij tomaat resulteert in een zelfde energieverbruik met een kleinere kans op condensatie op het gewas. De aanwezigheid van een scherm kan de mogelijkheden voor energiebesparing (vochtkier) bij tomaat verruimen, nog boven de directe energiebesparing vanwege het scherm.

Aangezien dit regelalgoritme in elke bestaande klimaatcomputer ingebouwd zou kunnen worden tegen zeer geringe kosten, er is wel een goed perspectief voor brede toepassing in de praktijk. Het is wel zo, dat deze regelalgoritme een bepaalde doelstelling van de tuinder (m.b.t. kans op natslaan) in een energie-efficiëntere wijze kan realiseren dan de nu beschikbare vochtregelaars. Tuinders die bereid zijn om een hoger risico van natslaan te lopen (zoals ons referentietuinder paprika) kunnen nog meer energie besparen. Daarom lijkt het ons noodzakelijk om een bredere acceptatie door de tuinders te waarborgen door een [semi]praktijk demonstratie van deze resultaten in een vervolgfase van dit project. Deze zou ook gebruikt kunnen worden om de mogelijkheden te onderzoeken tot verdere verbetering van het algoritme.

7 Conclusies en aanbevelingen

Het belangrijkste resultaat van deze studie is dat een “vochtbeheer algoritme” die steeds de minst energievragende koers kiest (om de huidig aanvaarde vochtigheid grenzen te handhaven), zeker een verbetering is ten opzicht van de meer standaard regelingen, ook de meest zuinige. Een brede implementatie van een dergelijke regeling kan dus zeker enkele procenten energiebesparing opleveren voor de sector, boven de besparing die door implementatie van andere maatregelen, zoals temperatuurintegratie of schermen, kan worden bereikt. Aangezien dit regelalgoritme in elke bestaande klimaatcomputer ingebouwd zou kunnen worden tegen zeer geringe kosten, is er wel een goed perspectief voor brede toepassing in de praktijk. Echter, om een breed draagvlak te waarborgen lijkt het ons beter om eerst deze resultaten te implementeren en te verfijnen.

De beperkte omvang van deze studie liet het niet toe om ook een “regeltechnische” studie te verrichten om de performance van actuatoren met betrekking tot de beoogde regelactie te verbeteren. Bij voorbeeld, het lijkt aannemelijk dat bij een betere performance (qua kans op natslaan) uiteindelijk nog meer energiebesparing gehaald zou kunnen worden als ook de P-band van de actie (dus de “reactiesnelheid”) afhankelijk wordt gemaakt van de omstandigheden, en niet alleen het selecteren van een bepaalde actie.

Aanbeveling 1: er is behoefte aan een “fine-tuning” van het algoritme, dat ten dele ook door middel van simulaties uitgevoerd kan worden. Uiteindelijk echter, ook ter wille van de geloofwaardigheid ten opzichte van tuinders, is er behoefte om zo’n algoritme daadwerkelijk te implementeren in een [onderzoek]kas

Daarnaast, wordt in deze studie bevestigd wat al in eerdere projecten is waargenomen: meer energiebesparing kan gehaald worden door vochtiger telen, iets dat tuinders niet graag zullen doen (Verstegen et al., 2003). In deze studie is de berekende “dauwpuntexces” gebruikt als indicator van kans op ziektes. Dit is aannemelijk, maar het is ook zeker niet het einde van de story: In bepaalde omstandigheden kan een halve graad dauwpuntexces voldoende zijn om eventuele verschillen in temperatuur van gewasdelen te ‘dekken’, soms juist niet. Resultaten van het planttemperatuuronderzoek zouden hier geïmplementeerd kunnen worden. Bovendien, is het ook denkbaar dat ook bij gelijke “kans op natslaan” het optreden van ziektes ook nog aan andere factoren gerelateerd kan zijn.

Aanbeveling 2: Er is behoefte aan een maat [afhankelijk van omstandigheden] te bepalen voor de afwijkingen van temperatuur van de gewasdelen t.o.v. de gemiddelde gewastemperatuur. Daarnaast is er ook behoefte aan het in kaart brengen van de omstandigheden [zowel klimaat, als gewas als bedrijf] waarbij de kans op optreden van ziektes bij een bepaalde waarde van de indicator “dauwpuntexces” het grootste is.

Literatuur

- Blok, C., Mattias, M.C., 2002. Verlaagde gewasverdamping. PPO rapport 565, Naaldwijk, Holland.
- De Graaf, R., 2001. Energiebesparing met een aangepaste minimumbuisregeling. Rapport 341, PPO, Naaldwijk, Holland.
- Esmeyjer, M.H., 1998. Minimale transpiratie in relatie tot energieverbruik, productie en kwaliteit van glastuinbouwgewassen. PBG, Rapport 154, Naaldwijk, Holland.
- Kempkes, F.L.K., N.J. van de Braak, A.T.M. Zwinkels en G. Houter, 2000. Schermkieren in de praktijk, onderzoek naar verbeterde regeling, temperatuurverschillen en gewasontwikkeling bij paprika. IMAG rapport P2000-30, 44pp.
- Ravensbergen, P., 2002. Richtlijnen voor Glami energieonderzoek gezien vanuit onderzoeksoptiek. Eindverslag PT project 11220, 25pp.
- Stanghellini, C., 1987. Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management. Ph.D. Dissertation, Agricultural University, Wageningen, xvi+150 pp.
- Stanghellini, C., 1995. Vapour balance. In: J.C. Bakker, G.P.A. Bot, H. Challa and N.J. v.d. Braak (Eds.), Greenhouse Climate Control: an integrated approach. Wageningen Pers, Wageningen: 141-150.
- Stanghellini, C. en T. de Jong, 1995. A model of humidity and its application in greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 76: 129-148.
- Stanghellini, C. en F.L.K. Kempkes, 2002. Energiebesparing door vochtintegrerende regeling, IMAG rapport P2002-73, 51pp.
- Stanghellini, C., C. Blok, M. Esmeyjer en F.L.K. Kempkes, 2003. Strategieverkenning verdamping, IMAG rapport P2003-2: 36 pp.
- Verstegen, J., E. Westerman, P. Ravensbergen en J. Bremmer, 2003. Ondernemen met energie; Gedragsonderzoek naar de drijfveren van glastuinders ten aanzien van energiebesparing. Den Haag, LEI, Rapport 2.03.12; ISBN 90-5242-833-6: 107 pp.