

‘Activeren’ of ‘stilzetten’ op donkere dagen

Verkenning van de mogelijkheden voor energiebesparing en de gevolgen voor het gewas

Anja Dieleman, Frank Kempkes & Tom Dueck





‘Activeren’ of ‘stilzetten’ op donkere dagen

Verkenning van de mogelijkheden voor energiebesparing en de gevolgen voor het gewas

Anja Dieleman, Frank Kempkes & Tom Dueck

© 2006 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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 enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Inhoudsopgave	3
Samenvatting	1
Voorwoord	3
1. Inleiding	5
2. Reacties van het gewas op veranderende klimaatomstandigheden	7
2.1 Veranderende omstandigheden	7
2.2 Gewasreacties	8
2.2.1 Fotosynthese	8
2.2.2 Huidmondjes	9
2.2.3 Wateropname en verdamping	10
2.2.4 Nutriëntenopname en EC	12
2.2.5 Wortelgroei	13
2.2.6 Transportweerstand	15
2.2.7 Cytokinen	16
2.3 Conclusies	16
3. Energiegebruik	19
3.1 Inleiding	19
3.2 Scenario's	20
3.3 Resultaten scenarioberekeningen	22
3.3 Conclusies	26
4. Discussiebijeenkomsten	27
5. Conclusies en aanbevelingen	29
6. Literatuur	31
Bijlage I. Referentieteelst komkommer	1

Samenvatting

Activeren

Het Nederlandse weer kan erg wisselvallig zijn. Donkere perioden worden afgewisseld met vrij warme, zonnige perioden. Eventuele aanpassingen van de plant aan het donkere weer probeert een tuinder tegen te gaan door de plant te 'activeren'. 'Activeren' van het gewas of het 'actief houden' van een gewas zijn in de tuinbouw veel gebruikte uitdrukkingen, waarvan de betekenis niet altijd helemaal duidelijk is. Grofweg houdt voor tuinders een 'actief' gewas in dat het gewas (veel) verdampt. Het 'activeren' van het gewas houdt dan ook in dat de gewasverdamping gestimuleerd wordt door extra te verwarmen (het gebruik van een minimumbuis) en/of te ventileren (veranderingen in vochtsetpoint of het gebruik van een minimumraamstand) op momenten dat de 'activiteit' van een gewas laag is, bijvoorbeeld tijdens een donkere periode. Deze maatregelen kosten echter veel energie, zonder dat volledig duidelijk is wat het effect op het gewas is. In deze studie is nagegaan of het 'activeren' van een gewas tijdens een donkere periode wel zinvol is en of het ook op een energiezuinige manier kan.

Processen in de plant

Om na te gaan of 'activeren' van een gewas tijdens een donkere periode zinvol is, is gekeken naar een aantal essentiële plantprocessen. Het eerste proces is de fotosynthese, die op donkere dagen lager is dan wanneer er veel licht op het gewas valt. Echter, bij weinig licht hebben temperatuur en luchtvochtigheid nauwelijks effect op de fotosynthesesnelheid. Activerende maatregelen hebben dan geen effect op de gewasgroei. Op donkere dagen neemt de wortelgroei meer af dan de scheutgroei, hetgeen resulteert in een hogere spruit/wortel verhouding. Wanneer echter de wortels opgewarmd worden door een hogere minimumbuis, wordt dit effect versterkt. Een verlaging van de RV heeft nauwelijks effect op wortel- en scheutgroei. Het activeren van een gewas heeft geen positieve effecten op de wortelgroei, hoewel dat door telers wel vaak als argument genoemd wordt om de minimumbuis/minimumraamstand te gebruiken. Een alternatief om de wortelgroei in verhouding tot de scheutgroei te stimuleren zou het verlagen van de temperatuur kunnen zijn. Bij een verhoogde EC van de watergift wordt de scheutgroei negatief beïnvloed, maar blijft de wortelgroei op eenzelfde niveau. Dit betekent dat verhogen van de EC van de watergift de effecten van een donkere dag tegengaat. Verdamping en wateropname zijn hoger wanneer op donkere dagen activerende maatregelen worden genomen. Echter, een verhoogde verdamping betekent niet dat de productie ook hoger is. Een verlaagde gewasverdamping zou mogelijk kunnen leiden tot gebrek aan nutriënten die passief opgenomen worden zoals calcium. Dit zou voorkomen kunnen worden door het verhogen van de EC op donkere dagen. Uit de analyse van de verschillende processen in de plant is af te leiden dat activerende maatregelen zoals aanhouden van een minimumbuis of minimumraamstand geen positieve gevolgen hebben voor de groei en productie van een gewas. Alternatieven voor activerende maatregelen zouden kunnen zijn om op donkere dagen de temperatuur te verlagen of de EC in de mat te verhogen.

Energiegebruik

In dit hoofdstuk is een inschatting gemaakt van het energiegebruik dat gepaard gaat met activerende maatregelen. Hiervoor zijn een aantal scenario's doorgerekend die varieerden in het gebruik van de minimumbuis, setpoint RV en temperatuurverlaging op donkere dagen. In de referentieteel werd 38,5 m³ gas per m² per jaar gebruikt. In het meest extreme scenario (alleen stoken voor temperatuur, niet voor een vochtregeling), werd nog 30,7 m³ per m² gebruikt. In dit scenario en de minder extreme scenario's bleek echter dat er (veel) minder CO₂ beschikbaar is, hetgeen direct ten koste van de productie gaat. Immers in de winter is de CO₂-vraag beperkt, maar is de warmtevraag hoog terwijl het reduceren van de warmtevraag in de zomer direct ten koste gaat van de beschikbaarheid van CO₂. Om de productie op peil te houden is dan inbreng van CO₂ uit een alternatieve bron noodzakelijk. Opvallend is dat niet activeren maar een beperkt effect heeft op de verdamping. Tussen de referentie en het meest energiezuinige scenario zit een verschil in verdamping van 39 liter per m², een afname van slechts 6%. Wel is het zo dat in het geschetste meest energiezuinige scenario de RV oploopt tot ongewenste niveaus, ca. 750 uur op jaarbasis een RV boven de 95%. Een deel van het besparingspotentieel zal dan ook worden opgebruikt door de vochtregeling. Uit

de scenarioberekeningen blijkt dat energiebesparing mogelijk is door een verminderde inzet van activerende maatregelen. Een alternatieve CO₂ bron is dan noodzakelijk om opbrengstderving te voorkomen. Mits maatregelen met beleid ingezet worden, hoeft een verhoogde RV niet tot problemen te leiden.

Discussie met voorlichters en telers

De resultaten van het project zijn besproken met een groep komkommertelers en een groep voorlichters. Zij gaven aan te activeren met als doel de gewasverdamping te verhogen. Hiervoor gebruiken ze de minimumbuis, eventueel in combinatie met een minimumraamstand. De reden om te activeren is angst voor een zwak en waterig gewas en een zwak wortelstelsel, met uiteindelijk negatieve gevolgen voor productkwaliteit. Een andere reden is de vrees voor schimmelziektes. Bij de bespreking van de resultaten leidde vooral het feit dat het verschil in verdamping tussen de referentie en het meest energiezuinige scenario slechts 39 liter bedraagt, 6% van de totale hoeveelheid verdamping tot reacties. Vooral omdat de activerende maatregelen voornamelijk worden ingezet om de verdamping te verhogen. Dit leidde tot bezinning over het nut van het standaard instellen van de minimumbuis, en of dit wel zo standaard zou moeten zijn.

Conclusie

Door op donkere dagen minder of minder vaak maatregelen te nemen die de gewasverdamping stimuleren ('activerende maatregelen') is het energiegebruik met ca. 10% terug te dringen. Er is in dat geval minder CO₂ beschikbaar, dit zal gecompenseerd moeten worden door CO₂ uit andere bronnen om de productie op niveau te houden. Tuinders zijn echter aarzelend om minder activerende maatregelen te nemen door de gevreesde risico's van een zwak gewas en zwak wortelstelsel, met uiteindelijk gevolgen voor de productie en met name de productkwaliteit. Wanneer tuinders gestimuleerd worden om minder activerende maatregelen te nemen, zal deze vrees overwonnen moeten worden door inzichtelijk te maken in hoeverre deze vrees gegrond is en hoeveel speelruimte er is in instellingen voordat productie en productkwaliteit gevaar lopen.

Voorwoord

In het kader van het convenant Glastuinbouw en Milieu (GLAMI) hebben de overheid (Ministeries van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Economische Zaken) en de glastuinbouwsector (LTO Nederland) afspraken gemaakt over de maatschappelijke randvoorwaarden, met als horizon 2010. Als energiedoelen zijn afgesproken dat het energiegebruik per eenheid product met 65% gereduceerd moet worden ten opzichte van 1980 en dat het aandeel duurzame energie tot 4% toegenomen moet zijn. De overheid heeft hier aan toegevoegd dat de glastuinbouw haar bijdrage moet leveren aan het terugdringen van de CO₂-uitstoot.

Tegen deze achtergrond is in 2006 in opdracht van het ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw (PT projectnummer 12415) door Plant Research International te Wageningen onderzoek gedaan naar de effecten van het activeren van het gewas op de verschillende processen in het gewas en op de gevolgen voor het energiegebruik. De eerste fase van dit onderzoek bestond uit het inventariseren van de kennis van een aantal experts op het gebied van gewas, kasklimaat en energiegebruik. Hieraan is deelgenomen door Jan Janse en Marleen Esmeijer (PPO), Ep Heuvelink (WUR Tuinbouwproductieketens) en Feije de Zwart (PRI). Wij willen hen hartelijk bedanken voor hun inbreng. In de laatste fase van dit project hebben we de resultaten besproken met een aantal teeltadviseurs en een studiegroep hoge draad komkommertelers. Beide groepen willen we bedanken voor hun gastvrijheid en de uitgebreide discussies.

Anja Dieleman, Frank Kempkes en Tom Dueck
november 2006

1. Inleiding

Het weer kan erg wisselvallig zijn. Donkere perioden worden afgewisseld met vrij warme zonnige perioden. Tijdens een donkere periode zijn fotosynthese en verdamping lager dan tijdens lichte periodes. Er wordt vaak aangenomen dat de plant zich in deze perioden zodanig aanpast aan de donkere weersomstandigheden, dat vervolgens een piek in instraling niet goed kan worden opgevangen. De vele zonne-energie waarmee een plant snel zou moeten kunnen groeien, wordt dan niet voldoende benut en de plant kan soms zelfs slap gaan of verbranden. Eventuele aanpassingen van de plant aan donker weer probeert een tuinder tegen te gaan door de plant te 'activeren'. 'Activeren' van het gewas of het 'actief houden' van een gewas zijn in de tuinbouw veel gebruikte uitdrukkingen, waarvan de betekenis niet altijd helemaal duidelijk is. Grofweg houdt voor tuinders een 'actief' gewas in dat het gewas (veel) verdampt. Het 'activeren' van het gewas houdt dan ook in dat de gewasverdamping gestimuleerd wordt door extra te verwarmen (het gebruik van een minimumbuis) en/of te ventileren (veranderingen in vochtsetpoint of het gebruik van een minimumraamstand) op momenten dat de 'activiteit' van een gewas laag is, bijvoorbeeld tijdens een donkere periode. Met deze maatregelen gaat veel energie verloren. Het vrijkomende vocht moet vervolgens vaak weer via een vochtregeling uit de kas worden afgevoerd en de vochtregeling in kassen draagt voor 10 tot 25% bij aan het energieverbruik van kassen.

Het is echter nog maar zeer de vraag of het zogenaamd 'activeren' van planten tijdens donkere perioden wel de meest zinvolle strategie is, immers

- Het is nog maar de vraag of de plant zich tijdens een donkere periode wel zodanig aan het donkere weer aanpast dat een latere weersovergang niet goed opgevangen kan worden. Als deze aanpassing niet plaatsvindt heeft het 'activeren' van de plant dus ook geen functie.
- Als deze aanpassing wel plaatsvindt, wordt die dan wel door de energievretende combinatie van minimumbuis en minimumraamstand tegengegaan? Er zijn immers duidelijke aanwijzingen uit onderzoek (Esmeijer, 1998) dat de productie weinig beïnvloed wordt door de minimumbuis en raamstand. Als minimumbuis en raamstand de aanpassing van de plant wel tegengaan - zoals tuinders dat ervaren - dan moet het ook mogelijk zijn om dit op een andere - energiezuinige - manier te bewerkstelligen.
- Tijdens donker weer zijn (overdag) de energiekosten voor verwarming van de kas relatief hoog, terwijl de groeisnelheid van het gewas laag is. Aangezien de groeisnelheid laag is, is het de vraag of het wel energie-efficiënt is om op die momenten veel energie te investeren in het gewas.
- Bij donker weer is met name de aanmaak van assimilaten (fotosynthese) gering. Het onder deze condities hoog houden van de temperatuur, waardoor het verbruik van assimilaten (dissimilatie) hoog is, zou dan ook nog eens juist kunnen leiden tot uitputting van de plant.

Dit onderzoeksproject richt zich op de vraag of het 'activeren' van een gewas tijdens een donkere periode wel efficiënt kan zijn en of het ook op een energiezuinige manier kan. Verder wordt nagegaan of het niet efficiënter is om de plant 'stil te zetten' tijdens een donkere periode; dit om energie te besparen, dissimilatie te beperken en om de plant beter voor te bereiden op een mogelijke weersomslag.

Hiertoe is de eerste stap geweest om de bestaande kennis van de reactie van planten op veranderingen in lichthoeveelheid te beschrijven (hoofdstuk 2). Vervolgens is een inschatting gemaakt van het energiegebruik dat gepaard gaat met de verschillende maatregelen om het gewas te activeren (hoofdstuk 3). Tenslotte zijn de beschrijvingen van de gewasreacties en de resultaten van de modelberekeningen besproken met een groep teeltadviseurs glasgroenten en een studiegroep hoge draad komkommertelers (hoofdstuk 4). In het afsluitende hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de mogelijkheden om met een lager energiegebruik het gewas om te laten gaan met veel licht na een donkere periode.

2. Reacties van het gewas op veranderende klimaatomstandigheden

Dit hoofdstuk is geschreven op basis van een bijeenkomst die is gehouden met een aantal deskundigen op het gebied van groei en ontwikkeling van glastuinbouwgewassen in het algemeen en komkommer in het bijzonder en op het gebied van kasklimaat. Bij deze bijeenkomst waren aanwezig: Marleen Esmeijer en Jan Janse (PPO), Ep Heuvelink (Wageningen Universiteit), Tom Dueck, Frank Kempkes, Feije de Zwart en Anja Dieleman (PRI).

In dit rapport wordt onder 'activeren' verstaan het gebruik van een minimumbuis of minimumraamstand op donkere dagen met als doel de verdamping te stimuleren. Onder 'activeren' valt niet het opstoken van de nacht- naar de dagtemperatuur.

2.1 Veranderende omstandigheden

Onder 'normale' omstandigheden in de kas (temperatuur 17-27 °C, rustige opbouw en afname van de hoeveelheid licht gedurende de dag) zullen fotosynthese en verdamping de straling volgen. Naarmate de instraling hoger is, neemt de fotosynthese toe, waardoor er meer assimilaten geproduceerd zullen worden en de plant sneller in gewicht zal toenemen. Met een toename van de instraling, zal ook de verdamping toenemen. Met een gezond wortelstelsel kan de plant voldoende water opnemen om aan de toegenomen watervraag als gevolg van de verdamping te voldoen. Er worden door de wortels voldoende nutriënten opgenomen om aan de behoefte vanuit het gewas te voldoen.

Wanneer op deze lichte dag een korte donkere periode optreedt (minuten – uren) reageren fotosynthese en verdamping hierop direct. De huidmondjes reageren binnen seconden, maar hebben een aantal minuten nodig om zich aan te passen aan het veranderde lichtniveau. Het niveau van zowel de fotosynthese en verdamping neemt af als er minder licht is. Hieruit volgend neemt ook de nutriëntenopname af, omdat er minder nutriënten nodig zijn voor de groei van het gewas.

Wanneer een donkere periode echter langer duurt (dagen), zal een plant zich hieraan gaan aanpassen. De fotosynthesecapaciteit van nieuw aangelegde bladeren zal minder groot zijn dan van bladeren die aangelegd zijn in een periode met hoge instraling. Eventueel passen ook oudere bladeren zich aan aan de langere periode van minder licht door een versnelde afbraak van het fotosynthesesysteem, resulterend in een lagere fotosynthesecapaciteit. De plant kan zich verder aan de lagere lichthoeveelheden aanpassen door het aanleggen van nieuwe bladeren met minder huidmondjes per mm², waardoor de verdampingscapaciteit van deze bladeren minder is. Bij een langere periode van minder licht, zal de verdamping van het gewas langdurig minder zijn. De wateropname zal daardoor ook minder zijn. Er vindt dan minder wortelgroei plaats dan in een lichte periode. Omdat de groei van de plant in een donkere periode laag is, zal de nutriëntenopname in deze periode ook lager zijn.

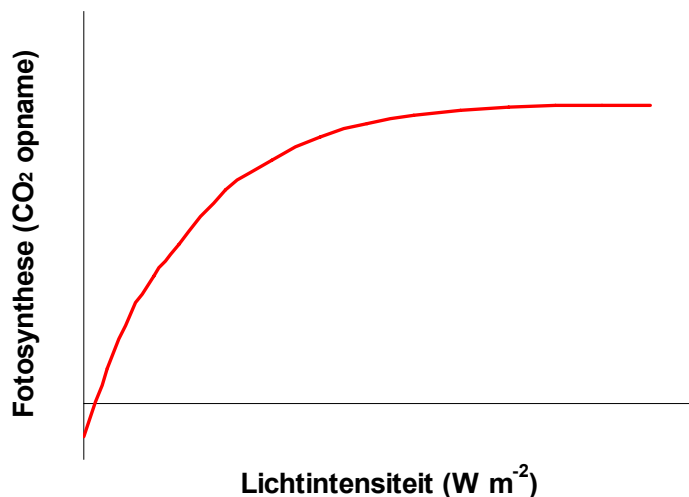
Als na een langere periode van donkere dagen de zon weer doorbreekt, zullen fotosynthese en verdamping weer toenemen. Echter, omdat in de donkere periode door de plant bladeren zijn aangelegd met een lagere fotosynthesecapaciteit, zal de plant minder goed gebruik kunnen maken van de hoeveelheid beschikbaar licht. De fotosynthesesnelheid zal bij een zekere hoeveelheid licht na een donkere periode lager zijn dan bij dezelfde hoeveelheid licht na een lichte periode. Als de hoeveelheid licht toeneemt, zal de verdamping ook toenemen. Bij komkommer echter, wordt regelmatig waargenomen dat bij een plotselinge hoge instraling de plant 'slap gaat' langs de gevels. De wateropname is dan niet in staat te voldoen aan de watervraag (verdamping) van de plant. Dit kan veroorzaakt worden door het feit dat er in een donkere periode onvoldoende nieuwe wortels gevormd, waardoor de plant op het moment dat er veel instraling is niet voldoende water kan opnemen om de verdamping bij te houden. Een andere reden kan zijn dat de watergift niet voldoende is om de aan snel toegenomen watervraag te voldoen.

2.2 Gewasreacties

Hieronder wordt een aantal van de in de vorige paragraaf genoemde plantreacties op veranderende omstandigheden nader toegelicht.

2.2.1 Fotosynthese

Tijdens de fotosynthese wordt CO_2 uit de lucht opgenomen en met behulp van lichtenergie omgezet in suikers, die gebruikt worden voor de groei. Als de hoeveelheid fotosynthetisch actieve straling (PAR) in een kas hoger wordt, neemt de netto fotosynthesesnelheid van een blad toe (Figuur 2.1) totdat licht niet meer beperkend is voor de fotosynthese. Dan bereikt de fotosynthese een maximum, dat alleen verder verhoogd kan worden door de CO_2 -concentratie te verhogen. De fotosynthesesnelheid reageert in beperkte mate op temperatuur (in het bereik 17-27 °C) en op de relatieve luchtvochtigheid. Het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid heeft een beperkte verhoging van de gewasfotosynthese tot gevolg (Bakker, 1993a).

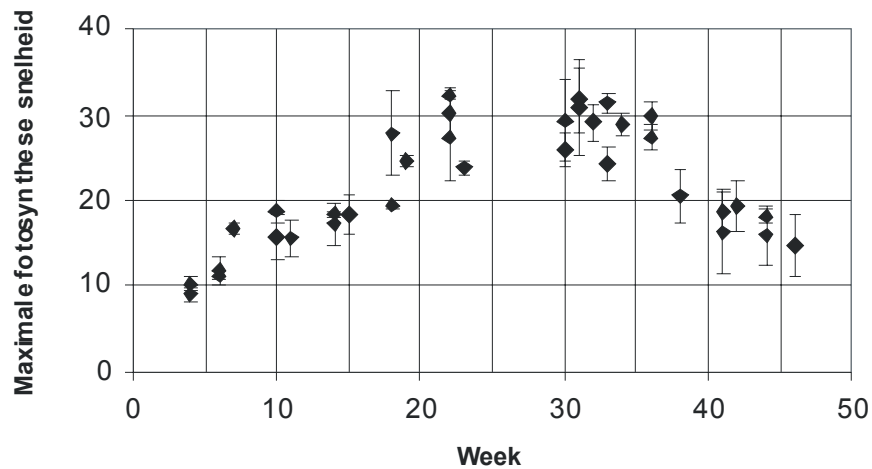


Figuur 2.1. Standaard lichtresponscurve van de netto fotosynthesesnelheid van een gezond blad.

De fotosynthesecapaciteit van een blad past zich aan aan de heersende omstandigheden in de voorafgaande periode. Als planten langere tijd bij een lagere lichtintensiteit staan, passen ze zich daaraan aan. Deze planten vertonen dan bij lage lichtintensiteiten een hogere fotosynthese dan planten die aan hoog licht gewend zijn, en een lagere fotosynthese bij hogere lichtintensiteiten (Björkman, 1981). Uit een reeks fotosynthesemetingen die gedurende een heel teeltseizoen bij tomaat werden uitgevoerd, bleek dat de maximale fotosynthesesnelheid, gemeten onder vaste omstandigheden in de meetcuvet, in het voorjaar opliep, tot het in de zomer een maximum bereikte. In het najaar, onder afnemende lichtomstandigheden, bleek ook de fotosynthesecapaciteit van de bladeren die onder die omstandigheden gevormd waren, afnam (Van den Boogaard & Elings, 2003).

Bevindingen ten aanzien van 'activeren':

De fotosynthese van een gewas wordt sterk bepaald door de lichtintensiteit. Op 'donkere' dagen zal de fotosynthese lager zijn dan op zonnige dagen, en daarmee dus ook de groeisnelheid van het gewas. Als op donkere dagen de kasluchttemperatuur verhoogd wordt, neemt de ademhaling van het gewas toe. Dat betekent dat er meer assimilaten 'verbruikt' worden, en minder assimilaten overblijven voor de groei van het gewas. Het verlagen van de luchtvochtigheid (door bijvoorbeeld een minimumbuis of minimumraamstand) heeft een, weliswaar heel beperkt, negatief effect op de fotosynthese van het gewas.



Figuur 2.2. Verloop van de maximale bladfotosynthesesnelheid ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) in de loop van het groeiseizoen 2001 voor de bovenste bladlaag van een tomatengewas (Van den Boogaard & Elings, 2003).

2.2.2 Huidmondjes

Het water in de plant vormt een continu hydraulisch systeem waarbij water in de bodem of in het substraat verbonden wordt met waterdamp in de atmosfeer. De openingstoestand van de huidmondjes bepaalt het niveau van de verdamping, van belang om de plant te koelen en om de plantwaterstatus op niveau te houden. Als het licht wordt, gaan de huidmondjes verder open. Deze regeling kan echter verstoord worden door een te lage beschikbaarheid van water bij de wortels. Wanneer de plant niet voldoende water op kan nemen, sluiten de huidmondjes en zal de fotosynthesesnelheid terug lopen.

In een onderzoek aan jonge komkommerplanten in klimaatkamers werd de lichtintensiteit plotseling verhoogd van 135 naar 540 W/m². Deze verhoging leidde tot een bijna onmiddellijke sterke toename van de verdampingssnelheid. Als de relatieve luchtvochtigheid laag was, bleek de wateropname door de wortels minder snel te reageren dan de verdamping. De snelheid van wateropname was bijna 5 minuten later maximaal dan de verdampingssnelheid (Kitano & Eguchi, 1992). Beiden vertoonden een golfpatroon, dat in de loop van één tot enkele uren uitdoofde. De stomataire geleidbaarheid (een maat voor de huidmondjesopening) fluctueerde sterk na de snelle toename van de lichtintensiteit, van nagenoeg nul tot maximaal tot weer nul. Deze sterke schommelingen werden veroorzaakt door een opening van de huidmondjes als gevolg van de toegenomen straling. Daarna bleek er een watertekort in de plant te ontstaan, dus sloten de huidmondjes. Vervolgens herstelde de waterstatus in de plant zich weer, waarop de huidmondjes weer openden. Deze beweging herhaalde zich een aantal malen, en dempte uit na ongeveer twee uur (Kitano & Eguchi, 1992). Bij een opgelegde lagere verdampingsbehoefte (vochtiger lucht) bleek dat de wateropname door de wortels nauwelijks achterliep op de toegenomen verdampingssnelheid bij een snelle stijging in de lichtintensiteit. Onder deze omstandigheden nam de huidmondjesopening wel toe met toenemende straling, maar bleven de sterke fluctuaties in openingstoestand uit. Er wordt bij een hoger vochtgehalte van de lucht geen water onttrokken aan de stengel en bladstelen, terwijl dit wel het geval was bij een lage luchtvochtigheid (Kitano & Eguchi, 1992). Vruchtgroentegewassen kunnen bij (tijdelijk) watergebrek in de plant de vruchten gebruiken als waterbuffer (Johnson *et al.*, 1992). Er wordt op die momenten, over het algemeen overdag bij hoge instraling, water onttrokken aan de vruchten die daardoor in versgewicht afnemen. 's Avonds of 's nachts wordt het onttrokken water weer aangevuld.

Dit leidt niet tot problemen met de vruchtgroei. Omdat er wel water onttrokken wordt, maar geen calcium, heeft het geen gevolgen voor calcium-gerelateerde afwijkingen.

Planten kunnen zich aanpassen aan omstandigheden waarbij de verdamping gedurende langere tijd hoog is, door bladeren aan te leggen met minder huidmondjes per mm^2 . De verdamping van een blad wordt hoger bij meer instraling, een hogere kasluchttemperatuur en een lagere luchtvochtigheid. Zo vond Bakker (1991) dat voor een aantal vruchtgroentegewassen geldt dat ze meer huidmondjes per mm^2 bladoppervlak vormen als ze geteeld zijn bij een hoge luchtvochtigheid dan bij een lage luchtvochtigheid. Bij komkommer bleek er echter geen verschil te zijn in aantal huidmondjes per mm^2 bladoppervlak als gevolg van veranderde luchtvochtigheden (Bakker, 1991; Van de Sanden & Veen, 1992). Verder bleken de huidmondjes bij komkommer en paprika groter te zijn bij een hogere luchtvochtigheden. Blijkbaar past de plant zich aan door bij omstandigheden waarbij verdamping moeilijk gaat (hoge RV) de totale oppervlakte aan openingen in het blad te vergroten (Bakker, 1993b). Bij een verlaging van de lichtintensiteit daarentegen, neemt het aantal huidmondjes per mm^2 neemt af (Wentworth *et al.*, 2006). Of komkommer zich ook zo aanpast aan laag licht is voor zover bekend nog nooit aangetoond.

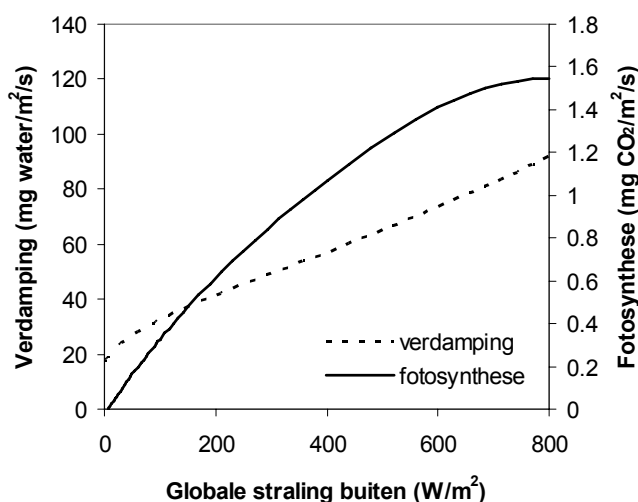
Bevindingen ten aanzien van 'activeren':

Als planten langere tijd bij 'donker' weer staan, passen ze zich daaraan aan door minder huidmondjes aan te leggen, omdat ze bij donker weer minder hoeven te verdampen. Bij een overgang naar zonnig weer zouden planten met minder huidmondjes problemen kunnen krijgen met een te hoge planttemperatuur, omdat ze zich minder goed kunnen koelen. Voor zover bekend is dit echter nog nooit aangetoond onder Nederlandse kascondities. Verlagen van de luchtvochtigheid door minimumbuis of minimumraamstand versterkt het effect van 'donker' weer: planten leggen minder en kleinere huidmondjes aan.

2.2.3 Wateropname en verdamping

Water wordt door de wortels opgenomen, met name door het deel van de wortels direct achter de worteltopjes. Verder van de top vermindert de wateropname snel door kurkvorming. Het opgenomen water wordt in de wortels getransporteerd naar het xyleem, waarmee het naar de bovengrondse delen van de plant wordt getransporteerd.

De fotosynthesesnelheid bij toenemende hoeveelheden licht verloopt als een optimumcurve, die bij hoge lichtintensiteiten een plateau bereikt (Figuur 2.1). De verdamping daarentegen blijft bij toenemende lichtintensiteiten bijna lineair toenemen met de straling (Figuur 2.3). Ook 's nachts verdampen planten, zij het op een veel lager niveau dan overdag.



Figuur 2.3. Effect van straling op netto fotosynthese en verdamping van een gewas.

In de jaren 1995-1997 is bij tomaat en komkommer onderzocht of het in de praktijk wijdverbreide stimuleren van de verdamping altijd nodig is (Esmeijer, 1998). Bij tomaat werd in 1993 en 1994 onderzoek gedaan naar de effecten van verschillende minimumbuistemperaturen op water- en energieverbruik en productie. De belangrijkste resultaten staan in tabel 2.1 vermeld.

Tabel 2.1. Energie- en waterverbruik en productie van twee tomatenteelten in 1993 (25 januari – 6 april) en 1994 (18 januari – 23 mei). De relatieve cijfers (%) gelden alleen binnen het betreffende jaar.

Jaar	Minimumbuis temperatuur (°C)	Energieverbruik (%)	Waterverbruik (%)	Vruchtproductie (kg/m ²)
1993	30	100 c	100 b	7,9 a
1993	50	112 b	101 b	8,3 a
1993	70	168 a	115 a	7,9 a
1994	0	100 e	100 d	8,4 d
1994	40	112 e	105 d	8,3 d
1994	70	192 d	114 d	8,3 d

a, b, c: getallen met een zelfde letter verschiden in 1993 niet statistisch betrouwbaar van elkaar (P=0.05)

d, e: getallen met een zelfde letter verschiden in 1994 niet statistisch betrouwbaar van elkaar (P=0.05)

Een hogere minimumbuis leidde tot een hoger energie- en waterverbruik, maar had geen effect op de productie. De gewasgroei en –ontwikkeling verschiden niet tussen de behandelingen.

Tabel 2.2. Resultaten van de schermproeven bij komkommer in 1995, 1996 en 1997. Energie- en waterverbruik tot begin april (1995 en 1996) en tot half april (1997). Productiecijfers van de totale teelt tot eind mei (1995 en 1996) en begin juni (1997). De relatieve cijfers (%) gelden alleen voor het betreffende jaar (Esmeijer, 1998).

Jaar	Schermbehandeling	Energieverbruik (%)	Waterverbruik (%)	Vruchtproductie (kg/m ²)
1995	Weinig perforatie	100 a	100 a	23,8 a
1995	Weinig perforatie, ventilatie boven scherm	123 b	114 b	23,9 a
1995	Veel perforatie	112 b	109 b	24,2 a
1995	Veel perforatie, ventilatie boven scherm	139 c	136 c	22,0 b
1996	Weinig perforatie	100 a	100 a	23,4 a
1996	Weinig perforatie, ventilatie boven scherm	113 a	113 a	24,2 a
1996	Veel perforatie	104 a	112 a	24,8 a
1996	Veel perforatie, ventilatie boven scherm	111 a	126 a	24,8 a
1997	Geperforeerd folie	100 a	100 a	28,7 a
1997	Dicht scherm	103 a	111 a	28,3 a
1997	Geen scherm	210 b	148 b	28,9 a

a, b, c: getallen met een zelfde letter verschillen niet statistisch betrouwbaar van elkaar (P=0.05).

Bij komkommer werd in dit onderzoek geen minimumbuis gebruikt, hetgeen geen enkel probleem bleek te zijn. Door het gebruik van een vast, al dan niet geperforeerd scherm van transparante folie werd de luchtvochtigheid sterk verhoogd. Boven het scherm werd al dan niet gelucht. De luchtvochtigheid werd wel hoog onder het scherm, het etmaalgemiddelde van de RV liep in bepaalde behandelingen op tot 90%. In tabel 2.2 staan de belangrijkste resultaten vermeld. De verschillen in energiegebruik waren soms heel groot. Het weglaten van het scherm (1997) had een verdubbeling van het energiegebruik tot gevolg, terwijl het waterverbruik met ongeveer de helft toenam. Ventileren boven het scherm leidde tot een verhoging van het energie- en waterverbruik. Productie, kwaliteit en houdbaarheid waren in alle drie de jaren uitstekend. De verschillen in productie waren gering en meestal niet significant (Esmeijer, 1998).

Uit dit onderzoek bleek dat het standaard instellen van een minimumbuis met als doel de verdamping te stimuleren geen aantoonbare productiewinst oplevert, maar wel energie kost. Tot een globale straling van ca. 200 W m⁻² draagt een warme buis bij aan de verdamping, daarboven niet meer. Bij komkommer blijkt dat het verwijderen van een vast foliescherm geleidelijk moet gebeuren om gewasproblemen door een scherpe klimaatovergang te voorkomen. Een sterke daling van de luchtvochtigheid leidde tot meer dode planten als gevolg van Botrytis (Esmeijer, 1998).

Binnen een kas zijn vaak grote verschillen in verdampingssnelheid van de planten. Verder fluctueert de verdampings-snelheid ook binnen de dag. Dit hangt onder meer samen met de nokrichting van de kas, waarmee de stralingsinval bepaald wordt. Bij een noord-zuid georiënteerde nok verdampen planten ten oosten van de nok in de ochtenduren meer en planten aan de westzijde van de nok in de middag. Bij een oost-west georiënteerde nok verdampen de planten aan de zuidzijde continu meer dan aan de noordzijde. Dit betekent dat het standaard stimuleren van de verdamping voor een (wisselend) deel van de planten minder zinvol is.

Bevindingen ten aanzien van 'activeren':

Op 'donkere' dagen is de verdamping lager dan op zonnige dagen. De verdamping valt echter nooit weg. Ook als er geen licht is ('s nachts) verdampen de planten water. Het stimuleren van de verdamping door minimumbuis of minimumraamstand leidt inderdaad tot een verhoging van het waterverbruik door de planten. Verder leidt dit tot een sterke verhoging van het energieverbruik, maar activeren had geen effect op de productie. Dit geeft (nogmaals) aan dat meer verdamping niet betekent dat er ook meer groei is.

2.2.4 Nutriëntenopname en EC

Voor een goede groei heeft een plant voldoende nutriënten nodig. De hoeveelheid nutriënten die een plant opneemt, hangt voornamelijk af van zijn groeisnelheid. De plant zal, indien beschikbaar, zoveel nutriënten opnemen als nodig zijn om de nutriëntengehaltes van de nieuw gevormde plantedelen op het gewenste niveau te brengen. De meeste nutriënten worden via een actief geregeld proces opgenomen. Dit houdt in dat voor de opname energie nodig is, en dat de opname sterk gereguleerd is. De snelheid van de actieve opname wordt vooral bepaald door de groeisnelheid van de verschillende organen van de plant. Uitzondering hierop vormen tweewaardige ionen zoals calcium en magnesium, die voornamelijk passief met de waterstroom mee de plant ingaan. Passieve opname van nutriënten kan alleen plaatsvinden in de wortelpuntjes waar nog geen bandjes van Caspari zijn aangelegd. Als er weinig wortelgroei is, dan worden er weinig nieuwe wortelpuntjes aangelegd. Dit kan mogelijk leiden tot problemen met de opname van calcium en magnesium. De nutriënten worden via het xyleem met de waterstroom naar de (verdampende) bovengrondse delen getransporteerd. Via het floeem worden de plantedelen die weinig verdampen (bijvoorbeeld vruchten) van nutriënten voorzien. Uitzondering hierop vormen calcium en magnesium die uitsluitend via het xyleem worden getransporteerd. Bij een sterke verdamping gaat de waterstroom in de plant bijna uitsluitend naar de bladeren. Het calcium in de waterstroom gaat dan naar de bladeren, waardoor er een tekort aan calcium in de organen kan ontstaan die (bijna) niet verdampen zoals bijvoorbeeld de vruchten. Dit kan leiden tot het ontstaan van bijvoorbeeld neusrrot in tomaat en paprika.

Voor iedere teelt en ieder teeltstadium is een advies beschikbaar voor de concentratie nutriënten en de EC van het gietwater. Wanneer de EC hoger is dan een drempelwaarde, kan dit de groei van een gewas negatief beïnvloeden (Maas & Hoffmann, 1977). In bijvoorbeeld tomaat is bij een hogere EC de versgewichtproductie minder omdat de

wateropname door de vruchten minder groot is (Adams & Ho, 1989). De vruchten zijn dan kleiner, en hebben een hoger droge stof percentage (Ehret & Ho, 1986), hetgeen overigens positief is voor de smaak. Bij komkommer bleek ook dat het verhogen van de EC van 1 naar 8 mS/cm de groei van de scheut negatief beïnvloedde. Daarentegen bleek het verhogen van de EC geen effect te hebben op het wortelgewicht (Van de Sanden & Veen, 1992), zodat het aandeel van het totale plantgewicht in de wortels hoger werd bij een hogere EC. Deze bevinding zou gebruikt kunnen worden als alternatief voor plant activeren. Als tijdens donkere periodes de EC van het gietwater verhoogd wordt, blijft de wortelgroei op peil. Het lijkt wel wenselijk na te gaan hoe groot deze verhoging moet zijn om een optimaal effect te hebben op de wortelgroei, zonder te grote negatieve effecten op de groei van de bovengrondse delen.

Door Sonneveld en De Kreij (1999) is in Naaldwijk onderzoek gedaan aan water- en nutriëntenopname door komkommer, waarin gebruik werd gemaakt van een 'split root' systeem. Hierbij hangen twee helften van een wortelstelsel in voedingsoplossingen die verschillen van samenstelling. Uit dit onderzoek bleek dat water voornamelijk opgenomen door de wortels die bij de laagste EC staan, terwijl de opname van nutriënten vooral plaatsvindt door de wortels die bij de hoogste EC staan (Sonneveld & De Kreij, 1999). Bij een hoge instraling is het aan te bevelen de EC van de watergift snel te verlagen. Anders kan door de selectieve wateropname, zoals aangetoond door Sonneveld en De Kreij (1999), de EC in de mat te hoog oplopen.

Bevindingen ten aanzien van 'activeren':

Op 'donkere' dagen zal de wateropname van planten lager zijn dan op zonnige dagen omdat de verdamping lager is. Ook de nutriëntenopname zal op deze dagen lager zijn. Immers, de meeste nutriënten worden 'actief' door de plant opgenomen. Dat houdt in dat de plant zoveel nutriënten opneemt als hij nodig heeft voor de groei. Uit onderzoek blijkt dat planten in staat zijn zowel water als nutriënten op te nemen naar behoefte (mits voldoende aanwezig in de nabijheid van de wortels). 'Activeren' van het gewas door minimumbuis of minimumraamstand zal leiden tot meer wateropname, en kan daarmee eventuele problemen met bijvoorbeeld calciumtekort voorkomen. Een alternatief voor de activerende maatregelen is het (tijdelijk) verhogen van de EC van het gietwater gedurende donkere periodes. Dit heeft geen effect op de wortelgroei, maar wel een negatief effect op de groei van de bovengrondse delen. Gecombineerd betekent dit dat bij een hogere EC de spruit/wortel verhouding afneemt, waarmee het effect van een donkere periode tegengewerkt wordt. Verder zal bij een hogere EC van het gietwater meer tweewaardige ionen zoals calcium opgenomen worden.

2.2.5 Wortelgroei

Over de reacties van wortels op veranderingen in licht en temperatuur is minder bekend dan over de reacties van de scheut omdat de wortels nu eenmaal het 'onzichtbare' deel van de plant vormen. Aan komkommer is door Marcelis (1994) onderzoek gedaan naar de verdeling van assimilaten over de wortels en scheut bij verschillende lichtintensiteiten, temperaturen en plantbelastingen. Wanneer komkommerplanten gedurende langere tijd bij laag licht worden geplaatst, bleek de wortelgroei naar verhouding meer af te nemen dan de groei van de bovengrondse delen van de plant (Tabel 2.3). Deze afname van de verdeling van droge stof naar de wortels met afnemende straling is bij veel plantensoorten waargenomen (Brouwer, 1962).

Tabel 2.3. *Effect van straling op de drooggewichten van de totale plant (stengels, bladeren, wortels en vruchten), de wortels en de verhouding wortels tot totale plant. Planten werden 80 dagen na zaaien geoogst. Waardes zijn het gemiddelde van 9 planten (Marcelis, 1994).*

Straling (%)	Plant (g/plant)	Wortels (g/plant)	Wortels/plant (g/g)
30	79	2,0	0,026
50	160	4,3	0,027
100	408	13,7	0,034
LSD (P=0.05)	40	2,2	0,006

Uit tabel 2.3 blijkt dat bij een lagere hoeveelheid licht de wortels naar verhouding minder groeiden dan de totale plant. Om het gewas in donkere periodes actief te houden, wordt door tuinders vaak een minimumbuis gebruikt, waardoor de kasluchttemperatuur toeneemt. Dit kan echter averechts werken. Uit onderzoek aan komkommer bleek dat bij een hogere temperatuur de wortels naar verhouding minder groeiden dan de totale plant (Tabel 2.4, Marcelis, 1994). Om de wortelgroei in verhouding te houden met de groei van de rest van de plant is het mogelijk verstandiger om in de donkere periodes de temperatuur te verlagen.

Tabel 2.4. *Effect van temperatuur op de drooggewichten van de totale komkommerplant (stengels, bladeren, wortels en vruchten), de wortels en de verhouding wortels tot totale plant. Planten werden geoogst als ze ongeveer 60 bladeren hadden (68 dagen na zaai bij 25 °C en 95 dagen na zaai bij 18 °C). Waardes zijn het gemiddelde van 6 planten (Marcelis, 1994).*

Temperatuur (°C)	Plant (g/plant)	Wortels (g/plant)	Wortels/plant (g/g)
18	340	23,5	0,071
25	216	6,6	0,031
LSD (P=0.05)	133	2,2	0,024

Bij tomaat en aubergine is verder ook gekeken naar de effecten van het aanhouden van een hoge of een lage luchtvochtigheid op de wortelgroei (Bakker, 1991) gedurende het begin van het teeltseizoen (7 december tot 30 maart). Bij een lage luchtvochtigheid (VPD overdag 1,06, 's nachts 0,69) bleek het gewicht van de scheut niet te verschillen ten opzichte van een hoge luchtvochtigheid (VPD overdag 0,63, 's nachts 0,33). Bij een lage RV was het gewicht van de wortels ten opzichte van de scheut iets hoger, maar dit verschil was niet significant. Ook Van de Sanden (1985) vond bij komkommer dat de wortelgroei bij lagere RV iets bevorderd was ten opzichte van de totale groei van de plant, maar ook deze verschillen waren klein.

Komkommer is met name gevoelig voor weersovergangen als de plant zwaar belast is. Uit tabel 2.5 blijkt dat bij een plant waaraan veel vruchten aangehouden worden het wortelstelsel minder zwaar is, terwijl het totale plantgewicht ongeveer gelijk blijft. Het aandeel van de assimilaten bestemd voor groei dat naar de wortels gaat is dus bij een zware vruchtbelasting minder. Dit kan een reden zijn dat vooral zwaar belaste planten bij sterk wisselende weersomstandigheden niet voldoende water op kunnen nemen om de verdamping bij te houden.

Tabel 2.5. *Effect van plantbelasting (% van het aantal aangelegde vruchten dat aangehouden werd) op de drooggewichten van de totale komkommerplant (stengels, bladeren, wortels en vruchten), de wortels en de verhouding wortels tot totale plant. Planten werden geteeld bij 18 °C en circa 95 dagen na zaai geoogst. Waardes zijn het gemiddelde van 6 planten (Marcelis, 1994).*

Plantbelasting (%)	Plant (g/plant)	Wortels (g/plant)	Wortels/plant (g/g)
0	301	53	0,180
17	314	37	0,122
33	376	38	0,100
100	340	24	0,071
LSD (P=0.05)	133	8	0,024

Bevindingen ten aanzien van 'activeren':

In 'donkere' periodes is de groei van het gewas minder. Echter, de wortelgroei blijkt dan naar verhouding meer af te nemen dan de groei van de bovengrondse delen. Het verhogen van de kasluchttemperatuur, door bijvoorbeeld de toepassing van een minimumbuis versterkt deze reactie van het gewas. Bij een hogere temperatuur bleken wortels naar verhouding minder te groeien dan de totale plant. Het lijkt dus verstandiger in donkere periodes de temperatuur te verlagen om voldoende wortels te houden in verhouding tot de scheut. Verlagen van de relatieve luchtvochtigheid heeft nauwelijks effect op de wortelgroei, en lijkt om die reden een maatregel die wel veel energie kost, maar weinig oplevert.

2.2.6 Transportweerstand

Water dat door de wortels opgenomen wordt moet soms over lange afstanden in de plant getransporteerd worden voor het het verdampende blad heeft bereikt. Over het algemeen is in vruchtgroentegewassen, waar stengellengtes aan het einde van het seizoen op kunnen lopen tot 10 meter nooit waargenomen dat deze transportafstand een probleem zou zijn bij het aanvoeren van water vanuit de wortels naar de top van de plant. Bij komkommer speelde het probleem van een lange transportweg lange tijd geen rol. Immers, door het teeltsysteem en het feit dat er meerdere teelten per jaar waren, was de maximale stengellengte in komkommer veel minder lang. In een hoge draad teelt komkommer echter, kunnen stengellengtes oplopen tot wel 20 meter. Uit een experimenten in Klazienaveen en Naaldwijk in 1992 bleek dat onder droge zomerse omstandigheden er in een hoge draad teelt komkommer onvoldoende water in de top van de planten kwam om de top te kunnen koelen. De bladeren bovenin verbrandden, terwijl er voldoende water beschikbaar was om te kunnen verdampen (Haghuis & Esmeijer, 1992). In 1997 is op de (toenmalige) Proeftuin Zuid-Nederland geëxperimenteerd met het aanleggen van een tweede wortelstel, 8 meter hoger dan de oude wortels. Wanneer aan komkommers (plantdatum 30 december 1996) een extra wortelstel werd aangemaakt op 15 mei leverde dit 13,5 kg/m² extra productie. Het aanhouden van een tweede wortelstel een maand later leverde 12 kg/m² extra productie op. Blijkbaar kan in 'oude' komkommerplanten stengellengte en dus transportafstand wel beperkend zijn voor de groei en productie (Van Gurp, 1997). In de afgelopen jaren is door PPO (Peter van Weel en Ruud Kaarsemaker) geëxperimenteerd met een 'doorteelt' systeem van tomaat. In deze teelt wordt de stengel van tomaat in een goot gelegd, en steeds besproeid met een voedingsoplossing waarbij aan de stengel nieuwe wortelvorming optreedt. Zo kan de stengel steeds van onderen afgeknipt worden en 'verjongt' het gewas zich. Het systeem is gedurende het teeltseizoen 2004/2005 beproefd, en bleek ongeveer dezelfde productie te kunnen halen als het traditionele systeem. Dit jaar wordt het systeem opnieuw op een bedrijf getest (Ruud Kaarsemaker, pers. med.).

Bevindingen ten aanzien van 'activeren':

Er zijn aanwijzingen dat bij een hoge draad teelt komkommer, de transportafstand van wortels naar scheut een probleem kan zijn om water naar de top van de plant te vervoeren. Dit betekent dat oudere (en dus langere) planten gevoeliger zijn voor snelle wisselingen in verdampingssnelheden en voor een watertekort in de plant dan jongere planten. Echter, het probleem van 'slap gaan' van planten wordt in de praktijk maar beperkt waargenomen en zal geen groot effect hebben op de totale productie van een teelt.

2.2.7 Cytokinenen

Een belangrijke groep plantenhormonen zijn cytokinenen. Cytokinenen worden voornamelijk in de wortelpuntjes van een plant aangemaakt, en vervolgens met de verdampingsstroom mee naar de bovengrondse delen getransporteerd. Daar spelen ze een belangrijke rol in de groei. In een aantal gewassen is aangetoond dat voorafgaand aan een periode van knopuitloop en sterke groei, de concentratie cytokinenen in het xylemsap sterk toeneemt (Skene, 1975; Dieleman *et al.*, 1998). Voor met name jonge weefsels is het van belang voldoende cytokinenen te hebben. Een hogere cytokinineconcentratie bepaald dat ze een sterkere zuigkracht hebben voor assimilaten ('sink' werking) en voor nutriënten zoals bijvoorbeeld stikstof (Salisbury & Ross, 1992). Beiden zijn voorwaarden voor een goede groei van de jonge organen. Verder spelen cytokinenen een rol in de bladstrekking (Brock, 1993). Omdat cytokinenen met de verdampingsstroom naar de bovengrondse delen vervoerd wordt, zou aangenomen kunnen worden dat de hoeveelheid cytokinenen in de bladeren gerelateerd is aan de verdampingssnelheid. Dit blijkt echter niet het geval, er is geen relatie tussen de verdampingssnelheid van een blad en de concentratie cytokinenen (Pons *et al.*, 2001).

Bevindingen ten aanzien van 'activeren':

Cytokinenen zijn belangrijke plantenhormonen voor de groei van de bovengrondse delen. Deze hormonen worden met de waterstroom mee getransporteerd van de worteltopjes naar de scheut. Echter, er blijkt geen relatie tussen de verdampingssnelheid van een blad en de concentratie cytokinenen. Het 'activeren' van het gewas door het stimuleren van de verdamping via minimumbuis of minimumraamstand heeft derhalve via deze hormonen geen effect op de groei.

2.3 Conclusies

Om te kunnen groeien, moet een plant assimilaten aanmaken, dus fotosynthetiseren. Een actieve, groeiende plant is dus een fotosynthetiserende plant. Daarnaast heeft een plant verdamping nodig om zich te kunnen koelen en om nutriënten via de waterstroom naar de groeiende plantendelen te transporteren. Maar, zoals uit meerjarig onderzoek van PPO is gebleken (Esmeijer, 1998), een plant kan toe met 10-30% minder verdamping zonder dat dit effecten heeft op de productie. Met andere woorden: niet alle verdamping is noodzakelijk voor een goede groei.

In de praktijk proberen tuinders op donkere dagen de verdamping van een gewas te stimuleren ('activeren van het gewas') door de luchtvochtigheid te verlagen. De maatregelen die ze hiervoor toepassen zijn het gebruik van de minimumbuis en een minimumraamstand, waarmee veel energie gebruikt wordt. Is dit 'activeren' nu wel zo nuttig?

Om deze vraag te beantwoorden is gekeken naar een aantal essentiële plantprocessen. Het eerste proces is de fotosynthese, die op donkere dagen lager is dan wanneer er veel licht op het gewas valt. Echter, bij weinig licht hebben temperatuur en luchtvochtigheid nauwelijks effect op de fotosynthesesnelheid. Activerende maatregelen hebben dan geen effect op de gewasgroei. Op donkere dagen neemt de wortelgroei meer af dan de scheutgroei, hetgeen resulteert in een hogere spruit/wortel verhouding. Wanneer echter de wortels opgewarmd worden door een hogere minimumbuis, wordt dit effect versterkt. Een verlaging van de RV heeft nauwelijks effect op wortel- en scheutgroei. Het activeren van een gewas heeft geen positieve effecten op de wortelgroei, hoewel dat door telers wel vaak als argument genoemd wordt om de minimumbuis/minimumraamstand te gebruiken. Een alternatief om de wortelgroei in verhouding tot de scheutgroei te stimuleren zou het verlagen van de temperatuur kunnen zijn. Bij een verhoogde EC van de watergift wordt de scheutgroei negatief beïnvloed, maar blijft de wortelgroei op eenzelfde niveau. Dit betekent dat verhogen van de EC van de watergift de effecten van een donkere dag tegengaat.

Verdamping en wateropname zijn hoger wanneer op donkere dagen activerende maatregelen worden genomen. Echter, een verhoogde verdamping betekent niet dat de productie ook hoger is. Een verlaagde gewasverdamping zou mogelijk kunnen leiden tot gebrek aan nutriënten die passief opgenomen worden zoals calcium. Dit zou voorkomen kunnen worden door het verhogen van de EC op donkere dagen.

Concluderend hebben activerende maatregelen zoals aanhouden van een minimumbuis of minimumraamstand geen positieve gevolgen voor groei en productie van een gewas. Alternatieven voor activerende maatregelen zouden kunnen zijn om op donkere dagen de temperatuur te verlagen of de EC in de mat te verhogen.

3. Energiegebruik

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van een aantal verkennende berekeningen om de orde van grootte van de besparingsmogelijkheden van een aantal maatregelen en de invloed ervan op het klimaat vast te stellen.

3.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk zijn een aantal processen rond het activeren en stilzetten van de plant beschreven. Om een gevoel te krijgen voor de orde van grootte van de bijbehorende energiestromen, zijn enkele simulatieberekeningen met het kasklimaatmodel KASPRO uitgevoerd om te bepalen hoe groot deze energiestromen zijn en wat de gevolgen zijn voor kasklimaat en groei is als deze 'activeringsprocessen' worden aangepast of achterwege gelaten.

In dit hoofdstuk wordt uitgegaan van de volgende definities:

'Activeren' is iedere actie die de plant aanzet tot verdamping. Deze acties zijn verhoging van het setpoint verwarming, aanhouden van een minimumbuis temperatuur, verlaging van het setpoint voor de relatieve luchtvochtigheid en het openen van de ramen.

'Stilzetten' is het beperken van de verdamping. Dit wordt gerealiseerd door de temperatuur te verlagen, dus het niet verhogen van het setpoint verwarmen en het niet aanhouden van een minimumbuis temperatuur. Daarnaast wordt het setpoint voor de relatieve luchtvochtigheid niet verlaagd en wordt er niet of minder geventileerd. Door geen minimumbuis aan te houden, neemt de warmtevraag zo ver af dat dit ten koste gaat van de CO₂ productie.

De berekeningen worden uitgevoerd met een komkommer gewas. Als uitgangspunt zijn setpoints en een bedrijfsuitrusting zo conform mogelijk aan een modern praktijkbedrijf genomen. Zo wordt er bij de teeltstart naast het beweegbare transparante scherm een transparant vast folie gemonteerd met 1% perforatie, dat 1 maand in de kas blijft hangen. In bijlage 1 is een uitgebreide beschrijving van de uitgangspunten terug te vinden.

Het totale energiegebruik kan in twee delen worden opgesplitst, namelijk een 'minimum' gebruik dat wordt bepaald door het handhaven van de gewenste setpointtemperaturen en het energiegebruik dat het gevolg is van vochtregulatie. Deze vochtregulatie kan op een aantal manieren worden uitgevoerd. De hulpmiddelen hierbij zijn:

- het scherm (openen dan wel kieren)
- de ramen (opening afhankelijk van het vochniveau, de kasluchttemperatuur of een minimumraamstand)
- verwarmingsbuizen (stoken om het setpoint verwarmen te bereiken of een minimumbuis temperatuur handhaven)
- een combinatie (een vochtsetpoint dat ofwel de ramen opent en/of de buis temperatuur verhoogd)

De inzet van een minimumbuis temperatuur en of minimumraamstand is een vochtregulerende actie maar heeft ook een positief effect op de CO₂ productie. Zonder deze maatregelen zal er minder CO₂ beschikbaar zijn, wat eventueel weer nadelige gevolgen voor de productie kan hebben.

Naast het activeren, waarbij dus extra energie wordt ingezet om de verdamping te stimuleren, zou het op bepaalde momenten interessant kunnen zijn om de plant juist stil te zetten. Het stilzetten wordt als volgt gedefinieerd: 'processen die de vocht opname en -transport door het gewas vergroten worden achterwege gelaten'. Een algehele verlaging van het setpoint verwarmen kan hier een onderdeel van zijn. In dat geval wordt de gehele kas 'koud' gezet.

3.2 Scenario's

De energiebesparingen die met het activeren dan wel stilzetten behaald kunnen worden moeten in de volgende processen gezocht worden:

1. Vermindering vochtregulering; verhoging vochtsetpoint of minder sterk reageren op een vochtoverschrijding hetzij middels het raam dan wel via een buistemperatuurverhoging (niet activeren)
2. Uitschakelen minimumbuis en of minimumraamstand (niet activeren)
3. Setpointtemperatuur verlagings (stilzetten)

Verandering van setpoints die op de hierboven beschreven processen ingrijpen, zullen altijd gevolg hebben op:

- Energiegebruik
- Vochthuishouding
- Beschikbaarheid van CO₂ en daarmee op de productie
- Ontwikkelingssnelheid van de plant en de productie (bij stilzetten door temperatuurverlagings)

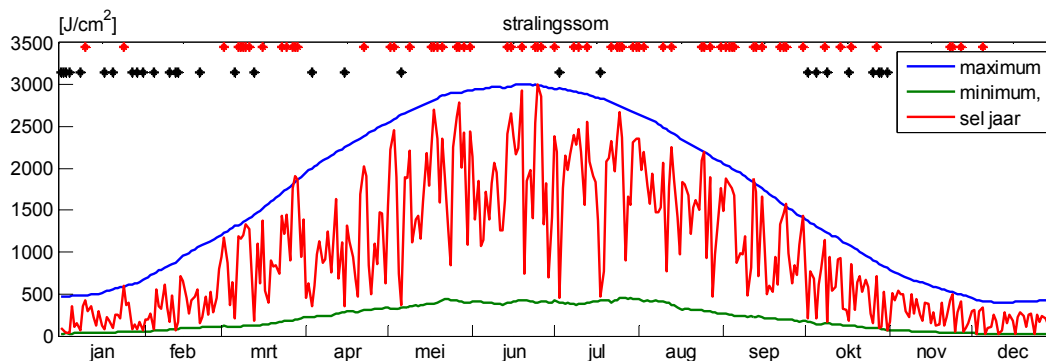
De eerste twee energiebesparende maatregelen zijn eenvoudig in modelberekeningen te realiseren door het setpoint RV te verhogen, de versterkingsfactoren (hoe ver wordt het raam bijvoorbeeld geopend per % punt RV-overschreiding) te verlagen en/of de minimumbuis en –raamstand uit te schakelen. Bij de 3^e maatregel is (arbitrair) gekozen voor een verlagings van het setpoint met 2 °C. In de scenario's zijn variaties aangebracht in de compensatie van deze setpointverlagings.

Stilzetten van de plant

Op momenten met weinig licht zal de plant een lage fotosynthesesnelheid hebben. Bij erg weinig licht kan zelfs de ademhaling zo groot zijn, dat de netto fotosynthese negatief wordt. Op dergelijke momenten zou de plant dan 'stilgezet' kunnen worden door een verlagings van de setpointtemperatuur verwarmen. Hierbij moet gedefinieerd worden wat een donkere dag is en wat 'stilzetten' is.

Donkere dag

Omdat deze berekening met kennis vooraf uitgevoerd wordt, kan het beste naar 'donkere' dagen in het SEL-jaar gezocht worden. Het SEL-jaar is een soort 'gemiddeld' klimaatjaar met alle kenmerken van het weer gedurende het jaar. Door gebruik te maken van dit selectiejaar kunnen resultaten van berekeningen beter met elkaar worden vergeleken. Het anticiperen op donkere perioden binnen een dag is regeltechnisch lastig zodat alleen op dagbasis gekeken wordt. Door het jaar heen is er een grote variatie in de stralingssom. Om dit te verduidelijken is in figuur 3.1 jaarrond de maximale (blauw) en minimale (groen) stralingssom per dag weergegeven. Daarnaast is er de stralingssom van het SEL-jaar (rood) in opgenomen.



Figuur 3.1. De maximale-, minimale- en SEL-jaar- stralingssom per dag, de dagen met minder dan 20% van de maximum lichtsom (zwarte *) en de dagen met meer dan 80% van de maximale lichtsom (rode *).

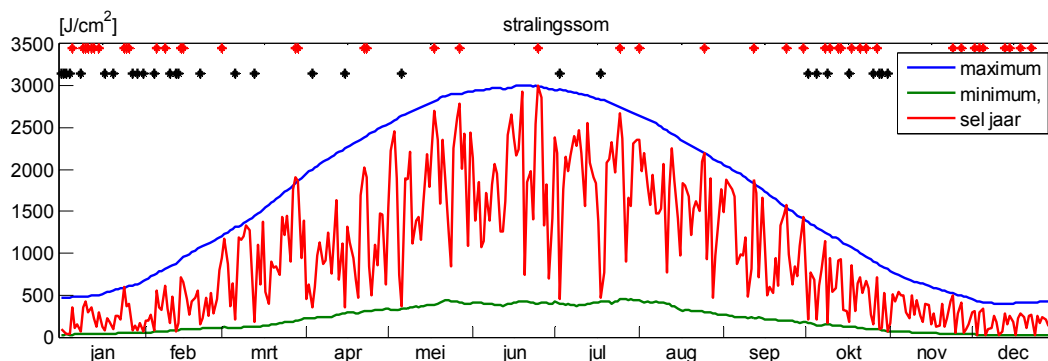
Vervolgens is arbitrair gesteld dat een donkere dag een dag is waarbij de stralingssom van het SEL-jaar minder dan 20% van de maximale stralingssom van die dag is. Dit zijn in totaal 39 dagen, die met een zwarte * in figuur 3.1 zijn weergegeven. Deze dagen vallen met name in de periode oktober tot en met februari.

Stil zetten

Wat moet er vervolgens gebeuren om de plant stil te zetten? Iedere activiteitsverhogende maatregel wordt uitgeschakeld en daarnaast wordt het setpoint verwarmen op deze dagen met (arbitrair) 2 °C verlaagd. Dat betekent dat op donkere dagen, wanneer de fotosynthesesnelheid laag is omdat er weinig licht is, ook de ademhaling verlaagd wordt door de temperatuur te verlagen. De temperatuurverlaging leidt er dan toe dat er netto meer assimilaten overblijven voor de groei, maar ook dat de ontwikkelingssnelheid van het gewas vertraagt.

Activeren

Door het stilzetten, zal de teelttemperatuur op die dagen gaan dalen. Een lagere teelttemperatuur leidt in het algemeen tot een teeltvertraging. Om dit te voorkomen is op de dagen met veel licht het setpoint met 2 °C verhoogd. Voor lichte dagen zijn hier de dagen gekozen waar de lichtsom 80% of meer van de maximaal haalbare lichtsom op die dag bereikt. De lichtste dagen zijn met een rode ster weergegeven in figuur 3.1. Bij vergelijking van de rode en zwarte sterren in deze figuur blijkt dat er een grote faseverschuiving ontstaat. In de wintermaanden komen de meeste donkere dagen voor en in de zomermaanden de meeste lichte dagen. Hierdoor kan er alsnog ongelijkheid (teeltvertraging) in de winter ontstaan doordat er in de winter een concentratie van stilgezette dagen plaatsvindt. Om dit te voorkomen zal op maandbasis evenveel dagen het gewas worden stilgezet als gecompenseerd door het criterium van 'lichte' dagen te variëren. Dat resulteert in koud zetten en compenseren op de dagen zoals in figuur 3.2 zijn weergegeven.



*Figuur 3.2 De maximale, minimale- en SEL-jaar- stralingssom per dag, de koude dagen (zwarte *) en de warme dagen (rode *) bepaald volgens een gewogen methode.*

Voor deze lichte dagen (rode *) zal het setpoint verwarmen met 2 °C worden verhoogd en op de donkere dagen (zwarte *), met 2 °C verlaagd. Daarnaast wordt in een case alleen op de donkere dagen het setpoint wel verlaagd, maar op de lichte dagen niet gecompenseerd.

In plaats van wijziging in de setpointtemperatuur, kan ook het vochtsetpoint gewijzigd worden. Hiervoor is het basis-setpoint RV van 87% gehandhaafd en op een activeerdag wordt het setpoint met 2% verlaagd en op een stilzet dag met 5% verhoogd. Deze niet symmetrische verhouding wordt aangehouden omdat in een vochtsetpointverlaging al snel veel energie kan gaan zitten. Dit wordt wel in sterke mate bepaald door de toegepaste versterkingsfactoren in de vochtregeling. Bij een grote versterkingsfactor, zal al bij een kleine overschrijding van het vochtsetpoint al een grote regelactie (denk aan grote raamstand of grote verhoging van de buistemperatuur om snel vocht af te voeren)

worden doorgevoerd wat veel energie kan kosten. In tabel 3.1 is een overzicht van de doorgerekende cases gegeven.

Tabel 3.1. Beschrijving doorgerekende cases.

1	Referentie
2	jaarrond geen minimumbuis; het gewas nooit bewust activeren, wel middels de vochtregeling
3	jaarrond geen minimumbuis en verhoging setpoint RV naar 92% (jaarrond)
4	stilzetten met compensatie door op donkere dagen het setpoint verwarmen met 2 °C te verlagen en dit te compenseren door op lichte dagen het setpoint verwarmen met 2 °C te verhogen, waarbij minimumbuis temperatuur is uitgeschakeld (jaarrond)
5	stilzetten zonder compensatie door op donkere dagen het setpoint verwarmen met 2 °C te verlagen. Hierbij is de minimumbuis temperatuur uitgeschakeld (jaarrond)
6	stilzetten met compensatie door op lichte dagen het setpoint RV met 2% te verlagen naar 85% en op donkere dagen het setpoint RV met 5% te verhogen tot 92%. De minimumbuis is jaarrond uitgeschakeld.
7	stilzetten zonder compensatie door op donkere dagen het setpoint RV met 5% te verhogen tot 92%. De minimumbuis is jaarrond uitgeschakeld.
8	geen vochtregeling en geen minimumbuis. Energiegebruik is dus noodzakelijk om de gewenste kasluchttemperatuur te handhaven.

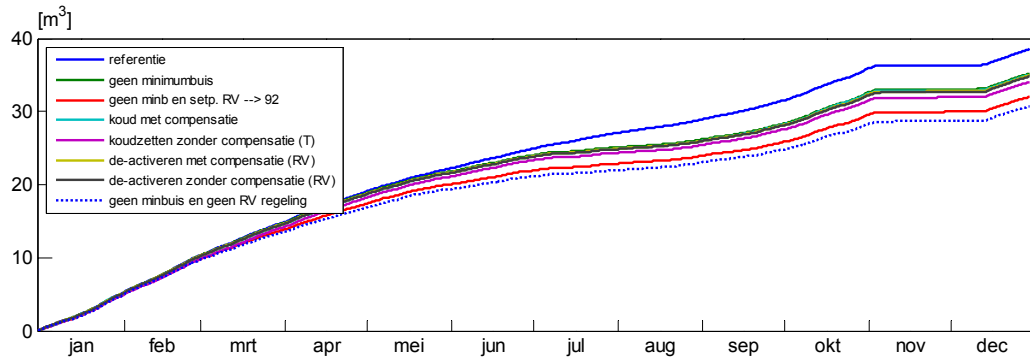
3.3 Resultaten scenarioberekeningen

De referentie kent een verbruik van 38,5 m³ m² jaar⁻¹. In het meest gunstige scenario kan dit naar krap 31 m³ m² jaar⁻¹ worden teruggebracht. Dit wordt bereikt door jaarrond de zelfde actie (geen minimumbuis temperatuur en geen vochtregeling in te zetten, een case die niet realistisch is maar wat bij handhaving van de hier gekozen verwarmings-setpoints, teeltmethode en teeltperiode (zie bijlage 1) als het absolute minimum gezien moet worden. Worden er meer gerichte acties ondernomen, dan daalt het energiegebruik van 38.5 naar ca. 34–35 m³ m² jaar⁻¹.

Tabel 3.2. Overzicht resultaten verschillende cases, jaarrond getallen.

Case	1	2	3	4	5	6	7	8
gasgebruik [m ³ m ²]	38,5	35,2	32,0	35,1	34,1	34,9	34,8	30,7
CO ₂ -gedoseerd [kg m ²]	25,9	21,2	18,0	21,2	21,2	21,0	20,9	16,7
verdamping [l m ²]	626	612	595	611	609	611	610	587
setpoint verwarmen [°C]	19,9	19,9	19,9	19,9	19,7	19,9	19,9	19,9
kasluchttemperatuur [°C]	21,1	20,8	20,9	20,9	20,6	20,8	20,8	21,0
netto assimilaten productie [kg m ²]	5,61	5,49	5,47	5,49	5,49	5,49	5,49	5,47

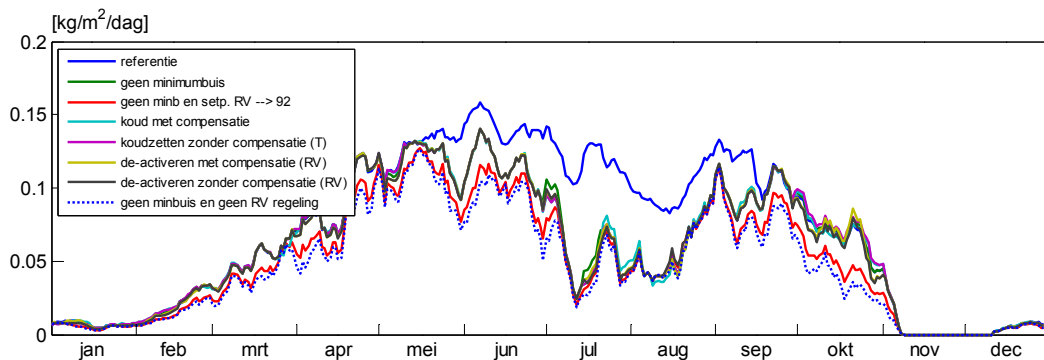
Het verloop van het gasgebruik door het jaar is in figuur 3.3 weergegeven als een cumulatie door het jaar.



Figuur 3.3. Cumulatief gasgebruik voor 8 cases.

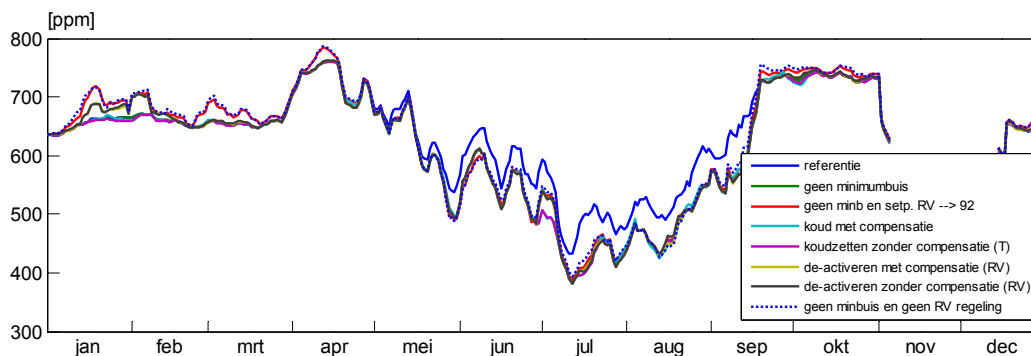
Uit deze figuur wordt duidelijk dat de grootse verschillen in het gevorderde voorjaar (medio april) en de zomer ontstaan. In de voorgaande maanden is de minimumbuistemperatuur maar weinig leidend omdat voor de warmtevraag een hogere buistemperatuur noodzakelijk is en er in deze periode nog weinig vochtproblemen zijn.

Besparing op het gasgebruik in de zomer leidt meestal ook tot een vermindering aan beschikbare CO_2 voor de dosering. Uit tabel 3.2 blijkt dat er op jaarbasis tot zo'n 9 kg m^{-2} (ca. 35%) minder CO_2 beschikbaar is om te doseren. De minimumbuis zorgt voor een soort gegarandeerde warmteafname, terwijl er in de zomermaanden weinig warmtevraag is om de kas op temperatuur te houden. Bij een verhoging van het vochtsetpoint, wordt het moment van ventileren uitgesteld, zodat er minder warmteverlies en dus ook minder warmtevraag ontstaat. Deze twee punten zorgen dus voor een verminderde warmtevraag en daarmee ook minder warmteproductie en daarmee CO_2 -productie. In figuur 3.4 is dit weergegeven als de dagsom aan gedoseerde CO_2 . Hieruit blijkt dat vooral in de periode juli – augustus de grootste verschillen optreden.



Figuur 3.4. Gedoseerde hoeveelheid CO_2 per dag.

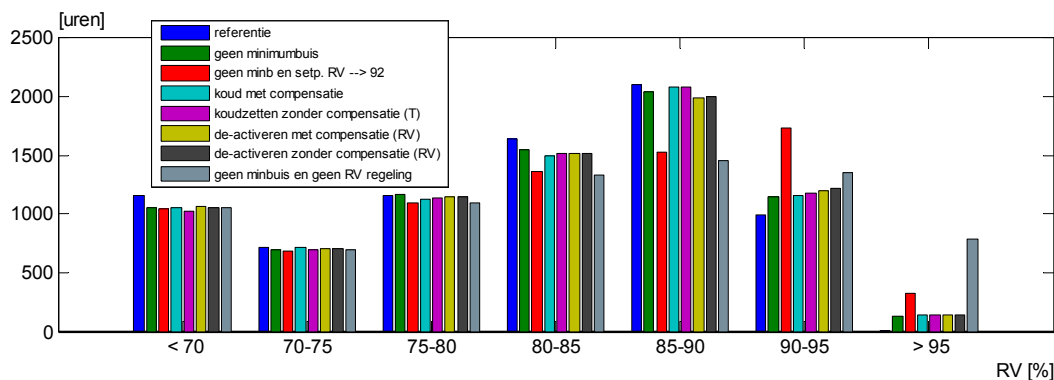
Een verminderde dosering zal ook voor lagere CO_2 -niveaus in de kas zorgen, daar er aan de ventilatiezijde van de meeste berekeningen hoegenaamd weinig tot niets veranderd is. In figuur 3.5 is het gerealiseerde CO_2 -niveau tijdens de uren dat er CO_2 gedoseerd wordt weergegeven. Het gat in de periode november – half december is de teeltwisseling. Het lage zomerniveau is het gevolg van het veelvuldig moeten ventileren op temperatuur en het beperkte aanbod van CO_2 als gevolg van de beperkte warmtevraag.



Figuur 3.5. Gerealiseerd CO_2 -niveau tijdens de uren dat er CO_2 gedoseerd wordt.

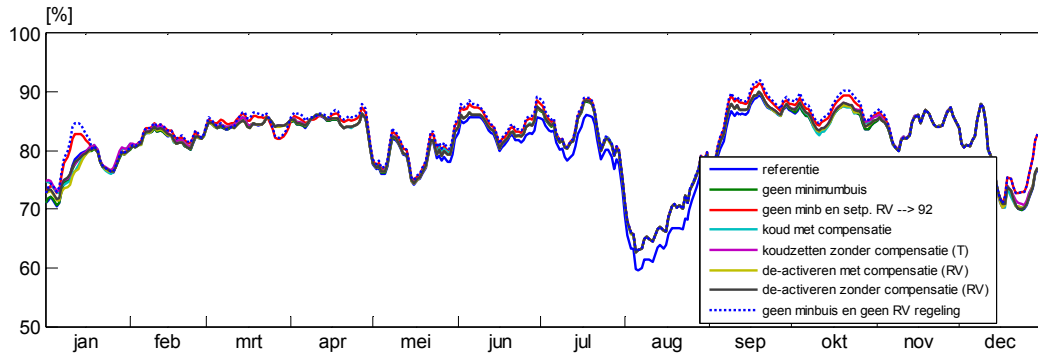
Het verschil in CO_2 -niveau wordt voornamelijk verklaard door de uitschakeling van de minimumbuis. Zoals uit tabel 3.2 blijkt kost de uitschakeling van de minimumbuis $4,7 \text{ kg } CO_2 \text{ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$ (vergelijk case 1 met case 2). Door het oprekken van de vochtgrenzen wordt vervolgens nog eens $3,2 \text{ kg } CO_2 \text{ m}^2 \text{ jaar}^{-1}$ minder gedoseerd. Echter waar de minimumbuis temperatuur vooral in de zomermaanden ten koste gaat van de CO_2 -productie, neemt door het hogere RV-setpoint juist in het voor en najaar de ventilatiebehoefte iets af waardoor er wat minder CO_2 -gedoseerd hoeft te worden, terwijl er wel CO_2 genoeg aanwezig is. Dit is te zien in de figuren 3.5 en 3.7, waar de rode lijn in het voor en najaar vaak net iets hoger ligt, wat duidt op minder ventilatie en dus een verminderde CO_2 -vraag. De scenario's waar het setpoint verwarmen wordt aangepast, wijken in gebruik niet veel af van de andere scenario's omdat het setpoint op een beperkt aantal dagen wordt doorgevoerd, waarbij deze dagen ook nog evenredig over het jaar verdeeld zijn.

Door de aanpassing in setpoints zoals beschreven in tabel 3.1 wordt er ook ingegrepen op de vocht huishouding. In figuur 3.6 is een histogram opgenomen van het aantal uren dat de gerealiseerde RV binnen bepaalde niveaus ligt.



Figuur 3.6. Histogram van de gerealiseerde RV tijdens de teelt.

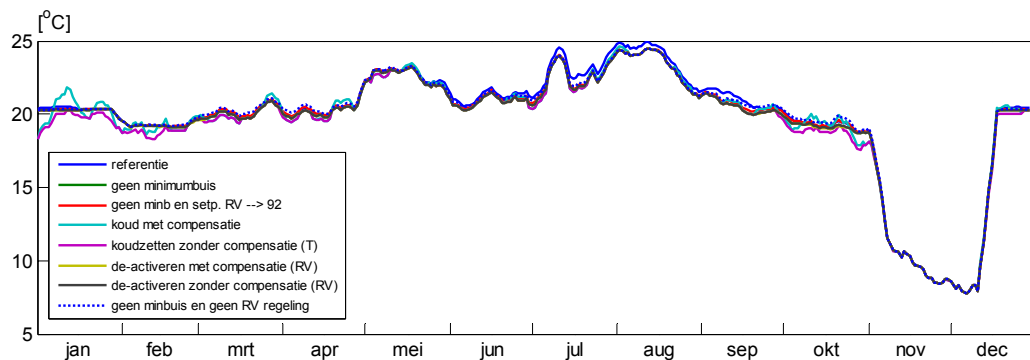
Uit figuur 7 blijkt dat met name de cases met jaarrond verhoogd RV setpoint (naar 92%) of het zelfs uitschakelen van een vochtregeling en het niet meer toepassen van een minimumbuis temperatuur tot een forse verhoging van het aantal uren met hogere RV niveaus leidt. De meeste andere cases hebben een vergelijkbaar aantal uren met hoog vocht niveau. In figuur 3.7 is de gerealiseerde RV weergegeven.



Figuur 3.7. De gerealiseerde RV tijdens de teelt, weergegeven als een daggemiddelde.

Uit figuur 3.7 is op te maken dat vooral case 3 (geen minimumbuis en jaarrond hoger RV setpoint) en case 8 (geen minimumbuis en jaarrond geen vochtregeling) tot hogere RV niveaus lijdt. De val van de RV begin mei en begin augustus is het gevolg van het zetten van nieuwe planten. In mei is dit tussenplanten en in augustus wordt het gehele gewas in één keer vervangen.

Naast aanpassingen aan het vochtsetpoint, zijn er ook cases waar op het setpoint verwarmen is ingegrepen. In figuur 3.8 is de daggemiddelde kasluchttemperatuur weergegeven.



Figuur 3.8. De gerealiseerde kasluchttemperatuur tijdens de teelt, weergegeven als een daggemiddelde.

Er kunnen tijdelijk forse afwijkingen in temperatuur ontstaan, met name bij de case 4 en 5 (stilzetten met en zonder compenseren). Dit komt ook tot uiting in tabel 3.2, waar de gemiddelde jaartemperaturen zijn gepresenteerd. Bij de in deze tabel gepresenteerde waarden is de teeltwisselingperiode voor de temperatuur en CO₂ buiten beschouwing gelaten.

De compensatie werkt goed en de case waar niet wordt gecompenseerd komt als koudste uit de bus. Hierbij moet case 4 met case 2 vergeleken worden, waar de minimumbuis ook is uitgeschakeld. Hieruit blijkt ook dat de referentiecasse als gevolg van het inzetten van de minimumbuis temperatuur warmer (ca. 0,2 °C) wordt.

3.3 Conclusies

In dit hoofdstuk is een inschatting gemaakt van het energiegebruik dat gepaard gaat met activerende maatregelen. Hiervoor zijn een aantal scenario's doorgerekend die varieerden in het gebruik van de minimubuis, setpoint RV en temperatuurverlaging op donkere dagen. In de referentietoelt werd 38,5 m³ gas per m² per jaar gebruikt. In het meest extreme scenario (alleen stoken voor temperatuur, niet voor een vochtregeling), werd nog 30,7 m³ per m² gebruikt. In dit scenario en de minder extreme scenario's bleek echter dat er (veel) minder CO₂ beschikbaar is, hetgeen direct ten koste van de productie gaat. Immers in de winter is de CO₂-vraag beperkt, maar is de warmtevraag hoog terwijl het reduceren van de warmtevraag in de zomer direct ten koste gaat van de beschikbaarheid van CO₂. Om de productie op peil te houden is dan inbreng van CO₂ uit een alternatieve bron noodzakelijk. Opvallend is dat niet activeren maar een beperkt effect heeft op de verdamping. Tussen de referentie en het meest energiezuinige scenario zit een verschil in verdamping van 39 liter per m², een afname van slechts 6%. Wel is het zo dat in het geschetste meest energiezuinige scenario de RV oploopt tot ongewenste niveaus, ca. 750 uur op jaarbasis een RV boven de 95%. Een deel van het besparingspotentieel zal dan ook worden opgebruikt door de vochtregeling.

Uit de scenarioberekeningen blijkt dat energiebesparing mogelijk is door een verminderde inzet van activerende maatregelen. Een alternatieve CO₂ bron is dan noodzakelijk om opbrengstderving te voorkomen. Mits maatregelen met beleid ingezet worden, hoeft een verhoogde RV niet tot problemen te leiden.

4. Discussiebijeenkomsten

Op 16 en 17 oktober zijn de resultaten van het project 'Plant 'activeren' of 'stilzetten' besproken met een groep teeltadviseurs en met een studiegroep hoge draad komkommertelers. Bij beide groepen werd een presentatie gehouden.

Activeren

Aan het begin van de presentaties hebben we aan de telers en voorlichters gevraagd wat zij onder activeren verstaan, wanneer ze het toepassen en wat ze er mee beogen te bereiken. Bij beide groepen werd gezegd dat het doel van plant activeren is het verhogen van de verdamping door het instellen van een minimumbuis. Om te voorkomen dat de temperatuur te hoog oploopt wordt dan ook gelucht. De telers geven aan dat ze standaard een minimumbuis gebruiken, met vaak nog een vochtverhoging. Naarmate de hoeveelheid licht toeneemt in de morgen, wordt de minimumbuis afgebouwd. Door de voorlichters wordt ook genoemd dat ze een luchtstroom langs de plant willen, waarvoor een buistemperatuur van 15-20 °C boven de buitentemperatuur al voldoende zou zijn.

De reden dat ze op deze manier activeren is dat ze bang zijn voor de risico's van het niet activeren. Als ze niet activeren zijn ze bang dat het gewas te zwak en waterig zou worden (grote cellen) en een te zwak wortelstelsel zou krijgen met uiteindelijk negatieve gevolgen voor productkwaliteit en dat er meer schimmelziektes in zouden komen. De telers zijn bang voor een 'lui' gewas, dat niet in staat is, om als het nodig is, op het moment dat het weer zonnig weer wordt, voldoende water aan te voeren om te voldoen aan de watervraag van de verdamping. Planten zouden dan slap kunnen gaan. De telers geven aan dat hun komkommerplanten nu op een zonnige dag toch al slap gaan (ca. een half uur), maar vrezen dat als ze niet zouden activeren, dit slap gaan wel een halve dag zou kunnen duren. Dit zou kunnen leiden tot kwaliteitsproblemen van de vruchten Volgens de teeltvoorlichters zijn door de huidige gasprijzen de instellingen van de minimumbuis aangepast. De telers daarentegen geven aan dat de verhoogde gasprijs van de afgelopen twee jaar nauwelijks een rol heeft gespeeld in hun klimaatinstellingen. De telers noemden ook dat door te activeren je de plant aan het trainen was om de marathon (lees de hoge verdamping na een weersomslag) te kunnen lopen.

De voorlichters adviseren op donkere dagen een maximumbuis. Tot de middag mag er in de kas een lagere temperatuur zijn, daarna wordt er een paar uur opgestookt, waarna de temperatuur weer mag zakken. Ze geven dus aan dat ze op donkere dagen een lagere etmaaltemperatuur adviseren.

Plantprocessen:

De plantprocessen die met de telers en voorlichters besproken zijn, zijn fotosynthese, verdamping en wateropname, nutriëntenopname en wortelgroei. Beide groepen reageerden met name op de processen verdamping en wortelgroei. Bij minder licht, wordt de wortelgroei sterker geremd dan de scheutgroei, hetgeen resulteert in een hogere spruit/wortelverhouding. Activeren kan door verhogen van een minimumbuis dicht bij de wortels dit effect versterken. Enigszins aarzelend onderschreven beide groepen wel dat het verlagen van de temperatuur op donkere dagen een mogelijkheid zou kunnen zijn om het gevreesde zwakke wortelstelsel te voorkomen. Zowel de telers als de voorlichters noemden dat in komkommer wateropname na lijkt te ijlen op de weersveranderingen. Na een aantal zonnige dagen is er op de eerste donkere dag meer wateropname dan op basis van de hoeveelheid licht verwacht werd. Het omgekeerde gebeurt op een zonnige dag na een aantal donkere dagen: de wateropname is de eerste dag dan lager dan verwacht. Gesuggereerd werd door de voorlichters dat het najlen van de mattemperatuur op de ruimtetemperatuur een rol speelt. Bij een hogere worteltemperatuur zou de wateropname hoger zijn. Op grond van deze waarneming adviseren de voorlichters bij komkommer de eerste dag na een weersomslag rustig aan te doen. De telers onderschrijven wel dat meer verdamping niet direct te vertalen is in meer groei. Ze noemen zelf het voorbeeld van wegschermen van licht in de zomer. Daardoor wordt de verdamping lager, maar de productie wel hoger.

Met betrekking tot de nutriëntenopname geven de voorlichters aan dat ze de druppel EC aanpassen aan het klimaat en de weersomstandigheden. Zo wordt onder een foliescherm een hogere EC van het gietwater aangehouden dan

wanneer geen vast foliescherm gebruikt wordt. Op de suggestie dat de EC verhoogd zou kunnen worden op donkere dagen om de spruit/wortelverhouding te beïnvloeden en de nutriëntenopname (m.n. calcium) te verhogen, geven de voorlichters aan dat ze dit al adviseren. In de praktijk betekent dit dat ze een vaste EC adviseren, met een verlaging van de druppel EC met lichtintensiteit. De voorlichters geven wel aan dat de wortels de EC van de mat waarnemen en dat de mat een traag medium is. Alternatief voor een hogere EC van het gietwater is minder water geven, waardoor de EC in de mat oploopt.

Energie

De gevolgen van het niet toepassen van een aantal activerende maatregelen op energiegebruik, waterverbruik, CO₂ beschikbaarheid en productie werden met de telers en voorlichters besproken. De eerste reactie van de voorlichters was dat energiebesparing wel mogelijk zou kunnen zijn, maar dat dit altijd ten koste zal gaan van productie en productkwaliteit. De discussie ging vervolgens over hoeveel energie per week minimaal nodig is om te telen. De voorlichters stelden dat je niet kunt telen met 0,3 m³ gas per week. Eerder werd altijd gesteld dat dit 1 m³ per week moest zijn, nu gaan de voorlichters er van uit dat het met 0,7 m³ per week zou moeten kunnen. Het bleek erg moeilijk te zijn deze discussie te vertalen naar waar je die kuubs dan voor nodig hebt, voor temperatuur, RV of CO₂. Het 'traditionele' denken in kuubs vertalen naar plantprocessen bleek een grote opgave. De voorlichters constateerden verder dat de productieniveaus van bijvoorbeeld tomaat en paprika al jarenlang min of meer hetzelfde blijven, maar dat het energiegebruik in de teelt is gedaald. Ze geven aan dat ze eigenlijk willen praten over energiegebruik per kg productie. Die waarde is de afgelopen jaren gedaald van 0,9 m³ gas per kg product naar 0,7. De suggestie werd gewekt dat er te weinig energie in het gewas wordt gestopt, waardoor de productie stagneert. Op de vraag of de input van de gasgebruiken uit het verleden momenteel dan tot een productieverhoging (niet als gevolg van een grotere CO₂-beschikbaarheid) zou leiden, kon men echter niet beantwoorden.

Uit de resultaten blijkt dat energiebesparing mogelijk is door standaard activerende maatregelen als een minimumbuis achterwege te laten. Een gevolg hiervan is dat er minder CO₂ beschikbaar is. De voorlichters reageerden direct dat dit geen probleem is; er is zuivere CO₂ of OKAP CO₂ beschikbaar. De telers reageerden meer vanuit een kostenafweging tussen CO₂ via de ketel of zuivere CO₂. Zij gaven wel aan dat ze mogelijkheden zagen tot energiebesparing door hun instellingen nog wat verder te optimaliseren en te werken met geleidelijke overgangen in klimaat in plaats van plotselinge sprongen. Een van de voorlichters gaf aan dat telers met zuivere CO₂ in de zomer met minder energie toe kunnen en dat dat dan ook gebeurt doordat de minimumbuis minder ingezet wordt.

In de resultaten werd aangegeven dat verschil in verdamping tussen de referentie en het meest energiezuinige scenario slechts 39 liter bedraagt, 6% van de totale hoeveelheid verdamping. En dit terwijl de maatregelen voornamelijk worden ingezet om de verdamping te verhogen. Dit leidde met name bij de telers tot veel reacties. Zij waren onder de indruk van het beperkte effect van de activerende maatregelen op de verdamping, waarna zij zichzelf af begonnen te vragen of het misschien toch niet minder kon met de activerende maatregelen op donkere dagen. Een aantal noemde dat ze misschien toch de standaard instellingen van de minimumbuis nog eens wilden bekijken en dat deze toch niet zo standaard zouden moeten zijn. Immers een marathontraining die slechts 6% van de gehele marathon omvat is toch wel een beperkte training.

Tenslotte

Een opmerking die door zowel de telers als de voorlichters werd gemaakt, is dat er in dit verhaal weinig aandacht werd besteed aan (schimmel)ziektes en afwijkingen in plantmorfologie. Dit is een terechte opmerking, maar uit de verschillende opmerkingen van de voorlichters tijdens de bijeenkomst bleek dat zij sterk van mening verschilden over onder welke omstandigheden schimmelaantastingen het meeste voorkwamen. Zo was een deel van de voorlichters er van overtuigd dat er dit jaar erg veel Botrytis voorkwam, terwijl een aantal anderen dit jaar de minste aantasting in jaren zagen.

5. Conclusies en aanbevelingen

Telen in een kas betekent continu inspelen op variaties in weersomstandigheden. In donkere periodes zijn telers geneigd maatregelen te nemen die het gewas 'activeren'. 'Activeren' van het gewas of het 'actief houden' van een gewas zijn in de tuinbouw veel gebruikte uitdrukkingen, waarvan de betekenis niet altijd helemaal duidelijk is. Uit de bijeenkomst met tuinders en voorlichters bleek dat men wel weet wat men doet (minimumbuis eventueel in combinatie met een minimumraamstand) en ook wel waarom (verhogen van de gewasverdamping), maar wat er zou gebeuren als er niet geactiveerd zou worden is niet altijd bekend. Als risico's van niet activeren werden genoemd: zwak, waterig gewas, zwak wortelstelsel, planten die bij de overgang van donker naar licht weer sneller slap gaan en verhoogde kans op schimmelziektes. Opvallend was bij de discussiebijeenkomst met de telers dat zij zeer geïnteresseerd waren in de relatief geringe afname van de verdamping (in liters per jaar) wanneer in het geheel geen activerende maatregelen werden genomen. Uit al deze feiten blijkt dat telers aarzelend zijn om te stoppen met activeren vanwege de wateropname, watertransport en waterhuishouding in de plant en vanwege de wortelactiviteit. Telers er van overtuigen minder activerende maatregelen te nemen kan alleen als aan deze aspecten aandacht wordt besteed. Een mogelijke aanpak zou begeleiding van een telersgroep gedurende het voorjaar kunnen zijn. In deze aanpak, vergelijkbaar met de aanpak die in het project 'Intensivering schermgebruik' is toegepast, zou van deze bedrijven geanalyseerd kunnen worden hoe ze hun instellingen van klimaat en watergift aanpassen aan donkere periodes en wat dit nu daadwerkelijk betekent voor het verdampingsniveau. Wanneer deze data gecombineerd zouden worden met gewaswaarnemingen zouden telers gestimuleerd kunnen worden minder of minder vaak activerende maatregelen te nemen. Een andere vorm zou een praktijknetwerk kunnen zijn met als onderwerp toepassing van de minimumbuis/minimumraamstand en de plantkundige consequenties hiervan.

Groei van een gewas wordt bepaald door de fotosynthese en assimilatenverdeling in de plant. Hiervoor is wel een zekere hoeveelheid verdamping noodzakelijk, maar onder andere uit meerjarig onderzoek door PPO (Esmeijer, 1998) is aangetoond dat verdamping en waterverbruik met 10-30% gereduceerd kunnen worden zonder effect op de productie. Met andere woorden, activerende maatregelen zijn niet nodig voor groei (droge stof toename) en productie. De gevolgen die tuinders vrezen, zijn voornamelijk plantkarakteristieken zoals die optreden bij een hoge RV van de kaslucht. Ook bij bijvoorbeeld (te) lang doorschermen, waarbij in de laatste periode een hoge RV wordt gerealiseerd, wordt een gewas 'weelderig'. Dit zou tegengegaan kunnen worden door bijvoorbeeld de EC in de mat te verhogen door een verhoogde EC van het druppelwater of een verlaging van de watergift. De groei van de bovengrondse delen wordt hierdoor iets minder, maar omdat de wortelgroei hierdoor niet beïnvloed wordt, wordt het aandeel van de wortelgroei in de totale plantgroei hoger. Het zou wenselijk zijn om experimenteel vast te stellen of variëren van de EC in het wortelmedium een energiezuinig alternatief voor activerende maatregelen zou kunnen zijn.

Conclusie:

Door op donkere dagen minder of minder vaak maatregelen te nemen die de gewasverdamping stimuleren ('activerende maatregelen') is het energiegebruik met ca. 10% terug te dringen. Er is in dat geval minder CO₂ beschikbaar, dit zal gecompenseerd moeten worden door CO₂ uit andere bronnen om de productie op niveau te houden. Tuinders zijn echter aarzelend om minder activerende maatregelen te nemen door de gevreesde risico's van een zwak gewas en zwak wortelstelsel, met uiteindelijk gevolgen voor de productie en met name de productkwaliteit. Wanneer tuinders gestimuleerd worden om minder activerende maatregelen te nemen, zal deze vrees overwonnen moeten worden door inzichtelijk te maken in hoeverre deze vrees gegrond is en hoeveel speelruimte er is in instellingen voordat productie en productkwaliteit gevaar lopen.

6. Literatuur

- Adams, P. & Ho, L.C., 1989.
Effect of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 64: 725-732.
- Bakker, J.C., 1991.
Effects of humidity on stomatal density and its relation to leaf conductance. *Scientia Horticulturae* 48: 205-212.
- Bakker, J.C., 1991.
Growth, dry matter production and partitioning. In: Analysis of humidity effects on growth and production of glasshouse fruit vegetables. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen: 37-50
- Bakker, J.C., 1993a.
Invloed vocht op fotosynthese klein. In: luchtvochtigheid. Informatiereeks, Proefstation voor Tuinbouw onder Glas No. 104, Naaldwijk: 22-23.
- Bakker, J.C., 1993b.
Zichtbare aanpassingen en onzichtbare. In: luchtvochtigheid. Informatiereeks, Proefstation voor Tuinbouw onder Glas No. 104, Naaldwijk: 24-25.
- Björkman, O., 1981.
Responses to different quantum flux densities. In: Encyclopedia of plant physiology, New Series, Volume 12A, Lange, O.L, Nobel, P.S., Osmond, C.B., Ziegler, H., eds. Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin: 57: 107
- Brock, T.G., 1993.
Combined effects of hormones and light during growth promotion in primary leaves of *Phaseolus vulgaris*. *Canadian Journal of Botany* 71: 501-505.
- Brouwer, R., 1962.
Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 10: 399-408.
- Dieleman, J.A., F.W.A. Verstappen & D. Kuiper, 1998.
Bud break and cytokinin concentration in bleeding sap of *Rosa hybrida* as affected by the genotype of the rootstock. *Journal of Plant Physiology* 152: 468-472
- Ehret, D.L. & Ho, L.C., 1986.
The effect of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *Journal of Horticultural Science* 61: 361-367.
- Esmeijer, M., 1998.
Minimale transpiratie in relatie tot energieverbruik, productie en kwaliteit van glastuinbouwgewassen. Rapport 154, Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, 52 pp.
- Haghuis, P. & Esmeijer, M., 1992.
Komkommer: doorteelt nog niet rijp voor praktijk. *Groenten + fruit : Vakdeel glasgroenten* 2(50): 20-21.

- Johnson, R.W., Dixon, M.A. & Lee, D.R., 1992.
Water relations of the tomato during fruit growth. *Plant, Cell and Environment* 15: 947-953.
- Kitano, M. & Eguchi, H., 1992.
Dynamics of whole-plant water balance and leaf growth in response to evaporative demand. I. Effect of change in irradiance. *Biotronics* 21: 39-50.
- Maas, E.V. & Hoffman, G.J., 1977.
Crop salt tolerance – current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers*, 103(IR2): 115-134
- Marcelis, L.F.M., 1994.
Effect of fruit growth, temperature and irradiance on biomass allocation to the vegetative parts of cucumber. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42: 115-123.
- Pons, T.L., Jordi, W. & Kuiper, D., 2001.
Acclimation of plants to light gradients in leaf canopies: evidence for a possible rol for cytokinins tranported in the transpiration stream. *Journal of Experimental Botany* 52: 1563-1574.
- Salisbury, F.B. & Ross, C.W., 1992.
Plant physiology. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, USA.
- Skene, K.G.M., 1975.
Cytokinin production by roots as a factor in the control of plant growth. In: The development and function of roots, Wightman, F & Setterfield, G., eds. Academic Press, New York: 365-396.
- Sonneveld, C. & De Kreij, C., 1999.
Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salts in the root environment. *Plant and Soil* 109: 47-56.
- Van de Sanden, P.A.C.M. & Veen, B.W., 1992.
Effects of air humidity and nutrient solution concentration on growth, water potential and stomatal conductance of cucumber seedlings. *Scientia Horticulturae* 50(3): 173-186
- Van de Sanden, P.A.C.M., 1985.
Effect of air humidity on growth and water exchange of cucumber-seedlings. Preliminary report. *Acta Horticulturae* 174: 259-267
- Van den Boogaard, H.A.G.M. & Elings, A., 2003.
In eindverslag 'Hydrion-line: On-line monitor- en besturingssysteem voor proceswater in een gesloten teeltsysteem in de glastuinbouw'. Rapportage Plant Research International
- Van Gulp, H., 1997.
Magische productiegrens overschreden bij hogedraadteelt. *Groenten en Fruit* 47: 20-21
- Wentworth, M., Murchie, E.H., Gray, J.E., Villegas, D., Pastenes, C., Pinto, M. & P. Horton, 2006.
Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress: II. Acclimation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 57: 699-709.

Bijlage I.

Referentieteelt komkommer

Kas

Bij de standaardteelt is uitgegaan van een kas van 4. ha met een goothoogte van 5 meter. De traliemaat is 8 meter (2 kappen van 4 meter) en de pootafstand is 4,5 meter. Het verwarmingssysteem is een standaard systeem voor de intensieve glasgroenteteelt en bestaat uit vijf 51 mm buizen per kap in het ondernet en half zo veel 28 mm buizen in het secundaire verwarmingsnet. Dit net fungeert als condensornet, maar ook als secundair net wanneer een groot verwarmingsvermogen noodzakelijk is. De buistemperaturen zijn begrensd op 70 °C voor zowel het onder- als het bovennet. Het secundaire net wordt pas bijgeschakeld voor verwarming indien het ondernet een buistemperatuur van 60 °C heeft bereikt.

De kas is uitgerust met een rookgas-verdeelsysteem voor de CO₂-dosering waarmee maximaal 180 kg CO₂ per ha per uur kan worden toegediend.

De ketel heeft een aansluitcapaciteit van 140 m³ ha⁻¹ uur⁻¹ en er is een warmteopslag buffer met een waterinhoud van 120 m³ ha⁻¹. Indien de buffer vol is, wordt de CO₂-dosering gestopt.

Gewas- en teeltgegevens

Een moderne komkommertuinder plant in de regel 3 keer per jaar. Gangbare plantweken, en daarom toegepast in dit project, zijn week 50 (14 december), week 18 (1 mei) en week 31 (1 augustus). De teeltwisseling in het voorjaar vindt plaats door tussenplantingen, waardoor de kas eigenlijk niet leeg komt te staan. De herfstteelt wordt 5 november geruimd.

Kasklimaat

Komkommers worden warm geteeld. In onderstaande tabel worden de temperatuursetpoints weergegeven. Er wordt met 2 dagdelen gewerkt. De dagtemperatuur is 1 uur na zonsopkomst en de nachttemperatuur is 1 uur na zonsondergang bereikt. Er wordt met een opstookhelling van 1 °C per uur gewerkt.

datum ingang setpoint	dagtemperatuur	nachttemperatuur
14/12	21	20
01/02	20	18,5
01/05	22	21
22/05	21	18,5
29/05	20	17
01/08	22	21
22/08	21	18,5
29/08	20,5	17,5
05/11	5	5

In de koude periode van het jaar (vanaf eind september) staat de ventilatielijn 3 °C boven de stooklijn. Er wordt derhalve weinig warmte afgelucht, zodat op heldere dagen hogere etmaaltemperaturen kunnen worden behaald. Op 1 februari wordt dit terug gebracht tot 2 °C

Vanaf half april is het zaak de etmaaltemperatuur te drukken, zodat in die periode de ventilatielijn slechts 1 °C boven de stooklijn wordt gelegd. Vanaf 20 september wordt deze weer verhoogd tot 2 °C Deze temperaturen zijn dag en nacht gelijk.

Er wordt beperkt gebruik gemaakt van een minimumbuis temperatuur. Van 3 uur voor zonsopgang tot 12:00 wordt er jaarrond een temperatuur van 40 °C aangehouden en in de periode 15 mei 10 augustus is dit 45 °C. De overige uren van de dag is de temperatuur 35 °C. Tussen 200 en 400 W/m² globale straling wordt buis temperatuur afgebouwd.

De vochtregeling geschiedt met de luchtramen en indien de ruimtetemperatuur door deze ventilatie onder de setpointtemperatuur verwarmen komt, wordt er pas bijgestookt.

Er wordt ingegrepen op de luchtvochtigheid wanneer de kaslucht boven de 87% RV komt. De regelactie is beperkt, met name als het buiten koud is, namelijk 1% raamopening per % overschrijding van de RV wanneer het buiten kouder dan 5 °C is. Als het buiten warmer dan 15 °C is wordt het raam met 5% per % overschrijding op de RV geopend. De regeling loopt lineair tussen deze 2 uitersten.

Het setpoint voor de CO₂-concentratie in de kas is 650 ppm in de periode van 14 december tot 1 april en in de rest van het jaar (behoudens tijdens de teeltwisselingen) 750 ppm. Overigens zullen deze concentraties niet gehaald worden wanneer er serieus op temperatuur gelucht moet worden.

Er wordt een transparant beweegbaar scherm type SLS 10 Ultra plus gebruikt tussen 15 oktober en 1 mei. In het koudste deel van het jaar (vanaf 14 december tot half januari) wordt dit scherm geopend bij stralingsniveaus van meer dan 20 W m² en/of buitentemperaturen boven 6 °C. Dit wordt gedaan omdat er in deze periode ook een vast (1% geperforeerd) folie in de kas is getrokken. Als dit vaste folie op 15 januari verwijderd wordt, worden de setpoints van het beweegbare scherm aangepast. Het scherm gaat dan pas open (en ook weer dicht) als de straling boven de 100 W m² en of de buitentemperatuur boven de 10 °C komt. Op 1 februari wordt het stralingscriterium verlaagd tot 50 W m² en op 15 februari wordt de buitentemperatuur verlaagd naar 8 °C. Vanaf 15 maart gaat het scherm open als het licht is (20 W m²). Dit wordt nog één keer verlaagd op 15 april tot 10 W m² en een buitentemperatuur van 7 °C op 1 april.

Wanneer de RV minder dan 0.5% onder het setpoint komt wordt het scherm op een vochtier van maximaal 3% getrokken en bij blijvend te hoge RV wordt het scherm na een half uur geheel geopend. In de gevel is een beweegbaar gevelscherm geplaatst, dat gelijktijdig met het horizontale scherm geopend en gesloten wordt.

Er wordt in de standaardteelt geen temperatuurintegratie toegepast. Daarnaast wordt er ook geen gebruik gemaakt van minimumraamstanden.

Buitenklimaat

Voor de straling, buitentemperatuur en overige van belang zijnde buitenklimaatfactoren, wordt gebruik gemaakt van het SELJaar, dat representatieve klimaatgegevens voor Nederland bevat en dat de variatie in klimaateigenschappen tussen dagen en tussen uren heeft gehandhaafd.