WAGENINGEN UR
For quality of life

Teeltbegeleiding geconditioneerde tomaat

Marcel Raaphorst



Productschap Tuinbouw

Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Kas als Energiebron

Rapport GTB-1063



© 2011 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres	:	Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
	:	Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel.	:	0317 - 48 56 06
Fax	:	010 - 522 51 93
E-mail	:	glastuinbouw@wur.nl
Internet	:	www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting 5

1 Inleiding 7
1.1 Probleemstelling 7
1.2 Doelstellingen 7
1.3 Aanpak 7
1.3.1 Conditionering 8
1.3.2 Bedrijven 8
1.3.3 Analyses 9
1.3.4 Bedrijfsbezoeken 9
1.3.5 Bijeenkomsten 9

2 Teelt 11
2.1 Teeltdoelen 11
2.2 Overige aandachtspunten 13
2.2.1 Bladrandjes 13
2.2.2 Gescheurde vruchten 13
2.2.3 Krullend blad 13
2.2.4 Chlorose 14
2.2.5 Botrytis 14
2.2.6 Wittevlieg 14
2.3 Teelt en productie 15
2.3.1 Assimilatenbalans 16
2.3.2 LAI 16
2.3.3 Nutriëntenopname 17
2.3.4 Uitgroeiduur 17

3 Kasklimaat en inzet conditionering 19
3.1 Kasklimaat 19
3.1.1 Temperatuur 19
3.1.2 Verticale temperatuurverschillen 20
3.1.3 Horizontale temperatuurverschillen 20
3.1.4 Luchtvochtigheid 20
3.1.5 CO_2 23
3.2 Toepassing verneveling 23
3.3 Inzet warmtepomp, WKK en ketel 25
3.4 Verwarming 27
3.5 Toepassing actieve koeling 27
3.5.1 Verlaging ventilatievoud 28
3.5.2 Verlaging temperatuur 29
3.5.3 Actief ontvochtigen 29

4	Energiegebruik		31
	4.1	Warmtegebruik en bronnen	31
	4.2	Koudegebruik	32
	4.3	Elektriciteitsverbruik	33
	4.4	CO_2-emissie geconditioneerde kassen	34
5	Discussiepunten		35
6	Conclusies		37
7	Literatuur		39
Bijlage I	Theorie van de assimilatenbalans bij tomaat		41
Bijlage II	Assimilatenvraag		45
Overwegingen voor klimaatinstellingen			49
Bijlage III	Scheuren van vruchten		51
Bijlage IV	Afweging aanschaf warmtebronnen		53

Samenvatting

Vier geconditioneerde tomatenbedrijven zijn twee jaar lang door Wageningen UR gemonitord en begeleid voor wat betreft de teelt, het kasklimaat en de inzet van energie. Tijdens de begeleiding zijn vele aspecten aan de orde gekomen. Zo blijkt de productie in de geconditioneerde kassen tot 10% hoger te zijn dan in de open kassen, wat grotendeels kan worden verklaard door de hogere CO_2-concentratie. Daarnaast heeft conditionering invloed op de verticale temperatuurverdeling. Dit kan leiden tot een tragere afrijping van de vruchten en in extreme gevallen opkrullende bladeren. Deze problemen zijn door de telers voor een groot deel werd beperkt door een hogere uitblaastemperatuur aan te houden. Het nadeel van een hogere uitblaastemperatuur is echter een lagere koelcapaciteit of een zwaardere inzet van het ventilatorvermogen.

Geconditioneerde kassen gebruiken niet minder warmte dan open kassen. Wel kan de warmtepomp, die gebruikt wordt in geconditioneerde kassen, in combinatie met een WKK, ongeveer 43% efficiënter warmte produceren dan een verwarmingsketel.

Het conditioneren is zelden ingezet om een lagere etmaaltemperatuur ten opzichte van de open kas te realiseren. Wel kan overdag door een kleinere raamstand een hogere luchtvochtigheid worden aangehouden. Hoewel twee bedrijven beschikken over een vernevelingsinstallatie, is deze slechts weinig uren gebruikt. Onder in de kas, waar de koeling of ontvochtiging plaatsvindt, is de absolute luchtvochtigheid aanzienlijk lager dan boven in de kas.

Voor de teeltbegeleiding is ook een teeltmodel ontwikkeld om wekelijks de assimilatenvraag van het gewas te voorspellen. Hiermee zou de kastemperatuur of de hoeveelheid blad kunnen worden afgestemd op de hoeveelheid licht en CO_2 in de kas. Hoewel het model bij sommige telers heeft geleid tot een beter inzicht in de groei van het tomatengewas, sluit het model te weinig aan op de dagelijkse praktijk om als bruikbaar tool te dienen.

Een energiemodel is gemaakt dat aangeeft welke warmtebron het meest rendabel kan worden ingezet bij verschillende prijzen van elektriciteit en aardgas. De afgelopen jaren is de warmte uit een warmtepomp vaak duurder geweest dan uit een WKK. Dit heeft het enthousiasme voor een geconditioneerde tomatenteelt flink getemperd. De COP van de warmtepompen liep uiteen van 3,5 tot 6. De bedrijfs-COP is ongeveer 1/3e lager door het elektriciteitsgebruik van ventilatoren en de bronpompen. Rekening houdend met een waarde van 4 €/GJ koude uit de warmtepomp, is het investeren in een geconditioneerde kas pas rendabel bij een gasprijs hoger dan 0,25 tot 0,30 €/m^3 en een niet al te hoge elektriciteitsprijs.

Een klimaatmodel heeft berekend dat bij een beperkte koelcapaciteit en een beperkte koelvoorraad, deze koelvoorraad het best kan worden ingezet op de momenten dat de kas hiermee ook daadwerkelijk vrijwel gesloten kan blijven. Als de ramen toch zover open moeten dat de CO_2-concentratie daalt tot ± 700 ppm, dan kan beter helemaal worden gestopt met koeling.

1 Inleiding

Koeling en verwarming met behulp van warmtepompen en opslag van warmte en koude in de aquifer wordt ook wel (semi)-gesloten of geconditioneerd telen genoemd. Aangezien in geconditioneerde kassen het gebruik van fossiele energie kan worden beperkt, heeft Wageningen UR Glastuinbouw met financiering van het programma Kas als Energiebron teeltbegeleiding en monitoring uitgevoerd bij verschillende conditionerende bedrijven. In dit kader zijn vier rapporten verschenen:
1 CO_2-opname in een gesloten kas,
2 Conditionering bij biologische vruchtgroenten,
3 Teeltbegeleiding semi-gesloten Phalaenopsis,
4 Teeltbegeleiding gecondtioneerde tomaat.

Dit rapport is de vierde uit de serie, waarin een verslag wordt gedaan over de bevindingen bij vier conditionerende tomatenbedrijven. Hierin wordt ingegaan op zowel het energieverbruik, het kasklimaat als de plantenfysiologie.

1.1 Probleemstelling

Voor het bereiken van een hoge productie met een laag energieverbruik in een semi-gesloten kas zijn veel beslissingen nodig die onderling invloed op elkaar hebben. Met behulp van handvatten kunnen deze beslissingen worden ondersteund. Een belangrijk handvat is het uitvoeren, analyseren en communiceren van metingen in de kas in relatie tot de gewasproductie. Door de klimaat-, gewasgroei- en productiemetingen te vergelijken met modelberekeningen kan voor telers een analyse worden gemaakt in welke mate de klimaatinstellingen moeten worden aangepast om tot een hogere productie bij een lager energieverbruik te komen.

Met de hiermee geworven kennis kunnen telers die van plan zijn om conditionering in hun kas te installeren een betere inschatting maken van de kansen en de risico's van deze investering. Telers die al overgegaan zijn op conditionering krijgen met de verworven kennis een handvat over de manier waarop zij met conditionering en een laag energieverbruik een hoge productie kunnen verkrijgen.

1.2 Doelstellingen

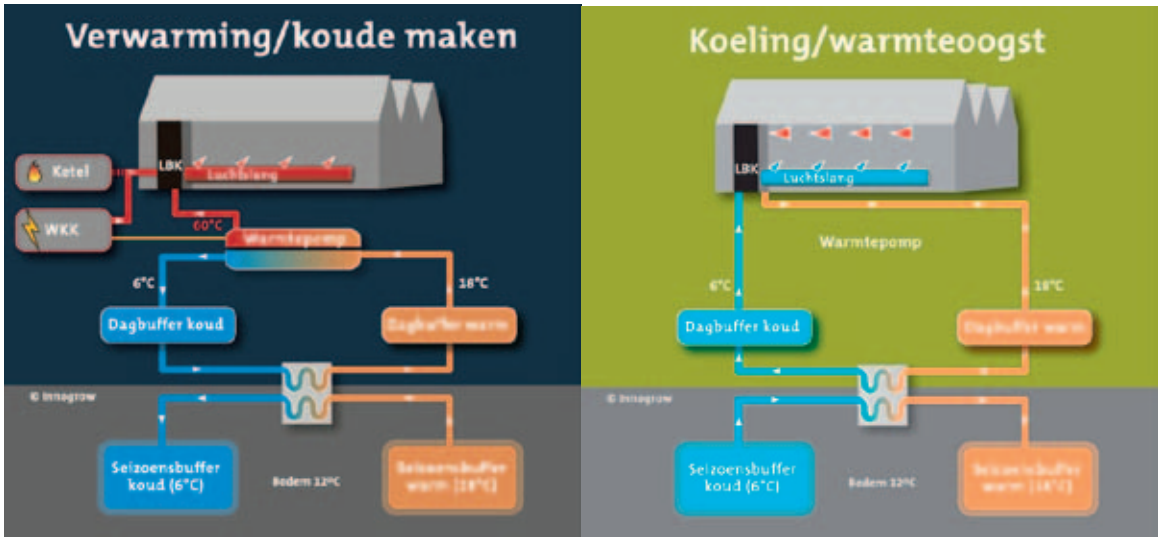
- Beter inzicht in de plantreacties onder semi-gesloten kascondities.
- Vuistregels op het gebied van teelt en energiemanagement om het rendement (productie en energieverbruik) van een semi-gesloten teelt te verbeteren
- Stimuleren van telers om over te gaan op een energiezuinige semi-gesloten teelt.

1.3 Aanpak

De bedrijven Prominent-Groeneweg II, Fa A&W Tas, Kwekerij de Grevelingen en Lans Zeeland, waar tomaten worden geteeld in conditionerende kassen, zijn gedurende twee jaar gemonitord en begeleid. De monitoring betreft het verzamelen en analyseren van klimaatgegevens die door de bedrijven zijn beschikbaar gesteld, aangevuld met extra meetgegevens van de temperatuur en luchtvochtigheid op verschillende hoogten van de kas. De begeleiding betreft het terugkoppelen van deze analyses tijdens bedrijfsbezoeken, waarbij teelt- en energiegegevens werden vergeleken met de analyses. Tevens zijn bijeenkomsten georganiseerd waarbij de vier deelnemende telers ervaringen hebben uitgewisseld.

1.3.1 Conditionering

Bij geconditioneerde glastuinbouwbedrijven kan de kaslucht worden gekoeld en eventueel ontvochtigd met behulp van luchtbehandelingskasten. Bij dit koelproces wordt met koelwater warmte onttrokken uit de kaslucht. Het tot ± 18°C opgewarmde koelwater wordt opgeslagen in een watervoerende zandlaag (aquifer) van enkele tientallen meters dikte en 50-120 meter onder het maaiveld (warme bron/seizoensbuffer). In de winterperiode wordt het relatief warme water weer opgepompt om een warmtepomp mee te voeden, die de kas via de luchtbehandelingskasten kan verwarmen. Het afgekoelde water (± 6°C) uit de warmtepomp wordt dan naar een koude bron in de aquifer geleid.



Figuur 1. Schematische weergave van een geconditioneerde kas (Bron: Innogrow)

1.3.2 Bedrijven

Het onderzoek vindt plaats bij de vier bedrijven die tussen 2005 en 2007 zijn gestart met een geconditioneerde kas. Alle bedrijven liggen in het westen van het land, waar het buitenklimaat gematigder is dan in het binnenland. De configuraties van de bedrijven wordt weergegeven in Tabel 1. De geconditioneerde kassen van bedrijf 1 en 2 zijn vrijwel gelijk, al heeft bedrijf 1 een groter gedeelte geconditioneerd. Hier wordt gebruik gemaakt van koeling met luchtslangen van onderaf, waarbij ook buitenlucht kan worden bijgemengd. In 2008 is deze bijmenging afgesloten vanwege te grote lekkage van de kleppen. Dit is in 2010 hersteld. Bij beide bedrijven bestaat de mogelijkheid om te belichten, maar de lampen zijn voor de teelt van 2010 respectievelijk 2009 (grotendeels) weggehaald omdat belichte teelten vroeger geplant worden en dus met een ouder gewas de zomer ingaan. Het gevoel van de telers was dat met een jong gewas ‘s zomers meer voordeel kan worden behaald uit de hoge CO_2-concentratie in de geconditioneerde kas. Bij Bedrijf 1 kan ook gebruik worden gemaakt van verneveling. Bedrijf 4 heeft de meest rigide vorm van conditionering omdat het nauwelijks luchtramen heeft. Buitenlucht wordt met ventilatoren en luchtslangen van onderaf ingeblazen en actieve koeling vindt plaats van bovenaf met LBK’s. Verder kan het kasdek (met antireflectieglas) worden gekoeld met deksproeiers. Bedrijf 3 maakt bij de koeling van onderaf geen gebruik van luchtslangen. Wel kan gebruik worden gemaakt van verneveling.

Tabel 1. Configuraties van de vier conditionerende tomatenbedrijven in 2008

	Bedrijf 1	Bedrijf 2	Bedrijf 3	Bedrijf 4
Koeling van boven				x
Luchtslangen	x	x		x
Buitenlucht blazen	(x)	(x)		x
Luchtramen	x	x	x	
Luchtbevochtiging	x		x	
Deksproeiers				x
Percentage geconditioneerde kas	37%	12%	43%	22%
El. vermogen WP (We/m^2)	8,1		9,1	3,6
Koelvermogen LBK (W/m^2)	330	350	100	180
Aantal LBK's (#/ha gk)	74	76	53	44+32
Verm. ventilatoren (m^3/m^2.uur)	75	80	24	32+48
Belichting (µmol/m^2.s)	(124)	(145)		155
ras 2008	Brioso	Savantas	Mecano	Lucino
ras 2009	Brioso	Dolores	Mecano	Timotion

1.3.3 Analyses

Gegevens uit de klimaatcomputer van de vier bedrijven zijn via LetsGrow.com verzameld, evenals de klimaatgegevens van zes meetpalen die bij drie telers zijn geplaatst. Verder stellen de telers gewasgegevens ter beschikking die zij zelf in meetvelden bij hebben gehouden. Ten slotte zijn tijdens bedrijfsbezoeken soms gewas- of watermonsters ter analyse meegenomen en zijn LAI-metingen uitgevoerd om een indruk te krijgen van het effect van conditionering op de gewasgroei.
In eerste instantie is bij de analyse van de verzamelde gegevens vooral gelet op het verloop van kastemperatuur, luchtvochtigheid, CO_2. Deze analyses zijn tijdens de bedrijfsbezoeken besproken. Voor eventuele problemen die tijdens de teelt zijn opgetreden is literatuuronderzoek gedaan en, indien beschikbaar, ook teruggekoppeld. Bovendien is voor de telers een rekenmodel gemaakt dat per week bepaalt hoe de assimilatenbalans zich ontwikkelt bij een bepaalde hoeveelheid zonlicht, CO_2 en temperatuur. De assimilatenbalans geeft aan of het gewas sterker of zwakker gaat worden.
Het energieverbruik is bij bedrijf 1, 3 en 4 verzameld en geanalyseerd. Deze zijn vergeleken met het energieverbruik van andere tomatenbedrijven.

1.3.4 Bedrijfsbezoeken

De bedrijven zijn met wisselende frequentie bezocht. De gesprekken vinden veelal plaats met alleen de teler of bedrijfsleider, maar soms is tijdens de bezoeken ook een collega of een adviseur aanwezig.
Indien de geanalyseerde gegevens afwijken van de gebruikelijke waarden wordt dit tijdens de bedrijfsbezoeken aan de teler/bedrijfsleider voorgelegd om de beweegredenen van deze afwijkingen te achterhalen.

1.3.5 Bijeenkomsten

De deelnemende tomatentelers zijn 8 maal bijeengekomen om ervaringen uit te wisselen. De meeste tijd wordt besteed aan actuele zaken. Om ook een strategische element in te brengen heeft iedere bijeenkomst een thema meegekregen, waarvoor ook een gastspreker is uitgenodigd. Voorbeelden van thema's zijn het sturen op de assimilatenbalans, het omgaan met vocht, de gevolgen van verticale temperatuurverschillen en het omgaan met rekenmodellen.
De onderwerpen die tijdens de bedrijfsbezoeken en bijeenkomsten het meest zijn genoemd zijn in dit rapport samengevat.

2 Teelt

2.1 Teeltdoelen

Alle vier de conditionerende tomatenbedrijven besteden veel aandacht aan de teelt. Het voornaamste teeltdoel is het in balans houden van het gewas. Over deze balans bestaan meerdere definities. De eerste is de balans tussen generatieve en vegetatieve groei. De tweede definitie is de balans tussen een zwakke of een sterke gewasstand. In dit rapport wordt de eerste definitie plantbalans genoemd en de tweede definitie assimilatenbalans.

Als een gewas generatief groeit dan investeert het meer in vruchten dan in bladeren. Uiteindelijk kan dit gewas zwak worden doordat de LAI en de lichtonderschepping te laag wordt. Indien het gewas vegetatief groeit dan investeert het meer in de bladeren en zal uiteindelijk sterk worden. Het is dan de kunst om het gewas niet te sterk vegetatief te laten worden, want dat dan zou de overbodige bladproductie ten koste gaan van de vruchtproductie. Overigens bestaat tussen telers onderling nog steeds discussie of een gewas generatief of vegetatief moet worden genoemd. Ook verschillen telers onderling in het beeld van een ideale gewasstand. De ene teler houdt van voldoende gewas (vegetatief) terwijl de ander liever een schraler (generatief) gewas heeft. Dit kan ook te maken hebben met het tomatenras dat geteeld wordt. Sommige rassen hebben de neiging om vegetatiever te groeien dan andere.

In Tabel 2. worden de symptomen weergegeven van een afwijkende plantbalans of assimilatenbalans. In Tabel 3. staan de maatregelen die moeten worden getroffen indien deze symptomen te veel voorkomen.

Tabel 2. Symptomen betreffende de assimilatenbalans en de plantbalans

		Plantbalans	
		generatief	vegetatief
Assimilatenbalans	zwak	Korte trossen Laag maximaal vruchtgewicht Laag maximaal bladgewicht	
		Hoge plantbelasting pH daalt (K-opname) Dunne kop Donkergrijs blad	Kort blad (<35 cm) Lage bloei (>15 cm) Dunne malse kop Steektrosje
	sterk	Dikke kop (>11 mm) Hoge bloei Gebogen jonge tros Krullend blad Paarsverkleuring in de kop Dubbele trossen	Dikke krulkop (>11 mm) Platte kop Stekerige lange tros Bladeren in de kop kort geschakeld Welige “vet”-groene kop Grote bloemen Groeivlekken Lichte plantkleur Lang zwaar blad pH stijgt (N-opname)

Tabel 3. Maatregelen bij onbalans

		Plantbalans	
		generatief	vegetatief
Assimilatenbalans	zwak	voorkomen stress Vlak laag etmaaltemp. Clippen ipv indraaien Koude kop	Verhoging CO_2 Lage voornacht
	sterk	Verlaging CO_2 Hoge etmaaltemperatuur Hoge worteltemperatuur (cytokinine)	Hoge etmaaltemperatuur Hoge temperatuur einde middag Hoge koptemperatuur Hoge EC (m.n. K) Beperkte watergift Weinig en grote druppelbeurten CO_2 > 1500 ppm Blaadje wegnemen Bladplukken Stimuleren verdamping

Als belangrijkste vuistregel voor het in stand houden van de plantbalans is dat je het gewas moet 'pesten' voor een generatieve groei en het 'in de watten' moet leggen voor vegetatieve groei. Opvallend hierbij is, dat een hoog CO_2 niveau door vrijwel alle telers wordt beschouwd als het pesten van het gewas. Dit is iets wat in onderzoeken nauwelijks naar voren is gekomen. Een hypothese om de generatieve werking van een hoog CO_2-niveau te verklaren is dat de extra assimilaten die zijn aangemaakt eerder worden aangewend voor grotere nieuwe trossen dan voor nieuwe bladeren.
Het stimuleren van de verdamping, een hoge EC, beperkte watergift en een hoge of wisselende temperatuur zijn eenvoudiger voor te stellen dan het pesten van het gewas. Hierbij kan de generatieve werking van een hoge temperatuur ter discussie worden gesteld. Waarschijnlijk maakt een hoge temperatuur het gewas vooral zwakker.
Temperatuurschokken worden veel gebruikt om het gewas generatiever te krijgen. Vooral een voornachtverlaging wordt in de praktijk toegepast. Een theoretische verklaring hiervoor is erg mager: de vruchttemperatuur zou nog een tijdje na-ijlen, zodat de vruchten een sterke concurrentiepositie om de beschikbare assimilaten hebben ten opzichte van de koelere plantendelen (groeipunt en bladeren). De vruchten worden dan groter, of rijpen sneller af en dat noemt men dan een generatieve actie. Onbekend is waarom deze actie invloed zou hebben op de generativiteit van de kop.
Bij een voornachtverlaging wordt de temperatuur bij zonsondergang snel verlaagd. Er is nog niet onderzocht of het veel uitmaakt op welke manier de voornacht wordt verlaagd. Zo kan het scherm open worden gehouden, de luchtramen geopend of actief gekoeld. Als er van onderaf wordt gekoeld zouden de vruchten overigens sneller afkoelen dan het groeipunt, dus dan zou koeling volgens bovenstaande theorie niet generatief werken. De ervaring bij enkele telers is echter dat het koelen van onderen het gewas generatiever maakt. Een mogelijke verklaring hiervoor is, dat koeling van onderen de afrijping vertraagd en daardoor de plantbelasting verhoogt. Een gewas met hoge plantbelasting wordt ook vaak gezien als een generatief.

2.2 Overige aandachtspunten

Naast het teeltdoel om het gewas in balans te houden kenden de vier conditionerende tomatentelers nog meer aandachtspunten. Bij een of meer bedrijven komen de volgende afwijkingen voor:

- bladrandjes
- gescheurde vruchten
- opkrullend “lepelig” blad
- chlorose
- Botrytis
- Witte vlieg

2.2.1 Bladrandjes

Bladrandjes kunnen ontstaan als de jonge blaadjes in de ochtend worden blootgesteld aan een plotselinge stijging van de verdamping. Zeker als deze jonge blaadjes weinig Calcium bevatten zijn de celwanden niet sterk zijn de cellen gevoeliger voor uitdroging of juist het kapotspringen van de celwand bij te hoge turgor. Naast een verkleining van het bladoppervlak is het optreden van bladrandjes vooral riskant omdat ze een invalspoort zijn voor Botrytis (zie paragraaf 2.2.5).
De belangrijkste maatregelen om bladrandjes te voorkomen zijn dan ook het stimuleren van het calciumtransport naar het jonge blad en het ’s ochtends voorbereiden van het gewas op een toenemende verdamping [van den Ouweland, 1999; Visser, 2006; Visser, 2007].
In een geconditioneerde teelt kan het calciumtransport naar de kop worden gehinderd als continu luchtbeweging tussen het gewas is. Zeker als in een geconditioneerde kas de luchtbeweging van onderaf wordt gestimuleerd door ventilatoren en de gesloten luchtramen voor minder luchtbeweging bovenin zorgen zullen de oudere bladeren meer gaan verdampen dan de kop van de plant [Stanghellini en Heuvelink, 2008]. Hierdoor zullen de oudere bladeren ook het meeste calcium naar zich toe trekken. Een methode om toch nog enige Calcium naar de kop te brengen is het regelmatig inlassen van een ‘dood moment’ in de avond. Als dan de ventilatoren 1 à 2 uur worden stilgezet kan Calcium door worteldruk naar de minder goed verdampende plantendelen zoals de jonge bladeren worden gepompt. Niet alle telers durven het aan om een ‘dood moment’ in de avond in te lassen in verband met het alsnog verhoogde risico van Botrytis.

Uit onderzoek [de Kreij, 1998] is gebleken dat het aantal bladrandjes minder groot is als de buisverwarming dichter bij de kop zit, als de luchtvochtigheid laag is, een hoge worteltemperatuur wordt aangehouden, een beperkte watergift en een hoge EC wordt gehanteerd. Aan de hand van ditzelfde onderzoek wordt geadviseerd om ’s ochtends niet te vroeg te beginnen met afluchten omdat de plant eerst de verdamping op gang moet brengen.

2.2.2 Gescheurde vruchten

Voor het scheuren van vruchten zijn diverse oorzaken te noemen (zie Bijlage II). De belangrijkste oorzaken zijn de raseigenschappen, kastemperatuur-schommelingen, de watergift en de zettingssnelheid. Conditionering kan tot iets meer scheuren leiden als een hoge luchtvochtigheid en een hoge kastemperatuur wordt aangehouden.

2.2.3 Krullend blad

Bij enkele telers trad in het voorjaar veel opkrullend (lepelig) blad op. Dit werd verweten aan de hoge luchtsnelheid langs de bladeren die de verdamping te veel zou stimuleren. Volgens onderzoeken heeft krullend blad echter te maken met het ophopen van zetmeel in de bladeren. Het krullende blad is dan ook waarschijnlijk veroorzaakt door een te lage kastemperatuur door koeling in het voorjaar. Ook in de zomer kwam opkrullend blad voor na zonnige perioden en met name tegen de rij die het meeste zon opving. Krullend blad betreft meestal de wat oudere bladeren, wat op zich vreemd is, omdat oudere bladeren minder licht opvangen.

2.2.4 Chlorose

Bij twee telers is plaatselijk chlorose opgetreden. Soms in het jonge blad en soms juist in het oude blad. Nadat bladmonsters zijn geanalyseerd bleek bij beiden de Magnesium-concentratie laag te zijn en was bij een ook de Fe-concentratie wat lager. Een oorzaak van deze lage concentratie is niet helemaal duidelijk, maar wordt gezocht in de vochtgehalten van de mat en de concentratie van spoor-elementen. Er is geen direct verband met conditionering gevonden. Opvallend is, dat de chlorose in de kop twee jaren achtereen is voorgekomen in de maand augustus en met name bij de stengels met een hoge plantbelasting. Met vruchtdunning of het wegnemen van een tros bij deze hoogbelaste stengels is het euvel verholpen.

2.2.5 Botrytis

Botrytissporen kiemen vooral op wondjes. Bij het optreden van bladrandjes (zie 2.2.1) zijn daar wondjes aanwezig waardoor makkelijk bladbotrytis ontstaat. In principe is bladbotrytis geen direct probleem, maar het zorgt wel voor een grotere infectiedruk. Hierdoor komen meer kiemsporen op stengelwonden die tijdens het bladsnijden zijn ontstaan. Botrytis kan via stengelwonden dieper in de stengel groeien en de hele stengel doen uitdrogen/afsterven. Het is dan ook van groot belang om Botrytis te voorkomen.
Verwarming en ventilatie zijn hiervoor de meest gebruikte maatregelen. Een geconditioneerde kas kan verder door luchtbeweging zorgen dat stengelwonden sneller opdrogen. Ook kan koeling van onderaf er voor zorgen dat wortels kouder worden en de worteldruk vermindert, waardoor minder vocht via de wonden naar buiten wordt geperst. Hier tegenover staat weer dat enige worteldruk nodig is om Calcium naar het groeipunt te sturen en hiermee bladrandjes te voorkomen. Aangezien Botrytis een aaneengesloten vochtige periode van 3-4 uur nodig heeft om te kiemen zou in principe kunnen worden geteeld in een vochtig kasklimaat, waarbij het gewas wel iedere drie uur wordt opgedroogd. Dit principe is waarschijnlijk energiezuiniger dan een continu droge teelt, en is beter uitvoerbaar in een kas met luchtbehandelingskasten dan met buisverwarming. Vanwege de grote risico's zou dit principe op kleine schaal moeten worden uitgetest voordat het op praktijkschaal wordt toegepast.

2.2.6 Wittevlieg

Bij twee bedrijven is kaswittevlieg (Trialeurodes vaporariorum) een moeilijk te bestrijden plaag geweest. Ook de chemische bestrijding kan negatieve invloed hebben op de gewasgroei. Conditionering zou, doordat de klimaatomstandigheden minder extreem zijn, een positieve invloed kunnen hebben op de biologische bestrijding van wittevlieg. Deze invloed is echter niet aangetoond.



Figuur 2. Vangstroken voor kaswittevlieg

2.3 Teelt en productie

Bij de vier bedrijven is het niet mogelijk om met harde cijfers de productieverbetering van geconditioneerde teelten ten opzichte van een standaard teelt te geven. Dit komt doordat de teelten niet alleen verschillen in de mate van conditioneren, maar ook in de raskeuze of het teeltplan. Zo verschillen bij alle bedrijven de rassen in de geconditioneerde kas en de standaard kas.
Over het algemeen bestaat de indruk dat de theoretisch haalbare productieverhogingen door meer CO_2 in de kas [Nederhoff, 1994] ook in de praktijk haalbaar zijn. Dat wil zeggen dat bij een verhoging van de CO_2-concentratie van bijvoorbeeld 400 naar 600 ppm 15% meer productie is te realiseren. Overigens zijn de verschillen in de CO_2-concentratie tussen de gecondtioneerde kassen en de standaard kassen vaak klein gebleven doordat ook in de geconditioneerde kassen veel is geventileerd en in de standaard kassen ook veel CO_2 is gedoseerd.
In Tabel 4. is het resultaat weergegeven voor de vier deelnemende bedrijven en een vijfde conditionerend bedrijf, wat de bijdrage over 2008 en 2009 is geweest van de gemeten CO_2-concentratie op de fotosynthese-capaciteit. Hierbij is gesteld dat een continue CO_2-concentratie van 1000 ppm een fotosynthese-capaciteit van 100% heeft en een concentratie van 500 ppm een capaciteit van 85%. In het algemeen geldt dat bij een willekeurige hoeveelheid globale straling (G) de invloed van de CO_2-concentratie (C) op de fotosynthese (P) wordt beschreven met de formule:
P = P1000 *(1,15-150/C) * G
Hierbij ligt C tussen 200 en 1000 ppm.

In Tabel 4. is de jaarlijkse fotosynthese-capaciteit (P) berekend met een (op zonnestraling gewogen) gemiddelde CO_2-concentratie ten opzichte van een kas met jaarrond 1000 ppm CO_2 in de kaslucht.

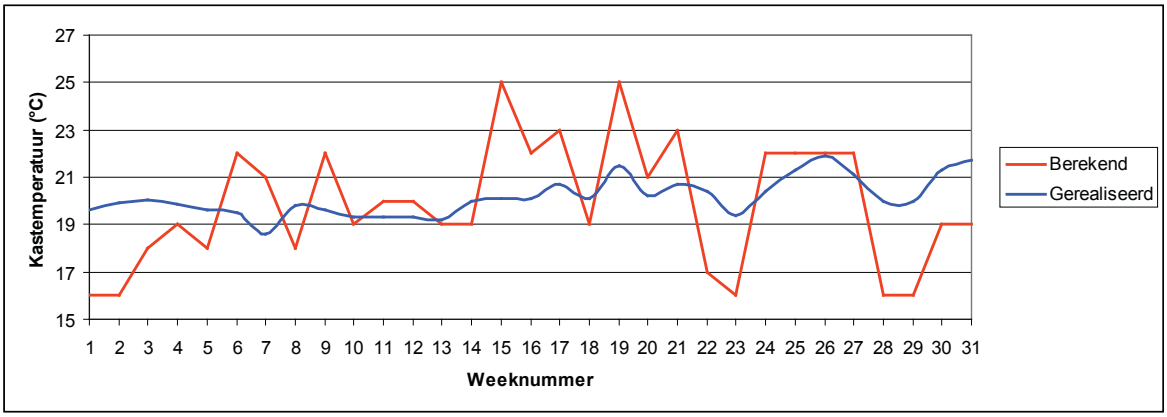
Tabel 4. Theoretische fotosynthesecapaciteit op basis van de CO_2-concentratie ten opzichte van een kas met 1000 ppm

	2009		2008	
	Gesloten	Open	Gesloten	Open
Bedrijf 1	94%	86%	88%	84%
Bedrijf 2	93%	79%	90%	80%
Bedrijf 3	89%	86%	89%	89%
Bedrijf 4	94%	91%	89%	86%
Bedrijf 5	91%	83%	90%	85%

Hoewel geen zuivere productievergelijkingen zijn te maken in verband met de verschillende plantdatums of tomatenrassen, komen de berekende resultaten uit Tabel 4. redelijk overeen met de gerealiseerde productieresultaten. Deze varieerden van een meerproductie van 2 tot 10% ten opzichte van vergelijkbare teelten. Uitzonderingen zijn dat bij bedrijf 1 in 2008 en bedrijf 5 in 2009 een veel hogere, en bij bedrijf 2 in 2008 een flink lagere productie werd gerealiseerd ten opzichte van de open afdeling. Deze verschillen met de berekende waarden kunnen achteraf worden verklaard door een onregelmatige plantbalans en aantasting van kaswittevlieg in de minder goed producerende kassen.

2.3.1 Assimilatenbalans

Met een eenvoudig rekenmodel, gebaseerd op proefschriften uit de jaren '90 [Heuvelink, 1996], [de Koning, 1994] is voor verschillende kassen geschat hoe de assimilatenbalans beweegt over de weken heen. Hierbij is aan de hand van de hoeveelheid licht en CO_2 (fotosynthese) per week berekend welke temperatuur moet worden aangehouden om de aangemaakte assimilaten te gebruiken. In deze grafiek is geen rekening gehouden met de plantbelasting, de plantleeftijd en de hoeveelheid drogestof in de vruchten. De berekende temperatuurlijn (16-25°C) voor bedrijf 1 blijkt in Figuur 3. veel extremer te schommelen dan de gerealiseerde temperatuurlijn (18-22°C). In het voorjaar wordt een lage temperatuur van ± 16°C berekend omdat ondanks de assimilatiebelichting nog maar weinig assimilaten worden aangemaakt. Toch wordt gekozen voor een hogere temperatuur van ±20°C waardoor kleinere trossen, met vroegere productie worden gerealiseerd. Van week 5 tot 14 stijgt de hoeveelheid zonlicht en het aantal stengels. Omdat deze redelijk met elkaar in de pas lopen, blijven de berekende als de gerealiseerde temperatuur rond 19-20 °C schommelen. Na week 14 neem de hoeveelheid licht sterk toe, terwijl er geen extra stengels meer bijkomen. Hierdoor stijgt de berekende temperatuur tot soms 25°C. Dit wordt is voor de praktijk echter zeer ongebruikelijk, omdat dan andere factoren een rol kunnen spelen die niet in het model verwerkt zijn. Ook het advies om in de weken 23, 28 en 29 naar 16°C te zakken, is in de praktijk niet mogelijk omdat dit bij een hoge buitentemperatuur niet te realiseren is.



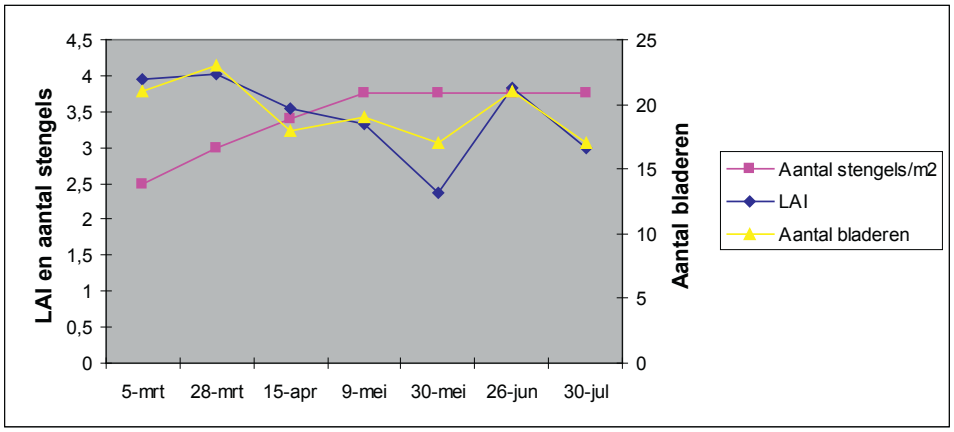
Figuur 3. Berekend advies op basis van licht en CO_2 en gerealiseerde temperatuur (°C) bij bedrijf 1 in 2008

Het rekenmodel is ook aan de deelnemende telers beschikbaar gesteld om mee te experimenteren. Het gaf de telers wel enig inzicht in de processen in de plant, maar de uitkomsten waren te onbetrouwbaar om mee te sturen. Verfijning van het model lijkt hier geen oplossing voor te zijn. Hiervoor zouden ook meer parameters nodig zijn die het model er niet gebruiksvriendelijker op zouden maken. De meeste telers reageren bovendien liever op de stand van het gewas (vooral de kop) dan dat zij vertrouwen in het anticiperen op een mogelijke toekomstige disbalans.

Veel theorieën die gebruikt zijn voor het opstellen van het rekenmodel zijn beschreven in Bijlage I.

2.3.2 LAI

Bij bedrijf 3 is in de gesloten kas het verloop van de LAI enige maanden van 2008 bijgehouden (zie Figuur 4.). Hierin blijkt dat de LAI zeer hoog is geweest in het voorjaar (±4), daarna wel enigszins is gedaald, schommelend rond een LAI van 3. Eenmalige metingen bij bedrijf 1 en 4 gaven aan dat de LAI daar voldoende hoog was (>3). In het verleden kwam het bij geconditioneerde teelten voor dat de bladeren te klein werden [Raaphorst, 2005], [Kaarsemaker en van Telgen, 2006]. Bij de bedrijven uit dit project valt dat mee. Blijkbaar hoeft conditionering niet altijd te leiden tot te klein blad.



Figuur 4. Verloop van de stengeldichtheid (#/m²), de gemeten LAI (-) en het aantal bladeren per stengel

Met een rekenmodel kan worden bepaald of het interessant is om jonge bladeren weg te nemen omdat deze bladeren meer assimilaten zouden opnemen om te groeien dan dat zij ooit zouden kunnen produceren voor de rest van de plant. Dit rekenmodel berekent aan de hand van de hoeveelheid licht en de temperatuur hoe groot de bladeren gaan worden en hoeveel bladeren er aan een stengel komen te hangen. Hiermee wordt de LAI voorspeld en de lichtonderschepping berekend. Van ieder extra blad kan dan het rendement worden bepaald. Het model berekent dat in het voorjaar vaak een jong blaadje mag worden weggenomen, terwijl in de zomer (veel licht, dus kleiner blad) bijna ieder blad van belang is. In de praktijk wordt het modeladvies slechts af en toe opgevolgd. Dit heeft bij sommige telers te maken dat vinden dat de bovenste bladeren een beschermende werking hebben op de jonge vruchten. Anderen hebben een voorkeur voor een gewas met veel blad, of nemen liever oudere bladeren weg zodat de bijna rijpe vruchten meer stralingswarmte ontvangen en sneller afrijpen.

2.3.3 Nutriëntenopname

Bij bedrijf 1 zijn in het voorjaar van 2008 gedurende twee maanden watermonsters genomen van het druppelwater en het drainwater in zowel de open kas als de gesloten kas. Aan de hand van deze monsters is bepaald of de nutriëntenopname in de open kas verschilde van die van de gesloten kas. Hierin zijn geen noemenswaardige verschillen gevonden.
Bij bedrijf 3 zijn de watermonsters van het hele jaar geanalyseerd. Hieruit bleek dat de opnameconcentratie van vrijwel alle elementen hoger was in de open kas ten opzichte van de gesloten kas. Een verklaring hiervoor is niet gevonden. Verwacht zou worden dat in een geconditioneerde kas minder verdampt en iedere liter opgenomen water daardoor meer nutriënten zouden moeten bevatten. Mogelijk speelt het verschil in ras ook een rol.
Verder is opvallend dat de gehanteerde concentratie van spoor-elementen bij bedrijf 3 veel hoger is dan bij bedrijf 1. Deze hoge concentratie is later naar beneden bijgesteld.

2.3.4 Uitgroeiduur

De uitgroeiduur van de vruchten wordt bepaald door de temperatuur van de vruchten. Vooral de temperatuur in de eerste week na de zetting en in de laatste week voor de oogst zijn bepalend voor de uitgroeiduur (zie Bijlage I, onderdeel assimilatenvraag/vruchten). Een langere uitgroeiduur geeft weliswaar grovere vruchten, maar wordt door de telers niet als positief ervaren omdat de plantbelasting te hoog zou blijven.
Luchtverwarming heeft in tegenstelling tot buisverwarming geen stralingswarmte. Stralingswarmte verwarmt de vruchten meer dan de bladeren. Door luchtverwarming zullen de vruchten dus minder snel opwarmen en de uitgroeiduur zal langer worden. Dit kan worden gecompenseerd door een hogere kastemperatuur aan te houden, maar dat gaat ten koste van het energieverbruik. Bovendien zal de assimilatenbalans worden verstoord door een hogere kastemperatuur. Dit kan worden beperkt door het aanhouden van minder stengels, zodat er voldoende licht kan worden opgevangen per gezette tomaat.

3 Kasklimaat en inzet conditionering

In het onderzoek is uitgebreid gemeten aan het kasklimaat. Enkele voorbeelden hiervan worden in dit hoofdstuk weergegeven. Verderop in dit hoofdstuk wordt de theorie van energie-efficiënt conditioneren behandeld. Deze theorie wordt met de telers besproken. Het energieverbruik per bedrijf wordt in hoofdstuk 4 behandeld.

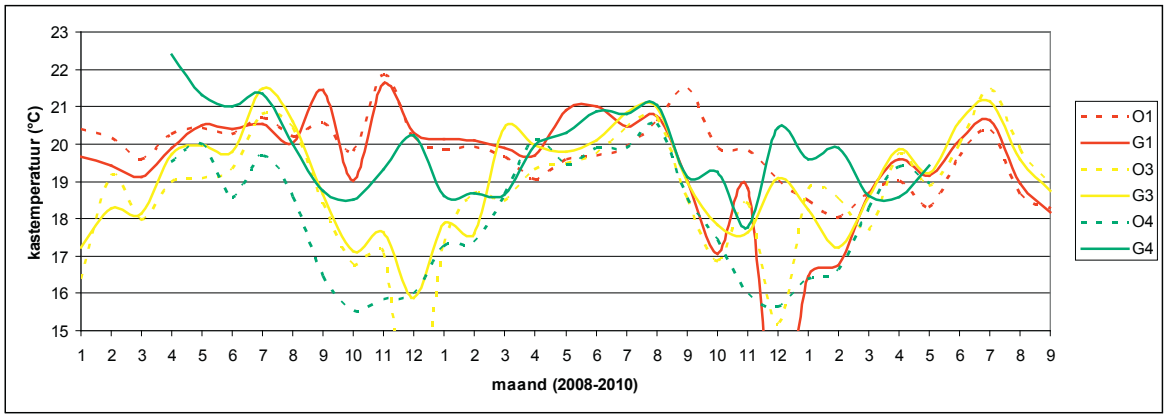
3.1 Kasklimaat

Kasconditionering beïnvloedt met name de temperatuur, de temperatuurverschillen, de luchtvochtigheid en de CO_2-concentratie.

3.1.1 Temperatuur

Er zijn grote verschillen aangehouden voor wat betreft de kastemperatuur op de verschillende bedrijven en ook tussen de standaard (O) en de gecondtioneerde (G) kassen. Figuur 5. laat deze verschillen zien bij de bedrijven 1, 3 en 4. De verschillen hebben meer te maken met het geteelde ras en teeltstrategie dan met de mate van conditionering. Zo blijken tijdens de zomerperiode de verschillen in vooral in de winterperiode voor te komen. Bij de belichte afdelingen (O1, G4 en deels G1) is met name in de winter een veel hogere temperatuur wordt aangehouden dan bij de onbelichte afdelingen. In de zomer is in de geconditioneerde kassen vaak een iets lagere etmaaltemperatuur aangehouden dan in de standaard open afdelingen.

In principe wordt bij meer CO_2 meer fotosynthese verwacht en kan bij een gelijke stengeldichtheid een hogere kastemperatuur worden aangehouden. Hierdoor zou in de geconditioneerde kassen ook een hogere temperatuur mogen worden aangehouden. Dit is niet gevonden, mede doordat in sommige geconditioneerde teelten de stengeldichtheid is aangepast aan de verwachte meerproductie.



Figuur 5. Gemiddelde etmaaltemperatuur per maand (°C) in open (onderbroken lijnen) en gesloten afdelingen (vloeiende lijnen) van drie bedrijven

3.1.2 Verticale temperatuurverschillen

In een standaard teelt wordt verwarmd van onderaf en gekoeld van bovenaf (luchtramen). Hierdoor is de temperatuur onderin (bij de grote vruchten) gemiddeld hoger dan bovenin. Koelen van onderaf draait deze verticale temperatuurverschillen om, zodat de vruchten kouder worden en de uitgroeiduur langer wordt. Hoe lager de temperatuur van de uitgeblazen lucht en hoe lager de het ventilatievoud, hoe groter de verticale temperatuurverschillen worden. Bij de geconditioneerde kassen waren de temperatuurverschillen tijdens het koelseizoen over het gehele etmaal 0,6 tot 1,0°C groter dan in de open kassen. Op momentane basis konden deze verschillen wel 2-4°C zijn (overdag), terwijl 's nachts de verticale temperatuurverschillen in de geconditioneerde kas en de open kas vrijwel gelijk lagen.
Naast het effect van de gemeten verticale temperatuurverschillen geeft verwarming met warme lucht nog een extra vertraging op de uitgroeiduur vanwege het gemis aan stralingswarmte. Door stralingswarmte kunnen de vruchten enkele tienden van graden warmer worden dan de kaslucht, terwijl bij convectiewarmte de vruchten vrijwel gelijk zijn aan de kastemperatuur.

3.1.3 Horizontale temperatuurverschillen

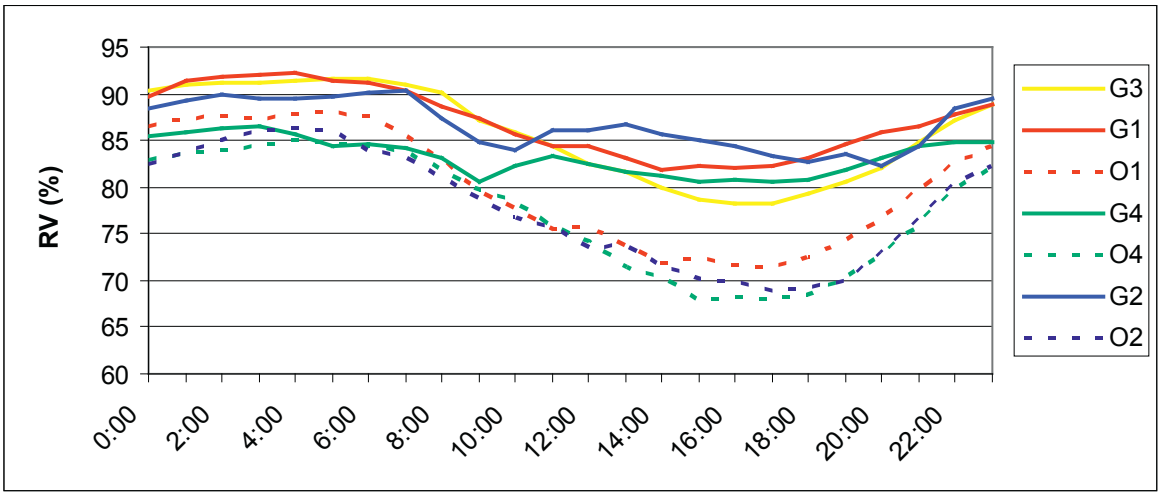
Het gebruik van luchtslangen voor verwarming of koeling kan leiden tot horizontale temperatuurverschillen [Gieling *et al.*, 2010]. Doordat de luchtslang niet is geïsoleerd warmt de lucht in de slang op (in geval van koeling) zodat achter in de slang meer luchtuitblaas nodig is voor dezelfde koelcapaciteit per meter slang. In geval van verwarming koelt de lucht in de slang juist af. Doordat het gaatjespatroon van de luchtslang is afgestemd op een bepaald luchtdebiet in de slang kan bij verandering van het luchtdebiet ook de warmte-afgifte afwijken.
Bovendien komt het voor dat bij verwarming met de luchtslangen de kaslucht vanaf het (midden)pad via het koude kasdek of scherm naar de luchtbehandelingskasten aan de gevel wordt gezogen. Deze lucht koelt onderweg af en kan hiermee het gewas langs de gevel afkoelen.
Bij bedrijf 3 (zonder luchtslangen) zijn geen metingen gedaan naar eventuele horizontale temperatuurverschillen. De teler zelf heeft er geen problemen mee gevonden.

3.1.4 Luchtvochtigheid

Doordat conditionerende kassen minder ventileren, blijft de luchtvochtigheid in de kas hoger. Dit is duidelijk te zien aan de gemiddelde luchtvochtigheid in de maand juli bij de verschillende bedrijven (zie Tabel 5. en Figuur 6.). In Tabel 5. is voor deze maand niet alleen de gemiddelde RV aangegeven, maar ook de minimum en maximum RV. Bij de percentielwaarden zijn de maximum en minimumwaarden weergegeven waarbij de hoogste en laagste 3% zijn uitgefilterd.
Alleen bij bedrijf 4 is in de open kas de maximum RV en het 97% percentiel hoger geweest dan in de gesloten kas. Deze hoge RV-waarden in de open kas zijn in de vroege morgen vlak voor het opstoken gerealiseerd. Over het algemeen is gedurende het hele etmaal de RV in de gesloten kassen hoger dan in de open kassen. Dit is ook bevorderd doordat in de geconditioneerde kassen vooral onderin is ontvochtigd, terwijl de RV bovenin bij de kop van de plant is gemeten (zie ook Figuur 7.).

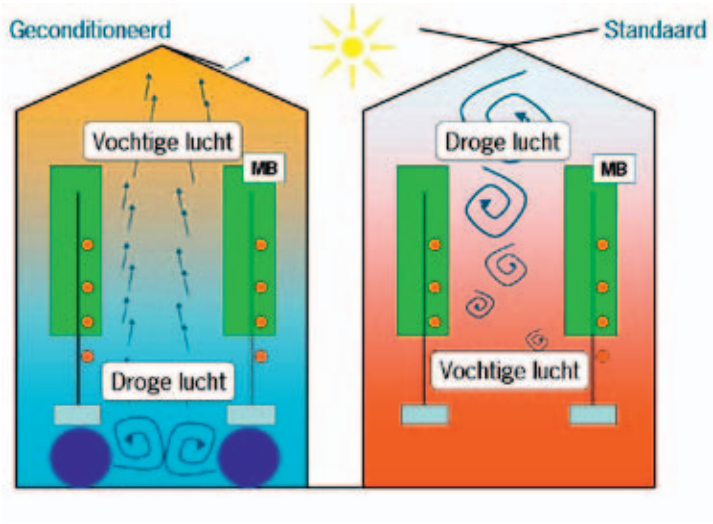
Tabel 5. - Relatieve luchtvochtigheid (%) in de maand juli 2008

	Bedrijf 1 gesloten	Bedrijf 1 open	Bedrijf 2 gesloten	Bedrijf 2 open	Bedrijf 3	Bedrijf 4 gesloten	Bedrijf 4 open
Maximum	96	93	96	93	97	91	93
percentiel 97%	94	91	94	90	95	89	91
Gemiddelde	87	80	87	78	86	83	77
percentiel 3%	76	62	75	58	71	75	58
Minimum	71	57	66	50	64	68	49



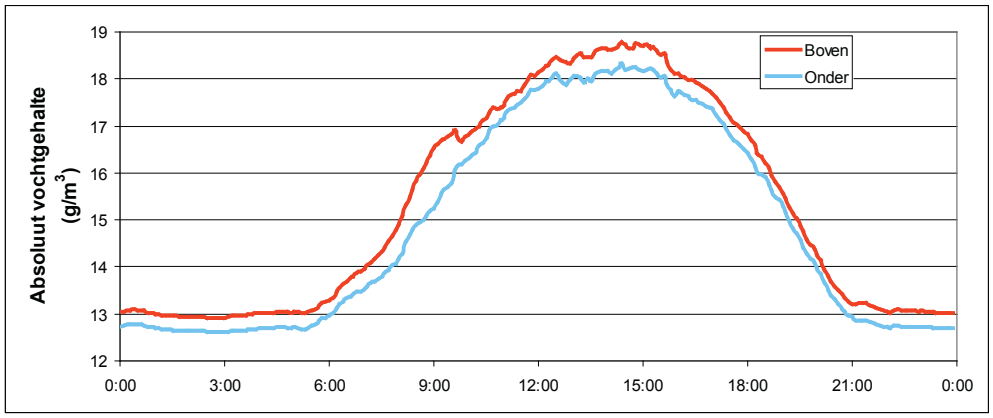
Figuur 6. Verdeling van de RV over het etmaal, gemiddeld in de maand juli van 2008

De verticale vochtgradiënt in de geconditioneerde kas van bedrijf 4 is geanalyseerd, waaruit bleek dat de absolute luchtvochtigheid niet homogeen is verdeeld in de kas, maar onderin bij de luchtslangen veel droger is dan onderin, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 7. In een standaard kas wordt bij open luchtramen de kaslucht beter gemengd dan in een gesloten geconditioneerde kas. In de geconditioneerde kas geven de luchtslangen onderin nog enige turbulentie, maar tussen het gewas gaat de lucht met een vrijwel laminaire stroming van enkele centimeters per seconde omhoog (30 m^3/m^2.uur betekent gemiddeld ± 1 cm/s). Deze laminaire stroming geef veel minder menging, zodat de lucht tijdens de opwaartse beweging vocht opneemt afkomstig van het gewas.



Figuur 7. Schematische weergave van verticale vochtgradiënt in geconditioneerde kas en standaard kas

Figuur 8. laat zien dat bij bedrijf 4 boven in de kas gedurende het etmaal 0,3 tot 0,5 meer vocht in de lucht zit dan onderin. Alleen tijdens het opstoken van het gewas en het opkomen van de zon in de ochtend ontstaat er een piek waarbij bovenin zo'n 1,3 g/m^3 meer vocht in de lucht zit. Met de opkomende zon stijgen de temperatuur en de verdamping en daarmee het vochtgehalte van de lucht. Doordat onderin koele en droge buitenlucht wordt ingeblazen, stijgt daar de luchtvochtigheid minder snel. Deze droge lucht gaat maar langzaam naar boven, zodat weinig mening optreedt. Pas na verloop van tijd als de ventilatoren van de koelers boven in de kas gaan draaien (± 9:30 uur), treedt er meer menging op. Bovendien ontvochtigen de koelers de lucht bovenin en daalt de absolute luchtvochtigheid daar tijdelijk. Overigens is deze schommeling niet te zien als alleen naar de relatieve luchtvochtigheid (RV) bovenin wordt gekeken, want die wordt het hele etmaal gemiddeld tussen 84 en 87% gehouden.



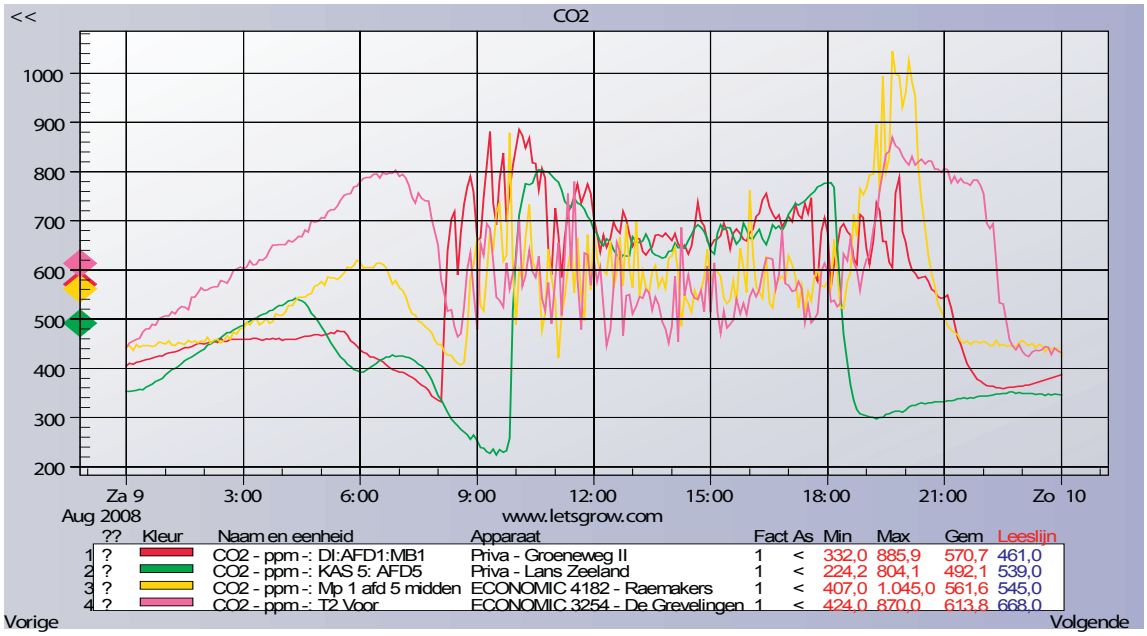
Figuur 8. Cyclisch gemiddelde verschil tussen het vochtgehalte boven en onder in de kas (g/m^3) in de zomerperiode (van 26-5-2009 tot 20-8-2009) bij bedrijf 4

3.1.5 CO_2

De inzet van CO_2 wordt door alle telers erkend als zeer waardevol voor de assimilatie. Wel bestaat er nog steeds discussie over het beste moment van toepassen. Zo zijn enkele telers er van overtuigd dat het gewas eerst om CO_2 moet vragen voordat het gedoseerd mag worden. Er wordt na zonsopkomst gewacht met doseren tot het moment dat CO_2-niveau daalt. Het nut hiervan is echter niet aangetoond in onderzoek naar de CO_2-opname in een gesloten kas [Raaphorst, 2010]. Daarnaast kan de CO_2 dosering afhankelijk zijn van het al of niet draaien van de WKK. Soms is een leveringscontract van elektriciteit afgesproken dat bijvoorbeeld van 8:00 uur tot 20:00 uur elektriciteit kan worden geleverd, zodat buiten deze uren de WKK en de hieraan gekoppelde CO_2-dosering moet worden uitgeschakeld. In Figuur 9. komen deze verschijnselen duidelijk naar voren. Alle lijnen duiken in de ochtend naar beneden en stijgen pas later als de CO_2-dosering start. Bij het bedrijf met de groene lijn kon pas met CO_2 doseren worden begonnen op het moment dat de WKK aanging.

Rekenvoorbeeld over de waarde van CO_2-dosering

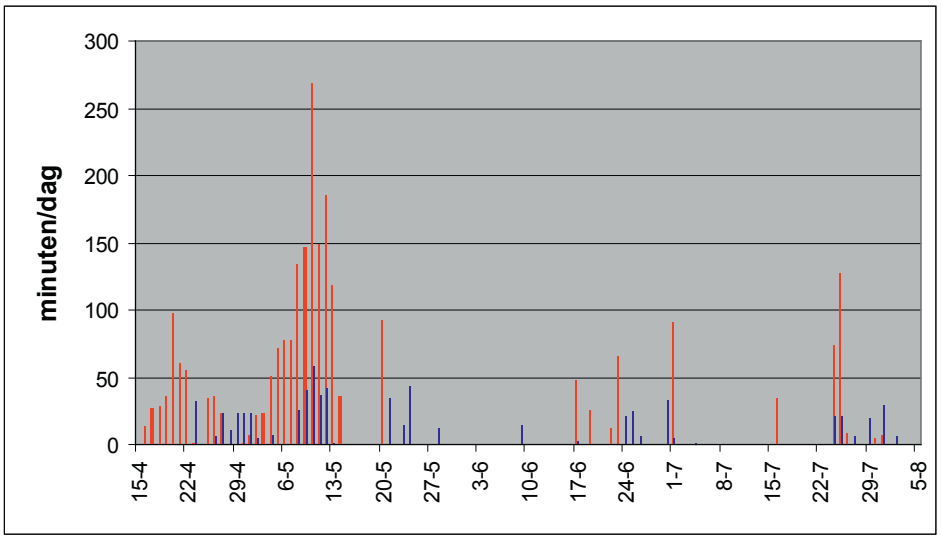
Stel dat het bedrijf met de groene lijn op de dag van Figuur 9., 2 uur eerder was begonnen met het draaien van de WKK of het doseren van 200 kg/ha.uur dan zou dit tussen 8:00 uur en 10:00 uur een CO_2 concentratie van meer dan 700 ppm hebben gegeven. Tijdens deze uren zou de fotosynthese minstens 30% hoger hebben gelegen. In deze periode was het gemiddelde PAR-niveau boven het gewas 395 µmol/m^2.s ofwel in 2,8 mol PAR in 2 uur. Stel dat voor ieder mol PAR max 0,07 mol CH_2O kan worden aangemaakt dan betekent dit 0.07*30=2,1 g CH_2O/m^2. Bij een conversiefactor van suiker naar drogestof van 0,7 betekent dit een drogestofaanmaak van 1,47 g/m^2. Dit staat voor een versgewicht van 24,5 gram tomaten. Het lagere CO_2-niveau in deze 2 uren heeft volgens deze berekening 30/130 * 24,5 = 5.6 g/m^2 tomaten gekost. Bij een verkoopprijs van 1,- €/kg is dit 56 €/ha. De waarde van het doseren met 200 kg/ha.uur CO_2 zou in dit geval 56/(2*200)= 0,14 €/kg CO_2 zijn geweest. Zelfs bij een lage elektriciteitsprijs zou het de moeite waard geweest om de WKK aan te schakelen of zuivere CO_2 te doseren.



Figuur 9. Vergelijking van CO_2-concentratie op een willekeurige dag bij vier conditionerende bedrijven

3.2 Toepassing verneveling

Verneveling kan alleen worden ingezet bij bedrijven 1 en 3. Bedrijf 3 heeft in 2008 meer verneveld dan bedrijf 1, zoals blijkt uit Figuur 10. Beide bedrijven hebben vooral in de maand mei verneveld.

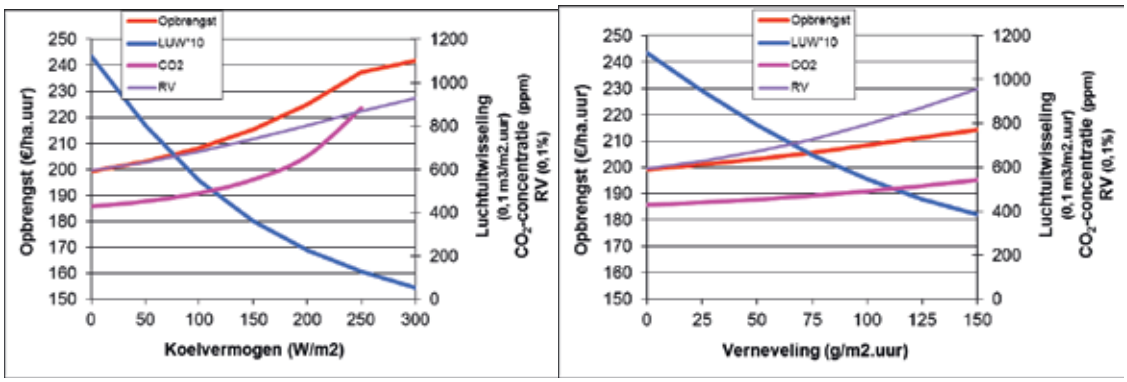


Figuur 10. Aantal minuten verneveling per dag bij bedrijf 1 (blauw) en bedrijf 3 (rood)

Een van de belangrijkste doelen van vernevelen is het voorkomen van droogtestress in het gewas, zodat de huidmondjes worden gesloten. De kracht van de zon, en daarmee de verdamping, worden in het voorjaar steeds groter. Zeker omdat in het voorjaar de buitentemperatuur nog relatief laag is, is er een groot verschil in absolute luchtvochtigheid tussen de kaslucht en de buitenlucht. Waterdamp in de kas verdwijnt snel via de luchtramen. Verneveling kan dan een mogelijk tekortschietende gewasverdamping aanvullen. Een bijkomend voordeel is dat door de koelende werking van de extra verdamping de raamstand kan worden beperkt zodat minder CO_2 verloren gaat [Raaphorst, 2008].

In de zomer is de absolute luchtvochtigheid buiten meestal hoger dan in het voorjaar. De luchtramen moeten dan verder worden geopend om dezelfde hoeveelheid waterdamp af te voeren, zodat minder kan worden verneveld. Bovendien neigt het gewas na de langste dag naar een meer vegetatieve stand. Omdat vernevelen vegetativiteit stimuleert (zie Tabel 3., er is immers minder stress), wordt verneveling in de zomer minder toegepast.
Een uitzondering hierop is een conditionerend bedrijf in Venlo, waar in de zomer wel veel wordt verneveld [Verkerke (red), 2008]. Daar is verneveling noodzakelijk vanwege de hogere buitentemperaturen en de beperkte capaciteit van ventilatie en koeling. Een generatief gewas heeft daar de inzet van verneveling mede gestimuleerd.

Een vergelijking van het effect van vernevelen ten opzichte van actieve koeling wordt weergegeven in Figuur 11. Hieruit blijkt dat de opbrengstverhoging door koeling veel sterker kan worden verhoogd dan door verneveling. In dit voorbeeld bij een instraling van 600 W/m^2 en een buitentemperatuur van 24°C kan de opbrengst bij 300 W/m^2 koeling worden verhoogd van 199 tot 241 €/m^2.jaar, ofwel een opbrengstverhoging van 21%. De RV is dan opgelopen tot 93%. De luchtramen zijn dan vrijwel dicht, dus meer koelvermogen is dan niet nodig.
Door 150 g/m^2.uur verneveling kan de opbrengst worden verhoogd van 199 tot 214 €/m^2.jaar, ofwel een opbrengstverhoging van 7,5%. De RV is dan opgelopen tot 96%. De luchtramen zijn nog steeds geopend (luchtuitwisseling is 40 m^3/m^2.uur) omdat het verdampte vocht moet worden afgevoerd. Nog meer verneveling is niet mogelijk omdat dit niet meer kan verdampen of kan worden afgevoerd bij deze hoeveelheid luchtuitwisseling.



Figuur 11. Vergelijking van het effect van koeling (linkerfiguur) met verneveling (rechterfiguur) op de productieopbrengst (rode lijn; €/ha.uur; linkeras). De opbrengst is uitgezet als functie van het koelvermogen (W/m²) of de verneveling (g/m².uur) voor tomaat bij een globale straling van 600 W/m², een buitentemperatuur van 24°C, CO_2-dosering van 150 kg/ha.uur, een tomatenprijs van 0,70 €/kg. De blauwe lijn staat voor de luchtuitwisseling via de luchtramen (0,1 m³/m².uur; rechteras). De roze lijn is de CO_2-concentratie in de kas (ppm; rechteras)

3.3 Inzet warmtepomp, WKK en ketel

Wanneer de warmtepomp of de warmtekrachtinstallatie (WKK) moet worden aangeschakeld, hangt van verschillende factoren af. De WKK wordt vaak aangeschakeld op basis van de sparkspread. De sparkspread is gedefinieerd als "opbrengsten elektriciteit – gaskosten + vermeden ketelstook".

Afweging inzet WKK of ketel

Een sparkspread hoger dan 0 €/MWhe betekent dat het economisch interessanter is om de WKK te laten draaien dan warmte met de ketel op te wekken. Kanttekening hierbij is dat de WKK meer onderhoudskosten vergt dan een ketel (± 7 €/MWhe). Ook geeft een WKK veel meer afschrijvingskosten, maar als de WKK eenmaal is aangeschaft hebben de afschrijvingskosten geen invloed meer op de operationele kosten. Verder geeft een WKK meer CO_2 per geleverde hoeveelheid warmte.

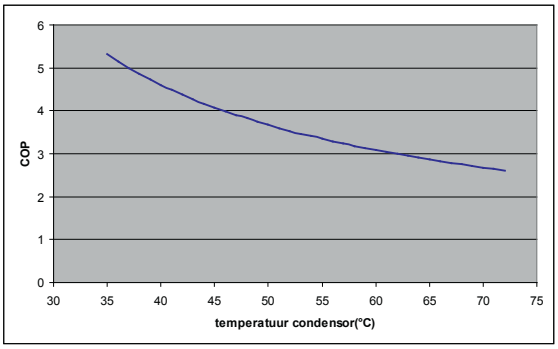
Afweging inzet warmtepomp of gasketel

Een warmtepomp levert warmte met een lagere temperatuur dan een ketel. Hoe lager de output-temperatuur van de warmtepomp, hoe hoger de coëfficiënt of performance (COP) is (zie Figuur 12.). Een warmtepomp met een carnotrendement van 50%[1] heeft bij temperaturen van verdamper en condensor van respectievelijk 6 en 45°C een COP van 4,1.

$$COP := 50\,\% \times \frac{45 + 273}{45 - 6} = 4.1$$

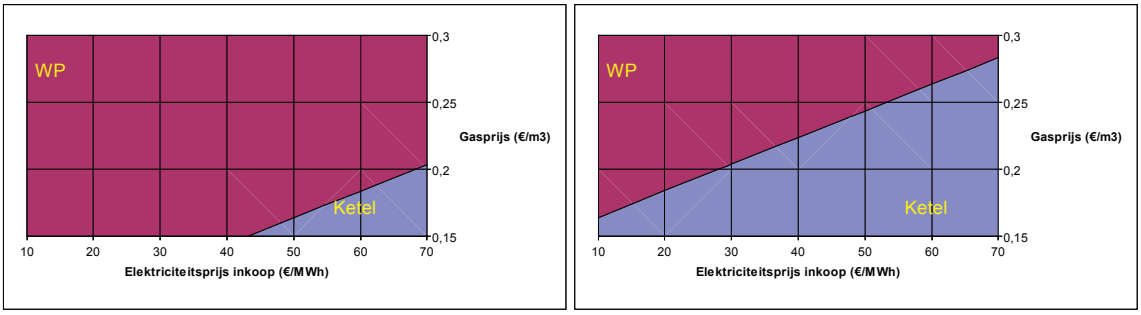
Bij de meeste tuinders ligt de gerealiseerde COP tussen 3,5 en 6. Dit verschil kan liggen aan de prestatie van de warmtepomp, maar vooral in de gewenste temperatuur van het warme water. Hoewel een groot deel van de tijd slechts een lage temperatuur nodig is om de kas met een luchtbehandelingskast te verwarmen, wordt toch vaak water van een hogere temperatuur geproduceerd om ook de warmtebuffer te kunnen vullen.

1 In de praktijk varieert het carnotrendement van 45% voor kleine gesloten warmtepompen tot 75% voor grote open warmtepompen [www.senternovem.nl].



Figuur 12. COP uitgezet tegen de condensortemperatuur bij een verdampertemperatuur van 6°C en een carnotrendement van 50%

Prijstechnisch is het gebruik van een warmtepomp met een COP van 4,1 interessanter dan een ketel indien de verhouding tussen elektriciteitsprijs en gasprijs lager is dan: 3,6*4,1/31,7 ≈ 0,47. Daarbij moet ook nog rekening worden gehouden dat een ketel CO_2 kan leveren en een warmtepomp koude. Voor tomaat vertegenwoordigt koude een waarde van ongeveer 4 €/GJ [de Zwart *et al.*, 2004], doordat met koude een hogere productie kan worden geleverd. De waarde van CO_2 is afhankelijk van het ventilatievoud en de hoeveelheid straling. De bovengrens wordt bepaald door de prijs waarmee het kan worden ingekocht (± 0,08 €/kg). In Figuur 13. is aangegeven bij welke verhouding tussen de elektriciteitsprijs (inkoop) en de gasprijs het voordeliger is om de warmte te laten leveren door een warmtepomp of een ketel, als er CO_2-vraag is en voor het geval er een koudetekort is (links) of niet (rechts). Als er geen CO_2-vraag is dan is de warmte uit de warmtepomp altijd voordeliger dan uit de ketel.



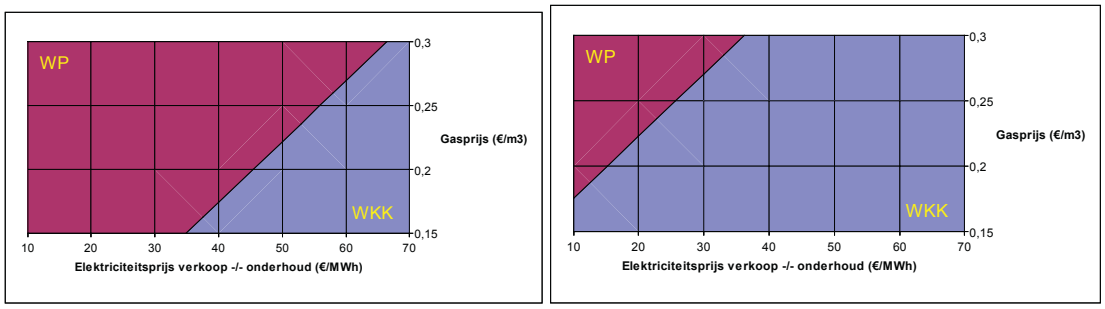
Figuur 13. Afweging tussen warmte uit de ketel of de warmtepomp (COP=4,1) bij verschillende gas- en elektriciteitsprijzen, uitgaande van een CO_2-waarde van 0,08 €/kg. Links heeft koude een waarde van 4 €/GJ, rechts 0 €/GJ

Afweging inzet warmtepomp of WKK

Vaak wordt de elektriciteitsprijs en het tijdstip van leveren van tevoren vastgelegd via de OTC-markt. Bij dit vastleggen wordt ook rekening gehouden met de mogelijkheid om de warmte en de CO_2 van de WKK nuttig te kunnen gebruiken. Belangrijkste overwegingen zijn:

- In de zomer is weinig warmtevraag en een hoge CO_2-vraag: de WKK zo veel mogelijk overdag laten draaien.
- In het weekend is de elektriciteitsprijs laag: later beginnen en eerder stoppen met draaien van de WKK overdag

In Figuur 14. is aangegeven bij welke verhouding tussen de elektriciteitsprijs (verkoop) en de gasprijs het voordeliger is om de warmte te laten leveren door een warmtepomp of een WKK, voor het geval dat er op jaarbasis een tekort aan koude is. De linkerfiguur is voor de momenten dat CO_2-dosering nodig is en de rechterfiguur voor als er geen CO_2 hoeft te worden gedoseerd. Als er geen behoefte is aan CO_2 noch aan koude, dan ligt de break-even lijn tussen de linker en rechterfiguur van Figuur 14. in. Als er geen behoefte aan koude is en wel aan CO_2 dan is de warmte uit de WKK vrijwel altijd voordeliger dan uit de warmtepomp.



Figuur 14. Afweging tussen warmte uit de WKK of de warmtepomp (COP=4,1) bij verschillende gas- en elektriciteitsprijzen, uitgaande van een koudewaarde van 4 €/GJ. Links heeft CO_2 een waarde van 0,08 €/kg, rechts 0 €/kg

Energie-technisch gezien zou een warmtepomp alleen mogen draaien als er warmtevraag is. Toch wordt de warmtepomp ook vaak in de zomer ingezet, waarbij de koude uit de warmtepomp wordt gebruikt als aanvulling op de koude bron, en de warmte via een overschotwisselaar wordt ingezet om de warme bron met een hogere temperatuur water te kunnen vullen. Per saldo verlaagt het gebruik van de warmtepomp in de zomer het energetisch rendement van het systeem, maar verhoogt het de koel- en verwarmingscapaciteit. In de zomer wordt de koelcapaciteit verhoogd omdat de warmtepomp aanvullende koude levert. In de winter wordt de verwarmingscapaciteit verhoogd omdat de warme bron warmer water levert.

De afweging voor aanschaf van een WKK of warmtepomp is anders dan de afweging voor het gebruik ervan. Bij de aanschaf wegen de investeringskosten namelijk zwaarder. Een ondersteuning voor de aanschaf van verschillende warmtebronnen is vermeld in Bijlage III. Daaruit blijkt dat de aanschaf van een warmtepomp pas rendabel is bij een aardgasprijs hoger dan 0,25-0,30 €/m^3.

3.4 Verwarming

Verwarming kan plaatsvinden via de buisverwarming of met de luchtbehandelingskasten. Veelal wordt de voorkeur gegeven aan het gebruik van de luchtbehandelingskasten omdat hiermee met een lagere watertemperatuur kan worden verwarmd en dit water verder kan worden uitgekoeld. Hoe lager de benodigde aanvoertemperatuur is en hoe lager de retourtemperatuur, hoe beter de COP van de warmtepomp is. Door tegelijkertijd met buizen als met LBK's te verwarmen kan met een nog lagere aanvoertemperatuur worden gewerkt, maar dit wordt door de meeste bedrijven niet gedaan omdat daar de LBK en de buizen met dezelfde aanvoerleiding werken en zodoende altijd met dezelfde aanvoertemperatuur moeten werken. Dit kan problemen geven omdat de LBK veel sneller reageert op een veranderende aanvoertemperatuur dan de buisverwarming.
Bovendien heeft men het gevoel dat een buistemperatuur lager dan 30°C meer kwaad doet dan goed. "De stralingswarmte stimuleert de verdamping, maar de lage buistemperatuur genereert te weinig convectie om de damp ook af te voeren".

3.5 Toepassing actieve koeling

Doordat op alle conditionerende bedrijven een WKK aanwezig is en bij drie bedrijven ook wordt belicht, is de warmtevraag beperkt en kan de warmtepomp onvoldoende koude produceren om het gehele jaar gesloten te blijven. De beperkte hoeveelheid beschikbare koude moet dan ook worden ingezet op die momenten dat koude het best tot zijn recht komt. Hieronder worden drie doelen onderscheiden: verlaging ventilatievoud (CO_2), verlaging temperatuur en ontvochtiging.

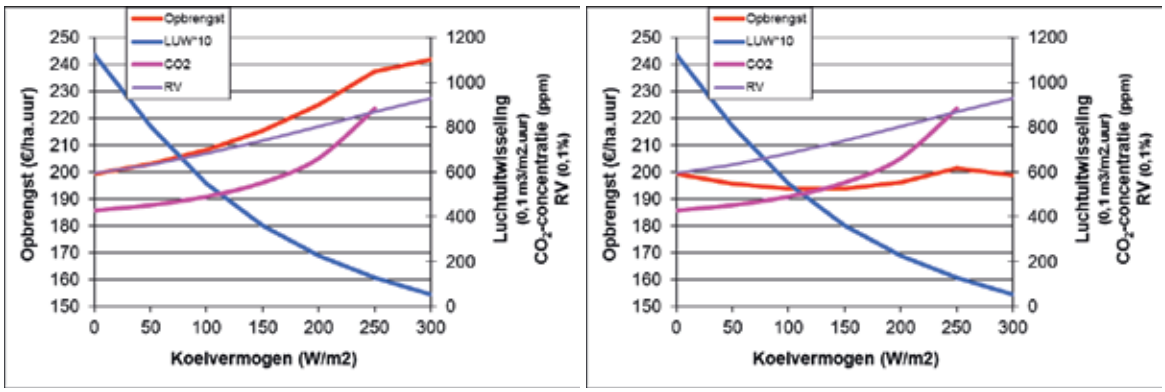
3.5.1 Verlaging ventilatievoud

Door te koelen hoeven de luchtramen niet ver te worden geopend om dezelfde kastemperatuur te hanteren. Dit heeft als belangrijkste doel om de CO_2-concentratie hoog te houden en heeft als bij-effect dat de luchtvochtigheid hoger wordt. In de praktijk is de afstemming tussen het gebruik van de luchtramen en de inzet van koeling nog niet voldoende geautomatiseerd om de koeling optimaal in te zetten.

Koeling is soms voordeliger en soms duurder dan het doseren van extra CO_2. Het voordeel van koelen is het grootst bij:

- *Een hoge enthalpie van de buitenlucht*. Bij een hoge buitentemperatuur en luchtvochtigheid is veel ventilatie nodig om warmte uit de kas af te voeren. Een eenheid koeling kan dan veel ventilatie en CO_2-verlies vermijden.
- *Veel zonlicht*. Hoe meer zon, hoe beter de hoge CO_2-concentratie wordt benut voor fotosynthese.
- *Een hoge te verwachten productprijs*. Hoe hoger de productprijs, hoe meer productieverhoging bijdraagt aan een vergoeding voor de koelkosten.
- *Een hoge prijs voor de inkoop van CO_2*. Als een WKK met rookgasreiniger draait en CO_2 beschikbaar stelt aan de geconditioneerde kas, dan heeft het geen zin om de ramen zo ver te sluiten dat de CO_2-concentratie hoger wordt dan 1000 ppm. Bij regelbare dosering van (zuivere) CO_2, of als de vermeden CO_2-dosering in andere afdelingen kan worden ingezet dan heeft het wel een voordeel als door koeling de ramen kunnen worden gesloten.
- *Gesloten ramen*. In een open kas wordt zonnewarmte afgevoerd via de luchtramen. Bij een veel instraling is ook veel luchtuitwisseling nodig. Om deze luchtuitwisseling te verkleinen is koeling nodig, maar bij onvoldoende koeling stijgt de CO_2-concentratie ook onvoldoende. Bij een verhoging van de koelcapaciteit daalt de luchtuitwisseling en stijgt de CO_2-concentratie sneller, wat de fotosynthese verhoogt.

De linkergrafiek in Figuur 15. is gelijk aan die van Figuur 11. De rode lijn staat wederom voor de teeltopbrengst in €/ha.uur. Hoe meer wordt gekoeld, hoe meer iedere W/m^2 koeling bijdraagt aan de kosten, tot het moment dat voldoende CO_2 in de kas aanwezig is. Meer koeling heeft dan geen toegevoegde waarde meer. In de rechtergrafiek zijn de koelkosten (gesteld op 4 €/GJ, wat wordt gezien als de waarde van koude voor de tomatenteelt) van de opbrengsten afgetrokken. Hieruit blijkt dat deze koelkosten pas worden terugverdiend als hiermee een voldoende hoge CO_2-concentratie kan worden gerealiseerd. Bij onvoldoende koelcapaciteit en een beperkte koelwatervoorraad kan voor de CO_2-verhoging tijdelijk beter helemaal niet worden gekoeld. Voor die gevallen is verneveling eventueel een optie om het ventilatievoud te beperken.



Figuur 15. Twee voorbeelden van de productieopbrengst (rode lijn; €/ha.uur; linkeras) als functie van de inzet van het koelvermogen (W/m^2) voor tomaat bij een globale straling van 600 W/m^2, een buitentemperatuur van 22°C, CO_2-dosering van 150 kg/ha.uur, een tomatenprijs van 0,70 €/kg. De blauwe lijn staat voor de luchtuitwisseling via de luchtramen (0,1 m^3/m^2.uur; rechteras). De roze lijn is de CO_2-concentratie in de kas (ppm; rechteras). In de rechterfiguur zijn 4 €/GJ koelkosten van de opbrengsten afgetrokken

3.5.2 Verlaging temperatuur

Een verlaging van de kastemperatuur wordt zelden toegepast bij de vier bedrijven. De gemiddelde kastemperatuur in de geconditioneerde kas ontloopt de kastemperatuur in de standaard kas nauwelijks. Dat is meestal ook niet nodig omdat de temperatuur moet zijn afgestemd op de hoeveelheid licht. Gemiddeld genomen zou in een geconditioneerde kas vanwege de hogere fotosynthese ook een hogere temperatuur mogen worden geaccepteerd. Bij (voor Nederlandse begrippen) extreem hoge buitentemperaturen kan het nodig zijn om de kastemperatuur laag te houden. Met name het koelen in de voornacht wordt vanwege het generatieve effect op het gewas (zie Tabel 3.) bij sommige conditionerende bedrijven toegepast.

Bij koeling condenseert veel vocht tegen de koudespiraal, maar er wordt vaak minder vocht onttrokken dan bij koeling met buitenlucht. Hierdoor kan de RV in een gekoelde kas toch hoog blijven. Dit wordt versterkt als de kastemperatuur door de koeling (plaatselijk) daalt, bijvoorbeeld daar waar de koele lucht wordt geblazen, zodat daar zelfs condensatie kan plaatsvinden. Dan moet gekozen worden tussen (een combinatie van) de volgende opties:

- de ramen openen om vocht af te voeren,
- een lagere koelwatertemperatuur gebruiken om nog meer vocht te laten condenseren,

warmte toevoeren om de luchttemperatuur weer te laten stijgen en de RV te laten dalen. Dit wordt ook wel actief ontvochtigen genoemd (zie 3.5.3).

Het afvoeren van vocht via de luchtramen is de voordeligste optie, maar als de buitentemperatuur hoger ligt dan de afgekoelde kastemperatuur kan vaak slechts weinig vocht afgevoerd worden. Het is zelfs mogelijk dat tijdens koeling door luchtuitwisseling via geopende luchtramen vocht van buiten wordt toegevoerd. In een semi-gesloten kas, waarbij actieve koeling en luchtramen samen de luchtvochtigheid beheersen, is het dus van belang dat de absolute vochtigheid (AV) van de buitenlucht wordt gemeten en vergeleken met de AV van de kaslucht.

3.5.3 Actief ontvochtigen

Koelen en herverwarmen (actief ontvochtigen) is een alternatief voor het afvoeren van vocht via de luchtramen. Het grootste voordeel van actieve ontvochtiging is de beheersbaarheid van de ontvochtiging. De telers is immers niet afhankelijk van de buitenomstandigheden (temperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid, windrichting). Bovendien kan bij de inzet van een warmtepomp de koude en de warmte tegelijkertijd worden gebruikt zonder dat warmte of koude moet worden opgeslagen. Voor actieve ontvochtiging is een dubbele spiraal nodig met een koudeblok voor de koeling en ontvochtiging en een warmteblok voor de herverwarming. Bedrijf 4 heeft in de LBK's een enkele spiraal die de droge koude buitenlucht, eventueel gemengd met kaslucht, kan verwarmen. Boven in de kas hangen LBK's met koudeblokken, die alleen worden gebruikt om te koelen.
Bij bedrijven 1, 2 en 3 wordt actieve ontvochtiging wel via de LBK's toegepast. Toch wordt ook bij deze bedrijven zeker in de zomer en 's nachts nog veel gebruik gemaakt van de luchtramen om te kunnen ontvochtigen. Dit wordt gedaan omdat dat voordeliger is dan actieve koeling.
In de loop van de tijd is uit onderzoek gebleken dat het aanzuigen van buitenlucht meestal efficiënter is dan actieve ontvochtiging [Campen, 2009]. Daarom hebben bedrijf 1 en 2 de afgesloten buitenluchtaanzuiging hersteld.

4 Energiegebruik

Het energiegebruik van conditionerende tomatenbedrijven is besproken in het rapport behorende bij het monitoringsproject geconditioneerde kassen [Gieling *et al.*, 2010]. In dit hoofdstuk worden enkele energie-onderdelen nogmaals beschreven.

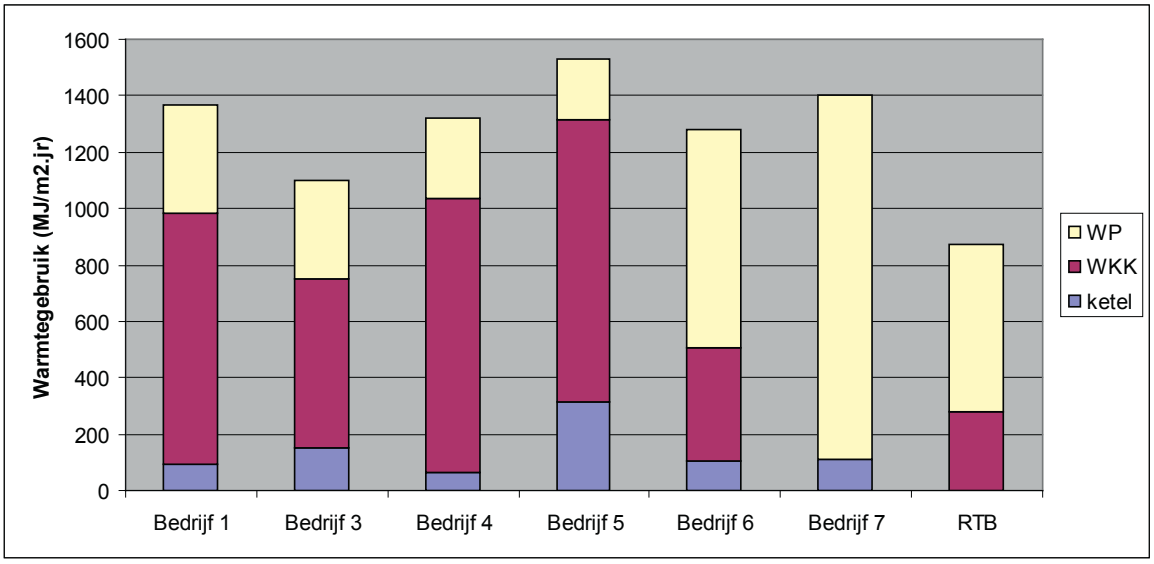
4.1 Warmtegebruik en bronnen

Conditionering heeft weinig invloed op het warmtegebruik. In Figuur 16. is het warmtegebruik weergegeven van zes conditionerende vruchtgroentebedrijven, waaronder bedrijven 1, 3 en 4, zoals beschreven in dit rapport. De gegevens van de andere bedrijven zijn betrokken uit ander onderzoek [Raaphorst, 2005], [Raaphorst, in uitvoering], [Verkerke (red), 2008]. Daarnaast is de doelstelling van richtinggevende toekomstbeelden (RTB) [Poot *et al.*, 2008] in Figuur 16. weergegeven.

Uit Figuur 16. blijkt dat de warmtepomp (WP) bij alle deelnemende bedrijven slechts een klein aandeel hebben in de warmtevoorziening. Daar komt bij dat bedrijven 1 en 3 inmiddels een extra WKK hebben aangeschaft omdat deze voordeliger warmte kan leveren dan een warmtepomp. De warmtepomp wordt daar nauwelijks meer gebruikt. Alleen bij bedrijven 6 en 7 komt de meeste warmte uit de warmtepomp.

Verder komt naar voren dat de belichte bedrijven 1, 4 en 5 gemiddeld meer warmtevraag hebben dan de onbelichte bedrijven 3, 6 en 7. Dit klinkt vreemd omdat de lampen ook warmte afgeven, maar kan deels verklaard worden doordat de belichte bedrijven tijdens de koudste periode een volop verdampend gewas hebben, waarbij meer moet worden ontvochtigd.

De doelstelling van richtinggevende toekomstbeelden (RTB) wordt door geen van de bedrijven gehaald. Hiervoor is meer isolatie nodig, zoals extra schermen. Bedrijf 3 komt het meest in de richting van het totale warmteverbruik, zeker nadat sinds 2009 gebruik wordt gemaakt van een extra anticondensfolie gedurende de wintermaanden. Verder is opvallend dat alle bedrijven gebruik maken van een ketel. Soms om de warmtepieken op te vangen en soms omdat tijdens daluren (in het weekend) het gebruik van een ketel voor de CO_2-voorziening voordeliger kan zijn dan een WKK.



Figuur 16. Warmtegebruik bij geconditioneerde bedrijven (MJ/m^2.jaar), uitgesplitst naar warmtebron

4.2 Koudegebruik

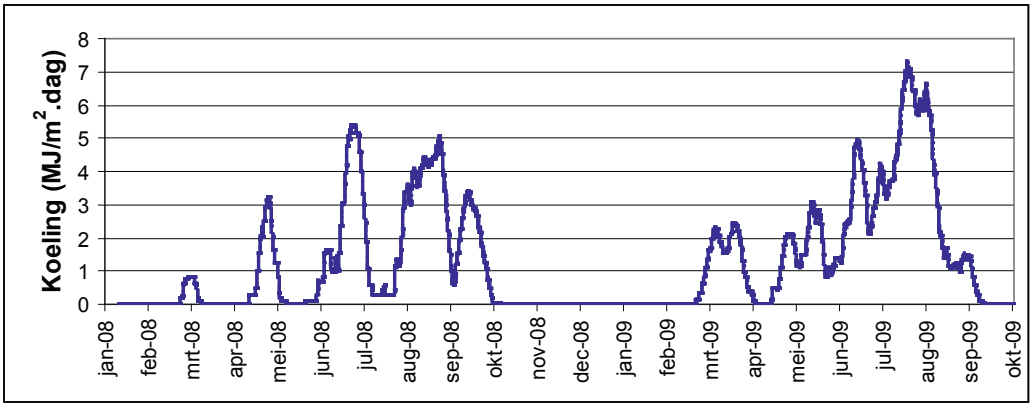
Het koudegebruik verschilt per bedrijf. De resultaten van bedrijf 1 in 2009 worden weergegeven in Tabel 6. Uit de Tabel blijkt dat 637 MJ/m^2 is gekoeld in de geconditioneerde kas. 230 MJ/m^2 hiervan is voor het actief ontvochtigen. Voor actieve ontvochtiging wordt tegelijkertijd gekoeld als verwarmd. 75% van de actieve ontvochtiging heeft overdag plaatsgevonden. Het koudegebruik is relatief laag vanwege problemen met enkele bronnen, waarbij te weinig koelwater kan worden opgepompt. Bovendien is door de relatief hoge elektriciteitsprijs het gebruik van de warmtepomp tot een minimum beperkt. In 2010 is de warmtepomp nog minder vaak ingezet, doordat een extra WKK is aangeschaft voor de warmtevoorziening.

Tabel 6. Gebruik van warmte en koude in gesloten kas van bedrijf 1 Van 3 dec. 2008 tot 3 dec. 2009

	Toepassing	Verbruik koude	Verbruik warmte	Condensatie	Overdag
	Uren	MJ/m^2	MJ/m^2	l/m^2	%
Alleen koelen	1000	407	0	140	100%
Alleen verwarmen	5362	0	1188	0	33%
Actief ontvochtigen	919	230	295	90	75%
Niets	1479	0	0	0	
Totaal	8760	637	1483	230	

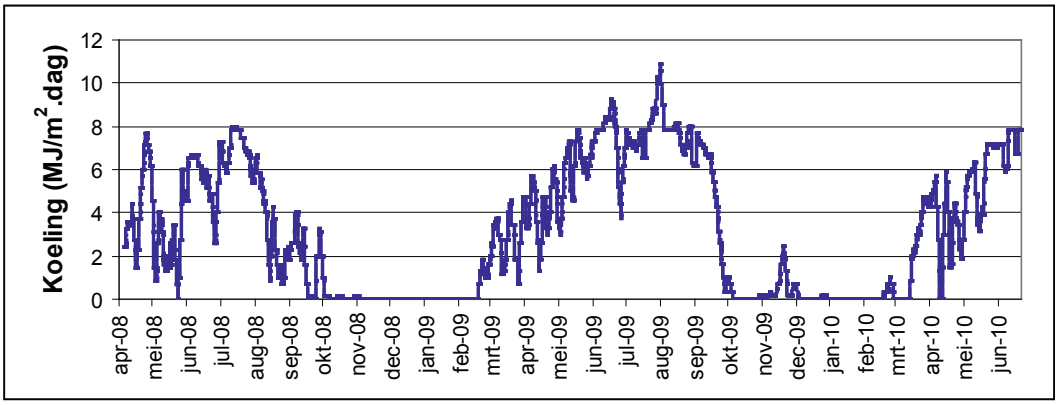
Bedrijf 2 heeft ±1500 uren gekoeld. De minimale uitblaastemperatuur is in de loop der tijd verhoogd van 14 naar 17 °C. Gemiddeld werd tijdens het koelen gestreefd naar een uitblaastemperatuur die 7°C lager lag dan de kastemperatuur.

Bedrijf 3 heeft in 2009 slechts ±1000 uren per jaar gekoeld omdat het weinig positieve gevolgen zag van koeling op het gewas. Tijdens het koelen werd de kaslucht in de LBK met gemiddeld 6°C afgekoeld. Geschat wordt dat hiermee 360 MJ koeling per m^2 gesloten kas is ingezet. Figuur 17. laat het verloop van de koeling zien in 2008 en 2009. Opvallend zijn de grote schommelingen. Deze zijn niet alleen veroorzaakt door het buitenklimaat, maar vooral door de stand van het gewas. Bij een zwak gewas werd minder gekoeld. De belangrijkste reden om te koelen is de warmte-oogst om de bronnen op te kunnen warmen.



Figuur 17. Verloop van de koeling (MJ/m^2.dag) bij bedrijf 3 in 2008 en 2009

Bij bedrijf 4 hebben de LBK's die boven het gewas hangen in 2009 1500 uur gekoeld. Met een koelvermogen van 180 W/m^2 betekent dit 972 MJ/m^2.jaar aan actieve koeling in de geconditioneerde kas. Het verloop van half 2008 tot half 2010 is weergegeven in Figuur 18.
De LBK's onder in het gewas hebben niet actief gekoeld. Daar wordt wel buitenlucht aangezogen en gemengd met kaslucht.



Figuur 18. Verloop van de koeling (MJ/m^2.dag) bij bedrijf 4 van april 2008 tot juni 2010

4.3 Elektriciteitsverbruik

Het elektriciteitsverbruik voor een standaard onbelicht tomatenbedrijf is 7 kWh/m^2 [Vermeulen, 2010]. Bij drie van de vier bedrijven wordt belicht. Een belicht tomatenbedrijf verbruikt 150-200 kWh/m^2 bovenop de genoemde 7 kWh/m^2. Hierbij vergeleken is het elektriciteitsverbruik van een warmtepomp relatief laag. Om 750 MJ koude met een warmtepomp (COP=4,1) te produceren is 750/3,6/(4,1-1)= 67 kWhe nodig.
Daar bovenop komt nog het elektriciteitsverbruik van met name de bronpompen en de ventilatoren. Over het algemeen vergen de bronpompen en de ventilatoren minder elektriciteit dan de warmtepomp. Bedrijf 3 heeft twee paar zeer zware bronpompen van ieder 125 kWe, terwijl bedrijf 1 vier kleinere bronpompen heeft van ieder 14 kWe. De capaciteiten van deze pompen betreffen 200 m^3/uur bij bedrijf 3 en 70 m^3/uur bij bedrijf 1. Het maximale elektriciteitsverbruik per eenheid verpompt bronwater is bij bedrijf 3 hiermee drie maal zo hoog als bij bedrijf 1. Hierbij dient wel te worden aangetekend dat bij een lager benodigd volume ook minder elektriciteit nodig is. Als op jaarbasis 1000 MJ/m^2 koelwater nodig is dan moet jaarlijks ongeveer 24 m^3/m^2 van en naar de koude bron worden verpompt. Dit kost 10 tot 30 kWh/m^2.

Het elektriciteitsverbruik van de ventilatoren verschilt per type ventilator. Grofweg kan deze worden berekend met de formule: $E = p*V/\eta$
Hierbij is E het elektrisch vermogen (W); η het rendement van de ventilator (%); p de opgebouwde druk (Pa) en V het debiet door de ventilator (m^3/s). Bij een ventilatorrendement van 50%, 150 Pa drukopbouw en een debiet van 1,33 m^3/s (=4800 m^3/uur =30 m^3/m^2.uur over 160 m^2) vraagt de ventilator 150*1,33/0,5 = 400 W, ofwel 2,5 W/m^2. Bij 6000 draaiuren betekent dit jaarlijks 15 kWh/m^2. Het werkelijke elektriciteitsverbruik bij de LBK's is niet gemeten en kan sterk oplopen bij een verhoogde interne weerstand van bijvoorbeeld de LBK's.

4.4 CO_2-emissie geconditioneerde kassen

Uit Figuur 16. is gebleken dat het warmtegebruik bij geconditioneerde kassen niet lager is dan bij conventionele kassen. Verlaging van de CO_2-emissie moet dan worden bereikt in de productie van warmte met een warmtepomp. Uit een voorbeeldberekening in Tabel 7. blijkt dat een door een WKK aangestuurde warmtepomp een besparing kan geven van (33-19)/33=43% ten opzichte van een verwarmingsketel. Dit betekent ook een forse besparing op de CO_2-emissie.

Tabel 7. Vergelijking warmteproductie geconditioneerde kas en open kas met ketel

	Geconditioneerde kas met WKK			Open kas
	WKK	Warmtepomp	Ventilatoren en pompen	Ketel
Warmteproductie	312 MJ	688 MJ		1000 MJ
Rendement	42% el./50% th.	COP 4,1		95% th.
Elektriciteit	70 kWh	-47 kWh	-23 kWh	
Gasverbruik	19 m^3			33 m^3

Vergelijking van de CO_2-emissie van een warmtepomp met een WKK is veel lastiger. Een warmtepomp vraagt elektriciteit en een WKK levert elektriciteit. Daardoor speelt de waarde van de CO_2-emissie van vermeden of ingekochte elektriciteit dus een grote rol. Deze waarde is aan discussie onderhevig (zie hoofdstuk 5).

5 Discussiepunten

Tomatenteelt

Tijdens de gesprekken met telers en adviseurs zijn een aantal vragen en discussiepunten naar voren gekomen die verschillen aantonen tussen de theorie en de praktijk van de tomatenteelt.

Veel factoren waarop tomatentelers hun klimaatinstellingen sturen (zie 2.1 en Bijlage I) zijn in de praktijk niet objectief meetbaar. Voorbeelden hiervan zijn de kleur en malsheid van het gewas.

Telers ervaren een generatievere groei van het gewas bij het doseren van CO_2, bij koeling van onderaf of bij voornachtverlaging (zie 2.1). Hier is nog geen fysiologische verklaring voor gevonden.

Omdat Botrytis enkele uren een hoge luchtvochtigheid nodig heeft om te ontkiemen, kan een hoge luchtvochtigheid gedurende kortere tijd mogen worden getolereerd (zie 2.2.5). Met een schommelende luchtvochtigheid is echter nog geen ervaring opgedaan.

Bij schommelingen in de lichtsom zou de temperatuursom hierbij moeten meeschommelen om de assimilatenbalans gelijk te houden (zie 2.3.1 en 3.1.1). Veel telers zijn niet overtuigd van het nut hiervan. Ten eerste betekent een schommelende temperatuursom ook een ongewenst schommelende productie. Ten tweede is de bandbreedte waarin gewerkt kan worden beperkt, omdat men huiverig is voor een etmaaltemperatuur van meer dan 21,5 °C en een zeer lage etmaaltemperatuur in de zomer niet realiseerbaar is.

Bij een vegetatief gewas (LAI groter dan 3) kunnen overtollige bladeren worden weggenomen (zie 2.3.2). Als onvolgroeide bladeren worden weggenomen komen er meer assimilaten beschikbaar voor de vruchten. Toch nemen telers soms liever een ouder blad (uit de buik) weg.

Er zijn grote verschillen in inzicht in het nut van vernevelen (zie 3.2). Sommige telers zien voordelen bij een minder droog klimaat, terwijl anderen het gewas niet 'lui' willen maken. Over het algemeen wordt verneveling het meest toegepast bij gewassen die te generatief dreigen te worden.

Inzet van koude

Bij beperkte inzet van de warmtepomp wordt koude schaars. Het is dan de vraag hoe de beperkte hoeveelheid koude het meest rendabel kan worden ingezet. In paragraaf 3.5 is aangegeven dat de verlaging van het ventilatievoud een reële productieverhoging kan geven door meer CO_2 en fotosynthese. Daarnaast kan in specifieke gevallen ook de luchtvochtigheid en de kastemperatuur worden verlaagd om Botrytis, respectievelijk een zwak/overbelast gewas te voorkomen. Het verlagen van de luchtvochtigheid met actieve ontvochtiging lijkt echter alleen interessant als er warmte moet worden geoogst. Bij schaarste aan warmte is ontvochtiging met buitenlucht rendabeler.

CO_2-emissie WKK of warmtepomp

Aan de warmtepomp wordt grote energiebesparing toegedicht. De combinatie van een warmtepomp en een WKK geeft inderdaad veel minder CO_2-emissie dan een verwarmingsketel (zie paragraaf 4.4). De vergelijking van de CO_2-emissie van een warmtepomp ten opzichte van een WKK is echter complexer. Dit hangt namelijk sterk af van de CO_2-emissie die wordt toegekend aan elektriciteit. Indien wordt uitgegaan systeemuitbreiding als allocatieprincipe [Blonk *et al.*, 2009] betekent 1 kWh elektriciteit een emissie-equivalent van 463 g CO_2. 1 m^3 aardgas, verbrand in een WKK, staat voor en 2173 g CO_2 emissie-equivalenten. Uitgaande van deze cijfers geeft de warmte uit een warmtepomp met een COP van 4,1 en 50% hulpenergie uit de ventilatoren en bronpompen, 34% meer emissie dan warmte uit een WKK. Een WKK draait echter op fossiele energie, terwijl een warmtepomp eenvoudig kan worden aangedreven met groene stroom. Dit maakt dat een warmtepomp een van de meest voor de hand liggende hulpmiddelen blijft om te komen tot een CO_2-neutrale kas.

6 Conclusies

Geconditioneerde kassen gebruiken niet aantoonbaar minder warmte dan open kassen. Wel kan de warmtepomp, die gebruikt wordt in geconditioneerde kassen, in combinatie met een WKK, ongeveer 43% efficiënter warmte produceren dan een verwarmingsketel.

Het gewas in een semi-gesloten kas verschilt minder van een open kas dan het gewas in een volledig gesloten kas. Zo zijn er bij de betreffende semi-gesloten kassen uit dit project minder grote veranderingen aangetroffen in LAI, nutriëntenopname en productie dan bij vroeger onderzoek bij de gesloten kas van Themato {Raaphorst, 2005 #156}. Dit heeft waarschijnlijk te maken met minder hoge CO_2-concentraties en een minder grote verticale temperatuurgradiënt.

De warmtepomp en de WKK beconcurreren elkaar bij de levering van warmte. De mate waarin de WKK of de warmtepomp moet worden ingezet om in de warmtevraag te voorzien, hangt af van de prijs van aardgas en elektriciteit en van de behoefte aan koude en CO_2. Op momenten met een lage elektriciteitsprijs, en als er voldoende CO_2-beschikbaar is, kan de warmtepomp beter worden ingezet. Dit wordt versterkt als de gasprijs hoog is en als er behoefte is aan meer koude (zie paragraaf 3.3). Voor de vier deelnemende telers is de WKK de afgelopen jaren de voordeligste warmtebron geweest.

Een warmtepomp vraagt bij een belichte semi-gesloten tomatenteelt minder elektriciteit dan de assimilatiebelichting. Bovenop de elektriciteitsvraag van de warmtepomp komt nog 30 tot 80% extra voor de bronpompen en de ventilatoren.

Met de CO_2-vuistregel is redelijk goed te voorspellen wat de invloed is van de CO_2-concentratie op de productie. De productieverbetering in de geconditioneerde afdelingen uit dit project lag op enkele uitzonderingen na tussen 2 tot 10%. Dit is voor het belangrijkste deel is te verklaren door de hogere CO_2-concentratie.

De waarde van koeling voor de tomatenteelt wordt geschat op 4 €/GJ. Deze schatting is gebaseerd op de gemiddelde inzet van koeling en de geschatte productieverhoging. Koeling is door de vier bedrijven uit dit project (alle in kustprovincies) nauwelijks ingezet om de etmaaltemperatuur te verlagen. De ingezette koeling heeft vooral geleid tot een kleinere raamstand en hiermee een hogere CO_2-concentratie.

De meeste telers hebben tijdens de teeltsturing meer vertrouwen in intuïtie naar aanleiding van de gewasobservaties dan in een rekenmodel dat de groei van de tomatenplanten voorspelt. Dit komt mede doordat het model niet onder alle omstandigheden kan garanderen de juiste beslissing te ondersteunen. Ook de grote hoeveelheid benodigde parameters kan hier debet aan zijn.

Aanbevelingen

Investeren in een geconditioneerde teelt kan bij tomaat pas economisch rendabel zijn als de te verwachten gasprijs hoger is dan 0,25 - 0,30 €/m^3. Hierbij dient de elektriciteitsprijs lager te zijn dan ± 50 €/MWh (zie Bijlage III). Een toename van warmtepompen in de tomatenteelt wordt met de huidige energieprijzen (gasprijs is 0,20-0,23 €/m^3) niet verwacht.

Koeling van onderen en verwarming met warme lucht geeft een langere uitgroeiduur en daarmee een hogere plantbelasting (zie 2.3.4 en bijlage 1). Indien deze langere uitgroeiduur ongewenst is, dan zou kunnen worden overwogen om een groeibuis aan te leggen of door een hogere kastemperatuur te accepteren in combinatie met minder stengels.

In een geconditioneerde kas kan een hogere RV worden gerealiseerd (zie 3.1.4). Door droge lucht onderin in te blazen verandert wel de verticale verdeling van vocht: onderin wordt het droger. Hierdoor is het van belang om ook onderin het gewas te weten wat er gebeurt. Bij een hoge absolute vochtgradiënt kan worden overwogen om de kaslucht meer te mengen door met ventilatoren te blazen.

Koeling kan zorgen voor een hogere CO_2-concentratie in de kas. Bij een beperkte beschikbaarheid van koelwater kan deze effectiever worden ingezet als daarmee de ramen kunnen worden gesloten dan als de ramen nog half open moeten blijven vanwege de te lage koelcapaciteit (zie paragraaf 3.5.1). Vuistregel is, dat als met koeling geen ±700 ppm CO_2 in de kas kan worden aangehouden, het koelwater effectiever op een ander moment kan worden ingezet.

7 Literatuur

Blonk, H., Kool, A., Luske, B., Ponsioen, T., en Scholten, J. (2009)
Berekening van broeikasgasemissie door de productie van tuinbouwproducten : verkenning en oplossingen van methodiekvragen ten behoeve van de ontwikkeling van het Nederlandse carbon footprint protocol voor tuinbouwproducten. Blonk Milieuadvies. Gouda.

Campen, J.B. (2009)
Dehumidification of greenhouses, s.n.], [S.l.

Gieling, T.G., Bruins, M.A., Campen, J.B., Janssen, H.J.J., Kempkes, F.L.K., Raaphorst, M.G.M., en Sapounas, A. (2010)
Monitoring technische systemen in semi-gesloten kassen. Rapport GTB;1008. Wageningen UR Glastuinbouw. Wageningen.

Heuvelink, E. (1996)
Tomato growth and yield : quantitative analysis and synthesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen.

Kaarsemaker, R., en van Telgen, H.-J. (2006)
Stuurmogelijkheid van bladoppervlak en nutriëntenopname tomaat in de gesloten kas met behulp van matverwarming, pp. 32, nr. 3241709200, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Business Unit Glastuinbouw, Naaldwijk.

de Koning, A.N.M. (1994)
Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitive approach, pp. 240, Wageningen Agricultural University, Wageningen.

de Kreij, K. (1998)
Tomaat : goede verdamping van kop voorkomt bladrandjes. Vakdeel glasgroenten : gespecialiseerd vakdeel bij Groenten + fruit 8, 23, p. 21.

Nederhoff, E.M. (1994)
Effects of CO_2 concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops., Wageningen.

van den Ouweland, J. (1999)
Bladrandjes voorkomen door juiste klimaatbeheersing: tomaat. Vakdeel glasgroenten: gespecialiseerd vakdeel bij Groenten + fruit, 9, p. 4-5.

van der Ploeg, A., van der Meer, M., en Heuvelink, E. (2007)
Breeding for a more energy efficient greenhouse tomato: Past and future perspectives. Euphytica 158, 1-2, p. 129-138.

Poot, E., de Zwart, F., Bakker, S., Bot, G., Dieleman, A., de Gelder, A., Marcelis, L., en Kuiper, D. (2008)
Richtinggevende beelden voor energiezuinig telen in semigesloten kassen. Nota / Wageningen UR Glastuinbouw;568. Wageningen UR Glastuinbouw. Bleiswijk.

Raaphorst, M. (2005)
Optimale teelt in de gesloten kas : teeltkundig verslag van de gesloten kas bij Themato in 2004. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Glastuinbouw. Naaldwijk.

Raaphorst, M. (2008)
Verneveling en waterbehoefte in de glastuinbouw : voorstudie op basis van energiebalansen. Wageningen UR, Glastuinbouw. Bleiswijk.

Raaphorst, M. (2010)
CO_2-opname in een gesloten kas, pp. 24, nr. 3242045700-1, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Raaphorst, M. (in uitvoering)
Conditionering bij biologische vruchtgroenten, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Stanghellini, C., en Heuvelink, E. (2008)
Sturing gewastemperatuur aan herziening toe. Groenten & fruit, 34, p. 18-19.

Verkerke (red), W. (2008)
Tomagazine: greenportkas - sunny tom, Suture, Venlo.

Vermeulen, P.C.M. (2010)
Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2010 (KWIN), nr. GBT -1037, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.
Visser, P. (2006)
Juiste inzet scherm voorkomt bladrandjes. Groenten + fruit : weekblad voor de voedingstuinbouw. Algemeen, 13, p. 18-19.
Visser, P. (2007)
Rustig luchten tegen 'randje'. Groenten + fruit : weekblad voor de voedingstuinbouw. Algemeen, 11, p. 19-19.
de Zwart, H.F., Mohammadkhani, V., en Breuer, J.J.G. (2004)
Energiezuinige koudeproductie systemen voor (semi) gesloten kassen, Agrotechnology & Food Sciences Group, Wageningen.

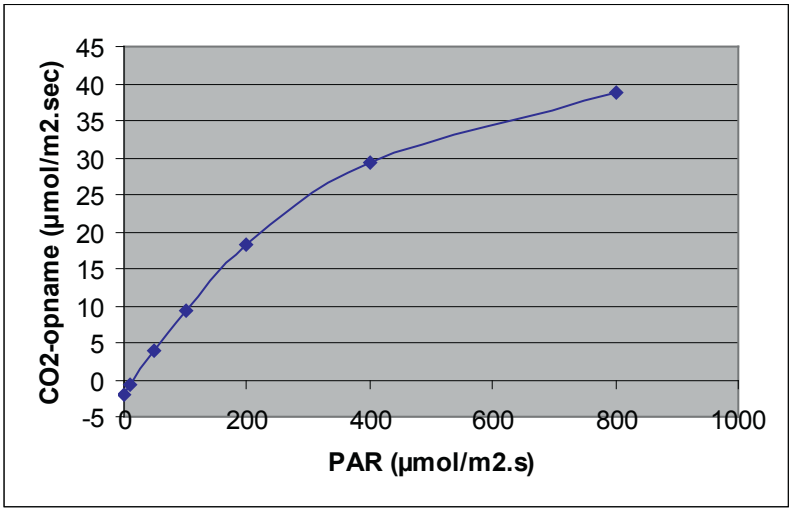
Bijlage I Theorie van de assimilatenbalans bij tomaat

Assimilatie

1. Licht

   Van de netto fotosynthese (aanmaak min donkerademhaling) in een blad wordt een voorbeeld weergegeven in figuur 1. De lijn is negatief als er geen licht is. Dit komt door de ademhaling in het donker. Vervolgens loopt de lijn bij een toenemende straling tot ca. 150 µmol/m^2 PAR vrijwel lineair omhoog: 1% extra licht geeft 1% meer bruto fotosynthese. In onderstaand voorbeeld buigt de fotosyntheselijn af naar beneden (800 µmol/m^2.s boven het gewas is ongeveer 540 W/m^2 buiten de kas). De belangrijkste oorzaken voor deze afbuiging zijn:

   a. tekort aan CO_2-aanvoer, hetzij door een lage concentratie in de kaslucht, hetzij door gesloten huidmondjes bij waterstress (zie luchtvochtigheid)
   b. ophoping van assimilaten in het blad doordat er meer wordt geproduceerd dan dat naar de rest van de plantendelen kan worden afgevoerd.
   c. Andere oorzaken?

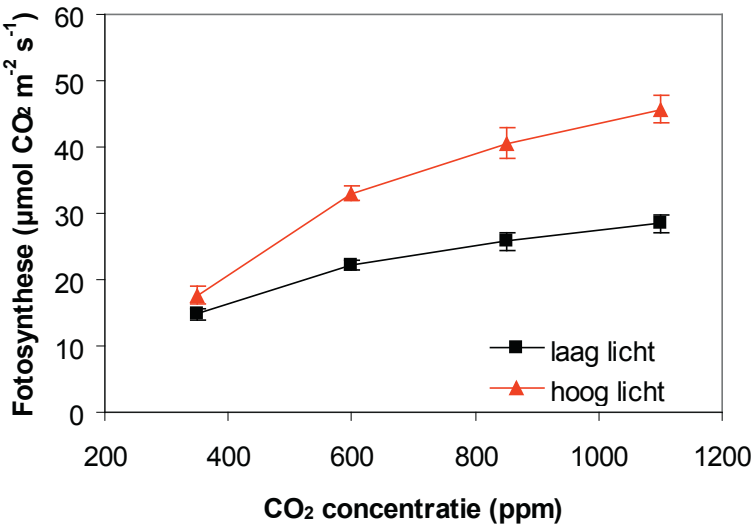


Figuur 19. Fotosynthese (CO_2-opname) in een blad als functie van de hoeveelheid licht (PAR)

In het gewas raken de bovenste bladeren het eerst verzadigd met licht. De onderste bladeren ontvangen minder licht en raken daardoor minder snel verzadigd. Daar tegenover staat wel dat bladeren die meerdere dagen in het donker hebben vertoefd zich hieraan aanpassen. Hierdoor gaan ze efficiënter om met lage lichtintensiteiten (minder onderhoudsademhaling), maar raken ook snel verzadigd. Een blad dat een lange donkere periode heeft gehad zal minder goed presteren wanneer het plotseling aan veel licht wordt blootgesteld.

2. CO_2

   CO_2 heeft een positieve invloed op de fotosynthese. Een verhoging van de CO_2 concentratie van 400 tot 600 ppm vergroot de fotosynthesesnelheid veel meer dan van 800 naar 1000 ppm. Dit geldt vooral als de hoeveelheid licht hoog is.



Figuur 20. Fotosynthese (CO_2-opname) als functie van de CO_2-concentratie bij twee lichtniveaus

3. LAI

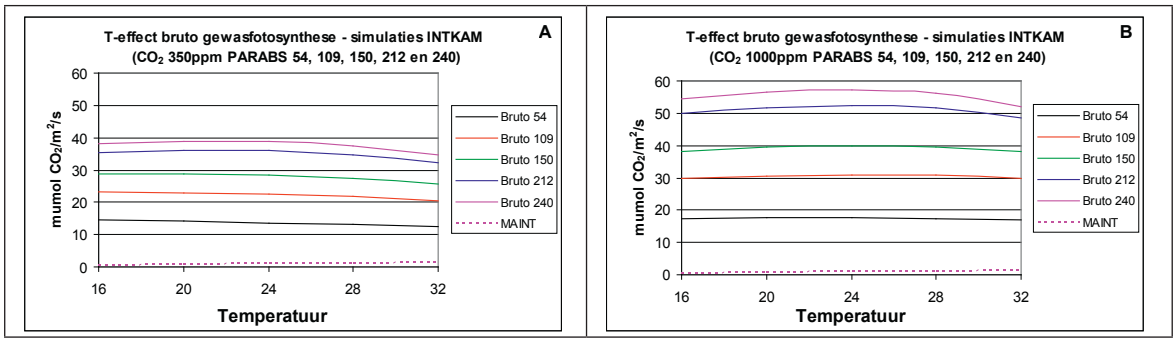
   De Leaf Area Index (aantal m^2 blad per m^2 kasgrond) wordt gebruikt om te kunnen schatten hoeveel licht door het gewas wordt opgevangen. Dit wordt weergegeven in de volgende Tabel.

LAI	lichtopvang
1	55%
1,5	70%
2	80%
2,5	86%
3	91%
3,5	94%
4	96%
4,5	97%

   De lichtopvang wordt naast de LAI ook bepaald door de grootte van de bladeren. Vele kleine bladeren boven elkaar zullen bij een gelijke LAI minder licht opvangen dan enkele grote bladeren. De ideale LAI (van 2,5 tot 3,5) is afhankelijk van de hoeveelheid licht. In de zomer zullen ook de onderste bladeren het vele licht nog nuttig kunnen gebruiken. In de winter kost het soms nog meer energie om een blad te vormen dan dat het aan licht opvangt en kan een lagere LAI worden aangehouden.

   Hoe de LAI kan worden beïnvloed, volgt onder het kopje assimilatenvraag\bladeren.

4. Temperatuur



Figuur 21. Bruto gewasfotosynthese bij 350 ppm CO_2 (A) en 1000 ppm CO_2 (B), bij verschillende lichtintensiteiten (54-240 µmol/m².s) als functie van de temperatuur (16-32°C)

De temperatuur heeft slechts een geringe invloed op de bruto gewasfotosynthese. Het optimum ligt tussen 18 en 26°C. Dit optimum schuift omhoog bij meer licht en meer CO_2. Discussie: Het 's ochtends opstoken heeft alleen zin om de plantmorfologie of de plantbalans te beïnvloeden, maar is zinloos voor het stimuleren van de fotosynthese.

5. Luchtvochtigheid

   Ook de invloed van de luchtvochtigheid op fotosynthese is gering. Bij een lagere luchtvochtigheid sluiten de huidmondjes weliswaar steeds meer, maar het is nog maar de vraag wanneer de huidmondjesstand beperkend is voor de CO_2-opname. Onderzoek naar de opname van CO_2 door een tomatengewas [Raaphorst, 2010] heeft aangetoond dat de huidmondjesweerstand bij een RV van meer dan 70% geen negatieve invloed heeft op de CO_2-opname en de fotosynthese. Zelfs niet bij een temperatuur van meer dan 30°C en een globale straling van meer dan 800 W/m².

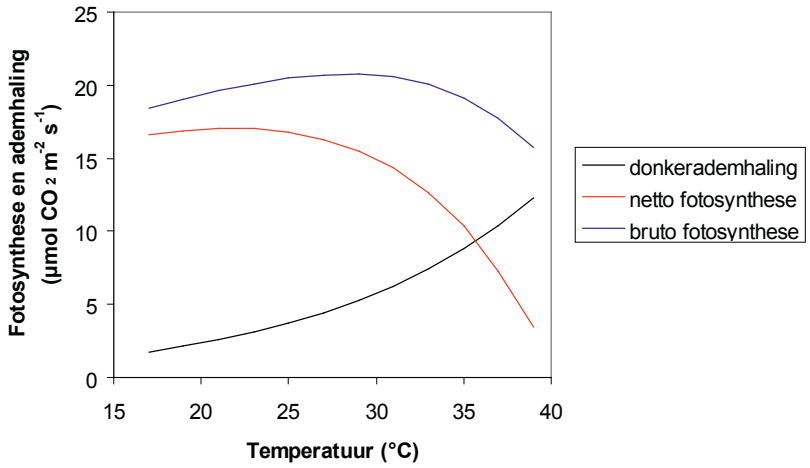
Bijlage II Assimilatenvraag

Verdeling vruchten en vegetatieve delen

Van het assimilatenaanbod gaat bij tomaat ongeveer 70% naar de vruchten en 30% naar de vegetatieve groei blad, stengel en wortels). Deze verhouding wordt o.a. beïnvloed door het aantal vruchten, het aantal zaden in de vruchten en het temperatuurverschil tussen vruchten en vegetatieve delen. Bij een te lage plantbelasting kan de verhouding tussen generatieve en vegetatieve groei zelfs 50-50 zijn. Dit geeft weliswaar een sterk gewas, maar een lagere productie.

Groeiademhaling en onderhoudsademhaling

De assimilatenvraag wordt bij een volgroeid gewas voor ongeveer 70% bepaald door groeiademhaling. Voor iedere gram drogestof is 1,4 gram suiker (CH2O) nodig. De overige 30% is voor onderhoudsademhaling. Hoe ouder het gewas (o.a. hoe meer stengel), hoe meer onderhoudsademhaling nodig is. De groeiademhaling en de onderhoudsademhaling stijgen exponentieel met de temperatuur, (donkerademhaling in Figuur 22.).



Figuur 22. Temperatuurresponscurves van de donkerademhaling, netto fotosynthesesnelheid en bruto fotosynthesesnelheid bij 500 µmol PAR m^2 s^1 en 580 ppm CO_2 berekend met een gewasgroeimodel (Bron: Dieleman et al., 2003)

1. Afsplitsing in groeipunt
   De afsplitsingssnelheid is afhankelijk van de temperatuur in het groeipunt. Bij een etmaaltemperatuur van 24°C splitsen 30% meer nieuwe trossen af dan bij een etmaaltemperatuur van 18°C.
   De afsplitsingssnelheid moet worden aangepast aan het assimilatenaanbod. De temperatuur kan echter niet ongebreideld worden verhoogd om de afsplitsingsnelheid te vergroten. Bij een etmaaltemperatuur van meer dan 25°C kunnen problemen met de stuifmeelkwaliteit ontstaan. Om toch het aantal nieuwe trossen per m^2 te vergroten moeten extra stengels worden aangehouden.

2. Stengel
   De stengelgroei wordt bepaald door temperatuur en DIF. Een hoge temperatuur en een hoge DIF geven meer lengtegroei. Een hoge etmaaltemperatuur geeft vooral een snellere afsplitsing en een hoge DIF vergroot alleen de internodiënlengte. De groeiademhaling van de stengel vraagt niet veel assimilaten (± 0,8 gram CH2O per dag) maar een stengel van 10 meter vraagt dagelijks wel 1,5 gram CH2O aan onderhoudsademhaling. Bij 4 stengels/m^2 van 10 meter lang betekent de onderhoudsademhaling in de stengel een productieverlaging in versgewicht van ±500 gram/m^2.week ten opzichte van een jong gewas.

3. Vruchten

   Voor het vormen van nieuwe trossen zijn nog niet veel assimilaten nodig. Toch heeft het aantal beschikbare assimilaten invloed op het aantal bloemen per tros en op de kwaliteit van het stuifmeel. Hoe meer bloemen, hoe meer vruchten per tros en hoe meer zaden, hoe groter de vruchten kunnen worden. De grootste assimilatenvraag begint pas na enkele weken na de trosafsplitsing. Dit kan er toe leiden dat een gewas met een assimilatenoverschot enkele weken later trossen met veel vruchten met veel zaden heeft, die daarom veel assimilaten vragen, waardoor de kop zwakker wordt. De assimilatenvraag van de vrucht wordt bepaald door het aantal zaden, de vruchtleeftijd en de temperatuur. In het begin van de uitgroeiduur vraagt een vrucht nog niet veel assimilaten. halverwege is de assimilatenvraag maximaal, terwijl de laatste twee weken het drogestofgewicht van de vruchten nauwelijks stijgt. Hierdoor wordt wel verondersteld dat de assimilatenvraag in de laatste weken niet groot is.

   Een tijdelijke temperatuursverhoging van de vrucht (ongeveer een week) stimuleert de vorming van een enzym dat meer effect heeft op de assimilatenvraag dan op de afrijping [van der Ploeg *et al.*, 2007]. Dit enzym breekt langzaam af en heeft dus een langdurig effect op de assimilatenvraag en de uiteindelijke grootte van de vrucht.

De uitgroeiduur van de vrucht is vooral gedurende de eerste en de laatste week afhankelijk van de temperatuur. Zo zal een tijdelijke temperatuursverhoging leiden tot het snel ontwikkelen van de jonge vruchten en het snel afrijpen van de oudere vruchten. Als daarna de temperatuur weer daalt dan zijn de oude vruchten oogstrijp/geplukt, terwijl de jongere vruchten veel assimilaten vragen en groter worden.

4. Bladeren

   Bladgroei

   Vegetatieve cultivars, of geënte planten krijgen grotere bladeren Ook een hoge worteltemperatuur zorgt voor grotere bladeren [Kaarsemaker en van Telgen, 2006]. Koeling van onderaf kan leiden tot koudere wortels, waardoor kleinere bladeren ontstaan.

De hoeveelheid drogestof die naar het blad gaat, wordt voor een belangrijk deel bepaald door de source-sink verhouding (sterkte) tijdens de afsplitsing van het blad. Discussie: In de literatuur is niet gevonden of de sink-sourceverhouding invloed heeft op het percentage van de assimilaten dat naar de trossen gaat.
De bladdikte is voor een groot deel afhankelijk van de hoeveelheid licht en CO_2 (assimilatie). Hoe meer licht en CO_2, hoe dikker het blad wordt.

Een beperkte hoeveelheid Calcium in het jonge blad kan de bladuitgroei beperken. Het groeipunt verdampt nauwelijks, dus Calcium moet vooral naar het groeipunt worden gebracht door worteldruk. Als de (oudere) bladeren veel verdampen, trekken deze al het water met Calcium naar zich toe zodat het groeipunt tekort komt.
Een remedie om te voorkomen dat de jonge bladeren calciumtekort krijgen, is het aanhouden van een “dood moment” in het etmaal. Tijdens een dood moment wordt de verdamping sterk verlaagd, zodat de worteldruk kan zorgen voor calcium-transport naar de plantendelen die nauwelijks verdampen (groeipunt en vruchten). Het begin van de avond is geschikt voor dit “dode moment”, omdat dan de wortels nog warm zijn en de worteldruk hoog. Om te voorkomen dat Botrytis optreedt mag het “dode moment” niet langer dan 2 à 3 uur duren en zal de avond na het bladplukken rekening moeten worden gehouden met het ‘bloeden’ van de wonden.

Bladplukken

Als de LAI groter is dan 3 dan is het nauwelijks zinvol om veel drogestof te investeren in nieuwe bladeren omdat extra blad nauwelijks extra licht opvangt. Een nieuw blad kost wel 2,5 tot 4 gram drogestof, wat bij een hoge LAI beter in de vruchten (ongeveer 60 gram versgewicht tomaten) had kunnen worden gestopt.

Zolang zij voldoende licht blijven ontvangen kunnen oude (max 8 weken oud) bladeren vrijwel net zo goed fotosynthetiseren als jonge bladeren. Als een LAI van 3 à 4 is bereikt dan kun je voor de assimilatenbalans beter een jong blaadje dan een oud blad weghalen. In het oude blad is al drogestof geïnvesteerd en die moet zo lang mogelijk worden gebruikt. Hier tegenover staan dat er wel andere argumenten zijn om oud blad te plukken, bijvoorbeeld dat hierdoor de onderste trossen beter zichtbaar zijn voor de oogst en dat deze warmer worden als deze meer straling van zon en buizen opvangen en sneller afrijpen.

5. Wortel

   De assimilatenvraag van de wortels betreft bij een volgroeid gewas ongeveer 3% van de totale assimilatenvraag. Een hoge worteltemperatuur verhoogt de assimilatenvraag licht.

Overwegingen voor klimaatinstellingen

Om de grootste mogelijke productie te halen is het van belang om zo veel mogelijk assimilaten aan te maken en van die assimilaten een zo groot mogelijk deel naar de vruchten te brengen. Voor de assimilatenaanmaak is het vooral van belang om voldoende licht en CO_2 in de kas te hebben. Voor de temperatuur en de luchtvochtigheid is voor wat betreft de assimilatenaanmaak vrij veel speelruimte (T 15-28°C, RV 55-95%). Deze speelruimte moet worden gebruikt om het gewas in balans te houden, respectievelijk gezond te houden.

1. Temperatuur
   Omdat een hoge temperatuur de assimilatenvraag stimuleert, kan het gewas enigszins in balans worden gehouden door de etmaaltemperatuur mee te laten lopen met de assimilatenaanmaak (stralingssom en CO_2-concentratie). Hierbij kun je bij sterk schommelende stralingssommen wel te maken krijgen met na-ijleffecten van een gestimuleerd enzymsysteem waarbij een tijdelijke temperatuurverhoging kan leiden tot een langdurig hogere assimilatenvraag in de vrucht. Dit na-ijlen is een mogelijke verklaring voor het generatieve effect van temperatuurschommelingen. Een verlaagde voornacht heeft daarnaast in theorie nog een ander effect: doordat de vruchttemperatuur na-ijlt op de kastemperatuur zal op het moment dat het gewas zeer veel assimilaten heeft (de avond) relatief meer assimilaten naar de warmere vruchten gaan. De vruchten zullen volgens deze groter worden, maar hier is nog geen wetenschappelijk bewijs voor gevonden.

2. RV
   De luchtvochtigheid heeft nauwelijks invloed op de assimilatenbalans, zolang er geen waterstress ontstaat en de huidmondjes open blijven. Wel heeft de luchtvochtigheid invloed op de gewasopbouw. Zo zullen bij een hoge RV iets minder wortels worden aangemaakt en vooral de bladeren meer gaan strekken. Dit laatste verklaart mogelijk de vegetatieve invloed van de RV. De invloed op de assimilatenbalans lijkt echter gering. Schimmels zijn een belangrijker reden om de bovengrens van de luchtvochtigheid te bewaken dan de assimilatenbalans.

Bijlage III Scheuren van vruchten

Door Krijn Buitelaar en Jan Janse (1996)

Soorten scheuren

- lengtescheuren
- kringscheuren
- sterscheuren
- zwelscheuren

Omstandigheden en factoren die van invloed zijn op scheuren

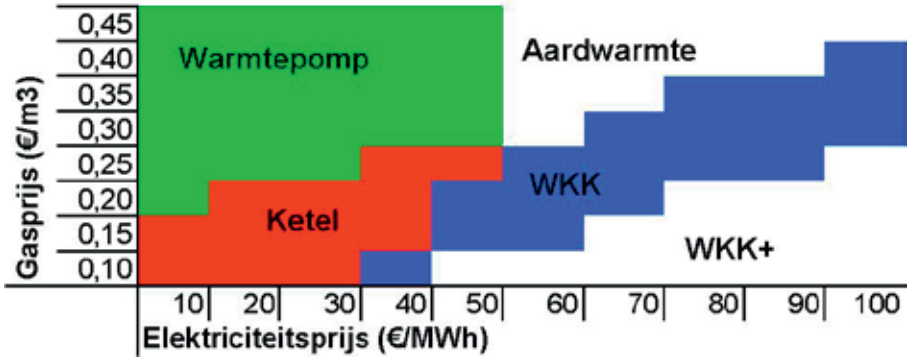
1. Onregelmatige watergift
   a. vooral bij plotselinge verandering van droog naar nat
   b. bij natter telen neemt de treksterkte van de vruchthuid af
   c. een zelfde aantal druppelbeurten maar minder water per beurt gaf meer scheuren
2. Hoog bemestingsniveau
   a. bij cherrytomaten steeg het % gescheurde vruchten naarmate de EC toenam
   b. bij hoger EC een hogere osmotische spanning en een afname in vruchtstevigheid
3. Roder oogsten
   a. toename scheurgevoeligheid
   b. toename in refractie en afname in vruchtstevigheid
4. Slechte vruchtzetting
5. Hoge lichtintensiteit en hoge temperatuur
   a. door hoge vruchttemperatuur neemt druk op vruchtschil toe en de breekkracht van de schil af
   b. hoge lichtintensiteit en hoge temperatuur geeft snelle vruchtgroei en hoge vruchttemperatuur geeft een mindere elasticiteit en treksterkte van de schil
6. Stevigheid van de vrucht
   a. weinig scheurgevoelige rassen hebben een hoge sterksterkte en/of een sterke elasticiteit van de vruchtschil
   b. een grote vruchtstevigheid is geen garantie voor weinig of geen scheuren
   c. de sterkste spanning op de schil rond de kroon en tussen twee hokken
   d. inkruisen van resistentie tegen verschillende soorten scheuren is moeilijk omdat het is gebaseerd op meer en andere genen.
7. Overmatige vruchtgroei
   a. bij meer vruchten per plant een mindere gevoeligheid voor scheuren door mogelijk concurrentie om assimilaten (lagere groeisnelheid) en minder suikers per vrucht
   b. in proeven met trossnoei meer scheuren
   c. in proeven in de herfst gaf toppen meer ringscheuren
8. Hoeveelheid blad
   a. beschaduwing van de vruchten door blad kan minder scheuren geven
   b. hoge blad/vruchtverhouding geeft hoger suikergehalte met meer kans op scheuren
   c. Sterke verschillen tussen dag en nachttemperatuur
   d. een groter temperatuurverschil zou meer gescheurde vruchten oproepen; bij snelle en sterke opwarming meer spanning op de vrucht, meer kans op scheuren
9. Hoge luchtvochtigheid
   a. hoge RV meer scheuren, vooral in combinatie met hoge temperatuur
10. Enten
    a. bij kersen heeft onderstam invloed op scheuren. Bij tomaat nog onbekend.
11. Calciumgebrek
    a. Calcium zou de celwanden verstevigen en gibberelline zou de schil elastischer maken, in proeven echter zeer wisselende resultaten

Bijlage IV Afweging aanschaf warmtebronnen

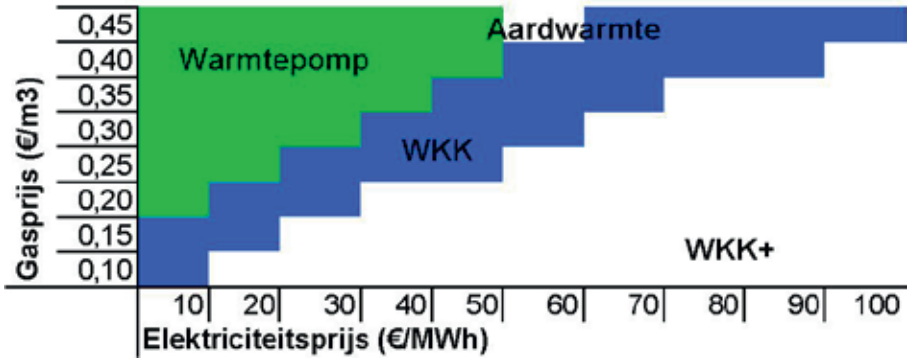
Geen van de telers is nog even enthousiast over het conditioneren als tijdens de aanschaf van de installatie. Deels komt dit doordat door WKK's veel CO_2 is beschikbaar gekomen voor open kassen. Hierdoor is de beoogde productieverhoging van gesloten kassen minder ten opzichte van open kassen minder hoog gebleken. Verder hebben de prijzen voor gas en elektriciteit rem gegeven op het gebruik van de warmtepomp. Conditioneren met een warmtepomp vergt immers meer elektriciteit en minder gas, terwijl een WKK juist elektriciteit levert en meer gas kost. Om de rentabiliteit van een warmtepomp te vergelijken met andere warmtebronnen moet dan ook sterk worden gelet op de gasprijs en de elektriciteitsprijs. In Figuur 24. en Figuur 23. is schematisch weergegeven welke warmtebron het meest rendabel is bij welke gemiddelde prijs voor aardgas en elektriciteit. Bij Figuur 24. is gerekend dat CO_2 uit de WKK en de ketel een waarde heeft van 0,08 €/kg, terwijl bij Figuur 23. geen waarde aan CO_2 uit de rookgassen is toegekend. Bij beide figuren is gerekend dat de bij inkoop van elektriciteit nog 20 €/MWh aan transportkosten moet worden betaald. Ook is in beide figuren gerekend dat koude een waarde heeft van 4 €/GJ.
WKK+ geeft in de figuren het gebied aan waarin warmte een gratis restproduct is, en waarin het zelfs economisch rendabel kan zijn om de warmte te vernietigen.

In de afgelopen jaren hebben de gas- en elektriciteitsprijs zich veelal bewogen in het gebied waarin de WKK de meest rendabele warmtebron is. Bij bijvoorbeeld een gasprijs van € 0,20 per m^3 en een elektriciteitsprijs van 70 €/MWh is de WKK veel interessanter dan andere bronnen. Bij schaarste aan CO_2 is het bij deze prijzen zelfs rendabel om met de WKK elektriciteit en CO_2 te produceren en warmte te vernietigen (zie Figuur 24.).
De warmtepomp wordt pas interessant bij hogere gasprijzen en lagere elektriciteitsprijzen. Bij een lage gasprijs is een ketel rendabeler dan een WKK of een warmtepomp, omdat deze veel minder investering vergt. Bij een warmtepomp moet immers ook worden geïnvesteerd in bronpompen en luchtbehandelingskasten.

Omdat de elektriciteitsprijs fluctueert over het etmaal kan het interessant zijn om de warmtepomp aan te schaffen om naast een WKK in te zetten. De warmtepomp draait dan tijdens de daluren en de WKK kan dan tijdens de plateau-uren elektriciteit leveren. In ieder geval kan een warmtepomp voor de tomatenteelt pas rendabel zijn als de gasprijs hoger is dan 0,25 tot 0,30 €/m^3.



Figuur 23. Schematische weergave van de meest rendabele warmtebronnen, afhankelijk van de prijs van aardgas en elektriciteit (waarde CO_2=0 €/kg)



Figuur 24. Schematische weergave van de meest rendabele warmtebronnen, afhankelijk van de prijs van aardgas en elektriciteit (waarde CO_2=0,08 €/kg)



Productschap Tuinbouw

Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Kas als Energiebron

Projectnummer: 3242045700-4

