



ir. P.A.M. Geelen
ir. J.O. Voogt
ing. P.A. van Weel

DE BASISPRINCIPES
VAN

HET NIEUWE TELEN



De basisprincipes van Het Nieuwe Telen

ir. P.A.M. Geelen
Plantmonitoring.NL

ir. J.O. Voogt
Hoogendoorn Growth Management

ing. P.A. van Weel
Wageningen UR Glastuinbouw

Eerste druk: november 2015

Verantwoording beeldmateriaal

Het beeldmateriaal in deze uitgave is afkomstig van diverse bronnen. De foto's zijn grotendeels gemaakt door de auteurs. Veel illustraties zijn speciaal gemaakt of aangepast door bureau Creatieve Zaken in opdracht van Kas als Energiebron. Grafieken met geanonimiseerde praktijkgegevens zijn grotendeels afkomstig van LetsGrow.com. Bij overige illustraties en foto's is zoveel mogelijk en voor zover te achterhalen de bron expliciet vermeld. Mocht iemand menen dat op onjuiste wijze is omgegaan met zijn of haar auteursrechten, dan wordt diegene vriendelijk verzocht contact op te nemen met de uitgever.

Ontwerp omslag:	Creatieve Zaken, Rotterdam
Opmaak:	Amy Damen, LTO Glaskracht Nederland
Redactie:	Roger Abbenhuijs, RAP Tekst en Redactie
Druk:	Drukkerij Van de Sande, Nootdorp

Disclaimer

Hoewel de inhoud van deze publicatie met de grootste zorg is samengesteld, aanvaardt LTO Glaskracht Nederland geen enkele aansprakelijkheid voor eventuele onjuistheden in de tekst, noch eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de weergegeven informatie of toepassing van de beschreven adviezen.

© 2015 Bleiswijk LTO Glaskracht Nederland

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

www.ltoglaskrachtnederland.nl

www.kasalsenergiebron.nl

Voorwoord

Het Nieuwe Telen (HNT) staat sterk in de belangstelling. Door het innovatie- en actieprogramma Kas als Energiebron van LTO Glaskracht Nederland en het ministerie van Economische Zaken zijn de laatste jaren tientallen bijeenkomsten georganiseerd over dit onderwerp. Ook werden bijna veertig cursusgroepen geformeerd en vele demo's en onderzoeken met toepassing van HNT gefinancierd. In de vakbladen is hier bijna wekelijks een artikel over te lezen. Resultaten van de toepassing van de nieuwe teeltwijze in de praktijk zijn inmiddels zichtbaar.

Door de brede aandacht is er behoefte om de basisprincipes in een compleet en samenhangend overzicht te publiceren. Daarom heeft Kas als Energiebron drie denkers en bouwers van het eerste uur gevraagd om dit boek samen te stellen. Het boek is onder andere bedoeld als gids bij het volgen van een cursus over Het Nieuwe Telen, als naslagwerk voor telers en teeltadviseurs bij het toepassen in de praktijk en als inspiratiebron voor onderzoekers en alle andere belangstellenden om samen verder te bouwen aan de kennisbasis van HNT.

Kas als Energiebron is de drie schrijvers Peter van Weel, Jan Voogt en Peter Geelen zeer dankbaar voor het werk dat zij verricht hebben met hun jarenlange bouwwerk aan Het Nieuwe Telen en met het samenstellen van dit boek. Vele discussies en talrijke, vaak onbetaalde uren hebben zij besteed aan dit werk. Ook danken wij de volgende personen voor het leveren van opbouwende kritiek en suggesties voor verbetering: Arie de Gelder (Wageningen UR Glastuinbouw), Mark van der Werf (Greenco), Marco de Groot (FloriConsultGroup), Hans Pronk (Pronk Consultancy), Leo Oprel (ministerie van Economische Zaken) en Piet Broekharst (LTO Glaskracht Nederland).

Mede namens de schrijvers bedanken we ook al die telers die de ruimte boden om op hun bedrijf een nieuwe teeltkoers in te zetten. Ook al ging dit misschien in eerste instantie tegen hun eigen gevoel in en stond het haaks op de heersende opvattingen. Hiervoor is durf en doorzettingsvermogen nodig. Dankzij hen zijn stukje bij beetje de basisprincipes van Het Nieuwe Telen bevestigd en uitgekristalliseerd in de praktijk. Dank is ook verschuldigd aan alle telers, adviseurs, onderzoekers, installateurs en vakjournalisten, die de discussie zijn aangegaan en hun ervaringen en inzichten hebben gedeeld. 's Morgens vroeg en 's avonds laat, in vergaderkamers en kantines, maar bij voorkeur in kassen tussen de tomaten, paprika's, aardbeien, rozen, gerbera's, fresia's, matricaria's en tal van andere gewassen. Juist de kritische vragen en opmerkingen zorgden voor inspiratie en uitdagingen om de visie te verduidelijken en aan te scherpen. Het zijn tenslotte vooral de dwarsliggers die het spoor sterk maken.

Wij zijn ons bewust dat er een lijvig boek voor u ligt: een flinke kluit om te lezen, een uitdaging om mee aan de slag te gaan in de praktijk en een inspiratie om op voort te bouwen. Wij nodigen iedereen uit om kritiek en suggesties met ons te delen, want Het Nieuwe Telen is als nieuwe teeltstrategie nog niet af. Er zijn voldoende kansen om de duurzame teelt onder glas verder te ontwikkelen en verbeteren.

Aat Dijkshoorn, LTO Glaskracht Nederland

Projectleider Het Nieuwe Telen voor Kas als Energiebron

Oktober 2015

Inhoudsopgave

1 Inleiding	1
1.1 Wat is Het Nieuwe Telen?	1
1.1.1 Wat zijn de voordelen?	1
1.1.2 Wat zijn de nadelen?	2
1.2 Leeswijzer	2
1.3 Korte historie Het Nieuwe Telen	3
1.4 Het Nieuwe Telen op hoofdlijnen	4
1.4.1 Speerpunten	4
1.4.2 Leerpunten	4
1.4.3 Investeren in kennis	6
1.4.4 Meten is weten	6
1.5 Literatuurverwijzingen	7
2 Planten	8
2.1 De uitdaging van de trendbreuk	8
2.2 Plantbalansen	8
2.3 De assimilatenbalans van de plant	10
2.4 Gewasfactoren en assimilatenbalans	11
2.4.1 Aanmaak van assimilaten en gewasopbouw	11
2.4.2 Assimilatenverbruik en gewasopbouw sinkgrootte en sinkwerking	12
2.5 Klimaatfactoren en assimilatenbalans	12
2.6 De basis van HNT: multifactorele balansbenadering	13
2.6.1 Nieuwe kijk op luchten: aanmaak benadering	13
2.6.2 Nieuwe kijk op temperatuur	14
2.6.3 Plantbalans door anticiperen in plaats van corrigeren	14
2.6.4 Temperatuur-lichtverhouding in de praktijk	15
2.6.5 Anticiperend sturen op plantbalans	15
2.6.6 Meer met de natuur mee telen	16
2.6.7 Temperatuur-lichtverhouding per teeltfase	17
2.6.8 Plantbalans en het (verticale) temperatuurprofiel	17
2.6.9 Plantbalans sturen met plantbelasting	18
2.6.10 Telen bij lage plantbelasting en hoge temperatuur	19
2.6.11 Discussie over hoge teelttemperatuur	20
2.7 De energiebalans van de plant	21
2.7.1 Energie en verdamping	22
2.7.2 Verdamping in twee vormen	23
2.7.3 De rol van de huidmondjes	25
2.7.4 Monitoren van de energiebalans met de planttemperatuurmeter	28
2.7.5 Het belang van hoge RV en lage VPD bij hoge instraling	28
2.7.6 Uitstraling en verdamping	29
2.7.7 Plantreacties om verdamping te begrenzen	30
2.8 De waterbalans van de plant	31
2.8.1 Bij hoge instraling (zonnig)	32
2.8.2 Bij lage instraling (donker)	32
2.9 Sturen van de gewasopbouw	33
2.9.1 Celstrekking door osmose	33

2.9.2 Celstrekking door worteldruk	33
2.9.3 Celstrekking door aquaporines	34
2.9.4 Sturen via waterbalans versus assimilatenbalans	34
2.9.5 Sturen op bladgrootte en lengtegroei	34
2.9.6 Sturen op vruchtgrootte	34
2.9.7 Sturen op bloemknopgrootte	35
2.10 Stressvermindering door schermen of verneveling	35
3 Kassen	36
3.1 Natuurkundige analyse tegenover gevoel	36
3.2 Het Psychrodiagram	36
3.2.1 De basisbegrippen in het Psychrodiagram	37
3.2.2 Praktische toepassingen van het Psychrodiagram	40
3.3 Klimaatbeheersing in moderne kassen	41
3.4 De energie- en vochtbalans van de kas	42
3.4.1 Voelbare en latente energie afvoer door ventilatie	42
3.4.2 Energiebalans en ventilatie	43
3.4.3 De vochtbalans	44
3.4.4 Effectief en werkelijk ventilatievoud	45
3.4.5 Luwe zijde versus windzijde	45
3.5 Afkoeling door uitstraling	47
3.5.1 Meten van uitstraling van de kas met pyrgeometer	47
3.5.2 Effecten van uitstraling in de kas	48
3.6 Energiebalans en vochtbalans in verschillende situaties en seizoenen	50
3.6.1 De dagsituatie in de winter	50
3.6.2 De dagsituatie in de lente	51
3.6.3 De nachtsituatie in de winter en de lente	51
3.6.4 De nachtsituatie in de lente en de zomer	52
3.6.5 De nachtsituatie in de herfst	52
3.7 Overzicht van energiestromen	53
3.7.1 Energiebalans onder gesloten scherm (nacht)	53
3.7.2 Energiebalans met geopend scherm (overdag)	56
3.7.3 Klimaatregelen vanuit de energiebalans	58
3.8 Warmteafgifte van buizen	58
3.9 Verschil enthalpie en vocht binnen-buiten	59
3.9.1 Gewas- en regio-afhankelijkheid	61
3.9.2 Pleidooi voor hogere in plaats van lagere teelttemperaturen	61
3.10 Invloed buitencondities op het kasklimaat	61
3.11 Verneveling of adiabatische koeling	63
3.11.1 De CO ₂ -concentratie verhogen door verneveling?	64
3.12 Vochtbeheersing onder gesloten schermdoek	65
3.12.1 Vochtproblemen voorkomen is beter dan genezen	66
3.12.2 Ontvochtigen met buitenlucht inblazen	66
3.13 Luchtbeweging in de kas	68
3.13.1 Turbulente beweging bij geopende luchtramen	68
3.13.2 Stromingen als gevolg van temperatuur en drukverschillen	70
3.13.3 Warmtetrek onder invloed van de wind	70
3.13.4 Circulatie door geveleffecten	70

3.13.5	Circulatie onder invloed van afschot	70
3.13.6	Stromingen onder de teeltgoten en -tafels.	71
3.13.7	Stromingen boven het schermdoek.	72
3.13.8	Kouval bij schermen met 'open bandjes' of een kier	72
3.13.9	Thermische wervel bij belichte teelten	72
3.13.10	Luchtbeweging onvoorspelbaar en moeilijk stuurbaar.	72
3.13.11	Het tegengaan van ongewenste luchtstromingen	73
3.14	Natuurlijke luchtbeweging ten opzichte van geforceerde beweging	74
3.14.1	Een actief en homogeen kasklimaat met ventilatoren.	76
3.14.2	Voordelen van verticale luchtbeweging	76
4	Gewas en kas interactie	78
4.1	Een actief groeiklimaat voor de plant	78
4.2	Energie en vochtbalans van kas/gewas	79
4.3	Effectiever schermen tegen warmteverlies en uitstraling	79
4.3.1	Traumatische ervaringen met (energie) schermen in het verleden	80
4.3.2	Uitstraling: effecten op het gewas	80
4.3.3	Netto straling van het gewas	81
4.3.4	Uitstralingsonderzoek bij gerbera	81
4.3.5	Schermen volgens Het Nieuwe Telen.	83
4.4	Opwarming van plantendelen	83
4.5	Invloed van buiswarmte, isolatie en luchtbeweging op verdamping	84
4.6	Vochttransport in kaslucht	84
4.7	Positieve effecten van diffuus licht	85
4.8	Assimilatiebelichting	85
4.9	Tussenbelichting.	86
5	Het Nieuwe Telen toegepast op specifieke situaties.	87
5.1	Het Nieuwe Telen en de start van de teelt	87
5.2	Luchtig telen versus schermen.	89
5.3	Koel telen voor kwaliteit	90
5.4	De voornachtverlaging	90
5.5	De ochtenddip.	92
5.6	Gewascondensatie voorkomen	92
5.6.1	In welke situaties treedt condensatie op?	92
5.6.2	Relatie gewascondensatie en absoluut vocht	92
5.7	Omgaan met bestaande scherm installaties	93
5.8	Omgaan met bestaande bovenverwarming	95
5.9	Omgaan met (hoge druk) verneveling.	95
5.10	Hoge RV, luie planten en slechte houdbaarheid.	97
5.11	Omgaan met dakberegening	97
5.12	HNT en calcium gerelateerde teeltproblemen	98
5.13	HNT en mycosphaerella in komkommer.	98
5.14	HNT en binnenrot bij paprika	99
5.15	HNT en (valse) meeldauw	100
5.16	HNT en bladrandjes en botrytis	100
5.17	HNT en neusrot	101
5.18	Generatief-Vegetatief sturen rasafhankelijk.	101

6 Hulpinstallaties voor klimaatbeheersing in de kas	103
6.1 Systemen voor luchtbeweging met ventilatoren	103
6.1.1 Horizontale ventilatoren.	103
6.1.2 Circuleren met verticaal werkende ventilatoren of met luchtslurven	103
6.1.3 Luchtbeweging in verschillende gewassen.	104
6.2 Ontvochtigen met het inblazen van buitenlucht	106
6.2.1 De natuurkundige principes.	107
6.2.2 Luchtslurven onder het gewas	108
6.2.3 Luchtslurven boven het gewas	109
6.2.4 Gedeeltelijke warmteterugwinning bij een slurvensysteem	109
6.2.5 Volledige warmteterugwinning.	110
6.3 Vochtbeheersing en luchtbeweging apart regelen.	110
6.3.1 Ventilationjet	111
6.3.2 Ventilationjet in combinatie met vochtdoorlatend scherm	112
6.3.3 Centrale luchtafvoer en warmteterugwinning	115
6.4 Schermssystemen	115
6.4.1 Het belang en perspectief van schermen	115
6.4.2 Vocht en energietransport door het scherm	116
6.4.3 De eigenschappen van het ideale scherm	121
7 Toekomstperspectief	124
7.1 Perspectief plant/gewas	125
7.1.1 Toekomstperspectief op kortere termijn.	125
7.1.2 Toekomst visie op langere termijn	125
7.2 Perspectief plant/kas monitoring	126
7.3 Perspectief kas	126
7.4 Perspectief kasisolatie en schermen.	127
7.5 Perspectief gewas/kas	127
7.6 Perspectief luchtbeweging en ontvochtiging	128
7.7 Perspectief belichte teelten	128
7.8 Perspectief procesregeling	129
8 Stappenplannen Het Nieuwe Telen in de praktijk	130
8.1 Stappenplan: sturen van vochtbalans kas en de schermen	130
8.1.1 De basisprincipes.	130
8.1.2 Beter meten van de vochtbalans van de kas.	131
8.1.3 Monitoren en interpreteren	132
8.1.4 Kleine stappen zetten	133
8.1.4.1 Vochtbalans sturen in de nacht	133
8.1.4.2 Schermstrategie aanpassen	134
8.1.5 Teeltstrategie aanpassen	134
8.2 Stappenplan: sturen assimilatenbalans gewas en T/L strategie	135
8.2.1 De basisprincipes.	136
8.2.2 Monitoren en interpreteren	136
8.2.3 Beter registreren per dag	136
8.2.4 Kleine stappen zetten	137
8.2.5 Teeltstrategie aanpassen	137
8.3 Stappenplan: sturen van waterbalans gewas en ventilatiestrategie	139

8.3.1 De basisprincipes	139
8.3.2 Beter meten van de waterbalans van het gewas	140
8.3.3 Monitoren en interpreteren	140
8.3.4 Kleine stappen zetten	140
8.3.5 Teeltstrategie aanpassen	141
9 Bijlagen	142
9.1 Het digitale Psychrodiagram	142
9.2 HNT Rekentool	143
9.3 Rekenvoorbeeld energie en vochtafvoer door ventilatie	144
9.4 Uitstraling volgens de wet van Stefan–Boltzmann	145
9.5 Begrippenlijst	146

Samenvatting

Een bijzonder aspect van Het Nieuwe Telen (HNT) is dat het begint met het verwerven van nieuwe inzichten en het aanleren van nieuw gedrag, in plaats van met investeren in een nieuwe kasuitrusting. Verder geldt dat energiebesparing geen doel op zich is, maar een logisch gevolg van het optimaliseren van het groeiklimaat voor de plant, mits dit op de juiste wijze wordt aangepakt.

Dit boek beschrijft de basisprincipes van Het Nieuwe Telen. Het geeft een analyse van plantgedrag op basis van drie balansen: de waterbalans, de energiebalans en de assimilatenbalans. Overeenkomstig wordt het kasklimaat ontleed op basis van de energiebalans en de vochtbalans van de kas. Vervolgens wordt de interactie van het kasklimaat besproken, met enerzijds de weersomstandigheden buiten en anderzijds het klimaat rond het gewas in verschillende perioden van de dag en de nacht.

Deze analyses vormen de natuurkundige basis voor de principes van een energiezuinige aanpak om een actief groeiklimaat te creëren voor de plant. Verder wordt aangegeven hoe dit op de meest eenvoudige en effectieve manier kan worden uitgevoerd. In tegenstelling tot de soms nog gangbare praktijk waar dit wordt gedaan door onnodig te stoken met de verwarmingsinstallatie.

Een actief en groeizaam microklimaat met lage energiekosten wordt bereikt door vier maatregelen tegelijk toe te passen: geforceerde luchtbeweging rondom de plant, voorkomen van temperatuurverschillen, het afvoeren van vocht en beter isoleren met dubbele energieschermen. Dit laatste niet alleen voor energiebesparing, maar ook om de negatieve gevolgen van uitstraling en kouval te voorkomen.

Een belangrijke conclusie uit de analyse van het kasklimaat is dat er separaat maatregelen moeten worden genomen om ongewenste (natuurlijke) luchtstromingen door temperatuur en drukverschillen in de kassen te voorkomen. Deze natuurlijke stromingen zijn dermate sterk dat ze niet met ventilatoren kunnen worden gecorrigeerd.

Veel van de voordelen van Het Nieuwe Telen kunnen worden behaald zonder investering in nieuwe hulpinstallaties. Tegelijk wordt daarbij duidelijk op welke specifieke punten de kasinrichting moeten worden verbeterd voor een nog beter resultaat, zodat investeringen gericht en effectief kunnen plaatsvinden.

Wat betreft de technische implementatie van aanvullende hulpinstallaties is de praktijk nog zoekende. Zo ontstaan er steeds nieuwe varianten van systemen die door een combinatie van buitenlucht inblazen en recirculeren van kaslucht proberen de kaslucht te conditioneren. Er wordt geblazen in verticale en horizontale richting, al dan niet door middel van een slurvensysteem, met een menginrichting en soms met een variabel debiet met frequentieregeling.

In dit boek worden diverse van deze systemen beschreven. Hopelijk zal een toetsing van deze systemen aan algemeen geldende natuurkundige wetten leiden tot een verdere optimalisatie van de luchtcirculatie rond het gewas en een verdere vermindering van ongewenste klimaatverschillen in de kas, tegen minimaal energieverbruik en geringe investeringskosten.

De ontwikkeling van Het Nieuwe Telen is een voortgaand proces met als uitgangspunt de natuurkundige en plantfysiologische principes.

Summary

A special feature of The Next Generation Growing is that it starts by acquiring new insights and learning new practices, rather than investing in new greenhouse equipment. In addition, saving energy is not an end in itself but a logical consequence of optimising the plant's growing environment, providing this is approached in the proper way.

This book 'De basisprincipes van Het Nieuwe Telen' describes the basic principles of The Next Generation Growing. It analyses plant behaviour based on three balances: the water balance; the energy balance; and the balance of assimilates. Accordingly the greenhouse climate is analysed based on the energy balance and moisture balance in the greenhouse. Furthermore the interaction within the greenhouse climate is discussed with on one hand the weather conditions outside and on the other hand the climate around the crop during different periods of the day and night.

These analyses, based on physics, lead to an energy efficient approach to creating an active growth climate for the plant. In addition the book describes how this can be carried out in the most simple and effective way. This is in contrast to the (still) common practice of achieving this by means of the heating system.

An active and favourable microclimate at low energy cost is achieved by simultaneously applying four measures: forced air movement around the plant; prevention of temperature differences; removal of moisture; and better insulation by using double energy screens. The latter is not only for the purpose of saving energy but also to prevent the negative impact of radiation and cold dumps.

An important conclusion arising from the analysis of the greenhouse climate is that separate measures should be taken to prevent undesirable (natural) air movement due to temperature and pressure differences in the greenhouse. These natural air currents are so strong they cannot be corrected by using fans.

Many of the benefits of The Next Generation Growing can be achieved without having to invest in new tools. At the same time it is made clear on which specific points greenhouse equipment can be improved for an even better result so that any investment is focused and effective.

Commercial users are still exploring the technical implementation of additional tools. This is resulting in more and more new variations on systems that attempt to condition the greenhouse air by mixing outside air that is blown in with recirculated greenhouse air. Air is blown in a vertical and horizontal direction, whether or not through means of a hose system, through a mixing system that may have a variable flow rate with frequency control.

Several of these systems are described in this book. Hopefully a review of these systems based on the general laws of physics will lead to further optimisation of air circulation around the crop and a further reduction in undesired climatic differences in the greenhouse, with minimum energy consumption and low investment costs.

The development of The Next Generation Growing is a continuing process based on physics and plant physiological principles.

1 Inleiding

De basisprincipes van Het Nieuwe Telen omvatten enerzijds de natuurkundige wetmatigheden van het groeiproces van planten en de klimaatbeheersing van kassen en anderzijds een visie van de schrijvers op een optimale teeltstrategie. Over natuurkundige wetten valt op zich weinig te discussiëren, maar over teeltstrategieën des te meer. Deze strategie wordt derhalve niet gepresenteerd als de enige geldende waarheid, maar geeft een route aan om het teeltresultaat te verbeteren met minder inzet van (fossiele) energie, gecombineerd met een betere benutting van het natuurlijke licht. Deze route is gebaseerd op de huidige kennis van de plantfysiologie gecombineerd met onderzoeksresultaten en praktijkervaringen, maar laat nadrukkelijk ruimte voor verdere ontwikkeling.

‘Als je altijd blijft doen wat je altijd deed, zal je altijd krijgen wat je altijd kreeg’

Deepak Chopra

Centraal in de benadering staat het balansdenken. De plantprocessen worden herleid naar drie plantbalansen: de assimilatenbalans, de energiebalans en de waterbalans. Het kasklimaat wordt benaderd vanuit de vochtbalans en de energiebalans van de kaslucht. Deze aanpak wordt door telers en adviseurs als onwennig ervaren, omdat nieuwe inzichten ontstaan die afwijken van bestaande methodes en gewoonten. Behalve een kwestie van kennisoverdracht is Het Nieuwe Telen daarmee ook een proces van acceptatie en van gedragsverandering. Aangezien er een sterke samenhang is tussen allerlei teeltfactoren is het inzetten van een andere koers bovendien een ingewikkelde operatie.

Het Nieuwe Telen is kortom (nog) geen kant-en-klaar recept voor elke teelt, maar biedt wel een solide basis voor verdere uitwerking. Meer dan voorheen wordt immers rekening gehouden met de samenhang van de onderliggende processen. Bij de voorgestelde aanpak gaan verschillende groeifactoren elkaar versterken in plaats van tegenwerken. Een bijzondere bonus van HNT is dat de optimalisatie van het groeiklimaat bovendien een aanzienlijke energiebesparing oplevert. Door het beschrijven van deze nieuwe aanpak en de onderliggende natuurkundige en plantkundige principes, hopen de schrijvers van dit boek een bijdrage te leveren aan het proces van verbetering en verduurzaming van de glastuinbouw.

1.1 Wat is Het Nieuwe Telen?

‘Hij die van praktijk houdt zonder theorie, is als een zeeman die een schip bestuurt zonder roer en kompas en nooit weet waar hij zal stranden’

Leonardo da Vinci

Het Nieuwe Telen (HNT) is letterlijk een nieuwe manier van telen en klimaatregelen op basis van plantfysiologie en natuurkunde. Dit in tegenstelling tot de klassieke manier van telen, die vooral is gebaseerd op gevoel en praktijkervaring via ‘trial & error’. Met Het Nieuwe Telen maakt de glastuinbouw zagezegd de stap van ‘groene vingers’ naar wetenschap.

1.1.1 Wat zijn de voordelen?

Het grote voordeel van HNT is dat het functioneren van de plant het uitgangspunt vormt. Het beschouwen van de drie plantbalansen in verschillende kenmerkende situaties biedt een relatief eenvoudig en robuust gereedschap om het plantgedrag te analyseren. Dit stelt de teler in staat om los te komen van een teeltrecept dat deels bestaat uit ‘ervaringsfeiten’, ‘tegeltjeswijsheden’, ‘gevoel’ of ‘groene vingers’ en zelf na te denken over de oorzaken en gevolgen van wat er in en rond de plant

gebeurt. Dit zelfde geldt voor het kasklimaat en de middelen om dit te beïnvloeden, door te kijken naar de kasbalansen voor energie en vocht. Daarnaast is het in veel gevallen überhaupt zinvol om regelmatig de vraag te stellen: waarom doe ik dit eigenlijk op deze manier en bereik ik daarmee inderdaad wat ik wil? Samen biedt dit nieuwe perspectieven en een nieuwe route om het teeltresultaat te optimaliseren. Als laatste, maar niet als minste, biedt HNT een basis om diverse investeringen op gebied van kasinstallaties op waarde te beoordelen.

1.1.2 Wat zijn de nadelen?

‘Elk voordeel heeft zijn nadeel’, volgens een inmiddels vermaarde uitspraak. Dat geldt ook voor Het Nieuwe Telen. Iets nieuws ontdekken en leren hoe er mee om te gaan kost tijd, energie en geld. Het herzien van een gevestigde mening en het loslaten van ingeslepen gewoontes is niet gemakkelijk. Verder is het niet zo dat simpelweg een aantal maatregelen van HNT kan worden ingevoerd zonder dat dit gevolgen heeft voor de rest van de bestaande teeltwijze. Het levert ook bepaalde risico's op omdat in het begin fouten kunnen worden gemaakt. Die constatering is eerlijk en realistisch. Het feit dat na bijna tien jaar van pionieren een steeds sneller groeiend aantal telers en adviseurs enthousiast raakt over het toepassen van de HNT-principes in de praktijk, is echter een duidelijk bewijs dat het de moeite waard is. Tot slot - met een variant op een andere bekende uitspraak - door Het Nieuwe Telen wordt het voor een tuinbouwondernemer misschien niet gemakkelijker, maar wel veel leuker. Hij krijgt immers veel meer grip op wat er in de kas gebeurt.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat over planten; hoe ze groeien en hoe ze zich handhaven in hun omgeving. Plantengroei en ontwikkeling wordt geanalyseerd en beschreven vanuit drie balansen: de energiebalans, de waterbalans en de assimilatenbalans. Dit leidt tot een generieke benadering die op vrijwel elke plant kan worden toegepast. Interessant is dat hieruit een simpele en robuuste verklaring voor het huidmondjesgedrag kan worden afgeleid. Essentieel is ook dat er wordt gekeken naar het plantgedrag in verschillende kenmerkende situaties, waardoor een praktisch kader ontstaat voor het interpreteren van signalen van plantsensoren.

Hoofdstuk 3 gaat over kassen; het bevat een natuurkundige analyse van de water- en energiebalans van de kas. Het psychrodiagram speelt hierin een belangrijke rol. Deze analyse biedt nieuwe inzichten in het ontstaan van lokale verschillen in temperatuur en vochtigheid en methoden om deze te voorkomen.

Hoofdstuk 4 behandelt de synthese van de kas en het gewas en de interactie tussen kasklimaat en plantgedrag. Uit deze synthese komen verrassende inzichten naar voren die niet zelden haaks staan op de tot op heden in de praktijk toegepaste methoden.

Hoofdstuk 5 beschrijft in het kort hoe de nieuwe inzichten kunnen worden toegepast in specifieke situaties en hoe bestaande installaties het beste kunnen worden gebruikt. Verder wordt een aantal veel voorkomende teeltproblemen benaderd en deels ook verklaard vanuit de basisprincipes van Het Nieuwe Telen.

Hoofdstuk 6 geeft een aantal korte beschouwingen van in de praktijk toegepaste installaties bedoeld om Het Nieuwe Telen te ondersteunen. Hopelijk zal een toetsing van deze systemen aan algemeen geldende natuurkundige wetten leiden tot een verdere optimalisatie van de luchtcirculatie rond het gewas en een verdere vermindering van ongewenste klimaatverschillen in de kas tegen minimaal energieverbruik en investeringskosten.

Hoofdstuk 7 beschrijft kort het toekomstperspectief van HNT; het biedt daarmee tevens handvatten voor een onderzoeks- en innovatieagenda voor de verdere ontwikkeling.

Hoofdstuk 8 omvat een handreiking voor een gefaseerde invoering van Het Nieuwe Telen in de vorm van stappenplannen.

In de bijlagen is onder andere een begrippenkader opgenomen om de toegankelijkheid te verhogen. Dat begrippenkader bevat een korte, op de praktijk gerichte omschrijving van in de tekst gehanteerde termen en begrippen. Daarnaast zijn berekeningen opgenomen ter onderbouwing van een aantal stellingnames. Deze berekeningen zijn vooral bedoeld voor de lezers met meer wetenschappelijke interesses.

1.3 Korte historie Het Nieuwe Telen

Het begrip 'Het Nieuwe Telen' is ontstaan in 2009 als een initiatief van Kas als Energiebron. De naam is ontleend aan de toenmalige overheids campagne 'Het Nieuwe Rijden', waarmee werd beoogd het brandstofverbruik van auto's te verminderen door slimmer en zuiniger met het gaspedaal om te gaan.

Het Nieuwe Telen werd geïntroduceerd als een zeven stappen plan, als korte samenvatting van de in 2008 uitgevoerde studie 'Richtinggevende beelden voor energiezuinige teelt in semi-gesloten kassen'. De principes zijn gebaseerd op de resultaten van diverse onderzoeken, uitgevoerd met financiering vanuit het programma Kas als Energiebron. Belangrijke stappen zijn gezet in een eerder initiatief van Wageningen UR Glastuinbouw en Hoogendoorn Growth Management in 2006 in het kader van het 'Aircokas concept'.

Het doel van dit concept was om in een semi-gesloten kas het groeiklimaat te optimaliseren met behulp van zo eenvoudig mogelijke middelen, met niet de techniek, maar de plant als uitgangspunt. Het interessante aan dit concept was dat beperking van de CO₂ uitstoot en besparing van energie geen doel op zichzelf was, maar een logisch gevolg van een andere aanpak, gebaseerd op nieuwe inzichten in de plantfysiologie en de natuurkunde van het kasklimaat.

Toch bleef Het Nieuwe Telen in de eerste jaren sterk geassocieerd met investeren in nieuwe installaties voor luchtcirculatie en inblazen van buitenlucht in de kas. Gaandeweg werd steeds duidelijker dat de meerwaarde vooral zit in de vernieuwde denkwijze over plantgedrag en kasklimaat. Vanaf 2012 heeft Kas als Energiebron daarom gekozen om niet de ontwikkeling van technische installaties, maar juist de kennisoverdracht van de basisprincipes als speerpunt te nemen voor Het Nieuwe Telen. Anno 2015 nemen enkele honderden telers en teeltadviseurs deel aan leergroepen waarin de principes worden uitgelegd. Hierbij is gebleken dat telers, die echt 'opnieuw leren telen' en 'opnieuw leren klimaatregelen' volgens de basisprincipes van Het Nieuwe Telen, al flinke stappen kunnen maken in verbetering van de teelt én energiebesparing met hun huidige installatie.

Daarbij ontstaat tevens het inzicht op welke punten hun kasinstallatie verder kan worden verbeterd met behulp van doelgerichte aanpassingen tegen beperkte, rendabele investeringen. Er komen teeltechnische knelpunten aan het licht die handvatten bieden voor flankerende onderzoeksprojecten. Tegelijk komen wensen en specificaties naar voren voor de verdere ontwikkeling van technische installaties, zoals ventilatiesystemen en schermmaterialen.

1.4 Het Nieuwe Telen op hoofdlijnen

Om snel een beeld te krijgen van wat Het Nieuwe Telen inhoudt dient het volgende overzicht van speerpunten en leerpunten. Bij elk punt wordt een korte toelichting gegeven die vervolgens in dit boek verder wordt uitgewerkt.

1.4.1 Speerpunten

Speerpunten zijn die zaken waarmee inmiddels zoveel ervaring is opgedaan dat ze kunnen worden beschouwd als vaste waarden binnen het toepassen van HNT. De vier belangrijkste speerpunten zijn:

1. Temperatuurgelijkheid in de kas

Dit is de basis voor elke efficiënte vorm van klimaatbeheersing. Maatregelen van structurele aard om temperatuurongelijkheid te voorkomen zijn gevelisolatie, een goed aangelegd verwarmingssysteem en nokschotten in de kas om horizontale luchtstromen boven het scherm tegen te gaan. Daarnaast is het vermijden van schermkieren essentieel, omdat deze zorgen voor kouval en tocht in de kas en ongelijkheid in temperatuur. Uit onderzoek en praktijk komt duidelijk naar voren dat het dichthouden van schermkieren een enorm positief effect heeft op de homogeniteit van het kasklimaat.

2. Luchtbeweging in plaats van minimum buis

Een verhoging van de (minimum) buistemperatuur bij oplopende vochtigheid in de kas is lange tijd beschouwd als dé remedie om het vocht af te voeren. De natuurkundige analyse laat echter zien dat het juist extra vochtproductie veroorzaakt en dus vaak contraproductief werkt. Wel positief is de luchtbeweging die het gevolg is van een warme buis. Luchtbeweging kan echter tegen veel lagere energiekosten worden verkregen met ventilatoren, het liefst verticale.

3. Gebruik van energieschermen

Uitstraling is lange tijd een sterk onderschat fenomeen geweest en oorzaak van diverse gewasproblemen. Ook met een enkel scherm kan er nog aanzienlijke uitstraling zijn, vandaar de aanbeveling om een dubbel scherm toe te passen. Uiteraard verhoogt dit ook de isolatiewaarde.

4. Afvoeren van vocht

Als bij gesloten scherm en gesloten ramen de vochtafvoer door condensatie onvoldoende is, dient als eerste maatregel te worden geventileerd door het openen van de ramen boven het gesloten scherm. Veel telers ervaren het als positief door hiervoor juist (ook) de windzijde van de luchtramen te gebruiken. Pas als dit onvoldoende effect heeft is het zinvol om de vochtafvoer te stimuleren door droge lucht van buiten of van boven het scherm in de kas te brengen.

1.4.2 Leerpunten

Leerpunten voor Het Nieuwe Telen zijn zaken die perspectief bieden maar voor een brede invoering nog verder teeltspecifiek onderzoek en praktijkervaring behoeven.

1. Temperatuur/lichtsom balans op dagbasis

Het is gebruikelijk om een gewas in balans houden door een juiste verhouding tussen de etmaaltemperatuur en de lichtsom te hanteren. Er wordt echter vaak gestuurd op een gemiddelde balans met correctie achteraf. Als het gewas te veel groei of dikke koppen laat zien, wordt de temperatuur verhoogd, als het gewas te schraal komt te staan wordt de temperatuur verlaagd. Gemiddeld is de plant dan in balans, maar in feite elke dag uit balans. De kunst is dus om die balans elke dag aan te houden en dan anticiperend in plaats van corrigerend.

Sommigen constateren dat het sturen op dagbasis 'strijdig' is met het idee van meerdaagse temperatuurintegratie. De stelling kan ook zijn dat meerdaagse TI een eerste stap is in het streven naar balans en dat sturen op de dagelijkse temperatuur/lichtsom-balans een verdere aanscherping inhoudt.

2. Beheersing van de plantbelasting

'Vruchten snij je er niet af, die snij je eraan'

Dion van Mullecom (Multigrow)

Onbalans geeft veel problemen in de teelt. Een belangrijke factor daarbij is een te hoge plantbelasting. Als dit eenmaal ontstaat moet de etmaaltemperatuur naar beneden worden bijgesteld voor de kwaliteit en groei, maar dan heeft de plantbelasting de neiging om nog verder op te lopen. Bij wisselende weersomstandigheden en bij afnemende lichtsommen in de nazomer is een lage plantbelasting veel gunstiger. Aangezien alle planten van eenzelfde teelt in één kas of kasafdeling bij elkaar staan, zou het nagestreefde kasklimaat ideaal moeten zijn voor alle planten. In de praktijk wordt bij dezelfde teelt echter een grote variatie in plantbelasting en soms in plantgrootte of plantvorm gezien. Komkommers met drie vruchten staan naast planten met zes vruchten of slechts één. Rozenstruiken met twee takken staan naast exemplaren met vijf takken. Elke keus voor een etmaaltemperatuur bij een gegeven lichtbenutting van het gewas is dan een compromis en dus suboptimaal.

Bij de gewasbehandeling en het snijden en knippen van vruchten en bloemen moet dus veel meer aandacht zijn voor uniformiteit in plantbelasting, of de sinksterkte (behoefte aan assimilaten) van alle plantorganen gezamenlijk.

3. Telen bij hogere temperaturen

Bij veel teelten is al lange tijd het streven om naar lagere kastemperaturen te gaan vanwege kwaliteit en energiebesparing. Dit is echter een doodlopende weg wat betreft de klimaatregeling. Als er weinig verschil is tussen de kascondities en de buitenomstandigheden is het afvoeren van vocht en energie uit de kas veel lastiger dan bij een groot verschil. Anderzijds is het isoleren van de kas tegen verlies aan warmte relatief eenvoudig en goedkoop te realiseren. Voor een effectieve en energiezuinige klimaatbeheersing moet het streven zijn naar een teeltmethodiek met hogere kastemperaturen dan nu gebruikelijk is in plaats van naar lagere. De uitdaging hierbij is om een gelijke of zelfs hogere productie te behalen bij een hoge(re) teeltsnelheid met een lage(re) plantbelasting. Dit onderdeel wordt behandeld in hoofdstuk 2.6.

4. Ventileren met windzijde in combinatie met luwe zijde

Eind 2014 is er in de leergroepen van Het Nieuwe Telen een trend ontstaan om meer te gaan doen met windzijdig ventileren. Waar vanouds de windkant van de ramen zo lang mogelijk dichtgelaten werd, is gaandeweg ontdekt dat met windzijdig ventileren hetzelfde effect kan worden bereikt met veel lagere raamstanden. Hierdoor houden we veel meer controle over de uitwisseling van energie en vocht met buiten. Het gevolg is een gelijkmatiger klimaat qua temperatuur en vocht over het hele kasoppervlak. Het is verstandig deze werkwijze gefaseerd in het voeren en uit te proberen. Een eerste stap is om de windzijde steeds eerder en meer te laten meelopen met de luwe kant. Vervolgens kan, bij gunstig weer, de windzijde zelfs prioriteit krijgen ten opzichte van de luwe kant.

Bij harde wind en regen verdient het uiteraard aanbeveling om de normale en beproefde methoden van ventileren met de luwe zijde te hanteren.

1.4.3 Investeren in kennis

'Dankzij de HNT-cursus begrijp ik nu beter waarom iets de ene keer wel werkt en de andere keer niet'

Annemiek Bosma (Binnendijk Advies)

De allerbelangrijkste stap om met Het Nieuwe Telen aan de slag te gaan is zonder meer het investeren in kennis. Dit kan op vele manieren. Het aanbevolen traject is om dit te doen samen met een groepje gelijkgestemde collega telers onder leiding van een ervaren HNT-deskundige. Kas als Energiebron biedt hiervoor diverse opties aan, kijk voor de actuele mogelijkheden op www.kasalsenergiebron.nl



Cursusdag Het Nieuwe Telen

1.4.4 Meten is weten

'It is human nature to see only what we expect to see. And that is why we seldom observe and notice what we see'

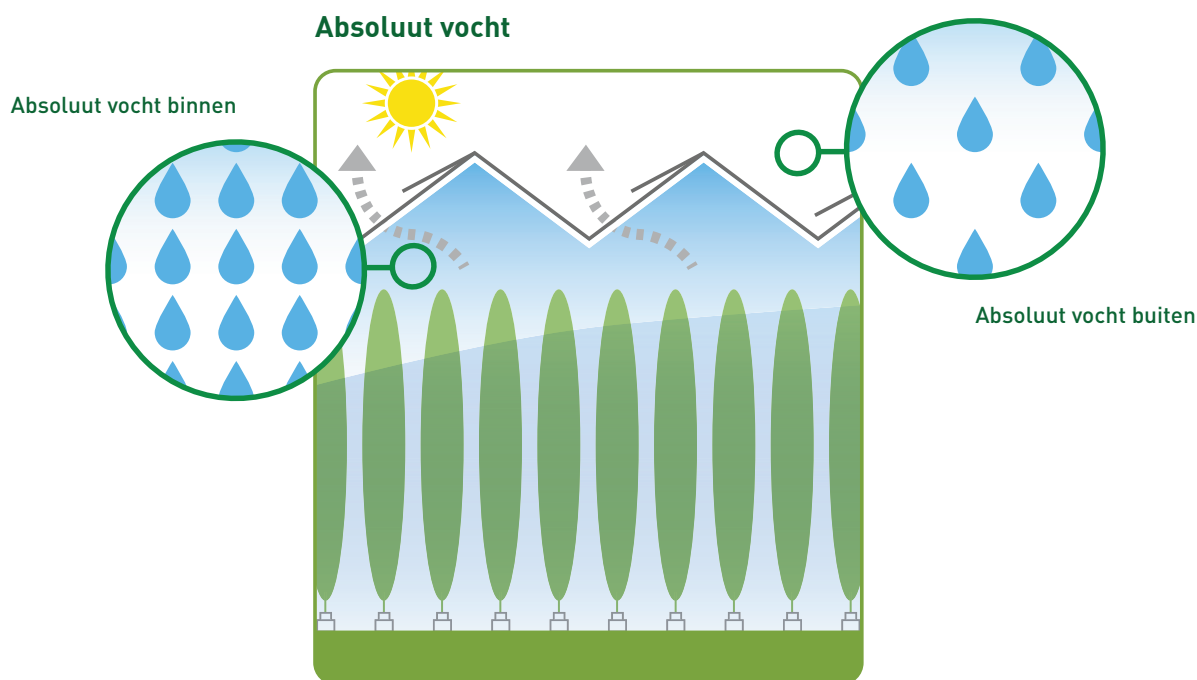
Sherlock Holmes

Om los te komen van het handelen op basis van gevoel en meer inzicht te krijgen in de materie wordt aanbevolen om een aantal zaken te gaan meten en monitoren. Op basis van meetgegevens kan vervolgens de beste wijze van regeling en aansturing worden bepaald. Een groot aantal metingen is al standaard in de praktijk, maar specifiek voor toepassing van Het Nieuwe Telen worden de volgende metingen aanbevolen:

- Een pyrgometer voor het meten van de uitstraling buiten.
- Een RV-meting buiten, onder andere om het verschil Absoluut vocht binnen-buiten te kunnen bepalen.
- Een meetbox boven het schermdoek met temperatuur en RV-meting om inzicht te krijgen in het effect van schermkieren en ventileren boven het scherm, maar tevens voor het bepalen van het juiste moment van scherm openen.
- Een plant/bladtemperatuur meting bij het gewas, om inzicht te krijgen in de energie en water balans van het gewas.
- Een meting van kastemperatuur en RV op meerdere hoogten in de kas: bij de kop, de vruchten en de wortel.
- Een meting van de vrucht- of bloemtemperatuur.
- Een meting van het matgewicht/matvochtgehalte of grondvochtigheid, om inzicht te krijgen in de

waterhuishouding.

- Een meting van de mat-, grond- en worteltemperatuur in verband met de wortelactiviteit.
- PAR-meting in de kas: inzicht in het werkelijke groeilichtniveau en de PAR-lichtsom voor de plant.
- Een netto stralingsmeter die het netto effect van instraling en uitstraling op gewasniveau meet.
- Voor het volgen van de vochtbalans van de kas de afvoer van vocht via condensatie door bijvoorbeeld een liter teller op de condensopvang.
- Verder is een nauwkeurige gewasregistratie van de groei en plantbelasting zeer nuttig. Deze vormt in feite de basis voor de monitoring van de gewasreacties. Bijvoorbeeld LAI (leaf area index), plantopbouw of- vorm en internodielengte.



1.5 Literatuurverwijzingen

In dit boek is afgezien van de gebruikelijke verwijzingen naar bestaande literatuur. De reden is niet dat daarin geen waardevolle informatie te vinden zou zijn, maar dat veel bestaande beschouwingen over plantgedrag en kasklimaat moeilijk te interpreteren zijn in het licht van Het Nieuwe Telen. De kennis van Het Nieuwe Telen is voor een deel gestoeld op de praktijkervaringen en analyses van praktijksituaties en deels op de diverse onderzoeken die zijn uitgevoerd in het kader van het programma Kas als Energiebron. Naast de schrijvers hebben kritische telers, teeltadviseurs en onderzoekers bouwstenen aangedragen voor de theorieën die zijn ontwikkeld en nog steeds worden ontwikkeld. Op www.kasalsenergiebron.nl is het overzicht beschikbaar van alle in het kader van Kas als Energiebron uitgevoerd onderzoek. De geïnteresseerde lezer wordt aangemoedigd kennis te nemen van de onderzoeksresultaten en de bevindingen uit deze onderzoeken te toetsen aan de principes van de natuurkunde en de mechanismen van de plantbalansen.

2 Planten

2.1 De uitdaging van de trendbreuk

‘Als je één bijeenkomst van HNT hebt meegemaakt ga je aan jezelf twijfelen.

Na drie bijeenkomsten weet je het zeker!’

Fred van Zijl (Kwekerij van Zijl)

De moderne kweker wordt op dit moment geconfronteerd met grote uitdagingen die om snelle en trenddoorbrekende oplossingen vragen. Dit zijn onder andere: verhoging van kwaliteit en productie per m², verhogen van de teeltzekerheid, drastische beperking van (fossiele) energie, verlaging van de CO₂ uitstoot, stringente beperking van de lichtuitstoot bij assimilatiebelichting en het terugdringen van chemische gewasbescherming. De teeltmethoden die de laatste decennia in de praktijk worden gehanteerd, worden weliswaar stapsgewijs steeds verder verfijnd, maar bieden niet het perspectief van de trendbreuken die nodig zijn.

Het kweken van planten en telen van gewassen is van oudsher gebaseerd op plantkundige kennis en - waar deze kennis tekortschiet - op gevoel en ervaring, ook wel aangeduid met ‘groene vingers’. Hierbij moet ook worden opgemerkt dat de kennis van plantfysiologie nog veel witte vlekken bevat, bijvoorbeeld wat betreft de werking van hormonen in allerlei plantmechanismen. Om de genoemde doelen te realiseren volgens de oude vertrouwde aanpak van geleidelijke innovatie en ‘trial & error’, vereist derhalve een lange periode van ontdekken en uitproberen. Binnen de ontwikkeling van Het Nieuwe Telen is daarom bewust gezocht naar nieuwe denkkaders om het gedrag van planten en de interactie met klimaat te beschrijven en te verklaren. Dit maakt het mogelijk om de teeltmethoden via een veel snellere route te innoveren en te optimaliseren.

Dit nieuwe denken heeft intussen al meerdere trendbreuken opgeleverd. Zo is schermen altijd gezien als een rem op de verdamping en vochtafvoer. In Het Nieuwe Telen wordt geschermd om de verdamping in de kop van het gewas in stand te houden en gewasgezondheid te bevorderen. Of door vochtbeheersing in de nacht te verbeteren door minder of niet te stoken en hogere nachttemperaturen aan te houden ten opzichte van de buitentemperatuur. Door condensatie en ventilatie wordt vochtafvoer daardoor verbeterd. Dat gebeurt ook door energiebesparing niet te zoeken in teeltmethoden met een lagere temperatuur, maar in combinatie met meerdere energieschermen. Schermen gebeurt in HNT ook om het gewas in balans te houden met een lagere plantbelasting, waardoor hogere (etmaal) temperaturen mogelijk zijn.

2.2 Plantbalansen

Het denken vanuit plantbalansen is een generieke en robuuste manier om het functioneren van planten te verklaren. Het gaat erom te begrijpen waar de plant mee bezig is, zonder in detail te hoeven weten hoe de onderliggende processen precies werken. Alle biochemische processen in de plant staan immers ten dienste om de verschillende balansen in evenwicht te brengen en te houden. Het brengt tevens de noodzakelijke samenhang tussen deze processen naar voren. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen momentane samenhang en korte en lange termijn samenhang.

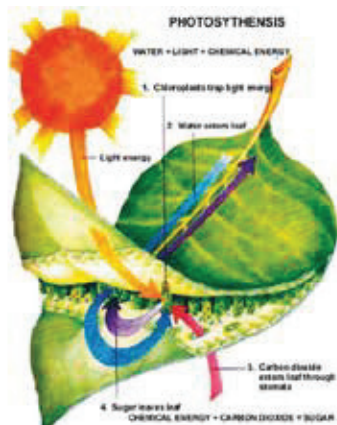
Bij Het Nieuwe Telen is het uitgangspunt dat optimale groei volgt uit een optimale balans tussen alle betrokken plantprocessen. Hierbij worden de plantprocessen gerangschikt in drie plantbalansen:

- **De assimilatenbalans:** het evenwicht tussen de aanmaak en het verbruik van assimilaten.
- **De energiebalans:** het evenwicht van aanvoer en afvoer van energie naar en van het gewas.
- **De waterbalans:** het evenwicht tussen aanvoer en afvoer van water in het gewas.

De huidmondjes spelen een verbindende rol tussen deze drie balansen. Nieuwe inzichten over de werking en rol van de huidmondjes levert nieuwe handvatten op om de plantbalansen optimaal te ondersteunen, onder andere door het regelen van het kasklimaat.

Hierbij gelden de volgende uitgangspunten en overwegingen, zie ook hoofdstuk 2.3 de assimilatenbalansen van de plant:

- De natuur streeft altijd naar evenwicht. Een plant onderscheidt zich onder meer van mens en dier doordat hij zich niet kan verplaatsen. Hierdoor zijn planten van nature zeer goed uitgerust om met sterk wisselende omgevingsfactoren om te gaan. Een plant reageert volgens de natuurwetten. Het is daarom een misverstand dat ons gevoel ook van toepassing is voor het gewas. Sterker nog, wanneer het kasklimaat optimaal is voor het gewas, is de mens de beperkende factor
- Balans creëren kan altijd vanaf twee kanten. Uit gewoonte zien we vaak de andere kant van de balans niet meer. De assimilatenbalans is hier een voorbeeld van. Doelstelling van de klimaatregeling en het gewasmanagement is om het gewas zo veel mogelijk te ondersteunen om die balans te vinden die voor de tuinder het meeste rendement oplevert. Echter door te vaak bijsturen bestaat de kans op verhinderen dat een gewas in balans komt en blijft.
- Alle plantprocessen hangen met elkaar samen. Wanneer we één groeifactor willen veranderen, moeten vaak meerdere factoren mee bewegen om optimale groei te bereiken. In het verleden is vaak alleen naar het effect van één groeifactor gekeken (bijvoorbeeld temperatuur) in plaats van de samenhang tussen alle groeifactoren (zoals plantbelasting en temperatuur). Ook hier is de assimilatenbalans een voorbeeld.
- Plantprocessen worden sterk beïnvloed door de omstandigheden. In het donker zien de plantprocessen die betrekking hebben op de assimilatenbalans er heel anders uit dan wanneer er licht aanwezig is. Bij stijgende instraling reageren de plantprocessen die betrekking hebben op de waterbalans heel anders dan bij dalende instraling. Bij discussies is het daarom van belang om te benoemen welke omstandigheden én welke plantbalansen worden beoordeeld.



Het blad is een combinatie van een zonnepaneel (bovenkant blad) en een koelmotor (onderkant van het gewas). Hiermee is een plant uiterst effectief toegerust om met zeer wisselende klimaatomstandigheden om te gaan. En dat is maar goed ook want een plant is gebonden aan een vaste standplaats en kan dus geen verkoeling zoeken in de schaduw of in het water.

2.3 De assimilatenbalans van de plant



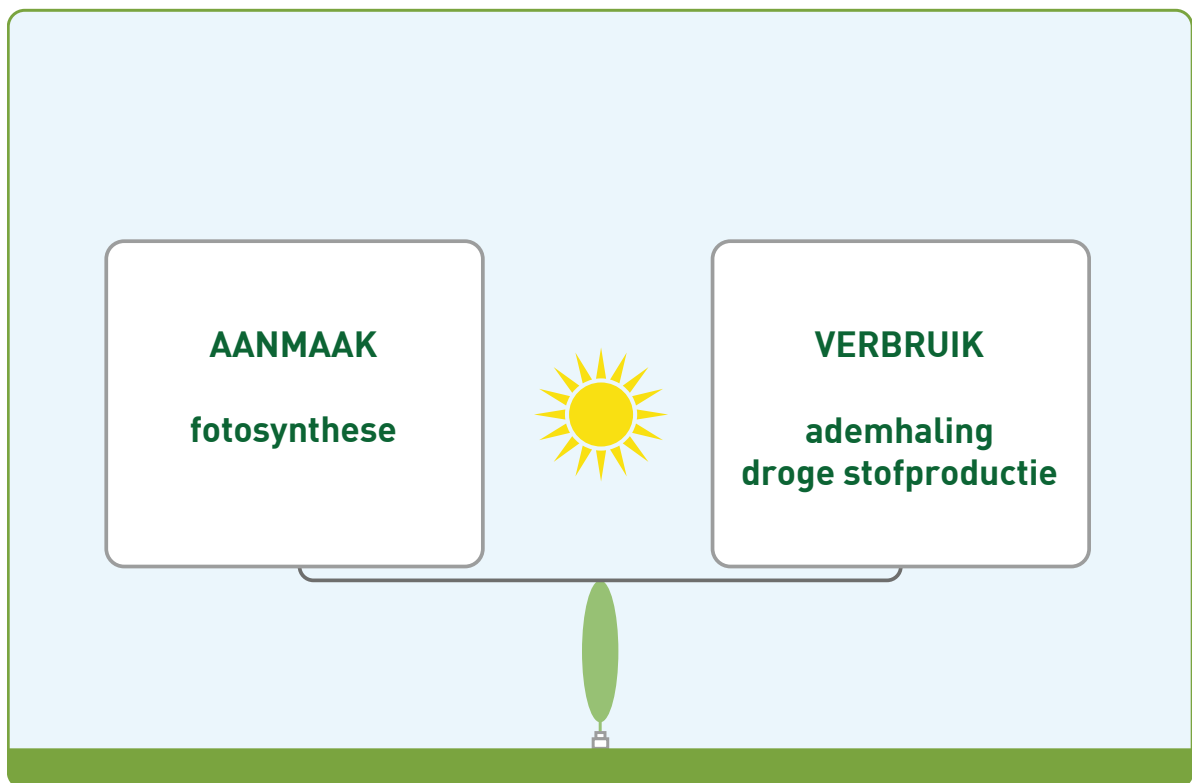
Jan Ingenhousz (Breda 1730-1799), grondlegger van de assimilatenbalans.

Jan Ingenhousz was de eerste die aantoonde dat licht nodig is voor de fotosynthese in planten en dat deze op hun beurt steeds weer nieuwe lucht produceren om in te kunnen ademen. Hij ontdekte dat fotosynthese pas begint te werken wanneer de zon is opgekomen en stopt wanneer de zon ondergaat. Hij bewees ook dat planten de koolstofdioxide, die door mensen en dieren wordt uitgeademd, weer omzetten in zuurstof. Hij bewees dat planten koolstof uit de lucht opnemen en niet, zoals destijds werd gedacht, uit de grond.

Bron: Wikipedia

De assimilatenbalans is het evenwicht tussen de aanmaak en het verbruik van assimilaten. De fotosynthese zorgt voor de aanmaak van assimilaten (suikers). De gevormde assimilaten worden gebruikt om het gewas te laten groeien. In termen van de assimilatenbalans is dit de vorming van drogestof. Voor deze omzetting van suikers in drogestof is energie nodig (groeiaademhaling genoemd). Ook het onderhoud van cellen vergt energie (onderhoudsademhaling). De benodigde energie wordt verkregen door de verbranding van suikers. Verbranding is het proces waarbij zuurstof wordt gebonden aan suiker. Hierbij komt energie en CO_2 vrij. Aan de verbruikskant van de assimilatenbalans staan dus de ademhaling en de drogestofproductie.

Assimilatenbalans



De assimilatenbalans kan in evenwicht worden gebracht vanaf twee kanten, namelijk de aanmaak-kant of de verbruikskant. In de klassieke teeltwijze ligt vreemd genoeg het accent vaak aan de verbruikskant. Onder andere door het verlagen van de temperatuur wordt getracht het (onnodig) verbruik te beperken. Groei, productie en kwaliteit beginnen echter met de aanmaak van assimilaten (suikers), oftewel de fotosynthese. Het Nieuwe Telen legt het accent daarom op de aanmaakkant van de balans; maximale aanmaak van suikers en dus maximale benutting van het licht. Uitgangspunt

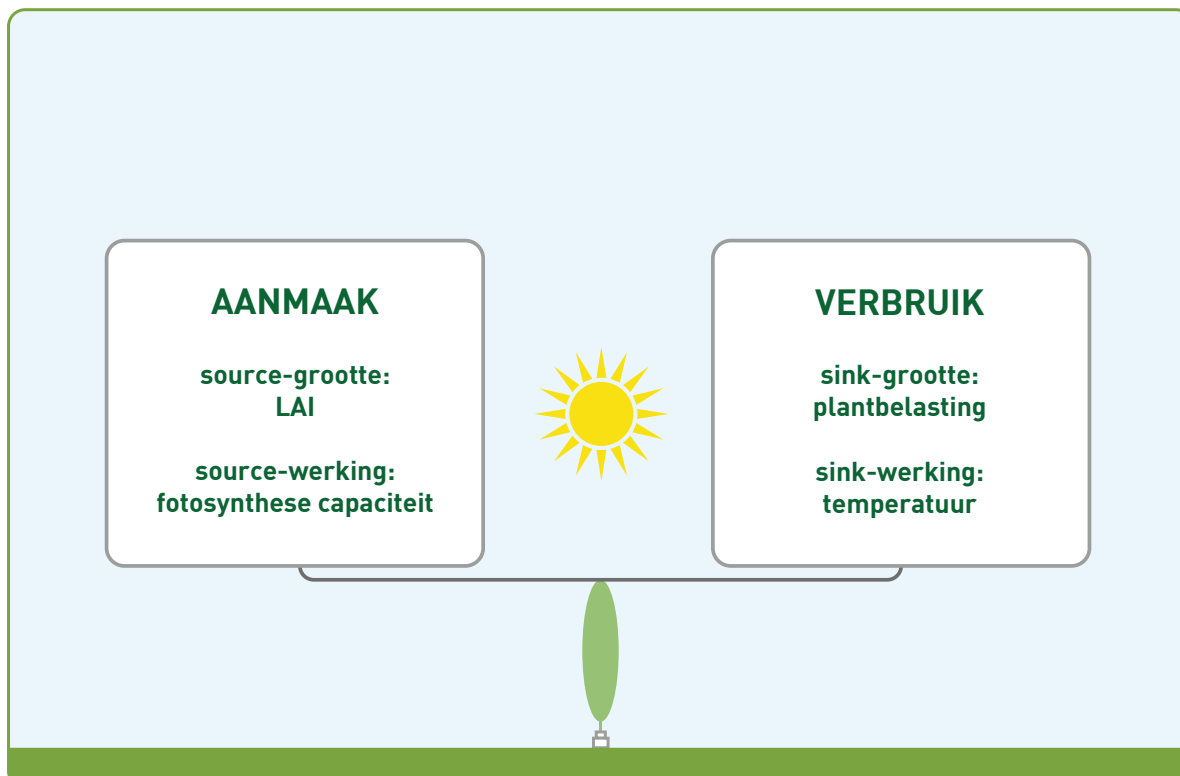
is dat de winst die ontstaat door bevordering van de aanmaak veel groter is dan proberen het verbruik te beperken door de (onderhouds)ademhaling te verlagen met lage temperaturen. Er kunnen overigens voor de teler/ondernemer goede redenen zijn om hiervan af te wijken, bijvoorbeeld door marktomstandigheden, het verkrijgen van een gewenste plantvorm, of wegschermen van licht om te hoge vrucht- of bloem(knop)temperatuur te voorkomen.

2.4 Gewasfactoren en assimilatenbalans

2.4.1 Aanmaak van assimilaten en gewasopbouw

Als licht wordt opgevangen door blad, kan het worden benut voor de fotosynthese. De grootte maar ook de verdeling van het bladoppervlak in de ruimte (gewasarchitectuur) bepaalt de fotosynthesecapaciteit van het gewas. De fotosynthesecapaciteit van een blad wordt bepaald door de hoeveelheid licht die het blad ontvangt. Hoe meer licht op een blad valt, hoe meer chlorofyl het blad blijft vervangen (binnen bepaalde grenzen). Hoe meer licht dus onder in een gewas komt, hoe hoger de fotosynthesecapaciteit is van het totale bladpakket. Dit kan worden bevorderd door een open gewasopbouw, door het licht diffuus te maken of met tussenbelichting.

Assimilatenbalans



De grootte van het bladoppervlak wordt uitgedrukt in m^2 bladoppervlak per m^2 kasoppervlak. Dit is de 'leaf area index', afgekort de LAI. Het bladoppervlak dat netto meer assimilaten aanmaakt dan dat het zelf verbruikt wordt de source (bron) genoemd.

Er wordt nieuw onderzoek gedaan naar de optimale LAI. Hierbij is aandacht voor verschillende omstandigheden en seizoenen, maar ook voor de lichtverdeling en gewasopbouw (gewasarchitectuur). Enerzijds om het licht optimaal te benutten (aanmaak benadering). Anderzijds levert het beperken van het bladoppervlak, waarvan het verbruik van assimilaten hoger is dan de aanmaak, voordeel op voor de productie van vruchten of bloemen. Voor de assimilatenbalans overbodig blad verwijderen, betekent ook een verlaging van de verdamping. Dit is met name in de nacht voordelig voor de vochtbeheersing en resulteert tevens in een energiebesparing.

2.4.2 Assimilatenverbruik en gewasopbouw sinkgrootte en -werking

Alle delen van het gewas waar netto assimilaten worden verbruikt, vormen de sink (afvoer). Jong blad, vruchten, bloemen en wortels behoren tot de sink. Maar ook blad onderin het gewas, dat zo weinig licht opvangt dat het verbruik groter is dan de aanmaak van assimilaten, behoort tot de sink. Dit deel van de plant concurreert dus met de vruchten of bloemen. De hoogte van het verbruik van assimilaten wordt bepaald door twee factoren: ten eerste de grootte van de sink (delen van de plant die netto meer suikers verbruiken dan aanmaken), ten tweede de snelheid van het verbruik oftewel de sinkwerking. De sinkwerking wordt bepaald door de hoogte van de temperatuur. De sterkste sinks aan de plant zijn de vruchten of bloemen (met name bij snijbloemen). De verdeling van assimilaten wordt onder andere bepaald door de temperatuurverdeling tussen de verschillende onderdelen van het gewas. De hoogte van de temperatuur is hier minder van belang. De afstand tussen de sink en de source (het blad) speelt ook een rol. Wortels zijn door de lange transportafstand zwakke sinks.

2.5 Klimaatfactoren en assimilatenbalans

Aanmaak

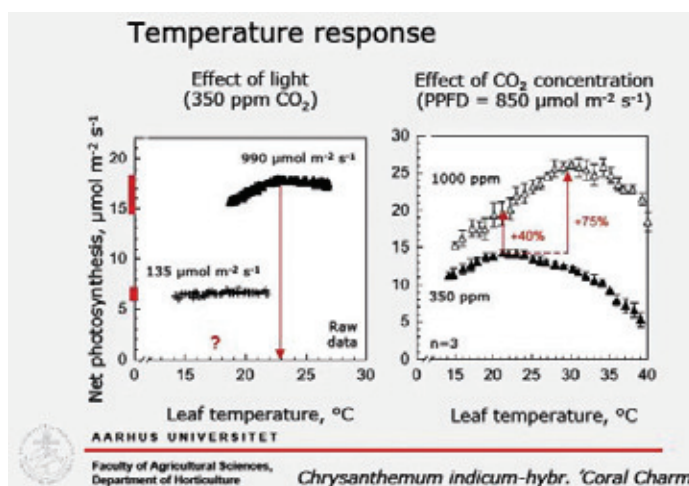
De klimaatfactoren die bijdragen aan de aanmaak van assimilaten zijn: licht, CO_2 , en de luchtvochtigheid. In hoofdstuk 2.7.3 staat de relatie beschreven tussen de luchtvochtigheid en de openingstoestand van de huidmondjes. Hierdoor heeft de luchtvochtigheid een indirect effect - via de opnamecapaciteit van CO_2 door de huidmondjes - op de aanmaak van assimilaten. De fotosynthesesnelheid wordt ook beïnvloed door de temperatuur.

Verbruik

Fotosynthese en ademhaling worden beide beïnvloed door de temperatuur. De drogestofproductie (= groei) is gelijk aan het verschil tussen de fotosynthese en de ademhaling. In de assimilatenbalans kunnen we uitgaan van het temperatuureffect op de drogestofproductie, omdat het hier uiteindelijk om gaat. Hiermee is de temperatuur dus een klimaatfactor die aan de verbruikskant komt te staan.

Temperatuur optimum

De relatie tussen de drogestofproductie en de temperatuur verloopt via een optimumcurve. In het algemeen wordt aangenomen dat de optimale temperatuur voor fotosynthese tussen 22 en 25°C ligt. Uit de assimilatenbalans is af te leiden dat evenwicht wordt bereikt bij een hogere temperatuur als meer licht samengaat met meer CO_2 en een hoge luchtvochtigheid die zorgt dat de huidmondjes open staan. Dit wordt bevestigd in onderzoek dat aangetoond dat bij hoge instraling, hoge CO_2 -concentratie en een hoge RV, de optimum temperatuur opschuift in de richting van 30°C en zelfs hoger.



Bij toenemende CO_2 -concentratie verschuift de optimale temperatuur naar een hogere waarde. Let op: Deze metingen betreft de fotosynthesecapaciteit van een blad. Deze kunnen niet zomaar worden vertaald naar een gewas, omdat hier het verbruik van assimilaten wordt beïnvloed door de gewasomvang, met name de plantbelasting.

In hoofdstuk 2.6.10 wordt beschreven hoe Het Nieuwe Telen met plantbelasting in relatie tot de temperatuur wil omgaan.

2.6 De basis van HNT: multifactorele balansbenadering

‘Een ingeslepen teeltmethodiek is net een bord spaghetti; als je ergens gaat trekken begint het overal te bewegen’

Jan O. Voogt

Bovenstaande uiteenzetting maakt duidelijk dat het voor een optimaal resultaat niet volstaat om één factor te veranderen, maar dat het gaat om de optimale combinatie van meerdere factoren. Wanneer bijvoorbeeld het CO₂-niveau wordt verhoogd, zal de aanmaak van assimilaten stijgen. Om de assimilatenbalans in evenwicht te brengen moet daarom ook de temperatuur worden verhoogd, om tegenover een hogere aanmaak ook een hoger verbruik te zetten. In de grafiek in 2.5 is voor chrysant te zien dat door verhoging van de temperatuur de netto fotosynthese of drogestofproductie geen 40% maar 75% stijgt. In enkele onderzoeken is deze trendbreuk opgepakt. Bovenstaande grafiek komt uit het Intelligrow onderzoek in Denemarken. Maar ook door Wageningen UR is, in het kader van Kas als Energiebron, bij potplantenonderzoek de multifactorele balansbenadering gekozen, met spectaculaire resultaten tot gevolg. Hierin werd gestuurd op meer licht, meer CO₂, hogere RV (aanmaak) in combinatie met het verhogen van de temperatuur (verbruik). Door het licht diffuus te maken werden nog betere resultaten bereikt (onderzoek Het Nieuwe Telen van potplanten, Grip op licht). Dit geeft aan dat ook voor sierteeltproducten deze benadering mogelijk is. De grenzen liggen vaak verder weg dan men denkt. Hoge temperatuur van bloemen kan bij voorkeur worden voorkomen door de directe instraling te verminderen, of het licht diffuus te maken in plaats van ruim te luchten. Bij potplanten vormt de eis van compacte plantvormen soms wel een barrière om de principes van Het Nieuwe Telen toe te passen. Telen met een lagere plantbelasting is hier ook minder van toepassing. Mogelijk biedt hier het telen met een lagere plantdichtheid kansen. Voor snijbloemen kan dit mogelijk worden ingevuld door te telen met een lagere takdichtheid of bloemdichtheid.

2.6.1 Nieuwe kijk op luchten: aanmaak benadering

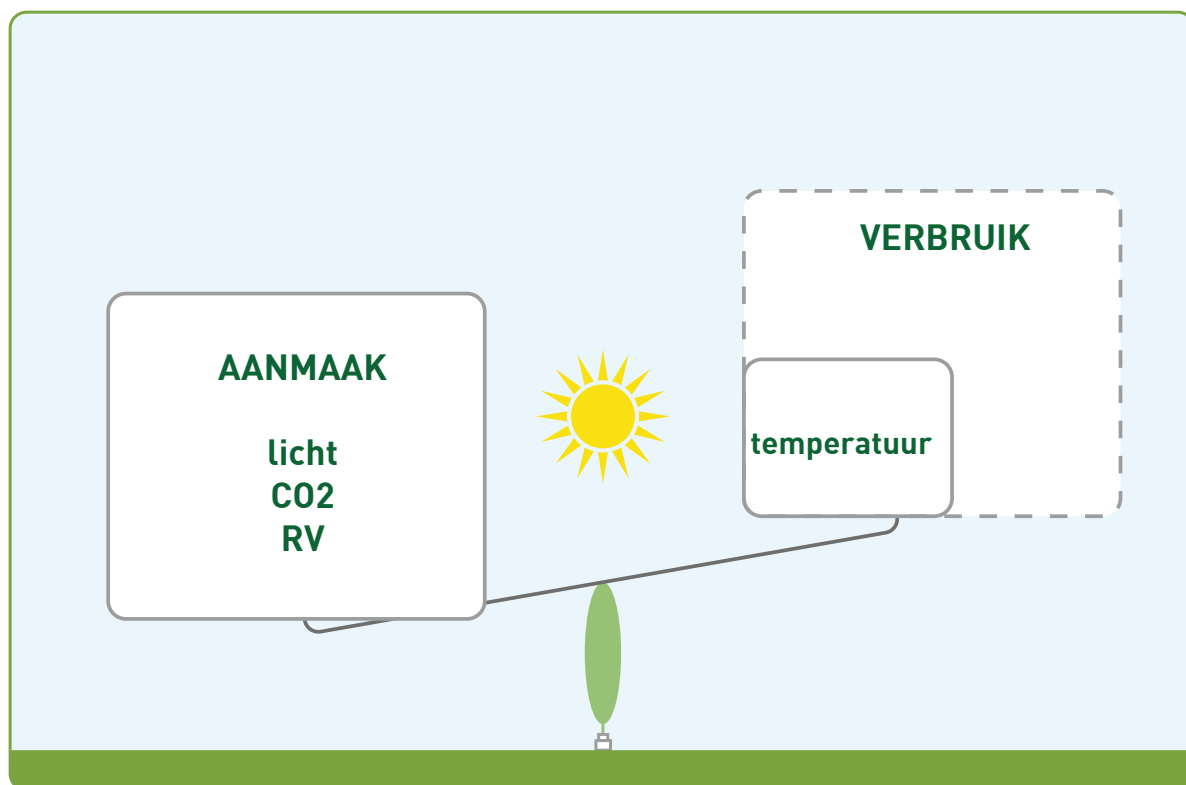


Een kas met wijd open ramen is een beeld dat tot het verleden behoort.

Door de multifactorele balansbenadering is in Het Nieuwe Telen een andere kijk ontstaan op de manier van luchten. Door toenemend licht samen te laten gaan met een hoger CO₂-niveau in combinatie met het behouden van een voldoende hoge luchtvochtigheid kan het gewas het licht optimaal omzetten in assimilaten. Dit kan onder andere worden bereikt door bij toenemend licht zo beperkt mogelijk te luchten. Dat bij een hogere temperatuur toch een krachtig, vitaal gewas ontstaat komt doordat de aanmaak van assimilaten sterk is gestegen. Balans ontstaat zo op een hoog niveau van aanmaak én verbruik van assimilaten. Traditioneel is men gericht op ruim luchten om de kas zo koel mogelijk te houden bij hoge instraling. Deze strategie is dus gericht om het verbruik zo laag mogelijk te houden (verbruik benadering). Doordat er dan ook balans ontstaat, lijkt er geen reden te zijn om

hiervan af te stappen. Echter met deze luchtingstrategie ontstaat balans op een laag niveau. Tegenover een laag verbruik door lage temperatuur staat ook een lage aanmaak van assimilaten. Toenemend licht gaat dan namelijk samen met een laag CO₂-niveau en lage luchtvochtigheid, waardoor de huidmondjes ook nog eens deels sluiten waardoor de CO₂ minder goed wordt opgenomen. Het licht wordt dus niet optimaal benut.

Assimilatenbalans



2.6.2 Nieuwe kijk op temperatuur

In Het Nieuwe Telen is dus een andere kijk op temperatuur ontstaan door onder andere de aanmaak benadering van de assimilatenbalans. Een handvat om hier mee om te gaan is het sturen met de temperatuur-lichtverhouding. Een andere benadering is ook dat het verbruik van assimilaten primair wordt benaderd vanuit de plantbelasting (sinkomvang) in plaats van de temperatuur). En deze plantbelasting kan weer worden gestuurd door onderscheid te maken in de temperatuur op verschillende hoogten in het gewas (verticaal temperatuurprofiel).

Telen bij een lage plantbelasting en hoge temperatuur blijkt vele voordelen te hebben. In hoofdstuk 2.6.10 wordt beschreven hoe op zeven manieren verschillende plant- en kasbalansen optimaler kunnen worden gestuurd door te telen bij hogere temperaturen.

Bij Het Nieuwe Telen leidt een optimaler telen, automatisch tot een energiebesparing. Beide zijn terug te voeren op een betere benutting van het assimilatielicht én de warmte van het natuurlijke zonlicht.

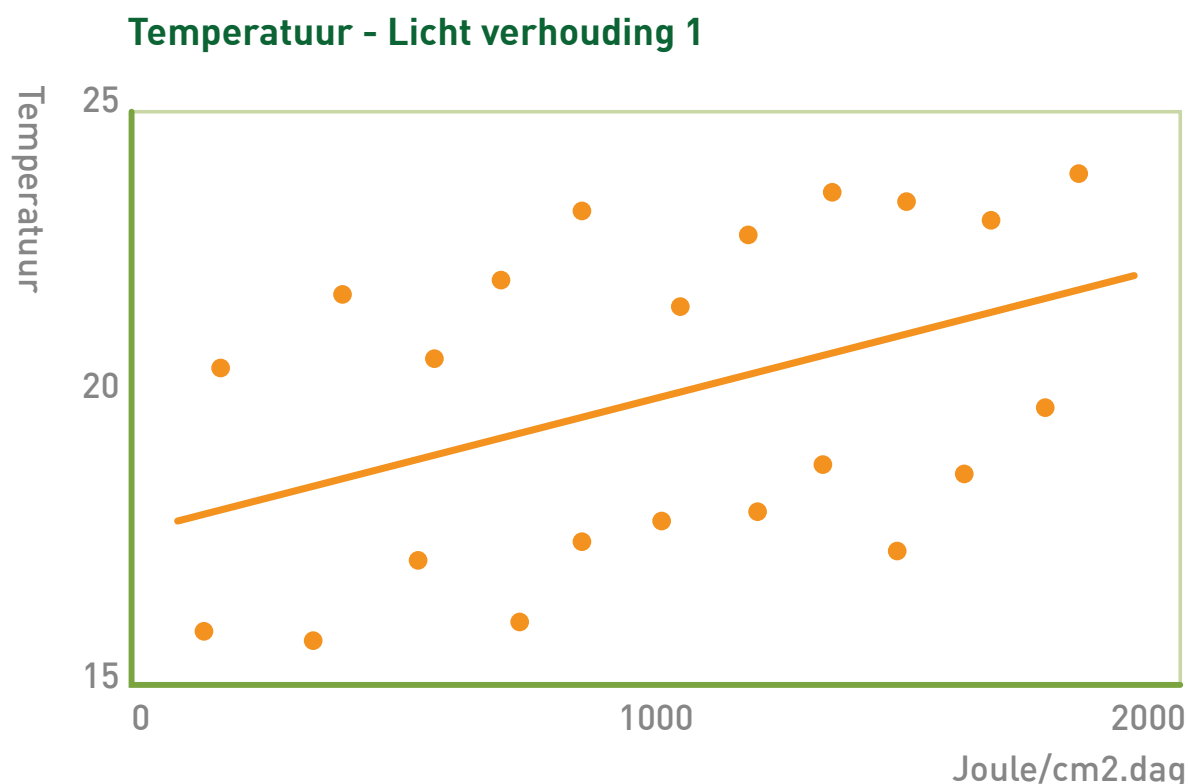
2.6.3 Plantbalans door anticiperen in plaats van corrigeren

De balans van het gewas, oftewel evenwicht tussen aanmaak en verbruik, kan op verschillende manieren worden benaderd. Eén manier is om de klimaatregeling aan te passen aan de stand van het gewas (bijvoorbeeld kopdikte). Het gevolg is dat de balans van het gewas continu wordt aangepast door achteraf te corrigeren. In Het Nieuwe Telen streven we naar een gewas dat in staat is om

elke weersituatie en overgang aan te kunnen. Daarvoor is een gewas nodig dat altijd in balans en vitaal is. Dit kan het beste worden bereikt door vooraf te anticiperen. De basisgedachte hierbij is dat het gewas zelf naar evenwicht zoekt. Door de omstandigheden constant te houden kan het gewas evenwicht vinden en behouden. Een basis om dit met de klimaatregeling te sturen is om elke dag de temperatuur (verbruik) in evenwicht te houden met de hoeveelheid licht (aanmaak van assimilaten). Dit noemen we het telen met een constante temperatuur-lichtverhouding. Het gevolg is dat er regelmatig ontstaat tussen gewasgroei, vruchtgroei of ontwikkeling van bloemen.

2.6.4 Temperatuur-lichtverhouding in de praktijk

De temperatuur-lichtverhouding is een handvat om een basis te leggen voor de plantbalans. Dit kan visueel worden gemaakt in een zogenaamde puntenwolk.



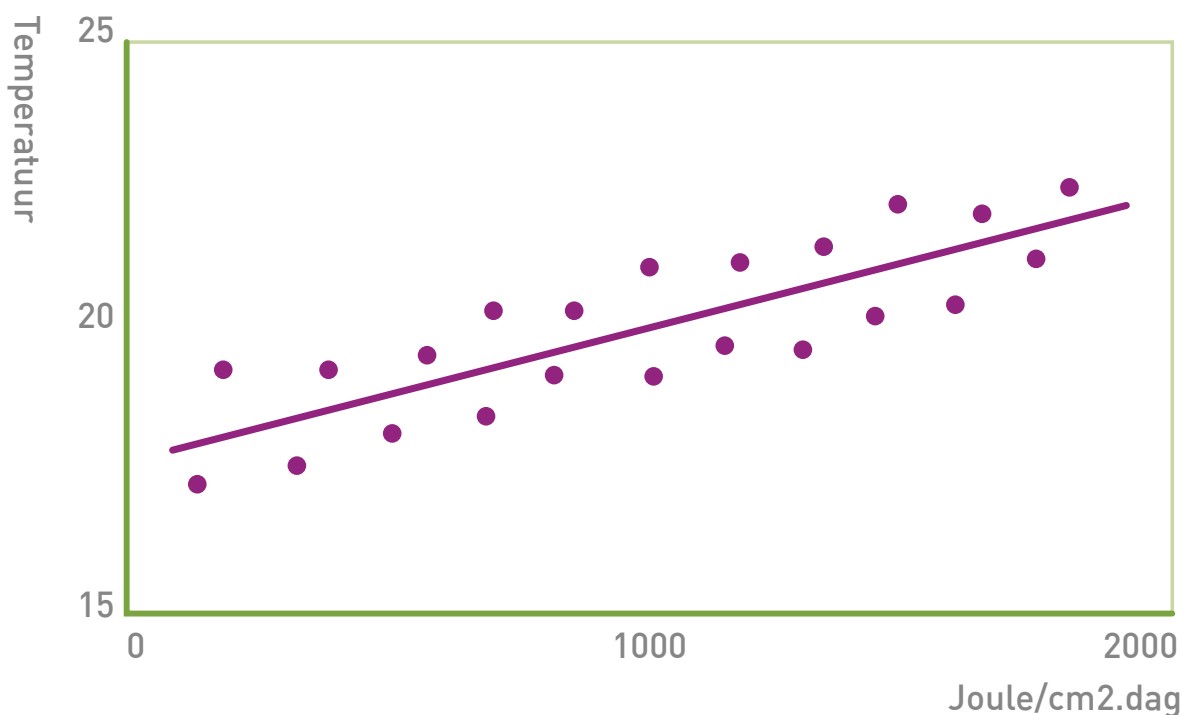
In deze grafiek stelt elk punt een dag voor waarvan op de x-as de lichtsom ($\text{Joule}/\text{cm}^2.\text{dag}$) staat en op de y-as de etmaaltemperatuur ($^{\circ}\text{C}$).

In bovenstaande grafiek wordt op de ene dag met $2000 \text{ Joule}/\text{cm}^2.\text{dag}$ een etmaaltemperatuur van 19°C gerealiseerd, maar op een andere dag 24°C . Tegenover eenzelfde aanmaak staan twee verschillende niveaus van verbruik van assimilaten. Dit creëert dus onbalans in het gewas. Wanneer alle punten dicht op één rechte lijn liggen, is er balans. Dat is de situatie dat er altijd bij eenzelfde lichtsom (aanmaak) dezelfde etmaaltemperatuur (verbruik) wordt gerealiseerd. Door op deze manier elke dag de aanmaak van assimilaten in evenwicht te brengen met het verbruik van assimilaten, kan een gewas in balans worden gehouden. Achteraf corrigeren is dan veel minder aan de orde.

2.6.5 Anticiperend sturen op plantbalans

Hoe komen we nu van corrigeren op onbalans naar anticiperend sturen op balans? Dit kan in een aantal stappen. De eerste stap is om de huidige werkwijze in beeld te brengen door van de eigen situatie een puntenwolk te maken. De lijn die daar doorheen wordt getrokken vormt de basis om plantbalans te creëren door vooraf te anticiperen. De tweede stap is om bewust te werken aan een betere balans. In termen van klimaatregeling komt dat neer op een combinatie van lichtverhoging op de ventilatielijns overdag en een hogere nachttemperatuur na een lichte dag.

Temperatuur - Licht verhouding 2



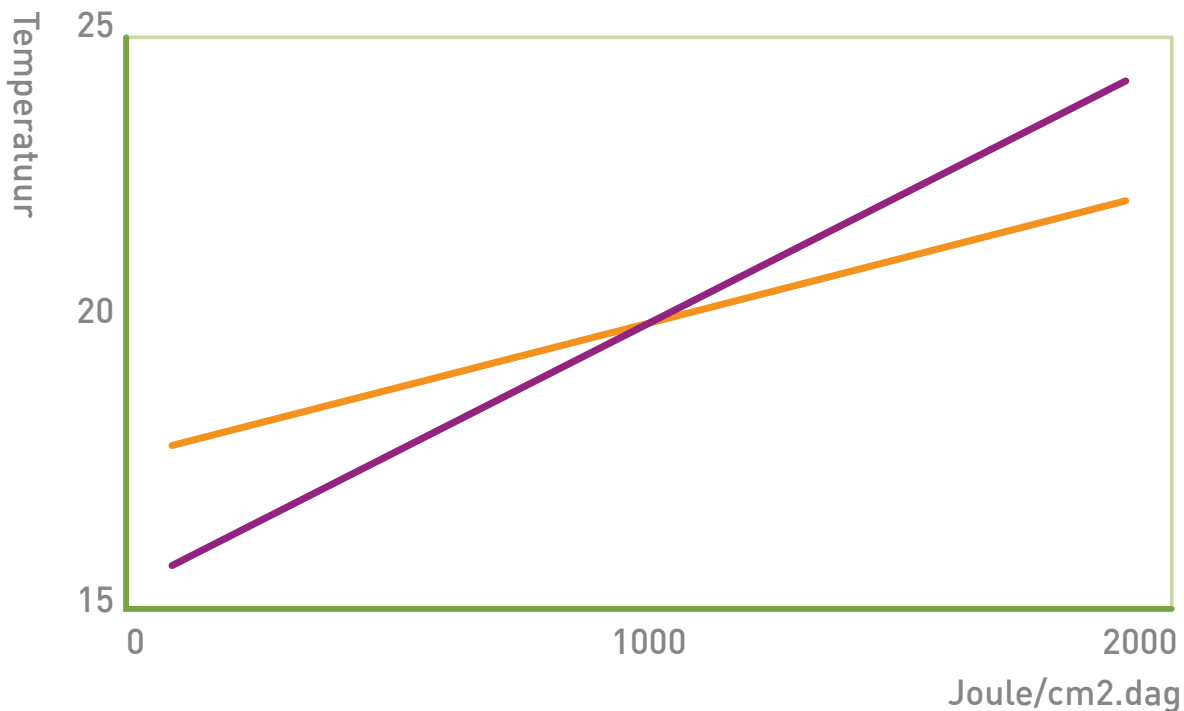
Deze grafiek toont de tweede stap van een praktijkvoorbeeld: Door meer aandacht te besteden aan de relatie lichtsom/temperatuur komen de punten beter op één lijn te liggen.

2.6.6 Meer met de natuur mee telen

De volgende (derde) stap wordt gevormd door meer met de natuur mee te telen. Bij hogere instraling hoort immers normaal gesproken een hogere kasttemperatuur. Om de luchtramen meer gesloten te kunnen houden voor vocht en CO₂ bij veel licht is het dus aan te bevelen om de lijn licht/temperatuur steiler te maken. In onderstaande grafiek is te zien hoe dit toegepast is in de praktijk.

Een andere koers, levert een andere balans op. Onderzoek en praktijkervaringen laten zien dat, wanneer de temperatuur meer wordt gevarieerd met een stijgende of dalende lichtsom (steilere lijn), bij vruchtgroenten een balans ontstaat met een lagere plantbelasting. De voordelen om in balans te telen met een lagere plantbelasting in combinatie met een hogere temperatuur worden in hoofdstuk 2.6.10 toegelicht.

Temperatuur - Licht verhouding 3



In deze grafiek is meer met de natuur mee geteeld (steilere lijn), waarbij bij hogere instraling een hogere etmaaltemperatuur is gerealiseerd en bij lagere lichtsommen een lagere etmaaltemperatuur. Gemiddeld is bij dezelfde temperatuur geteeld, maar wel met een andere plantbalans.

2.6.7 Temperatuur-lichtverhouding per teeltfase

Start van de teelt

De temperatuur-lichtverhouding vormt een handvat om constanter in balans te telen. Dat wil niet zeggen dat de streeflijn onder alle omstandigheden hetzelfde moet zijn. Bij de start van de teelt is het verbruik van assimilaten gering omdat de plantbelasting nog laag is. Daarom kan de streeftemperatuur bij de start van de teelt dus hoger liggen.

Zomer

Naarmate de instraling toeneemt en in de kas het CO₂-niveau en/of de luchtvochtigheid niet meer op peil kunnen worden gehouden, zal hierdoor de aanmaak bij een bepaalde lichtsom lager zijn. Onder die omstandigheden zal het verbruik dus lager moeten zijn door de streeftemperatuur te verlagen. Dit geldt ook wanneer er licht wordt weggeschermd met een coating of beweegbaar scherm. Dit betekent dit dat de temperatuur-licht streeflijn wordt verlaagd.

In de praktijk blijkt dat bewuster omgaan met de temperatuur-lichtverhouding meer balans en betere teeltomstandigheden oplevert in combinatie met een lager energieverbruik. Tevens blijkt dit een goed hulpmiddel om beter om te gaan met de variatie die er tussen de teeltseizoenen van jaar tot jaar optreden. Een veelgehoorde opmerking is dat optimaal telen in de zomer economisch niet rendabel is. De ervaring leert echter dat in balans telen in de zomer wel degelijk in het najaar wordt uitbetaald. Optimale lichtbenutting in de zomer levert een vitaal en krachtig gewas op. Dat is een groot voordeel omdat in de herfst de buitentemperatuur hoog is terwijl het natuurlijke licht snel af neemt.

2.6.8 Plantbalans en het (verticale) temperatuurprofiel

Vaak spreken we gemakshalve over de 'kastemperatuur' en nemen we aan dat deze temperatuur ook geldt voor de (hele) plant. Natuurlijk is het zo dat de werkelijk gerealiseerde temperatuur van blad,

vrucht of groeipunt veel meer zegt over groei, vruchtzetting of afrijping dan alleen de luchttemperatuur gemeten bij de kop van het gewas. Het probleem is dat vrijwel alle kennis over plantengroei is gedocumenteerd in de vorm van luchttemperaturen en slechts zelden in de vorm van planttemperaturen. Laat staan dat de temperaturen van de verschillende zones (wortels, vruchten, kop) hierbij in rekening zijn gebracht.

De plantbalans wordt namelijk ook bepaald door de temperatuurverdeling verticaal in het gewas, naast een constante temperatuur-lichtverhouding (gemeten bij de kop van het gewas). Dit noemen we het temperatuurprofiel. Dit temperatuurprofiel heeft namelijk grote invloed op de verdeling van de assimilaten binnen het gewas. Bij een vruchtgroentegewas wordt de ontwikkeling in de kop bepaald door de temperatuur hoog in het gewas, maar de afrijpingsnelheid wordt bepaald door de temperatuur van de vruchten. Een andere verdeling van de temperatuur bij de kop, ten opzichte van de vruchten, resulteert in een ander evenwicht tussen aanmaak en verbruik, met als gevolg een andere plantbelasting.

Dit effect komt overduidelijk naar voren in kassen waar (een deel van de tijd) van onderaf koele lucht wordt ingeblazen. De afrijping wordt hierdoor vertraagd en de plantbelasting verhoogd ten opzichte van kassen waarin (met luchtramen) van bovenaf wordt gekoeld. Dit is ook een valkuil als door meer isoleren (schermen) de buistemperatuur gemiddeld lager is dan gebruikelijk, waardoor het onderin het gewas (te) koud blijft. Verticale luchtbeweging en/of een groeibuis bij de afrijpende vruchten, kunnen hiervoor een oplossing zijn.

2.6.9 Plantbalans sturen met plantbelasting

‘We kunnen een probleem niet oplossen met de denkwijze die het heeft veroorzaakt.’

Albert Einstein

Omdat vruchten of bloemknoppen (bij snijbloemen) krachtige sinks zijn, wordt de hoogte van het verbruik van assimilaten sterk beïnvloed door de plantbelasting. Hierbij wordt meestal uitgegaan van het aantal vruchten of bloemen per m². De sinkwerking van vruchten en bloemen hangt echter ook af van het ontwikkelingsstadium. In de gewasregistratie is dat echter moeilijk mee te nemen. Een uniforme verdeling van de sinksterkte over de planten is ook nog een factor die van belang is voor de aansturing van de plantbalans.



Eenzelfde verbruik van assimilaten kan worden gerealiseerd met een hoge plantbelasting en lage temperatuur of met een lage plantbelasting en een hoge temperatuur. Het Nieuwe Telen heeft een sterke voorkeur voor deze laatste combinatie. Een hoge plantbelasting heeft namelijk het karakter van een fuik; wie er eenmaal inzit komt er moeilijk weer uit. Een lage temperatuur vertraagt de afrijping waardoor de plantbelasting de neiging heeft om steeds verder op te lopen. Op dat moment is het verhogen van de temperatuur geen goede optie (meer), omdat dit onherroepelijk ten koste gaat van de kwaliteit. De kunst is dus om uit deze fuik te blijven. In het

voorjaar kan dit soms om een hogere buistemperatuur vragen, bijvoorbeeld om in de nacht een voldoende hoge temperatuur te realiseren na een lichte dag.

Een lage plantbelasting heeft dit nadeel niet en biedt tegelijk meer mogelijkheden om onder alle

omstandigheden een krachtig, vitaal en gezond gewas neer te zetten. De temperatuurgrenzen waarbinnen optimaal kan worden geteeld, komen ruimer uit elkaar te liggen. In de praktijk zijn bij vruchtgroenten al ervaringen opgedaan met bijvoorbeeld 10-20% lagere plantbelasting gecombineerd met een 1 à 2 graden hogere etmaaltemperatuur. En dat heeft veel voordelen, zoals in de volgende paragraaf wordt toegelicht.

2.6.10 Telen bij lage plantbelasting en hoge temperatuur

Door te telen bij een hogere temperatuur is het gemakkelijker om verschillende balansen goed te sturen. Deze zullen achtereenvolgens worden beschreven.

Ten eerste: de assimilaten balans van het gewas.

Telen bij een hogere temperatuur betekent dat bij hogere instraling met een kleinere raamstand kan worden gewerkt. Hierdoor wordt het licht beter benut. Deze benadering is aanmaakgericht. De fotosynthese wordt verhoogd doordat de groeifactoren aan de aanmaakkant beter op elkaar kunnen worden afgestemd: een stijgend lichtniveau kan samengaan met een hoger CO₂-niveau (door minder CO₂ verliezen via de ramen) en meer vocht in de kas, waardoor de CO₂ beter door de huidmondjes kan worden opgenomen. Dit is de eerste doelstelling van Het Nieuwe Telen.

In tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, biedt het telen bij lage plantbelasting dus juist uitzicht op een hogere productie. Traditioneel staat juist zo koel mogelijk telen voorop bij hoge instraling en hoge buitentemperatuur. Koel telen door ruim luchten zal tot gevolg hebben dat bij veel licht minder CO₂ en vocht in de kas blijven. De aanmaak van assimilaten zal dan lager zijn. Dan is het ook noodzakelijk dat de temperatuur lager is. Ook dan komt de assimilatenbalans in evenwicht, maar zal de fotosynthese - en dus de totale groei - op een lager niveau blijven.

Ten tweede: de vochtbalans van het gewas overdag, voorkomen van waterstress

Bij hoge instraling wordt de hoogte van de verdamping vooral bepaald door de fluitketelverdamping. (zie hoofdstuk 2.7). Door de luchtvochtigheid voldoende hoog te houden zullen de huidmondjes in staat blijven om open te blijven en dus CO₂ op te blijven nemen. Door de hogere luchtvochtigheid zal de nattebolverdamping lager zijn. Hierdoor kan het gewas makkelijker de waterbalans in evenwicht houden en waterstress voorkomen. Dit kan onder andere worden bereikt door de raamstand te beperken en een hogere temperatuur toe te staan.

Ten derde: de vochtbalans van het gewas in de nacht, vochtherstel voor temperatuur

Op een dag met hoge instraling wordt een deel van het voor de verdamping benodigde water onttrokken aan het gewas (zie hoofdstuk 2.8). Op het einde van de dag en met name tijdens de nacht zal de wateropname nodig zijn om dit te herstellen en de nieuw gevormde cellen te laten strekken. Herstellen van de luchtvochtigheid ondersteunt dit proces doordat onttrekking van vocht door de nattebolverdamping laag wordt gehouden. Het herstellen van de luchtvochtigheid met het beperken van de raamstand heeft in de nacht de voorkeur. Dit moet ook weer niet te snel gaan (maximaal het vochtdeficiet laten dalen met 3 gram/m³.uur) om te snelle opbouw van worteldruk te voorkomen. Ruim luchten voor het verlagen van de temperatuur zal juist een averechts effect hebben, doordat het vochtdeficiet van de kaslucht en daarmee de nattebolverdamping hoog blijft. Hierdoor herstelt de vochtbalans onvoldoende en zal het gewas de volgende dag zwakker beginnen.

Ten vierde: de energiebalans van de kas overdag, de negatieve spiraal

De kas koelen door middel van ventileren is het meest effectief als het verschil van de energie-inhoud (enthalpie) van de kaslucht en de buitenlucht groot is (hoofdstuk 3.4). Wanneer door ruim luchten de luchtvochtigheid snel daalt, zal de energie-inhoud van de kaslucht snel dalen. Hierdoor wordt het

verschil van de enthalpie tussen de kaslucht en buitenlucht kleiner. Om nu de aangevoerde energie van de zon weer uit de kas af te voeren, zullen meer m³ kaslucht moeten worden afgevoerd. Dit kan alleen door nog meer te luchten. De luchtvochtigheid zal vervolgens nog verder afnemen - en daarmee de energie-inhoud van de kaslucht - waardoor nog meer moet worden uitgewisseld. Zo ontstaat een negatieve spiraal. Doordat een hogere luchtvochtigheid zorgt voor een hogere energie-inhoud van de kaslucht kan dezelfde energie met een lager ventilatievoud worden afgevoerd. Juist met een beperkte raamstand en een hoge luchtvochtigheid kan de temperatuur van de kaslucht beter worden gestuurd. Een lage plantbelasting biedt meer mogelijkheden om de energiebalans van de kas te beheersen, omdat kan worden geteeld met een hogere temperatuur met een kleinere raamstand.

Ten vijfde: de energiebalans van de kas gedurende de nacht

Het telen bij hogere nachttemperatuur biedt meer ruimte om met het energiescherm de kas te isoleren. Meer schermuren betekent meer mogelijkheden om een hoge temperatuur te realiseren met minder energie. Dit is een van de kernpunten van Het Nieuwe Telen, dat juist in de seizoenen met gratis zonne-energie mogelijkheden biedt om energie te besparen door te telen bij hogere temperatuur.

Ten zesde: de vochtbalans van de kas gedurende de nacht

Vocht afvoeren kan op twee manieren gebeuren: door condensatie en door ventilatie. Beide manieren van vochtafvoer zijn makkelijker bij een hogere kastemperatuur. Naarmate de kastemperatuur hoger is zal deze meer vocht bevatten. Hierdoor kan meer vocht worden afgevoerd door middel van condensatie tegen het koude kasdek. De vochtafvoer door middel van ventilatie wordt bepaald door de ventilatiesnelheid en het verschil in absoluut vocht van de kaslucht en de buitenlucht (gr/m³). De ventilatiesnelheid is naast de wind afhankelijk van het temperatuurverschil tussen de kaslucht en de buitenlucht (schoorsteeneffect). De hogere kasluchttemperatuur bevordert dus de vochtafvoer door de luchtramen op twee manieren: een groter absoluut vochtverschil met de buitenlucht in combinatie met een hogere uitwisselingsnelheid door middel van het schoorsteeneffect. Met name wanneer de buitenluchttemperatuur hoog is (zomer, najaar) biedt het telen bij een hogere temperatuur meer ruimte om energiezuinig vocht te beheersen gedurende de nacht.

Ten zevende: minder condensatierisico op vruchten of bloem(knoppen)

In een stijgend temperatuurtraject ijlen de vruchten of bloem(knoppen) na in temperatuur ten opzichte van de kaslucht, omdat dit de onderdelen van de plant zijn met de meeste massa. Door het aanhouden van een hogere nachttemperatuur zullen de vruchten of bloem(knoppen) minder ver afkoelen in de nacht. Dit heeft tot gevolg dat ze in de ochtend dus ook minder hoeven worden opgewarmd, waardoor het najl effect minder of niet aanwezig is. Op het moment dat de instraling en dus de temperatuur van de kas sterk stijgt, is daardoor het risico van condensatie op de vruchten in de ochtend minder aanwezig.

2.6.11 Discussie over hoge teelttemperatuur

'Hoe warmer ik teel, hoe sterker het gewas wordt'

Mark van der Werf (Greenco)

Over de mogelijkheden van het toepassen van hogere teelttemperaturen is veel discussie. Natuurlijk zal er voor elk type gewas - en ook voor de verschillende teeltdoelstellingen - zorgvuldig moeten worden gekeken welke effecten een hogere teelttemperatuur kan hebben op het teeltresultaat als geheel. Voor vruchtgroenten zal deze denkrichting wellicht meer perspectief bieden dan voor bijvoor-

beeld bepaalde potplanten. Voor wie een gedrongen en afgeharde plant wil afleveren ligt een hogere teelttemperatuur niet direct voor de hand.

Een veel gehoord bezwaar is dat hogere temperaturen problemen kunnen geven in de groei en ontwikkeling van planten. Zoals de zetting of de knopvorming. Bij chrysant is bijvoorbeeld de algemene ervaring dat hoge temperatuur vaak leidt tot bloeivertraging en sommigen menen dat dit een hormonen kwestie is. Ook bij freesia komen dergelijke effecten voor. Hierbij moeten we wel bedenken dat in de huidige praktijk een hoge temperatuur vaak ook gepaard gaat met hoge instraling en lage RV en dus met waterstress. Het is kortom lang niet altijd duidelijk of alleen de hoge temperatuur de oorzaak is van afwijkingen en of dit probleem wellicht door een andere combinatie van groeifactoren kan worden opgelost. Meer onderzoek is daarom gewenst.

2.7 De energiebalans van de plant



Onderzoekers Jan Voogt en Peter van Weel hebben in 2006/2007 het gedrag van huidmondjes vanuit de energiebalans van de plant in kaart gebracht. Tot dan toe werden een aantal belangrijke factoren van de energiebalans ten onrechte genegeerd of onderschat, met name de convectieve warmteoverdracht en de langgolvlige warmtestraling.

Een plant heeft niet de mogelijkheid om zich te verplaatsen en is daarom zeer goed uitgerust om zelfs met zeer grote aanvoer van energie om te gaan. Het evenwicht tussen aanvoer en afvoer van energie noemen we de energiebalans van de plant. Op deze energiebalans is de algemene Wet van Behoud van Energie volledig van toepassing. De plant is net als elk ander lichaam of object onderhevig aan de wetten van de natuurkunde.

De aan- en afvoer van energie kan op twee verschillende manieren plaatsvinden:

- **Straling:** dit is warmteoverdracht zonder rechtstreeks contact of via een medium. Hierbij maken we onderscheid tussen kortgolvlige straling die wordt geleverd door de zon of door assimilatiebelichting en langgolvlige warmtestraling die het gevolg is van temperatuurverschillen tussen objecten.
- **Convectie:** dit is warmteoverdracht via de lucht. Een gewas ontvangt warmte via convectie door contact met de kaslucht die warmer is dan het blad. Een gewas kan ook warmte afstaan aan de kaslucht via convectie als het blad warmer is dan de kaslucht.

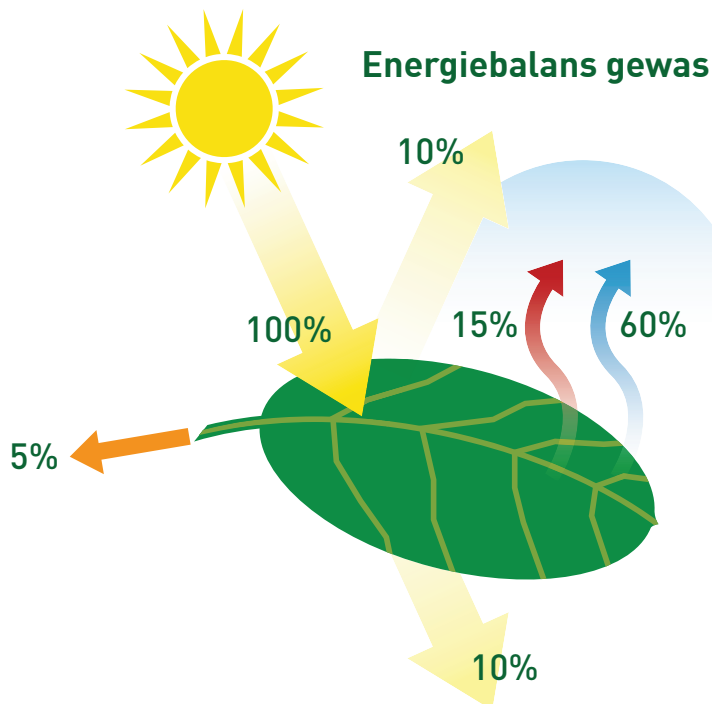
De kortgolvlige straling is normaal gesproken voor de plant altijd een toevoer van energie. De lang-

golvige straling kan energie toevoeren als de plant kouder is dan de omgeving, maar ook afvoeren indien de plant warmer is dan de omgeving, zoals de bodem, het kasdek of het energiescherm. Deze vorm van energieverlies wordt ook wel uitstraling genoemd. De langgolvige straling kan dus net als de convectie aan beide kanten van de energiebalans voorkomen. De sluitpost is dan de verdamping. Verdamping kan alleen plaatsvinden als er een netto overschot op de energiebalans is.

2.7.1 Energie en verdamping

Omdat voor de verdamping van water enorm veel energie nodig is (circa 2500 kilo Joule per kg) is dit een krachtig instrument voor de planten om grote hoeveelheden energie, met name door de instraling van de zon, te kunnen 'absorberen' en af te voeren. Het is dus heel voor de hand liggend om het verdampingsproces te benaderen vanuit de energiebalans. Door alle componenten van de energiebalans in beschouwing te nemen, komen we tot verrassende 'nieuwe' inzichten rond de gewasverdamping. Juist ook in situaties waarbij de plant in moeilijkheden komt door een te hoge verdamping, of bij het stagneren van de verdamping.

Lange tijd is in de verdampingsmodellen aangenomen dat de planttemperatuur altijd ongeveer gelijk is aan de luchttemperatuur. Hierdoor is de convectieve warmteoverdracht over het hoofd gezien. Bij potplanten ontdekte men echter dankzij de infrarood planttemperatuurmeter dat de bladtemperatuur soms wel 5°C hoger kan zijn dan de ruimte temperatuur. Bij een dergelijk groot temperatuurverschil en een groot warmte-uitwisselend oppervlak is de convectieve warmteoverdracht aanzienlijk. En dit stelt weinig verdampende planten in staat om zich voldoende te koelen. Anderzijds heeft een gewas als tomaat vaak een bladtemperatuur die 1°C lager ligt dan de omringende lucht. Via convectie wordt dan extra energie opgenomen uit de kaslucht waardoor de verdamping extra zal worden vergroot. Verder is ook het energieverlies door langgolvige uitstraling lange tijd buiten beschouwing gebleven. Dit heeft in de praktijk verkeerde inzichten en werkwijzen voortgebracht.



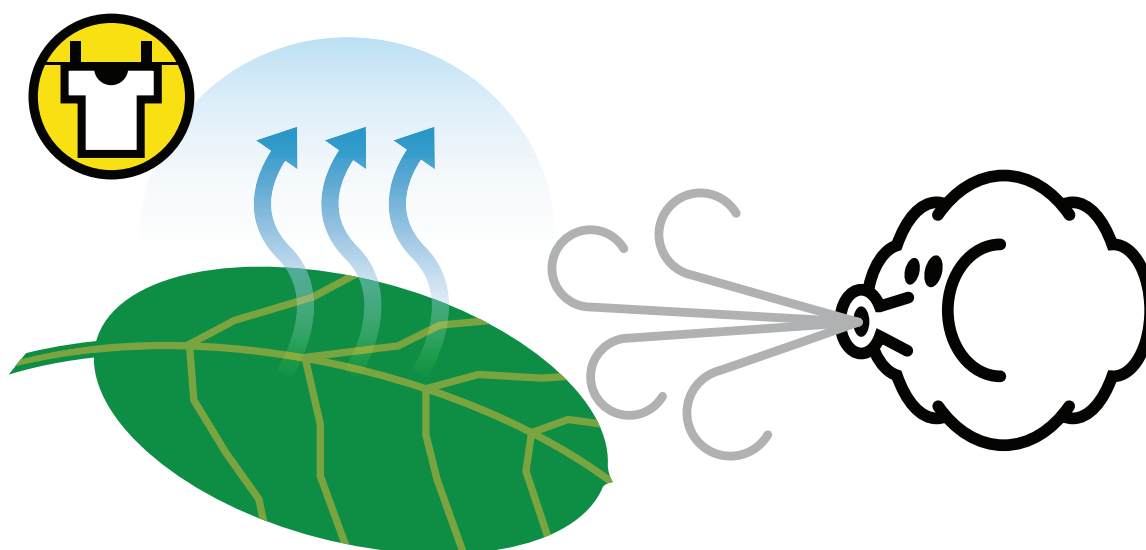
Verdamping benaderd vanuit de 'externe' energiebalans. Dit is gerechtvaardigd omdat dan alle energie die nodig is voor de verdamping van buitenaf komt.

Toelichting pijlen: oranje= fotosynthese, geel= reflectie en transmissie, rood= convectieve warmteafgift (blad is warmer dan kaslucht) en blauw= verdamping. De uitstraling is in dit geval weggelaten.

2.7.2 Verdamping in twee vormen

We kunnen de energiebalans opstellen voor de plant als geheel, maar net zo goed voor één blad of zelfs een klein deel van een blad of elk ander onderdeel van de plant. Uit het bovenstaande volgt dan dat verdamping alleen mogelijk is bij een overschot op de energiebalans en dat dit overschot op twee verschillende manieren kan ontstaan, namelijk door straling en/of door convectie. Voor de volledigheid moet worden opgemerkt dat de plant zelf geen energie kan leveren voor de verdamping. Alle energie moet dus van buiten komen. Het verdampingsproces is voor de plant een volledig passief proces. De plant hoeft hier géén suikers voor te verbranden. Daarmee is de hoogte van de verdamping ook volledig onafhankelijk van de planttemperatuur. Het temperatuurverschil tussen het blad en de kaslucht is wel van belang. Dit bepaalt onder andere de hoogte van de energietoevoer via convectie.

Natte bol



Voor het praktisch begrip worden de twee vormen van verdamping apart benoemd, namelijk de stralingsverdamping of fluitketelverdamping, en de convectieverdamping of nattebolverdamping. Dit omdat verdamping als gevolg van instraling te vergelijken valt met een fluitketel op een gasbrander, en convectieverdamping overeenkomt met het proces dat zich afspeelt in een meetbox rond een natte bol voeler. Beide vormen van verdamping kunnen zowel afzonderlijk als in combinatie optreden, afhankelijk van de omstandigheden rond de plant en de waterbalans in de plant.

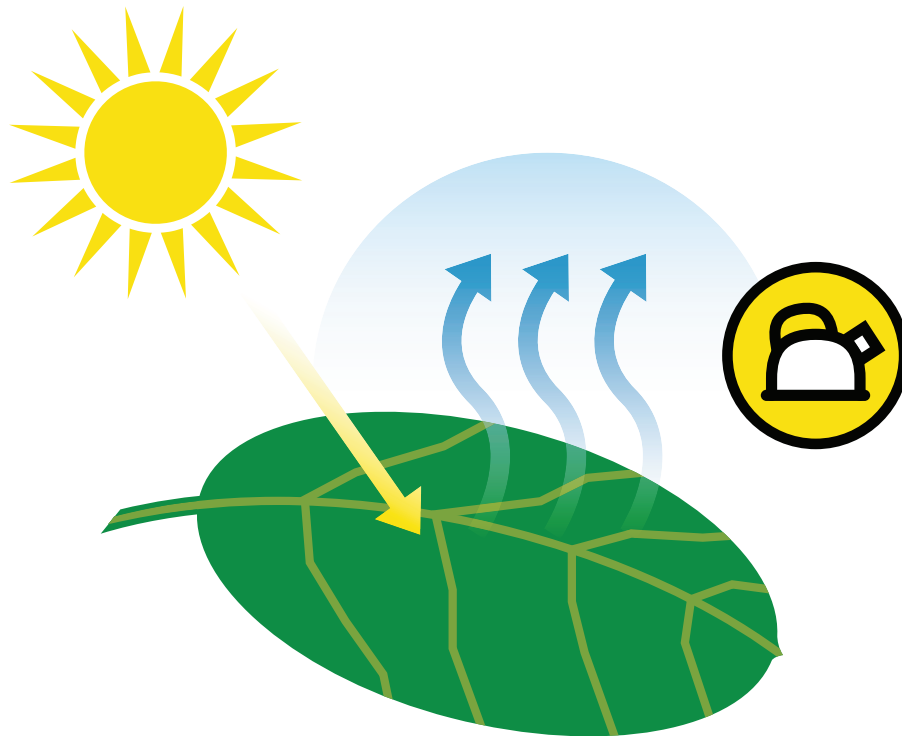
Nattebolverdamping of convectieverdamping

Dit is de manier van verdampen waar we mee vertrouwd zijn. Nieuw is echter om uit te gaan van de energietoevoer. Voorwaarde voor nattebolverdamping is om te beginnen dat de planttemperatuur lager is dan de kasluchttemperatuur. Dit kan alleen als de natteboltemperatuur van de kaslucht lager is dan de kastemperatuur en vereist dat de RV lager is dan 100%, ofwel het vochtdeficit (VD) hoger is dan 0. Verder moet er luchtbeweging zijn die er voor zorgt dat de aanvoer van warme lucht en de afvoer van vocht in stand worden gehouden.

Let op: een vochtdeficit van bijvoorbeeld 3 gram/m³ gemeten in de meetbox is dus geen garantie voor verdamping als er rond de plant geen luchtbeweging is. Verder is het een misverstand dat de verdamping afhankelijk is van de hoogte van de temperatuur. Het gaat uitsluitend om het temperatuurverschil tussen het blad en de kaslucht.

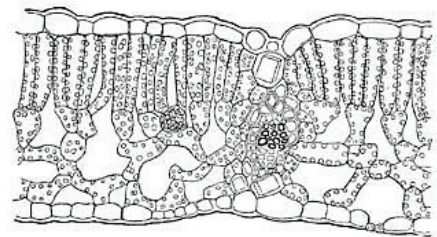
In een evenwichtssituatie is de bladtemperatuur stabiel en zal de afvoer van energie door verdamping gelijk zijn aan de toevoer van energie door convectie. In stilstaande lucht is er geen toevoer van energie, de verdamping stopt en de planttemperatuur wordt gelijk aan de luchttemperatuur.

Fluïtketel



Fluïtketelverdamping of stralingsverdamping

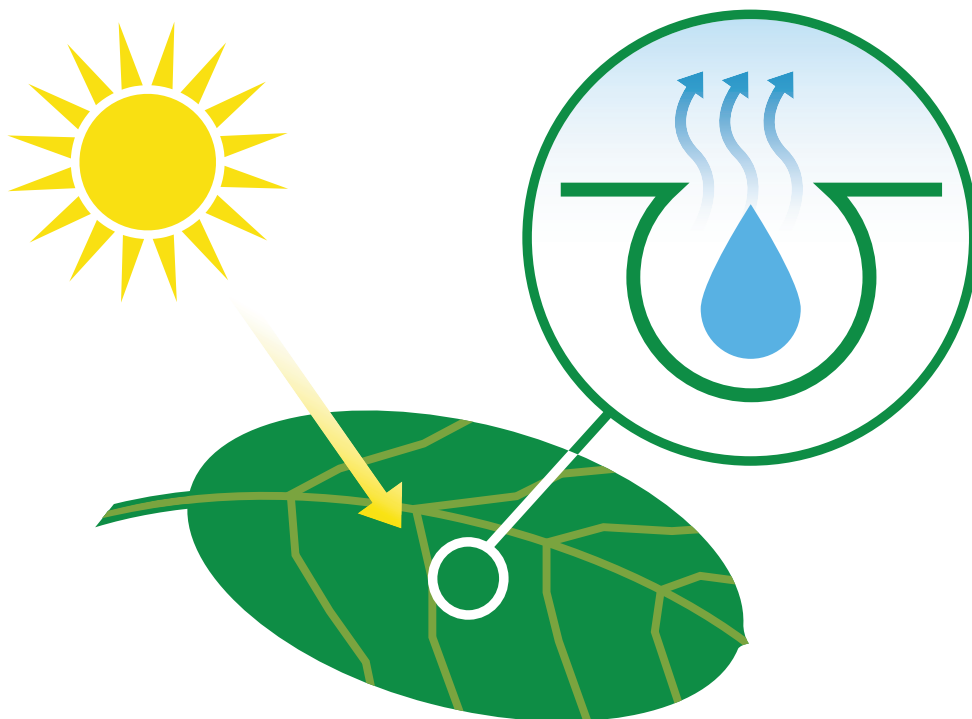
De onderkant van het blad is opgebouwd uit ronde cellen (sponsparenchym) waardoor een grote, inwendig verdampende oppervlakte aanwezig is. Als het blad wordt opgewarmd via straling zal inwendig water verdampen waardoor de waterdampdruk in het blad groter wordt dan de dampdruk in de kaslucht. Hierdoor zal de waterdamp via de huidmondjes het blad verlaten. In een evenwichtssituatie is de bladtemperatuur stabiel en zal de afvoer van energie door verdamping gelijk zijn aan de toevoer van energie door straling.



Het verschil in waterdampdruk tussen het blad en de kaslucht wordt VPD (Vapour Pressure Difference = dampdrukverschil) genoemd en wordt uitgedrukt in kilo Pascal (kPa), zie figuur. Wanneer de huidmondjes gaan sluiten als gevolg van (dreigend) watergebrek zal de dampdruk in het blad stijgen en daarmee ook de VPD. We kunnen de VPD als volgt bepalen. Met behulp van een planttemperatuurmeter (infraroodmeter) wordt de planttemperatuur bepaald. Hiermee kan de VP (Vapour pressure = dampdruk) in de plant worden berekend door aan te nemen dat de RV in de plant altijd 100% is. Uit de kasluchttemperatuur en de RV kan ook de VP in de kaslucht worden berekend. De VPD is het verschil tussen de dampdruk in het blad en de kaslucht.

Voor een normaal gezond gewas onder normale omstandigheden varieert de VPD tussen circa 0,2 en circa 1 kPa. Een VPD > 0 is een voorwaarde voor verdamping. Bij hogere verdampingsnelheden moet ook de VPD iets toenemen, omdat er immers meer waterdamp door dezelfde opening moet worden afgevoerd. Als de VPD echter toeneemt bij gelijkblijvende verdamping, dan komt dat door een gedeeltelijk sluiten van het huidmondje. Een VPD waarde boven 1,5-2 kPa wijst, afhankelijk van het type gewas en de omstandigheden, vaak op waterstress. De hoogte van de fluitketelverdamping is rechtstreeks gecorreleerd aan de hoogte van de instraling die voor de energietoevoer zorgt. Dit levert het nieuwe inzicht op dat bij instraling de verdamping grotendeels onafhankelijk is van de luchtvochtigheid, kasttemperatuur en luchtbeweging.

Huidmondje lage VPD



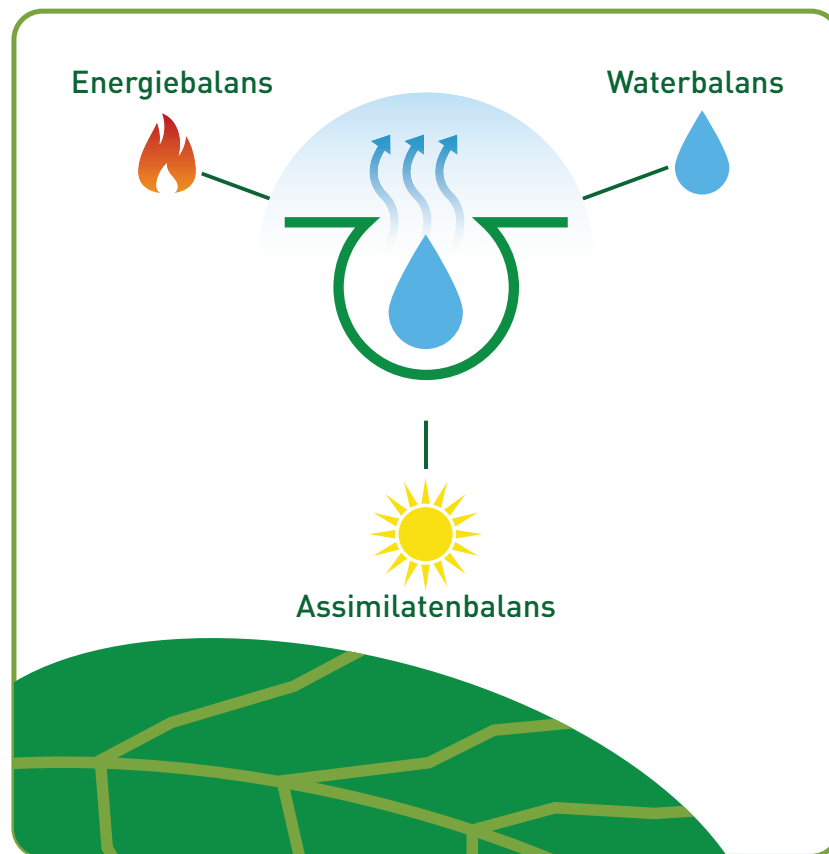
2.7.3 De rol van de huidmondjes

Het is algemeen bekend dat de plant in staat is om met de opening van de huidmondjes de verdamping te regelen. Over de manier waarop dit werkt bestaan echter veel misverstanden. In lijn met het bovenstaande kunnen we de huidmondjes opvatten als de klep van de fluitketel. Hoe minder ver de klep is geopend, hoe hoger de dampdruk in de fluitketel moet zijn om waterdamp naar buiten af te voeren. Voor een hogere dampdruk in het blad is echter een hogere bladtemperatuur nodig. In feite regelt de plant met de openingstoestand van de huidmondjes dus de bladtemperatuur en daarmee het verschil met de kasluchttemperatuur en daarmee weer de aan- of afvoer van energie als gevolg van convectie. Een nadere beschouwing van dit proces.

De uitgangssituatie is dat de plant voldoende water beschikbaar heeft voor zowel de stralingsverdamping (fluitketel) en de convectieve verdamping (natte bol). De bladtemperatuur zal lager zijn dan de luchttemperatuur. De energiebalans ziet er dan (vereenvoudigd) als volgt uit:

$$\text{verdampingsenergie} = \text{stralingsenergie} + \text{convectie-energie}$$

Huidmondje is regelorgaan 3 plantbalansen



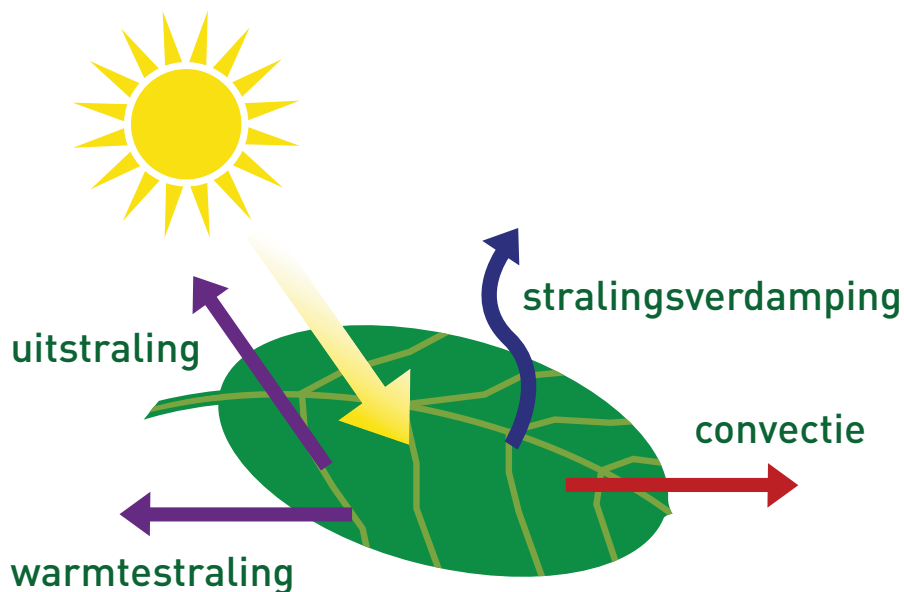
Het huidmondje is het centrale regelorgaan van de plant waarmee de verschillende balansen met elkaar in verbinding staan.

Als er watertekort dreigt zullen de huidmondjes hierop reageren. Wanneer de huidmondjes meer gaan sluiten zal direct de verdamping verminderen en daardoor de bladtemperatuur stijgen. Het verschil met de kasluchttemperatuur zal dus afnemen en er wordt minder convectieve energie toegevoerd. Hierdoor neemt de nattebolverdamping af, waardoor de plant de gelegenheid krijgt om de waterbalans te herstellen. Als dit onvoldoende is, zullen de huidmondjes nog verder gaan knijpen en zal vervolgens de bladtemperatuur zelfs boven de kasluchttemperatuur gaan uitkomen. Dan wordt er warmte via convectie afgevoerd en de energiebalans verandert in:

$$\text{verdampingsenergie} = \text{stralingsenergie} - \text{convectie energie}$$

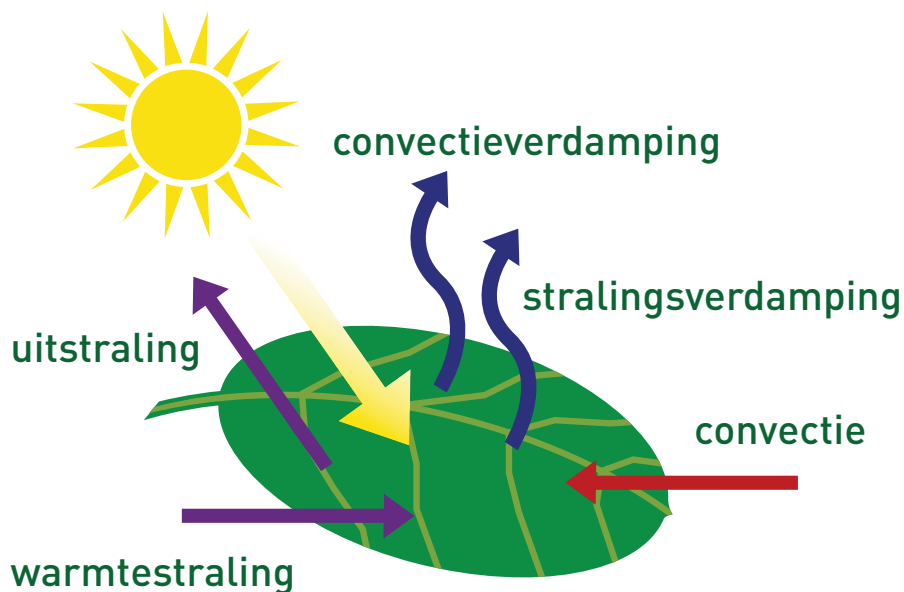
Hoewel de convectie-energie in W/m^2 in vergelijking met hoge instraling klein is, hebben we te maken met een aantal factoren die het effect aanzienlijk versterken. Namelijk het feit dat het bladoppervlak groter is dan het kasoppervlak (LAI), dat convectie zowel aan de bovenkant als aan de onderkant van het blad plaatsvindt en het feit dat de convectietoevoer omslaat in afvoer. Hiermee heeft de plant dus per saldo een krachtig middel om de eigen energiebalans en daarmee de waterbalans te regelen en in evenwicht te houden. Afhankelijk van onder andere luchtbeweging, de vorm en de stand van de bladeren kunnen we de convectie schatten op ongeveer $10\text{-}20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ voor elke m^2 blad. Het bladoppervlak is groter dan het kasoppervlak. Deze LAI (Leaf Area Index) bedraagt voor tomaat en roos bijvoorbeeld 3-4 en voor paprika 5-7. De effectieve convectieve warmteoverdracht voor een volgroeid tomatengewas ligt in de praktijk daardoor rond circa $50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ voor elke m^2 kas.

Energiebalans van een blad warmer dan de kaslucht



Als het blad warmer is dan de kaslucht wordt het blad gekoeld door stralingsverdamping (fluitketel), convectie afgifte, warmtestraling naar de omgeving en uitstraling naar het kasdek.

Energiebalans van een blad kouder dan de kaslucht



Als het blad kouder is dan de kaslucht draait de richting van de warmtestraling en van de convectie om. De verdamping wordt dan hoger omdat de component convectieverdamping erbij komt. De uitstraling draait niet om van richting omdat het kasdek nog steeds kouder kan zijn dan het blad.

Voorbeeld tomaat in praktische gevallen

Een bladtemperatuur die 1°C hoger is in plaats van 1°C lager dan de kastemperatuur kan de energie stroom veranderen van $+ 50 \text{ W/m}^2$ toevoer in $- 50 \text{ W/m}^2$ afvoer. Een verschil van circa 100 W/m^2 . Bij een instraling van 500 W/m^2 in de kas, varieert de hoogte van de verdamping dus 20% afhankelijk van de stand van de huidmondjes. En dat is voor de plant juist het verschil tussen maximale fotosynthese en groei met de huidmondjes volledig open, of overleven in waterstress met de huidmondjes maximaal geknepen.

2.7.4 Monitoren van de energiebalans met de planttemperatuurmeter

Met de planttemperatuurmeter (ook wel aangeduid als infraroodcamera) kan de energiebalans van het gewas worden gemonitord. De infraroodsensor geeft een gemiddelde temperatuur over het oppervlak dat door de lens wordt 'gezien'. Dit kan een klein gebied zijn van enkele vierkante centimeters, maar aanbevolen wordt om te meten over een groter oppervlak van enkele vierkante meters. De gemeten bladtemperatuur ten opzichte van de kaslucht temperatuur in combinatie met de instraling geeft inzicht in de koelcapaciteit van het blad. In relatie met de kascondities kan hieruit zelfs de gemiddelde stand van de huidmondjes worden afgeleid. Op dit principe zijn de meeste Porometers (bepaling van de huidmondjesgeleiding) en ook de online Stomata sensor van LetsGrow.com gebaseerd.

Vaak worden uit deze metingen echter ook conclusies getrokken omtrent de ontwikkelingssnelheid van het gewas en dus de assimilatenbalans. De ontwikkeling vindt echter vooral in de kop van het gewas plaats en staat dus grotendeels los van de gemiddelde bladtemperatuur zoals die gemeten wordt door de infraroodsensor. De kop van het gewas, waar nieuwe jonge bladeren afgesplitst worden en/of bloemen, draagt slechts weinig bij aan het koelend vermogen van de plant. Het is dus onjuist om met de gemeten bladtemperatuur verbanden te leggen met de ontwikkelingssnelheid en assimilatenbalans van het gewas. Net zo min als de temperatuur van de koelvloeistof in een auto maatgevend zou zijn voor de snelheid en het brandstofverbruik. Een warmtebeeldcamera maakt wel onderscheid tussen de temperaturen van blad en knop.

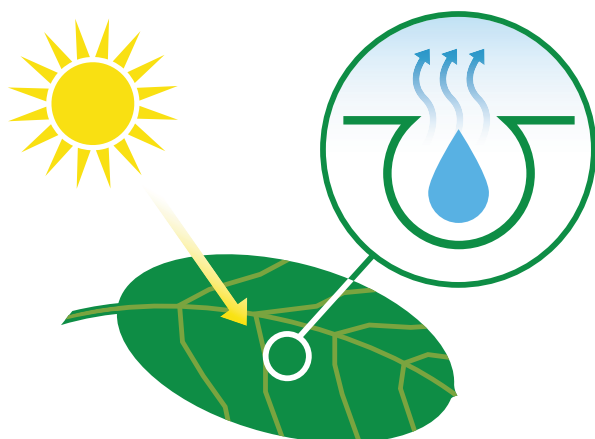
2.7.5 Het belang van hoge RV en lage VPD bij hoge instraling

*'Als ooievaars vaak worden opgemerkt in de buurt van kinderrijke gezinnen,
betekent dat niet altijd dat zij daar de oorzaak van zijn'*

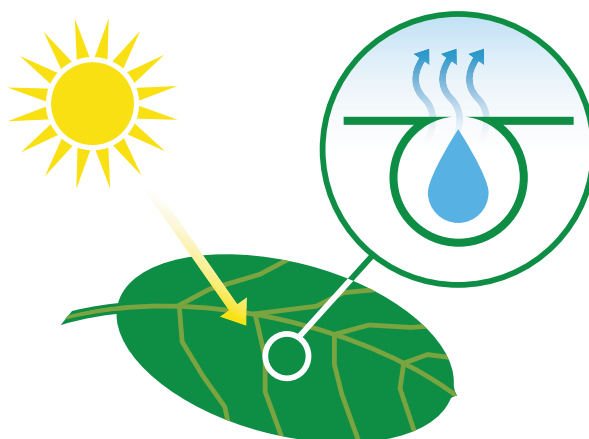
Peter Geelen (PlantMonitoring.NL)

Nu analyse van de afzonderlijke processen volgt de stap naar de combinatie; de rol van de RV bij hoge instraling.

Huidmondje lage VPD



Huidmondje hoge VPD



Bij een lage RV in de kas in combinatie met luchtbeweging heeft het convectie deel van de verdamping al een behoorlijke waarde. Als er dan bovendien veel instraling is wordt de totale verdamping al gauw meer dan de plant aan kan. De huidmondjes gaan knijpen en de verdamping neemt af. De VPD stijgt hierdoor. Maar nu is de vraag of deze VPD binnen het 'regelbereik' van de huidmondjes blijft. Huidmondjes bestaan immers uit plantweefsel en zijn niet gemaakt van roestvrijstaal, zoals de klep

van een fluitketel. Dat betekent dat bij een VPD hoger dan 1,5-2 kPa de plant in feite de controle over de verdamping verliest. De plant wordt tegen wil en dank 'leeg getrokken' en komt dus werkelijk in waterstress.

Dit druist in tegen de (nog) heersende opvatting dat de VPD bepalend is voor de verdamping. Zelfs dat bij een hoge instraling de VPD hoog moet zijn om te verzekeren dat de plant zich voldoende kan koelen. Uit de energiebalans volgt in feite het omgekeerde, namelijk dat de plant met de huidmondjes zelf de bladtemperatuur ten opzichte van de kasluchttemperatuur regelt. Bij een hogere bladtemperatuur hoort een hogere dampspanning. Een hoge VPD-plant is dus het gevolg van het sluiten van huidmondjes en wijst bovendien op een risico van stress.

De eenvoudigste manier om overmatige verdamping te voorkomen is om bij hoge instraling te zorgen voor een hoge luchtvochtigheid. Het blad kan namelijk niet kouder worden dan de natteboltemperatuur en die ligt bij hoge RV vlak onder de kasluchttemperatuur. Het aandeel van de convectieve verdamping blijft dus gering. Om te zorgen dat er convectieve-energie wordt afgevoerd in plaats van toegevoerd, hoeft de bladtemperatuur slechts weinig toe te nemen. Hiervoor is een kleine aanpassing van de huidmondjesopening voldoende. Anders gezegd: de plant is in staat om de verdamping in balans te brengen met de waterbeschikbaarheid bij relatief lage waarden van de VPD en dus met relatief ver geopende huidmondjes. Het resultaat is dat de CO₂-opname - en dus de fotosynthese - op een hoog niveau door kan gaan onder lichtrijke omstandigheden.

2.7.6 Uitstraling en verdamping

Uitstraling is een algemeen bekend verschijnsel waarbij een object afkoelt door het afgeven van langgolvlige stralingswarmte aan een koudere omgeving. Mensen ervaren dit zelf als ze in een warme kamer dicht bij een koud raam staan, of op een zomeravond bij heldere hemel in de tuin zitten. Dit is tegen te gaan door de gordijnen dicht te trekken of een parasol op te zetten. Wanneer het gewas warmer is dan de omgeving (let op: dus niet de kaslucht zelf maar het kasdek, de bodem enzovoort), gaat het gewas warmte afstaan door middel van straling. Uitstraling wordt net als instraling uitgedrukt in watt/m², maar als een negatief getal omdat de richting van het gewas af is. Als de uitstraling naar het koudere kasdek of een kouder schermdoek niet voldoende wordt gecompenseerd door instraling, koelt de kop van de plant af. Hierdoor neemt de energietoevoer door convectie dus weer toe. De energiebalans ziet er dan als volgt uit:

$$\text{verdampingsenergie} = \text{instralingsenergie} + \text{convectie energie} - \text{uitstralingsenergie}$$

Door de afvoer van energie door uitstraling neemt de verdamping dus af. Bij hoge uitstraling kan de verdamping zelfs nul worden. Een voorbeeld in getallen om dat duidelijk te maken:

Een temperatuurverschil van 3°C tussen het gewas en het kasdek zorgt voor een uitstraling van ongeveer 15 Watt/m² waardoor de verdamping afneemt met 25 cc/m².uur. Dit komt ruwweg overeen met de hoogte van de verdamping in de nacht voor een tomatengewas, zonder dat er wordt gestookt. Ook in de zomer en zeker bij heldere nachten kan uitstraling dus gemakkelijk de verdamping in de kop stilzetten.

Het stagneren van verdamping in de kop is voor de plant een zeer ongewenste situatie, omdat hiermee ook de opname van voedingselementen, waaronder calcium stagneert. Weliswaar wordt de meeste uitstraling ervaren door de top van de plant (lagere delen worden afgeschermd door de bovenliggende bladeren). Dus niet de verdamping in de hele plant wordt stilgezet. Maar de top van de plant is meestal ook het groeipunt en dus juist het meest kritische deel. Dit inzicht heeft binnen Het Nieuwe Telen een totaal andere benadering opgeleverd voor de inzet van het energiescherm.

Voorheen werd gedacht dat door te schermen de verdamping afneemt door de stijging van de luchtvochtigheid. Door de rol van de uitstraling te onderkennen ontstaat het inzicht dat schermen juist bijdraagt om de verdamping in de kop van het gewas in stand te houden. Deze nieuwe kijk op het effect van schermen op de waterbalans, assimilatenbalans en gewasgezondheid wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 4.3.

2.7.7 Plantreacties om verdamping te begrenzen

Het is zeer interessant om bij verschillende gewassen te kijken naar de mechanismen die de plant ten dienste staan om de energiebalans en daarmee ook de waterbalans te regelen. Hieronder worden er bij wijze van voorbeeld enkelen beschreven.

Slap gaan

Indien een blad door een te hoge verdamping slap gaat hangen vangt het minder straling op en hoeft dus ook minder te verdampen. Dit is daarmee in de natuur het meest basale mechanisme tegen uitdroging. Uiteraard is dit voor productiegewassen een ongewenste situatie.

Reflectie

Een deel van het licht dat op het blad valt wordt gereflecteerd en levert dus geen bijdrage aan de verdamping. Dit verklaart waarom gewassen met meer glimmend blad een lagere verdamping realiseren dan gewassen met minder glimmend blad. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het vergelijk tussen paprika en tomaat, of verschillen tussen rassen bij bijvoorbeeld roos. Sommige planten kunnen reflectie actief inzetten als middel om de verdamping te beperken indien waterstress ontstaat. Komkommer en aubergine, maar ook alstroemeria zijn hier voorbeelden van. Zij laten onder stralingsrijke condities een meer glimmend blad zien.

Naast de reflectie in het zichtbare spectrum kennen planten ook reflectie van warmtestraling. Bij onderzoek is gebleken dat het selectief uitfilteren van infrarood licht van de zon om onnodige opwarming van het gewas tegen te gaan weinig toegevoegde waarde had, omdat de planten zelf al een groot deel van de infraroodstraling blijken te reflecteren.

Kantelen van het blad

Een andere methode om met waterstress om te gaan is om het blad te laten kantelen. In feite is dit een mechanisch gevolg van afnemende waterspanning (turgor) in de plant, mede onder invloed van hormonen. Het gevolg is dat minder licht door het blad wordt opgevangen waardoor het gewas minder hoeft te koelen door verdamping. Met een lagere verdamping heeft het gewas weer de gelegenheid om de waterbalans te herstellen.

2.8 De waterbalans van de plant

'Ik dacht dat ik het wist, maar het bleek toch heel anders te werken'

Aat Vreugdenhil (kwekerij Vreugdenberg)



Jan Baptista van Helmont (Brussel 1579 – 1644), grondlegger van de waterbalans van planten.

Jan Baptista van Helmont is de grondlegger van kennis van de waterbalans van de plant. Hij ontdekte in een vijfjarig experiment met een wilgenplant in een pot dat deze niet groeide door omzetting van de aarde uit de pot, maar door het water dat aan de aarde werd toegevoegd.

Bron: Wikipedia

De waterbalans van de plant wordt niet alleen bepaald door de verhouding tussen de wateropname en de verdamping. Met name de watervoorraad in het gewas speelt een belangrijke rol. Voornaamste doelstelling van het aansturen van de waterbalans is de toename van het versgewicht van de plant. Echter wanneer de verdamping hoog is, kan het gewas deze watervoorraad aanspreken om de tweede doelstelling te realiseren. Dit is het open houden van de huidmondjes wanneer licht aanwezig is. Regelmaat in de hoeveelheid vruchten aan het gewas (plantbelasting) is dus ook een stuurfactor voor de waterbalans.

De functie van verdamping is meerledig:

- Koeling;
- Transport van voedingsstoffen in de plant;
- Opname van enkele voedingsstoffen zoals borium en calcium.

Voedingsstoffen worden opgenomen door carriers. Hierdoor kunnen naar behoefte van de plant voedingsstoffen actief worden opgenomen. Calcium is een uitzondering. Dit element wordt opgenomen in de uiteinden van de wortelpunten waar water en voeding ongecontroleerd de plant worden ingezogen onder invloed van de verdamping. Voor de opname van met name calcium is daarom voortdurend een lage verdamping nodig. Calcium wordt alleen passief getransporteerd en snel vastgelegd in celvacuoles als er ergens te veel is.

In het vorige hoofdstuk is beschreven dat Het Nieuwe Telen een totaal andere kijk op verdamping heeft opgeleverd door uit te gaan van de energiebalans van het gewas. Ten tweede is veel helderder geworden dat het gedrag van de waterbalans zeer afhankelijk is van de omstandigheden. De nattevolverdamping is bijvoorbeeld voornamelijk afhankelijk van de toestand van de kaslucht, terwijl de fluitketelverdamping vrijwel onafhankelijk is van de condities in de kas. Daarnaast reageert de waterbalans totaal anders als het licht toeneemt ten opzichte van een situatie dat het licht afneemt. Ook al is de hoogte van de instraling gelijk. Op een donkere dag vertoont de waterbalans een heel ander verloop dan op een lichte dag.

Om de waterbalans goed te kunnen aansturen is het dus van groot belang om altijd eerst de omstandigheden goed onder ogen te zien. Daarbij komt dat er zeer tegengestelde doelstellingen zijn voor het aansturen van de waterbalans. In de lichtperiode is niet maximale verdamping maar maximale opening van de huidmondjes het doel om de CO₂-opname niet te belemmeren. Op de lange termijn gaat het erom om zoveel mogelijk water in de plant te krijgen voor toename van groei van het versgewicht, met name van de oogstbare delen.

2.8.1 Bij hoge instraling (zonnig)

Tijdens een zonnige dag is er een zeer grote dynamiek aanwezig. Allereerst rond zon-op gaat de nattebolverdamping zeer snel over in de fluitketelverdamping. In het traject van stijgende instraling zal er nauwelijks toename van het gewasgewicht (groei) plaatsvinden. Het kan zelfs voorkomen dat een deel van het water voor de verdamping uit het gewas wordt gehaald. De watervoorraad in het gewas speelt dan een belangrijke rol om de waterbalans in evenwicht te houden. Vruchtdiameter en/of stengeldiameter kunnen dan afnemen. In die zin is dus de plantbelasting mede een stuurmiddel voor de waterbalans. Met de oogstfrequentie kan hier dan bijvoorbeeld bewust op worden ingespeeld door het gewas niet (te snel) leeg te oogsten.

Op een zonnige dag is in het traject van afnemende instraling de wateropname groter dan de verdamping. Hiermee kan de vochtonttrekking van de ochtend worden hersteld. Groei van jonge vruchten vindt met name plaats in de voornacht en kan in een lager tempo de hele nacht doorgaan tot de volgende ochtend. In deze periode is het dus verstandig om vochtonttrekking door verdamping zo laag mogelijk te houden.

Het mag duidelijk zijn dat bij sterk stijgende instraling de waterbalans ook met de klimaatregeling maximaal moet worden ondersteund. Door de luchtvochtigheid op een hoog niveau te houden (VD rond de 5 gram/m³ of lager) kunnen de huidmondjes maximaal geopend blijven. Door middel van een planttemperatuurmeter kan worden gevolgd of de VPD niet te hoog wordt. Met deze informatie kan bijvoorbeeld de raamstand, de inzet van dakberegening of verneveling optimaal worden aangestuurd. In de afgelopen jaren is daardoor duidelijk geworden dat de redenering 'in de ochtend moet het gewas het eerst zelf kunnen' niet op gaat. Juist in het traject van sterk toenemende instraling (dus voor de middag) is de kans op waterstress het grootste. De effecten van waterstress worden echter vaak pas in de namiddag zichtbaar. Hierdoor is de misvatting ontstaan dat ingrijpen het meest effectief is in de namiddag. Gebleken is dat hoe eerder wordt ingegrepen om stress te voorkomen, hoe effectiever het gewas de hoge instraling kan benutten voor de fotosynthese. Bovendien zal bij te grote waterstress in de ochtend het hormoon abscisinezuur (ABA) worden aangemaakt in het blad waardoor de huidmondjes voor langere duur gesloten blijven. Ingrijpen heeft dan dus een tijdlang geen positief resultaat voor de fotosynthese.

Ook de watergift is een belangrijk instrument om in de ochtend waterstress te voorkomen. In het traject dat de opname van water zeer snel toeneemt is het zaak de watervoorraad in de mat weer snel aan te vullen. Het is dan verstandig om de start van de watergift af te laten hangen van de hoogte van de instraling en niet op het bereiken van een bepaald matgewicht of watergehalte.

2.8.2 Bij lage instraling (donker)

Tijdens een donkere dag ligt de hoogte van de verdampingsnelheid op een laag niveau. De verdamping vindt voornamelijk plaats op basis van de nattebolverdamping. Luchtbeweging is dan de belangrijkste maatregel om te voorkomen dat de verdamping te laag wordt. Als dit niet genoeg is kan extra energie worden toegevoegd door te stoken. De hoogte van de temperatuur is niet van belang voor de hoogte van de verdamping. Verlagen van de luchtvochtigheid is wel effectief om de verdamping te bevorderen.

Er is in de praktijk veel discussie over de zin en onzin van het activeren van het gewas op donkere dagen. In onderzoek is het nut hiervan nooit overtuigend aangetoond. Een praktische overweging is om de plant voor te bereiden op een eventuele snel stijgende instraling als de zon in de loop van de dag door de wolken zou breken.

Samenvattend zullen op een dag met lage instraling waterstress en wateronttrekking aan de vruchten niet aan de orde zijn. Op een donkere dag blijken de jonge vruchten dan ook juist in de ochtend te groeien.

2.9 Sturen van de gewasopbouw

Voor een optimaal teeltresultaat is het nodig om de opbouw van het gewas in een bepaalde richting te sturen. Hieronder wordt ingegaan op:

- Bladlengte;
- Lengtegroei;
- Internodielengte;
- Bloemknopgrootte;
- Vruchtgewicht.

De gewasstand kan op vele manieren worden beïnvloed. De processen die hierbij een rol spelen kunnen worden herleid naar de waterbalans, maar ook naar de assimilatenbalans. Heel verschillende teeltmethoden kunnen dus tot hetzelfde resultaat leiden. Celstrekking is het proces dat hierbij een centrale rol speelt. Celstrekking kan op verschillende manieren tot stand komen via de werking van:

- Osmose;
- Worteldruk;
- Aquaporines.

2.9.1 Celstrekking door osmose

De celinhoud wordt omsloten door een celmembraan. Dit membraan is semipermeabel. Dat wil zeggen dat water wel door het membraan kan, maar opgeloste stoffen niet. Opgeloste stoffen (bijvoorbeeld mineralen of suikers) worden alleen opgenomen door carriërs in het celmembraan. Carriërs kunnen worden vergeleken met pompjes die de stoffen van de ene naar de andere kant van het membraan pompen. Voor deze pompwerking wordt de energie geleverd door verbranding van suikers. Deze pompwerking is dus gevoelig voor de hoogte van de temperatuur. Water passeert het membraan passief. Dat wil zeggen dat hiervoor geen energie nodig is. De richting waarin het water zich verplaatst is van een plaats met een hoge concentratie water (lage concentratie opgeloste stoffen) naar een plaats met een lage concentratie water (hoge concentratie opgeloste stoffen). Met name suikermoleculen en kalium functioneren in de plant als opgeloste stoffen waarmee de celstrekking wordt geregeld.

2.9.2 Celstrekking door worteldruk

Het transport van water door het celmembraan wordt bevorderd als er een overdruk in de plant aanwezig is. Worteldruk ontstaat in de wortels wanneer mineralen daar actief worden opgenomen, waardoor automatisch wateropname ontstaat door osmose die vervolgens een overdruk veroorzaakt. Echter de verdamping door het blad veroorzaakt een onderdruk. Hier vindt het omgekeerde plaats. Doordat water wordt onttrokken aan het blad, wordt automatisch water uit de houtvaten aangezogen door osmose. Hierdoor ontstaat in de houtvaten een onderdruk. Worteldruk kan echter alleen een overdruk in de plant veroorzaken als de verdamping vrijwel nihil is. Een hele lage verdamping zorgt netto al voor een onderdruk. Celstrekking door worteldruk kan dus alleen plaatsvinden op momenten dat de verdamping vrijwel afwezig is. Celstrekking door worteldruk kan worden opgeroepen door de verdamping plotsklaps stil te zetten door bijvoorbeeld een kouval of door uitstraling. Maar ook bij een plotselinge weersovergang kan de verdamping in korte tijd stilvallen waardoor er overdruk door worteldruk ontstaat in de plant.

2.9.3 Celstrekking door aquaporines

Aquaporines zijn ook pompjes in het celmembraan. Deze pompjes dienen echter voor het transport van water. Aquaporines komen met name voor in cellen waar veel water moet worden verplaatst en waar de werking van osmose onvoldoende snel watertransport teweegbrengt. Dat wil zeggen dat aquaporines voorkomen in jonge cellen die nog moeten strekken en in wortelcellen uiteraard. Voor de werking van de aquaporines is ook energie nodig. Hierdoor is de werking daarvan ook afhankelijk van de temperatuur. Met name als de temperatuur onder de 20°C komt neemt de activiteit snel af.

2.9.4 Sturen via waterbalans versus assimilatenbalans

Met bovenbeschreven achtergrond van celstrekking is het vizier aansluitend gericht op de verschillende plantreacties. Die worden - meestal - gestuurd via de waterbalans, maar waarbij hetzelfde effect kan worden verkregen door te sturen via de assimilatenbalans. Deze laatste mogelijkheid heeft in Het Nieuwe Telen de voorkeur. Het blijkt namelijk dat sturing via de assimilatenbalans extra mogelijkheden biedt om het natuurlijke licht beter te benutten en om het (energie)scherp in te zetten tegen de negatieve effecten van uitstraling. Dit resulteert in een gunstiger opbouw van het gewas en een betere gewasgezondheid.

2.9.5 Sturen op bladgrootte en lengtegroei

Sturing op bladgrootte en lengtegroei wordt meestal benaderd vanuit de beheersing of remming van de groei. Dit kan op verschillende manieren. Door te telen met een lage luchtvochtigheid (schraal klimaat) wordt gestuurd op een hoge verdamping en dus wateronttrekking van het blad. Hoe meer water aan het blad wordt onttrokken, hoe minder de cellen zullen strekken en dus hoe korter het jonge blad en de stengel onder het groeipunt worden. Dit is dus een sturing op basis van de waterbalans. Met kou op de kop van het gewas, veroorzaakt door luchten of uitstraling, zijn de aquaporines minder actief waardoor er minder celstrekking optreedt. Een koude kop en jong blad trekken minder suikers aan waardoor ook de celstrekking via osmose lager zal zijn. Kou veroorzaakt dus kort blad en een gedrongen plant via een combinatie van de waterbalans en de assimilatenbalans.

Minder suikertransport naar het jonge blad kan ook tot stand worden gebracht door een hoge suikervraag van bijvoorbeeld de vruchten. Kort blad en een gedrongen gewas kan tot stand worden gebracht door te sturen naar een hoge sinksterkte van vruchten of bloemen. Dit effect is waar te nemen bij bijvoorbeeld de aanleg van een groot zetsel in paprika. Dan stagneert de groei in de kop van het gewas. Het omgekeerde effect is te zien bij tomaat. Als daar een tros wordt verwijderd (en dus de vraag naar suikers wordt verlaagd) geeft dat langer blad. Het realiseren van kort blad en gedrongen groei door een hoge sinkwerking is een sturing via de assimilatenbalans.

2.9.6 Sturen op vruchtgrootte

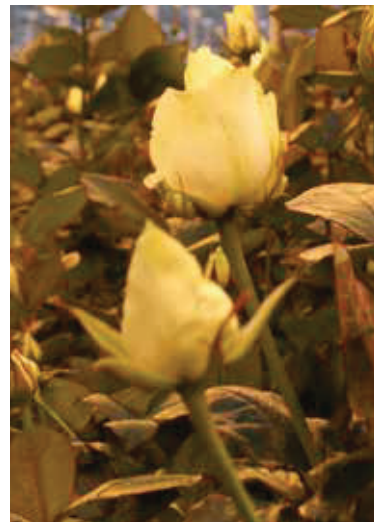
Aansturing van de grootte van de vruchten kan eveneens via de waterbalans en de assimilatenbalans. Door de verdamping in korte tijd stil te zetten ontstaat overdruk in de plant door worteldruk. De cellen van de vruchten strekken doordat ze worden opgepompt. Dit is dus een sturing via de waterbalans. Een andere benadering om grofheid van de vruchten te bevorderen is een sturing via de assimilatenbalans via het verhogen van de vruchttemperatuur. Een hoge vruchttemperatuur bevordert de grofheid op verschillende manieren. Allereerst trekken warmere vruchten meer suikers aan. Hiermee kunnen meer cellen worden aangelegd die vervolgens met meer suikers beter kunnen strekken door aantrekking van water. Meer suikers naar de vruchten bevordert niet alleen grofheid, maar ook de kwaliteit en de smaak van de vruchten. Daarnaast pompen de aquaporines meer water in de vrucht bij een hogere temperatuur. Dus grofheid wordt bij warmere vruchten ook via de waterbalans bevorderd. Grovere vruchten door een hogere (vrucht)temperatuur lijkt tegenstrijdig. Toch is dit mogelijk.

Allereerst moet de aanmaak van suikers maximaal zijn. Het (verticale) temperatuurprofiel moet erop gericht zijn dat de vruchten het warmste deel van het gewas zijn. De krachtigste stuurfactor is de plantbelasting. Door te telen met een lage plantbelasting zijn er per vrucht meer suikers beschikbaar. Daardoor kunnen ze bij een hogere temperatuur toch grof worden. De vruchttemperatuur gericht verhogen kan door een open gewas te creëren, of door inzet van de (groei)buis, verticale ventilatoren, het voorkomen van afkoeling van de vruchten bovenin het gewas door uitstraling (schermen, hoofdstuk 4.3.) of door kouval. De ervaring dat verhogen van de temperatuur leidt tot een lager vruchtgewicht is een korte termijn effect. Wat dan gebeurt is dat bij de heersende plantbelasting de temperatuur hoger wordt. In eerste instantie worden de vruchten dan lichter. Pas als de plantbelasting is verlaagd door een snellere afrijping, worden de vruchten bij de hogere temperatuur wel grover.

2.9.7 Sturen op bloemknopgrootte

Bovenstaande benadering van vruchtgrootte kan ook worden toegepast in de snijbloementeelt. Het meten van de plantbelasting (sinkgrootte) in de vorm van het aantal bloemstengels/m² is nog niet gangbaar. Grove bloemknoppen worden ook altijd geassocieerd met een lage temperatuur. Toch is hier ook een kentering gaande. In het onderzoeksprogramma De Perfecte Roos komt bijvoorbeeld naar voren dat het aantal takken per m² de krachtigste stuurfactor is om de kwaliteit van de bloemtakken te beïnvloeden.

Dit effect is reeds meerdere keren naar voren gekomen in rozen-onderzoek. Rond 2003 het onderzoek naar gefaseerde rozenteelt en synchrone vermeerdering van rozenstekken en het promotie onderzoek van M. Kool; System development of glasshouse roses. Voor erbera is onderzoek gestart binnen het programma van Kas als Energiebron om te onderzoeken of ook hier mogelijkheden zijn om te telen bij hogere temperaturen en een lager aantal bloemstengels/m².



2.10 Stressvermindering door schermen of verneveling

'Je moet gewoon zorgen dat de plant het naar z'n zin heeft'
Koos Fransen (Deliflor)

Bij gewassen met een lage verdampingscapaciteit stijgt de bladtemperatuur door de instraling behoorlijk boven de kastemperatuur. Door de oplopende VPD-plant moeten de huidmondjes sluiten om uitdroging te voorkomen en komt de plant in stress. Om dit te voorkomen wordt vaak geschermd om de toegelaten zonne-energie te verminderen. Maar op basis van de energiebalans kan worden beredeneerd dat het verhogen van de vochtinhoud van de lucht door middel van verneveling, kan zorgen voor een betere vochtbalans en dus minder stress. Steeds duidelijker wordt dat planten beter functioneren bij de combinatie van hoge temperatuur en hoge RV, dan bij lagere temperatuur en lage RV. Anders gezegd: plantstress kan vaak beter worden bestreden met een hoge RV dan met een lagere temperatuur of een lager lichtniveau. Vanzelfsprekend moet hierbij worden gelet op specifieke gewaseigenschappen en de stand van het gewas. Zo is van paprika bekend dat de temperatuur van jonge vruchten in de kop van de plant zeer hoog kan oplopen door directe instraling. Als dit het geval is kan dit beter worden voorkomen door een lichtwerend zomerscherm. Omgekeerd kan stressbeperking leiden tot een wat weliger gewas in de kop waardoor de jonge vruchten beter beschermd zijn tegen de zon.

3 Kassen

In dit hoofdstuk ligt de nadruk op de natuurkundige principes van wat er in de kas gebeurt, wat betreft de vocht- en energiebalans en verschillende vormen van luchtbeweging. De tekst bevat naast de algemene analyse praktische toepassingen op karakteristieke en herkenbare situaties. Om de toegankelijkheid te verhogen is een korte, op de praktijk gerichte omschrijving van in de tekst gehanteerde begrippen opgenomen. Zie de bijlage Begrippenkader.

3.1 Natuurkundige analyse tegenover gevoel

‘Als je iets niet weet, kun je ook geen fouten maken’

Erik Floris (Dekker Chrysanten)

Het telen in kassen is van oudsher een kwestie van gevoel en van ‘groene vingers’. Het instrumentarium om het klimaat te beïnvloeden was ook altijd tamelijk beperkt; luchtramen die kunnen worden geopend als het te warm of te vochtig wordt, en enige vorm van verwarming die ingezet kan worden om de temperatuur te verhogen als het te koud wordt voor een goede groei. Ondanks het feit dat er in de loop der jaren steeds meer instrumenten en installaties zijn ontwikkeld om het kasklimaat te beheersen en zelfs computerprogramma’s om dit alles te besturen, is de werkwijze nog steeds grotendeels gebaseerd op gevoel en ervaring en heel weinig op natuurkundig inzicht.

Zo is bijvoorbeeld het psychodiagram of Mollier diagram, waar de belangrijkste eigenschappen van vochtige lucht in zijn weergegeven, voor de meeste telers iets dat ze ooit op school hebben gezien, maar dat zeker niet behoort tot hun parate kennis. Ook zaken als isolatiewaarde van de kas (k-waarde), vochtdoorlatendheid van het energiescherm, of zelfs maar de capaciteit van de verwarming in W/m^2 zijn voor veel telers onbekende of vage begrippen. Dit maakt dat de werkwijzen die gaandeweg in de praktijk zijn ontstaan deels suboptimaal en soms zelfs contraproductief zijn. Het doel van dit hoofdstuk is om vanuit een natuurkundige benadering een helder beeld te krijgen van wat er werkelijk gebeurt in een kas, met een gewas onder verschillende omstandigheden. Welke energiestromen zijn er? Hoe zit het met transport van energie en vocht? Welke rol speelt luchtbeweging hierin en hoe ontstaan temperatuurverschillen in de kas? En op welke manier kunnen de oude en nieuwe instrumenten het beste worden ingezet?

Een beter inzicht in deze zaken op basis van de vocht- en energiebalans van de kas leidt tot beter en effectiever klimaatregelen met een lager energieverbruik. Daarnaast biedt dit ook handvatten om te komen tot richtlijnen voor kasinstallaties en het effectief gebruik daarvan.

3.2 Het Psychrodiagram

In ons dagelijks leven heeft de mens voortdurend te maken met de eigenschappen van vochtige lucht bij verschillende temperaturen. ’s Morgens bij het douchen plakt het douchegordijn aan de rug, omdat er door temperatuurverschillen luchtstromen ontstaan, de spiegel beslaat en het raampje moet open om te zorgen dat alles weer droog wordt. Bij het koken van thee of het zetten van koffie ontstaat waterdamp. Buiten kan het regenen of mistig zijn, het fietszadel is misschien nat van de dauw, autoruiten zijn beslagen, krabben is soms zelfs nodig terwijl het nog echt niet vriest. Bij het starten van de motor starten komen soms witte wolken uit de uitlaat, maar soms ook niet. Zo zijn er nog veel andere voorbeelden te noemen.

Desondanks verdiepen we ons zelden in de natuurkundige achtergrond van al deze verschijnselen. Zo weten de meeste mensen niet hoe licht of zwaar lucht precies is. Velen denken tevens dat vochtige

lucht zwaarder is dan droge lucht, terwijl regenwolken toch doorgaans hoog boven de grond zweven in plaats van naar beneden te zakken. En zelfs telers, van wie het bestaan en de broodwinning sterk zijn verbonden met het hanteren van vochtige lucht in en rondom de kas, zijn slechts ten dele bekend met de elementaire begrippen als: de verzadigingscurve van waterdamp in lucht, absoluut vochtgehalte, dauwpunt en energie-inhoud. Meestal werken telers met één grootte, hetzij relatieve vochtigheid (RV), hetzij vochtdeficiet (VD) om de toestand in de kas te beschrijven en voor de klimaatregeling. Zonder te beseffen dat ze hiermee niet zelden verkeerde conclusies trekken of verkeerde maatregelen nemen.

Het Psychrodiagram of Mollier diagram

Als we iets willen leren over de eigenschappen van vochtige lucht komen we onvermijdelijk uit bij Richard Mollier en zijn diagrammen.



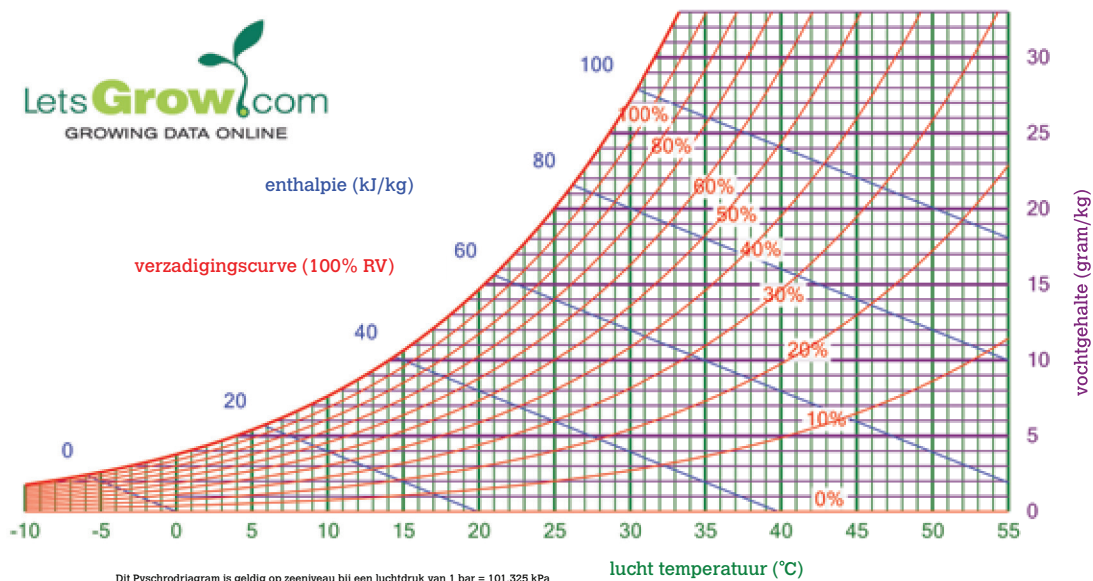
Richard Mollier (1863 – 1935)

Richard Mollier was een Duitse professor in de toegepaste natuurkunde die leefde van 1863 tot 1935. Hij was een pionier in het onderzoek naar de eigenschappen van lucht, waterdamp en stoom en legde deze vast in verschillende tabellen. Vandaar de naam Mollier diagram.

Bron: Wikipedia

Een Mollier diagram bestaat uit een grafiek of een tabel waaruit de eigenschappen van vochtige lucht bij verschillende temperaturen kunnen worden afgelezen. Er zijn overigens meerdere manieren om die op papier weer te geven en de vorm van het gebruikelijke Mollier diagram is eigenlijk niet bijzonder handig. De vorm van de 'Psychrometric Chart', die in Engelstalige landen wordt gebruikt, is in de praktijk vaak iets overzichtelijker. Binnen Het Nieuwe Telen wordt daarom deze Psychrometric Chart gebruikt en korthedshalve aangeduid met Psychrodiagram.

3.2.1 De basisbegrippen in het Psychrodiagram



Op de horizontale as staat de temperatuur van de lucht van -10 tot 55°C. Op de verticale as staat de vochtinhoud van de lucht in gram/kg aangegeven. Dit is het absolute vochtgehalte, afgekort AV.

Verzadigingscurve

Lucht van een bepaalde temperatuur kan maximaal een aantal grammen waterdamp bevatten. In die toestand noemen we de lucht verzadigd en is de relatieve luchtvochtigheid - de RV - 100%. Meer waterdamp kan de lucht niet vasthouden, dus als er bijvoorbeeld via verdamping nog meer waterdamp wordt toegevoerd moet deze condenseren tot vloeibaar water. Als er minder waterdamp in zit dan de maximale hoeveelheid, dan spreken we over een lagere relatieve vochtigheid. Dat kunnen we zien in het diagram. Neem bijvoorbeeld verzadigde lucht van 25°C. Uit de grafiek valt op te maken dat er dan 20 gram waterdamp per kg lucht in zit door vanaf de onderste horizontale temperatuurlijn bij 25°C recht omhoog te gaan tot aan de bovenste kromme verzadigingslijn en vanaf dat kruispunt een horizontale lijn te volgen tot de rechter verticale as.

Absoluut vochtgehalte AV

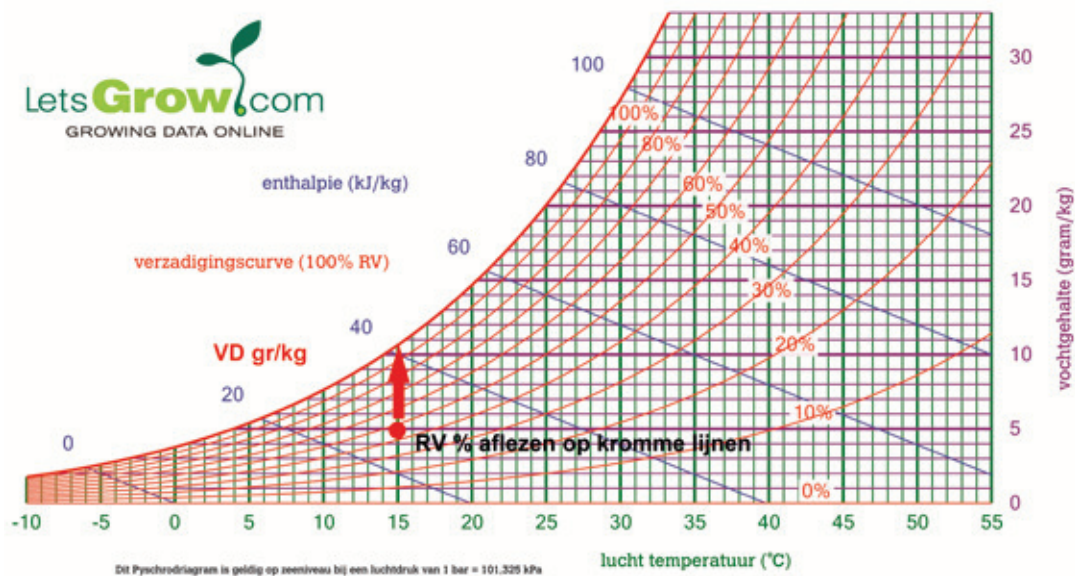
Hoewel AV in feite de basis is van het Psychrodiagram, is het voor veel mensen toch een nieuw begrip. Meestal wordt immers gesproken over Relatieve vochtigheid (RV) of Vochtdeficit (VD). De waarschijnlijke oorzaak is dat de allereerste instrumenten om vochtigheid te meten, de haarhygrometers, reageren op RV. Ook de ontwikkeling van schimmels en dergelijke is gerelateerd aan RV. Later is naast RV ook VD in de tuinbouw ingeburgerd in verband met de plantactiviteit. AV geeft echter het beste en eenvoudigste inzicht in de vochtbalans van de kas; komt er vocht bij, wordt het vocht minder of blijft het stabiel? Daarnaast geeft het verschil in AV een goede maatstaf voor de mogelijkheid van vochttransport door bijvoorbeeld een energiescherm of door een luchtraam. Let wel: AV komt hiermee zeker niet in de plaats van RV en VD; het geeft aanvullende informatie over de vochtigheidstoestand.

Relatieve vochtigheid RV

Onder de verzadigingslijn staan meerdere parallelle kromme lijnen getekend. Die stellen de verschillende RV's voor. Door nu vanaf de onderste horizontale temperatuurlijn bij 25°C recht omhoog te gaan naar de RV lijn van 40% en vervolgens weer een horizontale lijn vanaf dat kruispunt naar de rechter verticale as te trekken, zien we dat de waterdampinhoud bij die toestand 8 g/kg bedraagt en dat is exact 40% van 20 g/kg. Met andere woorden: de relatieve luchtvochtigheid is het percentage aan waterdamp dat in de lucht zit ten opzichte van wat er bij een bepaalde temperatuur maximaal in kan zitten.

Het Vochtdeficit VD

Een andere afgeleide grootheid in het Psychrodiagram is het vochtdeficit. Dit geeft aan hoeveel vocht er nog kan worden toegevoegd alvorens de lucht verzadigd is, uitgedrukt in gram/kg. In het bovenstaande voorbeeld van een luchttemperatuur van 25°C en een RV van 40% bevat de lucht 8 gram vocht per kg. Het maximale vochtgehalte is 20 gram/kg. Het vochtdeficit VD is daarmee gelijk aan $20 - 8 = 12$ gram/kg. Veel plantkundigen geven de voorkeur aan een weergave in VD omdat ze hiermee een beter beeld hebben van de 'verdampingsruimte' voor de plant. Omgekeerd kan het VD misleidend zijn omdat het weinig inzicht geeft in condensatierisico's. In feite is het dus zo dat geen enkele grootheid een volledig beeld geeft en dat er, afhankelijk van de situatie en het doel, naar verschillende grootheden moet worden gekeken.



Voor een gegeven combinatie van temperatuur en vochtigheid kunnen de verschillende grootheden worden afgelezen in het diagram: AV, RV, en VD.

In dit voorbeeld: 15°C en een AV van 5 gram/kg komt overeen met een RV van circa 47% en een VD van circa 5,5 gram/kg. Als één van de drie waarden bekend is kunnen de andere twee worden afgelezen of berekend.

Energie-inhoud of enthalpie

Bij elke temperatuur en vochtigheid hoort een bepaalde energie-inhoud of enthalpie. Deze energie inhoud bestaat uit twee delen. Het ene is de zogenoemde voelbare warmte. Dit is gekoppeld aan de temperatuur van de lucht en dus letterlijk voelbaar. Het andere deel wordt genoemd de latente energie. Dit is gekoppeld aan de vochtinhoud van de lucht. In het diagram zijn lijnen van gelijke enthalpie aangegeven in de vorm van lijnen die van linksboven schuin naar rechtsonder lopen. De energie inhoud in kJ/kg kan linksboven worden afgelezen. Lucht van 0°C met 0 gram/kg vocht heeft per definitie een enthalpie van 0 kJ/kg. In het diagram heeft lucht van 25°C en circa 6 g/kg vocht (RV = 30%) een enthalpie van 40 kJ/kg. Maar lucht van 15°C met 10 g/kg vocht heeft de zelfde energie-inhoud, evenals lucht van 40°C met een vochtinhoud van 0 g/kg. Voor gedetailleerde uitleg zie de begrippenlijst in de bijlage.

Soortelijke massa

Wat voor de eenvoud niet in het diagram is weergegeven, is de soortelijke massa van de lucht in kg/m³. Iedereen is wel bekend met het feit dat droge lucht uitzet naarmate het warmer wordt en krimpt bij afkoeling. Bijvoorbeeld: 1 kg droge lucht neemt bij 27°C 0,85 m³ ruimte in, en bij 9°C is dat 0,8 m³. Maar 1 kg vochtige lucht neemt ook meer volume in dan eenzelfde gewicht aan droge lucht. Anders gezegd: droge lucht is zwaarder dan vochtige lucht. Dat gaat een beetje tegen het gevoel in, maar bedacht moet worden dat de molecuul massa van waterdamp (H₂O: 18 gram/mol) lager is dan die van droge lucht. Lucht bestaat namelijk voor ongeveer 20% uit zuurstof (O₂: 32 gram/mol) en voor circa 80% uit stikstof (N₂: 28 gram/mol).

De gemiddelde molecuul massa van droge lucht is dus 28,8 gram/mol. Als we waterdamp toevoegen neemt dit de plaats in van de zwaardere droge lucht en de soortelijke massa van het mengsel neemt af. Dat verklaart waarom waterdamp opstijgt in de lucht en dat de wolken niet naar beneden zakken.

3.2.2 Praktische toepassingen van het Psychrodiagram

Aan de hand van het Psychrodiagram kunnen we nu allerlei verschijnselen uit het dagelijks leven en het kasklimaat gaan verklaren.

Hoe ontstaan mist, condensatie en dauw?

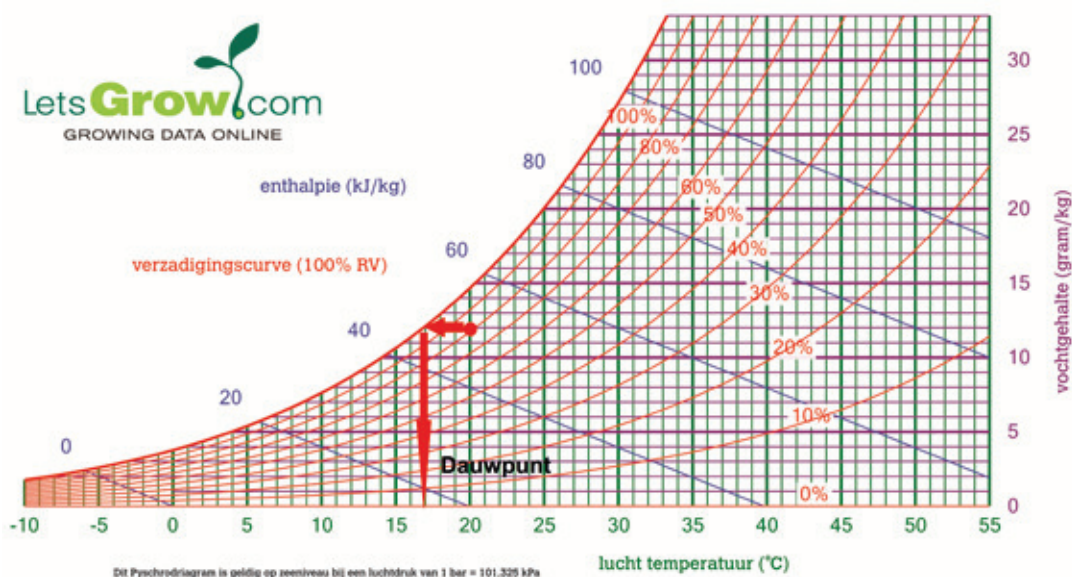
Mist, condensatie en dauw ontstaan door afkoeling van vochtige lucht. Stel dat het buiten 20°C is met een vochtinhoud van 10 gram/kg. Als we de lijn van 20°C volgen naar boven dan snijdt deze de verzadigingscurve bij een vochtinhoud van circa 14,5 gram. Met andere woorden: lucht van 20°C kan maximaal 14,5 gram waterdamp bevatten. En $10/14,5 * 100\% = 69\%$ RV. Zodoende valt dit punt in het diagram ongeveer samen met de lijn van relatieve vochtigheid van 70%.

Dauwpunt

Als de lucht nu gaat afkoelen, bijvoorbeeld tijdens een heldere avond, moet in het diagram de horizontale lijn van 10 g/kg naar links worden gevolgd. Dat leidt achtereenvolgens tot de lijnen van 80% en 90% RV, wat betekent dat de RV hoger wordt terwijl de vochtinhoud in g/kg gelijk blijft. Tenslotte wordt de verzadigingscurve gesneden. Door vanuit dit snijpunt recht naar beneden te gaan, kan onderaan de temperatuur van circa 14°C worden afgelezen. Deze temperatuur wordt ook wel het dauwpunt genoemd.

Condensatie

Als de lucht nog verder afkoelt tot beneden het dauwpunt, dan raakt de lucht oververzadigd en ontstaat er mist. Mist bestaat eigenlijk uit heel kleine waterdruppeltjes die in de lucht zweven. Bij verdere afkoeling klonteren deze druppeltjes samen tot grote druppels die naar de grond vallen als condens of 'regen'. Dan condenseert de waterdamp en de lucht wordt dus per saldo droger. De RV blijft echter constant, namelijk 100%.



Bij een temperatuur van 20°C en een AV van 12 gr/kg hoort een dauwpunt van circa 17°C.

Een andere manier om waterdamp te laten condenseren, is om een koud voorwerp in de lucht te brengen. Op het grensvlak van dit voorwerp koelt de lucht af, als dit beneden het dauwpunt is ontstaat er op het voorwerp condens. Een praktijkvoorbeeld is dat de bril beslaat van iemand die van buiten komt. Stel dat het in de kamer 25°C is met een RV van 50%. In het diagram is af te lezen dat de vochtinhoud van de lucht dan 10 g/kg is en dat het dauwpunt ongeveer 14°C is. Als de bril beslaat

van iemand die van buiten de kamer binnenstapt, dan weten we dat het buiten kouder moet zijn dan 14°C. Een variant hierop is het ontstaan van dauw op het gras. Als de lucht 's morgens steeds warmer en vochtiger wordt, maar de temperatuur van de grond blijft hierbij achter, dan condenseert er dus waterdamp op de koude grassprietten. Bij een heldere nacht kan er al eerder dauw ontstaan, namelijk als door uitstraling de grondtemperatuur afkoelt tot onder het dauwpunt. Sterke uitstraling bij windstilte kan zelfs leiden tot bevriezing, het weerbericht spreekt dan van 'vorst aan de grond'.

Hoe ontstaat gewascondensatie bij temperatuurverschil in de kas?

In een kas kan de vochtigheid van de lucht hoog oplopen. Zeker bij gesloten luchtramen en/of schermdoeken is een relatieve luchtvochtigheid van 90% en hoger niet zeldzaam. Stel dat de kas-temperatuur 20°C is en de RV 90% met de meetbox gemeten. De vochtinhoud is dan bijna 13,5 g/kg en het dauwpunt is ongeveer 18,5°C. Dat betekent dat als bijvoorbeeld langs een koude gevel de luchttemperatuur en ook de gewas-temperatuur meer dan circa 1,5°C lager is dan bij de meetbox, er op die koude plekken gemakkelijk condensatie kan optreden. Bij een kastemperatuur van 20°C en een RV van 80% lezen we uit het diagram af dat de 'afstand' tot het dauwpunt ongeveer $20 - 16,5 = 3,5^\circ\text{C}$ is. Met andere woorden, hoe beter de temperatuurgelijkheid in de kas, des te hoger kan de RV oplopen zonder gevaar voor gewascondensatie. Hoe slechter de temperatuur gelijkheid hoe lager de RV moet zijn om buiten de gevarenszone te blijven.

Als 's morgens de bovenkant van de kas opwarmt door de opkomende zon, terwijl de onderkant van de kas - en met name grotere vruchten achterblijven in temperatuur waardoor deze beneden het dauwpunt komen - dan slaat het gewas nat. Dit is dus eigenlijk hetzelfde als dauw in de natuur. Het helpt op dat moment niet om de temperatuur van de kaslucht te verhogen, want daar verandert het dauwpunt niet van. De juiste maatregel is om vocht af te voeren. Het vooraf op een hogere temperatuur brengen van het gewas en de vruchten helpt wel mee om condensatie te voorkomen, zeker als dat gepaard gaat met afvoer van vocht.

3.3 Klimaatbeheersing in moderne kassen

Het telen van gewassen in kassen, zowel vruchtgroenten als sierteelt, komt voort uit de noodzaak om de gewassen te beschermen tegen de wisselingen van het weer en beheersing van de omstandigheden voor een optimale productie en kwaliteit. De keerzijde is dat er in de moderne en steeds beter geïsoleerde kassen ook ongewenste situaties kunnen ontstaan, met name door ophoping van vocht als er geen goede balans is tussen vochtproductie door onder andere gewasverdamming en vochtafvoer. Met de gangbare methoden om vocht af te voeren, zoals het gedeeltelijk openen van schermen (vochtkier), het inzetten van de verwarming voor 'droogstoken' (minimumbuis) en het gedeeltelijk openen van de luchtramen (raamstand vocht), lukt dit slechts in zekere mate. Het gaat bovendien gepaard met onnodig veel energieverbruik en ongewenste verstoring van het groeiklimaat, zoals temperatuurverschillen, kouval en condensatie op het gewas. Dit komt aan het licht als bijvoorbeeld de horizontale en verticale temperatuurverdeling wordt gemeten met dataloggers en niet zelden ook door koude en natte plekken in de kas. waar ziekten en plagen vaak het eerste de kop opsteken.

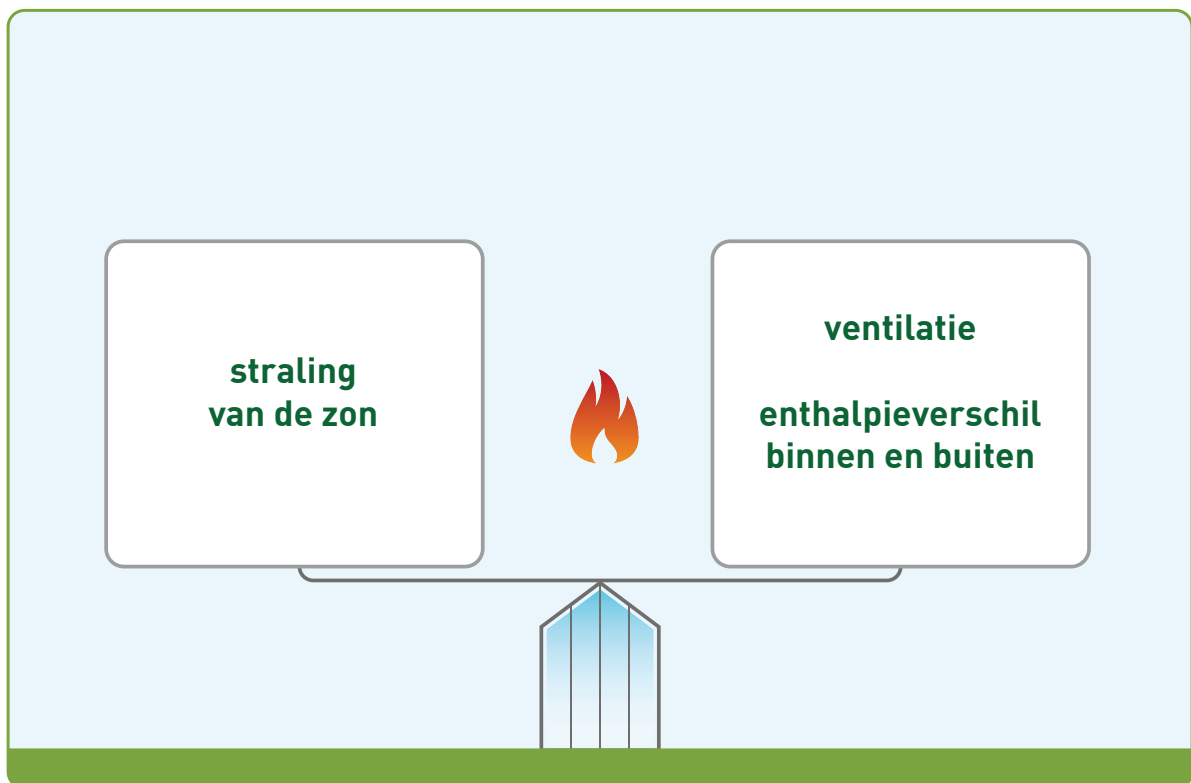
Om het groeiklimaat in de kassen te verbeteren is het allereerst vereist om dieper inzicht te krijgen in wat er natuurkundig in de kas gebeurt. Hiervoor is een analyse van de energie- en waterbalans van de kas en kennis van onder andere het Psychrodiagram noodzakelijk. Pas nadat het duidelijk is geworden hoe de natuurkundige processen verlopen en op welke manier de reeds aanwezige instrumenten moeten worden gestuurd, heeft het zin om te kijken naar eventuele aanvullende hulpinstallaties. In de praktijk van Het Nieuwe Telen is een algemeen gehoorde verzuchting: 'We moeten opnieuw leren klimaatregelen.'

3.4 De energie- en vochtbalans van de kas

Als we nauwkeurig gaan kijken naar alle verschillende vormen van energie-uitwisseling in een kas, dan is dat een zeer uitgebreide en complexe lijst. Maar er is een eenvoudige regel die altijd opgaat: de Wet van Behoud van Energie. Energie kan onderling worden uitgewisseld door straling of convectorie. Het kan worden gebruikt voor opwarming of voor verdamping. Maar energie kan nooit spontaan ontstaan of verdwijnen. Dat maakt het rekenen aan de energiebalans weer overzichtelijk: alle energiestromen moeten bij elkaar opgeteld precies nul opleveren. Dat geldt niet alleen voor technische elementen als een verwarmingsbuis of een assimilatielamp, maar ook voor een plant of een deel daarvan, zoals een blad.

Overdag zorgt de zon voor verreweg de meeste energietoevoer in de vorm van straling. Een groot deel van de straling die door het gewas wordt opgevangen, wordt omgezet in verdamping. Omdat de verdampingswarmte van water zo enorm hoog is, namelijk circa 2500 kJ/kg, is dit een krachtige manier van koeling. Door de instraling warmt verder de kasconstructie, de bodem en het gewas op. Door contact met de kaslucht (convectorie) zal deze vervolgens ook in temperatuur stijgen. Door convectorie geeft het kasdek weer energie af aan de buitenlucht, maar er is ook transport door ventilatie via de luchtramen. De lucht die zo uit de kas verdwijnt bevat zowel voelbare als latente warmte.

Energiebalans kas



De energie die door de zon in de kas wordt gebracht moet weer worden afgevoerd door uitwisseling met buitenlucht met een lagere energie-inhoud dan de kaslucht.

3.4.1 Voelbare en latente energie afvoer door ventilatie

Kijkend naar energieafvoer door ventilatie maakt de latente warmte vaak een groter deel uit van de energie-inhoud van de lucht dan de voelbare warmte. Een voorbeeld in getallen maakt dat duidelijk: Stel dat de kaslucht 23°C is en de buitenlucht 20°C.

Stel dat de RV in de kas 70% is en de RV buiten is 50%.

Het verschil in temperatuur is dus 3 graden en het verschil in absoluut vocht circa 5 gram/kg.

Het verschil in voelbare energie is dan ongeveer 3 kJ/kg. Dit is namelijk het verschil in temperatuur

maal de soortelijke warmte van lucht: circa 1 kJ/kg. Dus dat maakt $3 \cdot 1 = 3$.

Het verschil in latente energie is echter het verschil in absoluut vocht in kg maal de verdampingswarmte van water die circa 2500 kJ/kg bedraagt.

Dat maakt dus $0,005 \cdot 2500 = 12,5$ kJ/kg, dus ruim vier maal zoveel.

Het totale verschil in enthalpie is dan de som van beiden $\approx 15,5$ kJ/kg.

Dat betekent in praktische zin dat het vochtgehalte van de lucht een veel belangrijker rol speelt in de energiebalans dan de kasluchttemperatuur. Zie voor verdere uitleg de begrippenlijst in de bijlage.

3.4.2 Energiebalans en ventilatie

Om de energiebalans in evenwicht te brengen (en daarmee de kastemperatuur stabiel te houden), moeten we de energieafvoer gelijk maken aan de toevoer. Als we dit willen doen met ventilatie dan moet er een bepaald aantal kubieke meters kaslucht worden uitgewisseld tegen buitenlucht. Hoeveel is dat en welke gevolgen heeft dat voor de temperatuur en de vochtigheid in de kas? In bijlage 9.3 is een uitgewerkt voorbeeld opgenomen: Rekenvoorbeeld energie en vochtafvoer door ventilatie. Onderstaand een korte samenvatting en de conclusies.

Stel dat midden in de zomer de kastemperatuur 25°C is bij een RV van 70%. En stel dat het buiten 23°C is met een RV van 50%. Dan is de enthalpie in de kas ongeveer 60 kJ/kg en buiten bedraagt deze circa 45 kJ/kg.

Stel dat de globale straling nu een waarde van 1000 W/m² bereikt. In een gangbare ongeschermd kas dringt 70% hiervan, dus 700 W/m² door naar binnen. De andere 30% wordt direct of indirect gereflecteerd door het glas of het gewas. Per uur levert dat een energietoevoer op van $700 \cdot 3600 = 2520$ kJ/m². Om deze energie door ventilatie af te voeren hebben we een uitwisseling door de luchtramen nodig van $2520 / (60 - 45) = 168$ kg lucht per m² per uur.

Door ventilatie wordt niet alleen energie afgevoerd, maar ook vocht. De mate waarin dat gebeurt is afhankelijk van het verschil in absoluut vochtgehalte binnen en buiten. Het blijkt dat in dit voorbeeld tegelijk 873 gram/m².uur aan vocht is afgevoerd. Dit volgt namelijk uit het aantal kg lucht maal het verschil in absoluut vocht.

Bij een kashoogte van 5 meter betekent dit dat de klimaatcomputer de ramen zo ver openstuurt dat de hele kasinhoud bijna elke 2 minuten wordt verversd. Dan is de energiebalans in evenwicht en blijft de kastemperatuur constant met een bepaald verschil boven de ventilatietemperatuur (deel van de P-band).

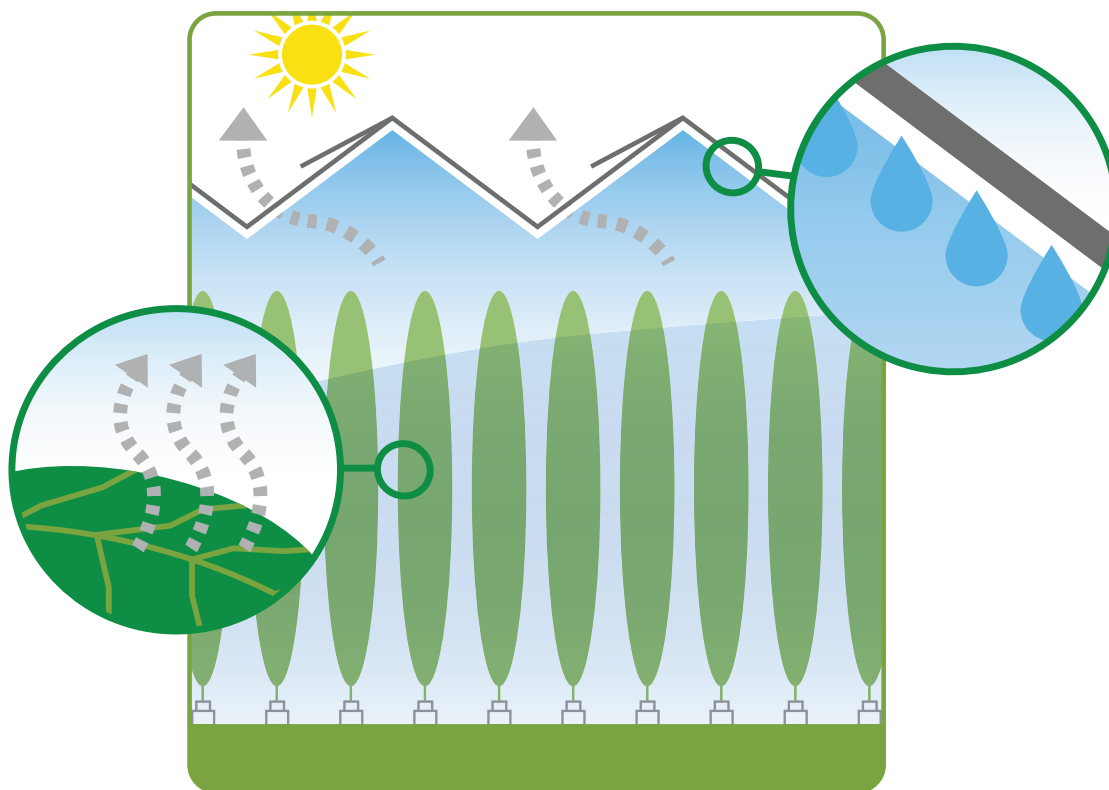
In de meeste gevallen houdt het gewas de hoge verdamping van bijna 0,9 liter/m².uur niet voor lange tijd vol. Dat betekent dat de kaslucht steeds droger wordt en daarmee het enthalpieverschil met buiten geringer. Dit vereist een nog hogere ventilatiesnelheid voor de energieafvoer. De vochtafvoer wordt daardoor niet lager. Ventileren op basis van alleen temperatuur leidt bij hoge instraling tot een negatieve spiraal die eindigt bij wijd openstaande luchtramen, een kastemperatuur die desondanks hoger blijft dan de buitentemperatuur, een lage RV in de kas, gesloten huidmondjes en een hoog CO₂-verlies en daardoor een laag fotosynthese rendement. Dit inzicht heeft bij HNT geleid tot een alternatieve strategie die veel meer rekening houdt met de RV in de kas. Door bij toenemende instraling en afnemende RV in de kas de streefwaarde voor de kastemperatuur te verhogen, worden de luchtramen geknepen, blijven het vocht en de CO₂ beter in de kas, wordt waterstress bij de planten voorkomen en blijft de fotosynthese op een hoog niveau doorgaan.

Onder andere om dit effect te demonstreren is de HNT Rekentool ontwikkeld. Een van de rekenmodellen laat zien welke invloed de kas RV heeft op het ventilatievoud en de benodigde CO₂-dosering om een bepaald CO₂-niveau ppm) te handhaven. Zie bijlage 9.2.

3.4.3 De vochtbalans

In de bovenstaande beschouwing is primair gekeken naar de energiebalans, waarbij de vochtbalans hiervan het gevolg was. Uiteraard is het ook een optie om separaat te kijken naar de vochtbalans.

Vochtbalans



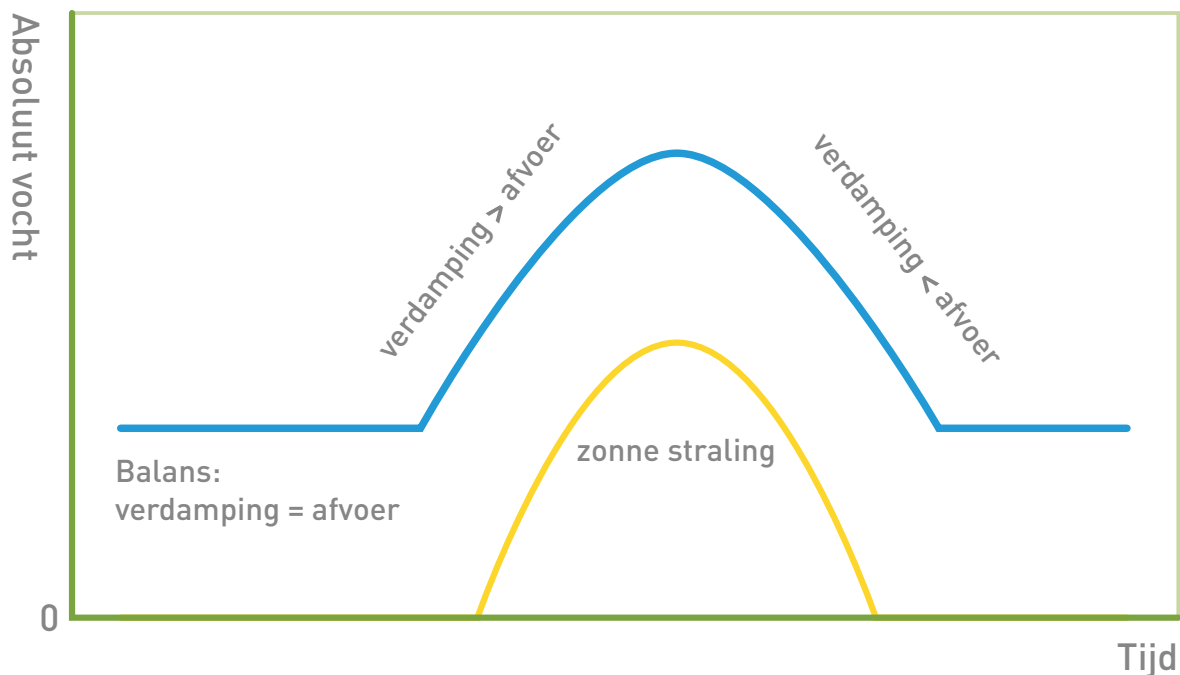
Bij de vochtbalans kijken we naar de aanvoer van vocht en de afvoer. De aanvoer komt meestal overeen met de gewasverdamping. De afvoer wordt gevormd door de combinatie van condensatie tegen het kasdek en de ventilatie.

Energetisch gezien is er een aanzienlijk verschil in vochtafvoer door condensatie en door ventilatie. Bij ventilatie gaat een hoeveelheid energie verloren die overeenkomt met de geleverde verdampingsenergie, plus de warmte die nodig is om de buitenlucht op te warmen tot kastemperatuur. Zolang deze energie door de zon wordt geleverd is dit geen probleem. Als hiervoor moet worden gestookt is vochtbeheersing een flinke kostenpost. Bij condensatie wordt een (klein) deel van de latente warmte teruggewonnen, zodat er minder energie verloren gaat.

Het is dus van belang om ten eerste niet meer vocht af te voeren dan nodig en nuttig is en ten tweede om dit bij voorkeur door condensatie te realiseren. Anderzijds moet er ook geen vocht ophopen in de kas. Of de vochtbalans van de kas in evenwicht is, kan goed worden afgelezen aan het verloop van de absolute vochtigheid van de kaslucht.

Het monitoren van het AV-verloop geeft aanvullende informatie over wat er in de kas gebeurt ten aanzien van vocht. Bij een stijgende AV is de verdamping hoger dan de afvoer. Dit zal normaal gesproken optreden bij toenemende instraling of door het inschakelen van lampen. Dit hoeft geen probleem te zijn zolang er geen condensatie op het gewas optreedt en zolang de RV niet te hoog wordt. Maar het kan wel een indicatie zijn dat er (preventieve) maatregelen nodig zijn om problemen te voorkomen, zoals vochtafvoeren door te ventileren. Bij afnemende AV wordt er kennelijk netto vocht afgevoerd en dat is een gunstig teken, met name in de nacht onder een gesloten energiescherm.

Absoluut Vocht is de controle



Het verloop van de absolute vochtinhoud AV van de kaslucht geeft goed weer of de vochtbalans in evenwicht is.

3.4.4 Effectief en werkelijk ventilatievoud

In bovenstaande beschouwingen wordt feitelijk aangenomen dat er een effectieve of gemiddelde ventilatiesnelheid bestaat, alsof de luchtuitwisseling door de luchtramen gelijkmatig en geordend plaats vindt in nette pakketjes lucht die in en uit gaan. In werkelijkheid is dat veel chaotischer als wordt bedacht dat de ventilatiesnelheid afhangt van:

- Windsnelheid;
- Windrichting;
- Schoorsteen effect: temperatuur verschil binnen – buiten;
- Drukverschil binnen – buiten.

Dit betekent dat de ventilatiesnelheid voortdurend sterk fluctueert. Bovendien zal bovenin de kas, vlak bij de luchtramen, het ventilatievoud veel hoger zijn dan onderin waar het gewas remmend werkt op de luchtbeweging. Sommige onderzoeken wijzen op een factor 10 verschil in ventilatievoud tussen de bovenlaag en de onderlaag. Dit leidt naar een ander aspect van ventileren, zie de paragraaf hieronder.

3.4.5 Luwe zijde versus windzijde

Traditioneel heeft ventileren met de luchtramen aan de luwe zijde de voorkeur boven de windzijde. De reden ligt erg voor de hand. Aan de windzijde blaast de wind in de kas en zorgt voor koude en droge lucht bij het gewas en dat wordt als ongunstig beschouwd. De meest gebruikte methode is dus om eerst de luwe zijde zonodig ver te openen en pas als dat onvoldoende effect heeft de luchtramen aan de windzijde ook beperkt mee te laten openen. Het openen van de windzijde heeft dan meestal een flink effect en dat versterkt mede het idee dat luchten met de windzijde zo veel mogelijk moet worden vermeden.

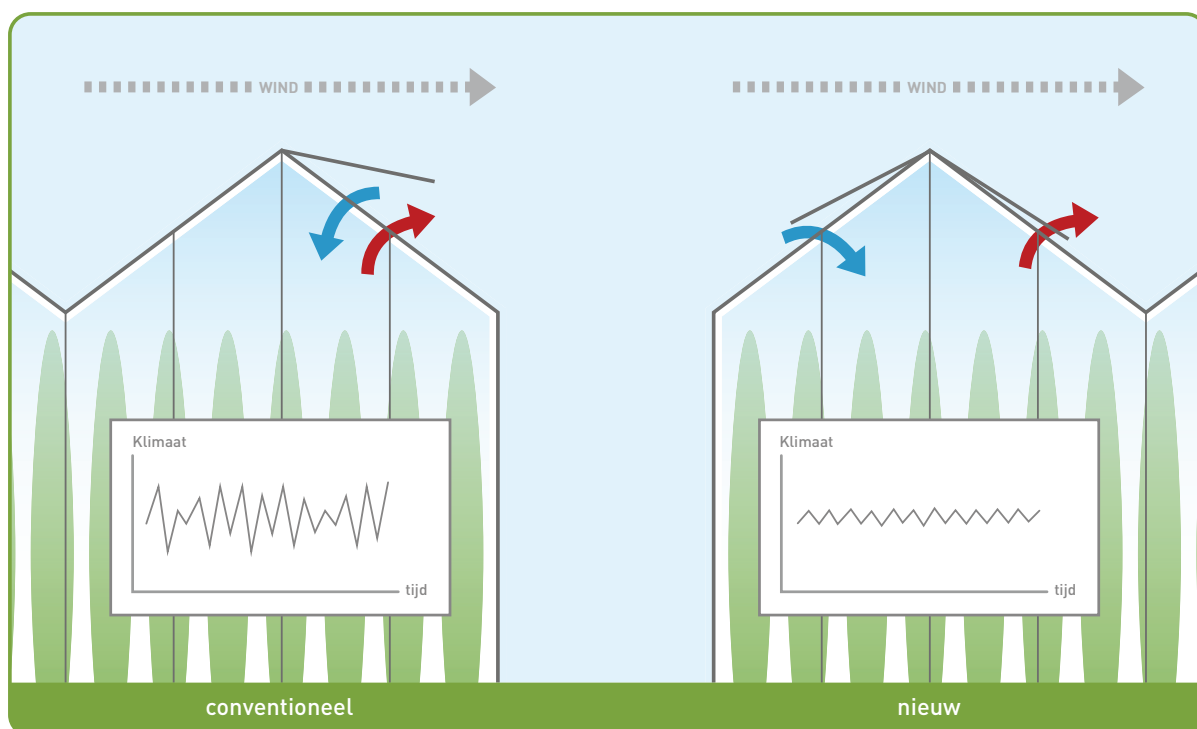
Geheel tegen deze heersende gedachte in is binnen de leergroepen van Het Nieuwe Telen door steeds meer telers de ervaring opgedaan dat werken met de windzijde een gelijkmatiger klimaat in de

kas geeft en dat het juist gemakkelijker is om de temperatuur te beheersen en tegelijk vocht en CO₂ binnen te houden.

Deze praktijkervaring kan natuurkundig op de volgende manier worden onderbouwd. Lucht laat zich veel beter sturen door ermee te blazen, dan door eraan te zuigen. Een eenvoudig experiment met een stofzuiger of een ventilator maakt dat direct duidelijk. Ook heeft elke teler de ervaring dat er aan de luwe zijde veel hogere raamstanden nodig zijn om een bepaald effect te bereiken dan wanneer hij dit met de windzijde zou doen. De luchtweerstand van elk luchtraam voor de in- en uitstromende lucht is in het eerste geval veel lager dan in het laatste. Bij een breed geopend luchtraam is er dus nauwelijks meer sprake van gedoseerde luchtuitwisseling, de luchtuitwisseling kan van het ene op het andere moment enorm variëren als gevolg van een windvlaag, temperatuur- en drukverschillen. Zo worden bij pieken in de uitwisseling het aanwezige vocht en CO₂ in de kas in één klap naar buiten gezogen en duurt het weer een poosje voordat dit is aangevuld.

Dat betekent omgekeerd dat windzijdig ventileren veel beter gecontroleerd en gedoseerd kan gebeuren dan aan de luwe kant. De moderne kassen zijn bovendien aanzienlijk hoger dan vroeger en binnenstromende buitenlucht heeft dus veel minder directe (ongunstige) effecten op het gewas. Hierdoor blijven de RV en de CO₂-concentratie op gewashoogte ook stabiel.

Wind en luwzijde



Gebruik van alleen voorlucht leidt tot grote raamstanden. Fluctuaties in windsnelheid en richting dringen gemakkelijk door tot in de kas en zorgen voor een onrustig kasklimaat. Door het tegenlucht mee te laten lopen blijven de luchtramen beperkt en fluctuaties buiten hebben relatief minder invloed. Gevolg: een stabiel kasklimaat.

Het oude gevoel dat windzijdig ventileren nadelig is voor het gewas en allerlei ongewenste problemen veroorzaakt in de kas is kortom grotendeels achterhaald. Daarom wordt binnen Het Nieuwe Telen deze nieuwe manier van ventileren aangemoedigd. Om hier ervaring mee op te doen kan stapsgewijs worden gewerkt.

De eerste stap is om de windzijde veel eerder mee te laten lopen met de luwe zijde. De totale raamopening blijft dan beperkt en de luchtuitwisseling kan beter worden gedoseerd en beheerst.

De tweede stap is om zelfs met de windzijde te beginnen en de luwe zijde hierop te laten nalopen. Uiteraard is het verstandig om bij deze nieuwe manier van ventileren rekening te houden met de omstandigheden buiten, zoals de buitentemperatuur, regen en windsnelheid. Bij harde wind en regen is het zaak terug te schakelen naar de veilige methode van ventileren met de luwe zijde.

3.5 Afkoeling door uitstraling

‘Je gaat het pas zien als je het doorhebt’

Johan Cruijff

Elk lichaam zendt langgolelige warmtestraling uit naar de omgeving. Langgolilig wil zeggen in het golflengte bereik van 4500-100.000 nanometer. De intensiteit van deze warmtestraling is afhankelijk van de temperatuur van het lichaam en wordt weergegeven in de wet van Stefan Boltzmann (zie ook bijlage 9.4):

$$E = C_b \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times T_b^4 \text{ W/m}^2$$

Hierin is:

- E de uitgezonden energie
- T_b de temperatuur van het lichaam in graden Kelvin. Dit is dezelfde schaal als Celsius, met dat verschil dat het nulpunt bij -273°C ligt. Zo komt 15°C dus overeen met $273 + 15 = 288$ graden K.
- C_b de emissiefactor die wordt bepaald door het materiaal en de oppervlakte-eigenschappen van het lichaam en ligt tussen 0 en 1. Voor een zogenaamde ‘ideale zwarte straler’ is C_b gelijk aan 1.
- Voor planten en andere waterige lichamen ligt C_b tussen 0,95 en 0,98. Voor glas geldt een C_b waarde rond 0,85. Kunststof heeft een gemiddelde C_b waarde van circa 0,8 en voor aluminium geldt een waarde van rond 0,4.

3.5.1 Meten van uitstraling van de kas met pyrgeometer

Uitstraling is een belangrijk onderdeel van het energieverlies van de kas. Dit komt doordat de kas een relatief warm object vormt tegenover een ‘hemel’ die zeer koud kan zijn. We kunnen deze uitstraling meten met een zogenaamde pyrgeometer. De meting wordt volgens de Internationale norm voor meteorologische gegevens uitgedrukt als een negatief getal en heeft een bereik van 0 tot ongeveer -150 W/m^2 . Als de lucht is bedekt met bewolking is de uitstraling laag, omdat de wolken dan ongeveer dezelfde temperatuur hebben als het aardoppervlak. Er wordt dan weliswaar langgolelige straling uitgezonden, maar er komt ongeveer net zo veel weer terug.



Een Pyrgeometer waarmee langgolelige uitstraling kan worden gemeten. Uitstraling wordt weergegeven als een negatief getal en kan waarden bereiken tussen 0 en circa -150 W/m^2 .

Het mag duidelijk zijn dat een uitstraling van -150 W/m^2 een aanzienlijke afkoeling van de kas kan veroorzaken. Deze waarde komt immers overeen met de capaciteit van een gangbare verwarmings-

installatie. Uitstraling kan er ook voor zorgen dat de ruiten van een auto bevroren zijn terwijl de luchttemperatuur nog ruim boven het vriespunt is.

3.5.2 Effecten van uitstraling in de kas

Welk effect heeft de uitstraling buiten nu op het kasklimaat en op het gewas? Het is niet zo dat de langgolvlige uitstraling dwars door het kasdek gaat. Met andere woorden, een heldere hemel zorgt niet direct voor afkoeling van de kaslucht en het gewas maar indirect. Eerst koelt het kasdek af door uitstraling en daardoor neemt ook de uitstraling van het gewas toe. Door het koudere kasdek zal ook de kaslucht afkoelen door convectie.

Om een indruk te krijgen van de grootte van de energiestroom door uitstraling in een kas het volgende getallenvoorbeeld:

Stel dat een bloemknop een temperatuur heeft van 15°C. Voor de eenvoud nemen we voor C_b de waarde 1 aan. Hieruit volgt dat het oppervlakte van de bloem uitstraalt:

$$E_{\text{bloem}} = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 15)^4 = 390 \text{ W/m}^2.$$

Stel dat zich boven de bloem een glazen kasdek bevindt met een temperatuur van 10°C. Dan zou dit kasdek ook langgolvlige straling uitzenden volgens:

$$E_{\text{kasdek}} = 0,85 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 10)^4 = 309 \text{ W/m}^2.$$

Omdat het kasdek een C_b waarde heeft lager dan 1 wordt er ook een deel van de 'inkomende' warmtestraling gereflecteerd, dat is $1 - 0,85 = 15\%$

De C_b waarde van de bloem ligt dicht bij 1 en daarom nemen we voor de eenvoud aan dat de bloem geen reflectie geeft.

Gekeken vanuit de bloemknop en aangenomen dat het verder donker is in de kas (geen andere vorm van instraling) dan resulteert dat in:

$$\text{Netto uitstraling} = -390 + (15\% \text{ reflectie door kasdek}) + 309 \text{ (van kasdek)} = -22,5 \text{ W/m}^2.$$

Deze $-22,5 \text{ W/m}^2$ zorgt dus voor afkoeling van de bloem. Doordat de bloemtemperatuur dan lager wordt dan de kasluchttemperatuur wordt er door convectie-overdracht weer energie toegevoerd. Afhankelijk van de luchtbeweging ontstaat er dan een evenwicht bij een bepaalde bloemtemperatuur. Meer luchtbeweging heeft dus een compenserend effect op de afkoeling door uitstraling.

Stel dat nu een energiescherm wordt gesloten en dat dit energiescherm enige aluminiumbandjes bevat zodat de C_b waarde circa 0,6 bedraagt. De temperatuur van het schermdoek neemt de gemiddelde waarde van de kaslucht en het kasdek aan dus ongeveer 12,5°C.

We rekenen nu de bovenstaande formules nogmaals uit met de aangepaste waarden:

$$E_{\text{bloem}} = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 15)^4 = 390 \text{ W/m}^2.$$

$$E_{\text{scherm}} = 0,6 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times (273 + 12,5)^4 = 226 \text{ W/m}^2. \text{ Het scherm reflecteert } 40\%.$$

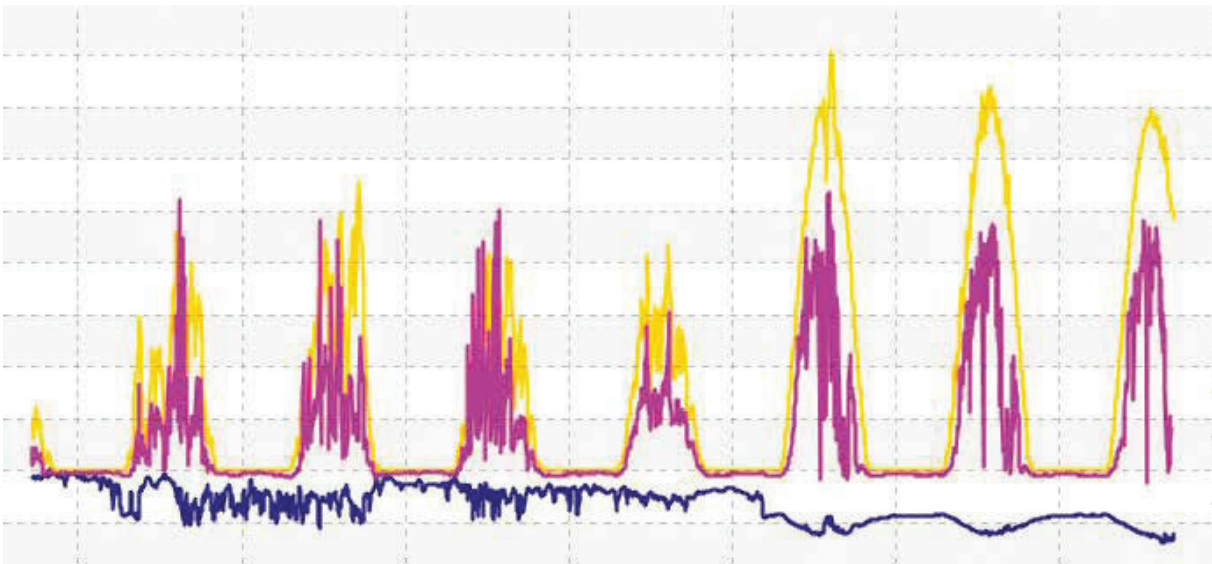
$$\text{Resultaat voor de bloem} = -390 + (40\% \text{ reflectie door scherm}) + 226 = -8 \text{ W/m}^2.$$

Door het gesloten scherm is de uitstraling dus sterk verminderd en de bloem zal dan ook minder afkoelen.

Voor het gemak hanteren we in de praktijk als ruwe schatting voor uitstraling van het gewas naar een koudere omgeving een waarde van circa -5 W/m^2 per graad temperatuurverschil.



Een speciale sensor die bestaat uit een tweezijdig uitgevoerde combinatie van een pyranometer en een pyrgeometer. Hiermee kan de netto instraling en uitstraling in de kas boven het gewas nauwkeurig worden gemeten. Dit instrument is mede gezien de prijs overigens vooral bedoeld voor onderzoeksdoeleinden.



Deze grafiek laat zien dat er ook overdag sprake is van langgolvlige uitstraling buiten (blauwe lijn) en dat deze juist op zonnige dagen (gele lijn) het grootst is (meest negatief). Op bewolkte dagen (lagere instraling) is ook de uitstraling minder sterk. De roze lijn geeft de netto instraling op het gewas aan.

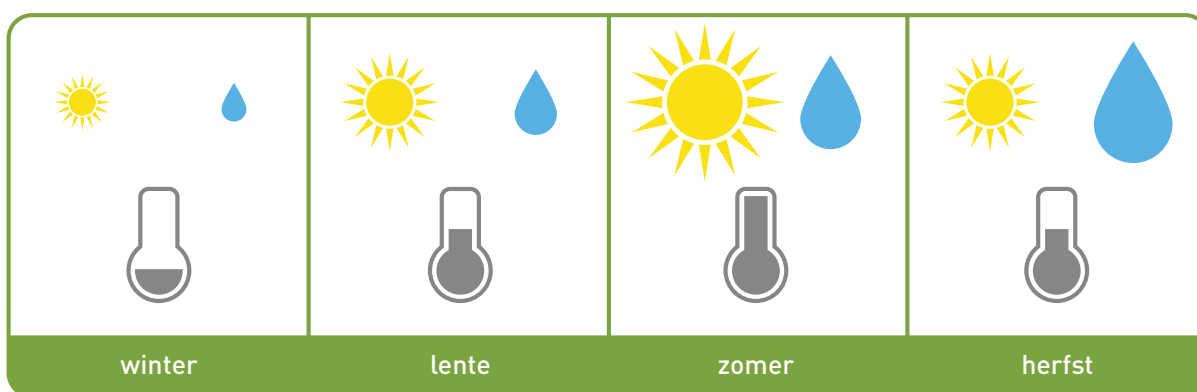
Te zien is dat deze 's nachts, ook bij gesloten schermdoek, iets negatief kan worden als gevolg van langgolvlige uitstraling. Voor het geheel wegnemen van deze uitstraling is een dubbel scherm nodig.

3.6 Energiebalans en vochtbalans in verschillende situaties en seizoenen

De energiebalans speelt een centrale rol in het kasklimaat. Inzicht in de energiebalans geeft een handvat om het klimaatverloop te begrijpen en te beïnvloeden met de verschillende regelinstrumenten. Daarbij zijn niet alleen de energiebalans en de vochtbalans van de kas maatgevend, maar ook die van het gewas dat zich immers moet aanpassen aan de omstandigheden. Per etmaal zijn globaal de volgende zes kenmerkende situaties in de kas te onderscheiden:

- Nacht, zonder PAR-straling;
- Nacht, maar met kunstmatige belichting;
- Overgang nacht -> dag;
- Dag met weinig instraling;
- Dag met veel instraling;
- Overgang dag -> nacht.

Seizoenen



Omdat de energiebalans en de vochtbalans weer samenhangen met de buitenomstandigheden is het zinvol om verder onderscheid te maken tussen verschillende seizoenen of weertypen:

- Winter: weinig straling, lage buitentemperatuur, lage luchtvochtigheid;
- Lente: toenemende straling, lage buitentemperatuur, lage luchtvochtigheid;
- Zomer: veel straling, hoge buitentemperatuur, lage luchtvochtigheid;
- Herfst: afnemende straling, hoge buitentemperatuur en hoge luchtvochtigheid.

Voor de volledigheid moet een matrix worden gemaakt van alle voorkomende combinaties. In het kader van dit rapport worden enkele situaties behandeld, zodat de lezer vervolgens zelf de overige situaties naar behoefte kan uitwerken. Te beginnen met de 'gemakkelijke' situaties en een geleidelijke opbouw naar de 'moeilijke' gevallen. Bij onderstaande uitwerking zijn de voorbeeldgewassen roos en tomaat gebruikt.

In de praktijk spelen bovendien nog de sterk wisselende omstandigheden qua zonnestraling en temperatuur over één dag (door bewolking en regenbuien bijvoorbeeld). Natuurlijk ook met soms scherpe overgangen in weertypen in hetzelfde seizoen, zoals zeer zonnige dagen afgewisseld met sombere dagen. Dit geeft wel aan dat de energie- en vochtbalans van de kas grote en snelle fluctuaties kan vertonen. Deels is dit op te vangen met de technische installaties, zoals de ventilatie, verwarming, de schermen enzovoort. Daarnaast moet ook het gewas in prima conditie zijn om deze overgangen te kunnen verwerken.

3.6.1 De dagsituatie in de winter

Voor de groei van het gewas is PAR-licht onmisbaar, dus moet volgens de opvatting van veel telers 'elk straalte van de schaarse zon worden benut'. Maar levert dit nu altijd voordeel op? Daarbij moet

in ogenschouw worden genomen dat door de lage buitentemperatuur veel energie nodig is om de kas op temperatuur te houden. Als de zon schijnt ontstaat ook nog extra energieverlies door uitstraling naar de heldere hemel. Het komt dan ook regelmatig voor dat het opentrekken van het energiescherm, om de zon zijn werk te laten doen, beduidend meer stookenergie kost dan dat er aan stralingsenergie binnen komt. Een eenvoudig rekenvoorbeeld laat dit zien.

Stel de kastemperatuur is 18°C, en buiten is het 5°C. Hoeveel warmte hierbij verloren gaat is afhankelijk van de isolatiewaarde van de kas. Dit wordt ook wel de K-waarde genoemd. Voor een gangbare kas bedraagt de K-waarde circa 7 W/m².K.

In de geschetste situatie is het warmteverlies dan $(18 - 5) \cdot 7 = 91 \text{ W/m}^2$.

Aangenomen dat de globale straling 100 W/m² is. Daarvan komt minder dan 70% in de kas. Bij een heldere hemel kan de uitstraling gemakkelijk -50 W/m² zijn.

De energiebalans levert dan op (bij windstil weer) een netto verlies van : $91 + 50 - 70 = 71 \text{ W/m}^2$. Met een beetje wind kan dit gemakkelijk nog 50% meer zijn.

Voor het gemak: 100 W/m² warmteverlies betekent dat er $100 \text{ [W/m}^2\text{]} \times 10.000 \text{ [m}^2\text{/ha]} \times 3600 \text{ [sec/uur]} / 31,65 \text{ [MJ/m}^3\text{]} = \text{bijna } 115 \text{ m}^3 \text{ aardgas per hectare per uur moet worden verstoekt om de kas op temperatuur te houden.}$

Het warmteverlies kan met een gesloten energiescherm tot circa de helft worden teruggebracht, terwijl het lichtverlies door een scherm bijvoorbeeld niet veel meer dan 20% is. Kortom het binnenlaten van een beetje extra groeilicht (20%) door het energiescherm te openen wordt dan wel een dure aangelegenheid, namelijk verdubbeling van de stookkosten. Daar komt nog bij dat uitstraling zorgt voor een koude kop van de plant en dus nadelig kan zijn voor de ontwikkeling. Het is dus zeker de moeite waard om een goed lichtdoorlatend scherm, of vaste folie te overwegen. Vochtproblemen zijn nauwelijks aan de orde omdat de condensatie op het kasdek zorgt voor voldoende afvoer en bovendien de verdamping beperkt is.

In jonge teelten is vaak juist een te laag vocht problematisch, vandaar dat de eerste functie van een vast folie is om de vochtafvoer te verlagen. De energiebesparing is dan feitelijk niet meer dan een bijproduct.

3.6.2 De dagsituatie in de lente

Door de toenemende straling zit de groei er goed in en blijft de kastemperatuur goed op peil met weinig of geen stookkosten. In het vroege voorjaar is de gewasverdamping nog beperkt (minder straling en kleiner gewas) en door de lage buitentemperatuur kan veel vocht worden afgevoerd door condensatie aan het kasdek. Als dit onvoldoende is kan overtollige energie en vocht door het grote verschil in temperatuur en vochtigheid binnen-buiten worden afgevoerd met een minimale raamstand.

Later in het voorjaar treedt er een verschuiving op doordat de straling verder toeneemt en meestal ook de gewasgrootte en daarmee de verdamping. Er moet steeds meer worden geventileerd voor vochtafvoer en dat kan bij lage buitentemperaturen wel eens lastig zijn doordat er 'teveel kou in de kas wordt gelucht'. Bij moeilijk verdampende gewassen kan het omgekeerd ook voorkomen dat de kaslucht te droog wordt als er voor de temperatuur handhaving ook maar een 'snippertje' moet worden gelucht.

3.6.3 De nachtsituatie in de winter en de lente

Vanwege de lage buitentemperatuur is het verstandig om zo veel mogelijk te schermen met zo mogelijk een dubbel energiedoek om de stookkosten laag te houden. Hierdoor wordt de K-waarde van de kas verlaagd. Er hoeft dan weinig te worden gestookt om de energiebalans in evenwicht te houden.

Maar hoe staat het met de vochtbalans? De gewasverdamping in de nacht zonder belichting hangt voornamelijk af van de luchtvochtigheid uitgedrukt in RV of VD in combinatie met luchtbeweging. Verder zorgt een warme buis voor extra verdamping. Als de buitentemperatuur laag is zal ook de kasdektemperatuur laag zijn en door condensatie zal dan de vochtigheid boven het gesloten schermdoek ook laag zijn.

Het overtollig vocht uit de kas trekt door het poreuze schermdoek naar boven (diffusie) en er treedt een evenwicht op tussen verdamping en vochtafvoer bij een RV van bijvoorbeeld 75-85%. Bij traag verdampende gewassen kan dit aanzienlijk lager zijn, bijvoorbeeld 50%. Grosso modo geldt dat het dauwpunt van de kaslucht in de buurt komt te liggen van de kasdektemperatuur.

3.6.4 De nachtsituatie in de lente en de zomer

Naarmate het voorjaar vordert worden de nachttemperaturen steeds hoger. Dat is gunstig voor de energiebalans, want er hoeft minder te worden gestookt. Voor de vochtbalans is dit echter problematisch. Er treedt immers minder condensatie op op het kasdek en het verschil in vochtigheid onder en boven het schermdoek wordt dus kleiner. Het afvoeren van vocht door een gesloten energiescherm wordt moeilijker en dat leidt er toe dat de RV in de kas hogere waarden gaat bereiken. De gevarenzone wat betreft een 'actief groeiklimaat voor de plant' komt in zicht, dat vereist maatregelen. Onder een actief groeiklimaat wordt doorgaans verstaan dat de plant voldoende kan verdampen voor de opname van nutriënten en dat het vocht door luchtbeweging ook wordt afgevoerd.

De vraag is nu: hoe is dit het beste aan te pakken? De gangbare manier is vaak het inzetten van een minimumbuis, vervolgens een vocht kier in het schermdoek en als laatste de luchtramen op een kiertje. Natuurkundig gezien is dit echter de verkeerde manier en is juist de omgekeerde volgorde de beste. Zie verder onder 'Vochtbeheersing onder gesloten schermdoek'.

3.6.5 De nachtsituatie in de herfst

Deze situatie wordt gekenmerkt door het moeizaam afvoeren van vocht uit de kas. Komend vanuit een zonrijke periode is het gewas vaak sterk ontwikkeld (vegetatief) met een hoge LAI en produceert dus bij een gegeven vochtigheid in de kas relatief veel vocht. Dit terwijl het verschil in vochtigheid binnen-buiten juist gering is. Bovendien wordt er door het afnemende zonlicht juist gestreefd naar een zo laag mogelijke etmaaltemperatuur. In de praktijk betekent dit: de (energie)schermen en de ramen wijd open zetten en er verder het beste van hopen. Is dit dan per definitie ook de beste (of de minst slechte) aanpak?

Allereerst moet de situatie dan worden getoetst aan de voorwaarden voor een 'actief groeiklimaat voor de plant'. In deze situatie zal dat betekenen dat er moet worden gezorgd voor luchtbeweging. Dit bevordert immers de verdamping en de vochtafvoer tussen de planten.

Maar er is nog meer nodig, namelijk voldoende verschil tussen de absolute vochtigheid binnen en buiten. Immers als er geen verschil is, kan er geen vocht worden afgevoerd. De enige mogelijkheid is om de kastemperatuur te verhogen ten opzichte van de buitentemperatuur door te stoken. Dat moet echter slim gebeuren, want stoken kost geld en stoken geeft ook weer (onnodige) gewasverdamping. Het inzetten van een minimumbuis in de geschetste situatie is dus niet handig. Doordat alles open staat wordt de kastemperatuur er nauwelijks door verhoogd. Er wordt wel meer vocht afgevoerd, maar ook meer vocht geproduceerd en de RV zal dus weinig afnemen.

De beste aanpak is daarom: het energiedoek sluiten, de kastemperatuur enige graden verhogen ten opzichte van de buitentemperatuur om een kunstmatig verschil te creëren en de (geforceerde) ventilatie te regelen op RV of eventueel de gewasverdamping zelf. Een goede manier is om de verwarmingsregeling te sturen op een bepaald minimaal verschil in absolute vochtigheid of een verschil in enthalpie binnen-buiten.

3.7 Overzicht van energiestromen

Onderstaand overzicht geeft in verschillende situaties meer inzicht in de fysische aspecten en de ordergrootte van de energiestromen in de kas en welke perspectieven er zijn voor besparing en terugwinning van energie. Om niet te zeer te vervallen in uitgebreide verhandelingen over technische en natuurkundige details wordt op sommige punten volstaan met een globale, kwalitatieve analyse. Omdat de energiestromen 's nachts heel anders zijn dan overdag worden die situaties apart bekeken.

3.7.1 Energiebalans onder gesloten scherm (nacht)

Uitgangspunt is een volgroeid tomaten- of rozengekas in de donkerperiode onder gesloten scherm met een gewasverdamping van 25 gram/m².uur. In de gekozen situatie is de kastemperatuur 10 graden hoger dan de buitentemperatuur. Bijvoorbeeld in de kas 15°C en buiten 5°C. De vochtigheid van de kas wordt gesteld op 85%. De kas wordt geforceerd ontvochtigd door het inblazen van (verwarme) buitenlucht. Dan zijn de volgende energie- en vochtstromen te onderscheiden:

1. Het energieverlies door geleiding

Dit is het verlies van de kas als gevolg van temperatuurverschil binnen-buiten. Hierbij is de effectieve K-waarde bepalend. Van een normale Venlokas is de K-waarde circa 7-8 W/m².K. Met een goed energiescherm kan die min of meer worden gehalveerd, dus tot 3,5. De energie die nodig is om de kas op temperatuur te houden bedraagt dan $(15-5) \times 3,5 = 35 \text{ W/m}^2$. Met een tweede scherm kan een reductie worden bereikt tot 25 W/m².

In de toekomst zal het wellicht mogelijk zijn om deze verliesstroom terug te brengen tot bijvoorbeeld 10 W/m² met nog betere schermen.

2. Het energieverlies door langgolvlige uitstraling.

De langgolvlige uitstraling wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen het gewas en het onderste scherm en de eigenschappen van dit scherm.

Met behulp van de formule van Stefan Boltzmann is de orde van grootte van deze uitstraling te berekenen: $E = C_g \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times T_g^4 \text{ W/m}^2$. Hierin is C_g de emissiefactor van het gewas die ergens tussen 0,95 en 1 zal liggen. Voor de eenvoud is de waarde 1 aangehouden. T_g is de gewas temperatuur in Kelvin. De gewas temperatuur van 15°C komt dan overeen met $15+273=288 \text{ K}$.

Hieruit volgt dat het gewas $E_g = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times 288^4 = 390 \text{ W/m}^2$ uitstraalt. Het schermdoek straalt echter ook energie naar het gewas terug afhankelijk van de eigen temperatuur.

Stel dat de schermtemperatuur 10°C = 283 K zou zijn, dan:

$$E_s = 1 \times 5,67 \cdot 10^{-8} \times 283^4 = 363 \text{ W/m}^2.$$

Netto straalt het gewas dan uit: $390 - 363 = 27 \text{ W/m}^2$.

Bovenstaande berekening geeft aan hoe belangrijk langgolvlige uitstraling is ten opzichte van de andere energiestromen.

In de praktijk hanteren we een uitstraling van circa 5 W/m².°C. Dit komt dus overeen met bovenstaand voorbeeld (5 graden verschil * 5 W/m².°C = 25) We mogen dit beschouwen als een bovengrens. Met name omdat de meeste energieschermen aluminium bevatten en daardoor de uitstraling vanuit het gewas als het ware reflecteren. Ook kan bij een dubbel scherm de temperatuur van het onderste scherm wellicht hoger zijn dan 5 graden onder de kastemperatuur bij een verschil binnen-buiten van 10 graden. Waarden tussen 10 – 20 W/m² mogen echter zonder meer als realistisch worden beschouwd.

3. Energieverlies als gevolg van verdamping

Voor de gewasverdamping moet er energie worden opgenomen uit de omgeving, deels door convectieve overdracht, deels door langgolvlige straling.

Bij een verdamping van 25 gram/m².uur absorbeert het gewas een energiestroom ter grootte van:
 $25 \text{ [gr/m}^2\text{.uur]} \times 2500 \text{ [kJ/kg]} / 60 \times 60 \text{ [sec]} = 17,5 \text{ W/m}^2$.

Ook hier blijkt weer dat de verdampingsenergie in dezelfde orde van grootte is als het isolatieverlies met gesloten scherm.

4. Energieverlies als gevolg van (geforceerde) ventilatie

Aangenomen werd dat de gewasverdamping 's nachts circa 25 gram/m².uur bedraagt. Dit vocht moet dan worden afgevoerd door middel van condensatie op het kasdek, ofwel door ventilatie naar buiten, dus door de luchtramen.

Eerste aanname is dat de volledige vochtafvoer wordt verzorgd door (geforceerde) ventilatie met buitenlucht. In normale kassen zou dat dan gebeuren door natuurlijke ventilatie. In kassen met een buitenlucht aanzuiging zou dat geforceerde ventilatie zijn. Dat wil zeggen dat er buitenlucht wordt aangezogen en indien nodig wordt verwarmd tot kastemperatuur. Vervolgens wordt net zoveel kaslucht naar buiten gelaten door middel van ventilatie. Hierbij wordt geen gebruik gemaakt van warmte terugwinning.

Ten eerste de vraag: hoeveel buitenlucht is nodig voor de vochtafvoer?

De absolute vocht inhoud van de kaslucht (15°C, 85%) = 9 gr/kg.

De absolute vochtinhoud van de buitenlucht (5°C, 80%) = 4,5 gr/kg

Voor het afvoeren van 25 gram vocht per uur is dus $25 / (9 - 4,5) = 5,5 \text{ kg/m}^2\text{.uur}$ buitenlucht nodig.

Om deze buitenlucht op te warmen naar 15 graden is ruwweg $5,5 \times (15 - 5) = 55 \text{ kJ/m}^2\text{.uur}$ nodig. Dit komt neer op een energiestroom van $55.000 / 3600 = 15 \text{ W/m}^2$.

In de meeste rapporten van Wageningen UR Glastuinbouw wordt gerekend met een gemiddelde aan extra kosten voor buitenlucht opwarming van 1800 J/gram waterdamp. Dit zou dan neerkomen op $25 \times 1800 / 3600 = 12,5 \text{ W/m}^2$.

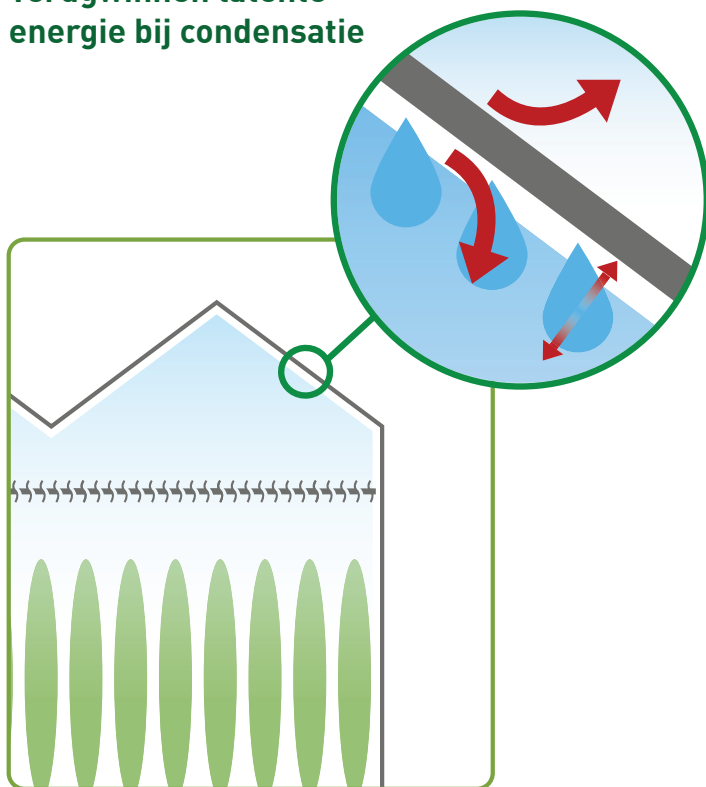
5. Energieverlies/terugwinning als gevolg van condensatie

Tegenhanger voor het afvoeren van vocht door ventilatie is de situatie waarbij de gewasverdamping volledig door het scherm zou trekken door middel van diffusie en tegen het kasdek zou condenseren. De energiestroom die hiermee gepaard gaat bedraagt:

$$25 \text{ [gr/m}^2\text{.uur]} \times 2500 \text{ [kJ/kg]} / 60 \times 60 \text{ [sec]} = 17,5 \text{ W/m}^2$$

Dat is natuurlijk precies gelijk aan de energie die nodig was om dit vocht te verdampen. Nu is de vraag waar blijft deze energie die wordt afgegeven aan het kasdek. Om die te beantwoorden moet nader in worden gegaan op het fysische proces dat plaatsvindt aan de grenslaag van het kasdek.

Terugwinnen latente energie bij condensatie



Aan weerszijden van het glas kan een grenslaag gedacht worden die bestaat uit respectievelijk kaslucht en buitenlucht. De grote pijlen geven de convectieve warmtestromen aan. Doordat warme kaslucht langs het kasdek strijkt wordt energie afgegeven. Deze energie gaat door het glas en wordt vervolgens overgedragen aan de buitenlucht. Als waterdamp condenseert aan de onderzijde van het glas komt condensatiewarmte vrij die zich verdeelt tussen het glas en de kaslucht. Dit wordt aangegeven door de kleine pijlen.

Zoals boven genoemd komt er condensatie-energie vrij ter grootte van circa 17 W/m^2 (kasoppervlak) bij een condensatiesnelheid van $25 \text{ gram/m}^2 \cdot \text{uur}$. Deze energie wordt nu gedeeltelijk aan het glas afgegeven en gedeeltelijk aan de grenslaag van de lucht. De temperatuur van het glas neemt toe en daardoor ook het verlies aan de buitenkant van het glas. Tegelijk stijgt ook de lucht aan de binnenkant van het glas in temperatuur, dat zal het warmteverlies uit de kas verlagen. Ook kan worden verondersteld dat door de condenslaag het thermisch contact tussen het glas en de kaslucht beter wordt (het oppervlak wordt groter). Hierdoor kan het energie verlies weer toenemen. Echter de thermische geleiding van het glas zelf en het contact met de buitenlucht veranderen niet. Het is dus een heel complex proces met verschillende factoren en het is erg lastig onder verschillende omstandigheden precies te berekenen welk deel van de condensatiewarmte naar buiten zal gaan en welk deel in de kas blijft.

De eindconclusie is dat een deel van de condensatiewarmte in de kas blijft en dus in mindering kan worden gebracht op het isolatieverlies van de kas. Anders gezegd: er is sprake van een gedeeltelijke terugwinning van de verdampingswarmte. Bij gebrek aan een betere analyse kunnen we dat voorlopig schatten op 50%.

Samenvatting van de energiebalans

Het totale energieverlies kan als volgt worden opgemaakt:

$25 \text{ (isolatie)} + 27 \text{ (uitstraling)} + 17,5 \text{ (verdamping)} + 15 \text{ (ventilatie)} = 84,5 \text{ W/m}^2$.

Normaal gesproken moet deze warmte worden geleverd door de verwarming. Alle vier verliesposten kunnen nog worden verminderd door betere isolatie, betere afscherming tegen langgolvlige uitstraling en het terugbrengen van de verdamping en dus de ventilatie.

Naarmate er meer warmte wordt afgevoerd door condensatie, hoeft er minder te worden geventileerd en wordt de verdampingswarmte zelfs deels teruggewonnen.

Als de gehele gewasverdamping kan worden afgevoerd door condensatie en 50% warmte

terugwinnen wordt het energieverlies:

$$25 \text{ (isolatie)} + 27 \text{ (uitstraling)} + 17,5 \text{ (verdamping)} - 50\% = 60,75 \text{ W/m}^2.$$

Deze berekening laat zien dat het gunstig is voor het energieverbruik om het scherm zoveel mogelijk dicht te houden en vocht af te voeren door condensatie. Ook komt naar voren dat het verbeteren van de isolatie en het tegengaan van uitstraling relatief veel kunnen opleveren.

3.7.2 Energiebalans met geopend scherm (overdag)

Nieuwe situatie: overdag, eveneens met een volgroeid tomatengewas. De straling van de zon moet in de kas komen voor de groei, de schermen blijven dus open. De kastemperatuur zal over het algemeen hoger zijn dan in de nacht, stel 20 graden en de RV iets lager, bijvoorbeeld 75%. Maar dit zal ook sterk afhangen van de hoeveelheid instraling. De buitentemperatuur wordt voor het gemak hetzelfde gelaten op 5 graden, maar de RV kan iets lager zijn bijvoorbeeld 50%. De volgende energie- en vochtstromen kunnen worden onderscheiden (de rekenregels zijn uiteraard hetzelfde als boven):

1. Het energieverlies door geleiding

Van een normale Venlokas is bekend dat de K-waarde circa $7\text{--}8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ is met geopende schermen.

De energie die nodig is om de kas op temperatuur te houden bedraagt dan:

$$8 \times (20 - 5) = 120 \text{ W/m}^2.$$

2. Het energieverlies door langgolvlige uitstraling.

De langgolvlige uitstraling wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen het gewas en het kasdek. De gewastemperatuur zal ongeveer gelijk zijn aan de kastemperatuur dus 20°C . De kasdektemperatuur ligt tussen de kasluchttemperatuur en de gewastemperatuur. Meestal wordt aangehouden op $2/3$ van het verschil, dus op $5 + 2/3 \times (20 - 5) = 15$ graden. Voor de volledigheid: het kasdek 'ziet' de hemel die veel kouder kan zijn, bijvoorbeeld -50°C als er geen bewolking is. Het kasdek verliest dan een aanzienlijke hoeveelheid warmte die deels wordt gecompenseerd door de zonnestraling (absorptie) en deels door convectie vanuit de kaslucht binnen. Voor de eenvoud wordt aangenomen dat er bewolking is en dat de uitstraling dus laag is. Bij een heldere hemel is er ook meer zon, die de uitstraling compenseert. Een verschil tussen plant- en kasdektemperatuur van $20 - 15 = 5^\circ\text{C}$ resulteert met de globale vuistregel weer in een uitstraling van $5 \times 5 = 25 \text{ W/m}^2$.

3. Instraling van de zon

Overdag wordt het energieverlies van de kas deels goedgemaakt door de zon, mits er voldoende instraling is. Uitgangspunt is dat circa 70% van de buiten gemeten globale straling effectief door de kas wordt ingevangen. Om de bovengenoemde verliezen van 120 (geleiding) en 25 (uitstraling) is samen 145 W/m^2 te compenseren moet de stralingsintensiteit dus minimaal zijn $145/0,7 = 207 \text{ W/m}^2$. Dit is een niveau dat ook in de winter in Nederland nog wordt gehaald, zij het slechts een beperkt deel van de dag, rond het middaguur. Zodra de werkelijke straling hoger is, zal er netto energie overblijven om de kas op te warmen, is er echter een tekort dan moet er bij worden gestookt.

De berekening laat wel zien dat extra isolatie van de kas in de winter, bijvoorbeeld in de vorm van een transparant folie of lichtdoorlatend energiedoek, uiterst nuttig is. Hierdoor wordt tegelijk de isolatiewaarde verhoogd en de uitstraling verminderd.

4. Energie absorptie door verdamping

Omdat de verdamping overdag vooral wordt veroorzaakt door de zonnestraling wordt niet gesproken over energieverlies. Het beste kan worden gezegd dat het gewas de stralingsenergie van de zon omzet in latente warmte.

Hoeveel energie van de zon wordt er daadwerkelijk omgezet in verdamping? Dit hangt sterk af van de situatie en met name ook van de lichtonderschepping van het gewas. Op basis van het fluitketel-principe wordt gesteld dat het grootste deel van het onderschepte licht (80-90%, afhankelijk van de gewaseigenschappen) bijdraagt aan de verdamping.

De verdamping varieert hierdoor sterk, net zoals de straling sterk kan variëren als gevolg van de bewolking al naar gelang het jaargetijde. Midden op een zomerse dag kan de effectieve piek verdamping van een volgroeid tomatengewas oplopen naar ongeveer:

$$1000 \text{ [W/m}^2\text{]} \times 70\% \text{ (kasdek)} \times 80\% \text{ (lichtonderschepping)} \times 3600 \text{ [sec]} / 2500 \text{ [kJ/kg]} = 0,8 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{uur}$$

Hierin is:

- 2500 de verdampingswarmte van water in KJ/kg
- 3600 het aantal seconden in een uur

Hierbij moet overigens de convectieve verdamping nog worden opgeteld. Die is afhankelijk van het verschil tussen de kastemperatuur en de planttemperatuur en de luchtbeweging. Normaal gesproken zal deze overdag in de orde van 50-100 gram/m².uur bedragen.

In de winter, bij een instraling van bijvoorbeeld maximaal 300 W/m² en een jong gewas met een lagere lichtonderschepping, zal de stralingsverdamping dus slechts een fractie zijn. Het kan dan zelfs zo zijn dat de convectieve verdamping ook overdag een groot deel van de totale verdamping uitmaakt.

Onder alle omstandigheden gedraagt een verdampend gewas zich als een krachtige 'koelmachine' waardoor de kastemperatuur effectief wordt gestabiliseerd. Uiteraard moet wel het geproduceerde vocht door ventilatie worden afgevoerd.

5. Energie inbreng door een minimumbuis

Een gangbare praktijk is nog steeds om ook overdag energie in de kas te brengen met een zogenoemde minimum buistemperatuur. De argumenten kunnen divers zijn, zoals: gewasactivering, het creëren van luchtbeweging, het voorkomen van een ongunstig verticaal temperatuurprofiel in de kas, enzovoort. Een gangbare minimum buistemperatuur is bijvoorbeeld 40-45 graden. De hieraan gekoppelde energiestroom is in de orde van 40 W/m².

6. Energie afvoer door de natuurlijke ventilatie (luchtramen)

De natuurlijke ventilatie is feitelijk de sluitpost op de energie- en/of vochtbalans van de kas. Als de bovenstaande energie- en vochtstromen niet in balans zijn, moeten de ramen open om ofwel vocht af te voeren, waarmee dan warmte verloren gaat, ofwel warmte af te voeren waarmee dan soms ongewild ook vocht wordt afgevoerd.

Volgens de inzichten van Het Nieuwe Telen wordt bijvoorbeeld vaker een hogere kastemperatuur geaccepteerd om te voorkomen dat het kasklimaat te droog ('schraal') wordt door overmatig vochtverlies. Door de kastemperatuur te laten stijgen ten opzichte van buiten worden zowel de geleidingsverliezen als de condensatie op het kasdek verhoogd en kan de energie- en vochtbalans bij lage instraling worden hersteld zonder ventilatie. Een hogere kastemperatuur en hogere RV bevorderen ook de condensatie op het kasdek en daarmee de gedeeltelijke terugwinning van latente warmte.

Overzicht energiestromen:

Wanneer de bovengenoemde energiestromen/verliezen op een rij (in W/m²) worden gezet, dan geeft dat onderstaande condities:

- | | |
|---------------------|---------------------------------------|
| 1. Isolatie verlies | 120 |
| 2. Uitstraling | 25 |
| 3. Instraling | 330 (max winter) tot 1000 (max zomer) |

- | | |
|-----------------|---|
| 4. Verdamping | 17,5 (komt overeen met basiswaarde 25 gram/m ² .uur) |
| Tot | 560 (komt overeen met piekwaarde 800 gram/m ² .uur) |
| 5. Minimum buis | 40 |
| 6. Ventilatie | sluitpost om de energie en vocht balans in evenwicht te brengen |

In de energiebalans voor de kas is het opletten dat de verdamping niet meetelt als 'energie afvoer'. Het is immers een omzetting van voelbare energie naar latente energie. Pas als deze latente energie de kas verlaat door de luchtramen, wordt er energie afgevoerd.

3.7.3 Klimaatregelen vanuit de energiebalans

Bovenstaande beschouwingen geven inzicht in de energiestromen in de kas als gevolg van de buitenomstandigheden en hoe om wordt gegaan met de regelinstrumenten. De uitdaging is nu om een voor de plant zo gunstig mogelijk groeiklimaat te creëren tegen minimale energiekosten. Uiteraard is dit voor iedere teelt en elke situatie anders, dat vergt steeds weer een specifieke analyse.

Er zijn ook algemene principes die kunnen worden toegepast;

- Uitstraling is bijna altijd negatief voor de plant en blijkt een belangrijke post op de energiebalans. Dus schermen gesloten houden tenzij de uitstraling wordt gecompenseerd door instraling van de zon (of lampen).
- Om de energieverliezen van uitstraling en isolatieverliezen te compenseren blijkt meer instraling van de zon nodig te zijn dan meestal wordt gedacht. Ook dat leidt tot meer schermuren, met name aan het begin en einde van de dag.
- Vochtafvoer door condensatie is energiezuiniger dan door ventilatie. Dat pleit voor het handhaven van hoge kastemperatuur en hoge RV ten opzichte van de buitentemperatuur in de nacht, maar zeker ook overdag zowel bij lage als hoge instraling.

3.8 Warmteafgifte van buizen

Verwarmingsbuizen geven langs twee wegen warmte af. Door het temperatuurverschil met de omringende kaslucht ontstaat een convectieve warmteoverdracht. De warmteafgifte van een strekkende meter buis via convectie kan worden berekend met de volgende formule:

$$(\text{factor convectiedeel}) * \text{buisoppervlak} * (T_{\text{buis}} - T_{\text{lucht}})$$

Daarbij is de 'factor convectiedeel':

$$\text{convectiefactor} = 5,2 * \left\{ \frac{T_{\text{buis}} - T_{\text{kas}}}{d_{\text{buis}} * T_{\text{kas}}} \right\}^{0,25}$$

Dit is een formule van C. Nawrocki die de factor 5.2 heeft gebaseerd op praktijkwaarnemingen, waarbij er sprake is van een natuurlijke luchtstroming langs de buis. Neemt die luchtstroming toe, door bijvoorbeeld het gebruik van een ventilator, dan neemt ook deze factor toe.

Het andere deel van de warmteoverdracht bestaat uit straling. Het kenmerk daarvan is dat niet de temperatuur van de omringende lucht daarbij maatgevend is, maar de temperatuur van de objecten die de verwarmingsbuis 'ziet', dus bodem, gewas en soms schermdoek of kasdek. Omdat dit een vrij complexe berekening oplevert heeft Nawrocki op basis van praktijkwaarnemingen een formule ontwikkeld waarin de temperatuur van de omringende lucht is opgenomen als resultante van alle oppervlakken in het zicht van de buis. In de praktijk blijkt deze formule een goede benadering te zijn.

Volgens Nawrocki wordt de stralingsafgifte van de buis berekend met de volgende formule:

$$(\text{factor stralingsdeel}) * \text{buisoppervlak} * (T_{\text{buis}} - T_{\text{lucht}})$$

Daarbij is de factor 'stralingsdeel':

$$\text{stralingsfactor} = 20,77 * 10^{-8} * \left\{ \frac{T_{\text{buis}} + T_{\text{lucht}}}{2} \right\}^3$$

De warmteafgifte per meter buis kan vervolgens worden uitgerekend door beide vormen van afgifte bij elkaar op te tellen. In het volgende overzicht zijn de resultaten weergegeven voor twee buisdiameters bij verschillende watertemperaturen.

Bedenk dat in de berekeningen wordt gewerkt met een gemiddelde buistemperatuur voor het net. Omdat de meting van de buistemperatuur meestal aan het begin van het net plaatsvindt, is de gemiddelde of effectieve buistemperatuur dus altijd lager. Afhankelijk van de afkoeling tussen aanvoer en retour zal dit bijvoorbeeld 2,5 tot 5°C zijn.

	convectieve afgifte		stralingsafgifte		totaal	
buistemperatuur	buis 51 mm	buis 25 mm	buis 51 mm	buis 25 mm	buis 55 mm	buis 25 mm
20	1	1	2	1	3	2
25	5	3	6	3	11	6
30	9	6	10	5	19	11
35	15	9	15	7	30	16
40	20	12	20	10	40	22
45	26	15	25	12	51	27
50	32	19	30	15	62	34
80	74	43	68	33	142	76

Warmteafgifte in Watt per meter buis van 51 of 25 mm bij een kasttemperatuur van 18°C.

Wat daarin opvalt is dat het convectieve deel vrijwel altijd even groot is als het stralingsdeel. Bij meer gebruik van schermen gaan de buistemperaturen omlaag, maar blijft de verhouding tussen convectieve en stralingsoverdracht behouden.

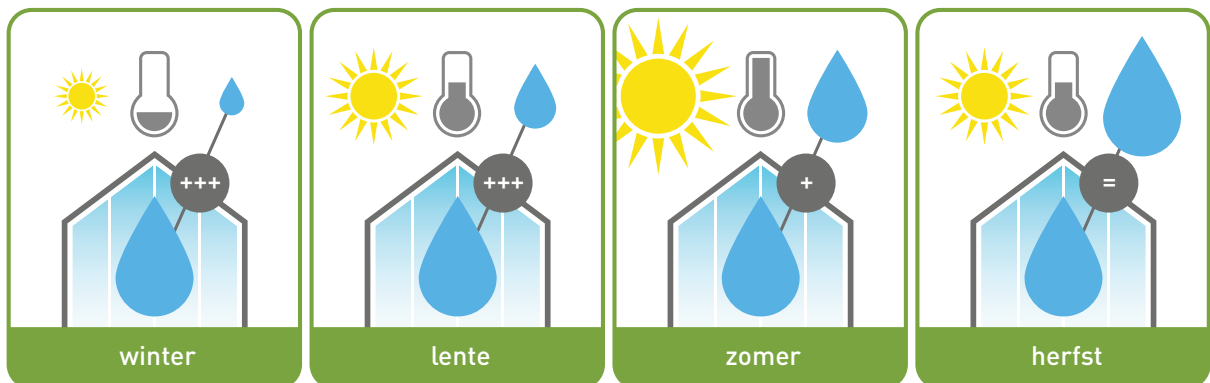
3.9 Verschil enthalpie en vocht binnen-buiten

Elke teler weet dat het kasklimaat in hoge mate samenhangt met de buitenomstandigheden. Dat geldt zeker voor het geval er moet worden geventileerd, hetzij op een natuurlijke manier via de lucht-ramen, hetzij geforceerd met ventilatoren. Kenmerkend zijn hierbij het verschil in enthalpie en het verschil in absolute vochtigheid.

- Het verschil in enthalpie is bepalend voor de mate waarmee met buitenlucht de kas kan worden gekoeld.
- Het verschil in absolute vochtigheid is bepalend voor de mate waarin met buitenlucht de kas kan worden ontvochtigd.

In de praktijk is er een sterke koppeling tussen die twee, omdat ontvochtigen dankzij de gewasverdamping gepaard gaat met koeling.

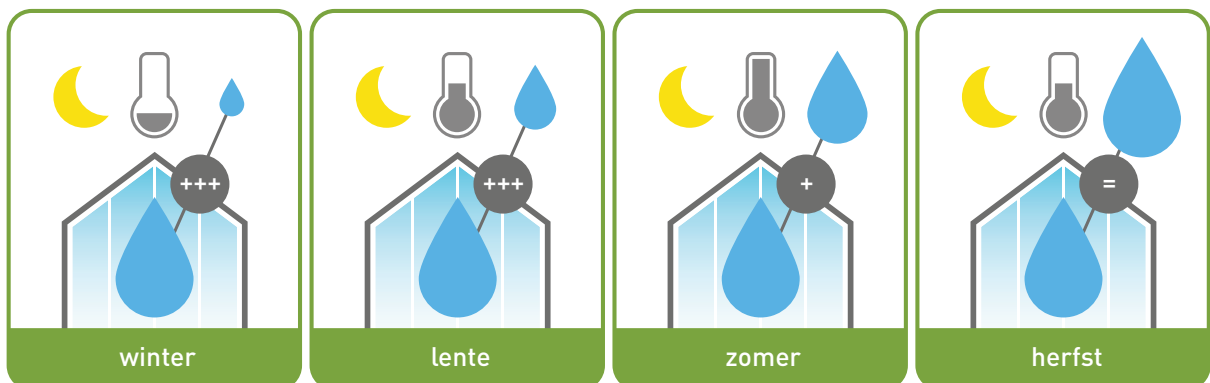
Seizoensverschil enthalpie binnen - buiten overdag



Het verschil in enthalpie binnen-buiten is in de winter en de lente erg groot.

In de winter en in de lente is de kas vaak makkelijk te koelen met natuurlijk ventilatie omdat het enthalpie verschil tussen kaslucht en buitenlucht groot is.

Seizoensverschil absoluut vocht binnen - buiten 's nachts



In het overgrote deel van het jaar is het verschil in absoluut vocht binnen- buiten in de nacht groot genoeg. In de herfst is het verschil het kleinst.

De problematiek van vochtafvoer uit de kas per seizoen verschilt. Met name de nazomer is algemeen erkend als lastige periode. Maar ook kan het ene jaar anders zijn dan het andere.

Zoals in het deel 'Nachtsituatie in het najaar' (hoofdstuk 3.6.5) besproken, is het eenvoudig onmogelijk om vocht af te voeren als er geen verschil is tussen binnen en buiten. De enige manier is dan om kunstmatig een verschil te creëren door de kastemperatuur te verhogen. Nog beter is natuurlijk om te zorgen dat het verschil niet te klein kan worden, bijvoorbeeld door aan het einde van de dag de kas geleidelijk te laten afkoelen volgens de dalende lijn van de buitentemperatuur, in plaats van de kas abrupt af te luchten. Hierdoor wordt de energie van de zon optimaal benut.

3.9.1 Gewas- en regio-afhankelijkheid

De enthalpie in de kas is afhankelijk van de teelttemperatuur, de gewasverdamping en de vochtafvoer. Voor ieder gewas ligt dit anders. Naarmate de teelttemperatuur lager is gekozen neemt het aantal momenten in het jaar toe dat er een te klein of zelfs een negatief verschil is met de enthalpie van de buitenlucht. Maar de vochtigheid en enthalpie buiten kan zeker ook nog per regio verschillen.

3.9.2 Pleidooi voor hogere in plaats van lagere teelttemperaturen

Het bovenstaande is niets minder dan een pleidooi voor hogere teelttemperaturen. Hoe groter het verschil is in absoluut vocht (AV) en enthalpie in de kas en daar buiten, des te eenvoudiger is het om onder wisselende weersomstandigheden en wisselende seizoenen een geschikt kasklimaat te realiseren. Het rendement van installaties voor ventilatie en ontvochtiging is dan hoger, omdat minder kubieke meters lucht verplaatst hoeven te worden voor hetzelfde resultaat. Ook de vochtafvoer door middel van condensatie op het kasdek wordt hoger. Tegelijk kunnen door het toepassen van betere energieschermen de energieverliezen worden beperkt, zodat het per saldo niet meer energie hoeft te kosten. Uiteraard vergt dit ontwikkeling van nieuwe teeltmethoden en wellicht zelfs keuze van andere rassen en cultivars. Het is echter belangrijk om te beseffen dat het alternatief een doodlopende weg is. Het streven naar steeds lagere teelttemperaturen, zoals tot nu toe gebruikelijk, maakt het beheersen van temperatuur en vocht namelijk steeds moeilijker. Het vormt een struikelblok als het gaat om energiezuinige en duurzame klimaatbeheersing in kassen. Het perspectief ligt dus in de andere richting. Elders in dit boek, onder andere bij de beschrijving van de temperatuur/lichtbalans van het gewas, worden hiervoor handvatten geboden.

3.10 Invloed buitencondities op het kasklimaat

‘Ik sta verbaasd hoe koel het in de kas blijft met zeer beperkt luchten’

Joost Matijssen (Kwekerij Matijssen)

Tot nu toe werden de vocht- en energiebalans van de kas min of meer afzonderlijk bekeken. In werkelijkheid zijn die echter in hoge mate gekoppeld. Het afvoeren van energie en vocht door de luchtramen gaat immers hand in hand. Uit het Psychrodiagram is af te lezen hoe deze stromen van waterdamp en energie zich verhouden.

Stel: in de kas is het 25°C met een RV van 70% ; de vochtinhoud is dan circa 14 g/kg en de energie inhoud is 60 kJ/kg. Terwijl het buiten 20°C is met een RV van 50%. Dat betekent een vochtinhoud van 7 gram/kg en een energie inhoud van 40 kJ/kg.

Met elke kg lucht die wordt uitgewisseld wordt ongeveer 7 gram vocht en 20 kJ energie afgevoerd. De afvoer van energie zorgt ervoor dat de kastemperatuur niet te ver oploopt. De afvoer van vocht zorgt ervoor dat het in de kas niet te vochtig wordt. Belangrijk is te beseffen dat deze verhouding is gekoppeld aan de buitenomstandigheden en dat deze buitenomstandigheden ondanks geavanceerde klimaatcomputers zeer bepalend zijn voor het klimaat in de kas. Zie het volgende rekenvoorbeeld:

Stel: op een mooie zomerdag is de zonnestraling 850 W/m² buiten gemeten. Door reflectie van het glas en het gewas blijft in de kas 70% netto over, dus 600 W/m². Per uur levert dat per m² kas 2150 kJ. energie op. Deze energie wordt deels omgezet in opwarming van de kaslucht (voelbare energie) en deels geabsorbeerd door gewasverdamping en omgezet in waterdamp (latente energie). Uiteindelijk moeten beide vormen van energie ook worden afgevoerd om te zorgen dat de kastemperatuur en/of de vochtigheid niet te hoog worden.

Ventilatiesnelheid gebaseerd op temperatuur

Stel nu dat de bovengenoemde omstandigheden voor kas en buitenlucht gelden, dan zou de ventilatiesnelheid dus $2150/20=107 \text{ kg/m}^2\cdot\text{uur}$ moeten bedragen om de energiebalans in evenwicht te houden. Voor de eenvoud van de berekening wordt het warmteverlies van de kasomhulling verwaarloosd. Dit zou betekenen dat er tegelijk $107 \times 7 = 750 \text{ gram vocht/m}^2\cdot\text{uur}$ wordt afgevoerd. Als de gewasverdamping in werkelijkheid minder is dan deze 750 gram, dan zal bij handhaving van de temperatuur de vochtigheid in de kas dus steeds lager worden. Totdat een evenwicht is bereikt bij een RV die lager is dan 70%. Om dat te voorkomen moet de ventilatiesnelheid worden beperkt, maar dan loopt de temperatuur verder op. Het is het een of het ander.

Ventilatiesnelheid gebaseerd op vochtigheid

Wordt er niet alleen naar temperatuur gekeken maar ook naar vocht, dan moet de ventilatiesnelheid worden beperkt als het in de kas te droog wordt. Als gevolg daarvan neemt de kastemperatuur toe, maar minder snel dan verwacht. Dit komt doordat, volgens het verloop van de verzadigingscurve in het Psychrodiagram, de energie inhoud van de lucht sneller toeneemt dan de temperatuur. Het is daarom mogelijk om uitsluitend te ventileren op basis van vocht en daarmee de kastemperatuur te stabiliseren. Dit kan eenvoudig worden uitgevoerd door te regelen met een minimum/maximum raamstand gebaseerd op de kas RV of VD.

In warme en droge gebieden met een stabiel buitenklimaat wordt dat in de praktijk met groot succes toegepast. De voorwaarde is dat er niet meer straling van de zon wordt toegevoerd dan de verdampingscapaciteit van het gewas toelaat. Dit gebeurt dan door middel van krijt of met een beweegbaar scherm. Een uitstekend alternatief is om de gewasverdamping te ondersteunen met een (hoge druk) nevelinstallatie.

Ventilatie gebaseerd op de combinatie vocht en temperatuur

In de Nederlandse situatie is een dergelijke werkwijze vaak lastiger omdat de buitencondities veel meer variatie vertonen. Door de steeds wisselende verhouding van zonnestraling, buitentemperatuur en buiten RV zijn ontstaat veel meer de neiging om te regelen op temperatuur. Vanuit de plant gezien zou echter regelen op vocht een veel sterker accent moeten krijgen. Het resultaat is dat er volgens Het Nieuwe Telen nu wordt gestuurd op een gunstige combinatie van beide, waarbij voor de plant een goed groeiklimaat wordt gerealiseerd.

Door het knippen van de luchtramen en eventueel aanvullend de RV kunstmatig te verhogen door verneveling, wordt het enthalpieverschil tussen de kaslucht en de buitenlucht groter gemaakt en hoeft er minder lucht te worden uitgewisseld om een bepaalde hoeveelheid energie uit de kas af te voeren. Dat kan zonder bezwaar. Uit onderzoek is namelijk gebleken dat veel typen planten geen moeite hebben met een iets hogere temperatuur als de vochtigheid maar voldoende op peil wordt gehouden. Sterker nog, een combinatie van hoge temperatuur en hoge RV is veel beter voor de groei dan een lagere temperatuur waarbij de RV ook laag is. Dankzij het veel kleinere ventilatievoud blijft er dan meer CO_2 in de kas. Dus het mes snijdt aan drie kanten.

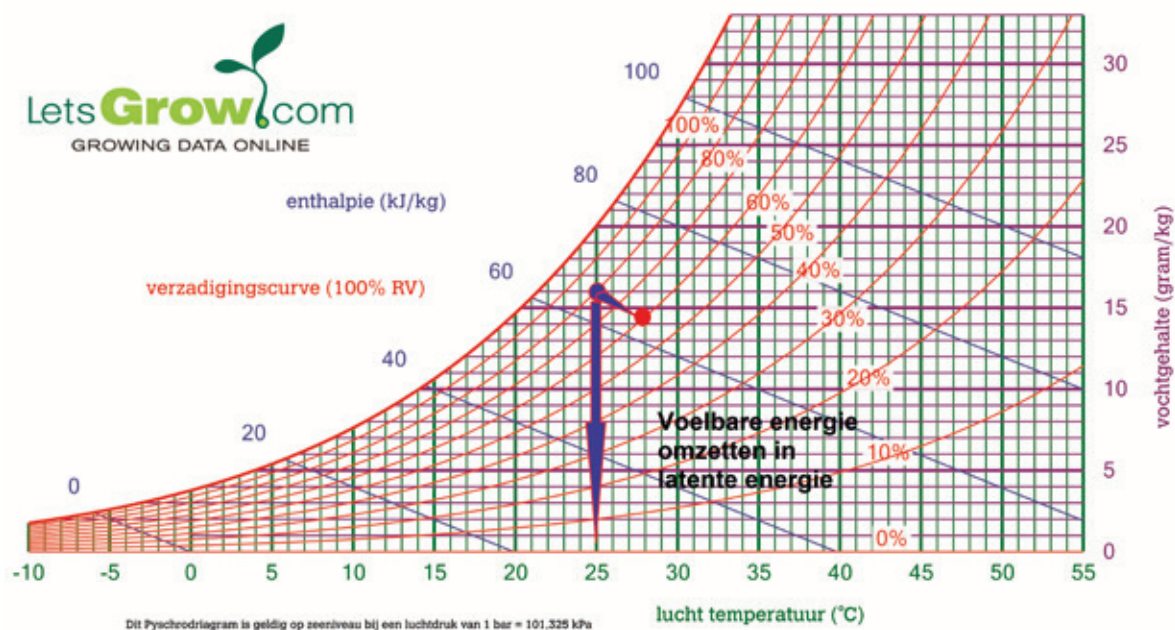
Vanzelfsprekend is het raadzaam om voor elk gewas zorgvuldig na te gaan of een hogere temperatuur geen ongewenste bijeffecten geeft. Bijvoorbeeld op hormonale processen die een rol kunnen spelen bij bijvoorbeeld knopvorming of bloemkleur. Een voorzichtige benadering, aangevuld met verkennend onderzoek, is dus gewenst. Bovendien kan voor sommige teelten een hogere assimilatenproductie en betere groei strijdig zijn met de doelstelling. Voor wie een korte, gedrongen potplant wil afleveren ligt groeistimulatie immers minder voor de hand.

3.11 Verneveling of adiabatische koeling

Het bovenstaande leert dat temperatuur en vocht in een normale kas niet afzonderlijk precies kunnen worden geregeld, omdat de uitwisseling van energie en vocht afhankelijk is van de buitenomstandigheden. Er moet een balans worden gezocht tussen temperatuur en vochtigheid in de kas, afhankelijk van die buitenomstandigheden. Het zou daarom erg plezierig zijn om de verhouding tussen temperatuur en vochtigheid in de kas te kunnen regelen en minder afhankelijk te zijn van de buitenomstandigheden. Dat kan met een vernevelinginstallatie, ook wel adiabatische koeling genoemd.

Hoe werkt adiabatische koeling?

Het verdampen van water kost veel energie. Dit maakt water tot een bijzonder krachtig koelmiddel, mits het op de juiste manier wordt ingezet. Door water in de lucht te brengen in de vorm van een zeer fijne nevel - waardoor het gemakkelijk kan verdampen - wordt de temperatuur verlaagd en de vochtigheid verhoogd, terwijl de energie-inhoud gelijk blijft. Voelbare energie wordt omgezet in latente energie.



Bij adiabatisch koelen wordt de temperatuur van de lucht verlaagd door water te vernevelen; voelbare energie omgezet in latente energie.

Stel: het is in de kas 28°C met een RV van 60%. Dit punt valt samen met de enthalpielijn van 65 kJ/kg. De vochtinhoud is 14,5 gram/kg. Als nu 1,5 gram vocht per kg wordt toegevoegd en in het diagram wordt de enthalpielijn naar links gevolgd, dan is de uitslag een vochtinhoud van 16 g/kg, een temperatuur van 25°C en een RV van 80%. Dit is wat er in de kas gebeurt tijdens vernevelen; de kaslucht wordt 3°C gekoeld en de vochtigheid neemt toe.

Uiteindelijk moet de door de zon ingebrachte energie en het vocht dat door gewasverdamping en verneveling tezamen is geproduceerd, nog steeds worden afgevoerd naar buiten. Dat gaat gewoon met de luchtramen. Door te spelen met de stand van de luchtramen kan in feite worden gekozen welk effect verneveling heeft op het kasklimaat. Blijven de ramen net zo ver open als voor de verneveling werd aangezet, dan daalt de kastemperatuur. Keuze kan ook zijn om dezelfde kastemperatuur te behouden. Dan kunnen de ramen dichter worden getrokken (zoals hierna wordt beschreven). Het effect van de verneveling is dat er een veel betere balans mogelijk is tussen temperatuur en vocht. Hetgeen gunstig is voor het gewas.

3.11.1 De CO₂-concentratie verhogen door verneveling?

Verneveling kan op verschillende manieren worden gebruikt. Hierboven is aangetoond dat het mogelijk is om de luchttemperatuur te verlagen en het vocht op peil te houden, ondanks een hoge ventilatiesnelheid. Een alternatief is om de verneveling vooral te gebruiken om de energie-inhoud van de lucht te verhogen en daardoor de ventilatie snelheid te verminderen.

Dit leert het Psychrodiagram. Wederom het voorbeeld van een mooie zomerdag: in de kas is het 28°C met een RV van 60%, vochtinhoud en enthalpie zijn respectievelijk 14 gram/kg en 65 kJ/kg. Buiten is het 24°C met een RV van 40%, vochtinhoud en enthalpie zijn respectievelijk 7,5 gram/kg en 46 kJ/kg. Bij een straling van 850 W/m² komt dat uit op een ventilatiesnelheid van 110 kg/m².uur uitgaand van een regeling waarbij de temperatuur leidend is.

De vochtafvoer is dan 650 gram/m².uur. De meeste gewassen zullen best moeite hebben om dat bij te houden. De hoeveelheid CO₂ die nu de kas uit gaat is uiteraard afhankelijk van het verschil in concentratie binnen en buiten. De binnenconcentratie hangt weer af van de doseersnelheid en de ventilatiesnelheid. De CO₂-opname van het gewas is hierbij (helaas) meestal verwaarloosbaar dus die wordt in de berekening gemakshalve even weggelaten.

Stel dat de CO₂-doseersnelheid gelijk is aan 180 kg/ha.uur en aangenomen dat de CO₂-concentratie in de kas en buiten allebei constant zijn. Er is dus evenwicht en dat betekent dat er net zo veel CO₂ de kas uitgaat als dat er in komt. Bij een ventilatiesnelheid van 110 kg/m².uur betekent dit dat er met elke kg uitgewisselde kaslucht 180 [kg/ha]/(110x10.000)=0,164 gram CO₂ naar buiten gaat. Hierbij is 10.000 het aantal m² per hectare.

Uit deze hoeveelheid is het verschil in concentratie te berekenen. Immers, hoe groter het concentratie verschil binnen-buiten en hoe meer gewicht aan CO₂ per kg uitgewisselde lucht per saldo wordt afgevoerd. Als de wens is de CO₂-concentratie van 1 kg lucht 100 ppm te verhogen, dan is hiervoor 0,15 gram CO₂ nodig.

Dit wordt als volgt berekend: 1 mol lucht = 28,8 gram -> 1 kg lucht = 34,72 mol.

Bij 100 ppm CO₂ bevat de lucht dan:

$34,72 \cdot 100 / 1000.000 = 0,003472$ mol CO₂. De molecuul massa van CO₂=44 gram/mol. Dus 1 kg lucht met 100 ppm CO₂ bevat $0,003472 \cdot 44 = 0,15$ gram CO₂.

Hieruit volgt dus omgekeerd dat in het voorbeeld het concentratieverschil met buiten circa 100 ppm CO₂ bedraagt. Dus wanneer de CO₂concentratie buiten 400 ppm is, zal deze binnen ongeveer 500 ppm zijn.

Stel: de verneveling wordt weer gebruikt om de vochtinhoud van de lucht te vergroten naar bijvoorbeeld 80% , maar tegelijk is de wens de ventilatiesnelheid te verminderen zodat de kastemperatuur per saldo gelijk blijft aan 28°C. Uit het diagram is nu af te lezen dat de energie-inhoud van de kaslucht is gestegen van 65 naar 77 kJ/kg. Dit betekent dat het verschil aan energie-inhoud met de buitenlucht is gestegen van 65-46=19, naar 77-46=31. Dit is een factor 1,6.

De benodigde ventilatiesnelheid om de temperatuur te handhaven daalt met diezelfde factor van circa 110 naar 70 m³/m².uur. Dat betekent dat de CO₂ -concentratie in de kas bij dezelfde dosering oploopt van 500 naar circa 560 ppm. Ter vergelijking: om dit effect te bereiken zonder verneveling moet de CO₂-dosering worden verhoogd met een factor 1,6 dus van 180 naar circa 290 kg/ha.uur. Omgekeerd kan de dosering natuurlijk ook worden verminderd met handhaving van de concentratie van 500 ppm in de kas. Dankzij de verneveling daalt dan de CO₂-emissie met een factor 1,6 van circa 180 kg/ha.uur naar 115 kg/ha.uur, een vermindering van bijna 40%.

3.12 Vochtbeheersing onder gesloten schermdoek

'De beste kier is geen kier'

Jan O. Voogt

Vochtbeheersing onder een gesloten schermdoek is een interessant probleem omdat er zoveel verschillende factoren in het spel zijn. Het uitgangspunt moet zijn een actief groeiklimaat voor de plant. Kort samengevat komt dat neer op voldoende luchtbeweging, voldoende en gelijkmatige verdamping en het voorkomen van uitstraling, bij voorkeur met een dubbel energiescherm.

Hiermee is de energiebalans op orde, maar de vochtbalans vormt vaak het grootste probleem. Zolang het buiten koud genoeg is valt het allemaal wel mee. Er is dan genoeg verschil in vochtigheid onder en boven het schermdoek voor voldoende diffusiesnelheid en de condensatie op het kasdek zorgt voor voldoende afvoer.

Zodra de buitentemperatuur echter toeneemt en (navenant) de absolute vochtigheid, wordt het steeds moeilijker om vocht af te voeren. De klassieke maatregelen om te hoge vochtigheid in de kas te bestrijden zijn:

1. inzet minimumbuis
2. vochtkier in het schermdoek
3. vochtkier in de raamstand

Natuurkundig gezien is deze volgorde echter niet handig. De minimumbuis verhoogt immers (ook) de gewasverdamping, maar draagt weinig bij aan meer afvoeren van vocht. Het verhogen van de kastemperatuur zorgt voor een tijdelijk grotere 'buffer', maar biedt geen permanente oplossing. Het inzetten van een schermkier zorgt voor een hoger transport van vocht naar boven, maar tevens voor een hogere kasdektemperatuur en dus voor minder condensatie. Anders gezegd, de verhouding tussen warmteverlies en vochtafvoer wordt ongunstiger. Tevens kan de vochtkier leiden tot kouval en trek in de kas, met alle ongewenste gevolgen van dien. Pas bij de laatste maatregel, het inzetten van een raamstand, wordt daadwerkelijk meer vocht naar buiten afgevoerd.

De betere manier is om het juist andersom te doen:

1. Alleen stoken om de kastemperatuur op de streefwaarde te houden, dus géén minimumbuis inzetten. Hierdoor wordt de productie van vocht niet nodeloos gestimuleerd.
2. Door het doek gesloten te houden, maar te ventileren boven het schermdoek, wordt de afvoer van vocht verbeterd, terwijl de thermische isolatie van het schermdoek volledig in tact blijft.
3. Als dit onvoldoende helpt dan is kennelijk de vochtdoorlatendheid van het schermdoek het knelpunt. Dan kan een minimale kier worden ingezet. Onderzoek heeft uitgewezen dat 1-2% vochtkier al heel veel doet. Grotere kieren kunnen leiden tot kouval en moeten liefst worden vermeden.
4. Als dit geen soelaas biedt, dan is kennelijk het verschil in vochtigheid binnen-buiten het probleem. Dan moet de kastemperatuur worden verhoogd.

Onder een gesloten scherm is het altijd zaak te zorgen voor voldoende luchtbeweging. Dit kan bijvoorbeeld door een minimum buistemperatuur in te zetten. Niet op een vaste waarde, maar gekoppeld aan de kastemperatuur. Door de temperatuur van de buis circa 10°C boven de kastemperatuur te houden is enige luchtbeweging verzekerd, maar wordt de gewasverdamping niet onnodig gestimuleerd. Een nog beter methode, die ook minder energie vergt, is luchtbeweging door middel van (verticale) ventilatoren.

3.12.1 Vochtproblemen voorkomen is beter dan genezen

Voor een actief microklimaat en een gezonde groei is ook onder het gesloten schermdoek een bepaalde minimum gewasverdamping noodzakelijk. In de praktijk is er echter naast gewasverdamping ook soms sprake van andere bronnen van vochtproductie. Bijvoorbeeld door natte potten, natte vloeren of een natte bodem. Voor bijvoorbeeld de phalaenopsis geldt dat het in de huidige teeltwijze moeilijk is om de planten gelijkmatig water te geven. Daarom wordt een enorme overmaat aan water toegediend. Het duurt dan soms meer dan een dag om al dit overtollige vocht weer af te voeren. Dit geldt ook voor teelten waar nog steeds van boven wordt beregend in plaats van met druppelaars of soortgelijke alternatieven. Het is daarom voor verschillende teelten zeker de moeite waard om te kijken of er verbeteringen mogelijk zijn in de watergeefstrategie of misschien zelfs in de hele manier van watergeven.

Ook lokale vormen van 'wateroverlast' dienen bestreden te worden zoals: lekkende druppelsystemen en draingoten, plasvorming door ongelijke bodem, natte plekken door druipt van kasdek, gevels en schermen, overlopende goten enzovoort.

Ter overweging: als er door druipt waterplassen op de bodem ontstaan, verdampt dit water door de warmte van de buis, gaat vervolgens weer condenseren tegen het scherm of folie en valt weer naar beneden. Dit rondpompen van vocht kost wel energie maar verbetert het kasklimaat niet. Veel beter is dus (drastische) maatregelen te nemen om deze plassen te voorkomen dan wel weg te krijgen. Bij voorkeur overdag als de zon mee kan helpen door de benodigde energie te leveren.

3.12.2 Ontvochtigen met buitenlucht inblazen

Het toenemende gebruik van energieschermen maakt het noodzakelijk om eens kritisch te kijken naar de manier waarop de luchtvochtigheid onder het scherm actief kan worden beheerst. Tot nu toe wordt daarvoor gewerkt met een minimumbuis om een gelijkmatig en actief klimaat te krijgen met weinig temperatuurverschillen en het trekken van kieren in schermdoek en ramen om het geproduceerde vocht af te voeren.

Het grote probleem van vochtkieren in het energiedoek is dat hiermee de thermische isolatie grotendeels wordt opgeheven. Een kier van 5-10% laat, mede vanwege het schoorsteeneffect, al zoveel warmte door dat erg weinig overblijft van de beoogde energiebesparing. Bovendien draagt de minimumbuis ertoe bij dat de verdamping van het gewas hoger is dan noodzakelijk. Daardoor moet nog meer vocht worden afgevoerd. Stoken om vocht af te voeren onder een schermdoek is eigenlijk het begin van een negatieve spiraal die eindigt bij een hoge gasrekening. Een veel slimmere manier is om het energiedoek volledig dicht te houden en het vocht af te laten voeren door diffusie door het schermdoek. Door het schermdoek te sluiten wordt het kasdek kouder. Dat bevordert de condensatie, verlaagt het AV boven het scherm en dat helpt weer om de diffusie te versnellen. Dit wordt ook wel 'het aanzetten van de condensatiemotor' genoemd.

Wanneer het scherm te weinig vocht doorlaat en ook ventileren boven het gesloten scherm te weinig soelaas biedt, dan is het gecontroleerd inblazen van buitenlucht een volgende stap. Hoe dat werkt wordt besproken aan de hand van een voorbeeld en met behulp van het Psychrogram.

Stel dat het in de kas 20°C moet zijn met een RV van maximaal 90%. Dat betekent dat de lucht aan vocht maximaal circa 13 g/kg mag bevatten en dat de energie inhoud circa 54 kJ/kg is. Om de RV in de kas constant te houden is het zaak dat er net zo veel vocht wordt afgevoerd als er wordt geproduceerd door het gewas. Aangenomen dat er onder het gesloten energiedoek een gewasverdamping is van circa 20 gram/m².uur en dat dit voldoende is om het gewas actief te houden. Dit is een praktijkwaarde voor gewassen als tomaat, komkommer en paprika, maar waarschijnlijk ligt de optimale

waarde nog een stuk lager. Bij andere gewassen zoals potplanten die veel minder bladoppervlak hebben, ligt de verdamping sowieso lager. Dat heeft derhalve een voordelig effect op de onderstaande berekening.



Stel dat het buiten 5°C is met een RV van 90%, dan is de vochtinhoud ongeveer 5 g/kg en de enthalpie 17 kJ/kg . De verdamping kan nu worden gecompenseerd door buitenlucht in te blazen en te verwarmen tot kasttemperatuur. De hoeveelheid buitenlucht die hiervoor nodig is bedraagt:
 $20/(13-5)=2,5\text{ kg/m}^2\cdot\text{uur}$.

Omdat er net zoveel kaslucht weer naar buiten moet, kan ook het energieverlies worden uitgerekend. Dat is namelijk $2,5 \times (54-17)=92,5\text{ kJ/m}^2\cdot\text{uur}$. Dit is om te rekenen naar verwarmingsvermogen door te delen door 60×60 en daaruit volgt dan circa 25 W/m^2 .

Om dit te vergelijken met de gebruikelijke methode moet eerst even een berekening worden gemaakt met gegevens die niet in het Psychrodiagram staan. Het warmteverlies van een kas kan worden uitgedrukt in het temperatuurverschil binnen-buiten en de zogenaamde K-waarde. Die laatste is voor enkel glas ongeveer $7\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Dat betekent dat er voor elke graad temperatuurverschil een verwarmingsvermogen van 7 W/m^2 nodig is om de kas op temperatuur te houden. In het voorbeeld is het warmteverlies dus $(20-5) \times 7=105\text{ W/m}^2$. Door een goed energiescherm is dit verlies terug te brengen tot bijvoorbeeld de helft, dus 50 W/m^2 . Echter door het inzetten van een vochtlier gaat dit voordeel weer deels verloren. Dus is het werkelijke verlies bijvoorbeeld gemiddeld $70-80\text{ W/m}^2$. Als dankzij de buitenluchtinblazing een nog beter isolerend schermdoek kan worden toegepast (met een lage K-waarde) of een dubbel scherm wordt genomen (waardoor de K-waarde ook wordt verlaagd), kan er flink energie worden bespaard. De besparing neemt zelfs toe bij dalende buitentemperatuur, omdat het vochtgehalte van de buitenlucht dan volgens het diagram ook afneemt. De buitenlucht is dus weliswaar kouder, maar er is steeds minder nodig om dezelfde hoeveelheid vocht af te voeren.

Uit bovenstaand voorbeeld blijkt dat het voordelig is om de isolerende werking van het energiescherm op te voeren, daardoor het warmteverlies te verlagen tot het uiterste en de vochtafvoer op een gecontroleerde manier met buitenlucht inblazen te verzorgen. Dit effect wordt maximaal benut door onder het energiedoek verticale ventilatoren in te zetten om het klimaat actief te houden en temperatuurverschillen te vereffenen. Dan is namelijk geen minimumbuis meer nodig en kan de vochtproductie worden verminderd, zodat er nog minder buitenlucht hoeft te worden ingeblazen. Afhankelijk van de teelt zijn dan zeer hoge energiebesparingen mogelijk.

3.13 Luchtbeweging in de kas

In een kas zijn verschillende vormen van natuurlijke luchtbeweging te onderscheiden. Zeker in de moderne kassen - met afmetingen in de orde van 100 x 200 meter en groter en kashoogten van 6 meter en hoger - kunnen deze behoorlijk krachtig zijn en de gelijkmatige verdeling van temperatuur en vochtigheid stevig verstoren.

3.13.1 Turbulente beweging bij geopende luchtramen

De meest voor de hand liggende oorzaak van luchtstromingen zijn geopende luchtramen. Luchtverplaatsing van buiten dringt door in de kas en zorgt boven en tussen het gewas voor luchtbeweging. Afhankelijk van de windrichting, de windsnelheid, het al dan niet gesloten zijn van schermdoek(en), het gewastype enzovoort, kan dit allerlei vormen van luchtstromingen veroorzaken. Kenmerkend is dat de stromingen turbulent zijn. Dat wil zeggen voortdurend wisselend van richting en sterkte, net als de wind dat van nature doet. Uiteraard is er verschil tussen het effect van voor- en tegenlucht, ook weer afhankelijk van de windrichting ten opzichte van de nok. Luchten aan de luwe zijde zorgt voor uitwisseling door middel van 'zuiging'. Luchten aan de windzijde zorgt voor een 'blaaseffect'.

In een eerder deel van dit hoofdstuk is aangegeven dat ventileren met de windzijde (blazen) tegen het algemene gevoel in een beter beheersbare luchtuitwisseling oplevert dan ventileren aan de luwe zijde (zuigen).

Het grote voordeel van luchtramen is dat ze zeer regelmatig zijn verdeeld waardoor lucht nooit een lange weg hoeft af te leggen. Bij dichte gewassen betekent dit dat er vocht en warmte uit het gewas wordt gedreven, doordat er lucht in het gewas zakt en iets verderop er weer uit wordt gezogen. Vocht en warmte gaan op die wijze via de kortste weg naar buiten. Dat is anders bij systemen waarbij de afvoer via geforceerde luchtstromen vanaf de gevel plaatsvindt, zoals bij de in warme streken gebruikelijke 'pad-and-fan' systemen. Daarbij wordt aan de gevel buitenlucht bevochtigd via een 'pad' en daarna met een grote ventilator naar de tegenoverliggende gevel met afvoerrooster geblazen. Onderweg neemt de lucht warmte en vocht op. Bij dit systeem warmt de lucht dus onderweg op en zijn de verschillen in de kas permanent groot. Dat beperkt de kaplengte in belangrijke mate. Er zijn ook luchtbewegingen die ontstaan als de ramen en/of de schermen zijn gesloten.

3.13.2 Stromingen als gevolg van temperatuur en drukverschillen

Veel problemen met temperatuurverschillen in kassen vinden hun oorsprong in luchtstromingen die een gevolg zijn van het afschot van het kasdek, de schermen en de kasbodem. Ook hier kan de natuurkunde helpen om te begrijpen wat er gebeurt, hoe groot de gevolgen zijn en wat er aan te doen is. Onderstaande tabel geeft hiervan een indruk.

	80%	85%	90%	95%
15°C	1214	1214	1213	1213
20°C	1190	1189	1188	1187
25°C	1165	1164	1163	1162
30°C	1140	1138	1137	1135

De tabel geeft het gewicht van lucht in grammen/m³ afhankelijk van de temperatuur en de RV. Lucht wordt lichter naarmate de temperatuur en RV hoger zijn.

Basis is het feit dat het gewicht van een m^3 lucht verandert onder invloed van de temperatuur of de vochtinhoud. Warme lucht is lichter dan koude, droge lucht is zwaarder dan vochtige. Dat laatste wekt vaak verbazing, maar is logisch als we bedenken dat wolken, die bestaan uit waterdamp in de lucht blijven drijven in plaats van naar beneden te zakken.

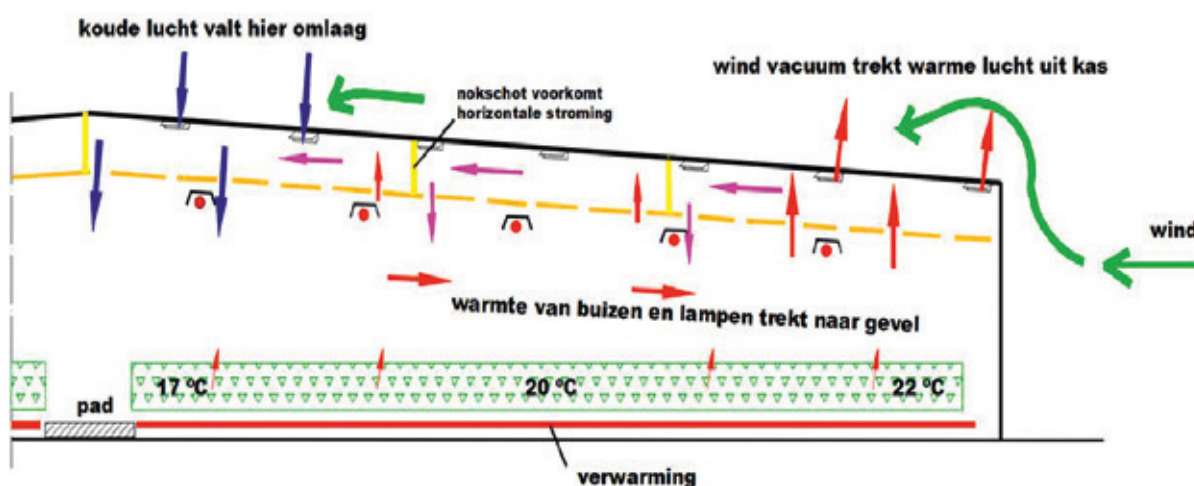
De tabel laat zien dat de invloed van temperatuur groter is dan de invloed van vochtinhoud. Op het oog zijn de verschillen in gewicht subtiel, maar bij grote hoeveelheden lucht ontstaan er ook grote verschillen.

In een kap van bijvoorbeeld $8 \times 100 \text{ m}$ met een vrije ruimte boven het gewas van 4 m is er 3200 m^3 lucht aanwezig. Die weegt bij 20°C en 85% RV: 3805 kg. Als die lucht afkoelt naar 18°C door stroming langs een koud scherm, zal diezelfde lucht een gelijke hoeveelheid vocht blijven bevatten zolang er geen condensatie optreedt. Omdat bij 20°C en 85% RV het dauwpunt op $17,4^\circ\text{C}$ ligt zal geen condensatie optreden, maar de RV van de lucht stijgt door de afkoeling wel naar 96%. Bij die condities verandert ook het gewicht en wel van de oorspronkelijke 1189 gram/m^3 naar 1197 gram/m^3 . Dat betekent dat die lucht gaat zakken. Nog extremer zal dat boven het scherm zijn, omdat daar grotere afkoelingen plaatsvinden. Stel dat de lucht van 20°C en 85% RV afkoelt naar 10°C . In de eerste plaats vindt er dan condensatie plaats aangezien het dauwpunt wordt overschreden. Dat betekent dat de RV naar 100% gaat. Deze lucht weegt dan 1243 gram/m^3 . Een verschil van 54 gram/m^3 . Als er boven het scherm een vrije ruimte is van gemiddeld 1,5 m dan weegt de lucht boven het scherm in totaal $1,5 \times 100 \times 8 \times 0,054 = 65 \text{ kg}$ meer dan de lucht onder het scherm.

Als het scherm poreus is zal die lucht erdoor heen zakken, maar in de praktijk gebeurt er meestal iets anders. Omdat het scherm op afschot ligt zakt de lucht naar het laagste punt, de gevel. Wordt er op tafels of op goten geteeld en liggen de verwarmingsbuizen daaronder, dan ontstaat door dezelfde fenomenen een luchtstroom onder de goten richting middenpad. De luchtstroom boven het scherm en onder de goten versterken elkaar. Omdat de lucht boven het scherm een gewicht heeft van $1,5 \times 100 \times 8 \times 1,243 = 1492 \text{ kg}$ zal het effect optreden van een olietanker. Als een dergelijke massa eenmaal in beweging is valt deze nauwelijks nog te stoppen. Nog erger wordt het als er belichting wordt toegepast. De temperatuurverschillen van de lucht onder en boven het doek worden nog groter en daarmee nemen ook de stromingen toe. Op een rozenbedrijf is gemeten dat de lucht boven het scherm een snelheid had richting gevel van $0,5 \text{ m/sec}$. Dat betekent dat er per uur $1,5 \times 8 \times 0,5 \times 3600 = 21.600 \text{ m}^3/\text{uur}$ stroomt. Anders gezegd: op een oppervlakte van 800 m^2 stroomt er per uur $27 \text{ m}^3/\text{m}^2$ lucht langs, ruim voldoende om temperatuurverschillen in de kas te veroorzaken.

3.13.3 Warmtetrek onder invloed van de wind

Allereerst noemen we de bekende 'warmte trek' onder invloed van de wind. Als de wind tegen de gevel van een kas blaast, dan ontstaat er langs de rand van het kasdek een verhoging van de lichtsnelheid. Verderop boven het kasdek zal die snelheid gaandeweg weer afnemen. Door het zogenaamde Venturi-effect ontstaat hierdoor aan de windzijde van de kas een onderdruk. En dat zorgt voor de algemeen bekende ervaring dat 'warmte tegen de wind in trekt'. Afhankelijk van de mate van lekkage van de kas is er niet per se een retourstroom in de kas zelf, omdat de lucht deels uit de kas wordt gezogen. In de tekening hieronder is te zien dat warme lucht uit de kas wordt gezogen bij de gevel waar de wind op staat. Dat veroorzaakt een onderdruk in de kas. Die zorgt er voor dat langs het middenpad koude lucht recht omlaag komt door de ramen en de kieren in het doek. Een nokschot boven het scherm heeft in deze toestand geen invloed. De horizontale luchtstroom in de kas veroorzaakt een temperatuurverschil tussen middenpadzone en gevelzone. Dat verschil wordt groter naarmate de kas groter is en naarmate er meer lampenergie aanwezig is. De warme lampen vergroten immers de luchtstroom door een groter temperatuurverschil met buiten.



3.13.4 Circulatie door geveleffecten

De algemene regel is dat warme lucht opstijgt en koudere lucht daalt. Hierdoor kan een hete verwarmingsbuis zorgen voor plaatselijke circulatie van lucht, die op een andere plaats weer kouval kan veroorzaken. Dit kan het geval zijn als aanvoerleidingen van een verwarming langs de gevel plaatselijk voor overmatige warmtetoevoer zorgen. Omgekeerd kan door te weinig isolatie de gevel juist extra afkoelen ten opzichte van de kasruimte. In beide gevallen kan dit de oorzaak zijn van ongewenste circulatie. Een apart regelbare gevelverwarming met een eigen meetbox kan dit oplossen.

3.13.5 Circulatie onder invloed van afschot

Verder liggen alle kassen op afschot om het regenwater vanaf het middenpad naar de gevels af te voeren. Omdat warme lucht naar boven trekt, kan er als gevolg van de verwarming een luchtcirculatie op gang komen op gewasniveau in de richting van het middenpad. Dat terwijl er langs het scherm-doek of langs het kasdek een retourstroom in de richting van de gevel is. Dat kan leiden tot verschillende stromingen in afhankelijkheid van:

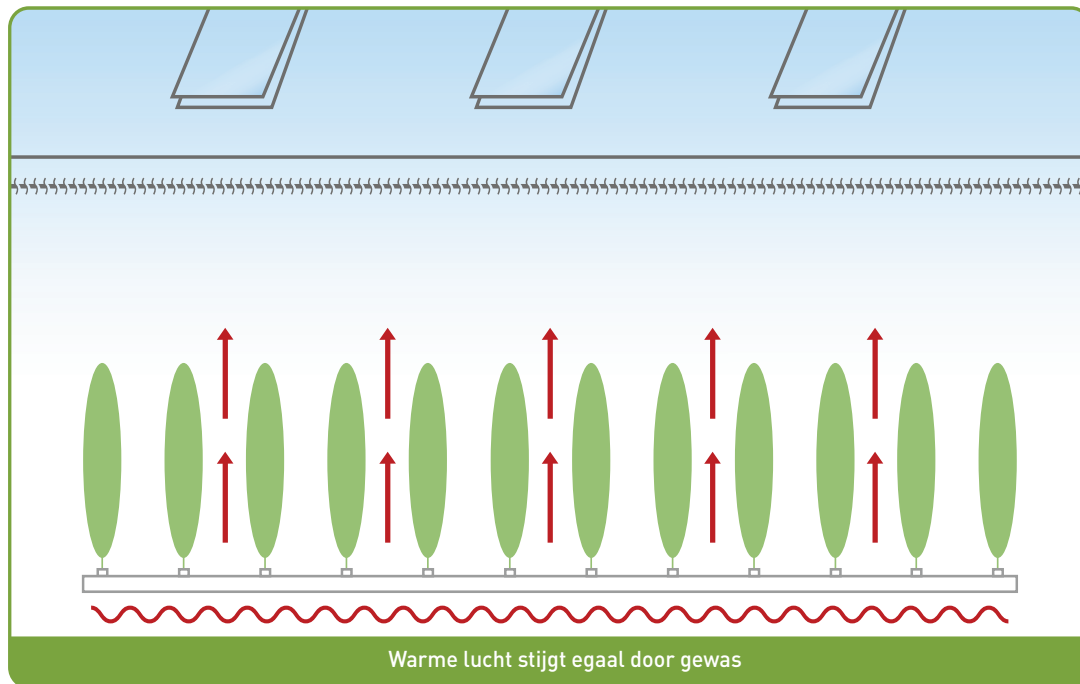
- Het al dan niet gesloten zijn van het schermdoek;
- Het warm zijn van lampen of verwarmingsbuizen;
- Kansen voor lucht om onder de teeltgoten of boven het gewas te gaan stromen.

Omdat deze retourstroom afkoelt door het contact met het koudere kasdek of schermdoek, zal de lucht in de buurt van de zijgevels 'naar beneden komen' en aldaar zorgen voor een koudere zone. Dit noemen we 'afschottrek'.

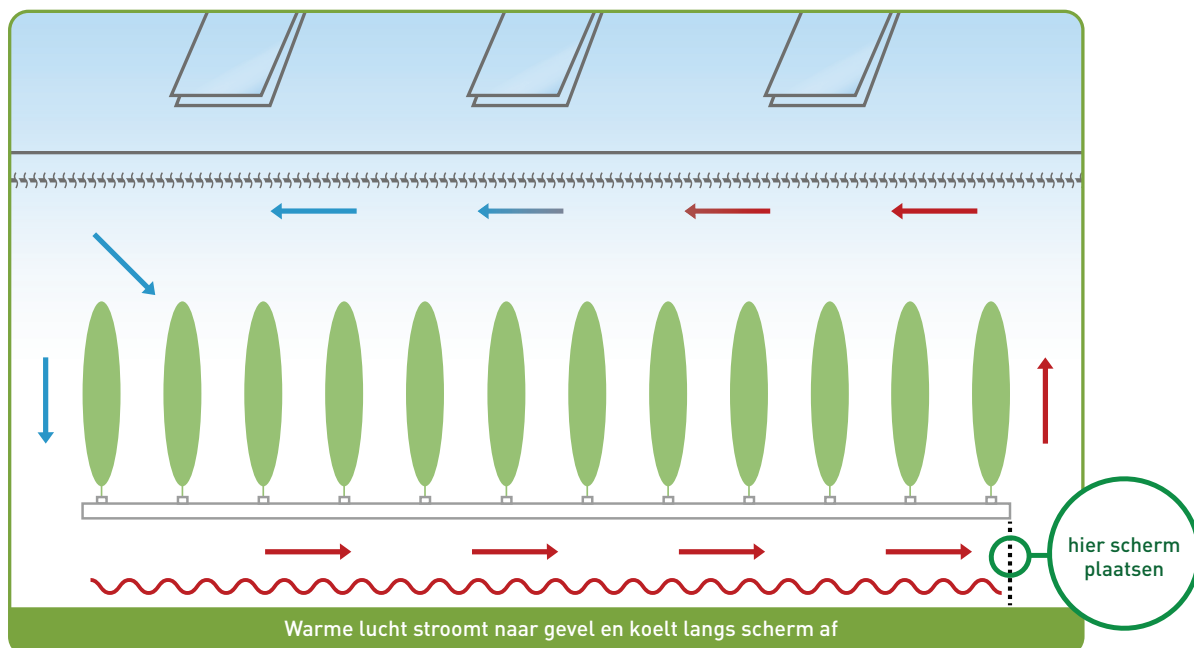
3.13.6 Stromingen onder de teeltgoten en teelttafels

Bij teelten op verhoogde goten of teelttafels kunnen langs de grond stevige luchtstromingen voorkomen. Deze 'ondertrek' ontstaat doordat de lucht in horizontale richting minder weerstand ondervindt dan in verticale richting. De lucht stroomt dan niet meer door het gewas, maar naar een gevel. Daar koelt het af en dat leidt boven de goten tot temperatuurverschillen. Afsluiten van deze ruimte met een plastic scherm dwingt de lucht weer verticaal door het gewas.

Luchtbeweging laag liggende goot



Luchtbeweging hoog liggende goot



Diverse vormen van luchtstromen rondom teeltgoten.

3.13.7 Stromingen boven het schermdoek

Vergelijkbaar met de ondertrek kunnen ook luchtstromingen ontstaan boven het gesloten schermdoek: 'boventrek'. Tussen het kasdek en het scherm wordt als het ware een kanaal gevormd waarin de lucht nauwelijks weerstand ondervindt. Bij geopende luchtramen zal daardoor aan de hoogste zijde van de kas lucht ontsnappen, terwijl bij de laagste zijde juist koude lucht naar binnen komt. Bij een doek met open bandjes of bij een schermkier ontstaan dan lokaal ook onder het doek temperatuurverschillen.

3.13.8 Kouval bij schermen met 'open bandjes' of een kier

Berucht is de 'kouval' door kieren in het schermdoek. Plaatselijk kan warme kaslucht door een kier naar boven trekken en na te zijn afgekoeld tegen het kasdek op andere plaatsen naar beneden komen. Doordat veel kassen aflopen vanaf het middenpad naar de gevel, in verband met de hemelwaterafvoer, ontstaat er vaak boven het scherm een luchtstroom in de richting van de gevels. De koude lucht zakt daar dan door het scherm de kas weer in. Een zelfde effect kan optreden bij schermdoeken die vanwege de vochtdoorlatendheid zijn uitgevoerd met 'open bandjes'.

Deze kouval kan in de kas zorgen voor plaatselijke temperatuurverschillen van meerdere graden. Kouval kan leiden tot gewascondensatie, maar op den duur ook tot ongelijkheid in groei.



Trek boven en onder het doek als gevolg van opstijgende warme lucht door lampen en verwarming en dalende koude lucht bij de gevelzone.

Bij een volledig geopend scherm ontstaan er net zo goed luchtbewegingen met opstijgende en neerdalende stromingen, maar die blijven dan lokaal en veroorzaken dus veel minder grote horizontale temperatuurverschillen.

3.13.9 Thermische wervel bij belichte teelten

Bij belichte teelten wordt de hierboven beschreven vorm van kouval door een schermkier nog versterkt doordat de hete lampen vlak onder het scherm zorgen voor een extra opstuwning van kaslucht naar boven. Anders gezegd: de warmte van de lampen vormt als het ware een extra aandrijving voor de rondgaande luchtstroom vanaf het middenpad naar de gevel boven het scherm. Soms wordt dit wel aangeduid als een thermische wervel als gevolg van belichting. Het effect wordt overigens ook versterkt naarmate het buiten kouder is en de afkoeling van de kaslucht boven het scherm sneller verloopt.

3.13.10 Luchtbeweging onvoorspelbaar en moeilijk stuurbaar

In de praktijk kunnen meerdere van de genoemde vormen van luchtbeweging tegelijk optreden en kan het van subtiele factoren afhangen welke vorm de overhand krijgt. Kenmerkend voor alle luchtbewegingen is dat lucht altijd de weg van de minste weerstand kiest. Luchtstromingen die eenmaal zijn ontstaan, kunnen zichzelf door de massa-tragheid bovendien in stand houden. Dit betekent

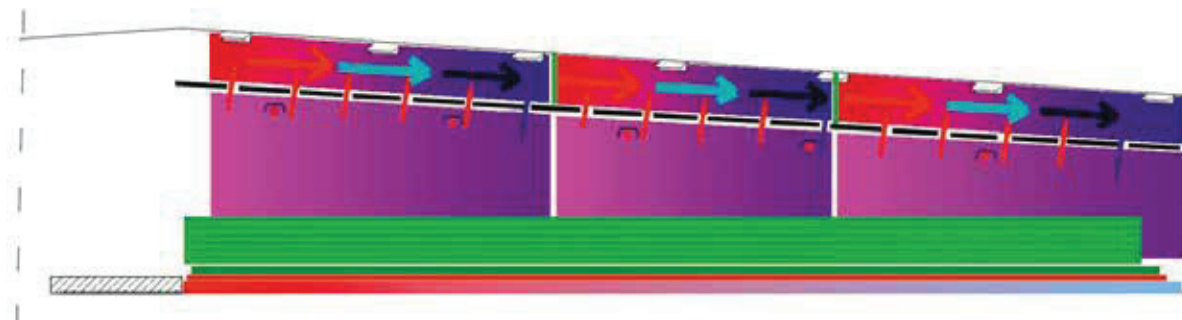
dat luchtbewegingen behoorlijk onvoorspelbaar zijn. Dat maakt het heel lastig om lucht die in een ongewenste beweging is gekomen weer in goede banen te leiden. Eén van de voorbeelden is het zogenaamde 'schoorsteeneffect' bij kieren in het schermdoek. Als er door een kier eenmaal een opgaande luchtstroming is ontstaan, is deze moeilijk meer te stoppen. Het verminderen van de kiergrootte heeft nauwelijks effect op de stroming, totdat de kier vrijwel geheel is gesloten. Dan pas komt de luchtstroom tot stilstand en is de uitwisseling door een nieuwe kieropening weer 'regelbaar'.

3.13.11 Het tegengaan van ongewenste luchtstromingen

Omdat natuurlijke ongewenste luchtstromingen een desastreus gevolg hebben op het kasklimaat, moeten er maatregelen worden genomen om die te voorkomen. De meest effectieve aanpak is om de kas zodanig in te richten dat er geen vrije luchtkanalen ontstaan waarin de lucht ongehinderd kan bewegen. Anders gezegd, door de kas in de gevoelige zones te compartimenteren.

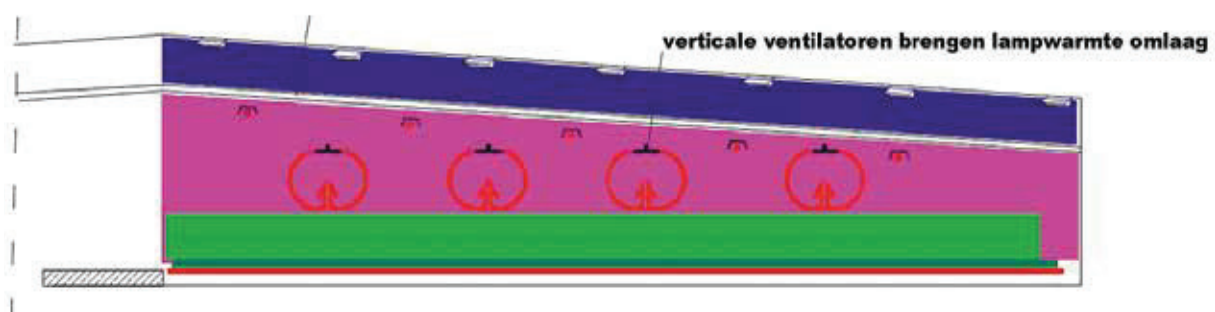
Trek onder teeltgoten kan worden beperkt door bijvoorbeeld in elke tralie een foliescherm aan te brengen tussen de goot en de grond. In feite is dit dus ook een positief effect van de luchtslurven die worden toegepast voor buitenlucht inblazen. Dit geldt ook voor de vrije ruimte onder teelttafels.

Trek boven het scherm kan worden tegengegaan door het aanbrengen van folieschermen in de nokspanten van de kas. Kouval kan worden voorkomen door energieschermen zo veel mogelijk te sluiten en geen kieren te trekken. Door middel van ventilatoren moeten de verticale temperatuurverschillen, bijvoorbeeld als gevolg van belichting, dan nog wel worden weggewerkt.



Onderbreking van de luchtstroom boven het scherm met schotten breekt de luchtstroom op in drie kleinere luchtstromen met als resultaat het terugbrengen van de horizontale temperatuurverschillen tussen het gewas tot een derde.

Kouval kan worden voorkomen door energieschermen zo veel mogelijk te sluiten en geen kieren te trekken. Door het goed berekenen en zorgvuldig aanleggen van het verwarmingssysteem in combinatie met gevelisolatie kunnen temperatuurverschillen worden voorkomen die wellicht ongewenste stromingen zouden veroorzaken.



Volledig sluiten van schermen zorgt ervoor dat er nergens koude lucht omlaag komt, aanvullend zijn wel ventilatoren nodig.

Indien door later aanbrengen van een gevelisolatie en door meer schermen een structureel lagere buistemperatuur wordt aangehouden dan waarbij met het ontwerp van de kas rekening is gehouden, kan er ook een onbalans ontstaan in warmteafgifte in de kasruimte en bij de gevelzone.

3.14 Natuurlijke luchtbeweging ten opzichte van geforceerde beweging

‘Natuurlijke luchtstromingen in de kas tegengaan door ventilatoren is in feite een illusie’

Leon Dukker (Porta Nova)

De algemene conclusie is dat de natuurlijke luchtbewegingen in een kas behoorlijk sterk zijn en dat het moeilijk is deze op kunstmatige wijze te beïnvloeden.

De natuurlijke krachten zijn één tot twee orden (10-100x) groter dan die van kunstmatige middelen. Een simpel voorbeeld uit de praktijk maakt dat snel duidelijk. Op een zomerdag ventileren met de luchtramen leidt al gauw tot ventilatievouden van 20-30. Dit komt dus bij een kashoogte van 5 meter neer op een ventilatiesnelheid van 100-150 m³/m².uur. Vergeleken met een gangbare ventilator, die wordt gebruikt voor horizontale luchtverplaatsing, dan praten we over 2000 – 3000 m³/uur. Om met deze ventilatoren in de buurt te komen van de natuurlijke ventilatie moet dus op elke 20 m² kasoppervlak een dergelijke ventilator worden opgehangen. In werkelijkheid worden ze echter toegepast met een dichtheid van 1 op circa 500 m².

Theoretisch zorgen deze ventilatoren dus slechts voor enkele procenten van de totale luchtbeweging. Veel effect is daar dan ook niet van te verwachten. Zeker niet als de ventilatoren bovenin de kas hangen. Alleen heel gericht inzetten van ventilatoren kan een gewenst effect veroorzaken. Bijvoorbeeld door reeds bestaande natuurlijke luchtstromen te versterken of heel lokaal - daar waar het op te lossen probleem zit - lucht te blazen. Dit gaat alleen merkbaar effect opleveren als de natuurlijke stroming in de kas eerst flink is gereduceerd, bijvoorbeeld door het volledig sluiten van een scherm.

Ook in situaties met vrijwel gesloten luchtramen worden in kassen als gevolg van natuurlijke druk- en temperatuurverschillen al turbulente stromingen gemeten met lichtsnelheden in de orde van 0,2 – 1 m/s.

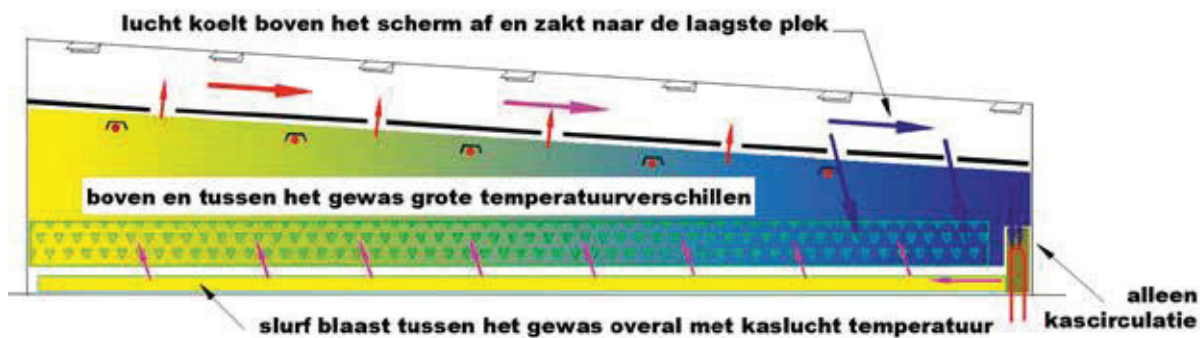
Een horizontale ventilator met een luchtverplaatsing van 3000 m³/uur zorgt in een tralie met een breedte van 8 meter en een hoogte van 5 meter voor een gemiddelde lichtsnelheid van 3000/(3600*8*5) = 0,02 m/s. (3600 is het aantal seconden per uur).

Deze kunstmatig opgewekte luchtstroming wordt dus letterlijk weggeblazen door de natuurlijke stroming die in dit geval 10-50 keer sterker is.

Een situatie die iedereen uit de praktijk herkent, is de enorme invloed op de temperatuurverdeling en de luchtbeweging in de kas van één kapotte ruit of van een openstaande deur. Met rookproeven kan zichtbaar worden gemaakt dat een dergelijk tochtgat tot op 50 -100 meter afstand de luchtstroming domineert.

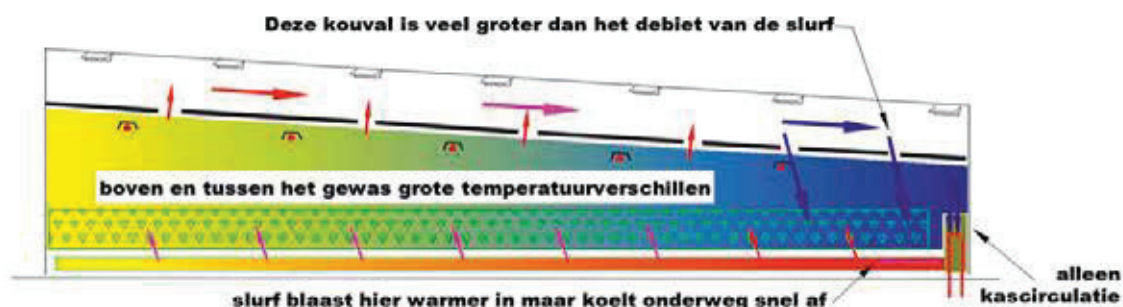
Het idee dat met de bekende horizontale ventilatoren bovenin de kas een luchtstroom kan worden opgewekt, die als een slingerende slang door de kas loopt en was bedoeld om horizontale temperatuurverschillen als gevolg van warmtetrek te vereffenen, is enkele jaren geleden al naar het rijk der fabelen verwezen. Uit onderzoek bleek dat deze ventilatoren het meeste effect hebben als ze in een breed front allemaal dezelfde kant op blazen. Dit is echter niet praktisch omdat de wind, als veroorzaker van de warmtetrek, immers van richting wisselt.

Het omgekeerde is wel mogelijk, namelijk om met ventilatoren bestaande natuurlijke luchtstromingen te versterken. Helaas ook als dit niet wenselijk is. Dat is op meerdere plaatsen gebleken met systemen waarmee wordt gepoogd kaslucht te circuleren door middel van luchtslurven die vanuit de zijgevel onder de teeltgoten naar het middenpad liggen. Deze systemen veroorzaken een soortgelijke circulatie als die ontstaat door het afschot in de kas. Het gevolg is derhalve koude zones langs de zijgevel. Alleen bij goed isolerende en volledig gesloten schermen zal dit fenomeen niet optreden.



Dit systeem voor circulatie van kaslucht zorgt voor een horizontale retourstroming die naar de gevel toe steeds sterker wordt. Omdat de lucht boven het schermdoek afkoelt en door de schermkieren valt, ontstaat aan de gevel een koude zone.

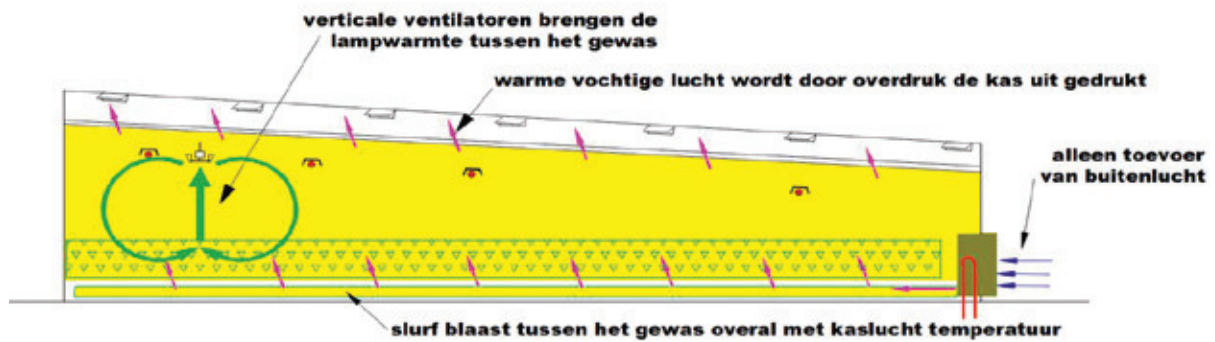
Een deel van de ongelijkheid wordt ook nog eens veroorzaakt door het feit dat boven de teeltgoot achteraan de slang nu eenmaal heel weinig lucht stroomt en vooraan de slang juist heel veel. Als aan die lucht ook nog eens extra warmte wordt toegevoegd, dan wordt de temperatuurverdeling in de kas zelfs nog veel slechter, omdat de lucht in de slang onderweg afkoelt naar kastemperatuur.



Ondanks het extra verwarmen van de lucht in de slurf zal deze de kouval bij de gevel niet compenseren omdat deze luchtstroom veel groter is dan de hoeveelheid lucht die uit de slurf komt.

De warmte-inhoud van lucht is veel kleiner dan die van water en een luchtslang heeft een veel groter oppervlak dan een verwarmingsbuis. De aan de lucht toegevoegde temperatuurverhoging zal dus grotendeels in het eerste deel van de slang aan de kaslucht worden afgegeven en daar een warme zone veroorzaken. Nu denken sommigen daarmee precies de koude zone langs de gevel te kunnen compenseren, maar daarvoor is deze werkwijze veel te grof.

Het recirculeren van kaslucht door middel van een slang, al dan niet met extra warmtetoevoeging is dus geen goed idee. Het gebruik van slangen om droge buitenlucht in de kas te brengen en deze goed te verdelen werkt wel goed. Als tenminste de buitenlucht wordt voorverwarmd tot op de kastemperatuur zodat er geen temperatuurverschillen kunnen ontstaan.



Dit systeem dat uitsluitend buitenlucht inbrengt, zonder recirculatie en alleen voorverwarming tot kasluchttemperatuur, kent de bezwaren van ongelijkheid niet en is bovendien zuiniger met elektriciteit, eenvoudiger en goedkoper. De kouval is verdwenen doordat het scherm volledig dicht kan blijven. De warme laag bovenin de kas wordt opgeheven door verticale ventilatoren.

In de ideale kas bestaat een kleine gecontroleerde luchtbeweging om temperaturen overal gelijk te maken en gassen goed te verdelen. Dat wordt bereikt als de hele kasomhulling goed is geïsoleerd met een dubbelwandig gealuminiseerd scherm, dat overal perfect is gesloten. In die situatie zal de luchtstroming zo gering zijn dat de afvoer van warmte en vocht vanuit het gewas kan stagneren. Bij windstil weer met weinig uitstraling wordt die situatie 'dood klimaat' genoemd. Dat betekent niets anders dan: stilstaande lucht tussen het gewas, vochtophoping en kwaliteitsproblemen. Die situatie treedt ook vaak op bij belichting. Bovenin de kas is er dan een warme laag die niet mengt met een koudere luchtlaag tussen het gewas. Koude lucht is immers zwaarder dan warme. In beide situaties moet de kaslucht zoveel mogelijk worden gemengd en deels vervangen door drogere buitenlucht.

3.14.1 Een actief en homogeen kasklimaat met ventilatoren

Alles overziend kan de vraag opkomen: hoe kan er in een goed geïsoleerde kas een actief en gelijkmatig klimaat worden gecreëerd met behulp van ventilatoren?

Uit een ruime praktijkervaring en vele rookproeven komt de volgende aanpak als meest kansrijk naar voren:

1. Het ontstaan van natuurlijke ongewenste luchtbeweging zo veel mogelijk voorkomen;
2. De lucht lokaal door elkaar roeren in verticale richting.

Het eerste punt mag duidelijk zijn uit al het voorgaande. Het tweede punt is een logisch gevolg van de nadelen van horizontale luchtverplaatsing. Inherent aan horizontale luchtverplaatsing zijn onder andere:

- Het gaat meestal om grote afstanden, waardoor het veel energie kost;
- Door opwarming of afkoeling als gevolg van contact met warme (lampen) of juist koude oppervlakken (kasdek, scherm) ontstaan temperatuurverschillen in de kas;
- De gewenste stromingsrichting om temperatuurverschillen te vereffenen (de belangrijkste reden om horizontale ventilatoren toe te passen) varieert met de windrichting, dus de ventilatoren blazen de ene keer goed en de andere keer verkeerd;
- Over het algemeen hebben horizontale ventilatoren weinig effect op de luchtbeweging direct rond de plant.

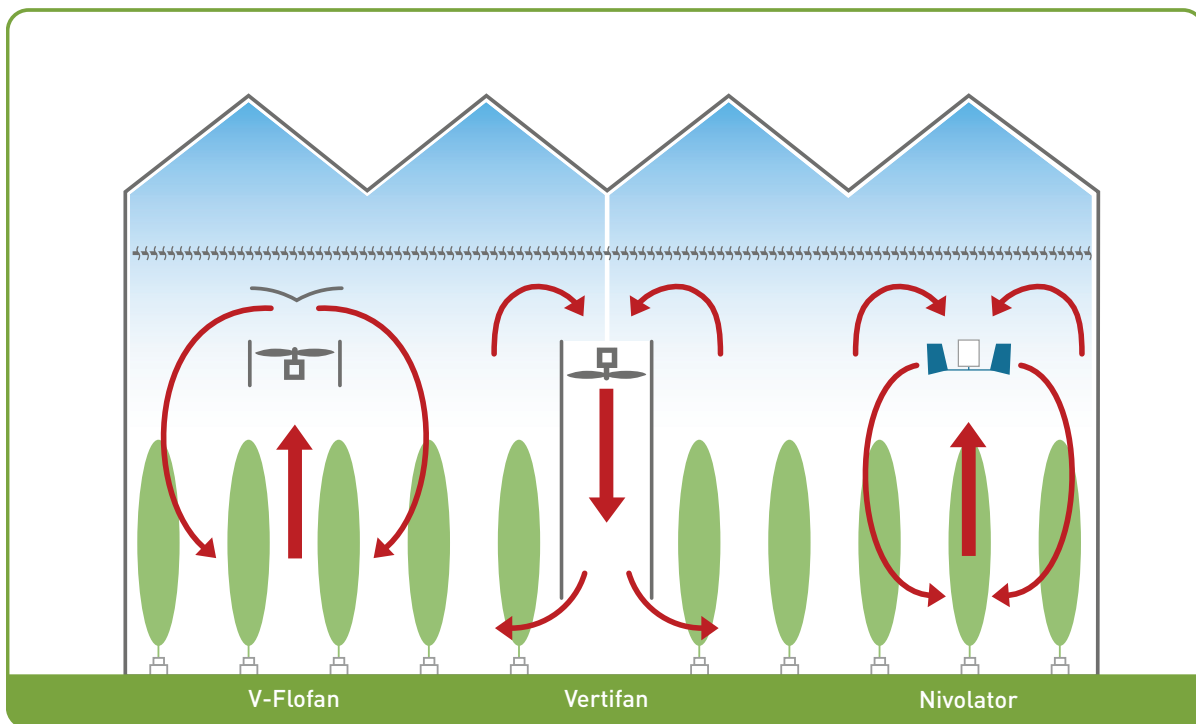
3.14.2 Voordelen van verticale luchtbeweging

Door lokale verticale luchtbeweging wordt onder meer bereikt dat:

- Er geen temperatuurverschillen ontstaan door afkoeling langs het scherm of door opwarming via lampen als gevolg van luchtstromen langs het kasdek over grote afstanden;
- De luchtbeweging beter doordringt in opgaande gewassen;

- De luchtbeweging daadwerkelijk een actief microklimaat rond de plant geeft;
- Een gelijkmatige beweging over een groter oppervlak ontstaat;
- Warmte van de zon of van lampen effectief naar beneden wordt getransporteerd;
- Door beweging zonder drukopbouw er veel minder energie nodig is voor een bepaalde luchtverplaatsing in $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$ dan bijvoorbeeld met slurven;
- Eventuele lokale verstoringen veel minder invloed hebben op de rest van de kas;
- Door een geschikte verdeling met voldoende overlap tussen de ventilatoren er naast een verticale temperatuurvereffening ook sprake is van een kleine horizontale vereffening;
- Een circulatievoud van 4-8 keer per uur de kasinhoud rondpompen is een goed debiet gebleken. Dit komt bij een kashoogte van 5 meter neer op een gemiddelde lichtsnelheid van circa 0,5-1 cm/sec. Oftewel een subtiele luchtbeweging.

Verticale lucht circulatie



Bij de toepassing van verticale ventilatie is zorgvuldige ophanging en afstelling noodzakelijk. Door een verkeerde afstelling van de rotor/schoepen kan de luchtstroom te sterk geconcentreerd zijn op één klein oppervlak waardoor droge plekken ontstaan. Ook de ruimte tussen de ventilator en het gewas is daarbij van belang, evenals de afstand tussen de ventilator en het gesloten scherm. Het advies is dus om altijd door middel van rookproeven in de verschillende situaties (scherm open/dicht, belichting aan/uit) vast te stellen of de luchtcirculatie inderdaad optimaal is.

4 Gewas en kas interactie

In dit hoofdstuk komt de interactie tussen gewas en kas aan de orde. Enerzijds is het gewas voor een flink deel afhankelijk van de kascondities, anderzijds heeft het gewas een grote invloed op het kasklimaat met name vanwege de koppelingen in de vochtbalans en de energiebalans. Maar allereerst is de vraag essentieel wat voor kasklimaat eigenlijk wenselijk is. Veel telers geven dan als antwoord dat het klimaat vooral 'actief' moet zijn.

4.1 Een actief groeiklimaat voor de plant

Wat is een actief groeiklimaat voor de plant? Allereerst is het zaak te kijken naar aspecten die in elk geval moeten worden vermeden:

- Stagnatie van verdamping;
- Condensatie op het gewas;
- Stilstaande lucht.

Dit zijn namelijk de kenmerken van een dood klimaat. Er bestaat brede praktijkervaring die aantoont dat dit door meerdere oorzaken tot problemen leidt:

- Bij hogere RV neemt de verdamping af en daardoor het transport van voedingsstoffen naar de groeipunten. Met name de aanvoer van calcium is van belang, omdat dit alleen kan gebeuren door transport van water. Stagnatie in verdamping leidt daarom tot zwakke cellen met allerlei groeistoringen: bladrandjes, broeikoppen, neusrot;
- Bij hogere RV komt de dauwpuntstemperatuur heel dicht in de buurt van de kastemperatuur. Temperatuurverschillen van 1-2°C zijn in een normale kas niet bijzonder, maar kunnen er wel voor zorgen dat op koudere plekken condensatie op het gewas optreedt. En dat zijn invalspoorten voor onder andere botrytis. De verdamping valt op deze plekken helemaal stil.

Om deze problemen te vermijden moet het volgende worden voorkomen:

- Vochtophoping rondom en tussen het gewas;
- Temperatuurverschillen in de kas;
- Uitstraling naar een koud kasdek of een koud energiescherm.

Om condensatie te voorkomen kan worden gestreefd naar een lage RV. Aandachtspunt daarbij is dat verlagen van de RV de gewasverdamping bevordert. Bij een sterk verdampend gewas betekent dit dat het afvoeren van vocht letterlijk gelijk staat aan dweilen met de kraan open. Hoe meer vocht er wordt afgevoerd, hoe meer het gewas zal verdampen. De kunst is dus eigenlijk om de RV in de kas niet onnodig te verlagen, maar liever de negatieve gevolgen van een hogere RV te bestrijden. Voor meerdere factoren is het creëren van een subtiële gelijkmatige luchtbeweging cruciaal. De beste manier is om dit lokaal te doen. Het over grote afstanden verplaatsen van lucht kost veel energie en kan zelfs temperatuurverschillen oproepen. Zie ook hoofdstuk 6.1, installaties voor luchtbeweging.

Een andere belangrijke en vaak onderschatte oorzaak van condensatie op het gewas is afkoeling door uitstraling. Door langgolvlige uitstraling naar een koudere omgeving, zoals het kasdek of een scherm-doek, kan de temperatuur van gewaskoppen of bloemen onder het dauwpunt van de kastemperatuur komen. Het is een misvatting dat het sluiten van een enkel schermdoek de uitstraling stopt, alleen een dubbel schermdoek met luchtsouw biedt voldoende bescherming. Het onderste doek neemt dan vrijwel de temperatuur van de kaslucht aan waardoor de uitstraling sterk vermindert.

Door toepassing van een dubbel schermdoek met een hoge thermische isolatie kan echter de vocht-afvoer een probleem worden. Om die reden is vochtafvoer door geforceerde ventilatie met buiten-lucht dan een goede oplossing. Zie hiervoor hoofdstuk 6.2 en 6.3.

Samenvattend kan een energiezuinig en actief groeiklimaat onder een gesloten scherm worden gecreëerd door een combinatie van de volgende maatregelen:

- Subtiële gelijkmatige luchtbeweging bij voorkeur lokaal en verticaal;
- Dubbel energiescherm;
- Niet meer stoken dan nodig is om de streeftemperatuur te handhaven;
- Geforceerde ventilatie met buitenlucht voor vochtbeheersing (indien nodig).

4.2 Energie en vochtbalans van kas/gewas

De interactie tussen kas en gewas komt bij uitstek tot uitdrukking in de wederzijdse energie- en vochtbalansen:

- Gewasverdamping heeft een enorm koelend effect op de kas, maar verhoogt tegelijk de vochtinhoud van de kas;
- Een hoge RV heeft een remmend effect op een deel van de kasverdamping, te weten de nattebol-verdamping;
- Onder normale condities houden de energie- en waterbalans van de kas en het gewas elkaar in evenwicht;
- Als een van beide balansen ontspoord, dan heeft dit ook gevolgen voor de ander, waardoor de situatie instabiel wordt. Er ontstaat dan een negatieve spiraal. Bijvoorbeeld als op een warme droge dag het gewas in de stress raakt door een te hoge verdamping. Door het sluiten van de huidmondjes neemt de verdamping af, waardoor de kastemperatuur toeneemt. Volgens de klassieke reactie worden de luchtramen dan zo mogelijk nog verder geopend om de temperatuur in de hand te houden, waardoor echter tegelijk de RV nog meer daalt en de waterstress wordt versterkt. Hiermee is de negatieve spiraal een feit;
- Hierbij kan een laag CO₂-niveau als gevolg van extreem ventileren het stress effect voor de plant nog versterken. Door dit lage CO₂-niveau zal de plant namelijk geneigd zijn om de huidmondjes langer open te houden om toch nog CO₂ te kunnen binnenhalen. Hierdoor raakt de interne waterbalans nog verder verstoord;
- Door nu de tegengestelde actie te nemen, namelijk de luchtramen deels te sluiten en daardoor de vochtafvoer te verminderen, kan de waterbalans van het gewas zich hopelijk herstellen en zal ook de energiebalans van de kas weer in evenwicht komen.

Het analyseren van de interactie tussen kasklimaat en plantgedrag aan de hand van de energie- en vochtbalansen is een belangrijk onderdeel, zo niet de basis van Het Nieuwe Telen. Het leren doorzien van en omgaan met deze gevoelsmatig soms tegenstrijdige mechanismen, vormt een grote uitdaging bij het 'opnieuw leren klimaatregelen'.

Verdere details zijn te vinden in hoofdstuk 3, waar diverse aspecten van de water en energiebalans nader zijn uitgewerkt met de voorbeeldgewassen roos en tomaat.

4.3 Effectiever schermen tegen warmteverlies en uitstraling

*'Ik scherm nu om precies dezelfde reden waarom ik voorheen het scherm
juist open liet. Dat is een heel raar gevoel'
Jac van den Broek (Mts. Keijzers)*

Het is duidelijk dat het (af)schermen van de kas grote voordelen heeft voor de groei en ontwikkeling van het gewas, voor een homogeen kasklimaat en voor het beperken van het energieverbruik. Toch roept het toepassen van schermdoeken met name bij oudere telers negatieve associaties op met een

slecht kasklimaat en teeltproblemen. Wellicht is het nuttig om hier eerst aandacht aan te besteden.

4.3.1 Traumatische ervaringen met (energie) schermen in het verleden

De weerstand die bij veel oudere telers en niet te vergeten teeltvoorlichters bestaat tegen het (meer) toepassen van schermen zijn veelal gebaseerd op negatieve ervaringen in het verleden. Dit was echter in een tijd dat energieschermen primair waren bedoeld voor energiebesparing. Het sluiten van energieschermen - vaak ook in een vaste vorm dus vergelijkbaar met de vaste folie schermen die heden ten dage in de wintermaanden nog worden gebruikt - leidde tot een dood klimaat met nauwelijks luchtbeweging, hoge luchtvochtigheid en een nat gewas en plassen op de grond door het afdruipe van condenswater. Als dan noodgedwongen kieren werden ingezet voor vochtafvoer, of om te hoog oplopende temperatuur te voorkomen, ontstonden bovendien koude plekken door tocht en kouval. Geen wonder dat hierdoor teeltproblemen ontstonden. Dit negatieve imago van schermen werd nog versterkt door het toenmalig onderzoek, waarbij dag en nacht zeer hoge luchtvochtigheden werden aangehouden om de gevolgen van vochtig telen in beeld te brengen. Inderdaad bleek dat een dergelijk kasklimaat niet bevorderlijk was voor een gezonde gewasontwikkeling.

Een dergelijke manier van energieschermen staat uiteraard ver af van de wijze waarop dit binnen Het Nieuwe Telen wordt toegepast. Een belangrijke reden om te schermen is gelegen in het negatieve effect van uitstraling op de energiebalans van de plant zoals hieronder wordt toegelicht.

4.3.2 Uitstraling: effecten op het gewas

Wanneer het gewas uitstraling ondervindt naar het koudere kasdek beïnvloedt dat de groei en groei omstandigheden van het gewas. Afkoeling door uitstraling benadeelt de jong aangelegde cellen in de assimilatenverdeling. Zij zullen door de afkoeling minder kunnen concurreren ten opzichte van de warmere vruchten onderin het gewas. Daarnaast zal de aanvoer van calcium in de kop van het gewas in het gedrang komen door het stagneren van de verdamping. Voor het groeipunt en (jonge) vruchten is het juist belangrijk dat het calciumtransport in de nacht doorgaat. Door gebrek aan calcium zullen zwakkere cellen ontstaan doordat de celmembranen en celwanden minder essentiële bouwstenen krijgen aangevoerd. Dit geldt bijvoorbeeld voor jong blad, jonge vruchten, maar ook voor bloemknoppen van snijbloemen of potplanten.

Zwakke cellen zijn gevoelig voor overmatige worteldruk die juist door uitstraling wordt bevorderd omdat de verdamping vermindert. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld neusrot, bladrandjes, botrytis, ucor, mycosphaerella en binnenrot het gevolg zijn. De strekking van jonge cellen is voor een belangrijk deel afhankelijk van de werking van aquaporines. Als de jonge cellen afkoelen pompen de aquaporines minder water de cel in waardoor bijvoorbeeld de uitgroei van jonge vruchten wordt geremd. Onder invloed van uitstraling ontstaat er zelfs een condensatierisico in de kop van het gewas als deze afkoelt tot onder de dauwpunttemperatuur. Tot voor kort werd er alleen rekening gehouden met condensatie op de vruchten onderin het gewas.

De conclusie is gerechtvaardigd dat uitstraling in de kop van het gewas de gewasgezondheid, vruchtgroei en kwaliteit van vrucht of bloem(knop) en blad negatief beïnvloedt. Hiermee is duidelijk hoe belangrijk schermen tegen uitstraling is. Dit kan zelfs overdag bij weinig instraling al effectief zijn.

4.3.3 Netto straling van het gewas

In hoofdstuk 3.5.2 is beschreven dat uitstraling volgens een tweetrapsraket effect heeft op het gewas. In eerste instantie koelt het kasdek af door uitstraling naar de (heldere) hemel en/of door de lage buitentemperatuur. Vervolgens koelt het gewas af door uitstraling naar het koudere kasdek. De pyrgometer op de meteomast brengt dus de uitstraling in beeld die het kasdek ondervindt.

Een netto stralingsmeter in de kas brengt de netto straling in beeld die het gewas ondervindt. Dit is een optelsom van de instraling en reflectie van kortgolvlige straling en langgolvlige uitstraling. Op het moment dat er geen instraling meer is komt de netto uitstraling van het gewas in beeld. Deze meting in de kas is niet direct geschikt om het openen en sluiten van het scherm te automatiseren. Dit zou leiden tot een flipperkast. Immers zodra het scherm wordt gesloten voor een te hoge uitstraling, neemt deze weer af en gaat het scherm weer open. Wel geeft deze meting informatie of het scherm op het goede moment is gesloten of geopend. Hiermee kunnen de scherminstellingen dus worden geoptimaliseerd.

De pyrgeometer is wel geschikt om het sluiten van het scherm mee te regelen. Hierdoor wordt vooraf geanticipeerd waarmee afkoeling van het gewas wordt voorkomen. Voor het openen van het scherm geeft de pyrgeometer op zich nuttige informatie. Immers bij hoge uitstraling moet het scherm (in de morgen) pas later worden geopend. Voor de automatische regeling kan echter met voordeel gebruik worden gemaakt van een meting van de temperatuur boven het scherm. Deze geeft namelijk het resultaat van meerdere energiestromen aan en werkt dus nauwkeuriger.

4.3.4 Uitstralingsonderzoek bij gerbera

Het fenomeen van uitstraling is nader onderzocht in 2009 bij gerbera. Tijdens een onderzoeksproject 'Vochtbeheersing in gerbera' deed het verschijnsel zich voor dat onder een gesloten scherm bij op zichzelf goede kascondities qua temperatuur en RV een onverklaarbare ontwikkeling van botrytis optrad. Het vermoeden rees dat uitstraling hiervan de oorzaak was, maar de toenmalig heersende gedachte was dat dit onder een gesloten scherm niet mogelijk zou zijn. Nadere analyse en metingen brachten echter aan het licht dat dit een verkeerde aanname is.

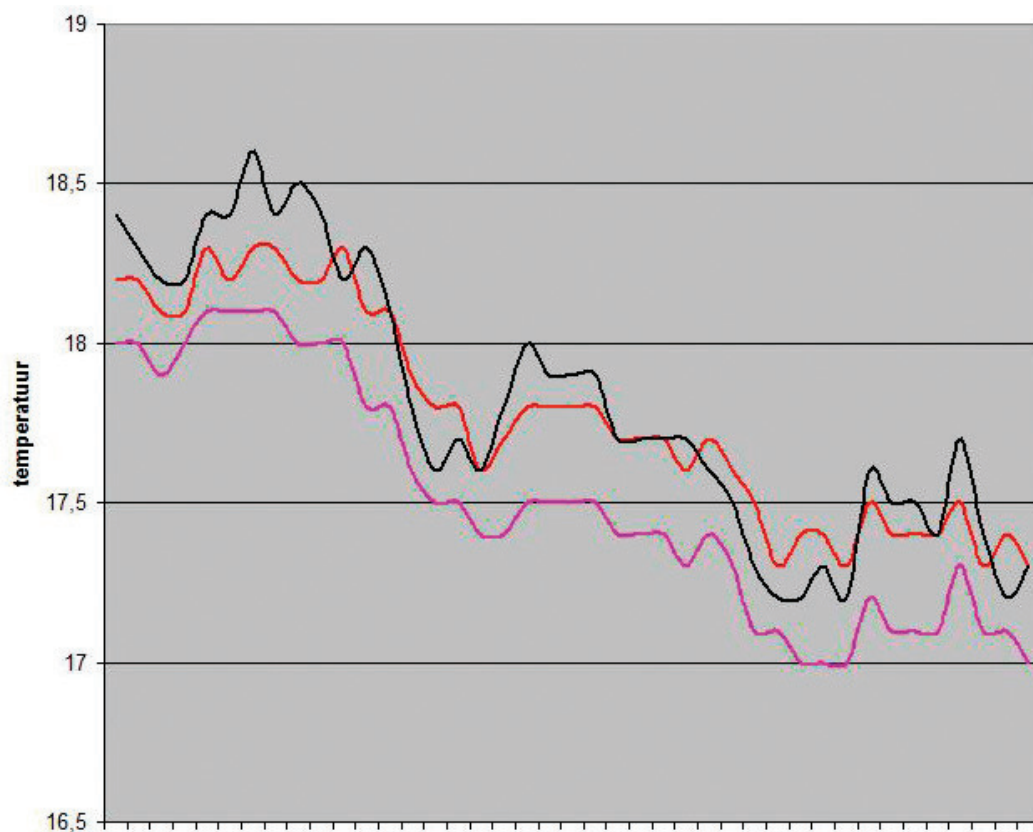
Stel: een bloem die op een steel boven het bladgewas uitsteekt bij een kastemperatuur van 18°C, terwijl het kasdek slechts 10 °C is. Volgens de formule van uitstraling (Wet van Stefan Boltzmann) geeft de bloem dan circa 40 W/m² aan langgolvlige straling af aan het kasdek. Hierdoor daalt de temperatuur van de bloem tot onder de kasluchttemperatuur en daardoor komt er een convectieve warmtestroom op gang die de bloem weer opwarmt. Uiteindelijk ontstaat er een evenwicht waarbij de som van alle energiestromen precies 0 is. Het is heel goed mogelijk dat dit evenwicht ontstaat bij een bloemtemperatuur die onder het dauwpunt van de kaslucht ligt en dat de bloem dus nat wordt van condens. In feite is dit hetzelfde fenomeen waardoor autoruiten 's nachts aan de buitenkant beslaan onder een heldere hemel. Onnodig te zeggen dat de bloem hiermee heel kwetsbaar is voor onder andere botrytis. Dit moet daarom worden voorkomen. De bekende maatregel is dan het sluiten van het energiescherm, maar het is helaas een misvatting om te denken dat het probleem hiermee volledig is opgelost. Want als in hetzelfde voorbeeld de buitentemperatuur 0°C is, dan zal de temperatuur van het schermdeuk waarschijnlijk in de buurt van de 10 graden liggen en zal de bloem dus nog steeds tot onder het dauwpunt kunnen afkoelen.

Om dit vermoeden te bevestigen zijn vervolgens metingen verricht aan bloemtemperatuur, zonder en met enkel en dubbele schermen. Met microsensoren werd de temperatuur van de bloem gemeten - zowel in het hart als tussen de bloemblaadjes - en vergeleken met de kasluchttemperatuur. Het bleek dat de aanwezigheid van een (extra) scherm duidelijk kon worden vastgesteld aan de hand van de bloemtemperatuur.



Met een microsensor is de temperatuur in het hart van de bloem gemeten.

Het effect van uitstraling, al dan niet met een (extra) scherm, blijkt uit de volgende grafiek:



Gemeten temperaturen van enkelvoudig geschermd (paarse lijn) en dubbel geschermd bloem (rode lijn) vergeleken met de kasluchttemperatuur (zwarte lijn). Het extra scherm bestond uit een styropor plaat die tijdelijk boven de bloemen was aangebracht.

Uit het verloop van de verschillende lijnen komt naar voren dat de enkelvoudig geschermd bloem duidelijk lager in temperatuur is dan de dubbel geschermd bloem. Dat kan juist het verschil uitma-

ken tussen wel en geen condensatie in de bloem of tussen de blaadjes en dus wel of geen ontkieming van botrytissporen. De conclusie uit dit oriënterend onderzoek was dat uitstraling als oorzaak van botrytis en andere teeltproblemen waarschijnlijk een onderschatte factor is en dat er in de praktijk nog veel te winnen is met een betere schermstrategie. Maar ook dat voor het daadwerkelijk oplossen van dit probleem een dubbel energiescherm noodzakelijk is.

4.3.5 Schermen volgens Het Nieuwe Telen

Binnen Het Nieuwe Telen worden energieschermen primair toegepast om het groeiklimaat voor de plant te verbeteren. Er zijn veel situaties waarin het scherm een positieve bijdrage levert. Energiebesparing is daarbij niet langer een doel op zich, maar als het goed is een logisch gevolg. Enerzijds door het beperken van de uitstraling, anderzijds natuurlijk door het verhogen van de isolatiewaarde van de kas (verlagen van de K-waarde). Het toepassen van schermen gaat altijd gepaard met het zorgen voor voldoende luchtbeweging, voldoende gewasverdamping, vereffening van horizontale temperatuurverschillen en een doelmatige wijze van vochtafvoer.

Op deze manier krijgt schermen dus een geheel andere functie in de klimaatregeling. Traditioneel was het scherm normaal gesproken altijd geopend en werd de vraag gesteld: wanneer moet het scherm sluiten? (zo weinig mogelijk).

Nu is deze afweging bijna 180 graden gedraaid. Het scherm is bij voorkeur gesloten en de vraag is: wanneer moet het scherm open? (alleen als dat voordeel oplevert voor de plant).

In de praktijk van HNT leidt dit tot substantieel meer schermuren. In een aantal gevallen wordt het scherm nu bewust gesloten om dezelfde reden waarom het voorheen tot elke prijs moest openblijven, namelijk het stimuleren van de verdamping. Voor veel telers is dat moeilijk om aan te wennen. Schermen volgens HNT stelt deels ook andere eisen aan de schermmaterialen. Zie hiervoor hoofdstuk 6.4 Schermsystemen.

4.4 Opwarming van plantendelen

Warme buizen staan voortdurend warmte af aan de omringende kaslucht via convectie. Alle objecten in de kas, zoals planten, kasbodem en kasdek, ontvangen daarnaast energie door middel van straling, maar koelen ook weer af door stralingsverliezen naar koudere onderdelen van de kas of de buitenwereld. Zodra objecten warmer worden dan de kaslucht gaan die meehelpen om de kaslucht te verwarmen. Worden ze kouder dan koelen ze juist de kaslucht. Planten die energie ontvangen zetten dat deels om in verdamping. Bovendien verliezen zij ook energie door stralingsoverdracht naar objecten die kouder zijn, zoals bijvoorbeeld het kasdek. Onderdelen van planten die niet of nauwelijks verdampen, zoals knoppen of koppen, worden warmer dan delen die wel verdampen, zoals het blad.

Door het sluiten van een energiescherm gaan er twee dingen tegelijk veranderen. De stralingsverliezen van de plant nemen af, omdat het scherm warmer is dan het kasdek. Hierdoor zal het bovenste deel van de plant ook iets warmer worden en dus verandert de convectieve overdracht van en naar de kaslucht. Voor het onderste deel van de plant is er geen temperatuurverandering. Daar blijft de convectieve overdracht van de plant aan de kaslucht gelijk. Door de verbeterde isolatie gaan de buistemperaturen omlaag. Daardoor ontvangt de plant netto minder energie. Dat resulteert in een lagere verdamping van het blad. De onderdelen die niet verdampen ontvangen ook minder stralingsenergie van de buizen door de lagere temperatuur daarvan, maar verliezen tegelijkertijd ook minder energie door stralingsverlies naar boven. Het netto resultaat is afhankelijk van de positie van het object ten opzichte van buis of het scherm. Laaghangende vruchten onder een dicht gewas warmden relatief veel op door straling vanuit de buis en verloren weinig warmte naar boven dankzij het bladerdek. Daar zal een lagere buistemperatuur netto een lagere vruchttemperatuur opleveren. Een plantkop

daarentegen staat vooral onder invloed van een koud kasdek en zal dus netto warmer worden bij meer isolatie door een scherm.

Samenvattend heeft een betere isolatie van de kas dus effect op het verticale temperatuurprofiel van de plant en daarmee ook op de plantbalans. Een aandachtspunt hierbij is zeker ook de worteltemperatuur. In de ochtend kan een lage worteltemperatuur problemen geven bij het tijdig op gang komen van de wateropname. Het is daarom van belang om passende tegenmaatregelen te nemen. Door het inbrengen van warmte op de juiste plaats, bijvoorbeeld de groeibuis bij de afrijpende trossen in plaats van het buisrailnet. Of door toepassing van verticale luchtbeweging.

4.5 Invloed van buiswarmte, isolatie en luchtbeweging op verdamping

Het in stand houden van een continue verdamping van een bepaald niveau wordt beschouwd als middel om gewasproblemen zoals brandkoppen, vochtblaadjes, broeikoppen enzovoort te voorkomen. De manier waarop verdamping tot stand komt en de grootte ervan kan door Het Nieuwe Telen veranderen. Een veelvuldig gehoord misverstand is dat verdamping primair afhangt van de kastemperatuur. Verdamping is echter primair afhankelijk van de toegevoerde energie. Verder is een randvoorwaarde het verschil in dampdruk in het blad en zijn directe omgeving.

In een kas zonder luchtbeweging en zonder energietoevoer in de vorm van straling op het blad, gaat de verdamping naar nul, ook al is het warm in die kas. Dat komt doordat het dampdrukverschil tussen het inwendige van de plant en de kaslucht naar nul gaat. Het gebrek aan luchtbeweging zorgt ervoor dat rondom het blad zoveel vocht ophoopt dat het dampdrukverschil heel klein wordt. Dat kan op twee manieren worden opgelost. De eerste is het verhogen van de dampdruk in het blad door extra energietoevoer in de vorm van straling. De tweede is door de vochtige laag rondom het blad te vervangen door drogere lucht met luchtbeweging. Een kleine maar constante luchtbeweging kan dan al voldoende zijn.

4.6 Vochttransport in kaslucht

Vochttransport is een cruciaal proces in de kas en een onmisbare schakel in de keten van verdamping door de plant en het afvoeren van vocht naar het kasdek, waar het condenseert of door de lucht-ramen naar buiten gaat. Veel telers verwachten dat het vocht zich door de hele kas verplaatst via diffusie. Op zich klopt dat wel, maar de snelheid waarmee dit gebeurt is zo laag dat er in de praktijk toch hele grote verschillen in dampdruk kunnen voorkomen binnen de kas.

Een rekenvoorbeeld. Stel dat de RV in de kas 80% is en rondom het blad 100%. Als er een laag stilstaande lucht is rondom het blad van 10 cm dik, dan zal er door diffusie 2 gram/m²/uur vocht door die laag stilstaande lucht verplaatsen. Dit is veel te weinig voor het in stand houden van een goede verdamping. Het vocht zal rond de plant ophopen waardoor de verdamping stagneert.

Stel dat de wens is om in de nacht minimaal 10 gram/m²/uur verdamping te realiseren bij een kas RV (meetbox) van 80%, dan zou de laag stilstaande lucht maximaal 4 cm dik mogen zijn en bij een kas RV van 90% maar 2,4 cm.

Voor het in beweging brengen van de lucht is bij een kas RV van 90% een luchtsnelheid van 3 mm/sec voldoende om 10 gram/m²/uur vocht te transporteren. Hiermee is de belangrijke rol van luchtbeweging bij het in stand houden van voldoende verdamping duidelijk aangetoond. In Het Nieuwe Telen wordt steeds minder buiswarmte ingezet. Wanneer de teler niet zelf zorgt voor extra luchtbeweging, kan de verdamping door vochtophoping rond de plant zo sterk teruglopen dat er problemen ontstaan met de calciumvoorziening van de jonge cellen.

4.7 Positieve effecten van diffuus licht

Het toepassen van diffuus licht (door diffuse coating of diffuus glas) past naadloos in Het Nieuwe Telen. Allereerst zorgt diffuus licht voor een hogere fotosynthesecapaciteit van het gewas, omdat het licht beter wordt verdeeld over de hoogte van de plant. Licht dat nu op het blad dieper in het gewas valt, heeft daar een hogere fotosynthese tot gevolg. Allereerst omdat het blad nog niet lichtverzadigd is én omdat het verzadigingsniveau van dit blad stijgt doordat dit blad bij meer licht ook meer chlorofyl blijft vervangen. De fotosynthese van het bovenste blad neemt ook toe omdat er geen foto-inhibitie meer optreedt. (zie begrippen kader in 9.5).

Door een betere verticale lichtverdeling verandert ook het verticale temperatuurprofiel. De afrijpende vruchten ontvangen meer licht en dus warmte waardoor deze vruchten sneller afrijpen met een lagere plantbelasting tot gevolg. Dit is precies wat in Het Nieuwe Telen wordt nagestreefd (zie hoofdstuk 2.6).

Naast bovenstaande effecten op de assimilatenbalans zijn er ook positieve gevolgen voor de waterbalans van het gewas. Doordat het licht diffuus is, treedt veel minder snel waterstress op in de kop van het gewas. Hierdoor blijven de huidmondjes in de bovenste zone van het gewas makkelijker open staan, ook bij zeer hoge instraling. Het gewas kan zich makkelijker koelen, waardoor een hogere luchttemperatuur kan worden getolereerd met een beperkte raamstand.

Hierdoor blijft de luchtvochtigheid beter op peil, de huidmondjes kunnen verder open blijven en dus meer CO₂ opnemen. Samen met een hoger CO₂-niveau in de kas zal dit een hogere aanmaak van assimilaten tot gevolg hebben. Met diffuus licht komt de aanmaak benadering van Het Nieuwe Telen dus eerder binnen bereik. In combinatie met een lagere plantbelasting kan dan met hogere temperaturen worden geteeld. De grote voordelen die dit oplevert zijn beschreven in hoofdstuk 2.6.10.

Voor sierteeltgewassen heeft diffuus licht extra voordelen. Bij snijbloemen kan de kwaliteit van het product (diameter, lengte, steelgewicht, bloemkleur) worden verbeterd doordat de bloemtemperatuur minder hoog wordt, met minder bloembeschadiging en/of een betere bloemkleur tot gevolg. In de potplantenteelt is gebleken dat met diffuus licht makkelijker meer licht kan worden toegelaten in combinatie met een hogere luchtvochtigheid, CO₂ en temperatuur. Dit heeft een productieverhoging en/of een zwaardere plant tot gevolg.

4.8 Assimilatiebelichting



Het toepassen van belichting schept een geheel andere situatie in de kas qua energie en vochtbalans en vergt dus een aparte aanpak. In de eerste plaats brengt belichting extra groeilicht (PAR) bij de plant waardoor fotosynthese mogelijk is bij gebrek aan zonlicht of als aanvulling daarop. Maar het

brengt ook extra energie in de kas door de warmtestraling en de convectie van de hete lamparmaturen. Het PAR-licht en de warmtestraling zorgen beide voor extra verdamping van het gewas. Ter indicatie: 16.000 lux Son-T lampen vereisen een elektrisch vermogen van ongeveer 100 W/m², wat overeenkomt met een verdamping van 140 gram water/m². uur indien alle energie wordt omgezet door het gewas. In de praktijk van belichte teelten zoals roos en tomaat blijkt dat ongeveer 70-80% te zijn.

De belichting heeft nog een ander effect en dat is dat er bovenin de kas een soort warme deken ontstaat, ook wel aangeduid als 'omgekeerd temperatuur profiel'. Dit heeft een sterk remmende werking op de opgaande luchtbeweging en dus op het vochttransport vanaf het gewas naar het kasdek. Dientengevolge loopt de RV tussen het gewas hoog op en dat kan op de lagere gewasdelen zelfs leiden tot condensatie.

Om dit te voorkomen wordt dan een minimumbuis ingezet. Die forceert dan weer een opgaande luchtbeweging waardoor vocht wordt afgevoerd, maar tegelijk ook weer extra geproduceerd. Voor een energiezuinige vochtbeheersing is daarom (verticale) ventilatie in de kas een aangewezen hulpmiddel. Het doorbreekt het omgekeerde temperatuurprofiel, zorgt voor vochttransport en brengt de lampenwarmte bij het gewas. Hierdoor kan de minimumbuis worden verlaagd of zelfs achterwege blijven. En dat is weer een eerste stap op weg naar het gesloten houden van het verduisteringsdoek om, conform de regelgeving, lichtemissie in de donkerperiode te voorkomen. Zie voor een verdere uitwerking hoofdstuk 6.3 over de Ventilationjet.

4.9 Tussenbelichting

Tussenbelichting heeft ruwweg dezelfde effecten op de licht- en temperatuurverdeling in het gewas als diffuus licht. Het licht kan efficiënter worden benut doordat het licht beter wordt verdeeld over de hoogte van het gewas. Het gewas zal een hogere fotosynthesecapaciteit vertonen. Dus ook tijdens het belichtingsseizoen kan met een lagere plantbelasting en bij hogere temperatuur worden geteeld. Dit heeft als groot voordeel dat het verduisteringsscherm veel meer uren voor 100% dicht kan blijven en dat er veel minder hoeft te worden afgelucht. Het gevolg hiervan is dat de temperatuurverschillen in de kas en daarmee de condensatierisico's veel geringer zullen zijn. Er kan dus met hogere vochtigheid worden geteeld. Naast teelttechnische voordelen zal ook het energiegebruik efficiënter zijn.

5 Het Nieuwe Telen toegepast op specifieke situaties

In dit hoofdstuk wordt een aantal praktijksituaties benaderd vanuit de natuurkundige en plantkundige principes van Het Nieuwe Telen. Daarbij moet duidelijk worden waarom dit in een aantal gevallen leidt tot andere dan de gangbare maatregelen om problemen op te lossen c.q. te voorkomen.

5.1 Het Nieuwe Telen en de start van de teelt



Gewasopbouw en energiegebruik

Een veelgehoorde strategie om energie te besparen is om bij de start van de teelt de plantbelasting zo snel mogelijk op te laten lopen. Dan kan met een lage kastemperatuur de winter worden overbrugd en dat spaart energie. Op zich een logische gedachte. Toch kleeft hier een aantal nadelen aan met betrekking tot de periode erna, gewasgezondheid en fotosynthesecapaciteit van het gewas. De valkuil is ook dat door een langdurige lage buistemperatuur de plantbelasting wel eens te hoog kan oplopen. Daardoor komt de gewasvitaliteit onder druk te staan. Daarom bewandelt Het Nieuwe Telen een alternatieve route. Het energieverbruik kan hierbij in de winter op momenten weliswaar hoger zijn. (Dit is een voorbeeld waarbij Het Nieuwe Telen niet uitgaat van energiebesparing, maar van optimale groei van het gewas.) Deze periode is echter veel korter dan de periode dat de gratis zonne-energie effectiever kan worden benut. De energiebesparing wordt bij HNT bereikt in de periode waarin veel licht aanwezig is. Dit licht kan dan effectiever worden benut voor groei, productie, kwaliteit, vitaliteit en gewasgezondheid, in combinatie met een zeer laag energiegebruik.

Gewasopbouw en plantbelasting

Om dit te bereiken zal juist in de winter-voorjaar de opbouw van de plantbelasting heel gematigd moeten zijn. Om later in het seizoen met kleine raamstand te kunnen werken en een hoge etmaaltemperatuur te kunnen realiseren, waardoor ook veel schermuren kunnen worden gemaakt. Het verbruik van assimilaten kan zeer effectief worden afgestemd op de aanmaak door het verloop van de plantbelasting mee te laten lopen met de lichtsom. Dat betekent dat de maximale plantbelasting rond week 20 wordt bereikt en dat vanaf week 30 de plantbelasting weer wordt afgebouwd. In hoofdstuk 2.6.10 staan de voordelen genoemd van telen bij een lage (maximale) plantbelasting.

Maatregelen waarmee de toename van de plantbelasting kan worden gestuurd zijn:

- Telen met een hoge temperatuur lichtverhouding;
- Telen gericht op een hoge afrijpingssnelheid (inzet en positie verwarmingsbuizen om het verticale temperatuurprofiel te beïnvloeden);
- Moment van start voor aanhouden vruchten;
- Trossnoei of dunnen van vruchten;
- Moment voor aanhouden van de extra stengel uitstellen.

Gewasopbouw en gewasgezondheid

In de opbouwfase van het gewas zijn in verhouding ook veel assimilaten nodig voor de opbouw van vitaal blad en sterke wortels. Deze moeten concurreren met de vruchten. Door een snelle toename van het aantal vruchten (of bloemtakken) te beperken zijn er voldoende assimilaten beschikbaar voor blad en wortels. Hierdoor neemt de gewasgezondheid toe doordat bijvoorbeeld bladrandjes, botrytis of Pythium worden voorkomen. Het gewas kan later in het seizoen de toename naar meer licht ook beter opvangen met sterker blad en sterkere wortels. Tevens worden dan problemen met gewasgezondheid (bijvoorbeeld neusrot of bladranden) voorkomen. Met andere woorden, een gewasopbouw met een lagere plantbelasting bevordert zowel in het begin van de teelt als later in de teelt de gewasgezondheid. Dit geldt ook voor de belichte teelt van bijvoorbeeld tomaat.

Gewasopbouw en fotosynthesecapaciteit

Een tragere opbouw van de plantbelasting gaat prima samen met een lagere stengeldichtheid. Met minder stengels per m² kan het licht dieper in het gewas doordringen. Hierdoor blijven de onderste bladeren meer chlorofyl vervangen waardoor de fotosynthese capaciteit toeneemt, zowel van het onderste blad als van het hele gewas. Licht dat niet meer valt op het bovenste blad, dat al is verzadigd van licht, komt nu op lager gelegen blad. Dit blad kan het extra licht beter benutten omdat hier nog geen lichtverzadiging is opgetreden. Doordat de zon nog laag staat draagt een open gewas er ook toe bij dat het licht beter wordt verdeeld over de hoogte van het hele gewas. Dit heeft tevens als voordeel dat de vruchten door de zon meer worden opgewarmd en dus sneller afrijpen. Dit draagt dus extra bij aan een lage plantbelasting.

Gewasopbouw en planmatig telen

Plantbelasting is tot nu vaak iets dat een teler overkomt. Het Nieuwe Telen introduceert een planmatige aanpak om vooraf te anticiperen. Dit heeft als doel dat jaarrond een vitaal, gezond en sterk gewas in de kas staat dat elke overgang en elk weertype aan kan. Dit begint bij een planning van het verloop van de plantbelasting. Zoals eerder gezegd is dit een krachtig instrument waarmee het verbruik van assimilaten kan worden gestuurd. De temperatuur die daarmee op de tweede plaats komt, is daarna ook veel beter in de hand te houden. Ook daar kan meer planmatig mee worden omgegaan door van te voren een lijn te kiezen voor een constante temperatuur-lichtverhouding.

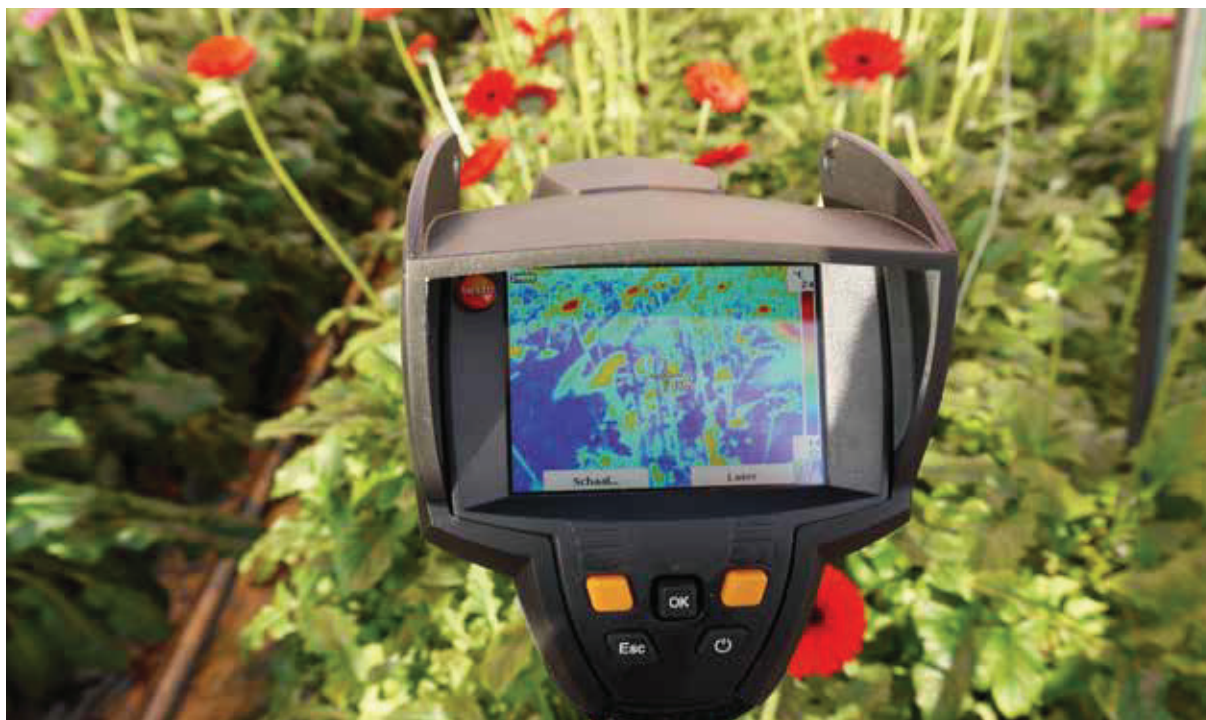
Gewasopbouw bij hoge luchtvochtigheid

Een veelgehoorde zorg is dat het telen bij een hoge luchtvochtigheid leidt tot een gewas met te groot blad (vegetatief gewas). Hierdoor zijn telers terughoudend met schermen bij de start van de teelt en/of met beperkt luchten later in de teelt (luchten geeft immers vruchten). In Het Nieuwe Telen gaat veel schermen en beperkt luchten toch samen met een open gewas met kort blad. De sleutel ligt bij de aansturing via de assimilatenbalans. De vaste temperatuur-lichtverhouding wordt gerealiseerd door niet alleen de dagtemperatuur maar ook de nachttemperatuur mee te laten bewegen met de lichtsom. Hierdoor wordt door een hoge sinkwerking van de vruchten, na een lichte dag, de groei van het blad in de kop van het gewas. Om dit te bereiken past dus ook een geleidelijke temperatuurda-

ling in de voornacht. Met een (groei)buis bij de afrijpende vruchten kan de sinkwerking nog verder worden verhoogd (via het temperatuurprofiel). Op deze manier kan dus telen op vocht overdag en intensief schermen in de nacht worden gecombineerd met generatief telen.

5.2 Luchtig telen versus schermen

Over het algemeen wordt het als gunstig gezien om het gewas ook in de donkerperiode voldoende te activeren. Een populaire manier is door luchtig te telen. Hiermee wordt vooral bedoeld om de luchtvochtigheid (RV) laag te houden of het vochtdeficiet (VD) hoog. Dit geeft al aan dat een actief klimaat op één lijn wordt gezet met gewasverdamping en dat deze verdamping vooral wordt gekoppeld aan RV of VD. Luchtig telen en het gebruik van schermen gaan in deze denkwijze niet samen. Als er al sprake is van schermen dan toch met een flinke vochtkier en in combinatie met een minimum buistemperatuur. Zonodig wordt er dan ook nog een kiertje gelucht aan de luwe zijde. In de meeste gevallen leidt dit tot het gewenste resultaat. Deze methode wordt daarom ook gezien als een probaat middel tegen gewasproblemen door schimmels. Mochten er toch nog problemen optreden, zoals mycosphaerella en binnenrot, dan wordt geconstateerd dat er kennelijk nog te weinig actief is geteeld. Dan is een vaker geciteerde uitspraak van toepassing: 'de duurste kubieke meters gas zijn degene die je niet hebt verstookt.'



Opname van een warmtebeeldcamera.

Vanuit Het Nieuwe Telen is een heel andere benadering van deze problematiek mogelijk, namelijk door te kijken naar de energiebalans van de plant en met name de kop van het gewas. Veel teeltproblemen ontstaan inderdaad door een te lage verdamping en daardoor te lage aanvoer van calcium bij de aanleg van nieuwe cellen rond het groeipunt. Een te lage verdamping komt voort uit een negatieve energiebalans. De belangrijkste oorzaak daarvan in de donkerperiode is uitstraling, al dan niet in combinatie met gebrek aan luchtbeweging. Uitstraling kan tot op zekere hoogte worden gecompenseerd door de aanvoer van convectieve warmte, maar kan het beste worden bestreden door tijdig te schermen. Hierdoor blijft de energiebalans van de kop positief en ondanks een hoog oplopende RV blijft de verdamping op een laag niveau op gang. Als er dan boven het 100% gesloten scherm voldoende wordt geventileerd, kan met een bescheiden inzet van de buis de kastemperatuur

op de gewenste waarde worden gehouden. Er is dan ook sprake van een actief klimaat, maar met een lagere inzet van energie en bovendien veel minder horizontale temperatuurverschillen in de kas.

5.3 Koel telen voor kwaliteit

Het is algemeen bekend dat er een goede balans moet zijn tussen de lichtsom en de gemiddelde etmaaltemperatuur om het gewas in balans te brengen en te houden. Een te hoge etmaaltemperatuur gaat ten koste van het gewas en kan uiteindelijk ook de kwaliteit van het product schaden. In de klassieke benadering is de oplossing dan koeler telen. Dit wordt gerealiseerd door meer te ventileren en zonodig minder te stoken. Een voorbeeld is de Gerberateelt. Hier is de knopaanleg sterk bevorderd door de daglengte te verkorten. Hierdoor is in de praktijk het aantal bloemknoppen per m² sterk toegenomen waardoor de temperatuur waarbij wordt geteeld sterk naar beneden is gegaan. Deze benadering heeft echter ook een aantal nadelen. Zeker bij wisselend weer heeft een hoge plantbelasting de neiging om nog hoger te worden. Daardoor wordt het kwaliteitsprobleem steeds nijpender. Bovendien wordt effectieve klimaatbeheersing en zeker de vochtafvoer in de nacht steeds moeilijker omdat het verschil tussen de kascondities en de buitenomstandigheden te klein wordt.

In Het Nieuwe Telen wordt daarom op een andere manier naar deze problematiek gekeken. Er zijn immers nog diverse andere knoppen waaraan kan worden gedraaid om de plant in balans te houden. De belangrijkste zijn: de assimilaten aanmaak en de plantbelasting.

Bij HNT is de eerste zorg om de beschikbare zonnestraling maximaal om te zetten in assimilaten door het fotosynthese proces te optimaliseren. Dat betekent overdag de ventilatie beperken om vocht en CO₂ in de kas te houden. Vervolgens moet de nachttemperatuur zodanig hoog zijn dat alle aangeemaakte assimilaten ook worden verwerkt en omgezet in groei van gewas en vruchten of bloemen. Daarnaast moet ervoor worden gezorgd dat de plantbelasting laag blijft. Hierdoor blijft het gewas beter bestuurbaar. Door het hanteren van hogere kastemperaturen in de nacht kan er meer worden geschermd zodat het niet leidt tot een hoger energieverbruik.

Het beheersen van de plantbalans volgens Het Nieuwe Telen wordt uitgebreid beschreven in hoofdstuk 2.

5.4 De voornachtverlaging

Met name in de tomatenteelt is de 'voornachtverlaging' ingeburgerd. Het idee is dat door de kastemperatuur aan het einde van de dag vrij agressief te verlagen, de uitgroei van de vruchten wordt bevorderd door het transport van de vers gevormde assimilaten naar de vruchten te stimuleren. De vruchten koelen namelijk door hun massa langzamer af dan de rest van de plant en trekken dan de assimilaten naar zich toe. Vanaf het begin is deze redenatie in twijfel getrokken. Doordat de bladeren waarin de assimilaten zich bevinden afkoelen, is het namelijk heel goed denkbaar dat het beoogde assimilatentransport juist wordt belemmerd. Recent is bovendien door onderzoek van Wageningen UR aangetoond dat het tempo waarin de voornachtverlaging wordt uitgevoerd geen merkbaar effect heeft op de productie en kwaliteit, mits de uiteindelijke etmaaltemperatuur gelijk blijft. De voornachtverlaging heeft dus geen effect op de assimilatenbalans.

Een tweede beoogd effect ligt in de waterbalans van het gewas. Allereerst wordt door een snelle temperatuurdaling de verdamping plotsklaps stilgelegd waardoor er door de worteldruk een overdruk in de plant ontstaat. Deze worteldruk zorgt dan voor strekking van de cellen van de vruchten waardoor het vruchtgewicht toeneemt. In de kop van het gewas wordt de strekking van cellen echter tegengewerkt. Door de snelle afkoeling van de jonge blad- en stengelcellen wordt het transport van suikers belemmerd. Het gevolg is dat de celstrekking door osmose minder zal zijn. Daarnaast worden

ook de aquaporines geremd om actief water de jonge cellen in te pompen door de lagere temperatuur. Het gevolg hiervan is een gedrongen groei in de kop van het gewas met klein blad. Deze effecten van kou op de kop en worteldruk op de vruchten is dus een sturing via de waterbalans van het gewas. Dit wordt ook wel een generatieve sturing genoemd. Dit effect van kouval kan worden versterkt door niet te schermen, waardoor de kop van het gewas extra afkoelt onder invloed van uitstraling.

Het verdient dus aanbeveling om een alternatief te zoeken voor de voornachtverlaging. Enerzijds omdat het beoogde voordeel (assimilatentransport) niet wordt bereikt, anderzijds omdat kouval aantoonbare nadelen heeft (kwaliteit van de vruchten, gewasgezondheid, groei, condensatierisico). Bij Het Nieuwe Telen vindt de generatieve sturing daarom plaats via de assimilatenbalans in plaats van de waterbalans.

Door de kastemperatuur aan het einde van de dag geleidelijk af te bouwen naar de nachttemperatuur kan namelijk een viertal gunstige effecten worden benut.

1. Voor de assimilatenbalans.

Assimilaten worden nu wel vanuit het blad naar groeipunt, vruchten en wortels getransporteerd. Het grote voordeel is dat de bladeren en stengel niet plotsklaps afkoelen waardoor het assimilatentransport doorgaat. Ook bij een geleidelijke temperatuurdaling blijven de vruchten het warmste deel van de plant. Verder is er een overdruk door worteldruk aanwezig, echter niet met een abrupte toename. Dit heeft allereerst betere kwaliteit van jong blad, vruchten, wortels en bloemen (snijbloemen, potplanten) tot gevolg. Vervolgens verhoogt hierdoor de grofheid van vruchten en bloem(knoppen). Door sterkere cellen en minder risico op plotselinge overmatige worteldruk neemt de gewasgezondheid toe.

2. Al deze voordelen worden versterkt doordat er meer kan worden geschermd tegen uitstraling.

Door het scherm (gedeeltelijk) te sluiten wordt het kasdek kouder waardoor vochtafvoer door condensatie wordt bevorderd.

3. Het beheersen van de vochtbalans van de kas wordt eenvoudiger.

Schermen bevordert de afvoer van vocht door condensatie tegen het kasdek. Door het langzaam laten afkoelen van de kaslucht wordt er een verschil tussen de kascondities en de buitenomstandigheden in stand gehouden. Hierdoor wordt vochtafvoer door ventileren op twee manieren bevorderd. De uitwisselingsnelheid door middel van het schoorsteeneffect als gevolg van een (groter) temperatuurverschil neemt toe. Daarnaast is vocht afvoeren makkelijker doordat ook de ruimte om vocht af te voeren (verschil in absoluut vocht in de kas en buiten), groter blijft. Hoe sneller de temperatuur daalt in de avond, hoe sneller de (energiezuinige) beheersing van het vocht wordt bemoeilijkt.

4. De energie van de zon wordt beter benut.

In de rest van de nacht kan zelfs op de stookenergie worden bespaard. Dit is te vergelijken met een batterij die door zonne-energie is opgeladen en dan langzaam wordt ontladen ten opzichte van een batterij die in één keer wordt kortgesloten.

Als het gaat om de generatieve sturing kan datzelfde effect worden bereikt door een hogere sinkwerking van de vruchten. Daardoor trekken de vruchten meer assimilaten aan en blijft er minder 'groeikracht' over voor de kop. Via een heel ander mechanisme wordt dan hetzelfde effect bereikt. Hierdoor worden de vruchten overigens wel aantoonbaar grover.

5.5 De ochtenddip

's Morgens activeren, 's middags profiteren'

Gerard Aarts (Kwekerij Aarts)

De ochtenddip, veel toegepast in de tomatenteelt maar ook wel in andere gewassen, dient grosso modo hetzelfde doel als de voornachtverlaging. Een ochtenddip komt in feite neer op een tijdelijke temperatuurverlaging die grotendeels samenvalt met het moment waarop na zonsopgang het energiescherm wordt geopend, of wanneer wordt begonnen met ventileren. Het idee is dat het gewas na de donkerperiode door een soort 'koudeprikkel' wakker wordt geschud en vervolgens tot hogere activiteit gebracht. Soms wordt dit ook nog in verband gebracht met het feit dat het zonlicht in de morgen iets meer blauw bevat terwijl dit in de avond juist meer rood licht is.

In Het Nieuwe Telen wordt de ochtenddip niet gepropageerd, om reden dat het (te) vroeg open trekken van het energiescherm en het afkoelen van de kop van de plant door koude lucht en uitstraling, vooral wordt gezien als het forceren van een negatieve energiebalans en dus als nadelig voor het op gang komen van de verdamping. Met kou op de kop, gecombineerd met een hoger risico voor waterstress en geknepen huidmondjes, wordt bovendien geen situatie gecreëerd om het toenemende licht optimaal te benutten voor de aanmaak van assimilaten.

5.6 Gewascondensatie voorkomen

Het risico op schimmelinfecties is het grootste als er vrij water aanwezig is. Vrij water komt voor onder invloed van worteldruk (natte snijwonden, bladranden, bloemen en/of vruchten). Een andere belangrijke oorzaak is natslag als gevolg van condensatie.

5.6.1 In welke situaties treedt condensatie op?

Condensatierisico is altijd gerelateerd geweest aan het stijgende temperatuurtraject. Doordat soms plantendelen minder snel opwarmen dan de kaslucht kan het voorkomen dat op deze koude plantendelen natslag ontstaat.

Door de nieuwe inzichten omtrent het effect van uitstraling is de bewustwording ontstaan dat condensatierisico ook in een dalend temperatuurtraject kan plaatsvinden. De plaats waar natslag kan optreden is dan altijd in de kop van het gewas. De oorzaak is afkoeling onder invloed van uitstraling naar het koudere kasdek, terwijl deze niet wordt gecompenseerd door een hogere instraling. Dit betekent dat de hele periode, tussen het moment dat in de avond de instraling zakt onder de circa 150 Watt/m² tot in de ochtend de instraling de 150 Watt/m² weer heeft bereikt, er een condensatierisico aanwezig is. Een derde risicofactor voor condensatie is temperatuurverschil in het gewas.

Het Nieuwe telen biedt handvatten om condensatierisico te vermijden en gewasgezondheid te bevorderen. In de avond (en nacht) schermen op basis van uitstraling is hierbij een belangrijke pijler. Temperatuurverschillen verkleinen door het scherm 100% te sluiten en/of door met meerdere schermen de kas nog beter te isoleren (met name ook bij belichte teelten). Luchtbeweging over de hele hoogte van het gewas kan energiezuinig worden ingevuld door verticale ventilatoren. Wanneer vruchten in de nacht minder afkoelen door het aanhouden van een hogere nachttemperatuur, is er minder kans op natslaan van vruchten in de ochtend.

5.6.2 Relatie gewascondensatie en absoluut vocht

Gewascondensatie, ook wel natslaan genoemd, treedt op als de temperatuur van het gewas of delen daarvan zoals stengels, bloemen en/of vruchten lager is dan het dauwpunt van de kaslucht. Hoewel

deze oorzaak vrij duidelijk is, bestaan er in de praktijk misverstanden over de manier om dit probleem te voorkomen. Belangrijk is om te bedenken dat het dauwpunt uitsluitend afhangt van het absoluut vochtgehalte (AV) van de kaslucht en niet van de temperatuur. Zie het bij dit boek gevoegde Psychrodiagram. Dit betekent dat het opwarmen van de kaslucht als zodanig op dat moment geen enkel effect zal hebben, ondanks dat de RV afneemt en het VD toeneemt. Condensatie is het gevolg van het feit dat het AV van de kaslucht en daarmee het dauwpunt sneller stijgt dan de temperatuur van het gewas. De oplossing ligt dus in de vocht- en energiebalans van de kas in relatie tot de temperatuur van de plant. Als de temperatuur van de plant even als een gegeven wordt beschouwd dan wordt het risico van condensatie groter als na zonsopgang de gewasverdamping toeneemt. De beste maatregel is dan om meer vocht af te voeren zodat het AV stabiel blijft.

Preventief kan de gewastemperatuur vóór dit moment al op een hogere waarde worden gebracht door de kas langzaam op te stoken. Hierbij dient overigens ook rekening te worden gehouden met extra vochtproductie door het opstoken. Het openen van een energiescherm is een kritisch moment omdat dan zelfs de gewastemperatuur kan dalen door kouval en uitstraling.

Tip 1: Een uitstekende manier om goed inzicht te krijgen in de vochtbalans van de kas is om het verloop van het AV gehalte van de kaslucht in een grafiek te zetten. Zodra de AV gaat oplopen is de gewasverdamping hoger dan de vochtafvoer en neemt het condensatie risico toe.

Tip 2: Een onmisbaar instrument om het juiste moment van openen van het scherm te bepalen is een extra meetbox boven het scherm. Aan het verloop van de temperatuur boven het gesloten scherm kan worden afgelezen wanneer de straling van de zon de overhand krijgt over de warmteverliezen naar buiten.

Een belangrijke maatregel om te koude plantendelen (versneld) op temperatuur te brengen is (verticale) luchtbeweging. Rond zonsopgang is dus bij uitstek het moment om verticale ventilatoren te laten draaien. Voorwaarde hierbij is dat er geen koude lucht in het gewas wordt geblazen, want dat werkt uiteraard averechts.

5.7 Omgaan met bestaande scherm installaties

Het Nieuwe Telen propageert het gesloten houden van de (energie)schermen, tenzij er een goede reden is om ze open te houden. De belangrijkste en feitelijk de enige reden is het binnenlaten van groeilicht (openen in de ochtend) en het laten afkoelen van de kas (in de avond). Het geringe lichtverlies door te schermen voor zon-onder tot na zon-op wordt ruimschoots vergoed door de nadelen van kouval en uitstraling te voorkomen. Om het vochtgehalte onder het gesloten scherm niet te veel te laten oplopen kan boven het scherm worden geventileerd met de luchtramen. In veel gevallen werkt dit principe prima. Maar wat als het scherm een te lage vochtdoorlatendheid heeft en er geen luchtinblaasinstallatie is om dit te forceren. Hoe moet je dan omgaan met het niet kieren? Wat is de 'second best' aanpak?

Een belangrijke reden om het scherm niet te sluiten is dat de kas na een warme dag geforceerd moet worden afgekoeld en er ook vocht moet worden afgevoerd. Echter, als het scherm bijvoorbeeld 85-95% is gesloten, wordt er al heel veel energie afgevoerd. Het is trouwens algemeen bekend dat het energiebesparende effect van een scherm bij een kier van circa 10% al grotendeels is verdwenen en dat het scherm dan net zo goed helemaal kan worden geopend.

Deze laatste gevolgtrekking houdt echter geen rekening met uitstraling. Indien het scherm voor 85-95% is gesloten, koelt de kas nog voldoende af, maar het nadelig effect van uitstraling op het gewas wordt grotendeels weggenomen.



Energieschermen.

Voor vochtafvoer volstaat zelfs nog een kleinere kier. Onderzoek heeft uitgewezen dat bij opening van ongeveer 2% al de maximale vochtafvoer wordt bereikt. Ook dat is dus geen reden om het scherm open te houden. Sterker nog de maximale afvoer van vocht door condensatie op het kasdek wordt juist bereikt door het scherm geheel gesloten te houden en zonodig boven het scherm te ventileren.

Toch kunnen zich situaties voordoen waarbij door een volledig gesloten scherm onvoldoende vocht wordt afgevoerd. Dit kan zijn doordat er weinig verschil is tussen het absoluut vochtgehalte (AV) binnen en buiten. Maar ook als het scherm heel weinig vochtdoorlatend is, of indien er twee schermen boven elkaar gesloten zijn. In het laatste geval is de vraag dan altijd: als er een kier nodig is, in welk van de schermen moet die dan worden ingezet. Dat is een goede vraag die niet altijd eenduidig is te beantwoorden. Het ligt voor de hand om de kier te zetten in het scherm dat het minst vochtdoorlatend is. Maar als dit 'toevallig' het bovenste scherm is, dan wordt door de kier het onderste doek kouder. Dat kan meer uitstraling geven, maar ook meer condensvorming tegen en in het schermmateriaal. Als dat een te groot nadeel is, is het misschien toch beter om een andere keus te maken.

Uiteraard krijgen dit soort afwegingen veel aandacht op het moment dat het scherm moet worden vervangen, of als wordt overwogen een tweede scherm te laten installeren. Hierbij past nog een opmerking over de energiebesparing van een schermdoek. Klassiek wordt vooral gekeken naar het besparingspercentage. Bij toepassing van HNT kunnen echter andere afwegingen doorslaggevend zijn. Een hoge lichtdoorlatendheid en een goede vochtdoorlatendheid zijn dan mogelijk zelfs belangrijker dan het besparingspercentage. Als een scherm bijvoorbeeld toelaat om elke dag twee extra schermuren te maken, dan telt dit zwaarder dan enkele procenten hogere besparing.

Moment van sluiten van het scherm

Het moment van sluiten hangt af van het moment dat de uitstraling groter wordt dan de instraling. Dit kan al plaatsvinden vanaf het moment dat de instraling onder de 250 Watt/m² komt als het buiten koud is. Afhankelijk van de hoogte van de uitstraling buiten gemeten met de pyrgeometer koelt het kasdek sneller af dan de buitentemperatuur. Door de meting van de uitstraling te betrekken in de schermregeling kan men afkoeling van de kop van het gewas voorkomen. Daarnaast wordt de temperatuur van het kasdek bepaald door de buitentemperatuur. Bij lage buitentemperatuur

kan het dus voorkomen dat ook bij een bewolkte hemel moet worden geschermd tegen uitstraling. Dit is in de winter-voorjaar een overweging om ook overdag te schermen, omdat de lichtwinst niet opweegt tegenover het energieverlies door uitstraling. Steeds meer wordt ook om die reden overdag geschermd bij donker weer en afkoeling van het dek door regen.

Moment van openen van het scherm

Bij openen van het scherm is het de kunst om het moment te vinden dat de toevoer van energie door de zon voldoende is om de uitstraling naar het koude dek te overtreffen en een kouval te voorkomen. Een meetbox boven het scherm geeft letterlijk informatie over hetgeen het gewas boven het hoofd hangt. De temperatuur boven het scherm is het resultaat van de temperatuureffecten van de instraling, buitentemperatuur en uitstraling. Daarmee kan nauwkeurig het moment van openen worden gekozen aan de hand van het temperatuurverschil onder en boven het scherm. Te vroeg openen van het scherm zal de verdamping eerder remmen dan bevorderen als gevolg van kouval en uitstraling. De plantverdamping komt dus moeilijker op gang. Dat leidt bij toenemende instraling eerder tot waterstress. Ervaring wijst uit dat in het voorjaar het juiste moment tussen de 150 en 250 watt/m² ligt. De proef op de som is dat bij het openen van het scherm geen extra buisvraag optreedt.

5.8 Omgaan met bestaande bovenverwarming

Bij sommige teelten wordt gewerkt met een bovennet als extra verwarming. Meestal om reden dat de onderbuis is gebonden aan een maximale buistemperatuur vanwege gewasverbranding. Ook bij Het Nieuwe Telen kan het nodig zijn, ondanks gesloten energieschermen, dat de bovenbuis wordt ingezet om de kas op temperatuur te houden. Doordat bij voorkeur geen kieren in het scherm worden gezet dreigt dan het risico van 'omgekeerd temperatuurprofiel'. Doordat de bovenlaag in de kas warmer wordt dan de onderlaag komt de verticale luchtbeweging tot stilstand en hoopt het vocht op tussen het gewas. Deze ophoping wordt nog versterkt doordat de straling van de bovenbuis wel het gewas bereikt en bovendien door de hogere buistemperatuur ook de temperatuur van het scherm-doek hoger wordt. Dat vermindert de uitstraling van het gewas. Beide effecten kunnen zorgen voor extra verdamping terwijl het vocht niet (meer) naar boven wordt afgevoerd.

Dit verschijnsel wordt in de praktijk bevestigd doordat het inzetten van een 'vochtverhoging' op de bovenbuis soms tegen de verwachting in leidt tot een hogere RV op gewasniveau. Terwijl er wel meer vocht wordt afgevoerd indien de onderbuis wordt verhoogd. Deze blokkade van het vochttransport kan het beste worden doorbroken met behulp van (verticale) ventilatoren. In geval van twijfel worden rookproeven aanbevolen.

5.9 Omgaan met (hoge druk) verneveling

Mede als gevolg van de nieuwe inzichten rond huidmondjesgedrag is in steeds meer teelten de hogedruk verneveling verschenen. Maar ook andere vormen van verneveling met grovere druppels of broezen komen voor. Het principe is hetzelfde; door adiabatische koeling wordt de luchttemperatuur verlaagd en de luchtvochtigheid verhoogd. Het inbrengen van water in de kaslucht heeft een snel en direct effect op het microklimaat van de plant. Het is daarbij belangrijk om de toevoer van water goed te regelen, hetzij door pulslengte, tussentijd of een combinatie. Gevoelsmatig wordt dit vaak gedaan op basis van RV of VD. Het probleem bij deze aanpak is dat de RV of VD weinig zegt over de energiebalans van de kas. Het zegt ook weinig over de vraag of de verneveling bijdraagt aan het hoofddoel, namelijk het verbeteren van het groeiklimaat voor de plant.

De basis van de aansturing van een verneveling moet daarom altijd zijn: de energietoevoer dus de instraling. Dit kan door middel van een buitensensor, of een PAR-sensor bij het gewas. Hierbij dient te worden gereageerd op de onvertraagde stralingsmeting zodat ook wisselende bewolking wordt mee-

genomen. Eventueel kan de kastemperatuur nog van invloed zijn. De RV of VD worden wel in de regeling betrokken, maar voornamelijk als na-correctie. Het effect van verneveling kan op verschillende manieren worden benut. Dit wordt mede bepaald door de ventilatiesnelheid en de buitenomstandigheden. Als het buiten droog is kan veel worden gedaan met verneveling. Is het buiten erg vochtig dan zijn de mogelijkheden beperkt. Dit volgt eenvoudig uit het psychrodiagram.



Voor de toepassing kunnen twee uitersten worden onderscheiden. Het ene uiterste is om te vernevelen met een hoge ventilatie snelheid. De van buiten komende lucht wordt dan door de verneveling afgekoeld. Hierdoor zakt dus vooral de temperatuur in de kas en wordt de RV weinig hoger. Immers het ingebrachte water wordt snel weer afgevoerd. Deze variant draagt weinig bij aan de vermindering van stress op het gewas, omdat de verdamping nauwelijks lager wordt. Tevens dient te worden opgelet dat bij een te hoge ventilatiesnelheid (nevelen met de ramen wijd open) het effect sterk tegenvalt. Dan wordt vooral geneveld voor de burens.

Het andere uiterste is om juist de ventilatie te verminderen. Doordat de kaslucht zowel in temperatuur als in vochtinhoud toeneemt, wordt de energie-inhoud sterk verhoogd en kan met weinig kubieke meters lucht veel energie worden afgevoerd. Hierbij ontstaat dus een tropisch klimaat in de kas met een hoog CO_2 -gehalte. Deze variant is dus bij uitstek gunstig om plantstress te verminderen en de groei te bevorderen.

Steeds meer telers zien de voordelen in om een hogedruk verneveling in te zetten in combinatie met belichting. Bij schraal buitenweer kan het onder de lampen behoorlijk droog worden in de kas. Het inzetten van de verneveling zorgt ervoor dat de huidmondjes beter open blijven waardoor de fotosynthese een hoger rendement krijgt. Bovenstaande geldt in grote lijnen ook voor andere vormen van verneveling, zoals met lagedruk sproeiers boven of onder het gewas. In het laatste geval wordt dan voornamelijk de ondergrond bevochtigd. Dat levert in de nacht dan wel weer extra ongewenste vochtaanvoer op.

Lees meer over het principe van verneveling in hoofdstuk 3.11.

5.10 Hoge RV, luie planten en slechte houdbaarheid

Een vaak gehoorde tegenwerping is dat een hoge RV de plant 'lui' maakt en dat de wateropname-capaciteit van de wortels op den duur vermindert. Het mag duidelijk zijn dat dergelijke opvattingen berusten op verkeerde conclusies, of op een totaal verkeerd gebruik van bijvoorbeeld een vernevelinstallatie. Door de juiste combinatie van instraling en hoge RV na te streven wordt de plant niet lui, maar blijft juist in topconditie doordat stress wordt voorkomen.

Een ander bezwaar dat wordt geopperd is dat een hoge RV slecht zou zijn voor de houdbaarheid. Deze conclusie is grotendeels onterecht, maar vraagt om wat meer uitleg. Een slechte of slechtere houdbaarheid komt inderdaad vaak voor bij onder andere roos en met name in de wintermaanden. De belangrijkste oorzaak hiervan is dat na de oogst de huidmondjes open blijven staan. Hierdoor drogen de rozen snel uit, ze worden slap en vertonen zodoende een kort vaasleven. Het is ook waar dat de RV in de kas in de wintermaanden meestal erg hoog is. Maar is er ook werkelijk sprake van een oorzaak-gevolgrelatie? Hoogst waarschijnlijk is dat niet zo en is de hoge RV meer een bijkomende factor. De echte oorzaak van dit fenomeen is waarschijnlijk dat het kasklimaat in de winter door de plant als buitengewoon gezapig wordt ervaren. Zelfs onder intensieve belichting (15.000 lux) is het stralingsniveau slechts in de orde van 100 W/m^2 en bovendien erg gelijkmatig. De plant ondervindt hiervan geen enkele vorm van waterstress en dus is er voor de huidmondjes niet de minste aanleiding om in actie te komen.

Heel anders dan in de andere jaargetijden, waar de instraling van de zon van de ene minuut op de andere met honderden W/m^2 kan toenemen en afnemen. Het gevolg is dat bij rozen die in de winter worden opgekweekt de huidmondjesfunctie heel slecht is ontwikkeld. Maar dit is veel meer een gevolg van de zeer beperkte stralingsdynamiek en het ontbreken van stress momenten dan van een hoge RV als zodanig. Daarbij komt nog dat HNT nooit een continu hoge RV aanbeveelt, maar alleen in combinatie met hoge instraling waar het sluiten van huidmondjes door waterstress de opname van CO_2 dreigt te belemmeren.

Tot slot is het zo dat onder een of meer gesloten schermdoeken de RV van nature hoog oploopt en dat dit tegelijk gunstig is om de gewasverdamping te beperken en dus het energieverbruik laag te houden. Hierbij moet echter worden gewaakt om de kritische grens niet op te zoeken. In verband met de ontwikkeling van schimmels en het ontkiemen van onder andere botrytissporen ligt deze grens rond 95% RV. Het is daarom aan te bevelen om onder deze waarde te blijven en deze zeker niet voor langere tijd te overschrijden.

5.11 Omgaan met dakberegening

Een andere methode om de kastemperatuur en vochtigheid te beïnvloeden is door middel van dakberegening. Dit werkt minder direct dan verneveling, maar heeft een vergelijkbaar effect; de temperatuur van de kas als geheel wordt verlaagd terwijl de vochtigheid iets hoger wordt.

Een bijkomend fenomeen is dat de verlaagde kasdektemperatuur bijdraagt aan een toenemende uitstraling: dit heeft een (extra) koelend effect op de planttemperatuur. Ook hier is het uiteindelijk resultaat weer afhankelijk van de vochtigheid buiten en de windsnelheid.

Het doseren van water op het kasdek is veel minder kritisch dan bij het inbrengen van nevel. Het beste resultaat wordt bereikt door over het gehele kasdek een gelijkmatige waterfilm aan te brengen. Het sterkst koelend effect komt namelijk van de verdamping van water. De temperatuur van het opgebrachte water speelt slechts een beperkte rol.

Een interessante functie van dakberegening is om bij hoge buitentemperatuur en vochtigheid in de avond of de nacht het kasdek te koelen en daarmee de vochtafvoer uit de kas door condensatie te stimuleren.

5.12 HNT en calcium gerelateerde teeltproblemen

In de praktijk komt een groot aantal teeltproblemen voor die te maken hebben met kwaliteit. Hierbij valt te denken aan bladrandjes, vochtblaadjes, glazigheid, bladpuntjes, loosheid, koprot, suikerrot, maar ook zaken als neusrot bij tomaat en paprika. Hoewel er (nog) veel discussie is over de precieze oorzaak en omstandigheden waarin deze problemen optreden, begint er steeds meer consensus te ontstaan over één gemeenschappelijke factor: het gebrek aan calcium in een kritische fase van de groei, met name bij de aanleg van nieuwe cellen. Om jonge cellen van stevige celwanden te voorzien, die bestand zijn tegen hoge dampdruk en tegen hoge worteldruk, is calcium een onontbeerlijk element. Het eigenaardige van calcium is dat het alleen passief kan worden getransporteerd door een waterstroom in de plant. Het wordt bovendien snel vastgelegd in de celvacuoles als het ergens in overmaat aanwezig is. Hierdoor is het dus niet meer beschikbaar voor zich ontwikkelende jonge cellen.

De meest kritische situatie is die waarbij veel jonge cellen bezig zijn te worden aangelegd terwijl er door een te lage plantverdamping te weinig verse calcium uit de wortels wordt aangevoerd. Dan ligt het voor de hand dat veel problemen optreden als er na een heldere dag met veel instraling - en dus groei - een nacht volgt met veel uitstraling, terwijl er niet wordt geschermd, zodat de kop van de plant, meestal het groeipunt, te veel afkoelt en daardoor de verdamping stagneert. In de klassieke teeltmethoden worden genoemde problemen meestal bestreden met een luchtig en actief kasklimaat. Dit houdt dus in: ventileren, inzetten van een minimum buistemperatuur en vooral niet schermen. Dit leidt in veel gevallen tot vermindering van het probleem, maar ook tot een relatief hoog energieverbruik.

Vanuit de principes van HNT wordt allereerst de belangrijkste oorzaak weggenomen, namelijk de uitstraling, door tijdig het energie scherm te sluiten. Hierdoor blijft de meest kritische zone van de plant op een hogere temperatuur en wordt het stilzetten van de verdamping voorkomen. Vervolgens wordt gezorgd voor voldoende vochtafvoer door boven het scherm te ventileren. Daarnaast kan onder het scherm de luchtbeweging en daarmee de verdamping worden gestimuleerd met behulp van (verticale) ventilatoren. Inzet van (minimum)buis wordt bij voorkeur vermeden, tenzij dit nodig is om de kas op temperatuur te houden.

5.13 HNT en mycosphaerella in komkommer

Veel komkommertelers zien weliswaar perspectief in de teeltmethodiek volgens Het Nieuwe Telen, maar hebben grote zorgen over mycosphaerella. Dit komt doordat HNT wordt geassocieerd met vochtig telen, terwijl het algemene idee is dat 'mycos' moet worden voorkomen door juist luchtig te telen. Dit blijkt echter geen garantie te zijn en dat maakt de schimmel tot een wat ongrijpbaar verschijnsel. Temeer daar er in de klassieke teeltmethodiek eigenlijk geen goede hypothese bestond over de oorzaak daarvan. Veelal wordt dit probleem grotendeels gekoppeld aan een te laag vochtdeficit, hoewel er ook telers zijn die vochtig telen en weinig of geen last hebben. Door de kennis en ervaring, die er onder andere binnen de HNT-Leergroepen over het verschijnsel mycos aanwezig was, te combineren met de drie plantbalansen is er inmiddels wel een (betere) hypothese gevormd en deze geeft een heel andere denkrichting aan. De hypothese is dat het ontstaan van mycosphaerella vooral wordt veroorzaakt door onbalans in de plant in combinatie met de verkeerde teeltmaatregelen en met name te weinig schermen tegen uitstraling. Dit wordt hieronder toegelicht.

Een algemene ervaring is dat mycosphaerella vaak uitbreekt in het begin van de teelt na een periode met hoge instraling. Welke factoren zijn er dan in het spel?

- Door de hoge instraling rijpen de aanwezige vruchten versneld af en worden geoogst;

- De plantbelasting neemt snel af;
- Hierdoor ontstaat een hoog positief saldo op de assimilatenbalans;
- Er worden nieuwe bloemen aangelegd;
- Er vindt een sterke hergroei van wortels plaats;
- Helder weer overdag gaat vaak hand in hand met heldere nachten en veel uitstraling.

Deze factoren vormen de ideale mix voor een situatie waarin de worteldruk hoog kan oplopen, terwijl de verdamping vanwege de uitstraling juist wordt geremd en de bufferwerking van de vruchten om water op te slaan juist is verminderd. De bloemen worden nat door guttatie en vormen daarmee een invalspoort voor mycos.

Hoewel deze hypothese (nog) niet wetenschappelijk is bewezen zijn er verschillende sterke aanwijzingen uit de praktijk die de validiteit ondersteunen:

- Een algemene ervaring is dat 'sterke bloemen' het meest vatbaar zijn voor mycosphaerella, dit wijst dus op onbalans in de plant.
- Door meerdere telers wordt bevestigd dat zij door consequent schermen tegen uitstraling geen of slechts zeer weinig mycos zien optreden.

Overigens past het 'oude' idee dat problemen kunnen worden voorkomen door luchtig te telen natuurlijk ook prima in deze hypothese. Immers door luchtig telen wordt de plantverdamping gestimuleerd en drogen de gutterende bloemen hopelijk eerder op. Hierbij wordt echter geen rekening gehouden met uitstraling - die het positieve effect van luchtig telen grotendeels teniet doet - en kan leiden tot condensatie in de kop. De echte oorzaak schuilt echter in de onbalans van de plant. De kans op mycosphaerella kan drastisch worden verlaagd door juist deze onbalans te voorkomen. Voor de volledigheid, de kans op uitbraken van mycos kan natuurlijk ook aanzienlijk worden beperkt door een goede bedrijfshygiëne.

5.14 HNT en binnenrot bij paprika

Over het ontstaan van binnenrot/fusarium bij paprika is veel discussie en in veel gevallen is het een ongrijpbaar verschijnsel. In die zin lijkt het veel op mycosphaerella bij komkommer. Net als bij komkommers zijn veel paprikatelers huiverig voor het toepassen van HNT. Dit wordt geassocieerd met vochtig telen, waardoor de kans op binnenrot zou worden vergroot. Het gebruik van energieschermen wordt vaak zelfs expliciet afgeraden.



Toch zijn er veel deskundigen die grote overeenkomsten zien tussen beide teeltproblemen, met name ook guttatie en het nat worden van de bloemen. De bovenbeschreven hypothese over mycos bij komkommer kan daarmee tevens worden toegepast op binnenrot bij Paprika. Ook dat wordt gesteund door positieve ervaringen van telers die de principes van HNT toepassen, dus consequent schermen tegen uitstraling en tegelijk streven naar een gelijkmatige plantbalans.

Daarnaast bestaan er alternatieve hypothesen, onder andere dat binnenrot kan binnendringen door een te dunne vruchtwand. Die ontstaat als gevolg van onbalans in de waterhuishouding: weinig verdamping in de kop van het gewas en

veel overdruk van de wortels. Door te snel opblazen van de jonge vruchtcellen ontstaat een dunne vruchtwand, eventueel met een minuscule gaatje op de plaats van de stamper. Dit vormt een makkelijke ingangspoort voor de fusariumsporen. Dit effect kan worden versterkt door een onevenwichtige assimilatenbalans waardoor een te snelle celstrekking samengaat met een gebrek aan assimilaten.

5.15 HNT en (valse) meeldauw

Er is in de praktijk een breed gedragen gevoel en ervaring dat (valse) meeldauw wordt veroorzaakt door tocht in de kas, althans daar een sterke relatie mee heeft. Zozeer zelfs dat sommigen van mening zijn dat luchtbeweging door ventilatoren absoluut af te raden is. Welnu, uit onderzoek is bekend dat voor het ontstaan van (valse) meeldauw op plantendelen in elk geval twee factoren tegelijk nodig zijn: de aanwezigheid van sporen en vrij water. Dit water moet dan bovendien lang genoeg aanwezig zijn zodat de sporen kunnen ontkiemen. Het is dus geen wonder dat tocht, of koude luchtstromen in de kas, worden gerelateerd aan meeldauw. Ten eerste omdat hierdoor sporen worden aangevoerd en/of verspreid naar andere plekken. Ten tweede omdat koude luchtstromen zorgen voor afkoeling en dus ook condensatie op de planten kunnen veroorzaken. Temeer als de plant ook nog eens afkoelt door uitstraling.

Een bijkomende factor is dat zwakke plantencellen vatbaarder zijn voor aantasting door meeldauw. Zwakke cellen komen vaker voor als door kouval en uitstraling de verdamping van het gewas - en daarmee de opname van calcium - stagneert. Maar dan is ook meteen helder dat een kasklimaat volgens Het Nieuwe Telen, waarbij de genoemde risicofactoren worden verminderd door het scherm gesloten te houden, juist het ontstaan van (valse) meeldauw tegenwerkt. Een subtiele luchtstroming in het gewas voert dan geen kou aan, maar zorgt juist voor extra droging van het gewas. Tot slot mag duidelijk zijn dat het nat worden van het gewas door druipen van condenswater en lekende goten en nozzles ook onder een gesloten scherm een heel slecht idee is.

5.16 HNT en bladrandjes en botrytis

Bladrandjes waar vervolgens botrytis zich op kan ontwikkelen, wordt in eerste instantie veroorzaakt door de aanleg van zwakke cellen. Die worden vervolgens door een vochtschok kapot gedrukt of verdrogen bij hoge instraling. Dit verschijnsel komt met name in het voorjaar voor als het gewas nog in de opbouwfase zit en de weersomstandigheden groot kunnen zijn.

Maatregelen kunnen daarom het beste eerst worden gezocht in de assimilatenbalans. De aanleg van sterke cellen in jonge bladeren is in de eerste plaats afhankelijk van de beschikbaarheid van assimilaten. De sterkste sturing hierin is de concurrentie met de vruchten te beperken. Met andere woorden, door de plantbelasting langzaam te laten stijgen zijn er meer suikers beschikbaar om sterke bladcellen aan te leggen. Ook voor belichte teelten geldt dit. De hoogte van de productie in de belichtingsperiode is gerelateerd aan de gerealiseerde lichtsom en niet aan het aantal vruchten/m². Vervolgens kan het transport van suikers naar de jonge bladeren worden bevorderd door in de nacht uitstraling weg te schermen waardoor de kop van het gewas warmer blijft en dus meer suikers blijft aantrekken. Doordat de kop van het gewas niet afkoelt door uitstraling blijft ook de verdamping zorgen voor aanvoer van calcium naar de jonge cellen. Hiermee is de aanleg van sterke celwanden en celmembranen geborgd. Tevens wordt door te schermen een vochtschok voorkomen door te veel worteldruk, omdat de verdamping niet ineens stil valt. In de belichte teelten is het daarom ook aan te raden om na het uitschakelen van de lampen het scherm voor slechts 10% te openen om de kas te laten afkoelen. Door uitstraling te voorkomen heeft het gewas de gelegenheid om de aangemaakte assimilaten ook af te voeren naar de vruchten. De overgang in de waterbalans is dan ook minder abrupt.

Als in het voorjaar de instraling sterk toeneemt is het zaak om niet te snel, te veel te luchten om een vochtschok door waterstress te voorkomen. Vocht voor temperatuur is dan de beste maatregel. Dankzij een voldoende hoge luchtvochtigheid kan de fluitketelverdamping met open huidmondjes plaatsvinden. Beperkt luchten voorkomt ook bladrandjes als gevolg van kouval.

5.17 HNT en neusrot

Ook neusrot wordt in eerste instantie veroorzaakt door de aanleg van zwakke cellen, die vervolgens door een vochtschok worden kapot gedrukt of door instraling verdrogen. Het telen met een lage plantbelasting heeft tot gevolg dat de beschikbare assimilaten kunnen worden verdeeld over minder vruchten. Maar vooral het creëren van plantbalans, waardoor grote wisselingen in plantbelasting worden voorkomen, is zeer effectief om neusrot te voorkomen. Met name wanneer de buitentemperatuur hoog is ligt het gevaar van neusrot op de loer. Door de hoge temperaturen worden veel jonge cellen aangelegd die grote behoefte hebben aan assimilaten. Om overdag zo veel mogelijk assimilaten aan te maken, kan het beste worden geteeld op vocht en CO₂, dat wil zeggen de raamstand zo veel mogelijk beperken. Als dat onvoldoende lukt kan het gunstig zijn om de piek van de instraling weg te schermen zodat de mondjes beter open blijven. Waterstress overdag kan neusrot veroorzaken door uitdroging.

Juist onder hoogzomerse omstandigheden is er veel uitstraling. Gedurende de periode dat het gewas en de kas moeten afkoelen, is het dan toch aan te raden om deze uitstraling voor het gewas te voorkomen door het scherm bijvoorbeeld maximaal 90% te sluiten. Hiermee wordt het assimilaten-transport en calciumtransport naar de jonge cellen bevorderd, waardoor zwakheid wordt voorkomen. Als de kop van het gewas afkoelt door uitstraling wordt het temperatuurverschil met de vruchten groter. Ondanks dat de temperatuur hoog is, heeft de kop van het gewas dan toch minder de beschikking over de gevormde assimilaten. Op hoogzomerse dagen 90% schermen tegen uitstraling voorkomt ook een vochtschok. Ook al is er een hoog vochtdeficiet, dan kan het energielek naar het kasdek er toch voor zorgen dat de verdamping in de kop van het gewas stil valt. Op datzelfde moment is de worteltemperatuur hoog (25-30°C). In het gewas ontstaat dan een overdruk doordat de worteldruk hoger is dan de verdamping. Hierdoor kan neusrot optreden.

Op een zomerse dag loopt het vochtdeficiet hoog op en is er veel vocht aan het gewas onttrokken door de hoge verdamping. De waterbalans van het gewas kan makkelijker herstellen bij een hoge luchtvochtigheid in de nacht. Daarom is het aan te raden om, ondanks de hoge buitentemperatuur, toch beperkt te luchten. Hierbij is het wel van belang dat de snelheid waarmee het vochtdeficiet daalt (door de ramen te sluiten) niet te snel gaat (maximaal 3 gram/m³.uur) om te voorkomen dat de deksel op de pot wordt gezet en de worteldruk te snel te hoog wordt.

Plantbalans, vocht voor temperatuur overdag en in de nachten schermen tegen uitstraling, vormen dus de sleutel om neusrot te voorkomen. Deze aanpak kan ook worden toegepast om mycosphaerella, mucor, botrytis of binnenrot te voorkomen.

5.18 Generatief-Vegetatief sturen rasafhankelijk

Een van de basisprincipes van HNT is het beschermen van de plant tegen uitstraling. Bij een flink aantal telers heeft meer schermen in de nacht, ochtend en vooravond positieve gevolgen op de stand van het gewas en de plantbalans. Kou op de kop van de plant wordt vaak toegepast als generatieve actie. Dit is inderdaad een probaat middel om de groei van de plant te beheersen. Zoals elders in dit boek wordt toegelicht, werkt dit vooral via de waterbalans en door het remmende effect van lage temperatuur op de celstrekking.

Het is dus te verwachten dat door meer schermen de groei in de kop beter in stand blijft. Dan ontstaat wellicht de zorg dat hierdoor de plant te vegetatief wordt. Om dit te voorkomen moet inderdaad de sturing plaatsvinden via de assimilatenbalans. Door de sinksterkte van de vruchten op een hoog niveau te houden - door een verhoogde etmaal- en nachttemperatuur - kan namelijk ook de groei in de kop worden beheerst en wordt de juiste balans weer gevonden. Dat blijkt in de praktijk ook het geval te zijn. Door de juiste verhouding van lichtsom, etmaal- en nachttemperatuur en (lage) plantbelasting, blijft het gewas in balans en kan er snel worden geteeld zonder dat dit ten koste hoeft te gaan van grofheid.

Echter, hoe een plant reageert kan behoorlijk rasafhankelijk zijn. Door de trend van steeds koeler telen in de laatste decennia en het geven van kou op de kop door uitstraling, is de noodzaak ontstaan van steeds groeikrachtiger rassen. Rassen die van nature wat generatiever ontwikkelen, raken door deze 'brute' teeltwijze immers snel uit balans en laten de groei in de kop volledig zitten. Bij de verdeling en selectie is daar vervolgens op ingespeeld. De moderne rassen vertonen zoveel groeikracht in de kop, dat deze ondanks alles blijven ontwikkelen.

Het zou kunnen zijn dat deze rassen onder het nieuwe regime van HNT een overreactie geven en dus snel te welig worden. De angst van sommige telers dat 'de werkwijze van HNT met meer en langer schermen niet werkt omdat het gewas dan ontploft', is daarmee in feite een 'self fulfilling prophecy' geworden.

Op basis van de ervaringen met HNT luidt de constatering dat schermen voor de plant beter is. Dat wil zeggen dat het leidt tot een betere plantgezondheid en minder risico van groeistoringen en bovendien tot een substantieel lager energiegebruik. Dan ligt het dus voor de hand om hierop, indien nodig, ook weer de rassenkeuze af te stemmen, maar dan in omgekeerde richting. Of zoals een van de deelnemers aan de HNT-leergroepen opmerkte: "Ik heb mijn oude ras moeten afdanken omdat het veel te generatief was, maar als ik het nu zo bekijk was dit ras helemaal zo gek nog niet." Hiermee is overigens bepaald niet gezegd dat Het Nieuwe Telen alleen toepasbaar is bij generatieve rassen. Het effect is mede afhankelijk van welke combinatie van maatregelen wordt genomen. Makkelijkere groei in de kop door uitstraling weg te schermen kan worden gecompenseerd door de kop te beheersen met een hogere afrijpingsnelheid-sinkwerking. Het evenwicht tussen die twee bepaalt de uiteindelijke gewasstand.

Het kan ook zijn dat telers anders tegen rassen aan gaan kijken door deze nieuwe stuurmiddelen in te zetten.

In de HNT-proef Aubergine is duidelijk gebleken dat een als vegetatief beschouwd ras (Beyonce) generatiever kwam te staan met veel schermen en tegelijk de temperatuur laten stijgen met de lichtsom. De verwachte extra vegetatieve groei (bladgroei) bleef uit onder het scherm.

Het generatieve ras (Rosheen) bleef makkelijker doorgroeien in de kop en werd veel minder generatief (kort blad) dan verwacht.

In het ras Adèle constateerden betrokkenen dat de hoofdstengel onder het HNT-regime dominanter was waardoor de zijscheuten minder (overdadig) uitliepen. Dit bespaarde arbeid op toppen van de zijscheuten.

6 Hulpinstallaties voor klimaatbeheersing in de kas

6.1 Systemen voor luchtbeweging met ventilatoren

Er zijn inmiddels verschillende systemen voor luchtbeweging in de markt, waarbij als hoofdkenmerken worden onderscheiden: verticaal ten opzichte van horizontaal, met slurven of slangen en zonder slurven, met en zonder voorzieningen om te verwarmen en om warmte terug te winnen.

6.1.1 Horizontale ventilatoren

De horizontale ventilatoren, die in bijna elke kas standaard zijn aangebracht, zijn het meest bekend. Diverse onderzoeken hebben uitgewezen dat het effect van deze ventilatoren beperkt blijft tot bovenin de kas, dus alleen boven het gewas merkbaar. Zij dragen voor lage gewassen afhankelijk van de windrichting iets bij aan het vereffenen van (grote) horizontale temperatuurverschillen (mits op vol vermogen aangestuurd), maar nauwelijks aan een actief microklimaat bij de plant.

Bij hoogopgaande gewassen is de situatie anders; de beperkte vrije ruimte boven het gewas belemmert de worp zodanig dat er geen vereffening van horizontale temperatuurverschillen plaatsvindt omdat de uitgeblazen lucht de volgende ventilator niet haalt. Weliswaar zal er in de directe omgeving van de ventilator enige luchtstroming tussen het gewas ontstaan. Bij een hogere ventilator capaciteit in m^3/uur en meer ventilatoren per hectare wordt er uiteraard een beter effect bereikt. Er moet bij het ontwerp en de beoordeling van luchtcirculatiesystemen dus rekening worden gehouden met de gewashoogte en de luchtdoorlatendheid van het gewas.

6.1.2 Circuleren met verticaal werkende ventilatoren of luchtslurven

Naast de horizontale ventilatoren zijn er inmiddels ook verticale ventilatoren en luchtslurven, onder of boven het gewas. Die slurven verplaatsen tussen de 5 en $12 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ aan lucht, de verticale ventilatoren $20\text{--}30 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$. Het is een natuurkundig gegeven dat luchtcirculatie door middel van slurven aanzienlijk meer elektrische energie kost dan beweging in de vrije ruimte, omdat druk moet worden opgebouwd. Dat telt zwaarder door naarmate de slurven langer zijn en/of een kleinere diameter hebben. Dat kost voor dezelfde hoeveelheid verplaatste lucht twee tot drie keer zoveel elektrische energie.

Een verticaal blazende ventilator verbruikt ongeveer $1 \text{ W}/\text{m}^2$. Met horizontale slurven wordt buiten de slurf nooit een gelijkmatige verdeling van lucht over het gewas bereikt, de lucht treedt met grote snelheid uit een gaatje maar verliest na 20-30 cm al een groot deel van zijn snelheid. Een debiet van $12 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{uur}$ betekent bij een kashoogte van 5m slechts een verversing van de kasinhoud van 2,4 keer de kasinhoud per uur, of anders gezegd een gemiddelde luchtsnelheid van 3 mm/sec. Daarbij is het ook nog zo dat de lucht makkelijker door een pad omhoog komt dan door het gewas omdat de luchtweerstand daar kleiner is. De doorstroming door dicht op elkaar liggende delen is dus dubieus. Tot slot is er dan het fenomeen dat de luchtstroom boven het gewas bij de ventilator altijd veel groter is dan aan het einde van de slurf.

Dit betekent praktisch gezien dat slurven uitsluitend moeten worden gebruikt om droge buitenlucht gelijkmatig in de kas te brengen, maar niet om de kaslucht intern te circuleren. Circulatie kan beter gebeuren met verticaal of horizontaal blazende ventilatoren zonder slurven. Daarom is bij de ontwikkeling van het Aircokas-concept gekozen voor verticale luchtbeweging met een speciale ventilator, de Nivolator, die specifiek is ontworpen om een plaatselijke verticale circulatie op gang te brengen. Deze ventilator veroorzaakt een gelijkmatige luchtbeweging met lage snelheid over een groot oppervlak (circa $200\text{--}240 \text{ m}^2$) in het gewas en zorgt dus juist voor een actief microklimaat. Bovendien worden verticale verschillen in temperatuur vereffend. Deze ventilator is dus ook in staat om de warmte van de zon en uiteraard van assimilatielampen effectief naar beneden te transporteren.



Nivolator.



V-FloFan.

Inmiddels is er een vergelijkbare ventilator in de vorm van een V-FloFan, waarbij gebruik wordt gemaakt van een gewone kasventilator die naar boven blazend wordt opgehangen, met daarboven een kunststof kap die de uitstromende lucht een horizontale richting geeft. Deze ventilator heeft door een hogere uitblaasdruk een groter bereik, namelijk tot 300 m². Hierbij is overigens een uniforme verdeling van de ventilatoren in de constructie niet eenvoudig.

Daarnaast is er nog een systeem met een ander werkingsprincipe, de Vertifan. Deze verplaatst lucht van boven naar beneden met behulp van een transparante slurf die vervolgens de lucht over de kasvloer verdeelt, dus onderlangs het gewas. Het debiet per m² kas hangt ook bij deze ventilator af van het aantal ventilatoren dat per ha wordt gekozen, maar is meestal lager dan bij de Nivolator omdat ervan uit wordt gegaan dat de lucht over de gladde bodem gemakkelijk verdeelt.

Daarmee wordt soms een concessie gedaan aan de hoeveelheid doorstroming door het gewas, want ook hier zal de lucht de weg van de minste weerstand kiezen, namelijk eerst over de grond als de ruimte onder de teeltgoten groot is en vervolgens door een pad omhoog.



Vertifan.

6.1.3 Luchtbeweging in verschillende gewassen

Uit onderzoek is duidelijk gebleken dat er voor verschillende gewassen andere oplossingen moeten worden gezocht wat betreft luchtbeweging.

Lage dichte gewassen

Horizontaal blazende systemen, zowel onder als boven het gewas, hebben nauwelijks effect op de verticale luchtbeweging in het gewas. Ook verticaal werkende ventilatoren kennen bij dichte lage gewassen zoals matricaria een slechte doordringing. Beïnvloeding van de verdamping kan daarom

alleen op indirecte wijze gebeuren door droge lucht zo dicht mogelijk langs het gewas te laten strijken en te hopen op een voldoende drogend effect door diffusie. Dat is ook geprobeerd met een horizontaal blazende ventilator die een grote hoeveelheid kaslucht van gevel naar middenpad vlak over het gewas heen blies. Dat had als effect dat vocht dat onderweg werd opgenomen zich bij het middenpad ophoopte. Ook werd het daar extra warm.

Op zich werkt het principe van langsstrijkende lucht dus wel voor het afvoeren van vocht uit het gewas, maar blazen in de lengterichting van een bed is vragen om problemen. Werkt verticale lucht-beweging onvoldoende, dan kan de gewasbuis worden ingezet, maar nooit met een hogere temperatuur dan nodig is om een lage vochtafvoer te veroorzaken. Warmte die van onderaf komt, stijgt zonder luchtbeweging wel op, maar veroorzaakt niet de grote luchtbeweging die veel telers veronderstellen. Door de betere isolatie van de kas zijn de buistemperaturen lager en dan neemt de door een buis veroorzaakte luchtstroom en daarmee de vochtafvoer onderin het gewas sterk af. Warmte die van bovenaf komt dringt maar matig in het gewas door. Dat geldt voor warmte van buizen, maar ook voor lampen. Omdat er al meer dan genoeg warmte in de kas aanwezig is, kan in deze situatie het beste worden geprobeerd om met een krachtiger ventilator dieper het gewas in te dringen. In de praktijk wordt dat gerealiseerd door op de standaard schoep een zwaardere motor te zetten die een hoger toerental heeft, bij voorkeur traploos regelbaar. In tijden dat de vochtafvoer een minder groot probleem is kan het toerental daarmee omlaag worden gebracht zonder de werkende breedte te veranderen.

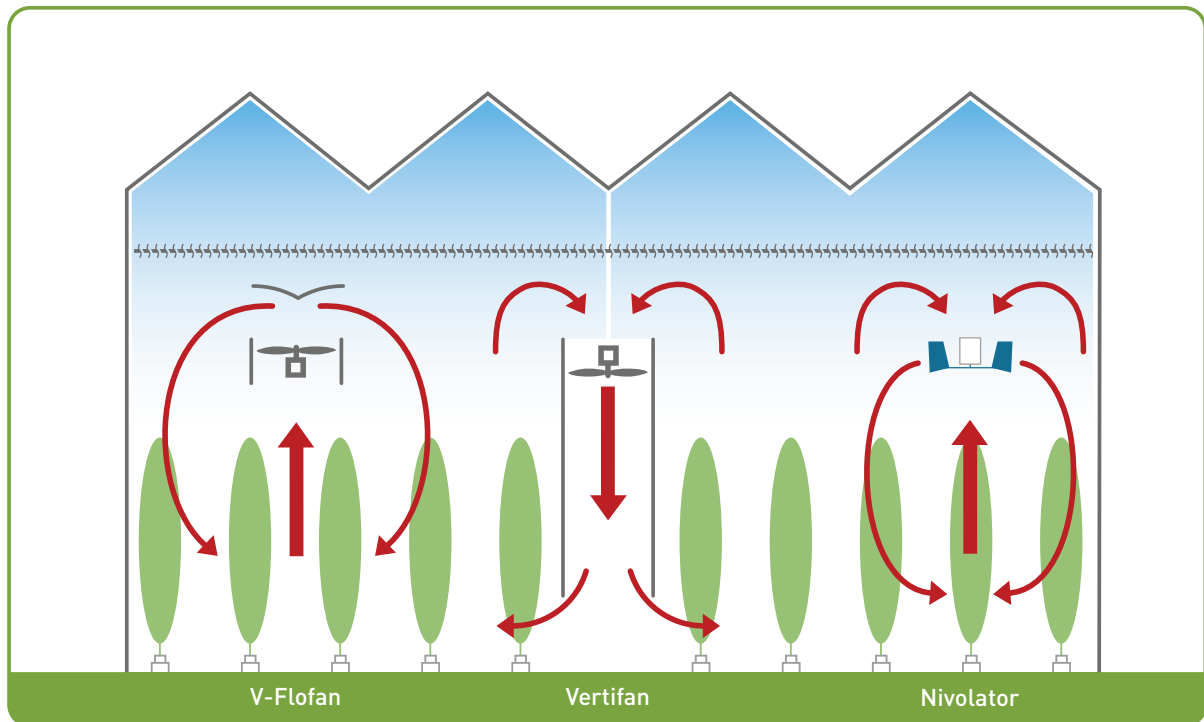
Lage open gewassen

Is het gewas wat opener, zoals bijvoorbeeld gerbera, roos en veel potplanten, dan werken de standaard, verticaal blazende ventilatoren wel goed en kunnen deze worden ingezet om warmte naar beneden te stuwen. Daardoor kunnen de buizen onder het gewas kouder worden. Dat werkt in het voordeel bij lichtafscherming of verduistering waar warmteoverschot een groot probleem is. Bovendien voeren ze vocht af zolang de lucht die het gewas in wordt gestuwd droger is dan de lucht tussen de planten. Slurven onder het gewas leveren maar een hele kleine luchtbeweging in het gewas, maar zolang de lucht die wordt aangevoerd droog genoeg is, heeft dat wel een drogend effect. Warmte kun je met die kleine luchtstroom echter niet goed transporteren.

Hoogopgaande gewassen

Horizontaal blazende ventilatoren kunnen bij hoge gewassen niet al te hard blazen omdat het gewas dan teveel beweegt. Ook vanwege het geluid wordt het toerental meestal beperkt. Dat beperkt de worp dusdanig dat de ventilatoren te ver uit elkaar hangen om de lucht aan elkaar door te geven. Om dit op te lossen zouden de ventilatoren niet verder dan 20 meter uit elkaar mogen hangen. Bovendien moet dan in elke kap een rij ventilatoren hangen. Bij een kap van 8 meter breedte komt dat neer op 60 ventilatoren per ha. Bij het lage toerental haalt iedere ventilator de lucht onderlangs het gewas terug die hij zelf heeft uitgeblazen. In principe is er dus sprake van lokale luchtmenging op een oppervlak van ongeveer 160 m². Geen ideale menging door de gewasweerstand, maar de lucht staat in ieder geval niet stil. Verticale ventilatoren blijken voor dit soort gewassen prima te functioneren zowel voor het transporteren van vocht als van warmte.

Verticale lucht circulatie



6.2 Ontvochtigen met het inblazen van buitenlucht

‘Nu ik begrijp hoe het werkt, kan ik het ook zonder dure installatie’

Gerard Aarts (Kwekerij Aarts)

Ontvochtigen van de kas met buitenlucht is op zichzelf niets nieuws. Elke vorm van ventilatie in kas- en gebouwen maakt er immers gebruik van. Nieuw is echter dat de buitenlucht geforceerd in de kas wordt gebracht met een ventilator en een verdeelsysteem. Hierdoor kan er vaker, beter en met meerdere schermen worden geschermd, mits tegelijkertijd wordt gezorgd voor voldoende luchtbeweging. Ook is de hoeveelheid ventilatie beter stuurbaar.

Onder gesloten energieschermen ontstaat vaak het probleem van een dood klimaat met hoge luchtvochtigheid. De huidige praktijk van energieschermen komt kortweg neer op een compromis tussen twee uitersten, namelijk een slecht microklimaat en een hoge gasrekening. De enige manier om dit probleem fundamenteel op te lossen is om vier factoren tegelijk aan te pakken. Luchtbeweging rond de plant, vereffening van temperatuurverschillen, het afvoeren van vocht en het voorkomen van uitstraling naar een koud kasdek of schermdoek.

Met geforceerde verticale luchtbeweging is aan de eerste twee voorwaarden voldaan. Met een dubbel scherm met luchtspouw kan uitstraling worden gestopt (met een enkel scherm wordt de uitstraling slechts beperkt). Blijft over het afvoeren van vocht en wel zodanig dat hierbij het energiescherm gesloten kan blijven en de isolatiewaarde kan worden verhoogd. Een aantal jaren geleden is uit onderzoek van Wageningen UR naar voren gekomen dat het inblazen van buitenlucht hiervoor een veelbelovende oplossing is. Dat is inmiddels ruimschoots bevestigd door diverse vervolgonderzoeken zowel bij Wageningen UR Glastuinbouw, het Improvement Centre, als bij praktijkbedrijven.

6.2.1 De natuurkundige principes

De natuurkundige principes achter vocht afvoeren door inblazen van buitenlucht zijn feitelijk eenvoudig. Buitenlucht bevat in absolute zin vrijwel altijd minder vocht in gram/m³ dan kaslucht. Door het inblazen van deze drogere lucht wordt er kaslucht met een hogere vochtigheid verdrongen. Hierdoor verdwijnt er per saldo dus vocht uit de kas. Omdat het maximale vochtgehalte is gekoppeld aan de temperatuur (verzadigingscurve), is de buitenlucht droger naarmate het kouder is. Dus juist als de noodzaak van energiebesparing groot is, werkt dit principe het beste.

Een rekenvoorbeeld om dit te demonstreren:

Stel de kastemperatuur is 18°C en de RV 85% , de lucht bevat dan 13 gr/m³ vocht. Stel het is buiten 10°C en 100% RV, de buitenlucht bevat dan ruim 9,4 gr/m³. Als we nu buitenlucht inblazen met een capaciteit van slechts 5 m³/m².uur dan wordt er afgevoerd aan vocht:

$$5 \times (13 - 9,4) = 18 \text{ gram/m}^2 \cdot \text{uur}$$

Met andere woorden, door de kasinhoud slechts een keer per uur te verversen met buitenlucht kan de gewasverdamping van een gemiddeld tomatengewas in het donker worden afgevoerd (circa 25 gram/m².uur), ondanks het feit dat het buiten mistig is.

Stel nu dat het buiten 0°C is en 50% RV dan is de vochtinhoud 2,4 gram/m³. Er kan dan dus met minder buitenlucht worden volstaan, dat wil zeggen dat het systeem slechts een gedeelte van de tijd hoeft te werken:

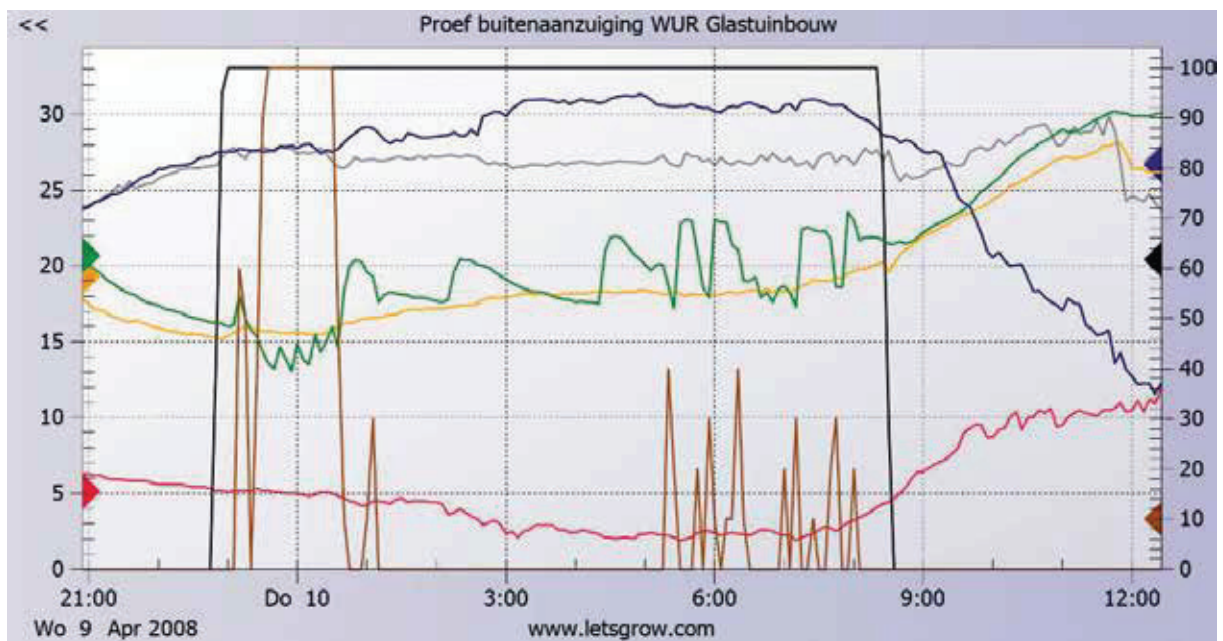
$$5 \times (13 - 2,4) = 53 \text{ gram/m}^2 \cdot \text{uur}$$

Dus 50% draaitijd, of een lager toerental van de inblaasventilator, volstaat voor een afvoer van 25 gr/m².uur

Deze benadering maakt het mogelijk om de verdamping van het gewas te sturen. Immers het gewas zal steeds door verdamping het vocht aanvullen dat uit de kas wordt afgevoerd, omdat bij een dalende RV de verdamping automatisch toeneemt. Er is dus sprake van een evenwichtssituatie die door het gewas in stand wordt gehouden. Vocht afvoeren is om zo te zeggen 'dweilen met de kraan open'.

Het 'geheim' van geforceerde inblazing is vooral dat het onafhankelijk werkt van een vochtier in het schermdoek. Door de overdruk wordt de lucht als het ware door het scherm heen gedrukt. Bij zeer dichte kassen kan het wel nodig zijn om de ramen op een kiertje te houden of speciale overdruk ventielen boven het schermdoek aan te brengen.

Soms wordt gedacht dat temperatuurgelijkheid louter een gevolg is van de overdruk in de kas, die wordt veroorzaakt door een inblaasinstallatie. De redenatie is dan dat de overdruk het ongewenste binnendringen van koude lucht van buiten door lekken in de kas verhindert. Op zich kan dat zo zijn, maar het is toch vooral het ontbreken van vochtieren in het scherm dat zorgt voor een egale temperatuurverdeling.



Een voorbeeld van het effect van het verlagen van de RV door middel van buitenlucht aanruiging via slangen onderin het gewas in een proef met grondteelt tomaat bij Wageningen UR Glastuinbouw. De groene lijn toont de uitblaas temperatuur onderin het gewas, de bruine lijn laat zien wanneer de ventilator buitenlucht aanruigt. De RV (grijs) was ingesteld op 85% en is netjes gehaald. Verder van belang de buitentemperatuur (rood), de kasttemperatuur (geel) en de RV buiten (blauw).

Echter, net als bij de natuurlijke ventilatie hangt het effect van geforceerde ventilatie af van het verschil in vochtigheid binnen-buiten. Als er geen of slechts een klein verschil is in absolute vochtigheid (zoals in de nazomer of herfst voor kan komen), dan helpt geforceerd inblazen ook niets. Dat is een belangrijke reden om de inblaasventilator een relatief grote capaciteit te geven voor dit soort momenten en door middel van een traploos regelbaar toerental het grootste gedeelte van het jaar op deelcapaciteit te laten draaien. Een goede benadering voor de aansturing van dit toerental is te kijken naar het verschil in absoluut vocht gehalte binnen-buiten.

6.2.2 Luchtslurven onder het gewas

'Ik wil geen koude lucht en mist in mijn tomatenkas, kippen houden daar ook niet van'

Leo Verbeek (BioVerbeek)

Inmiddels zijn er verschillende systemen voor buitenlucht inblazen op de markt verschenen. De overeenkomst is dat buitenlucht wordt aangezogen door de gevel en met een ventilator en luchtslurf wordt verdeeld in de kas. Onderlinge verschillen zijn met name:

- Wel of niet voorverwarmen en of koelen c.q. ontvochtigen;
- Wel of niet recirculeren van kaslucht met mengregeling;
- Wel of niet energie terugwinnen;
- Verschil in capaciteit uitgedrukt in m^3 luchtverplaatsing per m^2 .uur.

Zo zijn er installaties te koop in de range van 5 tot wel $80 \text{ m}^3/\text{m}^2$.uur. De grote systemen kunnen overdag worden ingezet in plaats van luchtramen en 's nachts voor het inblazen van buitenlucht. Het nadeel is wel dat er dan een onnodig hoog debiet moet worden gehanteerd om druk op de (grote) slurf te houden in verband met de verdeling over de kas. Slurven die onder het gewas liggen voeren niet alleen vocht af tussen het gewas, maar verhogen ook de verdamping, waardoor het energiever-

bruik hoger is dan bij slurven boven het gewas.

Algemeen kan worden gesteld dat het voorverwarmen van de aangezogen (koudere) buitenlucht zonder meer noodzakelijk is als de slurf onder het gewas ligt om temperatuurverschillen over de slurf te voorkomen. Verder is voldoende aangetoond dat het gebruik van een dergelijk systeem als aanvullende verwarming leidt tot een slechte temperatuurverdeling in de kas. Als gevolg van de lage energie-inhoud van lucht koelt de slurf namelijk veel sneller af dan een met warm water gevulde verwarmingsbuis. Het beste is dus de buitenlucht precies tot de heersende kastemperatuur te verwarmen.

6.2.3 Luchtsurven boven het gewas

Behalve systemen met slurven onderin het gewas zijn er ook systemen met slurven bovenin de kas. Een deel van deze systemen blaast een met een mengklep instelbaar mengsel van warme kaslucht en koude buitenlucht de kas in zonder voorverwarming. Alvorens de inblaaslucht het gewas bereikt, wordt deze dankzij een gat in de slurf - waar een soort straalstroom uit komt - gemengd met kaslucht. Het nadeel van deze methode is wel dat er bij lage buitentemperatuur condens tegen de buitenkant van de slurf kan ontstaan, wat druipen veroorzaakt. Om dat te voorkomen moet in dat geval de hoeveelheid buitenlucht en daarmee de ontvochtigingscapaciteit worden beperkt. Daarom is er inmiddels ook een variant waarbij een luchtbehandelingskast in de gevel de lucht altijd opwarmt tot kastemperatuur. Ten opzichte van een slurf onder het gewas wordt de (onnodige) verdamping van het gewas minder gestimuleerd.

Uiteraard zijn er wel nadelen, de slurf geeft lichtonderschepping (volgens metingen van Wageningen UR geeft dat bij 1 slurf per 3 tralies ongeveer 1% lichtverlies). De ventilator moet altijd op een behoorlijk toerental blijven draaien om de slurf gevuld te houden, ook al wordt er maar weinig buitenlucht bijgemengd. Afgezien van deze nadelen kan bij een zorgvuldig ontworpen systeem en een goede aansturing een goed resultaat worden bereikt, ook bij twee schermen.



6.2.4 Gedeeltelijke warmteterugwinning bij een slurvensysteem

Het terugwinnen van warmte uit de kaslucht die naar buiten gaat is mogelijk met een warmtewisselaar, maar levert in de praktijk minder rendement op dan meestal wordt gedacht. Het probleem is namelijk dat de uitgaande kaslucht veel meer (latente en voelbare) energie bevat dan de binnenkomende buitenlucht aan (voelbare) warmte kan opnemen. Er vindt dus slechts een gedeeltelijke terugwinning plaats. Kortom, de investering in een warmte terugwinningssysteem als onderdeel van vochtbeheersing is op basis van energiebesparing moeilijk rendabel te maken. Doordat de gewasverdamping in de donkerperiode wordt teruggedrongen naar het minimaal nodige, wordt dit waarschijnlijk in de toekomst alleen maar moeilijker.

Een gunstige uitvoeringsvorm is een gedistribueerd systeem gebaseerd op balansventilatie waarbij de uitgaande kaslucht en de inkomende buitenlucht elkaar kruisen in een compacte warmtewisselaar van dunne kunststof. Dit levert een besparing op in de aanlegkosten omdat geen verwarmingssysteem en regeling voor de aangezogen buitenlucht hoeft te worden aangelegd. Maar ook hierbij geldt dat de installatie zeer zorgvuldig ontworpen moet zijn met minimale luchtweerstand om te hoog stroomverbruik te vermijden. Anders is de bescheiden energiewinst al gauw uitgegeven aan extra

stroomverbruik. Daarbij moet ook worden bedacht dat uitgedrukt in gasbesparing 1 kWh warmte gelijk staat aan 2,4 kWh stroom.

6.2.5 Volledige warmteterugwinning

Het verhaal wordt anders als er sprake is van volledige warmte terugwinning. Dat is het geval als niet alleen voornamelijk de voelbare warmte, maar ook de volledige latente warmte uit de kaslucht wordt teruggewonnen. Bij een zeer goed geïsoleerde kas zijn de warmteverliezen naar buiten slechts beperkt en vormt het energieverlies door verdamping en ventilatie een steeds groter aandeel. Dit brengt diverse fabrikanten op het idee om complete ontvochtigingsunits te leveren die in de kas worden geplaatst en daarmee in principe 100% van de energie terugwinnen, omdat er immers geen ventilatie meer nodig is. In feite wordt de kas bij volledig gesloten schermen in de nacht hiermee een gesloten systeem.

De vraag die dan overblijft is het economisch rendement van een dergelijke installatie. Wat zijn de investeringskosten, de onderhouds- en afschrijvingskosten en hoe hoog is het energieverbruik? Hierbij moet worden gerekend met de minimale verdamping die nodig is voor een gezonde gewasontwikkeling onder een gesloten scherm. Die is waarschijnlijk minder dan de helft van wat in de klassieke situatie gebruikelijk is.

Een getallenvoorbeeld voor tomaat:

Op dit moment wordt vaak gewerkt en gerekend met een nacht verdamping van 25 gram/m².uur. Uit onderzoek is echter gebleken dat dit zonder schade kan worden teruggebracht naar circa 10 gram/m².uur. Inclusief het opwarmen van de benodigde buitenlucht voor de ventilatie om het vocht af te voeren naar buiten, vertegenwoordigt dit een energieverlies van ongeveer 15 W/m².

Afhankelijk van de energiesituatie van het bedrijf (wel of geen WKK) blijkt dan mogelijk dat het investeren in een tweede energiescherm of een beter energiescherm in combinatie met ontvochtigen met buitenlucht meer oplevert dan het aanschaffen van ontvochtigingsapparatuur met warmteterugwinning. Dat kan echter veranderen als betaalbare apparatuur een capaciteit zou kunnen leveren van bijvoorbeeld 60 g/m².uur. Dan wordt het mogelijk om in de wintermaanden ook overdag één of meer dampdichte transparante folies toe te passen en alle energie, dus ook die wordt geleverd door de zon, terug te winnen.

6.3 Vochtbeheersing en luchtbeweging apart regelen

Veel systemen die in de praktijk zijn geïnstalleerd voor het inblazen van buitenlucht zijn zodanig uitgevoerd dat er ook kaslucht mee kan worden gerecirculeerd. Meestal is dan sprake van een mengsysteem, waarbij door een kleppenstelsel de mengverhouding tussen aangezogen buitenlucht en gerecirculeerde kaslucht kan worden geregeld. Bovendien is de ventilator vaak uitgevoerd met een frequentieregeling om het debiet te kunnen variëren.

Uit de praktijk worden met dergelijke systemen diverse problemen geconstateerd waarvan de belangrijkste zijn:

- Temperatuurverschillen bij recirculeren;
- Ongelijke verdeling van de lucht bij deel-last;
- Recirculeren draagt niet bij aan de ontvochtiging;
- Veel onderhoud nodig aan klepmechanismen (lekage, verlopen van klepstand);
- Slurven vormen belemmering tijdens teeltwisseling;
- Hoog elektrisch energieverbruik;
- Relatief hoge investeringskosten.

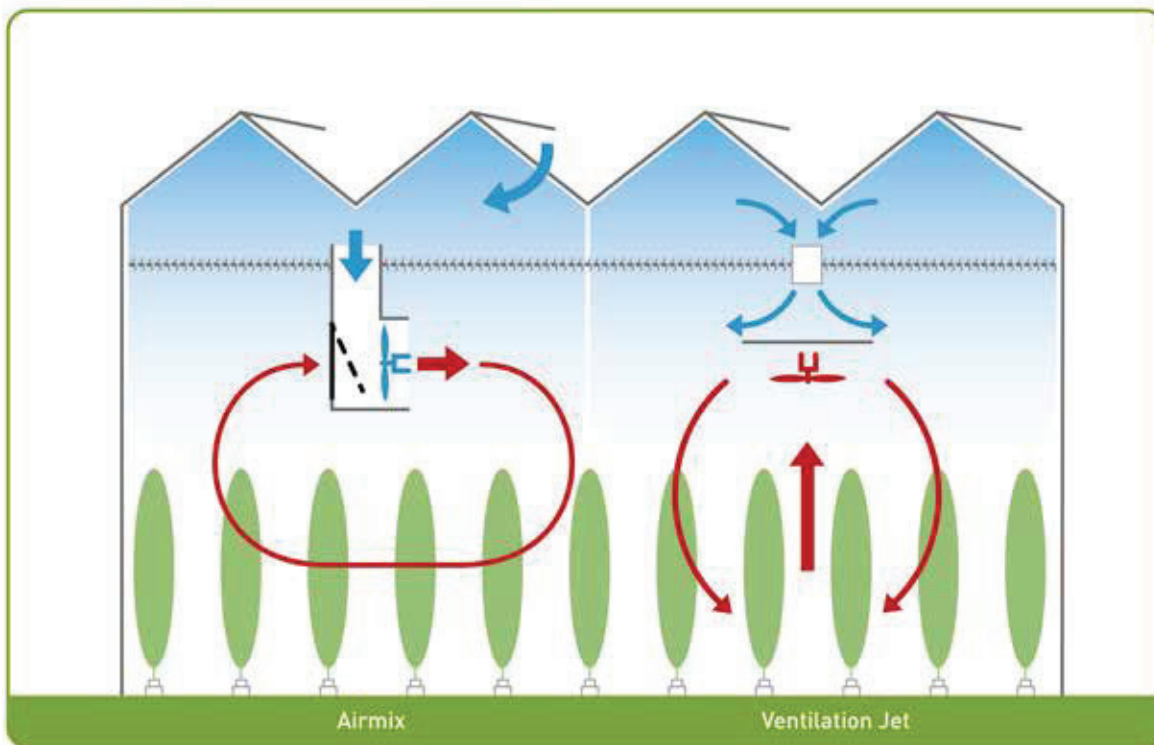
Vanwege de noodzakelijke drukopbouw en het transport over langere afstanden kost het creëren van luchtcirculatie door middel van een slurf onnodig veel energie. Hoewel dat nadeel door een ruime slurf te kiezen zeer kan worden beperkt. Natuurkundig gezien is de beste manier dus om het naar binnen brengen van de buitenlucht en het mengen en circuleren van de kaslucht uit te voeren met gescheiden systemen. Het luchtinblaassysteem kan dan met een kleine capaciteit volstaan; circa 4-5 m³/m².uur blijkt voor de meeste teelten voldoende. Bijmengen met kaslucht, een regelbare ventilator met een klep zijn dag overbodig en de slurfdiameter blijft beperkt. Alleen voor belichte teelten is meer debiet nodig door de hogere verdamping. Omdat de diameter van de slurf en de gaten daarin zijn berekend voor een bepaalde luchtstroom, zal het variëren van de capaciteit van de ventilator altijd gepaard gaan met een slechtere verdeling en dus ongewenste klimaateffecten. Dat is niet nodig, want een aan-uit regeling op basis van RV werkt zonder problemen.

De aanbevolen aanpak is een combinatie van bovenlangs buitenlucht inblazen en verticale ventilatoren, die de lucht zo goed mogelijk over de planten verdelen. Hierdoor wordt er altijd voldoende luchtbeweging gemaakt om bijvoorbeeld wonddroging (na bladpluk of oogst) te verbeteren en vocht-ophoping tussen het gewas en temperatuurverschillen op te heffen. Slurven tussen het gewas bieden alleen meerwaarde bij hele dichte gewassen waarbij met een verticale ventilator plekken met slechte vochtafvoer niet kunnen worden bereikt.

6.3.1 Ventilationjet

Een systeem dat een aantal gunstige natuurkundige principes in zich verenigt is de zogenaamde Ventilationjet. Dit is een specifieke uitvoering van vochtafvoer door een gesloten scherm en met gebruikmaking van condensatie tegen het kasdek.

Ontvochtigen met Ventilation Jet of Airmix



Dit systeem kent inmiddels een aantal varianten. Zo worden er twee typen onderventilator gebruikt, de Nivelator en de VfloFan. De manier waarop de lucht door het scherm wordt aangevoerd kent ook

een aantal varianten. Zo is er de methode waarbij een versterkt gat in het doek wordt gemaakt en de bovenventilator onder, tussen twee doeken, of zelfs boven het doek kan worden gemonteerd. Bij deze werkwijze doet zich een aantal problemen voor die het debiet aan toegevoerde lucht soms ernstig beperken. De belangrijkste daarvan zijn het verlopen van het gat in het doek en het feit dat de ventilator aan de blaaszijde turbulentie veroorzaakt. Daarom is er een variant ontwikkeld met een koker die tussen schermdoek en tralie is aangebracht en waarbij de ventilator onder de koker is gemonteerd. Daardoor ontstaat er in de koker laminaire stroming met minimale weerstand. De verticaal werkende Ventilationjet heeft inmiddels ook een horizontale tegenhanger, namelijk de zogenoemde Airmix. Een horizontale ventilator die middels een hulpkanaal met mengklep door een opening in het scherm lucht van bovenuit de kas kan aanzuigen en deze mengt met kaslucht. De Airmix heeft dus geen aparte regelbare ventilator om droge lucht aan te voeren en blaast horizontaal uit in plaats van verticaal.

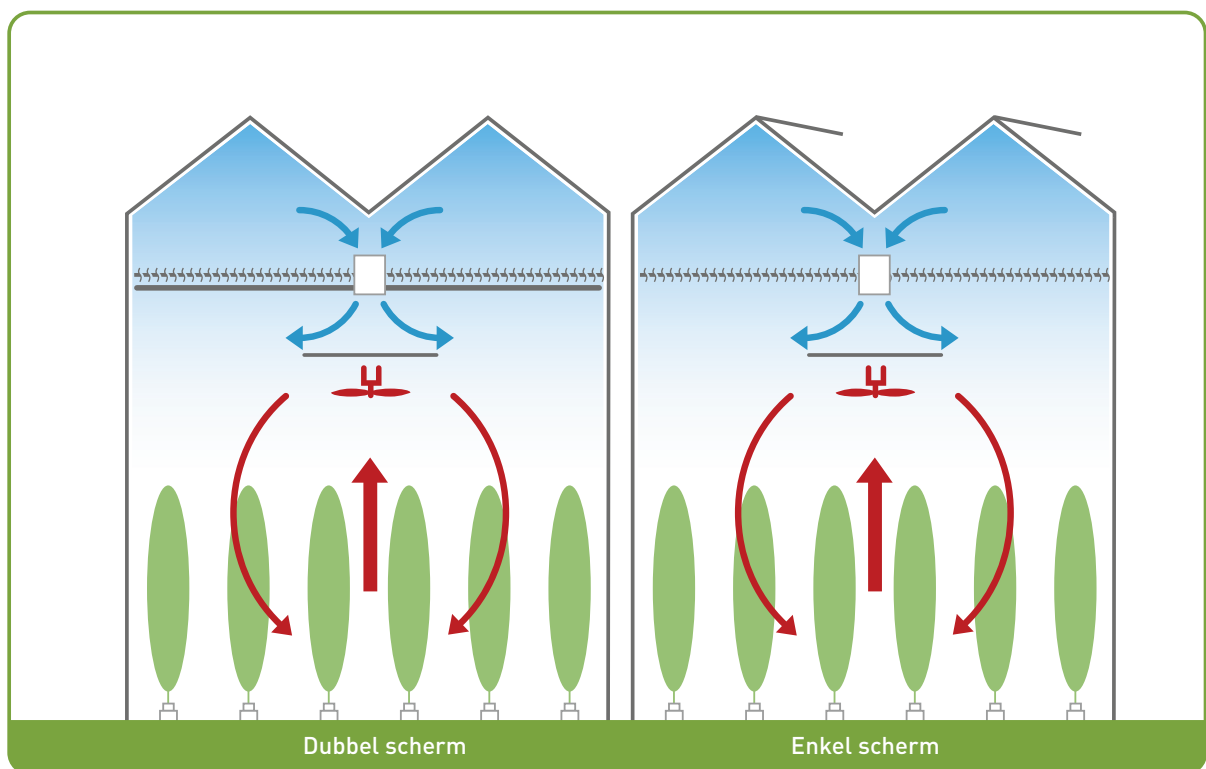


Airmix.

6.3.2 Ventilationjet in combinatie met vochtdoorlatend scherm

Hieronder wordt de werking van de Ventilationjet of vergelijkbaar systeem nader beschreven. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat in de nacht 10-20 g/m².uur vocht door de poriën van één of twee schermdoek(en) wordt gedrukt door overdruk. Overdag bij een enkel scherm is dat 30-40 g/m².uur.

Ventilation Jet met dubbel en enkel scherm



De Ventilationjet vervult twee functies, namelijk het verticaal mengen van kaslucht onder het scherm en het inbrengen van lucht van boven het scherm. Omdat de lucht van boven het scherm droger is zorgt dit voor ontvochtiging. Omdat de lucht van boven het scherm koeler is, zorgt dit voor koeling onder het scherm. Door de luchtstroom van boven te variëren kan de mate van ontvochtiging en koeling worden aangepast aan de behoefte. Doordat de onderste ventilator onafhankelijk wordt bestuurd kan de recirculatie van lucht in de kas onafhankelijk worden geregeld. Uitgangspunt is verder dat de lucht die onder het scherm wordt gebracht, zorgt voor overdruk waardoor evenveel kaslucht door het (poreuze) scherm weer naar boven wordt verdreven.

In een nacht met weinig verdamping en lage buitentemperaturen kan het scherm (dubbel) gesloten blijven, evenals de ramen (linker plaatje) en hoeft de Ventilationjet alleen maar voor luchtbeweging onder het scherm te zorgen. Eventueel kan de bovenventilator minimale hoeveelheden lucht door het scherm aanvoeren. Doordat boven het scherm vocht condenseert tegen het kasdek is de dampdruk lager dan in de kas en wordt er vocht door het (poreuze) scherm getransporteerd door diffusie. Dit geeft een actief klimaat met minimale stookkosten. Het is van belang om beide schermen volledig gesloten te houden zodat de temperatuur boven het scherm zo laag mogelijk blijft. Een punt van zorg bij deze manier van gebruiken is wel dat er extreem veel condensatie tegen het kasdek zal plaatsvinden, waardoor het gevaar op druipschade toeneemt. In de toekomst moet er daarom extra aandacht zijn voor het voorkomen van druipt. In situaties waar de verdamping hoger is dan door deze passieve vorm van transport door condensatie kan worden afgevoerd, kan naar behoefte door de Ventilatiojet lucht van boven het scherm worden bijgemengd voor vergroting van de vochtafvoer.

Een voordelige vorm van modulatie is een puls/pauze regeling waarbij de droge lucht een gedeelte van de tijd wordt ingeblazen. Bijvoorbeeld 1 minuut aan en 3 minuten uit voor 25% capaciteit. Maar dankzij nieuwe motoren die met een stuursignaal van 0-10 volt tegen lage kosten traploos kunnen worden geregeld is traploos regelen nu vrijwel standaard geworden. Belangrijk in deze situatie is dat de latente warmte van de gewasverdamping niet geheel verloren gaat naar buiten, maar deels binnen de kas blijft. Elders in dit document wordt toegelicht hoe dat fysisch in elkaar steekt en hoe de post 'teruggewonnen latente warmte' tot uitdrukking komt in de warmte balans.

Overdag zal het tweede dichte scherm worden geopend, maar kan het transparante scherm gesloten blijven (zie het rechter plaatje). De Ventilationjet wordt ingezet om vocht en energie af te voeren naar het kasdek op een gecontroleerde manier. Als de instraling en de verdamping nog verder toenemen, zodat de condensatie op het kasdek onvoldoende is om de vochtbalans te handhaven, dan moeten uiteindelijk de ramen worden geopend om meer vocht af te voeren. Door inzet van de Ventilationjet wordt nu drogere lucht onder het scherm gebracht, waardoor de vochtbalans weer kan worden hersteld. Vanaf dat moment is het gewenst om de condities boven het scherm zoveel mogelijk gelijk te houden aan de buitencondities. Dat kan door zowel boven het scherm als buiten een meetbox te plaatsen die temperatuur en RV meet.

Doordat de Ventilationjet erg weinig luchtweerstand heeft door het ontbreken van slurven en doordat de lucht niet hoeft te worden verwarmd, is het veel eenvoudiger en goedkoper om de capaciteit van de Ventilationjet ruim te kiezen ten opzichte van een ontvochtigingssysteem met luchtslurven onderin de kas.

Het feit dat de Ventilationjet lucht aanzuigt van boven het scherm (in plaats van direct vanaf buiten) biedt een extra mogelijkheid om de condities van de inblaaslucht gunstig te beïnvloeden. De ruimte boven het scherm functioneert immers als een extra buffer tussen binnen en buiten. Bijvoorbeeld

als de buitenlucht te koud zou zijn om direct in de kas te brengen, kan door een passende sturing van de luchtramen de temperatuur boven het scherm zodanig worden geregeld dat de inblaaslucht een gunstige temperatuur heeft. Omdat er (veel) condensatie tegen het koude kasdek plaatsvindt, hoeft dit niet ten koste te gaan van de ontvochtigingscapaciteit.

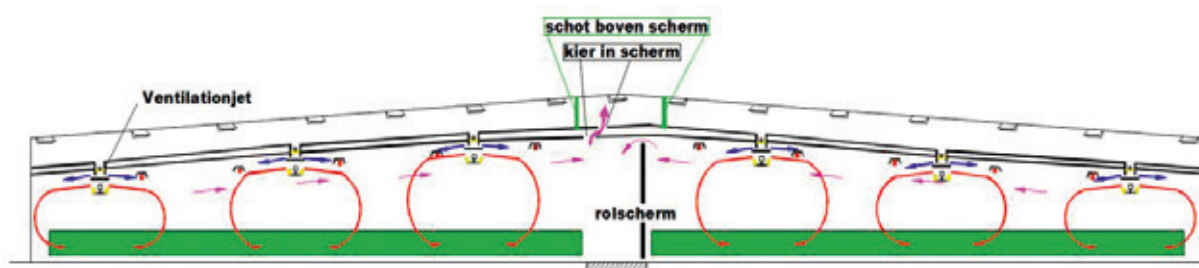
Belichte teelten

Bij belichte teelten onder een gesloten scherm heeft de Ventilationjet naast de genoemde voordelen bovendien als eigenschap dat de warmte van de lampen naar beneden wordt gestuwd. Daardoor hoeft er minder te worden gestookt met een minimumbuis om het verticale temperatuurprofiel te handhaven (de lucht onder in de kas moet iets warmer zijn dan bovenin). Overigens is gebleken dat dit met de Airmix ook prima lukt. Daar is weliswaar een horizontaal blazende ventilator gemonteerd, maar het is mogelijk om ook hiermee een verticaal circulerende luchtstroom te creëren. Door aan-gebrachte geleidestrippen wordt een soort straalstroom met een rollende beweging geproduceerd. De ventilator van de Airmix heeft een vast toerental om ervoor te zorgen dat de straalstroom altijd gelijk is. Door een traploos regelbare klep in de behuizing kan de verhouding tussen lucht van boven het scherm en kaslucht traploos worden geregeld. Eén Airmix met een capaciteit van 5000 m³/uur op elke 250 m² bleek voldoende om in een belichte rozenteelt voldoende te koelen en ontvochtigen bij één volledig gesloten (maar wel relatief veel waterdamp en warmtedoorlatend) scherm.

De Ventilationjet met regelbare motor heeft een capaciteit van 4500 m³/uur. Ook daarvan zijn er ongeveer 40 per hectare nodig in deze toepassing. Doordat koude lucht van boven het scherm wordt ingebracht kan de energiebalans veel vaker in evenwicht worden gehouden zonder kieren te trekken in het scherm. Dat leverde op het tomatenbedrijf met 250 µmol/m².uur belichting een sterke verbetering op van de horizontale temperatuurgelijkheid. Verschillen van 5°C werden gereduceerd tot 2°C. Dat verbetert nog verder bij een beter isolerend scherm.

Situatie waarbij schermen worden gebruikt die niet voldoende poreus zijn

Dit komt voor bij grondgebonden teelten - waarbij de vochtproductie hoger is dan bij substraatteelten - en bij het gebruik van verduistering of bij meerdere lagen schermdoek. In dit geval kan er niet op worden gerekend dat er voldoende vocht door het doek verdwijnt om een gewenste verdamping te handhaven. Daarom wordt er in het midden van de kas op het hoogste punt een apart bedienbare opening of schermkier gemaakt waarmee de lucht naar buiten kan worden afgevoerd. Ook kan ervoor worden gekozen om de lucht weer boven het doek te laten stromen en het vocht te laten condenseren tegen het koude kasdek.

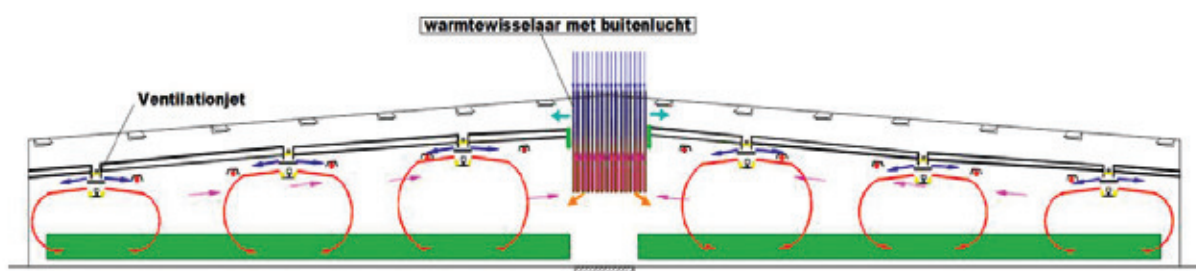


Om de retourstroom van de kaslucht naar boven het scherm te vergemakkelijken en op één plaats te concentreren is boven het middenpad een kier in het scherm aangebracht.

6.3.3 Centrale luchtafvoer en warmteterugwinning

In de situatie dat er gebruik wordt gemaakt van een zoveel mogelijk luchtdicht scherm ontstaat er overdruk onder het scherm door de aangevoerde lucht van de Ventilationjets. Dat levert de mogelijkheid op om vochtige warme lucht op een gecontroleerde manier uit de kas af te voeren. Inmiddels zijn er positieve ervaringen met een systeem om de afgewerkte kaslucht centraal af te voeren via een kier in het scherm boven het middenpad.

Het ligt dus voor de hand om de warmteterugwinning boven het middenpad te installeren. Dat kan door deze lucht af te voeren via een gekoelde lucht/lucht warmtewisselaar die is aangesloten op de buitenlucht en als product gedroogde en afgekoelde kaslucht levert. Deze lucht kan vervolgens boven het doek stromen en weer als aanvoer van de Ventilationjets dienen.



Een mogelijk toekomstige uitvoeringsvorm met warmterugwinning.

6.4 Schermsystemen

Hoewel er in dit boek op verschillende plaatsen al het nodige is geschreven over schermen, lijkt het nuttig om op deze plaats nog een samenvatting van deze complexe materie te geven, vervolgens specifiek in te gaan op de natuurkundige processen die spelen rond de schermen en aansluitend te kijken naar de eisen die aan schermen (in de toekomst) moeten worden gesteld voor een optimaal resultaat.

6.4.1 Het belang en perspectief van schermen

Goed isolerende schermen vormen een belangrijke factor van enerzijds de klimaatverbetering en anderzijds de besparing op warmte-energie binnen Het Nieuwe Telen. De negatieve ervaringen met energieschermen in de jaren tachtig van de vorige eeuw hebben heel lang de toepassing ervan tegengehouden, zeker van een tweede of zelfs derde scherm. Maar nu de sector meer begrijpt van de fysiologische en natuurkundige achtergronden van het goed omgaan met een scherm, zijn schermen bezig met een revival. Van noodzakelijk kwaad zijn het nu instrumenten geworden die helpen om een betere gewaskwaliteit en hogere producties te halen. Verreweg de grootste fout die kan worden gemaakt bij het inzetten van schermen, is het gebruik van een schermkier. Dat leidt tot onnodige lokale koude en vochtige plekken. Een andere grote fout is het te laat sluiten of te vroeg openen van de schermen waardoor door stralingsverlies naar de hemel de kop van de planten zodanig afkoelt onder de kastemperatuur dat langdurige condensatie en daarmee schimmelziekten ontstaan. Ook wanneer het buiten relatief warm is.

Zodra de buitentemperatuur onder de kastemperatuur komt, kan er al worden geschermd. Een goed schermsysteem wordt dus gebruikt zonder kieren of met alleen een kier in het bovenste scherm zodat kouval wordt vermeden en is meer uren gesloten dan telers vanouds gewend zijn. Behalve gebruik in de nacht neemt ook het gebruik van een energiescherm overdag toe. Naast energiebesparing levert dat als voordeel op dat er een zeer gelijkmatig klimaat ontstaat dat optimaal inspeelt op de beschikbare hoeveelheid licht. De plantendelen koelen in de nacht minder af en hoeven niet nat te

slaan als het scherm bij zonlicht gesloten blijft, zolang er wordt gezorgd voor voldoende vochtafvoer.

De overgang van nacht naar dag of andersom verloopt zonder ongewenste en veel gewasproblemen veroorzakende temperatuursprongen bij het abrupt openen van het nachtscherm. Ook hoeft het verwarmingsnet niet snel te worden gevuld met water dat even later, als het nachtscherm sluit of de zon in kracht wint, te warm blijkt te zijn en tot een ongewenst hoge kasttemperatuur leidt.

Ervaringen met het toepassen van HNT laten zien dat er op deze manier uitstekende teeltresultaten worden bereikt met een lage verwarmingscapaciteit waarin ook geen piekvragen voorkomen. Daarmee is het mogelijk om met lagere buistemperaturen en een kleinere gasaansluiting te werken. Daarmee verdient een extra scherm zich al deels terug. Al met al kan er een fors aantal uren meer worden geschermd zonder productieverlies. Er kan minimaal 3000 uren en maximaal 6000 uren per jaar worden geschermd, hetgeen 34-68% van het totale aantal uren in een jaar is.

Binnen Het Nieuwe Telen worden energieschermen dus primair toegepast om het groeiklimaat voor de plant te verbeteren. Energiebesparing is geen doel op zich, maar als het goed is een logisch gevolg. Voorwaarden voor het toepassen van schermen zijn altijd het verzorgen van voldoende luchtbeweging en een doelmatige wijze van vochtafvoer. Dat zorgt voor voldoende gewasverdamping en helpt mee bij het vereffenen van horizontale temperatuur verschillen.

Door de genoemde factoren op de juiste manier te combineren ontstaan nieuwe perspectieven voor energiezuinige klimaatbeheersing. In de eerste plaats ontstaat er de mogelijkheid om zonder vochtproblemen zeer dichte schermen of folies te kiezen. Daardoor kost het verwarmen in de nacht zo weinig energie dat het interessant wordt om de gewenste etmaaltemperatuursom bij voorkeur in de nacht te realiseren.

In de tweede plaats kunnen de schermen in de toekomst veel intelligenter worden ingezet. Bijvoorbeeld doordat in combinatie met de geforceerde luchtbeweging relatief snel temperatuurveranderingen kunnen worden gerealiseerd, zonder dat dit veel energie kost.

Onder het gesloten scherm kan met lage capaciteit en laagwaardige warmte immers veel worden bereikt. Dat betekent dat het niet meer nodig is om al heel vroeg in de nacht naar de ochtendtemperatuur op te stoken. Ook is het mogelijk om voor het tweede scherm een heldere geperforeerde folie te kiezen die pas open gaat wanneer de zon voldoende kracht heeft om de kas van boven af te verwarmen. Omdat juist de ochtenduren rondom zonsopgang de meeste energie vergen is er op die wijze een grote energiebesparing te behalen.

6.4.2 Vocht en energietransport door het scherm

Welke eigenschappen moet een scherm hebben en welke eisen worden daaraan gesteld? Voordat deze vragen kunnen worden beantwoord, is het goed nader in te gaan op het vocht- en energietransport door het scherm en de manieren waarop de energiestromen/verliezen uit de kas kunnen worden verminderd.

1. Convectieve verliezen, veroorzaakt door het temperatuurverschil onder en boven het doek en de geleiding door het scherm heen. Deze verliezen worden groter bij toenemende luchtsnelheden boven en/of onder het doek. De geleiding door het schermmateriaal is meestal geen invloedrijke factor omdat het materiaal zo dun is dat de warmte er makkelijk doorheen stroomt. Dat verandert alleen wanneer er een laagje stilstaande lucht aan het oppervlak wordt toegevoegd zoals we kennen van dubbel glas of wanneer die laag stilstaande lucht ontstaat door een gebrek aan luchtbeweging onder of boven het scherm. Ook twee doeken die op elkaar liggen, zoals bij verduistering, kunnen een heel dun laagje stilstaande lucht opsluiten waardoor de isolatiewaarde wordt verbeterd.

2. Een bijzondere vorm van convectieve verliezen zijn de luchtstromen door het scherm heen. Dat kan worden veroorzaakt door porositeit van het schermdoek of door lekkende aansluitingen aan de tralies of de gevels. Samen met de lucht verdwijnt ook waterdamp uit de kas waardoor er sprake is van zowel verlies aan voelbare als aan latente warmte. Daardoor is deze component een grote verliespost. Het gaat hier om niet-regelbare of onbewuste ventilatie.
3. Bewuste ventilatie daarentegen is wel regelbaar maar zeker ook een grote verliespost. Alle warmte die door de planten en eventueel de kasgrond wordt omgezet in waterdamp kan als verloren latente energie worden beschouwd, zolang die waterdamp de kas verlaat door ventilatie. Omdat dan ook kaslucht wordt geventileerd verdwijnt er ook voelbare warmte de kas uit.
4. Stralingsverliezen. Deze post wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen het gewas en de zichtbare objecten rondom het gewas. Omdat de kasbodem meestal dezelfde temperatuur heeft als het gewas, zijn vooral de temperaturen van het scherm en het zichtbare deel van het kasdek van belang voor de verliezen. Als een schermdoek een condenslaag bevat of is voorzien van een aluminium coating zal het de doorgifte van langgolvlige warmtestraling grotendeels blokkeren. In dat geval is voor het stralingsverlies door de plant de temperatuur van het scherm van belang. Die temperatuur is dan vooral afhankelijk van de temperatuur en de luchtbeweging onder en boven het scherm. Als een scherm de warmtestraling deels door laat, dan is de schermtemperatuur een resultante van de temperatuur van het schermdoek en de temperatuur van het glas.
5. Condensatie tegen het scherm. Zodra het scherm onder het dauwpunt komt zal er vocht condenseren. Bij condensatie van waterdamp komt warmte vrij die deels in de kas blijft, maar deels ook naar buiten verdwijnt omdat het scherm warmer wordt en dus aan de bovenkant meer warmte gaat afgeven.

Geleidingsverliezen

Convectieve energie door geleiding wordt vooral tegengehouden door laagjes stilstaande lucht. Daarvoor zijn een of meerdere spouwen nodig van 10-15 mm dikte. Is de spouw dikker dan bestaat er meer kans op luchtstromingen binnen de spouw die het isolerende effect verkleinen. In feite zijn bestaande schersystemen met twee schermen en daartussen een spouw van meer dan 10 cm dus niet optimaal. Elke extra spouw verhoogt de 'weerstand' voor warmteverlies. Het effect op de totale warmtestroom die wordt doorgelaten door meerdere lagen kan worden berekend op basis van de samengestelde geleidbaarheid van de lagen, de waarde k_{totaal} . Dat verloopt volgens de volgende formule:

$$k_{\text{totaal}} = 1 / (1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_3 + \dots)$$

Stel dat de k-waarde van elke laag $6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ bedraagt, dan is de k-waarde bij twee lagen dus: $1/(1/6+1/6)=3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. en bij 3 lagen nog $1/(1/6+1/6+1/6)=2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Hieruit blijkt dat het effect van een extra laag steeds minder wordt.

De warmtestroom bij drie lagen is dan bij een kastemperatuur van 20°C en een buitentemperatuur van 10°C : $2 \cdot (20-10) = 20 \text{ W/m}^2$ en bij twee lagen 30 W/m^2 .

Het materiaal dat de spouw omvat heeft ook invloed op de isolatiewaarde. Als dit materiaal zelf ook een laagje stilstaande lucht bevat verlaagt dit immers ook de k-waarde op dezelfde manier.

Bestaat een van de schermdoeken bijvoorbeeld uit een verduisteringsdoek waarin feitelijk twee lagen doek op elkaar zijn gelegd met daartussen een heel dun laagje stilstaande lucht en heeft dit doek zelf een k-waarde van bijvoorbeeld $9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, dan is k_{totaal} bij twee spouwlagen: $1/(1/6+1/6+1/9)=2,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en de bijbehorende warmtestroom dus $22,5 \text{ W/m}^2$.

Ventilatieverliezen

De meeste waterdamp verdwijnt uit de kas door ventilatie, via kieren of poriën in het scherm of via een ontvochtigingssysteem. Ventilatie betekent feitelijk dat kaslucht met een bepaalde temperatuur en RV wordt uitgewisseld tegen buitenlucht met een andere temperatuur en RV. Het verschil in warmte-inhoud van die twee soorten lucht is het energieverlies dat vervolgens door de buizen weer moet worden gecompenseerd.

Bij luchtbehandelingskasten die zorgen voor ontvochtiging wordt die warmte geleverd door een warmtewisselaar. Er is ook een indirecte vochtuitwisseling via condensatie op het doek. Omdat ventilatie gepaard gaat met veel energieverlies moeten de verschillende wegen waarlangs ongecontroleerd vocht verdwijnt worden aangepakt. Alleen op die manier kan er sprake zijn van gecontroleerde vochtafvoer. Binnen HNT worden de verdampingsverliezen tijdens de stookperiode beperkt door daar waar mogelijk de verdamping te beperken, de onbeheersbare lekverliezen weg te halen en de vochtafvoer exact te regelen. Feitelijk worden schermkieren verbannen omdat deze een slecht regelbare ventilatie opleveren. Wat betreft de gewasverdamping is uit onderzoek gebleken dat het in de nacht beter is om een constante lage verdamping in stand te houden dan een wisselend hoge, lage en soms zelfs wegvallende verdamping. Bijvoorbeeld als gevolg van kouval door een schermkier.

Voor onbelichte teelten volstaat $10\text{--}20 \text{ g/m}^2\cdot\text{uur}$. De warmte benodigd om $20 \text{ g/m}^2\cdot\text{uur}$ te verdampen bedraagt 14 W/m^2 . Dit wordt latente warmte genoemd, omdat deze bij condensatie eventueel weer kan worden vrijgemaakt. Als de kaslucht waarin deze waterdamp is opgenomen door het doek naar buiten verdwijnt, is er nog eens een afvoer van 12 W/m^2 aan voelbare warmte. In die zin is vocht-afvoer zonder luchtuitwisseling door condensatie tegen het scherm, transport via vezels door het scherm en aan de bovenkant weer verdampen een energiezuinige methode om vocht af te voeren. Nu is de verdampingswarmte strikt genomen geen vermijdbare verliespost. Zonder dat ontwikkelen de planten immers niet goed. Wel is het denkbaar om deze warmte binnen de kas terug te winnen met een ontvochtigingsapparaat, hoewel de investeringsruimte daarvoor niet groot is.

Als er geen schermkieren mogen worden gebruikt zijn er twee keuzes mogelijk voor een systeem om het lage verdampingsniveau in de nacht te handhaven. De eerste is het kiezen van een schermmateriaal dat de gewenste hoeveelheid waterdamp door laat. De tweede is het aanschaffen van een installatie voor ontvochtiging.

In beide gevallen is de vraag wat de optimale hoeveelheid waterdamp is die het scherm moet doorlaten. Moet dat altijd groter zijn dan de gewenste verdamping of in elke gebruikstoestand juist precies evenveel als de gewenste verdamping en niet meer dan dat? De hoeveelheid vochttransport door een scherm heen kan theoretisch worden geregeld door de condities onder en boven het scherm apart te sturen. Boven het scherm met de stand van de luchtramen en onder het scherm met de kas-

temperatuur. Dat laatste betekent wel dat het dan niet mogelijk is om in de nacht de kasttemperatuur sterk te laten dalen. Daarmee zou je de stuurmogelijkheden juist verkleinen. Er zijn goede resultaten behaald met het ruim luchten boven een volledig gesloten enkel scherm. Daarmee kan een groot deel van het jaar 10-20 gram/m²/uur worden afgevoerd zonder kieren. Bij gebruik van twee doeken neemt de hoeveelheid vocht die door het scherm pakket kan worden afgevoerd sterk af en kan dus te laag worden. Bij sommige poreuze doeksoorten lukt het nog wel om voldoende vocht af te voeren met ruim luchten boven een 100% gesloten scherm. Lukt het echter niet, dan kan nog wel een kier worden getrokken in het bovenste doek zodat de vochtdoorlatendheid groter wordt zonder teveel problemen met kouval te introduceren. Dat werkt echter alleen gunstig wanneer het onderste doek weinig lucht doorlaat. Is dat doek erg poreus, dan laat dit veel vocht door zodat het bovenste doek zoveel condensatie vertoont dat er grote problemen met druipt ontstaan. Ook is waargenomen dat bij wind de warme kaslucht door beide doeken heen de kas uit wordt gezogen. Op een andere plek in de kas treedt dan kouval op. Er zijn nog wat andere complicerende factoren bij deze stuurmethode van ruim luchten boven een scherm. Als een scherm doek nat slaat krijgt het andere eigenschappen dan een droog doek en de poriegrootte verandert tijdens de levensduur van een doek. De hoeveelheid ventilatie is dus niet constant. Op zich kan de teler aan het verloop van het absoluut vocht onder het doek wel zien of het genoeg vocht doorlaat en de strategie daarop aanpassen. Maar als eenmaal te veel lek is ontstaan, zal het energieverlies vanaf dat moment altijd meer zijn dan nodig.

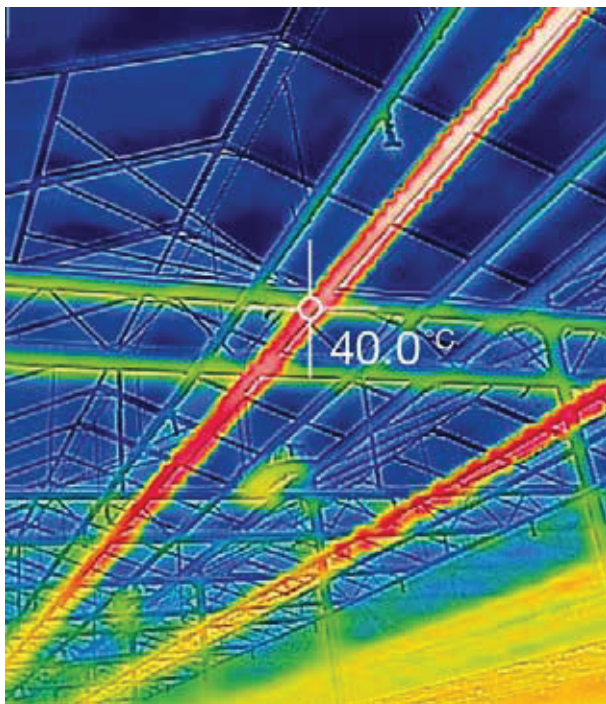
Bij gebruik van belichting of het gesloten houden van een scherm in de ochtenduren neemt de verdamping zoveel toe dat er niet meer voldoende vocht door het scherm heen wordt afgevoerd zonder een kier te trekken. Het kiezen van een doek met grotere vochtdoorlaat, bijvoorbeeld door het weglaten van bandjes, blijkt in de praktijk ook geen goede optie. Ten eerste is de nachtverdamping dan altijd hoger dan noodzakelijk, gepaard gaande met onnodig energieverlies. Ten tweede worden de poriën dan zo groot dat kouval over het hele oppervlak van het scherm optreedt. Daarom kan beter worden overgestapt op een combinatie van een weinig waterdamp doorlatend of zelfs volledig dampdicht scherm in combinatie met een mechanische ventilatie met een regelbare (grotere) capaciteit. Als bij de mechanische ventilatie zowel de voelbare als de latente warmte kan worden teruggewonnen, kan beter altijd een dampdichte folie worden toegepast.

Het lage verdampingsniveau van een onbelichte teelt van 10-20 g/m².uur kan worden gehandhaafd met een ontvochtigingssysteem met een luchtdebiet van 5-10 m³/m².uur. Voor belichte teelten onder een dicht scherm in de nacht gelden hogere verdampingswaarden die afhankelijk zijn van het belichtingsniveau. Bij 180 µmol/m².s belichting in een rozenteelt blijkt een ventilatiedebiet van 20 m³/m².uur voldoende om in de nacht een enkel scherm volledig gesloten te houden op voorwaarde dat de teler hierbij een iets hogere temperatuur accepteert en compenseert met lagere temperatuur op een ander moment van de dag. Bij een dubbel scherm moet dat debiet nog verder omhoog, omdat het scherm pakket zelf te weinig doorlaat.

Voor geweven en gebreide doeken bedraagt de luchtuitwisseling 0,1-0,3 m³/m².uur per graad temperatuurverschil onder en boven het doek. Deze waarde is afhankelijk van de luchtsnelheden onder en boven het doek en de ouderdom van het doek. Deze getallen gelden voor één laag doek. Dus bij een temperatuurverschil van 10°C verdwijnt er tussen 1-3 m³/m².uur lucht door het doek heen. Elke laag die wordt toegevoegd vermindert de luchtuitwisseling. Eén laag dichte folie volstaat om deze uitwisseling naar nul te krijgen. Een luchtuitwisseling van bijvoorbeeld 3,0 m³/m².uur bij een kasttemperatuur van 18°C en een RV van 85% (AV= 13 g/m³) en een buitentemperatuur van 8°C en 80% RV (AV= 6,6 g/m³) levert een warmteverlies op van ongeveer 23 W/m². In deze situatie zal 3*(13-6,6)= 19,2 g/m².uur vocht worden afgevoerd.

Veel schermmaterialen transporteren het vocht dat tegen de onderkant van een koud schermdoek condenseert via vezels naar de bovenkant van het doek waar het weer verdampt. Aan de bovenkant van het scherm verdwijnt dan alleen de verdampingswarmte omdat er geen luchtuitwisseling is en dat kost ongeveer 13 W/m^2 voor $20 \text{ g/m}^2\cdot\text{uur}$ vochtafvoer. Theoretisch hoeft de afvoer van de lage nachtverdamping bij één of zelfs meerdere volledig gesloten schermen weinig problemen op te leveren. In de praktijk blijkt dat de hoeveelheid vocht die daadwerkelijk moet worden afgevoerd groter is door verdamping vanuit de ondergrond of door lekke kassen. Als eerste stap moet dit probleem worden aangepakt voordat wordt besloten om een schermdoek te kiezen dat meer vocht doorlaat.

Stralingsverliezen



Stralingsverliezen worden tegengegaan door coatings die langgolvlige warmtestraling reflecteren zoals aluminium. Overigens heeft een laagje condens een overeenkomstig effect. Maar daarbij moet wel worden bedacht dat in een schermdoek dat uit één laag bestaat een aluminium laagje alsnog koud wordt door de convectieve verliezen en de plant dus toch nog een koude 'hemel' ziet. Bovendien zal de bovenkant van het aluminium laagje weer uitstralen naar bijvoorbeeld het koude glas en ook daardoor extra afkoelen. Dat kan worden voorkomen met een zogenaamde anti-emissie coating.

Nog beter is om een aluminium laagje te combineren met een spouw met stilstaande lucht om zodoende de hemeltemperatuur voor de plant echt hoger te krijgen. Ook helpt het om

twee lagen reflecterend materiaal te hebben zodat de uitstraling van het onderste laagje weer wordt gereflecteerd door de bovenste aluminium laag. De kwaliteit van het reflecterende materiaal is ook van belang. Wat voor het oog reflecterend lijkt hoeft dat helemaal niet te zijn voor langgolvlige straling. De reflectiekwaliteit hangt feitelijk samen met de hoeveelheid aluminium en de vraag of die laag gecorrodeerd is. Om die reden worden goede coatings altijd bedekt met een coating die corrosie tegengaat.

Een aparte uitdaging is het dagscherm, een energiescherm met hoge lichtdoorlatendheid. Dat wordt in HNT steeds meer ingezet om de overgang nacht-dag veel geleidelijker te laten verlopen. De eis om deze schermen zoveel als mogelijk PAR-licht te laten doorlaten staat op gespannen voet met de eis om juist zo weinig mogelijk warmtestraling naar buiten door te laten. Een helder PE folie laat bijvoorbeeld 81% PAR door maar ook 40-60% langgolvlige warmtestraling (FIR). Maar zodra er een condensfilm op de folie verschijnt komt er nagenoeg geen FIR straling meer doorheen. Daarmee krijgt het dezelfde eigenschappen als glas dat ook geen FIR door laat. Een egale condensfilm is dus gunstig voor de isolatiewaarde en een dergelijke film verhoogt ook nog eens de doorlating van PAR licht. Echter, wanneer deze condensfilm verandert in druppels verlaagt dit juist de PAR doorlating. Vandaar dat een goede anti-condens coating op een PE folie - die niet zoals de naam suggereert condens, maar druppels voorkomt - van groot belang is.

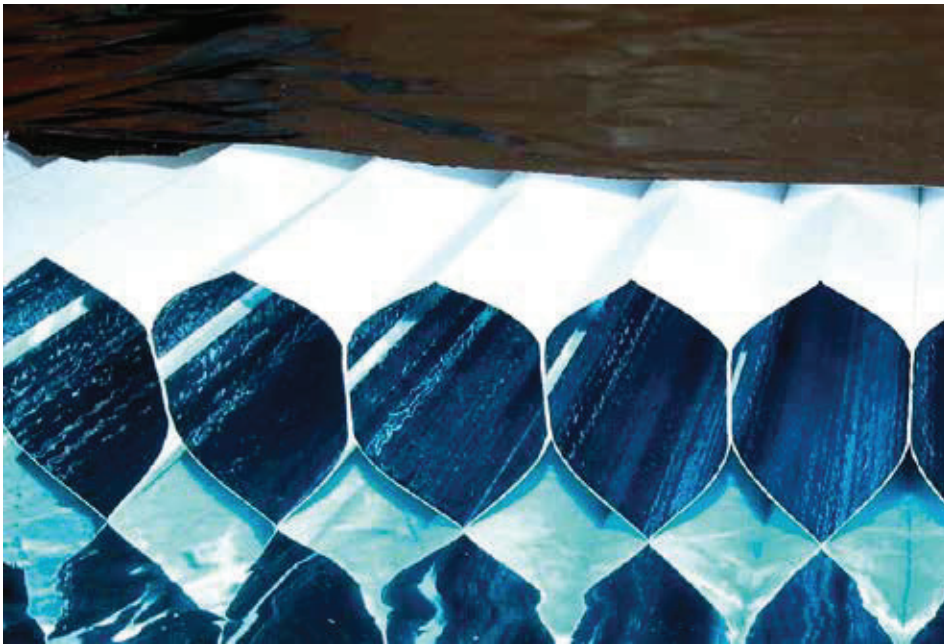
Of er condens ontstaat hangt af van de temperatuur van het schermdoek en de kascondities. Bij 18°C en 85% RV ligt het dauwpunt op 15,4°C en bij 92% RV op 16,7°C. Of bij 15°C en 92% RV op 13,4°C. In de praktijk blijkt er bij enkele folieschermen een groot deel van de tijd condens op het scherm zitten. Ontvochtigen van de kaslucht kan dit voorkomen, maar eigenlijk is dat dus niet gunstig voor het energieverbruik. Meer schermlagen vermindert de kans op condens, maar dan is het verstandig om minimaal één FIR reflecterende laag te hebben om de stralingsverliezen door een droog scherpakket te beperken. Uit praktijkervaringen blijkt ook dat meer lagen schermdoek eerder leidt tot meer druipproblemen dan minder. Dat komt hoogst waarschijnlijk doordat het boven het scherm zo koud wordt dat er extra water condenseert op het kasdek en vervolgens op het schermdoek druipt. Dat levert ook problemen op met algengroei op het doek.

6.4.3 De eigenschappen van het ideale scherm

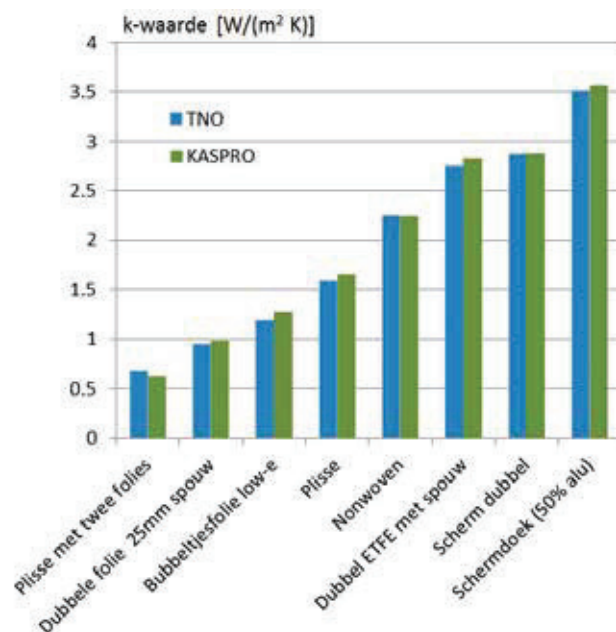
Hoe ziet nu een ideaal schermstelsel er uit? Door TNO en Wageningen UR Glastuinbouw is onderzoek gedaan naar de isolatiewaarde van een aantal denkbare combinaties van nu reeds verkrijgbare materialen. Daaruit kwam het volgende beeld:

Sample	K totaal [W/m ² K]
Plissé met twee folies	0.68
Dubbele folie met 25 mm spouw	0.95
Bubbeltjesfolie met lage emissie	1.19
Plissé	1.59
Nonwoven	2.26
Twee lagen ETFE met spouw	2.75
Schermdubbel	2.87
Schermdoek (50% alu)	3.51
Papierzwart	3.56

Tussen een dubbel energiescherm van de huidige generatie en een plisséscherm zit nog een enorm gat in isolatiewaarde. Het plisséscherm bestaat uit twee lagen met elkaar verbonden kokers folie die aan de binnenzijde zijn voorzien van een hoogreflecterende laag en van een coating met een lage emissie (uitstraling) aan de buitenzijde.



Isolatiewaarde zegt op zich niet alles. Het besparingseffect bestaat immers uit de isolatiewaarde vermenigvuldigd met het aantal uren dat een scherm wordt gesloten. Daarom is op basis van de genoemde materialen gesimuleerd wat het energieverbruik zou zijn voor een heel jaar, uitgaande van de voorwaarde dat de nachtelijke verdamping laag wordt gehouden. Dat levert het volgende beeld op.



De k-waarde van een dubbel huidig schermdoek van 2,7 W/m².K kan dus nog verder verlaagd naar 0,7 W/m².K. Dit plaatje geldt voor de nachtsituatie, maar kan ook worden gemaakt voor de uren overdag. Alleen zijn dan andere schermtypen nodig. Uit dit plaatje kan een goed beeld worden verkregen van de eisen waaraan het ideale scherm voor de nacht moet voldoen en de potentie aan nog extra te halen energiebesparing ten opzichte van de huidige praktijk:

1. Meerdere dunne lagen stilstaande lucht voor een minimale convectieve overdracht;
2. Meerdere lagen hoogreflecterende coatings voor een minimaal verlies aan langgolvlige straling en het reflecteren van lamplicht;

3. Een coating met een lage emissie aan de bovenzijde om stralingsverliezen naar de hemel te beperken;
4. Luchtdicht;
5. Niet meer damp doorlatend dan $20 \text{ g/m}^2\cdot\text{uur}$ of zelfs geheel dampdicht bij terugwinning van latente warmte.

Voor dagschermen komt daar nog bij:

1. Maximale doorlating van PAR om zoveel mogelijk schermuren te kunnen maken;
2. De dampdoorlatendheid of afvoercapaciteit kan worden gebaseerd op de gedachte dat een dag scherm zo lang dicht wordt gehouden tot er geen warmtevraag meer is. Globaal is dat bij 250 W/m^2 buitenstraling. Daarbij kan een verdamping worden verwacht van ongeveer $200 \text{ g/m}^2\cdot\text{uur}$.
3. Condensatie is geen probleem zolang er maar geen druppels aan het scherm hangen.

7 Toekomstperspectief



In dit hoofdstuk wordt stilgestaan bij de vraag waar we nu staan met het Nieuwe Telen en wat de logische vervolgstappen lijken. Het Nieuwe Telen is een voortgaand proces waarvan de richting wordt aangegeven door natuurkundige en plantfysiologische principes. Wat we hebben geleerd is dat een plant een heel andere energiehuishouding heeft dan de mens en dat ons gevoel van welbehagen geen leidende factor kan zijn voor optimale omstandigheden voor een plant.

In die zin heeft Het Nieuwe Telen ook laten zien dat oude teeltmodellen met strakke regels op het gebied van beheersing van temperatuur, vocht en toelaatbare lichtsommen zonder problemen los kunnen worden gelaten zolang wordt geredeneerd vanuit zowel de energiebalans als de plantbalans. De resultaten bij telers bevestigen dat beeld iedere dag weer. Sommigen ervaren dit als bewijs dat planten veel meer aankunnen dan tot nu toe gedacht, maar dat is feitelijk een wat negatieve benadering. Want daarmee lijkt het alsof nieuwe kritische grenzen worden gezocht, maar het tegendeel is waar. Binnen Het Nieuwe Telen krijgen de planten omstandigheden waarbij ze goed gedijen, ook op de langere termijn. De regelacties die vandaag worden ondernomen, worden altijd tegen het licht gehouden van de toekomstige plantbalans. Meer licht toelaten wordt dan investeren in een goede plant die ook in de toekomst goede kwaliteit of productie kan blijven leveren.

Het is mooi om te zien dat energiebesparing er dan als vanzelf uit rolt en geen doel op zich hoeft te zijn. Meer gebruik van schermen leverde tot nu toe een betere gewaskwaliteit met als bijproduct 20% energiebesparing. Daarvoor hoefde in veel gevallen niet veel te worden geïnvesteerd. Het overwinnen van angsten over teveel schermen, die een restant zijn van slechte ervaringen in het verleden, is eigenlijk een veel belangrijkere stap in dit proces. Dat lukt omdat dankzij de energiebalans nu veel meer begrip is ontstaan hoe met een scherm om te gaan.

Dat er bij schermen een dood klimaat kan ontstaan met weinig luchtbeweging en te geringe vochtafvoer is onderkend en opgelost door het aanbrengen van ventilatoren in de kas. Bij hele dichte schermen gecombineerd met voldoende toevoer van buitenlucht. Zo is er inmiddels in de praktijk al een hele reeks aan systemen gekomen, beginnend bij het alleen maar meer sluiten van het reeds aanwezige scherm met daarboven een grotere opening van de luchtramen tot bedrijven met drie schermen die tweemaal zoveel uren gesloten blijven dan vroeger, gecombineerd met een systeem voor ontvochtiging.

Omdat de ervaringen met al deze systemen zonder meer positief zijn, kan het toekomstperspectief worden geschetst door de lopende innovaties in deze richting te extrapoleren. In de volgende paragrafen is het perspectief geschetst voor verschillende onderdelen. Dat is voor de overzichtelijkheid, maar het kan niet genoeg worden benadrukt dat er een sterke interactie is tussen deze onderdelen. Dit pleit voor een systeembenadering. Anders gezegd, het optimale resultaat kan alleen worden bereikt als alle onderdelen op elkaar zijn afgestemd.

7.1 Perspectief plant/gewas

7.1.1 Toekomstperspectief op kortere termijn

Geredeneerd vanuit de verschillende plantbalansen liggen er nog uitdagingen op het gebied van de plantbalans. Te denken valt aan:

Beheersing van de plantbalans in relatie tot lichtsom en (buiten) temperatuur. Het doel moet hierbij zijn het optimaliseren van de jaarproductie en het afstemmen van die productie op de vraagpatronen in de markt. Bijvoorbeeld: midden in de zomer als meerproductie weinig (meer) oplevert, de productie beheersen ten gunste van een sterk gewas waarmee dan in de nazomer/herfst een late productiepiek kan worden gerealiseerd. Ook het beheersen van onbalans tijdens donkere perioden of perioden met extreem hoge buiten temperaturen kan een positieve bijdrage leveren.

Hierbij wordt naast sturing van het kasklimaat ook de gewasbehandeling steeds belangrijker, omdat een juiste strategie bij onder andere bladplukken, maar ook bij het oogsten een grote invloed heeft op de uniformiteit van de plantbelasting. Bijvoorbeeld bij roos kan de juiste knipstrategie (onderdoor versus bovendoor knippen) leiden tot een betere en uniformere kwaliteit en productie. Maar dit geldt net zo goed voor vruchtgroenten.

Een zeer belangrijk perspectief van Het Nieuwe Telen is de ontwikkeling van teeltmethoden waarbij de kastemperatuur mee beweegt met de buitenomstandigheden en in het algemeen hoger kan worden dan nu gebruikelijk. Dit maakt het namelijk mogelijk om met aanzienlijk minder en goedkopere hulpinstallaties en met minder fossiele brandstoffen het ideale groeiklimaat te realiseren.

7.1.2 Toekomst visie op langere termijn

Met Het Nieuwe Telen wordt de gewasbalans aangestuurd vanuit een lage plantbelasting/sinkgrootte, waardoor er kan worden geteeld met hoge teeltsnelheid in combinatie met minimale ventilatie (semi gesloten kas principe). In de klimaatregeling worden naast PAR-licht de luchtvochtigheid en CO₂ leidend om de aanmaak van drogestof door fotosynthese te maximaliseren. Dit zijn klimaatomstandigheden die voor de mens juist niet erg aantrekkelijk zijn.

Door aanpassing van het klimaat moet er dus aandacht zijn voor de invulling van de arbeid. Op de eerste plaats heeft dit betrekking op de werktijden. Bijvoorbeeld vroeger op de dag beginnen en vroeger stoppen, meerdere mensen tegelijk in de kas, arbeid spreiden over meerdere werkdagen. Op de tweede plaats inzet van arbeid om de plantbalans te sturen. Er wordt meer arbeid vooraf gestoken in het creëren van plantbalans, maximale lichtbenutting en minimale vochtproductie in de nacht. Denk hierbij aan bladverdeling, bladoppervlak, stengeldichtheid, vruchten per tros en/of per plant, sturing van zetting enzovoort. Vervolgens kan men dan arbeid besparen in het oogst- en verwerkingstraject. Er kan sneller worden geoogst door een overzichtelijker gewas met homogene, en desgewenst grote vruchten van goede kwaliteit.

Robotisering vormt een volgende stap om de inzet van mensen in de kas te beperken en arbeid over 24 uur en meerdere dagen te spreiden. Dit bevordert bovendien de plantbalans. Met de inzet van robots die over of tussen het gewas bewegen, kunnen de planten mogelijk beter worden verdeeld in de kas waardoor de lichtbenutting nog verder toeneemt. Uiteindelijk komt de mens niet of nauwelijks meer in de kas omdat het gewas naar de verwerkingsruimte komt. Hiervoor moet de plantvorm in vele gevallen wel worden aangepast.

Een volgende stap voor verduurzaming kan een fasegestuurde teelt zijn, eventueel in combinatie met korte mobiele teelten. Inzet van assimilatiebelichting en verwarming kunnen dan per teeltfase nog efficiënter worden ingezet. Ruimte-intensieve teeltfasen (vermeerdering, opkweek) kunnen plaatsvinden in lichtdichte, meerlaagse teeltcellen (gevoed door zonnepanelen) terwijl andere fasen (uitgroei,

afkweek) zich voltrekken in kassen. Met stuurlicht kunnen de plantvorm, de zetting of bloemknopvorming worden beïnvloed.

Voor de veredeling ligt er voor onder meer vruchtgroentegewassen de uitdaging om een open plantmodel te creëren dat geschikt is om bij een hoge temperatuur-lichtverhouding te telen en zich ook leent voor robotisering. Voor andere teelten is een compact robuust gewasmodel gewenst voor efficiënt transport. Een andere uitdaging is om licht en CO₂ efficiënter om te zetten in groei. Daarbij kan worden ingestoken om de werking van het enzym Rubisco te verbeteren waardoor de fotorespiratie omlaag gaat en de drogestofproductie toeneemt. Mogelijk kan dit in de verre toekomst ook worden bereikt door gewassen te veredelen met een C4 metabolisme.

Op gebied van CO₂-voorziening is nog veel te doen. Door de beperking van de ventilatiesnelheid daalt de dosering van CO₂ in kg/ha.uur rigoureus, terwijl het CO₂-niveau in ppm in de kas sterk en meer meebeweegt met de instraling. Er worden hogere eisen gesteld aan de zuiverheid van CO₂.

Ondanks de verhoogde teeltsnelheid zal het gebruik van fossiele energie sterk dalen. De CO₂ voorziening wordt daardoor losgekoppeld van de warmtevoorziening. Vanwege de zuiverheidseisen zal wellicht de kwaliteit van verbrandingsgassen onvoldoende zijn. Dit vergt nieuwe CO₂-bronnen en infrastructuur.

Voorheen werd energiebesparing ingestoken op zo koel mogelijk telen. Het Nieuwe Telen heeft het toekomstbeeld 180°C gekanteld, doordat de benadering vanuit de plant aangeeft dat juist een zo hoog mogelijke teelttemperatuur leidt tot maximale groei in combinatie met energiebesparing.

7.2 Perspectief plant/kas monitoring

Optimalisatie van het teeltproces staat of valt met een goede en betrouwbare monitoring van de plantreacties en de kascondities. Op dit moment zijn hiervoor al diverse nuttige sensoren beschikbaar. Zie hoofdstuk 1.4.4 'Meten is weten'. Het is hierbij belangrijk om een onderscheid te maken tussen sensoren die worden gebruikt als onderzoeksinstrument en sensoren die bruikbaar zijn voor de praktijk. Voor de laatste categorie vallen heel wat sensoren af omdat ze te veel onderhoud en naloop vergen, of omdat ze te lokaal meten. Een sensor die aan 1 cm² van 1 blad van 1 plant meet kan zeer interessant zijn voor onderzoekers, maar heeft voor een praktijksituatie weinig meerwaarde.

Sensoren die informatie geven over de energie en waterbalans van het gewas, zoals PAR en plant/bladtemperatuur komen als eerste in aanmerking. En dan bij voorkeur niet van één plant, maar over een wat groter gewasoppervlak van enkele vierkante meters.

Nieuwe sensoren die perspectief bieden zijn warmtebeeldcamera's, waarmee temperatuurverschillen tussen verschillende delen van het gewas zichtbaar worden en netto stralingsmeters in de kas waarmee het effect van uitstraling bij het gewas kan worden gevolgd. Naast inzet van plantsensoren is een goede monitoring in de vorm van gewasregistratie onontbeerlijk. Bij veel teelten is bijvoorbeeld de bepaling van de plantbelasting nog een witte vlek. Het aantal vruchten per m², of het aantal takken/knoppen per m² is echter een belangrijk gegeven voor de sturing op temperatuur-lichtverhouding en daarmee sturing op plantbalans en kwaliteit. Een andere interessante ontwikkeling is monitoring van de luchtkwaliteit, zowel van de kaslucht als de buitenlucht (NO_x, CO en Ethyleen). Dit zal steeds urgenter worden naarmate er meer gesloten wordt geteeld.

7.3 Perspectief kas

Met de huidige generatie kassen zijn weliswaar al flinke verbeteringen te bereiken door het toepassen van Het Nieuwe Telen, maar er zijn ook nog behoorlijk wat beperkingen. Een belangrijk verbeterpunt is de afvoer van condenswater van het kasdek, de goten en andere constructiedelen.

Bij het steeds beter isoleren van de kas door enkelvoudige of dubbele energieschermen ontstaat meer condenswater. Dit wordt in de huidige kastypen vaak onvoldoende afgevoerd, met als gevolg

druipplekken in het gewas, waterophoping op de schermen, enzovoort.

Dit geeft problemen in het gewas, zoals meeldauw en botrytis. Op het scherm zorgt het voor versnelde vervuiling en algengroei, maar ook verminderde lichtdoorlating en extra energieverlies. Anti-condens coatings op de kasonderdelen en de schermen en betere condens afvoersystemen moeten de problemen met druipt verminderen. Ook kunnen de op zich goed geïsoleerde gevels aan de binnenzijde zo koud worden gemaakt dat niet het scherm maar de gevels het koudste punt in de kas worden. Daar is condensafvoer een stuk eenvoudiger.

Door betere isolatie van de gevels en nokschotten, in combinatie met volledig gesloten, meervoudige schermen wordt het bovenste deel van de kas steeds kouder en dat kan schade door bevrozing opleveren. Daarom moet het ophopen van water in de (holle) constructiedelen worden voorkomen, of er moeten speciale voorzieningen worden getroffen om bevrozing tegen te gaan zoals selectieve opwarming van de koude constructiedelen.

Bij vochtafvoersystemen met overdruk, in combinatie met zeer dichte schermen, is er behoefte om lucht uit de teeltruimte op een gecontroleerde manier af te voeren naar boven het scherm, dan wel naar buiten. In de huidige systemen worden hiervoor soms aparte kleppen in de gevel aangebracht. Recent is geëxperimenteerd met een schermkier boven het middenpad, maar daar zijn nog wat vragen te beantwoorden zoals de noodzaak om deze schermkier en de ramen daarboven apart te besturen. Wellicht zijn er mogelijkheden om dit soort voorzieningen te integreren in bijvoorbeeld de staanders.

7.4 Perspectief kasisolatie en schermen

Een uniform kasklimaat en energiebesparing moeten vooral komen door een betere warmte-isolatie van de kas en daarbij spelen energieschermen een essentiële rol. Het uitgangspunt van schermen zonder kieren, maar ook het combineren van meerdere schermen die tegelijk gesloten zijn, stelt nieuwe eisen aan de schermdoeken, maar biedt ook weer nieuwe mogelijkheden. Een vochtdoorlatendheid van 20 g/m².uur in combinatie met een hoge warmte isolatie (lage k- waarde) door meerdere laagjes stilstaande lucht, een hoge reflectie tegen uitstraling en een anti-emissie coating tegen afkoeling naar de hemel, bepalen de kwaliteit van de innovatieve schermen. Daarbij moet de actie gericht zijn op het maken van zoveel mogelijk schermuren. Op dat punt kan met name overdag nog veel gewonnen worden door betere energieschermen die veel PAR doorlaten en een anti-emissie coating hebben.

In combinatie met (mechanische) ontvochtiging komen ook volledig dampdichte schermen in beeld met een zeer hoge isolatie factor. Dat betekent dat ook folies een kans krijgen. In dat opzicht biedt het nieuwe materiaal PVDF grote kansen omdat het lang meegaat, meer licht doorlaat dan glas en warmtestraling beter tegenhoudt dan PE folie.

7.5 Perspectief gewas/kas

Het samenspel tussen de behoeften van het gewas en de mogelijkheden van de kas qua klimaatregeling is in een eenvoudige, goedkope kas sterk afhankelijk van het buitenklimaat. De huidige trends om steeds koeler te telen en 'tegen de natuur in' vraagt om meer voorzieningen om het kasklimaat onafhankelijk te regelen en dus om steeds hogere investeringen in technische installaties en daarmee een hoger energieverbruik. Dit eindigt in kweekcellen met een kunstmatig klimaat, waar de zon niet meer aan te pas komt. Voor sommige partijen is dit de ideale wereld. En voor specifieke gewassen in kleine volumes is dit wellicht ook een goede benadering. Bijvoorbeeld ook als het gaat om het vermeerderen van plantmateriaal. Maar voor de bulkteelt om de wereldbevolking te voeden is dit geen optie.

Daarvoor zijn goedkope en robuuste teeltsystemen de aangewezen weg. Hiervoor ontstaan nieuwe perspectieven door het verhogen van de teelttemperatuur en juist het telen 'met de natuur mee', in combinatie met eenvoudige teeltrecepten met een hoge resultaatzekerheid. Hier moet worden gezocht naar een nieuwe balans tussen temperatuur, lichtsom en plantbelasting.

7.6 Perspectief luchtbeweging en ontvochtiging

Bij de verdere ontwikkeling van hulpinstallaties, zoals het realiseren van luchtbeweging en ontvochtiging, gaat het vooral om een keuze van de juiste natuurkundige principes:

- Luchtbeweging zoveel mogelijk verticaal en lokaal, omdat het verplaatsen van lucht over korte afstand minder energie kost.
- Om diezelfde reden het gebruik van luchtslurven en kanalen als middel voor luchtbeweging in de kas vermijden, alleen inzetten als middel om droge buitenlucht gelijkmatig verdeeld de kas in te voeren.

Inblazen van (buiten)lucht is een effectief middel om vocht af te voeren door een gesloten scherm. Meer isolatie betekent wel dat de aangevoerde hoeveelheid buitenlucht omhoog moet, omdat vochttransport door de schermen heen verdwijnt. Dat hoeft niet tot erg hoge debieten te leiden zolang alle onnodige vochtbronnen zoals verdamping uit de kasbodem worden geëlimineerd en niet de RV maar de gewasverdamping maatgevend is voor de mate van ventilatie. Ook kan er worden gekeken naar een actievere rol van de gevels in het condenseren van vocht, omdat daar condens niet leidt tot druipschade.

Onder volledig gesloten dampdichte schermen kan de behoefte ontstaan aan apparaten om kaslucht te ontvochtigen met terugwinning van latente warmte. Alleen een systeem dat netto meer energie oplevert dan het verbruikt heeft perspectief. Ontvochtiging met behulp van zouten biedt op dit moment als enige methode dit perspectief. Dit geldt met name als de teruggewonnen warmte direct kan worden ingezet. Als de warmte moet worden opgeslagen gaat een flink deel van het voordeel verloren.

Dure opslagsystemen voor laagwaardige warmte hebben geen economische waarde omdat de te behalen energiebesparing laag is. Deze besparing wordt nog lager naarmate de (nacht)verdamping tot het hoogstnoodzakelijke minimum is teruggebracht.

Bij elke hulpinstallatie geldt dat het alleen moet worden ingezet als er geen duurzamer/goedkoper alternatief is. Bovendien moet de capaciteit zorgvuldig worden afgestemd op de behoefte van de plant en de overige omstandigheden, zoals de verschillen in enthalpie en absoluut vocht binnen en buiten de kas. Dat impliceert meer regelbaarheid van ventilatoren. Dit laatste is sterk afhankelijk van de teeltmethodiek en dus zeer interactief met het bovengenoemde punt van hogere teelttemperatuur.

7.7 Perspectief belichte teelten

Voor de belichte teelten is een geheel aparte benadering op zijn plaats. Dit met name omdat onder belichting de gewasverdamping aanzienlijk (een factor 4-8) hoger is dan in het donker, terwijl het verduisteringsscherm gesloten moet zijn om lichtuitstoot te blokkeren.

In veel gevallen is er dan onder het scherm een energieoverschot, met als resultaat een scheve verhouding tussen lichtsom en gemiddelde (etmaal) temperatuur.

Een fundamentele aanpak is hierbij:

- Onnodige bijverwarming (minimum buis) vermijden;
- Juiste keuze van schermdoekmateriaal;
- Forceren van luchtbeweging om de verdamping van het gewas te stimuleren;
- Verticale luchtbeweging om lampenwarmte bij het gewas te brengen;
- Luchtige gewasopbouw om het assimilatielicht optimaal te benutten;
- Koude, droge lucht inblazen om vochtafvoer en koeling te stimuleren;
- Telen met een lagere plantbelasting (minder vruchten of takken/stengels per m²)
- Fase gestuurde teelt (op snee), waardoor alleen in bepaalde fasen van de teelt een hoog belichtingsniveau nodig is. In de andere teeltfasen kan fors worden bespaard op energiekosten.

7.8 Perspectief procesregeling

In de procesregeling is het zaak zo veel mogelijk te gaan sturen op de plantprocessen zelf in plaats van op de kasomstandigheden sec. Bijvoorbeeld in de nacht onder gesloten schermen meer sturen op gewasverdamping dan op vochtdeficit en overdag bij veel instraling meer sturen op huidmondjesgedrag dan op kastemperatuur. Hierbij leveren plantsensoren een bijdrage, met name de planttemperatuurmeting, maar ook instrumenten/modellen om de wateropname te meten of te berekenen en om huidmondjesgedrag in beeld te brengen. Deels zijn deze overigens reeds beschikbaar. Wat nog ontbreekt is een daadwerkelijke meting van de gasbalans in een kas, met name hoeveel CO₂ wordt opgenomen.

Geoptimaliseerde vormen van klimaatregeling zullen rekening houden met de plantbalans via de gewenste verhouding lichtsom/etmaaltemperatuur en daarop anticiperend en corrigerend reageren door de juiste dag- en nachttemperaturen na te streven.

Bij gesloten schermen komt het sturen op vochtafvoer steeds meer centraal te staan. De vochtafvoer moet precies worden afgestemd op de benodigde verdamping van het gewas in gram/m².uur vanwege nutriënten opname (onder andere calcium). In het ene geval door de aansturing van een luchtinblaasinstallatie, in het andere geval door bij een bepaalde specificatie van het schermdoek een vereist verschil in absoluut vocht aan te houden tussen de kaslucht en de buitenlucht, c.q. de lucht boven het scherm. Geoptimaliseerde vormen van procesregeling zullen ook rekening houden met condensvorming en mogelijk druipt van schermen, afhankelijk van de condities in de kas, boven het scherm en buiten. Daarop wordt automatisch de volgorde van sluiten en openen van schermen aangepast.

Een ander veelbelovend aspect is het meer werken met windzijdig ventileren. Zoals in hoofdstuk 3.4.5 is beschreven kan dat een betere beheersbaarheid van het ventilatieproces tot gevolg hebben.

8 Stappenplannen Het Nieuwe Telen in de praktijk

‘Wat niets kost, hoef je ook niet terug te verdienen’

Wim en Gert van Vugt

De basisprincipes van Het Nieuwe Telen vormen een omvangrijk geheel van verschillende plantbalansen en kasbalansen, die ook nog eens allemaal met elkaar samenhangen. Het toepassen van de basisprincipes is daarom een intensieve onderneming. Daarom wordt een stappenplan aangereikt zodat stap voor stap de basisprincipes gaan leven en kunnen worden toegepast in de praktijk. Hiervoor zijn drie sub-stappenplannen ontwikkeld:

- Sturen van de vochtbalans van de kas en de schermen;
- Sturen van de assimilatenbalans en de temperatuur/licht verhouding;
- Sturen van de waterbalans van het gewas en luchten.

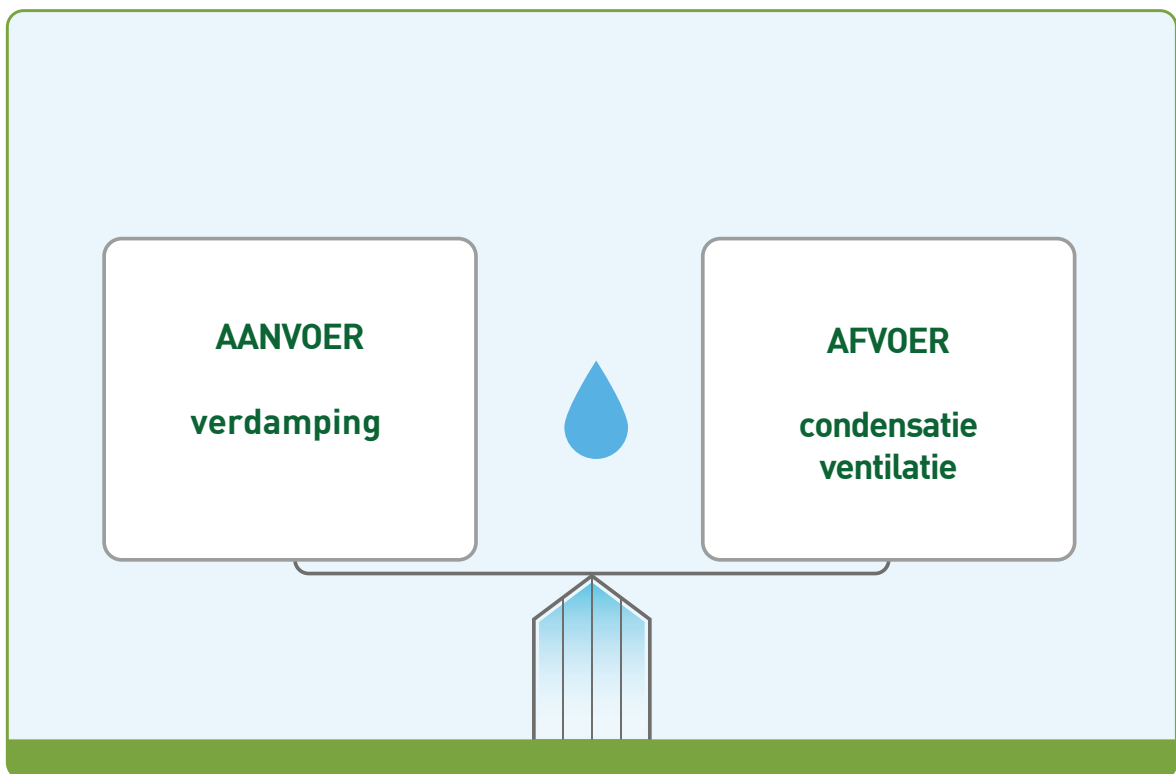
De stappenplannen zijn allen op dezelfde manier opgebouwd in 5 onderdelen:

1. Basisprincipes;
2. Beter meten;
3. Monitoren en interpreteren;
4. Kleine stappen zetten;
5. Teeltstrategie aanpassen.

8.1 Stappenplan: sturen van vochtbalans kas en de schermen

8.1.1 De basisprincipes

Vochtbalans kas: monitoren met absoluut vocht



De aanvoer van vocht in de kaslucht vindt plaats via verdamping van het gewas (en/of substraat) De afvoer van vocht vindt plaats door middel van:

1. Condensatie tegen het koude kasdek. Het temperatuurverschil tussen de kaslucht en het kasdek in relatie tot het dauwpunt is bepalend voor de mate van de afvoer van vocht door condensatie.
2. Ventilatie via de luchtramen en/of buitenlucht die wordt ingeblazen. De grootte van het verschil in Absoluut Vocht van de kaslucht en de buitenlucht is bepalend voor de mate van vochtafvoer via ventilatie.

De vochtbalans van de kas kan worden gevolgd via het Absoluut Vocht-gehalte van de kaslucht (gram/kg of gram/m³)

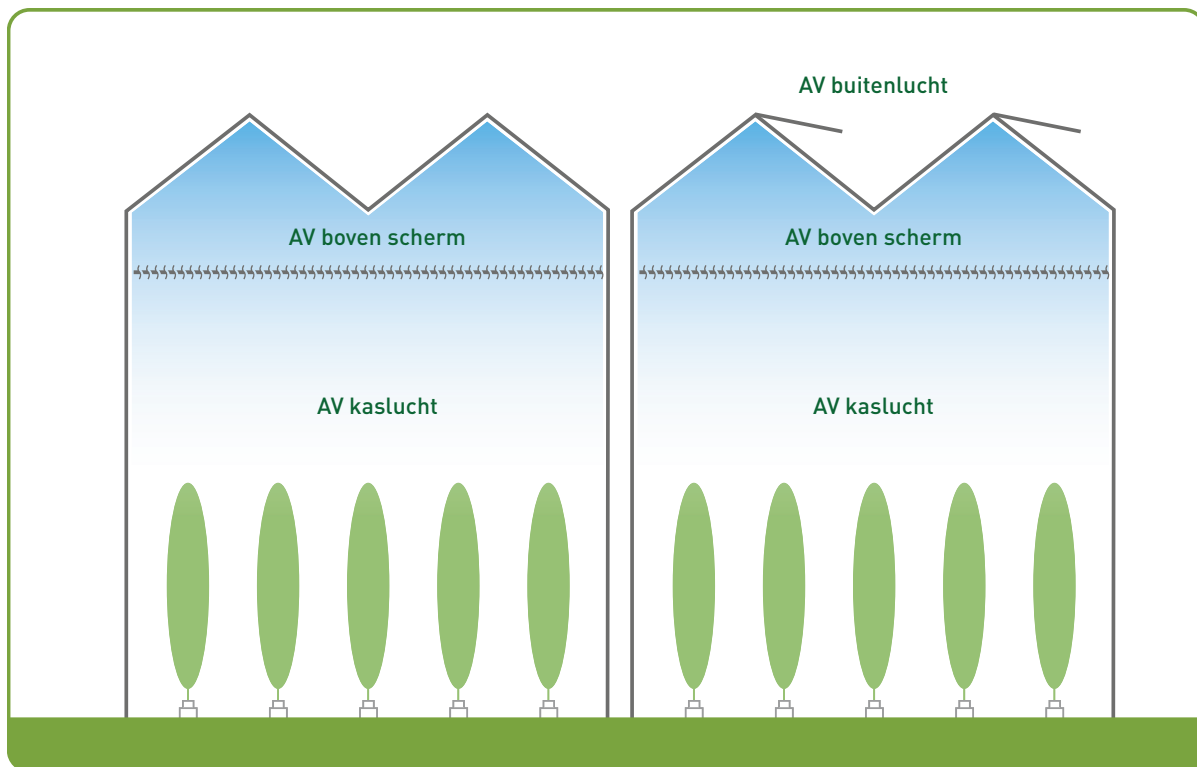
- De kaslucht wordt droger als het Absoluut Vocht gehalte van de kaslucht daalt;
- De kaslucht wordt vochtiger als het Absoluut Vocht gehalte van de kaslucht stijgt;
- De vochtbalans van de kaslucht is in evenwicht als het Absoluut Vocht gehalte van de kaslucht gelijk blijft;
- De vochtbalans van de kas kan in evenwicht zijn bij een lage luchtvochtigheid maar ook bij een hoge luchtvochtigheid.

8.1.2 Beter meten van de vochtbalans van de kas

Om de vochtbalans van de kas goed te kunnen monitoren zal de luchtvochtigheid op meerdere plaatsen moeten worden gemeten.

- In de kaslucht tussen het gewas;
- In de kaslucht boven het scherm;
- In de buitenlucht.

Monitoren vochtbalans



Het verschil in Absoluut Vocht onder en boven het scherm geeft aan hoeveel ruimte er is om vocht af te voeren door het scherm. Het verschil in Absoluut Vocht in de kaslucht onder het scherm en de buitenlucht geeft aan hoeveel ruimte aanwezig is om vocht af te voeren via ventilatie.

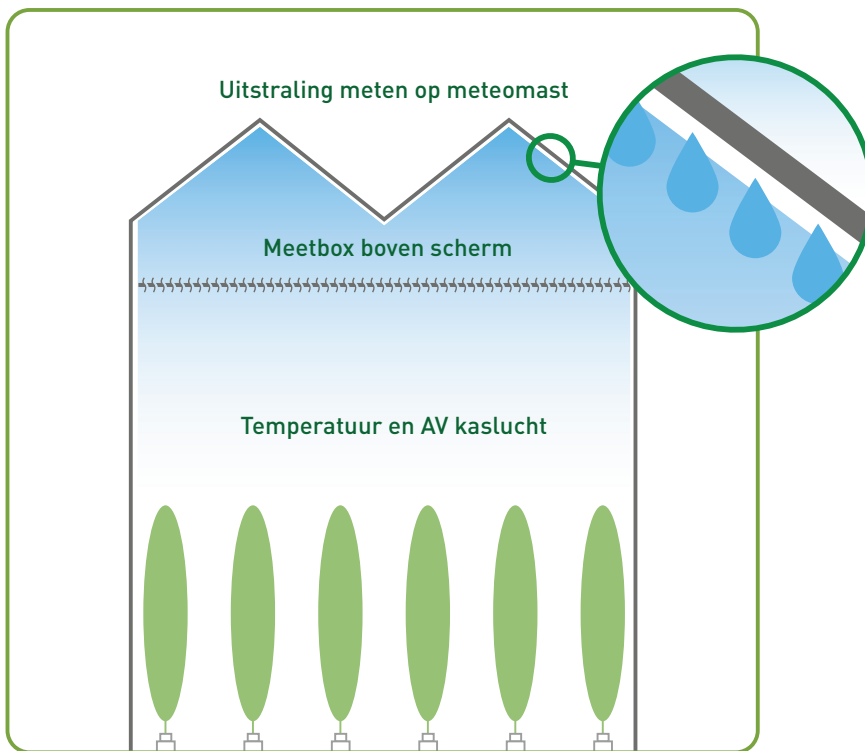
Het verschil in Absoluut Vocht in de kaslucht boven het scherm en de buitenlucht geeft aan of het nog zin heeft om verder te luchten boven het scherm. De meting van het Absoluut Vocht boven het scherm laat de effecten zien van:

- Het sluiten van het scherm;
- Kieren met het scherm;
- Luchten boven het scherm.

Vochtafvoer door condensatie is afhankelijk van het temperatuurverschil tussen de kaslucht onder het scherm en de temperatuur van het kasdek in relatie tot het dauwpunt. Schermen verhoogt de afvoer door condensatie omdat het kasdek kouder wordt als het scherm wordt gesloten. De temperatuur van het kasdek kan worden afgeleid van:

- De meting van de temperatuur boven het scherm;
- De meting van de uitstraling op de meteomast laat zien of het kasdek sneller afkoelt dan de buitenlucht voordat het scherm gesloten is.

Monitoren vochtbalans



8.1.3 Monitoren en interpreteren

Om meer inzicht te krijgen in de vochtbalans van de kas kunnen de volgende items in een grafiek worden gevolgd:

1. Absoluut Vocht van de kaslucht volgen en interpreteren. In deze grafiek kunnen ook worden opgenomen:
 - o Straling;
 - o Kastemperatuur onder scherm;
 - o Kastemperatuur boven het scherm;
 - o Relatieve luchtvochtigheid of Vochtdeficiet;
 - o Dauwpunt van de kaslucht;
 - o Absoluut vocht boven het scherm;
 - o Absoluut vocht buiten;
 - o Buitentemperatuur;

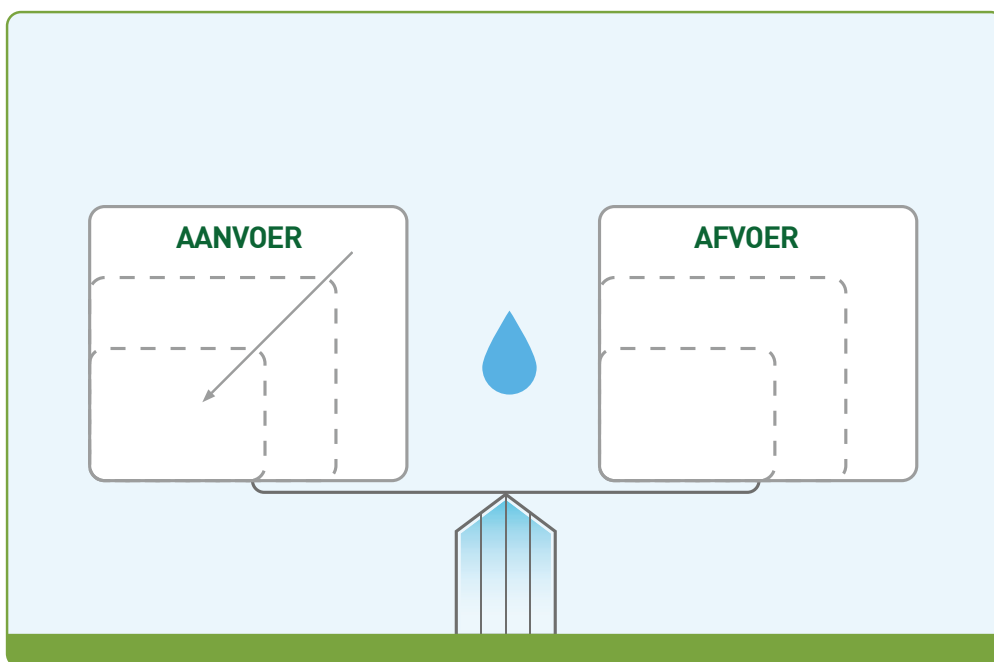
- o Schermstand;
 - o Buistemperatuur;
 - o Raamstand.
2. Absoluut Vocht van de kaslucht onder het scherm ten opzichte van de lucht boven het scherm:
 - o Wat is het effect van het (gedeeltelijk) sluiten van het scherm?
 - o Wat is het effect van luchten boven het scherm?
 - o Wat is het effect van kieren met het scherm?
 3. Absoluut Vocht van de kaslucht ten opzichte van de buitenlucht
 - o Als er geen verschil meer is in Absoluut Vocht in de kas en de buitenlucht, kan geen vocht meer worden afgevoerd door ventilatie. Dit kan worden voorkomen door op tijd de raamstand te beperken zodat een verschil in Absoluut Vocht in stand wordt gehouden. Als het verschil toch te klein is geworden kan door middel van stoken de temperatuur van de kaslucht iets worden verhoogd waardoor de kaslucht weer meer vocht kan bevatten.
 4. Temperatuur van de kaslucht boven het scherm
 - o Ten opzichte van de temperatuur van de kaslucht onder het scherm;
 - o Effect van sluiten van het scherm;
 - o Temperatuurverschil onder en boven het scherm op moment van openen scherm;
 - o Effect van kieren met het scherm;
 - o Effect van luchten boven het scherm;
 - o Effect van uitstraling op temperatuur boven het scherm.
 5. Uitstraling meten en bewust worden

8.1.4 Kleine stappen zetten

8.1.4.1 Vochtbalans sturen in de nacht

Bij Het Nieuwe Telen begint het sturen van de vochtbalans bij het verminderen van de aanvoer van vocht, dus minder energie toevoeren door middel van de verwarming en ook het voorkomen van onnodig water in de grond of de mat.

Vochtbalans kas



Om de vochtbalans van de kas te sturen kan het beste begonnen worden met de aanvoer van vocht (de verdamping) te verminderen.

Minder verdamping, dus vochttoevoer realiseren, kan in verschillende stappen gebeuren:

1. Op de eerste plaats kan worden afgestapt van een minimumbuis met een vaste temperatuur naar een minimumbuis met een vast temperatuurverschil met de kaslucht. Dus als de kaslucht 18°C is en een vast verschil van 10°C wordt gehandhaafd dan zal de buistemperatuur 28°C zijn, als de kastemperatuur 15°C is zal de buistemperatuur 25°C zijn. Door het constante temperatuurverschil is de warmte afgifte - en daarmee de verdamping en dus vochttoevoer - ook constant. Hiermee wordt voorkomen dat de kastemperatuur en de verdamping onnodig worden verhoogd;
2. Vervolgstep kan zijn om de minimum buis op een later tijdstip in te laten komen;
3. Alleen stoken op basis van warmtevraag;
4. Eerder schermen om de warmtevraag uit te stellen.

8.1.4.2 Schermstrategie aanpassen

Voor het aanpassen van de schermstrategie kan ook een aantal tussenstappen worden gevolgd. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt in schermen op basis van uitstraling en schermen op basis van energievraag. Als het kasdek kouder is dan de kop van het gewas is het aan te raden om het gewas te beschermen tegen uitstraling. Als de kas dan nog moet afkoelen kan wel al worden begonnen met het scherm voor 90% te sluiten. Dan is het gewas wel grotendeels beschermd tegen de nadelen van uitstraling, maar koelt de kas af zonder temperatuurverschillen te veroorzaken. Om hieraan te wennen kan dit ook in fasen worden ingevoerd.

Schermen op basis van uitstraling:

1. Scherm sluiten voor 90% na zon-onder:
 - o Hiermee kan bijvoorbeeld worden begonnen 1 uur voordat het scherm normaal dicht zou gaan;
 - o Dit tijdstip kan steeds verder worden vervroegd.
2. Scherm sluiten voor 90% voor zon-onder:

Hoe lager de buitentemperatuur hoe meer dit moment kan liggen voor het moment dat de uitstraling hoger wordt dan de instraling.
3. Schermen 100% sluiten op basis van energievraag:

Omdat het voordelig is voor het beheersen van de vochtbalans van de kas om onder het scherm zo min mogelijk te stoken, is het aan te raden om het scherm zo vroeg mogelijk te sluiten, zodat de buisvraag voor temperatuur zo lang mogelijk weg blijft. Om dit te bereiken kan het moment van 100% sluiten van het scherm in fasen worden vervroegd.

 - o Scherm 100% sluiten op basis van buisvraag.
 - o Scherm 100% sluiten als de kastemperatuur 1°C, 2°C, 3°C, enzovoort. boven de stooklijn is genaderd.
 - o Bij voldoende lage nachttemperatuur, waarbij zeker is dat de kastemperatuur voldoende daalt in de nacht, kan het scherm al voor zon-onder voor 100% worden gesloten. Dan nadert al de laatste en vijfde stap, de teeltstrategie aanpassen.

8.1.5 Teeltstrategie aanpassen

De inzet van het scherm kan fors worden verhoogd naarmate de nachttemperatuur hoger kan zijn. Verhogen van de nachttemperatuur kan wanneer overdag het licht maximaal is benut voor fotosynthese. Om de assimilaten nuttig te gebruiken is dan in de nacht een hogere temperatuur toelaatbaar en zelfs nodig. Een hogere temperatuur kan tevens worden nagestreefd als de plantbelasting wordt verlaagd. Dit houdt dus in dat er sterk wordt afgeweken van de normale teeltstrategie. Dan komen echter wel alle basisprincipes van Het Nieuwe Telen bij elkaar, waarbij een hogere productie, kwaliteit en gewasgezondheid samengaan met een lagere inzet van energie als gevolg van het optimaler isole-

ren van de kas door middel van het scherm.

Kort samengevat komt het aanpassen van de teeltstrategie er op neer dat door:

1. Telen met een lagere plantbelasting;
2. Telen bij hogere T/L-verhouding
meer aanmaak van assimilaten mogelijk is: beperkter luchten en sturen op vocht geeft een hogere efficiëntie van de benutting van Licht en CO₂. Hierdoor is een hogere, lichtafhankelijke temperatuur in de nacht mogelijk. Dus:
3. Hogere T + hogere T-nacht met minder stoken (vochtaanvoer);
4. Meer schermuren mogelijk
 - o Vochtbalans van de kas makkelijker te sturen;
 - o Minder aanvoer van vocht door minder stoken;
 - o Meer vochtafvoer door ventilatie met groter Absoluut vochtverschil met buitenlucht;
 - o Meer vochtafvoer door condensatie met groter T-verschil met het kasdek;
 - o Meer uitwisseling door groter temperatuurverschil met de buitenlucht;
 - o Minder temperatuurverschillen met volledig gesloten schermdoek;
 - o Telen bij een hogere luchtvochtigheid in de nacht = nog minder aanvoer van vocht.

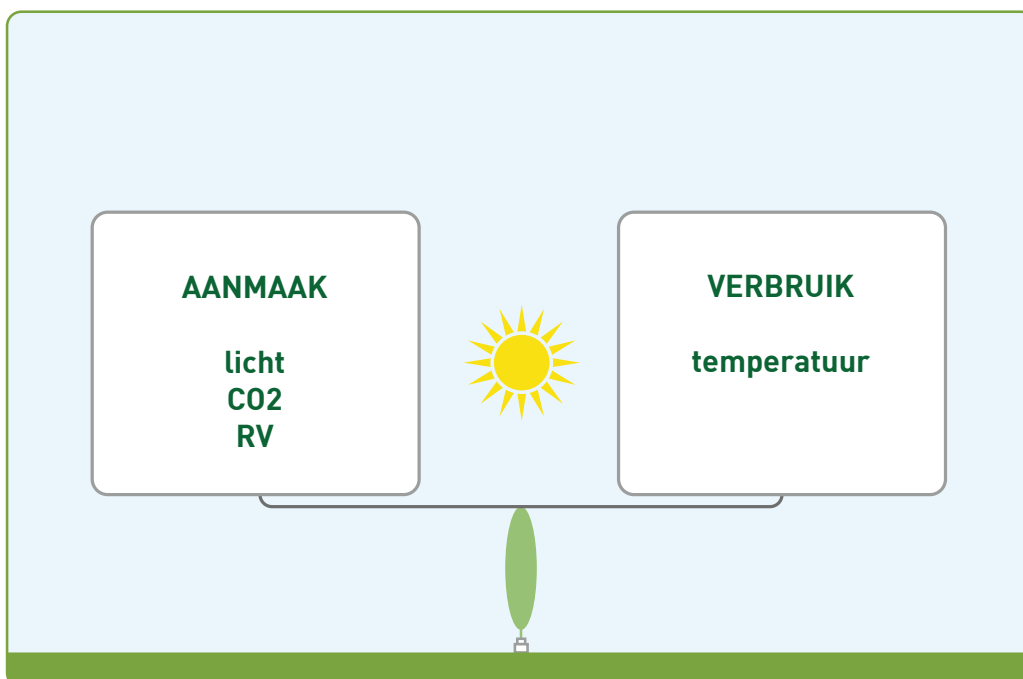
8.2 Stappenplan: sturen assimilatenbalans gewas en T/L strategie

8.2.1 De basisprincipes

De klimaatfactoren die de hoogte van de aanmaak bepalen zijn PAR-licht, CO₂ en RV. Toenemend licht moet samengaan met toenemende CO₂, waarbij de luchtvochtigheid voldoende hoog moet blijven om de huidmondjes open te houden (aanmaak verhogen). De temperatuur bepaalt de hoogte van het verbruik van assimilaten voor de vorming van drogestof (groei). Het streven moet zijn balans tussen gemiddelde etmaal temperatuur en lichtsom, kortweg aangeduid met T/L strategie.

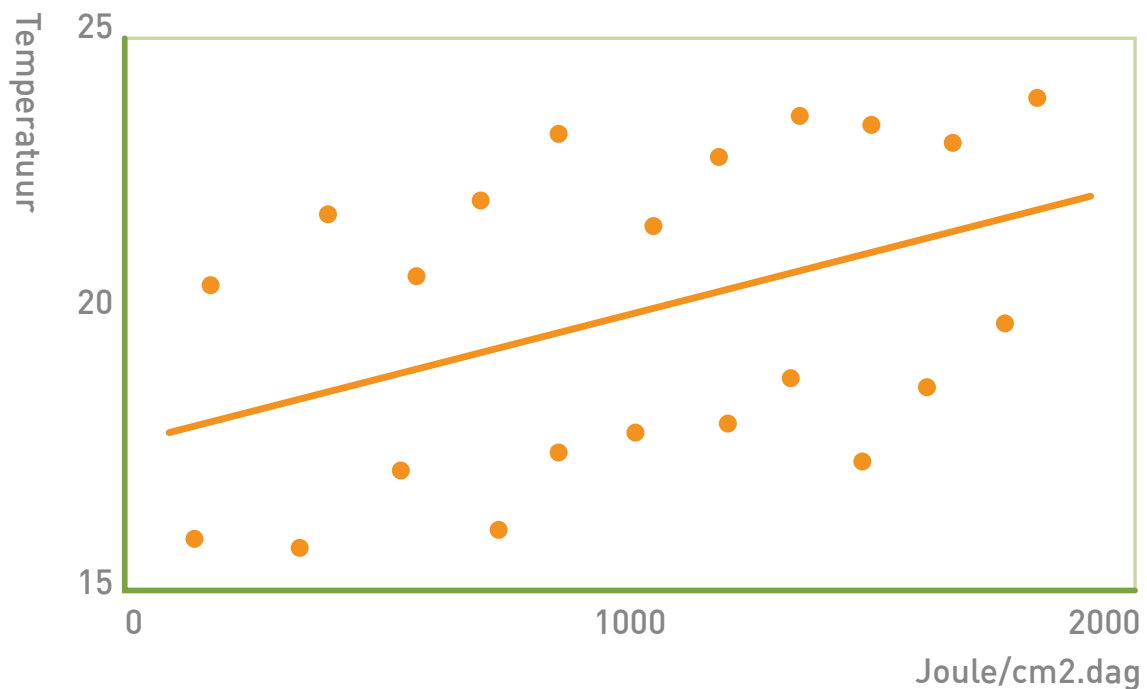
Door de etmaaltemperatuur van dag tot dag in een vaste verhouding te realiseren tot de lichtsom, blijven de aanmaak en het verbruik van assimilaten elke dag in evenwicht. Op deze manier wordt een gewas in balans geteeld. Hierdoor is het gewas altijd vitaal en in staat om het licht altijd optimaal te benutten.

Assimilatenbalans



8.2.2 Monitoren en interpreteren

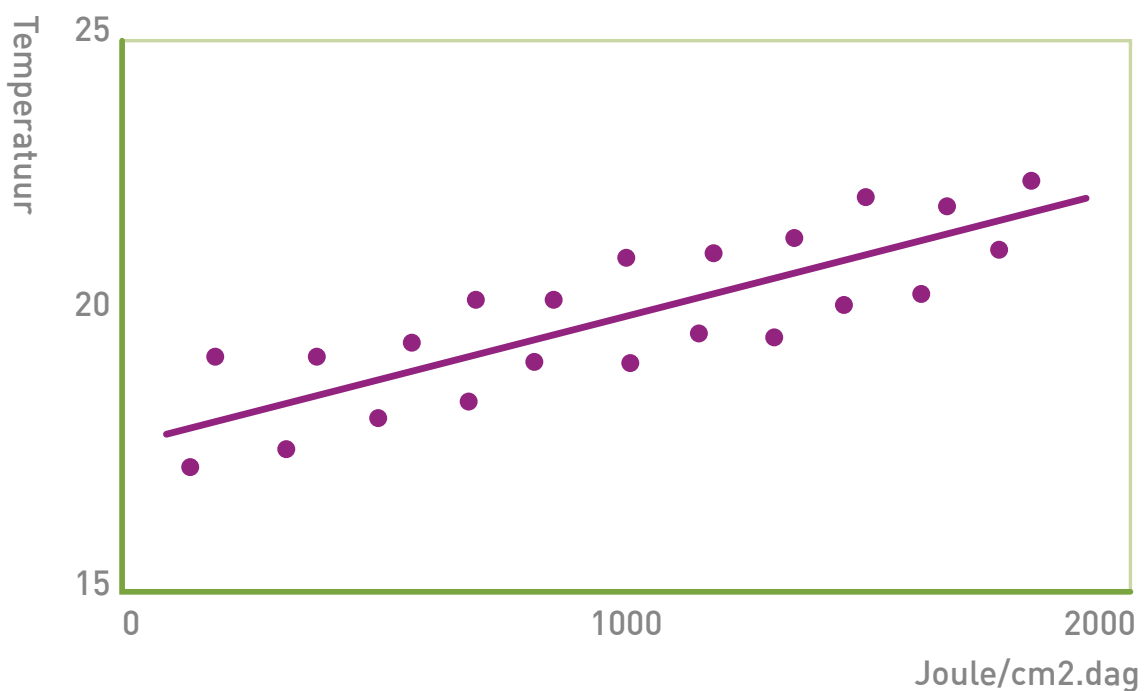
Temperatuur - Licht verhouding 1



De eigen teeltstrategie kan eenvoudig in beeld worden gebracht door het maken van een 'puntenwolk'. In een grafiek kan op de x-as de lichtsom per dag worden uitgezet tegen de etmaaltemperatuur op de y-as. Een lijn door het gemiddelde van deze punten geeft de eigen gerealiseerde temperatuur-lichtverhouding aan.

8.2.3 Beter registreren per dag

Temperatuur - Licht verhouding 2



De puntenwolk van vorig teeltseizoen kan als basis dienen voor de teeltstrategie in het volgende teeltjaar. Met dat verschil dat dan bewust ook elke dag dezelfde temperatuur-lichtverhouding wordt gerealiseerd. De puntenwolk laat dan minder spreiding zien en het gewas zal veel meer in balans staan, waardoor het klimaat veel minder hoeft te worden aangepast. De teeltsturing vindt meer plaats op basis van een vooraf vastgestelde strategie, dan op basis van correctie achteraf aan de hand van de gewasstand.

Om dit te realiseren moeten elke dag de volgende zaken worden genoteerd:

- De gerealiseerde lichtsom;
- De streef temperatuur;
- De gerealiseerde temperatuur.

Dit leidt automatisch tot een constantere balans tussen licht en temperatuur. Bij een constante temperatuur-lichtverhouding is verondersteld dat het CO₂ en RV niet beperkend zijn. Als om wat voor reden dan ook te veel moet worden gelucht, waardoor CO₂ en luchtvochtigheid niet het gewenste niveau halen, dan moet ook de streeflijn naar beneden worden aangepast. Dit geldt ook voor het geval er wordt gekrijt, gecoat of geschermd, waardoor er minder licht de kas in komt.

Bij de start van de teelt kan de temperatuur juist hoger zijn bij eenzelfde lichtniveau, omdat de plantbelasting lager is. Daarom is het aan te raden om in eerste instantie met een temperatuur-lichtlijn te gaan werken vanaf het moment dat er een regelmaat is tussen aanleg en oogst van vruchten.

8.2.4 Kleine stappen zetten

Om de temperatuur mee te laten bewegen met de instraling kan een aantal stappen worden gezet. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in de dag, de nacht en de overgang van dag naar nacht.

Overdag de temperatuur aanpassen aan het licht kan door:

1. Beperkt te luchten als het licht toeneemt door bijvoorbeeld een lichtverhoging op de ventilatielijn;
2. Lichtsom-verhoging in de namiddag op de stook- en ventilatielijn.

In de nacht kan lichtafhankelijk de temperatuur worden geregeld door:

3. Hoogte van de stooklijn afhankelijk te maken van de lichtsom;
4. Tijdstip van ingang van de nacht afhankelijk maken van de lichtsom.

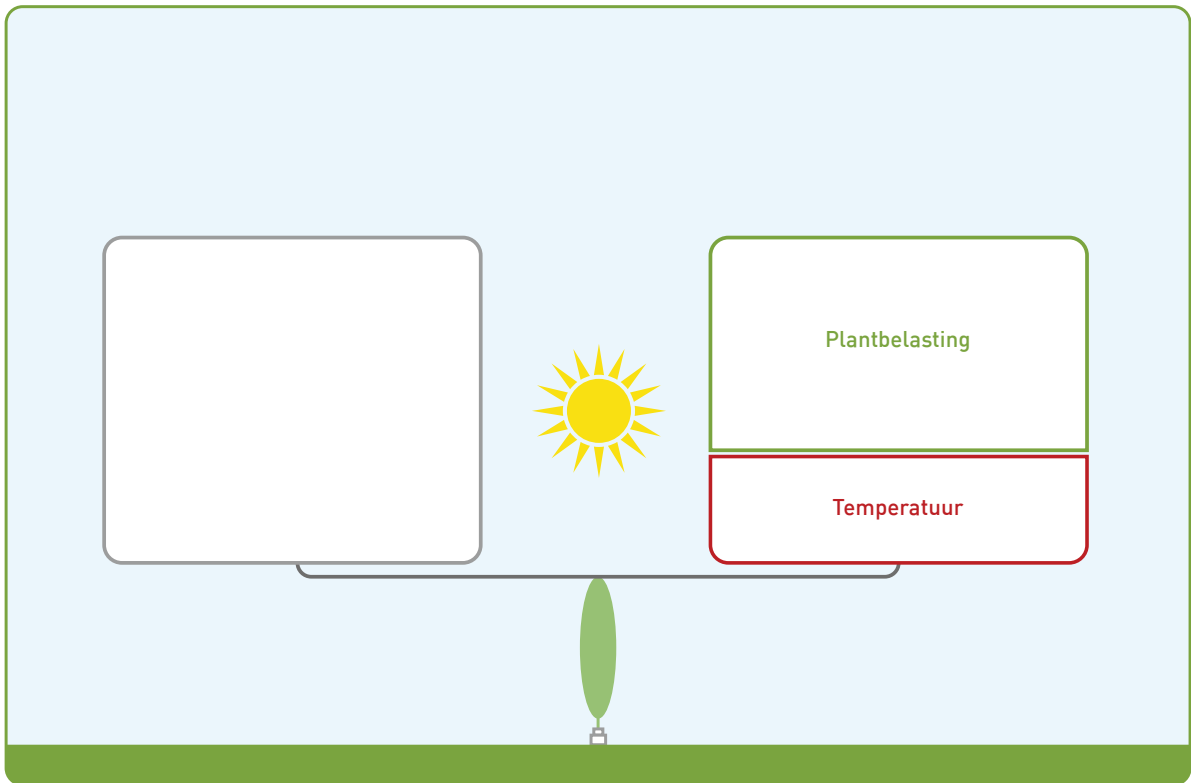
De (zonne)warmte van de dag kan in de nacht benut worden door:

5. Een geleidelijke daling van de temperatuur te laten plaatsvinden van de dag naar de nacht. Dit kan nog worden bevorderd door vroeg(er) het scherm te sluiten.

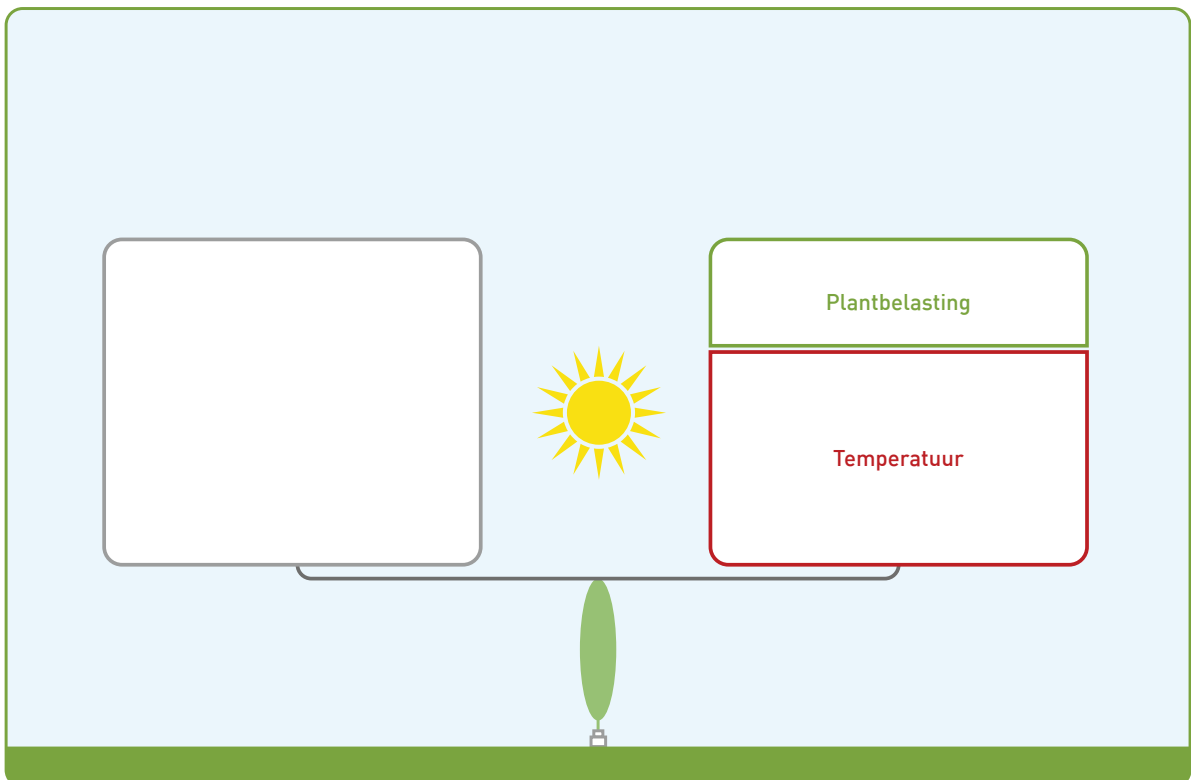
8.2.5 Teeltstrategie aanpassen

De inzet van het scherm kan fors worden verhoogd naarmate de nachttemperatuur hoger kan zijn. Verhogen van de nachttemperatuur kan wanneer overdag het licht maximaal is benut, zodat in de nacht voor het verbruik van deze assimilaten een hogere temperatuur nodig is. Een hogere temperatuur kan tevens worden nagestreefd als de plantbelasting wordt verlaagd. Dit houdt dus in dat er sterk afgeweken gaat worden van de normale teeltstrategie. Dan komen echter wel alle basisprincipes van HNT bij elkaar waarbij een hogere productie, kwaliteit en gewasgezondheid samengaan met een lagere inzet van energie als gevolg van het optimaler isoleren van de kas door middel van het scherm.

Verbruik sturen door verlagen plantbelasting



Verbruik sturen door verlagen plantbelasting



Kort samengevat komt het aanpassen van de teeltstrategie er op neer dat door:

1. Telen met een lagere plantbelasting;
2. Telen bij hogere T/L-verhouding meer aanmaak van assimilaten mogelijk is: beperkter luchten en sturen op vocht geeft een hogere efficiëntie van de benutting van Licht en CO₂. Hierdoor is een hogere, lichtafhankelijke temperatuur in de nacht mogelijk. Dus:
3. Hogere T + hogere T-nacht met minder stoken (vochtaanvoer);

4. Meer schermuren mogelijk

- o Vochtbalans van de kas makkelijker te sturen;
- o Minder aanvoer van vocht door minder stoken;
- o Meer vochtafvoer door ventilatie met groter Absoluut vochtverschil met buitenlucht;
- o Meer vochtafvoer door condensatie met groter T-verschil met het kasdek;
- o Meer uitwisseling door groter temperatuurverschil met de buitenlucht;
- o Minder temperatuurverschillen met volledig gesloten schermdoek;
- o Telen bij een hogere luchtvochtigheid in de nacht = nog minder aanvoer van vocht.

Proeven op kleine schaal op het eigen bedrijf leveren altijd veel informatie op. Dan is er ook de kans om zaken extremer toe te passen en te zien wat het resultaat is.

Dit is altijd een goede basis voor het aanpassen van de teeltstrategie. Denk hierbij bijvoorbeeld aan:

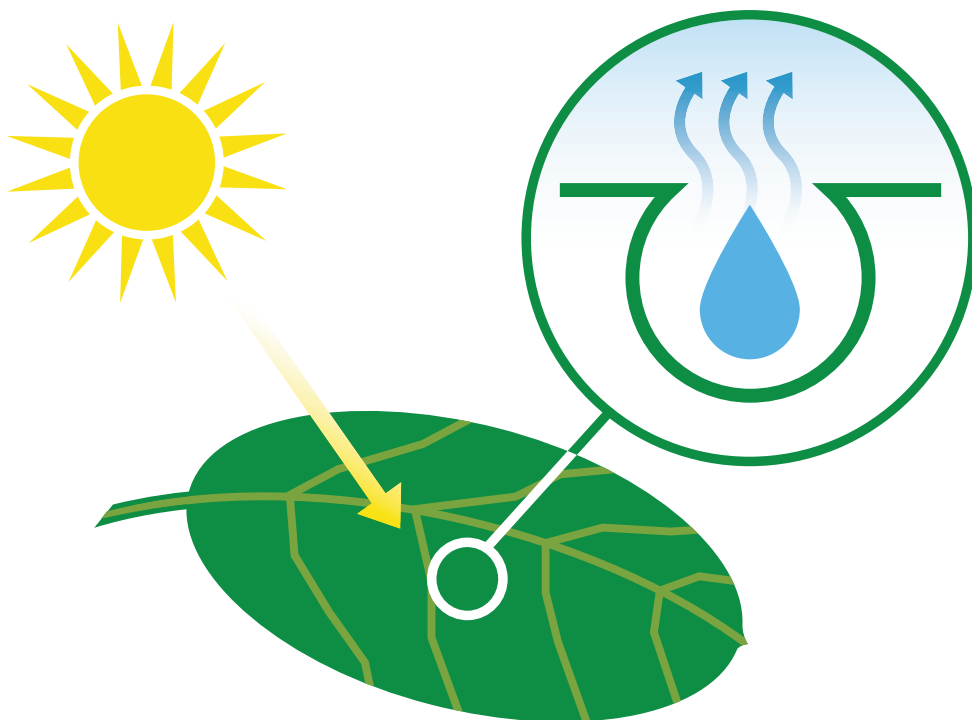
- Vruchtdunnen – tros snoeien;
- Tros verwijderen;
- Extra stengel later aanhouden;
- Eerste zetting later toestaan;
- Plantbelasting 'extreem laag' aanhouden ;
- Bladplukken.

8.3 Stappenplan: sturen van waterbalans gewas en ventilatiestrategie

8.3.1 De basisprincipes

Door de verdamping te benaderen vanuit de energiebalans van het gewas is het inzicht ontstaan dat

Huidmondje lage VPD



de verdamping als gevolg van instraling (de fluitketelverdamping) onafhankelijk is van de luchtvochtigheid. De luchtvochtigheid hoog houden remt alleen de convectieve verdamping (dit is op een dag met veel straling circa 10-15% van het totaal) en zorgt er voor dat de huidmondjes kunnen blijven regelen en dus open blijven staan. Daarom is het van belang om bij hoge instraling beperkt te luchten

en de luchtvochtigheid hoog te houden. Door middel van een infrarood planttemperatuurmeter kan worden gemonitord of de huidmondjes voldoende open staan. Hiermee kan namelijk het dampdrukverschil (VPD) tussen het blad en de kaslucht in beeld worden gebracht. Als de VPD laag is (onder circa 1,5 kPa afhankelijk van het gewas) is dat een teken dat de huidmondjes nog voldoende open staan. Een hoog oplopende VPD wijst op geknepen huidmondjes.

8.3.2 Beter meten van de waterbalans van het gewas

Om inzicht te krijgen in de waterbalans van het gewas is een infrarood planttemperatuurmeter nodig. Uit het verloop van de bladtemperatuur ten opzichte van de kastemperatuur en de VPD kan worden afgeleid of de huidmondjes open staan of dat ze waterstress vertonen.

In tweede instantie kan dit worden uitgebreid door ook het lichtniveau in de kas te monitoren met een PAR-sensor en de huidmondjesgeleiding en verdampingsnelheid te berekenen met de Stomata sensor van LetsGrow.com.

8.3.3 Monitoren en interpreteren

De metingen kunnen in eerste instantie worden gebruikt om meer inzicht te krijgen wat er gebeurt op de manier waar men normaal bij teelt.

In grafieken kunnen de volgende zaken worden bekeken en geïnterpreteerd:

- VPD vertalen naar huidmondjesgedrag;
- Temperatuurverschil kaslucht en blad vertalen naar:
 - o Huidmondjesgedrag;
 - o Convectierichting en energiebalans van het gewas;
- Verloop VPD in relatie tot verloop Vochtdeficiet of Relatieve luchtvochtigheid.

8.3.4 Kleine stappen zetten

Het klimaat op vocht gaan sturen in plaats van op temperatuur kan in verschillende stappen gebeuren:

1. Beperkter luchten in namiddag: dit is de periode van de dag dat de instraling weer afneemt en dus het risico op een te hoge temperatuur het laagste is. Op deze manier kan de teler ervaren dat het verlagen van het vochtdeficiet samengaat met het verlagen van de VPD en dus de huidmondjes weer makkelijker open blijven staan;
2. Moment beperkter luchten vervroegen. Met de ervaringen opgedaan in de late namiddag kan het moment van minder luchten worden vervroegd;
3. Beperkt luchten vanaf zon-op. Als derde stap kan dan in de ochtend de raamstand lager worden ingesteld dan tot dusver gebruikelijk is. Het gewas kan de toename van de instraling makkelijker volgen met de verdamping, waardoor de huidmondjes minder snel sluiten door dreigende water stress. Dit blijkt uit een lager blijvende VPD in relatie tot de toename van de straling. Doordat de enthalpie van de kaslucht hoger is kan de kas met een kleinere raamstand toch worden gekoeld;
4. Sturen op vocht in plaats van temperatuur. Op deze manier is in fasen meer op vocht dan op temperatuur geteeld. De laatste stap is dat dit leidend wordt in de klimaatinstellingen. De metingen van de planttemperatuur bevestigen dat de waterbalans van het gewas hierdoor beter in evenwicht is waardoor licht en CO₂ beter kunnen worden benut. Dit is de basis om de teelt strategie aan te passen.

8.3.5 Teeltstrategie aanpassen

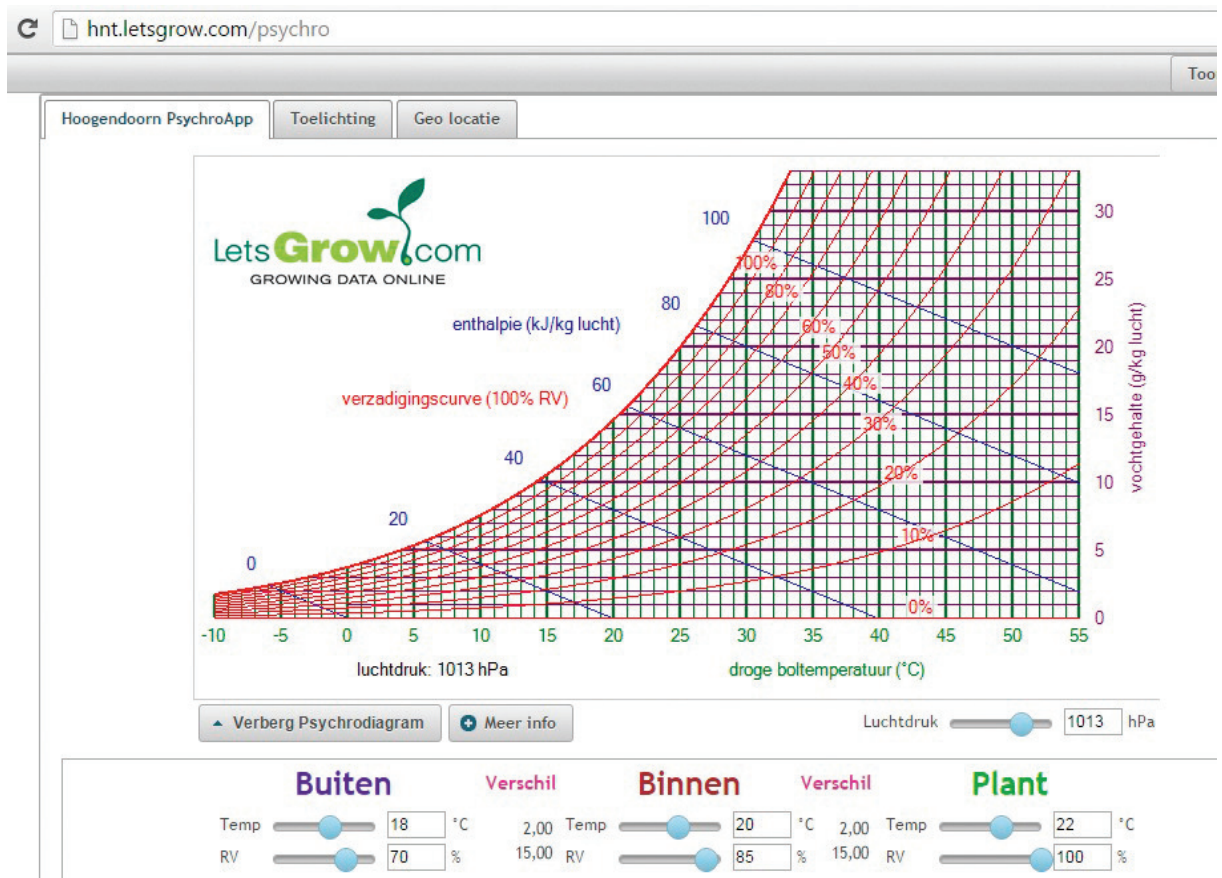
De inzet van het scherm kan fors worden verhoogd naarmate de nachttemperatuur hoger kan zijn. Verhogen van de nachttemperatuur kan wanneer overdag het licht maximaal is benut zodat in de nacht voor het verbruik van deze assimilaten een hogere temperatuur nodig is. Een hogere temperatuur kan tevens worden nagestreefd als de plantbelasting wordt verlaagd. Dit houdt dus in dat er sterk gaat worden afgeweken van de normale teeltstrategie. Dan komen echter wel alle basisprincipes van Het Nieuwe Telen bij elkaar, waarbij een hogere productie, kwaliteit en gewasgezondheid samengaan met een lagere inzet van energie als gevolg van het optimaler isoleren van de kas door middel van het scherm.

Kort samengevat komt het aanpassen van de teeltstrategie er op neer dat door:

1. Telen met een lagere plantbelasting;
2. Telen bij hogere T/L-verhouding meer aanmaak van assimilaten mogelijk is: beperkter luchten en sturen op vocht geeft een hogere efficiëntie van de benutting van Licht en CO₂. Hierdoor is een hogere, lichtafhankelijke temperatuur in de nacht mogelijk. Dus:
3. Hogere T + hogere T-nacht met minder stoken (vochtaanvoer);
4. Meer schermuren mogelijk
 - o Vochtbalans van de kas makkelijker te sturen;
 - o Minder aanvoer van vocht door minder stoken;
 - o Meer vochtafvoer door ventilatie met groter Absoluut vochtverschil met buitenlucht;
 - o Meer vochtafvoer door condensatie met groter T-verschil met het kasdek;
 - o Meer uitwisseling door groter temperatuurverschil met de buitenlucht;
 - o Minder temperatuurverschillen met volledig gesloten schermdoek;
 - o Telen bij een hogere luchtvochtigheid in de nacht = nog minder aanvoer van vocht.

9 Bijlagen

9.1 Het digitale Psychrodiagram

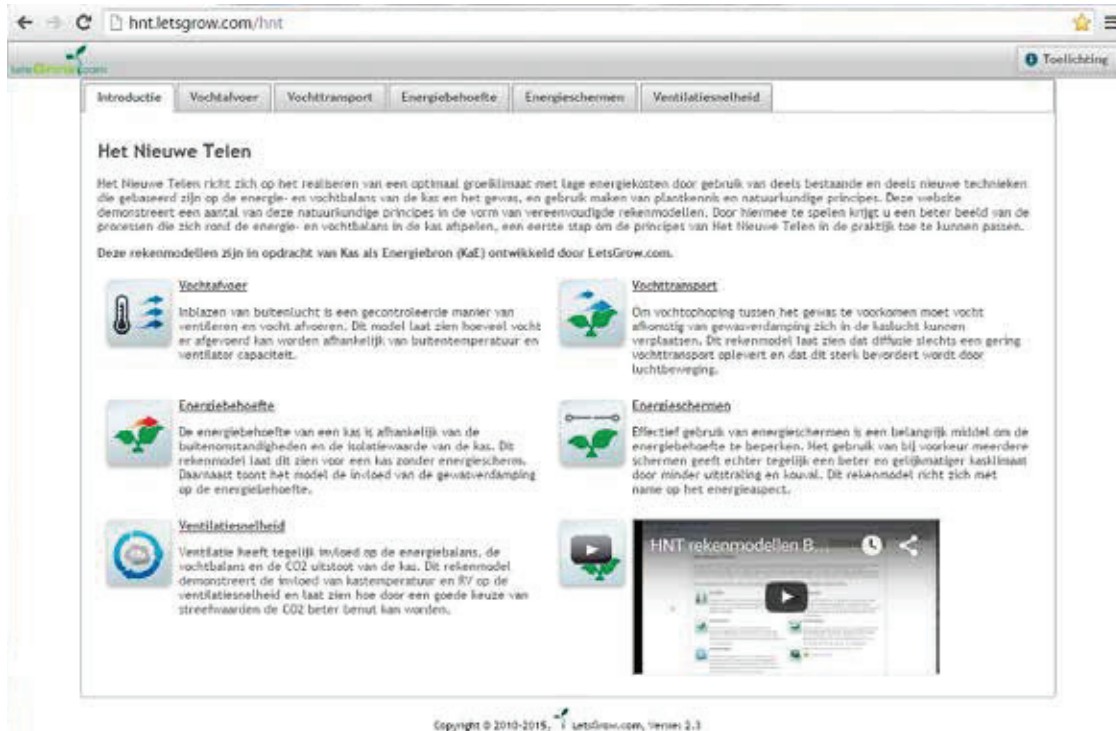


De digitale versie van het Psychrodiagram is te bereiken via <http://hnt.letsgrow.com/psychro>. Het digitale psychrodiagram maakt het mogelijk om naast elkaar de condities in de kas en buiten en in de plant in te voeren en de diverse afgeleide grootheden te laten berekenen, als mede de verschillen tussen beide.

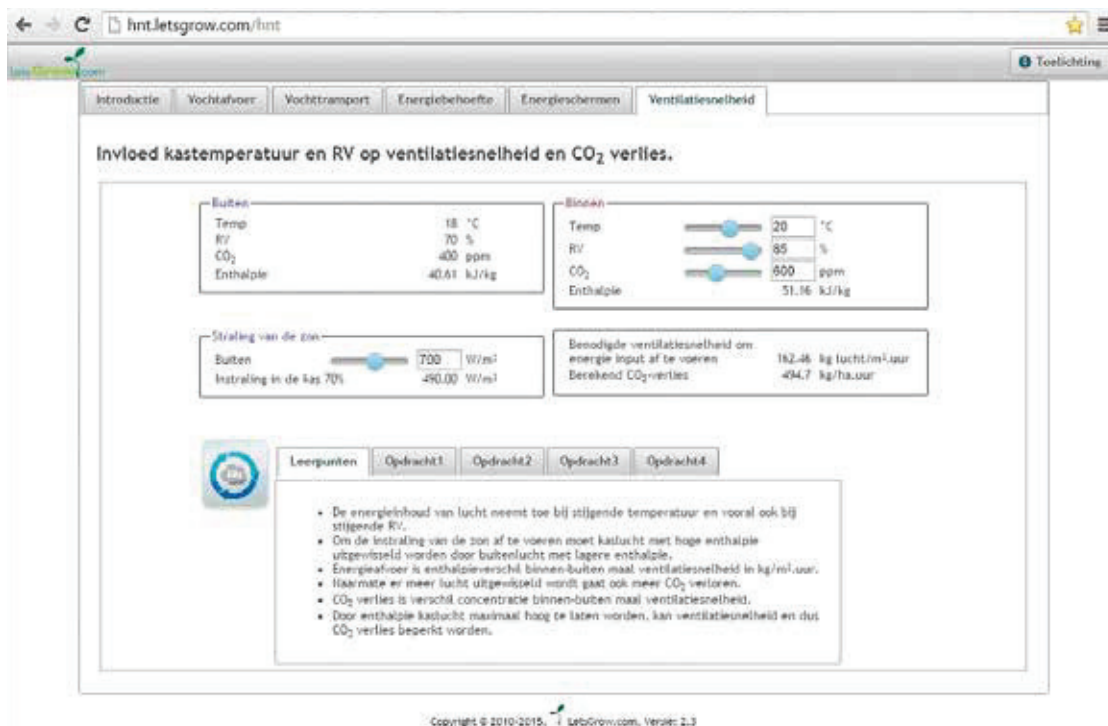
Een papieren versie van het Psychrodiagram is los bijgevoegd bij dit boek.

9.2 HNT Rekentool

De zogenaamde HNT-rekentool is in opdracht van Kas als Energiebron door LetsGrow.com ontwikkeld. Hiermee kan een aantal natuurkundige processen in de kas met behulp van een eenvoudig rekenmodel worden gesimuleerd. Het doel is om het inzicht in deze processen te verdiepen en tevens gevoel te krijgen voor de praktische mogelijkheden van onder andere luchtinblaasinstallaties, energieschermen en dergelijke.



Het introductiescherm van de Rekentool geeft de mogelijkheden aan inclusief een toelichting. Bereikbaar via de link: <http://hnt.letsgrow.com/hnt>.



Het in-/uitvoer scherm van het model 'ventilatiesnelheid'. Elk model gaat vergezeld van een instructie en enkele opdrachten om er mee te leren werken.

9.3 Rekenvoorbeeld energie en vochtafvoer door ventilatie

Om de energiebalans van de kas in evenwicht te brengen (en daarmee de kastemperatuur stabiel te houden) moeten de energieafvoer gelijk worden gemaakt aan de toevoer. Als dat gebeurt met ventilatie dan wordt er kaslucht uitgewisseld met buitenlucht. Hoeveel lucht moet er worden uitgewisseld bij een bepaalde instraling van de zon en wat betekent dit voor de temperatuur en de vochtigheid in de kas?

Een getallen voorbeeld: stel, middenin de zomer de kastemperatuur 25°C is, bij een RV van 70%. En stel dat het buiten 23°C met een RV van 50%. Dan is de enthalpie in de kas circa 60 kJ/kg en buiten bedraagt deze circa 45 kJ/kg .

Als de globale straling nu een waarde van circa 1000 W/m^2 bereikt dan dringt ongeveer 70% hiervan, dus 700 W/m^2 door in de kas. De andere 30% wordt direct of indirect gereflecteerd door het glas of het gewas. Per uur levert dat een energietoevoer op van $700 \times 3600 = 2,52 \text{ MJ/m}^2$. Een enorme hoeveelheid energie die gelijk staat aan het verstoken van bijna $0,1 \text{ m}^3$ aardgas. Om deze energie door ventilatie af te voeren is een uitwisseling door de luchtramen nodig van $2520/(60-45) = 168 \text{ kg}$ lucht per m^2 per uur.

Door ventilatie wordt niet alleen energie afgevoerd, maar ook vocht. De mate waarin dat gebeurt is afhankelijk van het verschil in absoluut vochtgehalte binnen en buiten.

In de hiervoor beschreven situatie bevat de kaslucht (25°C , RV = 70%) 14 gr/kg waterdamp. De buitenlucht bevat (23°C , RV=50%) circa $8,8 \text{ gr/kg}$.

Bij de berekende ventilatiesnelheid van $168 \text{ kg/m}^2\cdot\text{uur}$ wordt er dan:
 $168 \times (14 - 8,8) = 873 \text{ gram/m}^2\cdot\text{uur}$ aan vocht afgevoerd.

Door te delen door het soortelijk gewicht van lucht, circa $1,15 \text{ kg/m}^3$ en te delen door de kashoogte van circa 5 m ontstaat het ventilatievoud van circa $27,5$ per uur. De ramen moeten dus zover openstaan dat de hele kasinhoud bijna elke twee minuten wordt verversd. Voor de eenvoud is hierbij het effect van warmteverlies door geleiding verwaarloosd.

In de meeste gevallen zal het gewas een dergelijk hoge verdamping niet voor lange tijd volhouden. Dat betekent dat de kaslucht steeds droger wordt en daarmee het enthalpieverschil met buiten geringer. Dit vereist een nog hogere ventilatiesnelheid voor de energieafvoer, waardoor de vochtafvoer niet afneemt.

9.4 Uitstraling volgens de wet van Stefan–Boltzmann

Bron: Wikipedia

The irradiance j^* has dimensions of energy flux (energy per time per area), and the SI units of measure are joules per second per square metre, or equivalently, watts per square metre. The SI unit for absolute temperature T is the kelvin. ϵ is the emissivity of the grey body; if it is a perfect black-body, $\epsilon = 1$. Still in more general (and realistic) case, the emissivity depends on the wavelength, $\epsilon = \epsilon(\lambda)$.

To find the total absolute power of energy radiated for an object we have to take into account the surface area, A (in m^2):

$$P = Aj^* = A\epsilon\sigma T^4$$

The constant of proportionality σ , called the Stefan–Boltzmann constant or **Stefan's constant**, is non-fundamental in the sense that it derives from other known constants of nature. The value of the constant is

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} = 5.670400 \times 10^{-8} \text{Js}^{-1}\text{m}^{-2}\text{K}^{-4}$$

where k is the Boltzmann constant, h is Planck's constant, and c is the speed of light in a vacuum.

Thus at 100 K the energy flux density is 5.67 W/m^2 , at 1000 K $56,700 \text{ W/m}^2$, etc.

The law was deduced by Jožef Stefan (1835-1893) in 1879 on the basis of experimental measurements made by John Tyndall and was derived from theoretical considerations, using thermodynamics, by Ludwig Boltzmann (1844-1906) in 1884. Boltzmann treated a certain ideal heat engine with the light as a working matter instead of the gas. The law is valid only for ideal black objects, the perfect radiators, called black bodies. Stefan published this law in the article *Über die Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur* (On the relationship between thermal radiation and temperature) in the Bulletins from the sessions of the Vienna Academy of Sciences.

9.5 Begrippenlijst

De in de tekst gebruikte begrippen en benamingen worden hieronder in alfabetische volgorde kort toegelicht.

Absolute vochtigheid (AV)

De absolute vochtigheid van de kaslucht AV is het aantal grammen vocht dat per kilo kaslucht daadwerkelijk aanwezig is, zie ook het bijgevoegde psychrodiagram. De absolute vochtigheid wordt ook wel uitgedrukt in gram per m³ lucht. Hoewel AV in feite de basis is van het psychrodiagram, is het voor veel mensen toch een nieuw begrip. Meestal wordt immers gesproken over Relatieve Vochtigheid (RV) of Vochtdeficit (VD). De waarschijnlijke oorzaak is dat de allereerste instrumenten om vochtigheid te meten, namelijk de haarhygrometers, reageren op RV. Ook de ontwikkeling van schimmels is gerelateerd aan RV. AV geeft echter het beste en eenvoudigste inzicht in de vochtbalans van de kas; komt er vocht bij, wordt het vocht minder of blijft het stabiel? Daarnaast geeft het verschil in AV een goede maatstaf voor de mogelijkheid van vochttransport door bijvoorbeeld een energiescherm of door een luchtraam. Let wel: AV komt dus zeker niet in de plaats van RV en VD; het geeft aanvullende informatie over de vochtigheidstoestand.

Absoluut vocht verschil binnen/buiten

Het verschil in absoluut vochtgehalte in gram/kg in de kas en buiten. Hoe groter het verschil hoe minder ventilatie nodig is om een bepaalde hoeveelheid vocht af te voeren. Als er geen verschil is in vochtgehalte kan er geen vocht worden afgevoerd door ventilatie.

Activeren van de plant

De plantverdamping stimuleren.

Activiteit van de plant

De mate van gewasverdamping in gram/m².uur.

Ademhaling

Ademhaling wordt ook wel dissimilatie of verbranding genoemd. Dit is het omgekeerde proces van de fotosynthese waarbij zuurstof wordt gebonden aan suikers. Hierbij komt koolzuur (CO₂), water (H₂O) en energie vrij. Dit proces komt bij alle levende wezens voor. De energie in een plant komt niet vrij in de vorm van warmte, maar in de vorm van een fosfaatverbinding ATP (adenine trifosfaat). Wanneer één fosfaatverbinding wordt ontbonden komt energie vrij die kan worden gebruikt voor alle biochemische processen in de plant (stofwisseling genoemd). De chemische formule die hierbij hoort luidt : $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \Rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + ATP$.

Adiabatische koeling

Dit is de omzetting van voelbare warmte in latente warmte door verdamping van water, waarbij de temperatuur afneemt, de vochtigheid toeneemt, maar de energie-inhoud van de lucht hetzelfde blijft. Gewasverdamping en verneveling zijn beide vormen van adiabatische koeling.

Aircokas-concept

Het idee achter het Aircokas-concept is om de voordelen van de gesloten kas zoals minder energieverbruik, minder CO₂-emissie en hogere productie te realiseren met beperkte investeringen. Onder andere door inzetten van hogedruk verneveling in combinatie met minder ventileren om de CO₂ beter te benutten, beter isolerende schermstoffen, vochtbeheersing door het inblazen van buitenlucht en activeren van het gewas door kunstmatige luchtbeweging in plaats van stoken met de minimumbuis.

Daarmee is de Aircokas een uitvoeringsvorm van de semi-gesloten kas. Het bijzondere van dit concept is echter dat de plant centraal staat in plaats van de techniek en dat energiebesparing geen doel op zichzelf is, maar een gevolg van het optimaliseren van het groeiklimaat.

Assimilatenbalans van de plant

Evenwicht tussen aanmaak en verbruik van assimilaten.

Aquaporines

Waterkanalen, ook wel aangeduid als waterpompjes in het celmembraan waardoor actief water de cel kan worden ingebracht. Aquaporines spelen een belangrijke rol bij de celstrekking.

Bodemverdamping

De hoeveelheid waterdamp in gram/m² uur die door de bodem wordt verdampt. Ook hier is sprake van twee vormen onder invloed van straling en convectie.

Carriërs

Transportkanalen in het celmembraan waardoor voedingsionen actief kunnen worden opgenomen.

Condensatie tegen het kasdek/gevel

Als de buitentemperatuur lager is dan het dauwpunt van de kaslucht, dan zal waterdamp condenseren tegen het kasdek en de gevel. Doordat dit vocht kan worden afgevoerd (condensgootjes) zonder vochtschade aan het gewas, is het een welkome bijdrage aan de vochtafvoer uit de kaslucht. Hoe verder de temperatuur onder het dauwpunt ligt, hoe groter de hoeveelheid water zal zijn die per tijdseenheid condenseert.

Convectie

Warmteoverdracht door luchtstroming langs een object dat warmer of kouder is dan de lucht uitgedrukt in W/m².K Convectie is te vinden op allerlei plekken in de kas: tussen verwarmingsbuizen en de kaslucht, tussen de kaslucht en het kasdek, maar ook tussen de kaslucht en het gewas en de kaslucht en het schermdoek. In geval van natuurlijke luchtbeweging als gevolg van het temperatuurverschil tussen een oppervlak en de lucht ligt de overdrachtscoëfficiënt in de orde van 10 W/m².°C. Dus als het oppervlak 5°C warmer is dan de omringende lucht bedraagt de convectieve warmtestroom circa $5 \times 10 = 50$ W/m².

De convectieve warmte overdracht wordt lineair hoger met de luchtsnelheid als de luchtbeweging wordt gestimuleerd door bijvoorbeeld de wind over het kasdek, door een luchtraam, of door een ventilator.

Dauwpunt

De dauwpuntstemperatuur van de kaslucht is die temperatuur waarbij het werkelijke vochtgehalte gelijk wordt aan het maximale vochtgehalte. Bij verdere afkoeling zal er condensatie optreden.

Diffusie van waterdamp

Waterdamp verplaatst zich in stilstaande lucht als gevolg van concentratie (dampdruk) verschillen. Diffusie zorgt ervoor dat vocht door een poreus schermdoek naar boven trekt als de absolute vochtigheid boven het scherm lager is dan onder het scherm. Damptransport door diffusie in de lucht is bij de gangbare concentratieverschillen in een kas zeer beperkt. Damptransport door luchtbeweging krijgt al bij geringe luchtsnelheden vanaf ongeveer 0,1 cm/sec de overhand.

Drogestofproductie

De drogestofproductie is gelijk aan de fotosynthese minus de ademhaling. De drogestofproductie vormt de groei van planten. Hierbij is de gewichtstoename door wateropname niet meegenomen.

Emissiefactor of emissiviteit

De mate waarin een lichaam energie uitstraalt hangt af van de eigenschappen van het oppervlak.

Voor een zogenaamde 'ideale zwarte straler' is deze emissiefactor gelijk aan 1.

Voor planten en andere waterige lichamen ligt de emissiefactor tussen 0,95 en 0,98. Voor glas geldt een waarde rond 0,85. Kunststof heeft een gemiddelde emissiefactor van circa 0,8 en voor aluminium geldt een waarde van rond 0,4.

Gekoppeld aan de emissiefactor is de reflectiefactor. Samen zijn die altijd 1.

Dus stel bijvoorbeeld een schermdoek met deels aluminium bandjes heeft een emissiefactor van 0,6.

Dan is de reflectiefactor gelijk aan $1 - 0,6 = 0,4$. Dit betekent dat het scherm 40% van de langgolvige warmtestraling vanuit het gewas reflecteert, waardoor het gewas netto minder afkoelt dan onder een kasdek (reflectie factor = $1 - 0,85 = 0,15$) met dezelfde temperatuur.

Zie verder in hoofdstuk 9.4 de bijlage over de wet van Stefan-Boltzmann.

Energie en vermogen

De moderne eenheid van energie is de Joule. Deze kan in het SI stelsel op verschillende manieren worden weergegeven, namelijk thermisch, mechanisch en elektrisch:

Om 1 gram water 1°C in temperatuur te verhogen is 4,2 Joule aan energie nodig. Hieruit volgt dus dat de oude eenheid van thermische energie, de calorie, gelijk is aan 4,2 Joule.

Om een kracht van 1 Newton 1 meter te verplaatsen is 1 Joule energie nodig.

Als een batterij met een spanning van 1 Volt gedurende 1 seconde een stroom van 1 ampère levert staat dat gelijk aan 1 Joule energie.

De laatste weergave wordt gevolgd door het begrip vermogen; dit is energie per tijdseenheid. De moderne eenheid is Watt. Waarbij 1 Watt vermogen gelijk is aan 1 Joule per seconde. In de tuinbouw-omgeving worden meestal de voorvoegsels kilo (x1000), Mega (x1000.000) en Giga (x1000.000.000) gebruikt.

Als vergelijking de hoeveelheid energie die het verbranden van 1 m³ aardgas oplevert: De verbrandingswaarde van gas verschilt per samenstelling, daarom wordt gesproken over de calorische waarde in MJ/m³. Voor standaard Gronings aardgas is dat 31,65 MJ als die wordt verbrand in een ketel zonder rookgascondensor (onderwaarde). Deze hoeveelheid energie is dan voldoende om 1 m³ water circa 7,5°C in temperatuur te verhogen.

Hoewel het feitelijk onnodig is en soms zelfs verwarrend, worden in de praktijk ook andere afgeleide eenheden gebruikt om de hoeveelheid energie uit te drukken. Bekend is de MWh = Mega Watt uur voor elektrische energie. Dit is de energie die bijvoorbeeld een WKK van 1 MW elektrisch in 1 uur tijd aan het net levert. Dus $1 \text{ MWh} = 1000.000 \text{ [J/sec]} \times 3600 \text{ [sec/uur]} = 3600.000.000 \text{ Joule} = 3600 \text{ MJ} = 3,6 \text{ GJ}$.

Een ander voorbeeld is de Aardgas Equivalent (a.e.) voor energie, die gelijkgesteld is aan de bovengenoemde calorische waarde van Gronings aardgas, namelijk 31,65 MJ. Dit kan verwarring opleveren als deze eenheid a.e. wordt opgevat als een fysieke m³ aardgas, waarbij geen rekening gehouden wordt met ketel- of WKK-rendement en sprake is van verschillende soorten gas met afwijkende calorische waarde.

Energiebalans van de kas

Evenwicht tussen aanvoer en afvoer van energie in de kas.

Energiebalans van de plant

Evenwicht tussen aanvoer en afvoer van energie van de plant.

Energie-inhoud of enthalpie, voelbare en latente energie, adiabaten

Bij elke temperatuur en vochtigheid hoort een bepaalde energie-inhoud of enthalpie. Deze energie-inhoud bestaat uit twee delen. Het ene is de zogenoemde voelbare warmte. Dit is gekoppeld aan de temperatuur van de lucht (dus voelbaar) en is per definitie gelijk aan de hoeveelheid energie die nodig is geweest om de lucht op te warmen vanaf 0°C tot de huidige temperatuur. Het andere deel wordt de latente energie genoemd. Dit is gekoppeld aan de vochtinhoud van de lucht en per definitie gelijk aan de hoeveelheid energie die nodig is geweest om het aanwezige vocht te verdampen.

In het psychrodiagram zijn lijnen van gelijke enthalpie aangegeven die van linksboven schuin naar rechtsonder lopen. De energie inhoud in kJ/kg kan linksboven worden afgelezen. Lucht van 0°C met 0 gram/kg vocht heeft per definitie een enthalpie van 0 kJ/kg.

In het diagram heeft lucht van 25°C en circa 6 g/kg vocht (RV = 30%) een enthalpie van 40 kJ/kg. Maar lucht van 15°C met 10 g/kg vocht heeft de zelfde energie inhoud, evenals lucht van 40°C met een vochtinhoud van 0 g/kg. Alle combinaties liggen dus op dezelfde energielijn van 40 kJ/kg. Deze lijnen van gelijke energie inhoud worden ook wel adiabaten genoemd.

Enthalpie

Dit is de energie-inhoud van lucht bestaande uit twee delen, namelijk de voelbare warmte (temperatuur) en de latente warmte (verdampingsenergie van de aanwezige waterdamp) beide in kilojoule per kilo lucht (kJ/kg) Zie het bij dit boek gevoegde psychrodiagram. De enthalpie in de kas kan worden verhoogd door verwarming, belichting en door de zon.

Enthalpieverschil binnen-buiten

Het verschil in enthalpie binnen-buiten is bepalend voor de hoeveelheid energie die per kg uitgewisselde lucht kan worden afgevoerd. Hoe groter het verschil hoe minder ventilatie debiet nodig is om warmte af te voeren. Als er geen enthalpieverschil is kan de kas dus niet worden gekoeld door ventilatie.

Foto-inhibitie

Afname van de fotosynthese als gevolg van beschadiging van het chlorofyl bij hoge instraling. In de nacht wordt deze beschadiging weer hersteld. Foto-inhibitie leidt tot een lagere fotosynthese capaciteit van het gewas, omdat het licht overdag niet meer optimaal kan worden benut. Het herstel van het chlorofyl in de nacht kost assimilaten die elders in het gewas voor groei hadden kunnen zorgen.

Fotosynthese

Fotosynthese wordt ook wel (bruto) assimilatie genoemd. Dit is het proces dat alleen in groene bladeren van planten plaatsvindt. Hierbij wordt CO₂ (koolzuur) en water omgezet in O₂ (zuurstof) en suiker. De benodigde energie wordt geleverd door PAR-licht. De chemische formule die hierbij hoort luidt :
$$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{PAR-licht} \Rightarrow \text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

Geforceerde ventilatie

De drijvende kracht voor luchtuitwisseling wordt geleverd door ventilatoren.

Gewascondensatie

Dit treedt op als de temperatuur van delen van het gewas onder de dauwpuntstemperatuur van de kaslucht komt. Dit is onder andere het geval als de kastemperatuur en de vochtigheid sneller stijgen dan dat grote vruchten zoals tomaten en komkommers kunnen opwarmen vanwege hun massa (na-ijlen), of wanneer gewasonderdelen door uitstraling een lagere temperatuur krijgen dan hun omgeving. Ook op bijvoorbeeld de kasconstructie of bloempotten kan condensatie optreden. Meestal wordt dit als ongewenst beschouwd omdat het (door druppelen) uiteindelijk net als gewascondensatie kan leiden tot vochtschade en ontwikkeling van schimmels en ziekten in het gewas.

Gewasverdamping

De hoeveelheid waterdamp in gram/m².uur die door het gewas wordt verdampt. Gewasverdamping zorgt voor de noodzakelijke afkoeling van de plant en is ook een drijvende kracht voor het transport van voedingselementen van de wortels naar de groeipunten. Verdamping vindt plaats door energietoevoer op twee manieren. De eerste is direct als gevolg van straling door de zon, door belichting of door de verwarming. De tweede is indirect door convectie als de planttemperatuur lager is dan de kasluchttemperatuur (natteboleffect).

Globale straling

Hieronder wordt verstaan de natuurlijke straling van de zon die bestaat uit UV, PAR en IR straling in het golflengte bereik van 300-2800 nanometer. Deze straling wordt gemeten met een zogenoemde pyranometer, ook wel solarimeter genoemd. Midden zomer kan de globale straling in Nederland waarden tot circa 1000 W/m² bereiken.

Groei

Groei kan worden uitgedrukt in toename van drogestof of van versgewicht in kg of kg per tijdseenheid.

Het Nieuwe Telen

Doelmatig en duurzaam telen in de moderne glastuinbouw vergt een teeltmethode en een wijze van klimaatregelen die gebaseerd is op plantkundige en natuurkundige kennis en minder op gevoel of 'groene vingers'. Dat betekent dat telers, maar ook adviseurs en toeleveranciers opnieuw moeten leren telen en ook 'opnieuw moeten leren klimaatregelen'. Dit veelomvattend leer- en ontwikkelingsproces voor alle betrokkenen wordt momenteel aangeduid met het verzamelbegrip 'Het Nieuwe Telen' (HNT).

Huidmondjes opening of geleiding

Huidmondjes zijn kleine poriën in het bladoppervlak die kunnen openen en sluiten onder invloed van licht en de waterdruk (turgor) in het bladweefsel. Energie van de zon of van lampen leidt tot het openen van de huidmondjes in het blad zolang er in de plant voldoende water beschikbaar is. Zowel het PAR deel van het licht als het infrarode deel leveren verdampingsenergie. Als er geen PAR-licht beschikbaar is sluiten de huidmondjes, maar vindt er nog steeds verdamping plaats door het doorlaatbaar zijn voor waterdamp van (een deel van) het blad. Met het huidmondje regelt de plant de waterbalans en de energiebalans maar ook de opname van CO₂. Het gedrag van de huidmondjes geeft daardoor veel informatie over hoe de plant op dat moment functioneert

Internodie

Stengeldeel tussen twee bladeren.

K-waarde van de kas

De K-waarde (ook wel aangeduid als U-waarde) van een kas bepaalt de hoeveelheid energie die nodig is om, met gesloten luchtramen, een temperatuurverschil met buiten te handhaven en wordt uitgedrukt in $W/m^2.K$. Een gangbare kas met enkel glas heeft een K-waarde van circa $7 W/m^2.K$. Met een energiescherm kan deze waarde worden verlaagd naar bijvoorbeeld $3,5 W/m^2.K$ en daarmee kan dan dus 50% energie worden bespaard op isolatieverlies.

LBK Lucht Behandelings Kast

Een algemene aanduiding voor een apparaat bestaande uit een kast waarin luchtbeweging wordt opgewekt door een ventilator en waarin minimaal ofwel een verwarmingselement, ofwel een koелеlement of een combinatie aanwezig is. Ook kan de LBK een of meer kleppen bevatten waarmee luchtstromen worden gemengd. Bijvoorbeeld lucht uit de kas en lucht van buiten.

Leaf Area Index LAI

De LAI is het aantal m^2 bladoppervlak per m^2 kasoppervlak. De waarde verschilt uiteraard per gewas-type en de groeifase. Bij een volgroeid tomaten gewas is de LAI circa 3-4 Zie ook: lichtonderschepping.

Lichtonderschepping van het gewas

Dit wordt uitgedrukt in het percentage van de inkomende straling dat daadwerkelijk door het gewas wordt opgevangen. Bij een lichtonderschepping van bijvoorbeeld 60% valt dus 40% van het inkomende licht 'naast' of 'door' de plant, of wordt gereflecteerd door de plant. Enerzijds is dat nadelig omdat het inkomende PAR-licht niet volledig wordt benut. Anderzijds krijgt de plant ook minder te verduren bij hoge instraling. LAI en lichtonderschepping zijn aan elkaar gerelateerd. Recent is gebleken dat een plant door het bewegen van zijn blad de lichtonderschepping bij een gegeven LAI actief kan verlagen en dat een groot deel van de opvallende IR-straling selectief door het bladoppervlak wordt gereflecteerd.

Luchtdruk en dampdruk eenheden

Er bestaan diverse oude en nieuwere manieren om luchtdruk of dampdruk aan te geven.

De moderne manier in het SI stelsel is in Pascal. $1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Newton}/m^2$.

Hierbij is 1 Newton de kracht die een massa van 1 kilo uitoefent op $1 m^2$ oppervlak door de versnelling van de zwaartekracht die gelijk is aan circa $9,8 m/s^2$.

De oude eenheid van druk is de Atmosfeer of Bar die weergegeven wordt in kg/cm^2 Waarbij de normale luchtdruk op zeeniveau gemakshalve wordt gesteld op $1 kg/cm^2$

Dit klopt echter niet helemaal, want de gangbare luchtdruk is bepaald door de nog oudere eenheid van druk op 76 cm kwikkolom.

Aangezien de soortelijke massa van kwik gelijk is aan 13,596 komt de luchtdruk op zeeniveau overeen met $13,596 \times 9,8 \times 76 \times 10.000 = 101,263 \text{ kPa}$.

Omdat de versnelling van de zwaartekracht niet overal op aarde exact hetzelfde is, wordt voor de luchtdruk op zeeniveau internationaal het getal van 101,325 kPa aangehouden.

In de meteorologie wordt de luchtdruk vaak aangegeven in hecto Paskal (hPa) omdat de getalswaarde dan in dezelfde range ligt als de oude eenheid milli-Bar (mBar)

Luchtinblaas systeem/Overdruk systeem

Een installatie waarmee buitenlucht op een controleerde manier de kas wordt ingeblazen met als doel vochtbeheersing. Buitenlucht is namelijk vrijwel altijd droger dan kaslucht. Door de overdruk wordt er kaslucht en dus ook vocht door de kieren en spleetjes naar buiten gedrukt.

Het grote voordeel is dat het energiescherm, bij voorkeur dubbel uitgevoerd, gesloten kan blijven. Dit bevordert in hoge mate de egale temperatuur in de kas.

Soms wordt gesteld dat overdruk op zichzelf ook zorgt voor een betere temperatuurverdeling omdat het verhindert dat er door de genoemde kieren plaatselijk 'koude lucht naar binnen komt'. Dit is niet helemaal onjuist, maar wel moet worden bedacht dat het ten eerste gaat om heel weinig ingeblazen lucht ($5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{uur}$) en ten tweede dat de natuurlijke drukfluctuaties rond de kas als gevolg van wind aanzienlijk groter kunnen zijn dan de overdruk die met luchtinblaassystemen kan worden opgebouwd. En juist de windeffecten zorgen voor grote temperatuurverschillen.

Natuurlijke ventilatie

De drijvende kracht voor de luchtuitwisseling wordt geleverd door natuurlijke oorzaken: temperatuurverschillen, drukverschillen en wind.

Natteboltemperatuur

Dit is de laagste temperatuur die bij een gegeven luchttemperatuur en RV kan worden bereikt door adiabatische koeling. Voor de mens is de natteboltemperatuur van de omgeving een belangrijk gegeven. Het verschil tussen de eigen (vaste) lichaamstemperatuur en deze natteboltemperatuur is bepalend voor de mate waarin de mens in staat is zich te koelen door transpiratie. Een omgeving met een hoge natteboltemperatuur voelt benauwd aan en werkt sterk nadelig op onder andere sportprestaties. Voor planten is dat geheel anders omdat de planttemperatuur zich binnen ruime grenzen kan bewegen.

Open, Gesloten en Semi gesloten kas

Van deze begrippen is de gesloten kas natuurlijk het meest duidelijk: een kas zonder luchtramen, dus zonder luchtuitwisseling met buiten. Dat betekent dat de complete luchtbehandeling; verwarmen, koelen, bevochtigen en ontvochtigen volledig door de installatie moet worden verzorgd. Dit heeft onder meer als gevolg dat er een enorm grote en dure koelinstallatie nodig is en dat er in de zomer veel meer warmte (3 tot 4 keer zoveel) wordt 'geoogst' dan er in de winter nodig is om de kas te verwarmen. Het grootste voordeel is een hogere CO_2 -concentratie dus meer groei.

De Open kas is de klassieke kas waarbij koelen en ontvochtigen uitsluitend met de luchtramen wordt gedaan en waarbij het activeren van het gewas vooral wordt gedaan met extra stoken (minimum-buis). Dit betekent dat de kas veel energie vraagt en dat er ook veel van de gedoseerde CO_2 door de ramen naar buiten verdwijnt.

De Semi gesloten kas is een kas waarin aanvullende apparatuur is toegepast om de luchtramen minder te hoeven gebruiken en daarmee de kas voor een deel gesloten te houden.

Osmose

Diffusie van water door een semi permeabel (halfdoorlatend) membraan als gevolg van verschil in concentratie van opgeloste deeltjes (bijvoorbeeld zouten, suiker en zetmeel). Het water wordt door de hogere zoutconcentratie aangetrokken. Veel transport van water in de plant vindt plaats door middel van osmose. Bij omgekeerde osmose wordt door mechanische druk van een pomp het water juist naar de lagere zoutconcentratie geperst.

PAR-straling

PAR, uitgedrukt in $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ is dat deel van de straling dat door de plant kan worden benut voor fotosynthese in het golflengte bereik van 400-700 nanometer. Van direct zonlicht is dat circa 45%, bij indirect zonlicht met bewolking kan dat oplopen tot 59%. De rest is IR infrarood (circa 50%) en UV ultra violet (circa 5%) Beide zijn overigens wel van belang om bepaalde groeiprocessen te sturen.

Plantbelasting

Maat voor de sinkgrootte uitgedrukt in aantal vruchten of bloemstengels per m^2 kasoppervlakte.

Psychrodiagram

Alternatieve uitvoering van het Mollier diagram. Een diagram waarin de eigenschappen van lucht bij alle combinaties van luchttemperatuur en vochtgehalte kunnen worden afgelezen. Bij dit boek zit een losse versie van het Psychrodiagram.

Reflectie

Weerkaatsing van licht door de bladeren.

Relatieve Vochtigheid (RV)

De relatieve vochtigheid RV is de absolute vochtigheid van de kaslucht gedeeld door het maximale aantal grammen dat de lucht bij die temperatuur kan bevatten. Met vocht verzadigde lucht heeft dus een RV van 100%. Dit is zichtbaar als mist.

Sink

De sink wordt gevormd door alle plantendelen waar netto meer suikers worden verbruikt dan dat er worden aangemaakt. Dit is de hele plant met uitzondering van de bladeren die netto meer suikers aanmaken dan dat ze zelf verbruiken. Sinks zijn onder andere vruchten, bloemknoppen, wortels, het groeipunt, jonge bladeren en bladeren die heel weinig licht opvangen.

Source

De source wordt gevormd door alle plantendelen waar de aanmaak van suikers groter is dan het verbruik. Dit is dus het bladpakket van uitgegroeide bladeren. Hierbij behoren niet de jonge bladeren en oud blad, dat zo weinig licht ontvangt dat het verbruik van suikers groter is dan de aanmaak.

Soortelijke warmte van lucht

Dit is de hoeveelheid energie in kJ die nodig is om 1 kg lucht 1 graad in temperatuur te verhogen. Deze waarde bedraagt circa 1 kJ/kg.K. Een zeer lage waarde dus in vergelijking tot de verdampingswarmte van water. Daarom speelt het vochtgehalte van kaslucht een zeer bepalende rol in de energiehouding.

Stomata

Plantkundige naam voor huidmondjes.

Straling

Uitwisseling van energie door middel van straling. Hierbij worden in hoofdzaak kortgolvlige straling in de vorm van (zichtbaar) licht en langgolvlige straling in de vorm van (onzichtbaar) infrarood (IR) en ver-infrarood (FIR) straling onderscheiden. Voor de plant is vooral groeilicht (PAR) van belang. Uitwisseling door straling gebeurt op allerlei plekken in de kas, de allerbelangrijkste en krachtigste bron is de instraling door de zon, maar ook lampen, verwarmingsbuizen, de kasconstructie en de bodem

geven energie af en ontvangen energie door straling.

Uitstraling

Met uitstraling wordt bedoeld de afkoeling van het gewas doordat langgolelige warmtestraling wordt afgegeven aan een koud kasdek of een koud schermdoek. Dit is een vaak onderschat verschijnsel met een fors risico voor condensatie in de kop van het gewas en de bloemen. Uitstraling wordt aangegeven als een negatief getal. Binnen de kas komen waarden tussen 0 en -50 W/m^2 voor als het kasdek meer dan 10°C kouder is dan het gewas. Op dezelfde manier kan de kas extra afkoelen door uitstraling naar de koude hemel. Afhankelijk van de bewolkingsgraad ligt de waarde in het bereik van 0 (bewolkt) tot -150 W/m^2 (heldere hemel). Uitstraling treedt op zodra er een temperatuurverschil is, dus dag en nacht. Uitstraling kan worden gecompenseerd door straling van de zon, van lampen en van een hete verwarmingsbuis, of door convectiewarmte die wordt aangevoerd door de lucht.

Ventilatie

Uitwisseling van kaslucht en buitenlucht. Hiermee wordt normaal gesproken vocht en warmte afgevoerd. De verhouding tussen warmteafvoer en vocht afvoer wordt bepaald door het verschil in luchttemperatuur en absoluut vochtgehalte binnen-buiten.

Ventilatiesnelheid

De hoeveelheid uitgewisselde lucht in $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{uur}$. Het voordeel van ventilatiesnelheid is dat hierbij in berekeningen en vergelijkingen de kashoogte niet hoeft te worden meegenomen. Daardoor is er een directere relatie met de capaciteit van luchtbehandelssystemen.

Ventilatievoud

Geeft aan hoe vaak de kasinhoud per uur wordt ververs, dus in $\text{m}^3/\text{m}^3 \text{ uur}$.

Ventilatie of recirculatie capaciteit

De hoeveelheid lucht in m^3/m^2 die per uur door een ventilatie- of recirculatiesysteem kan worden ingebracht of rondgepompt.

Verdampingswarmte van water

Dit is de hoeveelheid energie in kJ die nodig is om 1 kg vloeibaar water te verdampen. Deze waarde hangt af van de temperatuur en bedraagt circa 2500 kJ/kg .

Versgewicht

Gewicht van de plant inclusief de waterinhoud in kg.

Verzadigingscurve van lucht voor waterdamp

Lucht kan bij een bepaalde temperatuur een maximale hoeveelheid waterdamp in gram/kg lucht bevatten. Deze relatie wordt de verzadigingscurve genoemd.

Vochtbalans van de kas

Het resultaat van vochtproductie door verdamping van gewas en bodem en vocht afvoer door ventilatie en condensatie.

Vochtdeficit (VD)

Het vochtdeficit VD is het verschil tussen de maximale absolute vochtigheid en de werkelijke absolute vochtigheid bij de heersende temperatuur in gram/kg lucht. RV en VD kunnen eenvoudig in elkaar worden omgerekend via het psychrodiagram.

VPD Vapour Pressure Difference

Omdat waterdamp in lucht zich gedraagt als een mengsel van gassen kan ook worden gesproken van de dampdruk van vocht in de lucht. Dit wordt uitgedrukt in kilo Pascal (kPa). De omschrijving is VPD, Vapour Pressure Deficit, zijnde het verschil tussen de maximale waterdampdruk bij de heersende temperatuur en de werkelijke dampspanning. Dit is echter alleen een andere weergave van VD vochtdeficit en voegt weinig toe. Zinvoller is het begrip VPD-plant, dit is het verschil tussen de waterdampdruk in het blad en de dampdruk in de kaslucht. Deze VPD kan alleen worden berekend als naast de kasluchttemperatuur en de RV ook de planttemperatuur wordt gemeten. Waarden tussen circa 0,5 en 1,5 kPa worden als normaal beschouwd en gunstig voor een goede verdamping. Ter vergelijking: de normale luchtdruk op zeeniveau komt overeen met 101,3 kPa.

Waterbalans van de plant

Evenwicht tussen aanvoer en afvoer van water in de plant



ir. P.A.M. Geelen

Peter Geelen rondde in 1985 zijn studie tuinbouwplantenteelt af aan de Landbouw Hogeschool (het huidige Wageningen Universiteit en Research). Aansluitend werd hij docent plantfysiologie en groenteteelt aan de hogere tuinbouwschool in Den Bosch en Utrecht. Daarna was hij 16 jaar actief als gewasspecialist in de kasrozenteelt; eerst voor steenwolleverancier Grodan, later voor veredelingsbedrijf Meiland Nederland. In 2007 begon hij een zelfstandig advies- en trainingsbureau onder de naam Plantmonitoring.NL. Vanaf de start kwam hij in aanraking met de natuurkundige benadering van het kasklimaat en de plantprocessen van het 'Aircokas concept'. Sindsdien heeft hij zich enthousiast ingezet om de plantkundige aspecten van Het Nieuwe Telen verder uit te bouwen.



ir. J.O. Voogt

Jan Voogt groeide op als tuinderszoon in Maasdijk, tussen de tomaten, meloenen, druiven, tuinbonen, sla en bloemkolen. Hij studeerde elektrotechniek aan de TU in Delft met als specialisatie sensoren en heeft ruim 35 jaar ervaring met klimaatregeling in kassen. Als deskundige op het gebied van ontwikkeling van hard- en software bekleedde hij vanaf 1985 de functie van R&D manager bij Hoogendoorn Growth Management in Vlaardingen. Sinds 2004 houdt hij zich als onderzoeker intensief bezig met de interactie tussen kasklimaat en de groei en ontwikkeling van planten, gebaseerd op natuurkundige en plantfysiologische principes. Hij is daarmee een van de grondleggers van Het Nieuwe Telen.



ing. P.A. van Weel

Peter van Weel is sinds 1976 werkzaam als onderzoeker bedrijfsuitrusting glastuinbouw. Vele systemen in een moderne kas werden door hem ontwikkeld en begeleid op hun weg naar de praktijk. Voorbeelden daarvan zijn: oogsttransport bloemen, verwarmde eb- en vloedvloeren, dekwasser, mobiele teeltsystemen, dwarse NFT en teeltsturing op basis van beeldverwerking en een neurale netwerk. Sinds 2004 is hij actief betrokken bij het energieonderzoek. Samen met Jan Voogt heeft hij de energiebalans geïntroduceerd in de klimaatsturing, met als doel 'groene vingers' te vertalen in een 'pratend plant-systeem', inclusief nieuwe sensoren. Hij richt zich graag op de ontwikkeling van eenvoudige, robuuste en goedkope systemen. De Ventilationjet is daar een actueel voorbeeld van.