

Effecten van verneveling op groei en ontwikkeling van tomaat

Teelt van eind april tot eind augustus

Barbara Eveleens, Anja Dieleman, Arie de Gelder, Anne Elings, Jan Janse, Tian Qian, Peter Lagas en Johan Steenhuizen





Effecten van verneveling op groei en ontwikkeling van tomaat

Teelt van eind april tot eind augustus

Barbara Eveleens, Anja Dieleman, Arie de Gelder, Anne Elings, Jan Janse, Tian Qian, Peter Lagas & Johan Steenhuizen

© 2009 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

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



Ministerie van Landbouw, Natuur en
Voedselkwaliteit



Wageningen UR Glastuinbouw

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

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Achtergrond	3
1.2 Onderzoeksvraag	3
1.3 Luchtvochtigheid in de kas	4
2 Experimentele opzet	5
2.1 Inrichting en kasklimaat	5
2.2 Waarnemingen	6
2.3 Watergift en bemesting	8
3 Resultaten en Discussie	9
3.1 Klimaat	9
3.1.1 Relatieve luchtvochtigheid (RV)	9
3.1.2 Vochtdeficit	10
3.1.3 Verticale metingen van kasklimaat	11
3.2 Gewas	13
3.2.1 Groei en ontwikkeling	14
3.2.2 Plantbelasting	16
3.2.3 Productie en kwaliteit	17
3.2.4 Virusaantastingen	20
3.2.5 Destructieve metingen	20
3.2.6 Planttemperatuur	21
3.3 Verdamping per dag – reactie van de plant	23
3.3.1 Weeggoten	23
3.3.2 Zonnige en minder zonnige dagen	24
4 Conclusies	31
5 Geraadpleegde literatuur	33
Bijlage I. Gewasbescherming	1 p.
Bijlage II. Klimaat	4 pp.
Bijlage III. Draadloze klimaatsensoren	2 pp.
Bijlage IV. Geanalyseerde dagen	1 p.
Bijlage V. Verdamping en instraling	1 p.
Bijlage VI. Houdbaarheid	1 p.
Bijlage VII. Virustoetsing	1 p.

Samenvatting

Verneveling in tomaten: wel effect op verdamping, niet op productie

Sinds enkele jaren staat het telen in geconditioneerde kassen volop in de belangstelling. In deze kassen is het klimaat beter te sturen dan in traditionele open kassen door de toepassing van koeling en verneveling. Het gebruik van verneveling in kassen heeft als voordeel dat er per m³ lucht meer warmte afgevoerd kan worden, waardoor de ramen meer gesloten kunnen blijven en de CO₂ concentratie hoger blijft. Een ander voordeel is dat op zeer zonnige momenten te lage luchtvochtigheden en daardoor sluiting van de huidmondjes voorkomen kunnen worden. In de (semi)gesloten kassen is veel mogelijk op het gebied van sturing van luchtvochtigheid, maar dat roept de vraag op wat de effecten van luchtvochtigheid op gewasgroei en –ontwikkeling zijn. Om die vraag te beantwoorden is door Wageningen UR Glastuinbouw onderzoek gedaan in de zomer van 2008. Deze proef is gefinancierd door PT en LNV in het kader van het programma 'Kas als Energiebron'.

Luchtvochtigheidsbehandelingen

In de periode eind april – eind augustus 2008 zijn bij Wageningen UR Glastuinbouw in Bleiswijk tomaten 'Idooll' geteeld in 4 afdelingen. Verschillen in luchtvochtigheid werden aangelegd door in 3 afdelingen te vernevelen bij vochtdeficiten van 3.5 g/m³, 5.5 g/m³ en 8.5 g/m³. De vierde afdeling was de referentieafdeling, waarin niet verneveld werd. Het klimaat werd zodanig geregeld dat CO₂ concentratie en temperatuur niet verschilden tussen de afdelingen. Op bewolkte dagen bleek er weinig verschil in vochtdeficit te zijn tussen de afdelingen. Op zonnige dagen waren die verschillen er wel, maar bleek de capaciteit van de vernevelinstallaties niet voldoende te zijn om precies de vochtdeficiten te realiseren die ingesteld waren. De luchtvochtigheid vertoonde een duidelijke relatie met de instraling. Naarmate de lichtintensiteit hoger was, was de luchtvochtigheid in de kas lager.

Reacties van het gewas

Met name bij de hoogste luchtvochtigheid, vernevelen bij een vochtdeficit van 3.5 g/m³ was de stand van het gewas duidelijk verschillend van de andere behandelingen. De bladeren waren korter en hadden een afhangende bladstand. Er was geen verschil in de trosafsplittingsnelheid, zetting, plantbelasting of productie tussen de verschillende behandelingen. Hieruit blijkt dat er ondanks het kleinere bladoppervlak toch voldoende licht onderschept is om de productie op hetzelfde niveau te houden. In de behandeling met de hoogste luchtvochtigheid werd een beperkt aantal afwijkende trossen geogst. Deze trossen hadden zeer kleine vruchten, wat duidt op een slechte zetting. Een reden hiervoor kan zijn dat bij hoge luchtvochtigheden het stuifmeel niet goed vrijkomt waardoor onvoldoende bevruchting plaats kan vinden.

Planttemperatuur

Gedurende de proef werden zowel kasluchttemperatuur als planttemperatuur gemeten. In de referentieafdeling, waar niet bevochtigd werd, waren deze nagenoeg gelijk. Naarmate het vochtdeficit lager was, werd het verschil tussen plant- en luchttemperatuur groter. In de meest vochtige afdeling, waar bevochtigd werd vanaf een vochtdeficit van 3.5 g/m³ werd de planttemperatuur op zonnige dagen tot 3 °C hoger dan de kasluchttemperatuur.

Verdamping

De verdamping van de planten werd gemeten met behulp van weeggoten die in alle afdelingen geïnstalleerd waren. Er waren duidelijk verschillen in verdamping te zien tussen de behandelingen. Naarmate de luchtvochtigheid hoger was, was de verdamping lager. Midden op de dag was de verdamping in de meest vochtige afdeling ongeveer 60% van de verdamping in de referentieafdeling. De energie die door de zon aan het blad wordt toegevoerd, kan de plant via verdamping (latente warmte) of via voelbare warmte af staan. Omdat de verdamping in de behandeling met een laag vochtdeficit minder is, moet de warmte afgevoerd worden als voelbare warmte, dus wordt het blad warmer. In

de referentiekas, waar niet verneveld wordt, kan de plant meer verdampen om zijn warmte kwijt te raken, dus komt de planttemperatuur nauwelijks boven de kasluchttemperatuur.

Tenslotte

Verneveling kan ingezet worden als methode om in de zomermaanden te lage luchtvochtigheden in de kas te voorkomen. Daardoor wordt voorkomen dat op die momenten de huidmondjes sluiten, met negatieve gevolgen voor de fotosynthese. Uit de resultaten van de proef blijkt dat dit effect niet zo groot is dat het meetbaar is als meerproductie. Wel is verneveling een goede manier om warmte af te voeren zonder de ramen ver te hoeven openen. Immers, de warmte-inhoud van vochtige lucht is groter dan die van drogere lucht. Dit kan een positief effect hebben op de productie, omdat door een kleinere raamopening er ook minder CO₂ uit de kas verloren gaat.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Sinds enkele jaren staat het telen in geconditioneerde kassen volop in de belangstelling. In deze kassen is het klimaat beter te sturen dan in traditionele open kassen, door de toepassing van koeling en verneveling. Deze ontwikkelingen hebben geleid tot hernieuwde aandacht voor luchtvochtigheid als klimaatfactor in de kas (Dieleman, 2008). Er is met de nieuwe technische mogelijkheden meer mogelijk op het gebied van sturing van luchtvochtigheid, maar er zijn nog veel vragen over de effecten van luchtvochtigheid op gewasgroei en -ontwikkeling.

Veel van het onderzoek naar de effecten van luchtvochtigheid op gewasgroei is gedaan in de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw, met name in de wintermaanden (Holder en Cockshull, 1990; Bakker, 1990; Jolliet e.a., 1993). In die jaren waren de energieprijzen (ook) hoog. Er werd toen veel aandacht besteed aan isolatie van kassen, gebruik van schermen en nieuwe kasdekmaterialen, hetgeen allemaal leidde tot hogere luchtvochtigheden in de kas. Langdurig hoge luchtvochtigheden in de winter bleken tot een lagere productie te leiden dan lagere luchtvochtigheden (Holder en Cockshull, 1990; Bakker, 1990; Jolliet e.a., 1993; Fussell, 1994). De oorzaak hiervan is mogelijk dat er minder licht onderschept werd doordat bij hoger luchtvochtigheden de bladeren kleiner bleven door lagere calciumgehalten.

Onder zomerse omstandigheden kan in een open kas de luchtvochtigheid ver wegzakken. Onder die omstandigheden kan de wateropname de verdamping niet bijhouden, waardoor waterstress kan ontstaan. Met verneveling kan op die momenten voorkomen worden dat de temperatuur te ver oploopt en de luchtvochtigheid te ver zakt. Omdat er daardoor minder gelucht hoeft te worden, kan een hogere CO₂ concentratie worden gehandhaafd, waardoor de productie toe kan nemen. Uit met name onderzoek uit Zuid-Europa blijkt dat met bevochtiging op warme en zonnige momenten voorkomen kan worden dat de luchtvochtigheid in de kas ver wegzakt. Dit leidde tot een groter bladoppervlak bij tomaat en een hogere productie, veroorzaakt door een hoger gemiddeld vruchtgewicht (Romero-Aranda e.a., 2002). Hoe groot het effect van luchtbevochtiging onder zomerse omstandigheden in Nederland is op gewasgroei en productie is tot nu toe nauwelijks onderzocht.

1.2 Onderzoeksvraag

Het onderzoek naar de effecten van luchtvochtigheid maakt deel uit van het project 'Gewasmanagement bij geconditioneerd telen', waarin nagegaan wordt welke fysiologische processen een rol spelen bij de productiestijging in geconditioneerde kassen en in welke mate er belemmeringen optreden die maken dat deze productiestijging niet gehaald wordt. De vraagstelling van dit onderzoek is of verneveling in de zomer negatieve effecten van (te) lage luchtvochtigheden op gewasgroei, -ontwikkeling en productie kan voorkomen, en welke fysiologische processen hieraan ten grondslag liggen. Verder is de vraag wat de kritische grens is, waarboven de luchtvochtigheid te hoog is en welke processen dan beïnvloed worden.

Hypothese van het onderzoek is dat verhogen van de luchtvochtigheid in de zomer gunstig is voor de productie omdat bij hogere luchtvochtigheden sluiting van de huidmondjes voorkomen wordt waardoor de netto fotosynthese hoger is. Om de vraag te beantwoorden wat het effect is van verschillende luchtvochtigheden zijn vier behandelingen aangelegd, waarbij tomaten geteeld werden in de zomermaanden, van eind april tot eind augustus. In de eerste behandeling werd geen verneveling toegepast. De veronderstelling hierbij is dat in deze afdeling de luchtvochtigheid tot zeer lage niveaus kan wegzakken op zomerse dagen, met negatieve gevolgen voor de huidmondjesopening, fotosynthese en daarmee productie. In de overige drie behandelingen werd bij een oplopend vochtdeficit verneveld. Als het vochtdeficit boven een niveau van 3.5 g/m³, 5.5 g/m³ of 8.5 g/m³ kwam, werd de verneveling ingeschakeld. Dit leidde tot een gradiënt van luchtvochtigheden. De veronderstelling hierbij was dat de behandelingen met een gemiddeld hoger vochtdeficit (maar lager dan de referentie kas) minder last zouden hebben van de eventuele negatieve effecten van een lage luchtvochtigheid. Deze behandelingen dienen ook om vast te stellen of een grens overschreden kon worden, waarboven te veel verneveld was.

1.3 Luchtvochtigheid in de kas

Er zijn verschillende manieren om aan te geven hoe vochtig de kaslucht is:

(Absolute) luchtvochtigheid. Dit is de concentratie van waterdamp in gram per m³ lucht (g/ m³).

Relatieve luchtvochtigheid. De relatieve luchtvochtigheid (RV) is de verhouding tussen de hoeveelheid waterdamp die in de lucht zit en de hoeveelheid waterdamp die de lucht bij dezelfde temperatuur maximaal kan bevatten (in %). De relatieve luchtvochtigheid kan veranderen als gevolg van twee factoren: de temperatuur en de luchtvochtigheid. Als de temperatuur toeneemt bij gelijkblijvende luchtvochtigheid, daalt de RV.

Dauwpunttemperatuur (°C). Als onverzadigde lucht afkoelt, raakt deze steeds meer verzadigd. Bij een bepaalde temperatuur zal de lucht volledig verzadigd raken met waterdamp. Deze temperatuur noemen we het dauwpunt of de dauwpunttemperatuur. Koelt de lucht nog verder af dan treedt condensatie op. Als vruchten, stengels of andere plantendelen kouder zijn dan het dauwpunt, worden ze nat doordat de waterdamp er tegen condenseert.

Dampdruk of dampspanning. Elk gas in een ruimte veroorzaakt een spanning of druk. De druk door waterdamp wordt partiële druk van waterdamp of dampspanning genoemd en uitgedrukt in kilo Pascal (kPa) of mbar. Als de absolute luchtvochtigheid in grammen waterdamp per m³ groter wordt, neemt ook de dampspanning toe.

De verschillende begrippen kunnen in elkaar omgerekend worden als de temperatuur bekend is.

Dampdrukdeficit of VPD. Het dampdrukdeficit of vapour pressure deficit (VPD) is het verschil tussen de dampdruk van verzadigde lucht en de dampdruk van de kaslucht. De VPD wordt uitgedrukt in kPa. Deze is van belang voor de verdamping en vormt de zuigende werking van de omringende lucht.

Vochtdeficit. Zo lang lucht nog niet de maximale hoeveelheid waterdamp bevat, kan extra waterdamp worden opgenomen. De hoeveelheid die nog extra kan worden opgenomen heet het vochtdeficit (in g/m³). Als de temperatuur stijgt, wordt het vochtdeficit groter omdat lucht bij een hogere temperatuur meer waterdamp kan bevatten.

2 Experimentele opzet

2.1 Inrichting en kasklimaat

Op 24 april 2008 (week 17) zijn in 4 (niet geconditioneerde) afdelingen van 144 m² in het kassencomplex van WUR Glastuinbouw in Bleiswijk tomaten 'Idooll' geplant met een plantdichtheid van 2.6 planten per m² (1 stengel per plant).



Figuur 1. Overzicht van tomatengewas Idooll in de kas.

Na een aanlooperperiode van enkele weken waarin werd gezocht naar een haalbaar vochtdeficit, werden op 14 mei de volgende ondergrenzen voor de vochtdeficitbehandelingen ingesteld:

- Vernevelen bij een vochtdeficit van 8.5 g/m³
- Vernevelen bij een vochtdeficit van 5.5 g/m³
- Vernevelen bij een vochtdeficit van 3.5 g/m³
- Referentie kas (geen verneveling)

Met behulp van een algoritme in de klimaatcomputer werden de temperaturen en CO₂-concentraties van de afdelingen waarin de verschillen vochtdeficiten gerealiseerd werden geregeld op de referentie kasafdeling, zodanig dat temperatuur en CO₂-concentratie tussen de behandelingen niet verschilden.

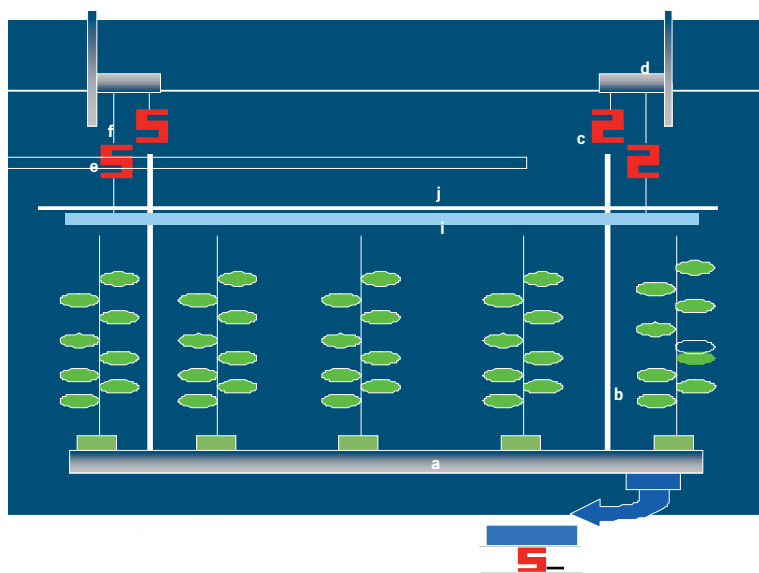
Na een maand van hoge gemiddelde etmaaltemperaturen (setpoint 24 °C) aan het begin van de teelt (eind april) werd de gemiddelde etmaaltemperatuur redelijk hoog (22 °C) gehouden omdat het gewas veel groeikracht bezat. Het bleek moeilijk een advies te geven omdat de plantdatum zo afweek van een gangbare teelt. 's Nachts werd een lage temperatuur aangehouden om zetting te bevorderen (18 °C). Over het algemeen is een redelijke hoge gemiddelde temperatuur aangehouden. De CO₂-dosering was 150 kg/ha/uur met een setpoint van 1000 ppm.

2.2 Waarnemingen

Tijdens het experiment werd aan het klimaat het volgende gemeten in de kas: luchttemperatuur, CO₂-concentratie, luchtvochtigheid, temperatuur en luchtvochtigheid op verschillende hoogtes; straling en temperatuur bij de kop van de plant. Daarnaast is de globale straling gemeten buiten de kas. Deze registraties werden elke 5 minuten gedaan. Planttemperaturen werden gemeten door een infrarood camera (Type: PT-meter) boven het gewas.

Aan 8 planten per kas (in 2 telvakken van 4 planten) werd wekelijks bepaald: kopdikte, bladlengte van het blad onder de bovenste bloeiende tros, nummer van de bloeiende en laatst gezette tros, plantbelasting, productie (aantal trossen, versgewicht, gemiddeld vruchtgewicht en droge stof percentage). Eén van de telvakken was gesitueerd aan de linkerkant van het pad (zuid kant) en één aan de rechter kant van het pad (noord kant). Daarnaast werden van alle geplukte bladeren vers- en drooggewichten en lengtes en breedtes bepaald.

De watergiftgrootte, gewasverdamping en de drainagehoeveelheid werden met weeggoten gemeten (Figuur 2). De weeggoten meten per minuut gootgewicht, plantgewicht en het gewicht van de opgevangen drainage. Deze werden gebruikt om giftgrootte, matwatergehalte, drainagehoeveelheid, verdamping en gewasgroei te berekenen. Een eenvoudige weeggoot voor tomaat bestond in deze proef uit een goot van 5.0 meter, een drainageopvangbak en twee gewasbalken. Van alle onderdelen werd het gewicht online gemeten en deze weeggegevens werden per minuut weg geschreven in een databestand. Voor het meten van het gewicht werden krachtopnemers gebruikt. Uit de data zijn daggemiddelden voor de verdamping berekend. Daarnaast is er op een aantal contrasterende dagen de verdamping per uur berekend.



Figuur 2. Dwarsdoorsnede van een weeggoot met een fictief aantal planten. a = weeggoot, b = kabel waaraan de goot hangt, c = krachtopnemer waaraan de goot hangt, d = dragende kasdelen, e = krachtopnemer waaraan de gewasbalk hangt, f = kabel waaraan e hangt, g = drainageopvangbak, h = krachtopnemer waarop de drainageopvangbak staat, i = gewasbalk, j = doorlopende gewasdraad van de planten buiten het systeem (De Graaf et al., 2004).

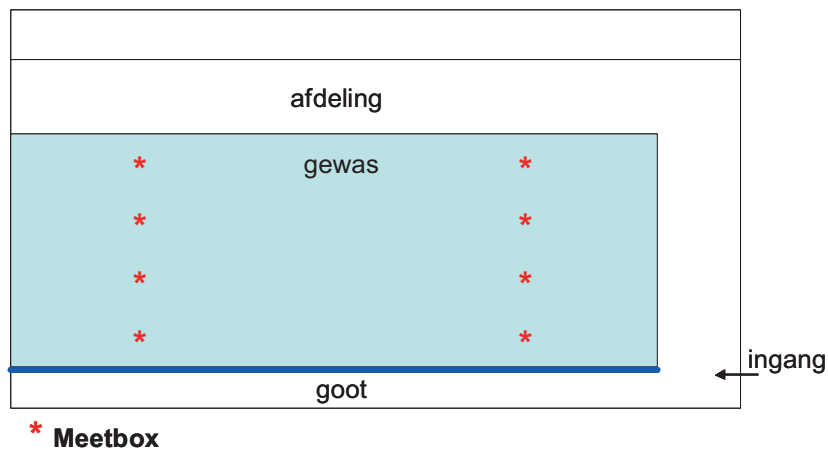
Aan het begin van de proef werden 10 planten destructief gemeten. Daarna werden er 4 destructieve metingen verricht (15 mei, 18 juni, 23 juli en 27 augustus) waarbij 6 planten per afdeling uit de kas gehaald werden. Hierbij werden vers- en drooggewichten van bladeren, stengels en vruchten gemeten alsook de plantlengte en het bladoppervlak. Van 8 trossen per behandeling werd in juli de houdbaarheid getest door ze in dozen in een houdbaarheidsruimte te bewaren bij 20 °C en 80% luchtvochtigheid.



Figuur 3. Foto van de gebruikte sensor ten behoeve van de temperatuur en relatieve luchtvochtigheidsmeting.

Daarnaast werd het klimaat in de vier kassen gemeten met draadloze klimaatsensoren die temperatuur en relatieve luchtvochtigheid registreren (Figuur 3).

In iedere afdeling zijn op 4 hoogten op 2 locaties in dezelfde gewasrij temperatuur en luchtvochtigheid met een loginterval van 5 minuten gemeten in de periode van 25 april tot 22 september. In Figuur 4 is een schematisch weergegeven waar in het gewasblok de temperatuur en luchtvochtigheid gemeten zijn.



Figuur 4. Plaatsing van de sensor tussen het gewas (zijaanzicht).

Informatie over de gewasbescherming is te vinden in Bijlage I. De proef is afgesloten op 28 augustus 2008, dus totale duur was 18 weken.

2.3 Watergift en bemesting

De drain in deze proef was rond de 30% in alle behandelingen. In de onderstaande Tabel 1 zijn de gegevens van de gemiddelde EC, het totale watergift en de substraattemperatuur weergegeven. Over het algemeen zijn de waardes gelijk voor alle kassen.

Tabel 1. Gemiddelde EC, watergift en substraattemperatuur in de vier behandelingen.

Behandeling	Referentie	8.5 g/ m ³	5.5g/ m ³	3.5g/ m ³
EC drain (S m ⁻¹) ¹	2,9	2,9	2,5	2,9
Watergift totaal (min)	8808	8817	8743	8801
Substraattemperatuur (°C)	22,0	21,8	22,2	21,6

¹ vanaf 27 mei.

3 Resultaten en Discussie

3.1 Klimaat

In deze proef is een algoritme gebruikt in de klimaatregeling, waarbij de temperatuur en de CO₂ concentratie van de afdelingen waarin verneveld werd zo werden geregeld, dat zij zoveel mogelijk gelijk waren aan de temperatuur en CO₂ concentratie in de referentie kas. Dit algoritme heeft goed gefunctioneerd. De temperaturen en CO₂ concentraties in de verschillende behandelingen vertoonden nauwelijks verschillen (zie Bijlage II) evenals het aantal kilo's CO₂ dat in de proef werd gedoseerd (Tabel 2).

Tabel 2. Aantal kilo's CO₂ gedoseerd van 29 april tot 28 augustus in de verschillende behandelingen.

	Referentie	8.5 g/m ³	5.5 g/m ³	3.5 g/m ³
Kilo's gedoseerd CO ₂	24,1	24,1	24,1	24,2

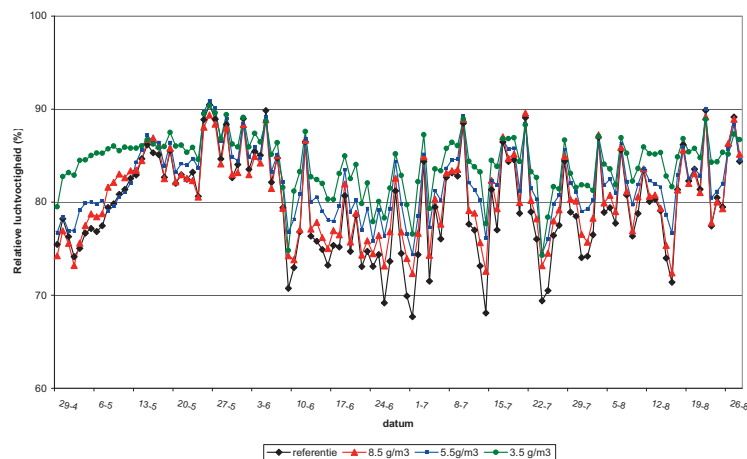
Om de verschillen in vochtdeficit te realiseren, werd er in de behandelingen verneveld. Het aantal uren dat verneveld is staat in onderstaande tabel.

Tabel 3. Aantal uren dat er in de verschillende behandelingen verneveld is in de periode 29 april tot 28 augustus.

	Referentie	8.5 g/m ³	5.5 g/m ³	3.5 g/m ³
Aantal uren verneveling	0	45	177	339

3.1.1 Relatieve luchtvochtigheid (RV)

De RV in de referentie kas was vaak laag, terwijl de vochtige kassen een hogere RV hebben (Figuur 5). In paragraaf 3.1.2 wordt dieper op de verschillen tussen de behandelingen ingegaan. In Tabel 2 zijn de gemiddelde RV-waardes gedurende de proef aangegeven.



Figuur 5. Verloop van de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid per etmaal.

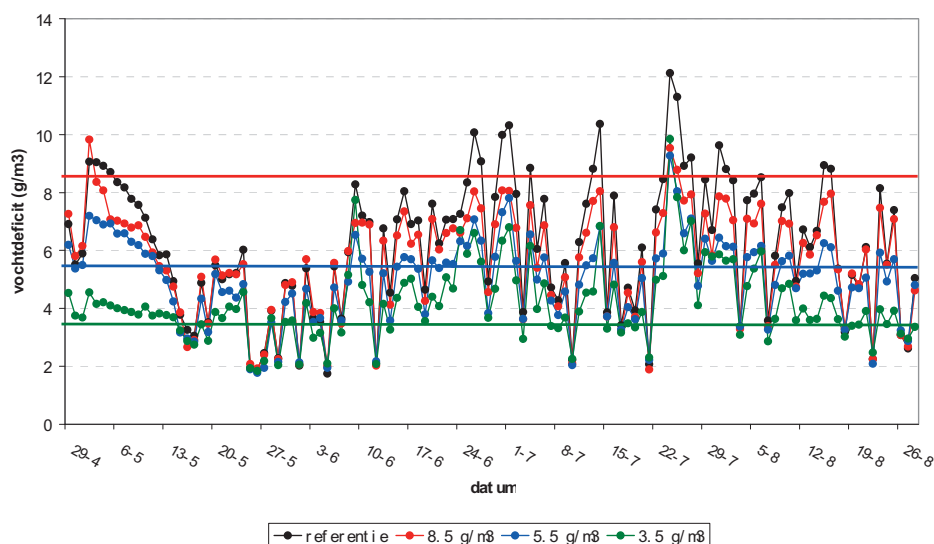
Tabel 4. Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid gedurende de proef.

	Referentie	8.5 g/m ³	5.5 g/m ³	3.5 g/m ³
Relatieve luchtvochtigheid (%)	79,8	80,7	82,2	84,2

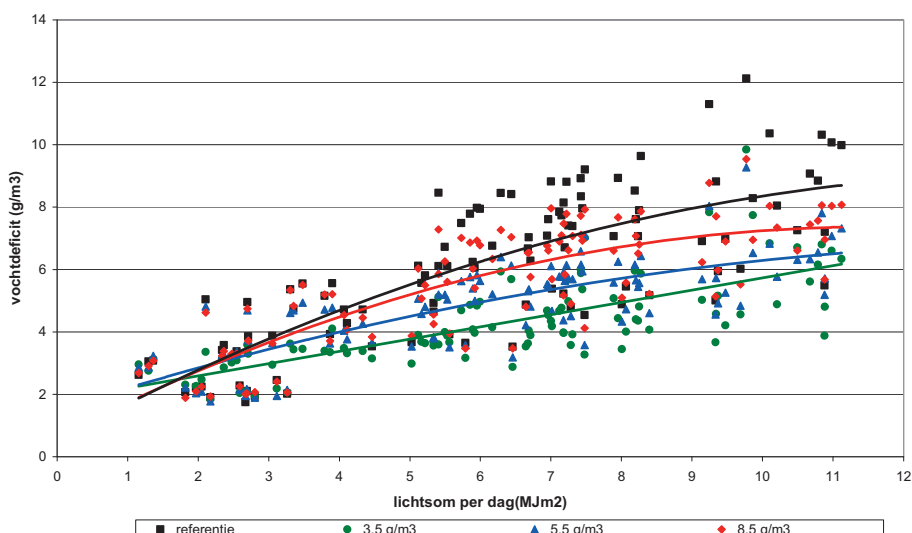
3.1.2 Vochtdeficit

In deze proef werd geregeld op vochtdeficit. In Figuur 6 is het gemiddelde vochtdeficit gedurende de periode 10 – 20 uur uitgezet. In de periode van 20 – 10 uur (nacht) werden geen vochtdeficits bereikt boven de 3,5 g/m². De vochtdeficits verschilden 's nachts niet tussen de behandelingen. Er zijn veel schommelingen zowel tussen maar vooral binnen een kas. In Figuur 6 zijn de setpoints voor verneveling aangegeven. Er zijn echter geen dagen waarbij deze drie setpoints allemaal gerealiseerd worden. De periode van 29 april tot 13 mei wijkt af omdat bij aanvang van de proef de kassen andere setpoints dan later in de proef.

Als het vochtdeficit uitgezet wordt tegen de lichtsom per dag is er een duidelijk verschil in de relatie tussen de behandelingen (Figuur 7). Dit verschil is groter naarmate het lichtniveau toeneemt met een kleine afbuiging bij lichtniveaus boven de 5 MJ m⁻² per dag. Bij lage lichtniveaus was er weinig verschil in het vochtdeficit tussen de kassen. In de periode 29 april tot 28 augustus zijn er 30 dagen geweest waarin de lichtsom onder de 5 MJ m⁻² per dag bleef. Gedurende deze dagen was het onmogelijk zonder ontvochtiging verschillen in luchtvochtigheid tussen de behandelingen te realiseren omdat de het vochtdeficit op die momenten niet boven de 4 g/m³ kwam. In deze proef is echter geen ontvochtiging toegepast. Bij hoge instraling kwam het vochtdeficit in de vochtige kas ver boven het setpoint van 3.5 g/m³. De luchtbevochtiging had bij hoge instraling niet voldoende capaciteit om de hoge luchtvochtigheid (kleine vochtdeficit) te realiseren. Omdat de temperatuur in alle afdelingen gelijk moest blijven, heeft ventilatie hier parten in gespeeld. Het stijgende vochtdeficit met meer instraling zorgde ervoor dat het dampdrukverschil tussen de holtes in de bladeren en de lucht rond het blad groter werd, waardoor de verdamping toenam.



Figuur 6. Verloop van het gemiddelde vochtdeficit overdag (10 – 20 uur) en de setpoints voor verneveling van de 3 kassen waar luchtbevochtiging aanwezig was.

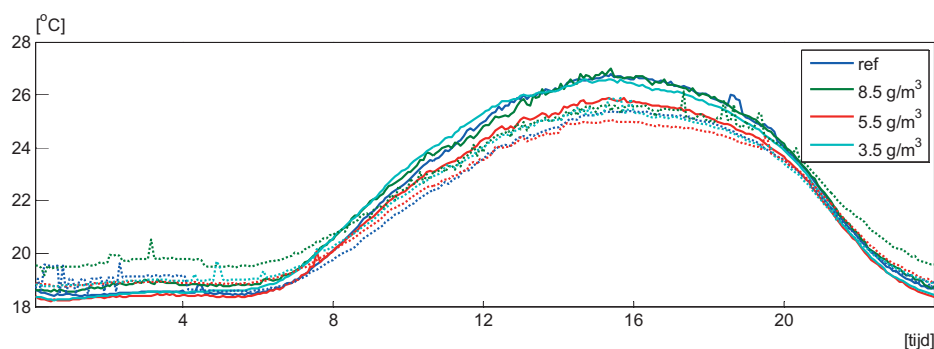


Figuur 7. Relatie tussen het gerealiseerde vochtdeficit overdag (10 tot 20 uur) en de lichtsom per dag. De lijnen voor de referentie kas en de kassen met een setpoint verneveling van 8.5 en 5.5 g/m³ zijn gebaseerd op een lichte kromming en die van de kas met 3.5 g/m³ is een rechte lijn.

3.1.3 Verticale metingen van kasklimaat

Om een indruk te krijgen van het klimaat op vier hoogtes in de behandelingen zijn voor temperatuur, RV en vochtdeficit cyclische gemiddelden voor de bovenste en de onderste helft van het gewas gemaakt over de periode dat dit systeem actief is geweest, van 4 mei tot en met 28 augustus.

Figuur 8 geeft het cyclisch gemiddelde van de temperatuur weer, waarbij de getrokken lijn de bovenste helft van het gewas weergeeft en de stippellijn de onderste helft van het gewas.

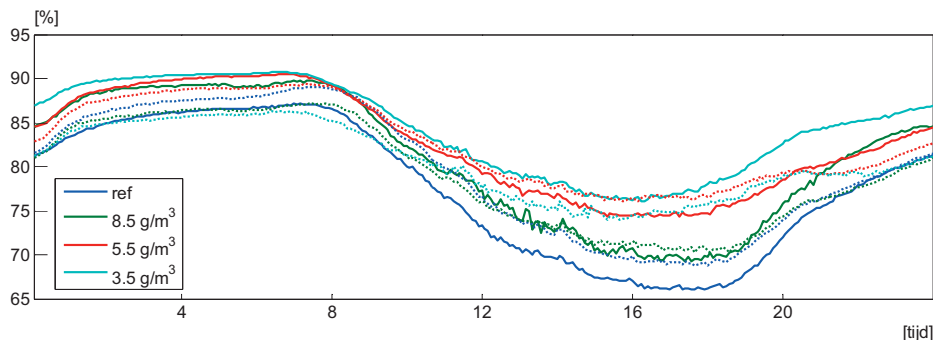


Figuur 8. Het cyclisch verloop van de temperatuur in de bovenste (getrokken lijn) en de onderste (stippellijn) helft van het gewas als gemiddelde voor de 4 bijbehorende meetlocaties per behandeling voor de periode van 4 mei tot en met 28 augustus.

In het algemeen kan gesteld worden dat de temperatuurpatronen niet afwijken van wat normaal gangbaar is. Gedurende de dag is het bovenin het gewas iets warmer dan in de onderste helft, waar dit 's nachts vaak omgekeerd is en waar 's nachts de verschillen kleiner zijn dan overdag. Er is geen verklaring te geven voor de lage temperatuur van het bovenste deel in het gewas overdag in de behandeling van 5.5 g/m³. Hetzelfde geldt voor de nachttemperatuur van het onderste deel in het gewas in de behandeling van 8.5 g/m³. Uit deze figuur kan ook

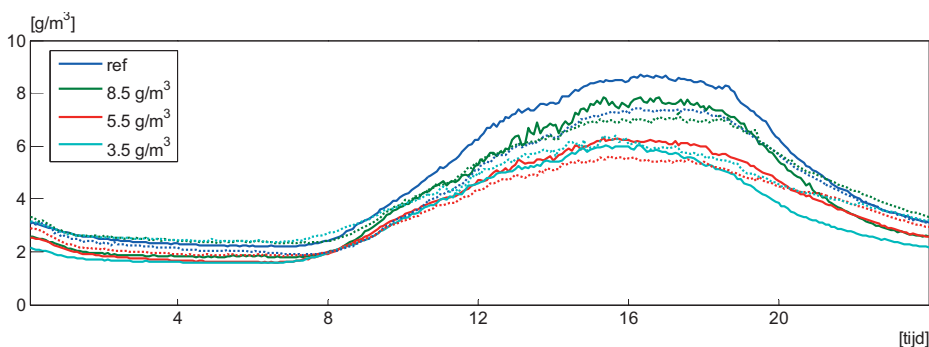
geconcludeerd worden dat de luchtbevochtiging geen meetbaar effect heeft op de verticale temperatuurverdeling in het gewas. Dit zal grotendeels veroorzaakt worden doordat op de momenten dat de luchtbevochtiging wordt ingezet er ook (veel) geventileerd wordt. Daarnaast nam in de kassen waar weinig of niet werd bevochtigd de hogere gewasverdamping iets van het koelende effect van de bevochtiging over.

In Figuur 9 is het cyclisch gemiddelde van de RV weergegeven, waarbij de getrokken lijn de bovenste helft van het gewas is. Deze figuur laat met name overdag goed zien dat de bevochtiging de RV goed kan verhogen.



Figuur 9. Het cyclisch verloop van de RV in de bovenste (getrokken lijn) en de onderste (stippel lijn) helft van het gewas als gemiddelde voor de 4 bijbehorende meetlocaties per behandeling voor de periode van 4 mei tot en met 28 augustus.

In Figuur 10 is het cyclisch gemiddelde van het vochtdeficit weergegeven. Hierin is te zien dat het vochtdeficit gedurende de dag, de periode dat de luchtbevochtiging voornamelijk actief is, kleiner wordt bij een verlaging van de setpoint (de behandelingen). De capaciteit van de systemen in de afdelingen is immers gelijk. Bij een verlaging van de setpoint zal het systeem simpelweg meer worden ingezet. Uit Figuur 10 wordt wel een trend zichtbaar dat bij verlaging van de setpoint het verschil in vochtdeficit tussen de bovenste en onderste helft van het gewas kleiner wordt. Dat overdag het vochtdeficit groter is in de bovenste helft van het gewas (ondanks dat dat deel het dichtst bij de verneveling zit), komt doordat bij dat deel van het gewas het meeste vocht verdwijnt omdat daar de droge buitenlucht in de kas komt.



Figuur 10. Het cyclisch verloop van het vochtdeficit in de bovenste (getrokken lijn) en de onderste (stippel lijn) helft van het gewas als gemiddelde voor de 4 bijbehorende meetlocaties per behandeling voor de periode van 4 mei tot en met 28 augustus.

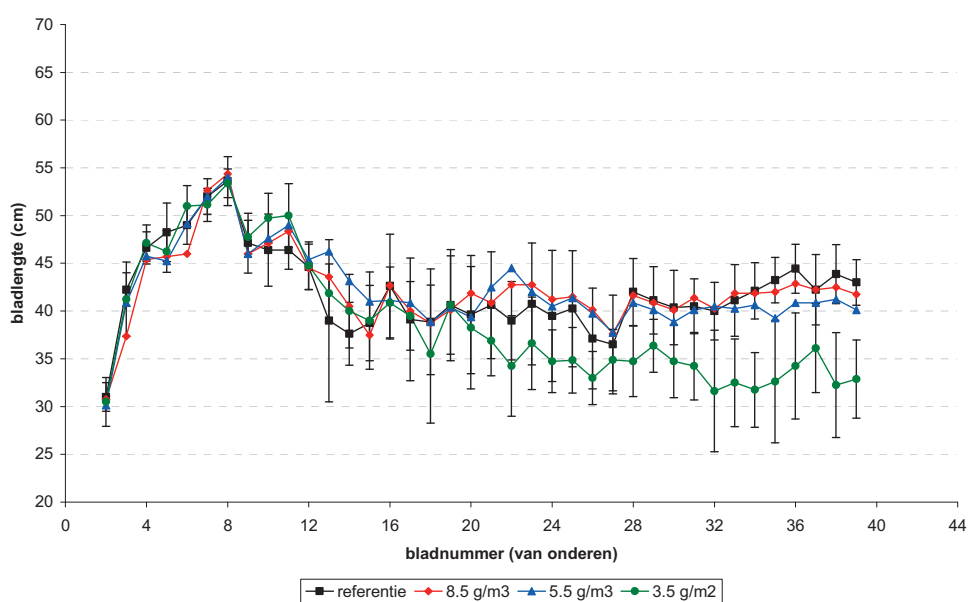
3.2 Gewas

Het gewas is gedurende de eerste maand van de teelt in alle behandelingen zeer vegetatief gebleven. Vooral in de vochtigste kas was het blad nogal gekruld: dit wijst op slechte afvoer van assimilaten en zetmeelophoping. De bladeren krulden in de lengte en extra bladeren groeiden uit de nerven (Figuur 11). De bladeren werden ook als 'lepelig' omschreven. Dit was zichtbaar vanaf week 20. Ook werd er in deze behandeling een afwijkend bladstand geconstateerd waarbij de bladeren sterk afhingen. De bladstand in deze zwaar bevochtigde afdeling is mogelijk nadelig geweest voor de lichtonderschepping.

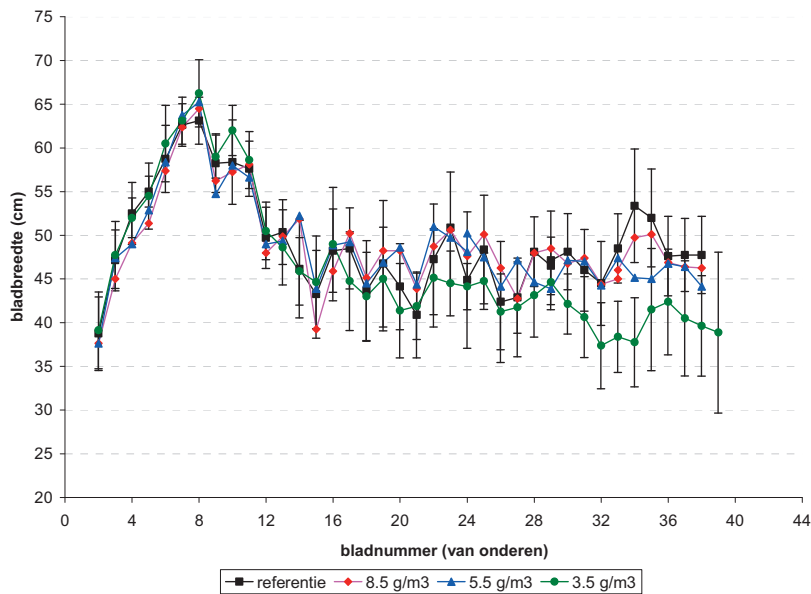


Figuur 11. Afwijkende bladeren in de vochtige kas.

Vanaf 5 mei (week 2 van de proef) werd in alle behandelingen wekelijks een gelijk aantal bladeren geplukt. In Figuur 12 zijn de lengtes en in Figuur 13 de breedtes van de geplukte bladeren uitgezet tegen de positie aan de plant. Vanaf het 17^e blad zijn de bladeren in de behandeling met het laagste vochtdeficit (vochtigste kas) korter en minder breed dan de bladeren in de overige behandelingen. Dit verschil is het grootst bij de bovenste 10 bladeren. Blad 17 komt overeen met een blad dat openvouwde in ongeveer week 22 (4 weken na planten).



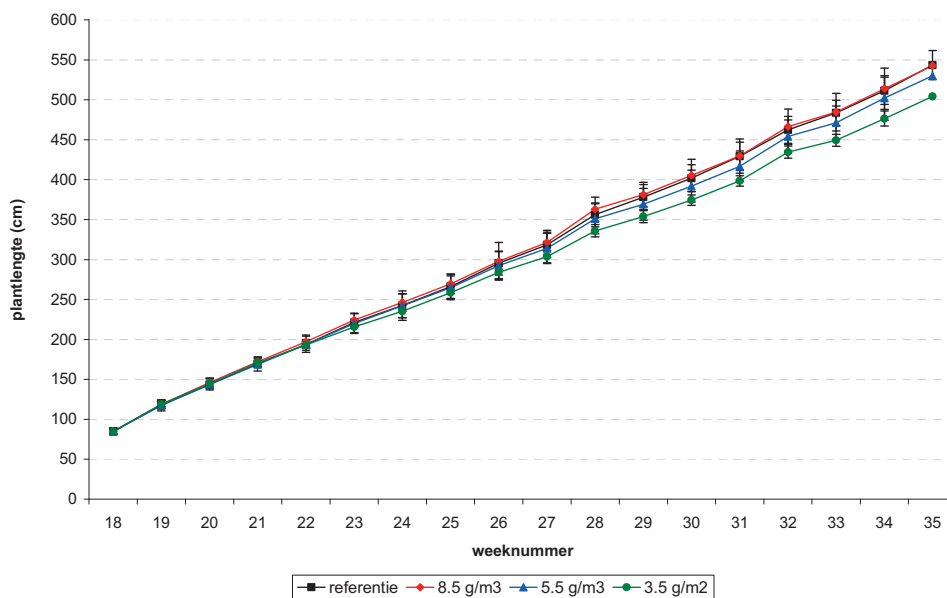
Figuur 12. Verloop van de bladlengte over de plant in de vier behandelingen (zie legenda). De verticale lijnen geven de spreiding aan. Blad nummer 17 komt overeen met een blad dat in week 22 openvouwde.



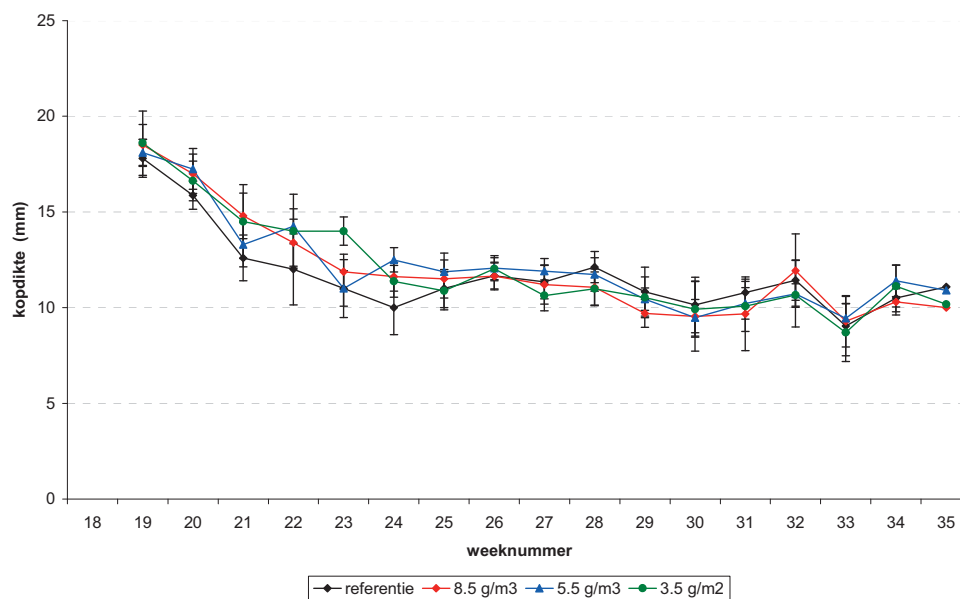
Figuur 13. Verloop van de bladbreedte over de plant in de vier behandelingen (zie legenda). De verticale lijnen geven de spreiding aan. Blad nummer 17 komt overeen met een blad dat in week 22 openvouwde.

3.2.1 Groei en ontwikkeling

De groei van de planten werd bijgehouden door wekelijks de lengte te meten (Figuur 14). Ook de dikte van de stengel ter hoogte van de bloeiende tros werd bijgehouden (Figuur 15). De lengte van de planten in de behandeling met de hoogste luchtvochtigheid (vochtdeficit 3.5 g/m³) was vanaf week 23 korter dan in de overige behandelingen (Figuur 14). Dit verschil werd gedurende de teelt steeds groter. De kopdikte nam in het begin van de teelt sterk af met een toenemend aantal vruchten aan de plant. Er is geen verschil in kopdikte tussen de behandelingen.



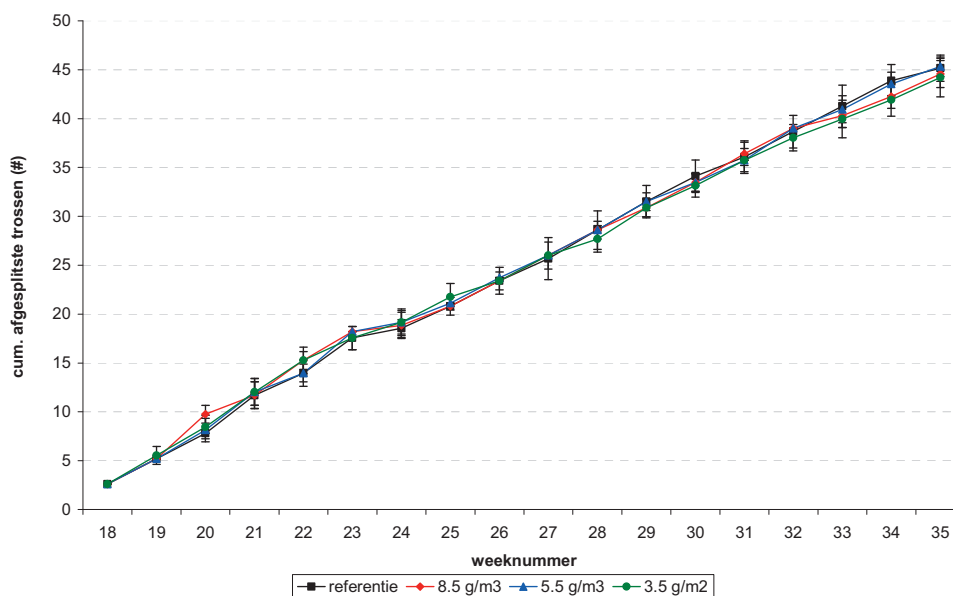
Figuur 14. Verloop van de plantlengte (cm) gedurende de teelt. De verticale lijnen geven de spreiding aan.



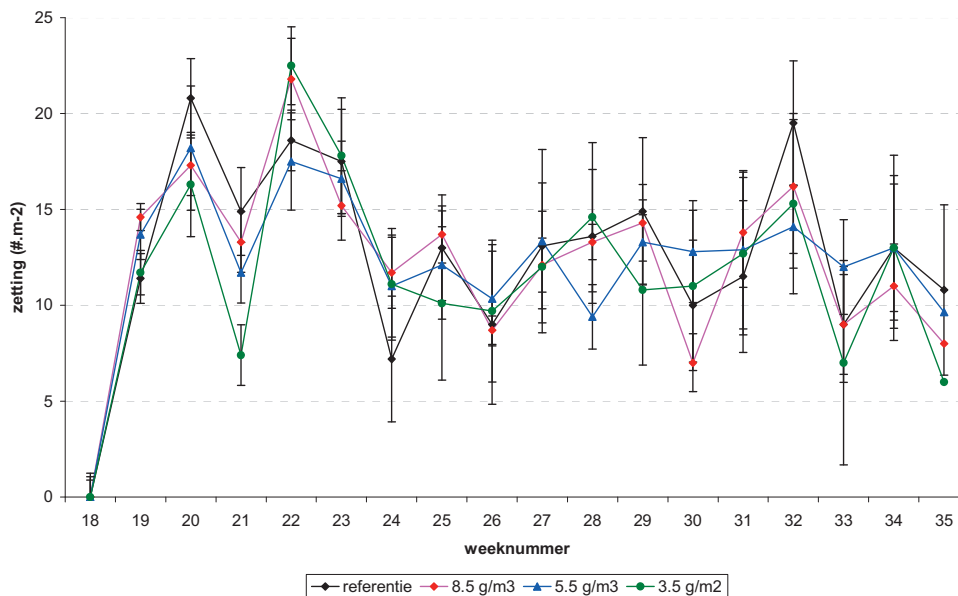
Figuur 15. Verloop van de kopdikte (mm) gedurende teelt. De verticale lijnen geven de spreiding aan.

Het cumulatieve aantal afgesplitste trossen (Figuur 16) verschilde niet tussen de behandelingen. De reden hiervoor is dat de trosafplitsingssnelheid voornamelijk door temperatuur wordt bepaald. In deze proef zijn de temperatuurverschillen tussen de afdelingen zeer klein geweest.

Het aantal vruchten dat per week zette (Figuur 17) toont een wat grilliger beeld. In periodes waarin de kasluchttemperaturen hoog waren, was ook de vruchtzetting hoog (zie klimaatdata in Bijlage II). Per tros werden zes vruchten aangehouden.



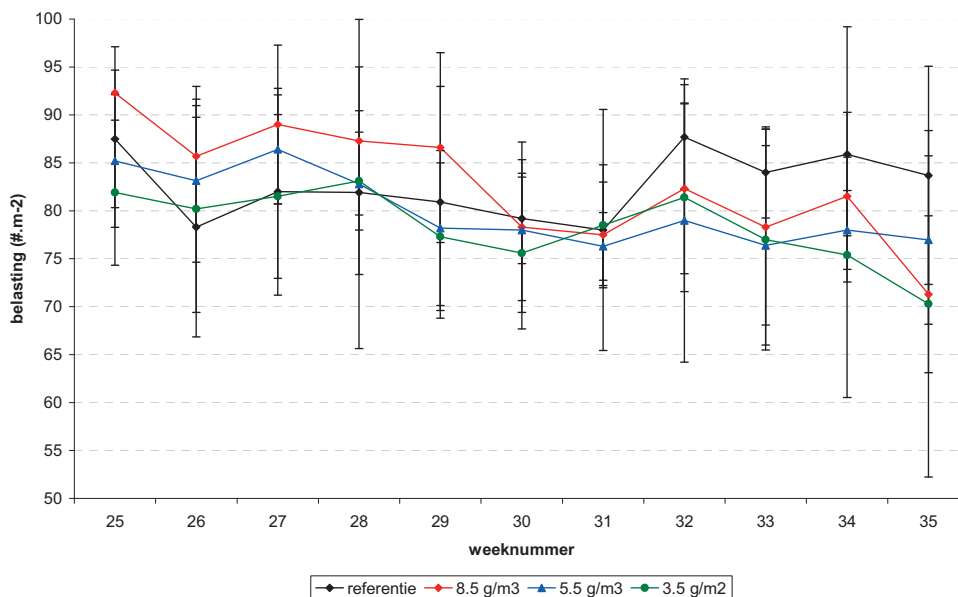
Figuur 16. Cumulatief aantal afgesplitste trossen per week. De verticale lijnen geven de spreiding aan.



Figuur 17. Zetting (aantal vruchten per m^2 per week). De verticale lijnen geven de spreiding aan.

3.2.2 Plantbelasting

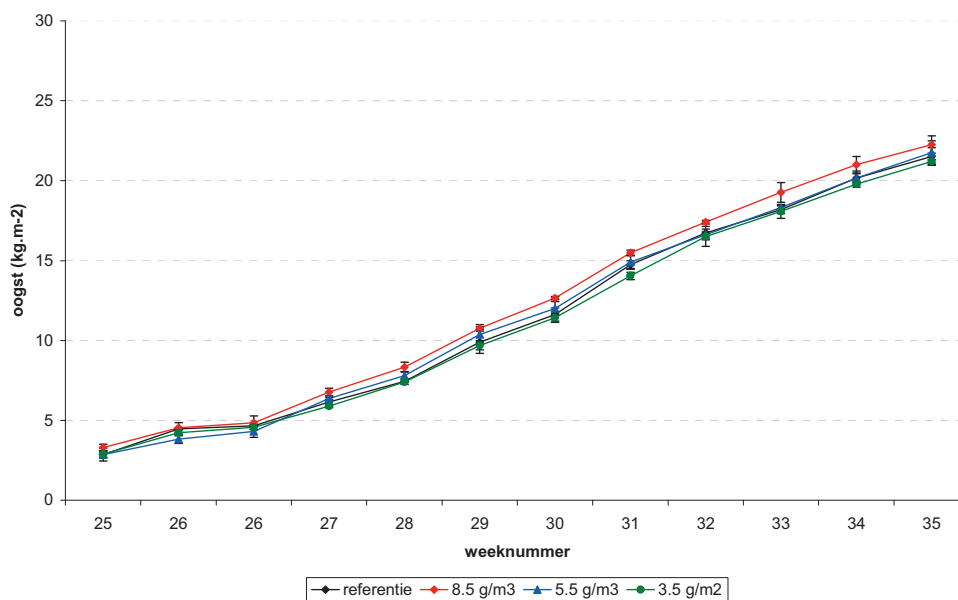
De plantbelasting werd berekend door het aantal vruchten aan de plant per m^2 te berekenen vanuit de wekelijkse metingen van de zetting en de oogsten. In Figuur 18 is te zien dat de plantbelasting gedurende de teelt voor de meeste behandelingen licht afnam. De grote spreiding wordt gedeeltelijk verklaard door het feit dat er per tros geogst is en niet per vrucht.



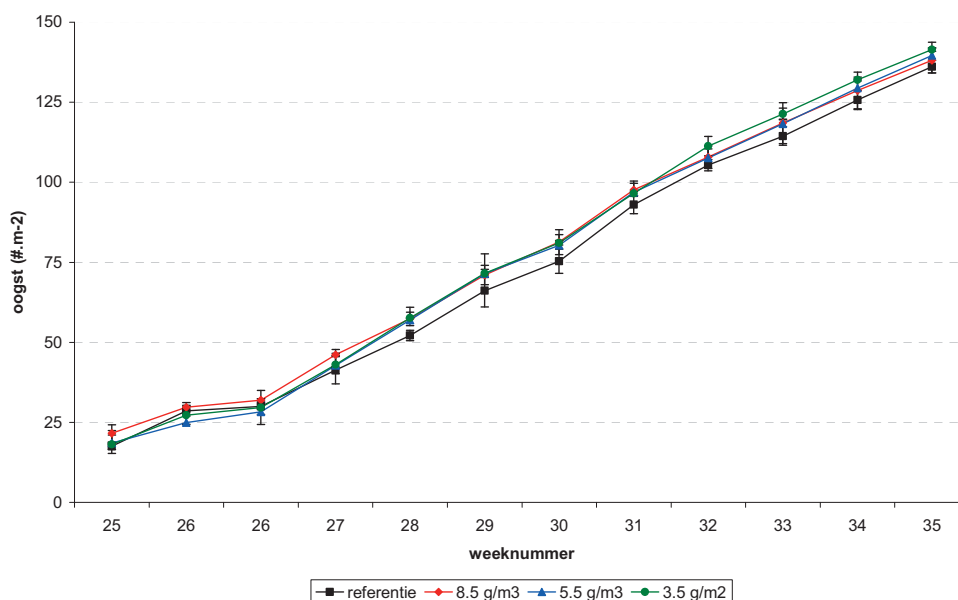
Figuur 18. Plantbelasting (aantal ontwikkelende vruchten per m^2 aan de plant). Verticale lijnen geven de spreiding aan.

3.2.3 Productie en kwaliteit

De luchtvochtigheid van de kaslucht bleek weinig effect te hebben op de productie, zowel op het geogste gewicht (Figuur 19) als op het aantal vruchten (Figuur 20) per behandeling. Ook het gemiddelde vruchtgewicht verschilde niet tussen de behandelingen (Figuur 21). Ook het drogestofpercentage van rijpe vruchten verschilde niet (data niet gepresenteerd).

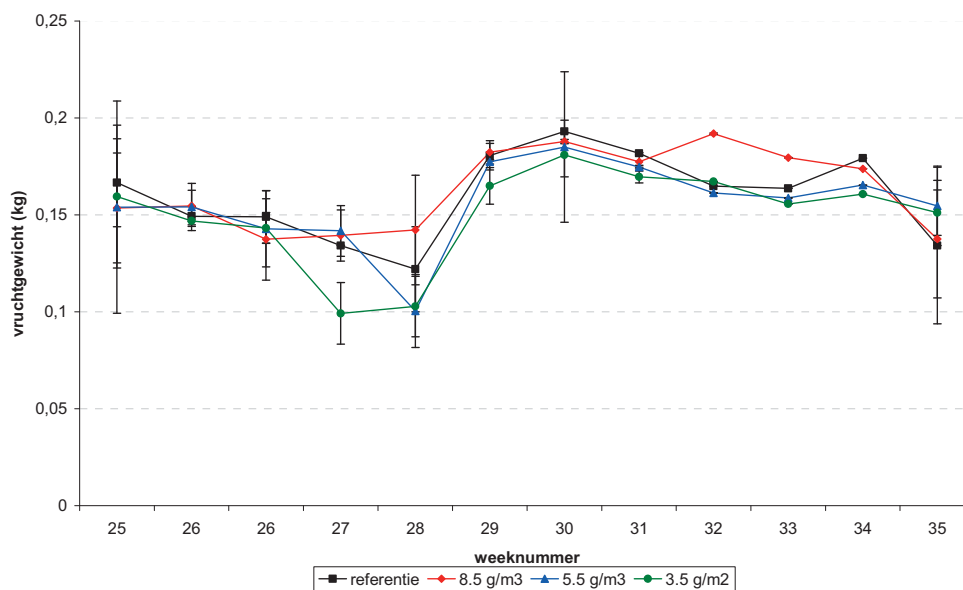


Figuur 19. Verloop van de cumulatieve oogst (kg per m²). Verticale lijnen geven de spreiding aan.

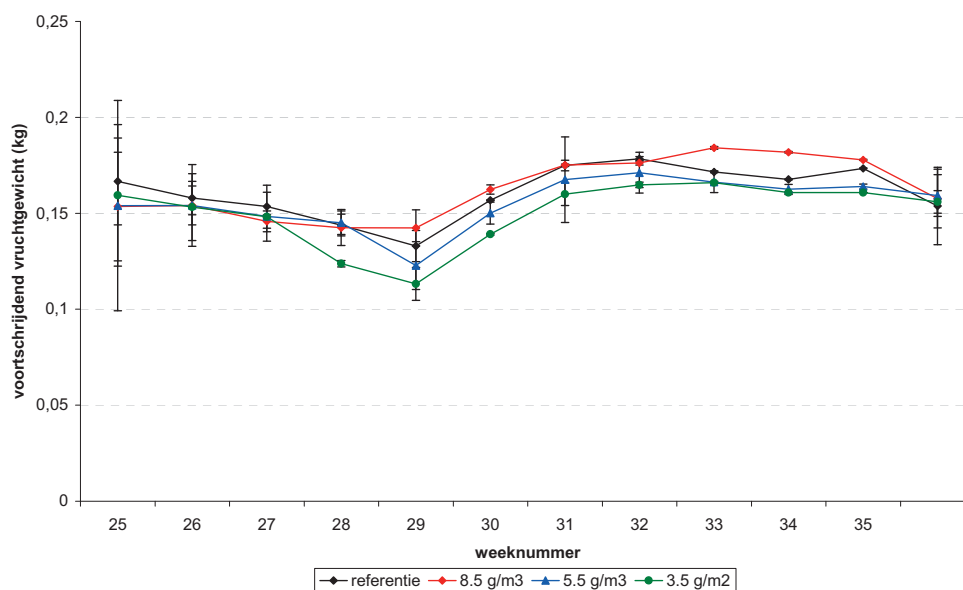


Figuur 20. Verloop van de cumulatieve oogst (aantal vruchten per m²). Verticale lijnen geven de spreiding aan.

Het wekelijkse vruchtgewicht schommelt (Figuur 21) en neemt toe na week 28. Het voortschrijdend gemiddelde gewicht neemt daardoor toe na week 29 (Figuur 22).



Figuur 21. Verloop van het gemiddeld vruchtgewicht (g per vrucht) per week.



Figuur 22. Verloop van het voortschrijdend gemiddeld vruchtgewicht (g per vrucht) per week.

In Figuur 23 is het verschil te zien tussen een tros uit de referentiebehandeling (links) en een afwijkende tros uit de behandeling waarin verneveld werd bij een vochtdeficit van 3.5 g/m^3 (rechts). In de weken 26 tot 30 zijn wekelijks in de afdeling (144 m^2) met een vochtdeficit van 3.5 g/m^3 ca. 15 trossen van deze kleine zeer afwijkende trossen geoogst. Later in de teelt werd het aantal afwijkende trossen veel lager. De afwijkende trossen met kleine vruchten zouden veroorzaakt kunnen worden door een slechte zetting rondom de week 22. In deze week was de luchtvochtigheid erg hoog in deze kas. Dit kan een negatief effect gehad hebben op het vrijkomen van het stofmeel (Picken, 1984).

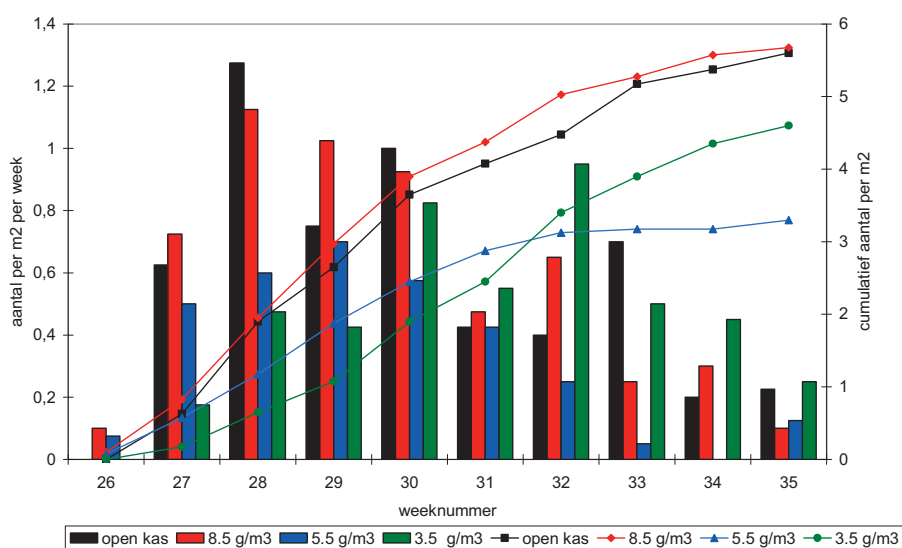


Figuur 23. Trossen geoogst in week 27 afkomstig uit de referentiebehandeling (links) en een afwijkende tros uit de behandeling waarin verneveld werd bij een vochtdeficit van 3.5 g/m^3 (rechts).. De trossen waren over het algemeen op 6 vruchten gesnoeid.

Op 16 juli werd van 8 trossen per behandeling de houdbaarheid bepaald. Drie keer per week werden de vruchten waargenomen in een 'consumententoets' op zachtheid, ziekte en aantal goede vruchten per tros. Deze drie factoren samen bepalen de houdbaarheid. 15% van de vruchten uit de behandeling met een setpoint van 3.5 g/m^3 waren al na 4 dagen afgeschreven vanwege zachtheid (zie Bijlage VI).

Tijdens de proef werd bij een beperkt aantal vruchten neusrot geconstateerd. In de eerste weken van de oogst was dit voornamelijk in twee 'droogste' kassen (Figuur 24). Neusrot is gerelateerd aan een lokaal calciumgebrek in het uiteinde van de vrucht. Bij een hoge verdampingssnelheid gaat veel water (met calcium) naar de bladeren, en komt onvoldoende water met calcium in de vruchten. In kassen met een lage luchtvochtigheid is de verdampingssnelheid hoger en de kans op neusrot hoger. Later in de teelt werd meer neusrot waargenomen in de vochtigste kas. In deze kas was de verdamping, en daarmee ook de opname van calcium lager.

In alle behandelingen kwamen bladrandjes voor maar er waren geen verschillen tussen de behandelingen.



Figuur 24. Verloop van het aantal vruchten per m^2 met neusrot gedurende het experiment.

3.2.4 Virusaantastingen

Tijdens de proef zijn bladmonsters genomen om te toetsen op virus. In Op 16 juli 2008 is een plant met virusachtige symptomen aangetroffen in de behandeling 'verneveln bij een vochtdeficit van 5 g/m^3 '. Van het virusmonster is vastgesteld dat de plant geïnfecteerd was met tomatenbronsvlekkenvirus (Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV). De aanwezigheid van dit virus (in één plant) zal geen invloed hebben gehad op het verloop van de proeven. De planten in de vier kassen van het experiment zijn vanaf het begin van de proef wekelijks of tweewekelijks getoetst met een DAS-ELISA op de aanwezigheid van pepinomozaïekvirus (Pepino mosaic virus, PepMV). Op 30 juli 2008 is er bij deze controle pepinomozaïekvirus aangetroffen. Gezien het symptoombeeld was de virusvariant in de behandelingen 'verneveln bij vochtdeficit 5.5 en 3.5 g/m^3 ' mild en zal de invloed ervan op het proefverloop gering zijn geweest. Door de verscherpte hygiënemaatregelen is voorkomen dat de andere twee behandelingen besmet zijn geraakt. Voor meer informatie over de virussen in de teelt zie Bijlage VII.

3.2.5 Destructieve metingen

Maandelijks werden 6 planten per behandeling uit de kas gehaald en destructief geoogst. Uit deze gegevens is naast de LAI ook de verdeling van de assimilaten over de planten vast te stellen. In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de drogestofverdeling, de leaf area index (LAI - m^2 blad per m^2 grondoppervlak) en de SLA (oppervlak blad in cm^2 per g drooggewicht). In alle behandelingen neemt de aandeel drogestof in de stengel en in het blad af in de tijd ten gunste van het aandeel van de drogestof in de vruchten.

Gedurende de teelt bleek de LAI redelijk constant te zijn. De vochtigste behandeling (verneveling aan bij vochtdeficit van 3.5 g/m^3) heeft de laagste LAI, hetgeen verklaard wordt door de kleinere bladeren in deze behandeling. Uit de bepaling van de het specifiek bladoppervlak (SLA, bladoppervlak per g drooggewicht van de bladeren) is te zien dat de bladeren in de vochtigste afdeling weliswaar kleiner zijn, maar dikker. Het gewicht van de bladeren verschilt daarmee niet tussen de behandelingen. In alle kassen neemt de SLA vanaf 90 dagen na planten toe. Dit kan een reactie zijn op afnemende licht, waardoor dunnere bladeren aangelegd worden.

Tabel 5. *Maandelijks destructieve metingen. In de waardes zijn de reeds geplukt bladeren en vruchten niet meegenomen.*

Kas	Dag na planten	Total droog gewicht (g m ²)	Aandeel ds ¹ in stengel (%)	Aandeel ds in blad (%)	Aandeel ds in vrucht (%) ²	Verhouding droog gewichten blad/stengel	LAI (m ² blad per m ² oppervlak)	SLA (cm ² per g)
Start	0	19,1	31	69	0	2,23	0,34	261,88
referentie kas	22	289,5	25	73	2	2,85	3,19	152,52
	56	407,6	26	63	10	2,40	2,87	148,14
	90	385,5	16	41	43	2,57	2,84	202,59
	124	436,0	14	35	51	2,60	3,14	211,92
8.5 g/m ²	22	287,7	25	72	3	2,85	3,03	147,99
	56	394,9	26	63	11	2,47	3,18	166,00
	90	431,0	16	40	44	2,55	3,30	187,92
	124	479,9	15	35	51	2,38	3,38	200,82
5.5 g/m ²	22	275,5	26	71	3	2,71	2,98	157,06
	56	403,4	27	63	10	2,35	3,09	156,11
	90	356,2	15	39	46	2,54	2,38 ³	192,00
	124	440,4	14	34	52	2,48	3,01	206,09
3.5 g/m ²	22	265,7	27	71	2	2,63	2,72	145,40
	56	398,6	26	64	10	2,49	2,91	152,85
	90	392,4	17	39	44	2,31	2,23 ³	182,02
	124	437,6	14	34	52	2,45	2,82	195,32

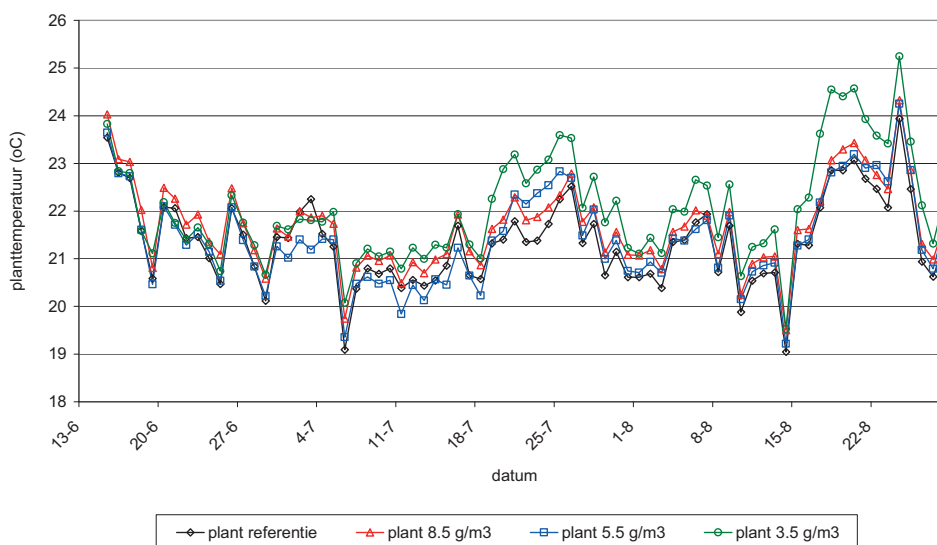
¹ *d.s. = drogestof*

² *drogestof van alle vruchten aan de plant ongeacht of ze rijp zijn of niet. In de waardes zijn de reeds geplukt bladeren en vruchten niet meegenomen.*

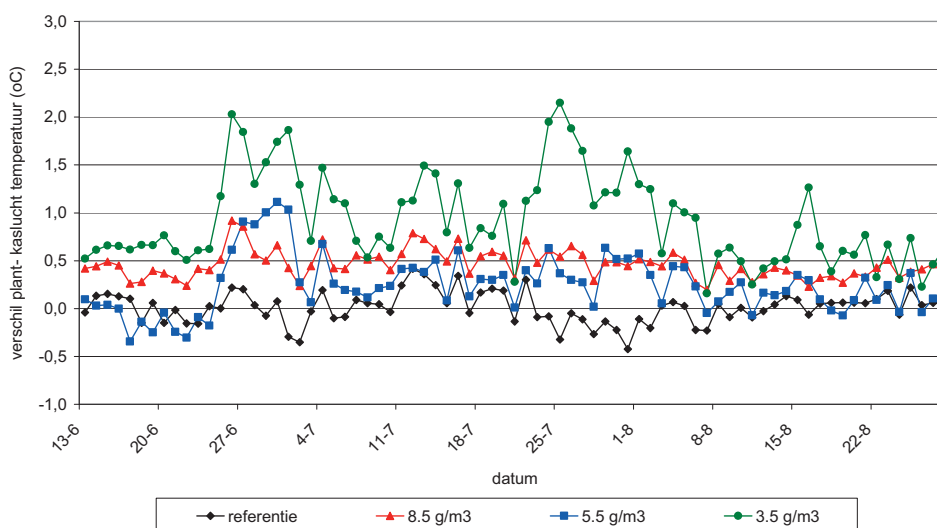
³ *bij deze oogsten was voor de destructieve oogst blad geplukt.*

3.2.6 Planttemperatuur

In Figuur 25 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde planttemperatuur van de kop van de plant per dag in de periode 13 juni tot eind augustus. Hoewel de kasluchttemperaturen in de verschillende behandelingen vergelijkbaar waren (Bijlage II), zijn er wel verschillen in planttemperaturen tussen de behandelingen. Deze verschillen werden groter gedurende de teelt. Om deze verschillen inzichtelijker te maken, is in Figuur 26 het verschil in planttemperatuur en kastemperatuur (plant – kas) uitgezet in de tijd. Er zijn drie periodes waarin het verschil in plant- en kasluchttemperatuur in de behandeling met de hoogste luchtvochtigheid (vernevelen bij 3.5 g/m²) groter is dan in de andere behandelingen.

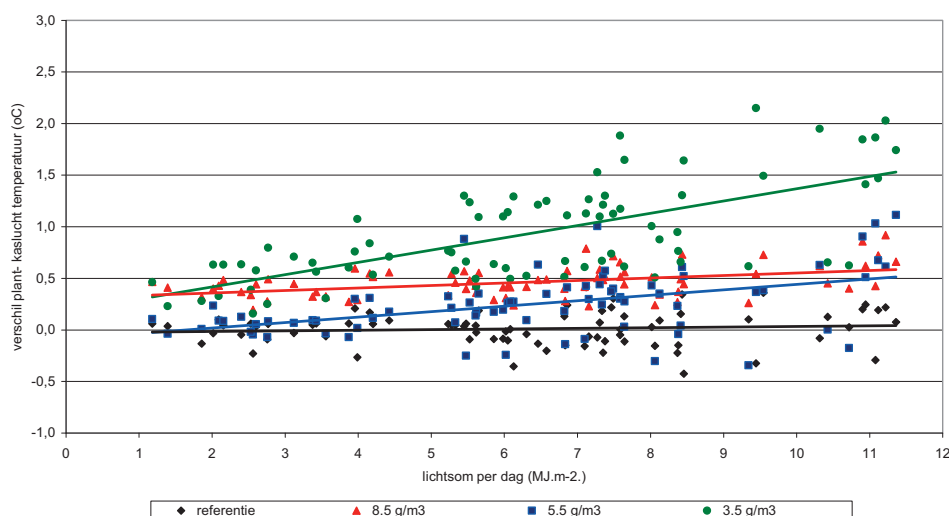


Figuur 25. Verloop van de planttemperatuur (°C) gemeten aan de kop van de plant.



Figuur 26. Verloop van het verschil in planttemperatuur (°C) gemeten aan de kop van de plant en de kasluchttemperatuur (planttemperatuur minus kasluchttemperatuur).

Wanneer het verschil in planttemperatuur en kasluchttemperatuur uitgezet wordt tegen de lichtsom per dag blijkt dat dit verschil in de vochtigste kas (vernevelen bij 3.5 g/m³ vochtdeficit) veel sterker oploopt met toenemend licht dan in de andere behandelingen (Figuur 27). In de op één na vochtigste kas (vernevelen bij vochtdeficit van 5.5g/m³) is ook te zien dat bij toenemende lichtintensiteit het verschil tussen plant- en kasluchttemperatuur toeneemt. In de andere twee behandelingen was er geen verband tussen temperatuurverschil plant - kas en de lichtsom. Met name in de twee vochtigste behandelingen is de verdamping lager, waardoor bij hoge instraling het blad minder gekoeld wordt en de planttemperatuur toeneemt.



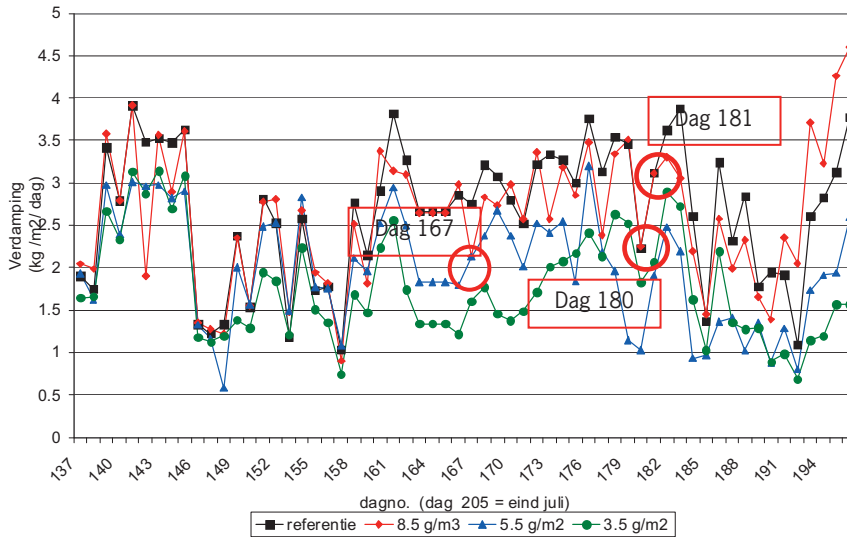
Figuur 27. Gemiddeld verschil tussen planttemperatuur en kasluchttemperatuur uitgezet tegen lichtsom per dag.

Samenvattend spelen er bij het effect van luchtvochtigheid op productie drie belangrijke processen een rol. Het eerste is het negatieve effect van een laag vochtdeficit (hoge luchtvochtigheid) op de bladgrootte. Bij eenzelfde drooggewicht van de bladeren bleek het bladoppervlak in de behandeling met het laagste vochtdeficit lager, hetgeen bleek uit een lager specifiek bladoppervlak (SLA). Indien hier niet via een veranderde bladplukstrategie op ingegrepen wordt, resulteert dit in een lagere LAI. Bij een kleiner bladoppervlak is de lichtonderschepping door het gewas minder. Het tweede proces dat door luchtvochtigheid beïnvloed wordt is vruchtzetting. Aan het begin van de proef bleek in de behandeling met het laagste vochtdeficit de vruchtzetting slecht. Een mogelijke oorzaak is dat stuifmeel bij een hogere luchtvochtigheid minder goed vrijkomt, waardoor vruchten minder zaden bevatten en kleiner blijven. Het derde proces is verdamping. Planten in een vochtige kas verdampen minder, met name bij hoge instralingen. De verdamping is afhankelijk van de straling (in principe gelijk in alle kassen), van het vochtdeficit en de LAI. Zowel vochtdeficit als LAI zijn kleiner in de behandeling met de hoogste luchtvochtigheid. De planttemperatuur, gemeten in de kop van de planten was dan ook hoger in de vochtigste kas dan in de andere afdelingen.

3.3 Verdamping per dag – reactie van de plant

3.3.1 Weeggoten

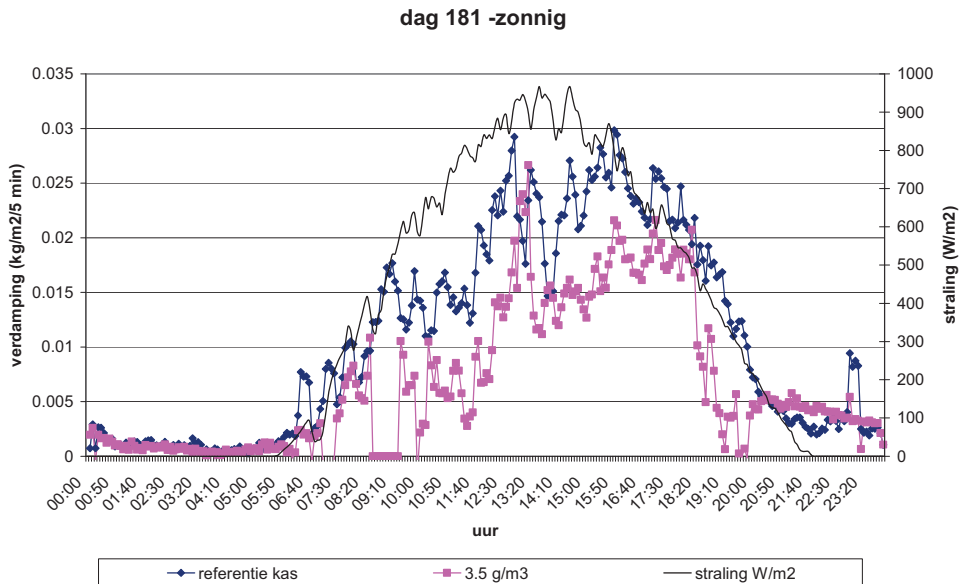
In elke behandeling stond een weeggoot met daarop 6 planten. Aan de hand van de data die met de weeggoten werd verzameld, werd de verdamping van de planten berekend. De verdamping ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{dag}$) van planten in de verschillende behandelingen voor de periode half mei tot eind juli is weergegeven in Figuur 28. Vanaf juni (dagen 152 tot 181) zijn duidelijke verschillen in verdamping tussen de behandelingen te zien. In de volgende paragraaf zijn een aantal dagen uit de periode half mei tot eind juli gekozen en is van die dagen de verdamping geanalyseerd.



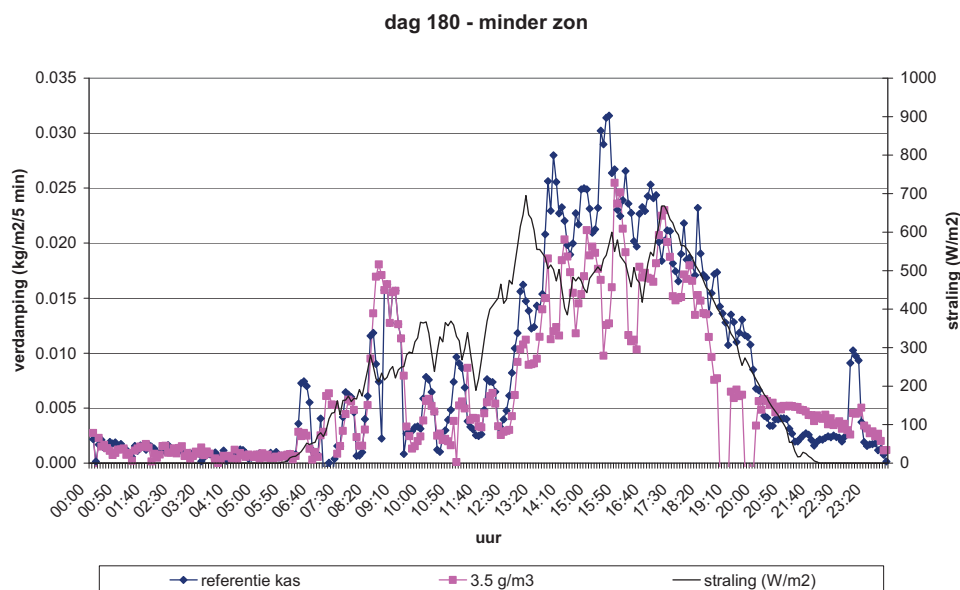
Figuur 28. Verloop van de verdamping (kg/m²/dag) in de vier behandelingen in de periode half mei tot eind juli.

3.3.2 Zonnige en minder zonnige dagen

Twee zonnige dagen en twee minder zonnige dagen in de periode half mei tot eind juli zijn gekozen om nader te bestuderen. Dag 181 (30 juni 2008) was zonnig (11.1 MJ PAR) en dag 180 (29 juni 2008) was minder zonnig (7.1 MJ PAR). In de figuren 29 en 30 zijn de verdamping en de lichtintensiteit gedurende het etmaal weergegeven. Om de analyse van de gegevens overzichtelijk te houden, wordt in deze paragraaf vooral gekeken naar de reacties van de plant in de twee meest extreme behandelingen, de behandeling waarbij verneveld werd bij een vochtdeficit van 3.5 g/m³ en de referentie. In bijlagen IV en V staan klimaat en verdamping voor dag 167 (16 juni - zonnig) (10.2 MJ) beschreven.



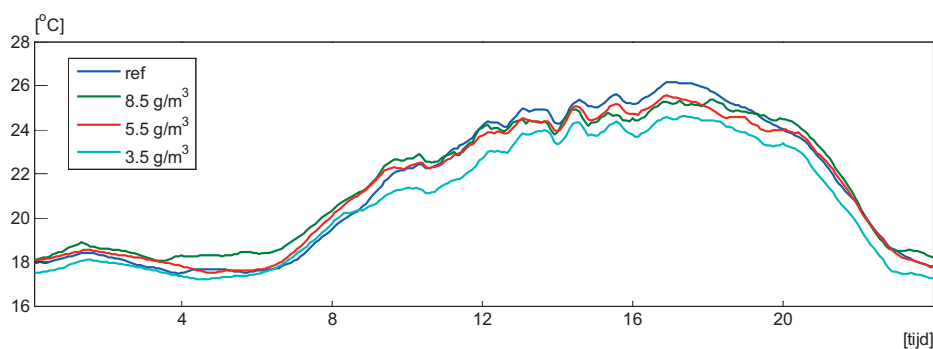
Figuur 29. Verloop van de verdamping (kg/m² per 5 minuten) en de lichtintensiteit (zwarte lijn) gedurende de dag in beide behandelingen op dagnummer 181. Gemiddelde dagtemperatuur in referentie kas 24.1 °C, in '3.5 g/m³ kas' 23.6 °C, gemiddelde relatieve vochtigheid overdag in referentie kas 60.4% en in '3.5g/m³ kas' 74.8%. Gemiddelde planttemperatuur gedurende de dag 24.3 °C in referentie kas en 25.9 °C in '3.5 g/m³ kas'.



Figuur 30. Verloop van de verdamping (kg/m^2 per 5 minuten) en de lichtintensiteit (zwarte lijn) gedurende de dag in beide behandelingen op dagnummer 180. Gemiddelde dagtemperatuur in referentie kas 23.9°C , in ' 3.5g/m^3 kas' 23.6°C , gemiddelde relatieve vochtigheid overdag in referentie kas 67.1% en in ' 3.5g/m^3 kas' 79.9% . Gemiddelde planttemperatuur gedurende de dag 23.8°C in referentie kas en 25.5°C in ' 3.5g/m^3 kas'.

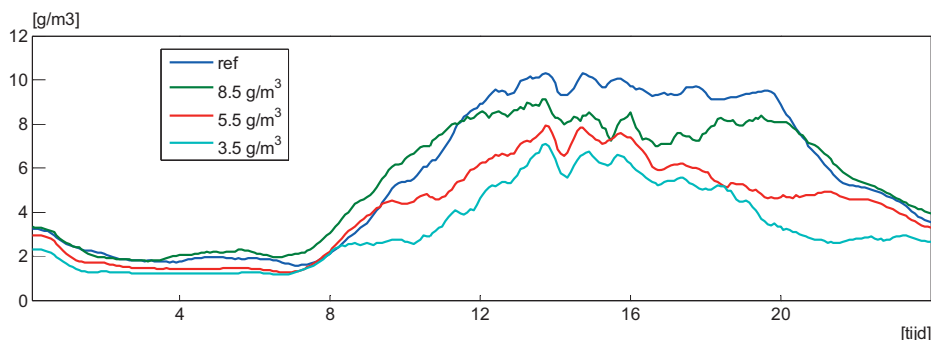
De vergelijking tussen de figuren 29 en 30 toont aan dat de verdamping hoger is op een zonnige dag of op zonnige momenten van de dag dan wanneer het minder zonnig is. Vooral in de ochtend zijn op deze twee voorbeelddagen de verschillen groot. Daarnaast is er op zonnige dagen overdag meer verdamping in de referentiekas dan in de kas met een hoge luchtvochtigheid (vochtdeficit lager dan 3.5 g/m^2), vanwege de gerealiseerde verschillen in vochtdeficit op zonnige dagen. Op beide dagen is het hoge vochtdeficit in de referentiekas (9.0 g/m^2) ten opzichte van de kas met verneveling ($5.0 - 5.5\text{ g/m}^2$) een belangrijke oorzaak voor het verschil in verdamping tussen de behandelingen. Op een echte bewolkte dag zijn er nauwelijks verschillen in vochtdeficit tussen de behandelingen, en wordt de verdamping alleen bepaald door de instraling.

De resultaten van de klimaatmetingen van de 2 maal 4 meters die op verschillende hoogtes tussen het gewas hingen, zijn gevisualiseerd door van de 8 waarnemingen per behandeling voor één dag één gemiddelde per behandeling te maken. In Figuur 31 is voor dagnummer 181 (30 juni) het temperatuurverloop in het gewas als gemiddelde voor de 8 meetlocaties weergegeven. De kasluchttemperatuur verschilde tussen de verschillende behandelingen, met name overdag. Over het algemeen was de temperatuur in de afdeling met het laagste vochtdeficit iets lager dan de andere afdelingen, en de referentie iets hoger.



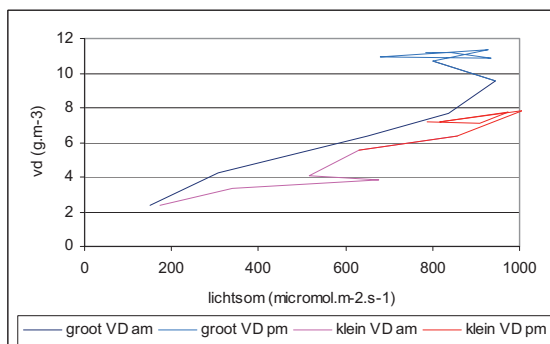
Figuur 31. Het temperatuurverloop in het gewas als gemiddelde voor de 8 meetlocaties per behandeling op 30 juni weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over een half uur.

Het verloop van het vochtdeficit op deze dag is weergegeven in Figuur 32 weergegeven. Luchtbevochtiging blijkt effect te hebben op het vochtdeficit, maar de capaciteit van de vernevelingsinstallatie was in de behandeling met het laagste vochtdeficit (vernevelen bij 3.5 g/m^3) te laag om het gewenste setpoint te kunnen handhaven. In de namiddag (na ca. 17:00 uur) kan de luchtbevochtiging in de afdelingen met de laagste setpoints voor het vochtdeficit (3.5 en 5.5 g/m^3) het vochtdeficit reduceren richting het setpoint, hoewel dit wel enige uren kost. In Bijlage III zijn de metingen uitgesplitst in de bovenste helft en de onderste helft van het gewas.

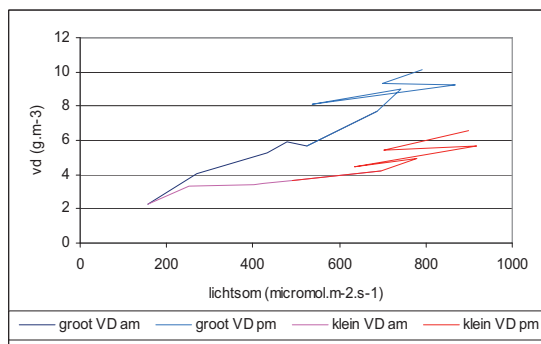


Figuur 32. Het verloop van het vochtdeficit in het gewas als gemiddelde voor de 8 meetlocaties per behandeling op 30 juni weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over een half uur.

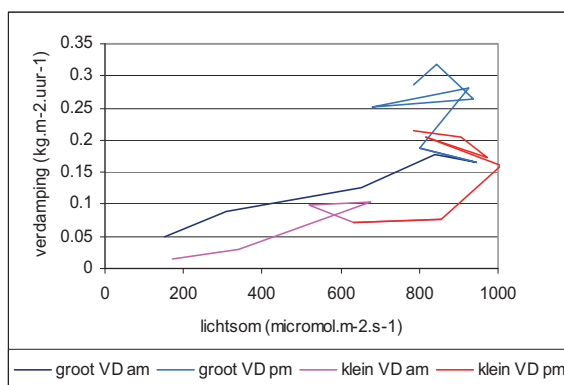
Binnen een etmaal zijn de 5 minuten gegevens van de weeggoten en van de klimaatcomputer omgerekend naar uurgegevens. Op een zonnige dag (dag 181) liepen vochtdeficit en verdamping op met de straling (Figuren 33 en 35). Op een minder zonnige dag (dag 180) was de instraling, en daarmee ook de verdamping in de ochtend lager, omdat het vochtdeficit ook lager bleef (figuren 34 en 36).



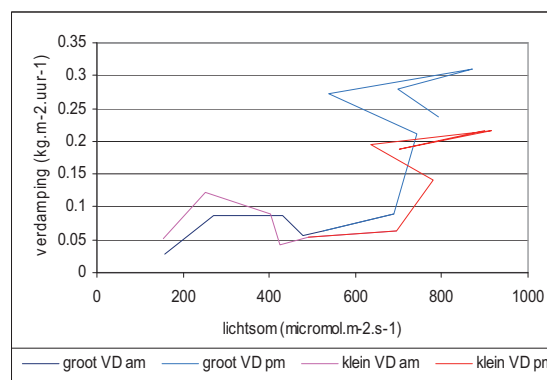
Figuur 33. Dag 181 zonnig. Vochtdeficit in de kas en lichtsom.
Groot VD = referentie kas en
Klein VD = 3.5 g/m^3 . am = voormiddag,
pm = namiddag.



Figuur 34. Dag 180 minder zonnig. Vochtdeficit in de kas en lichtsom.
Groot VD = referentie kas en
Klein VD = 3.5 g/m^3 . am = voormiddag,
pm = namiddag.

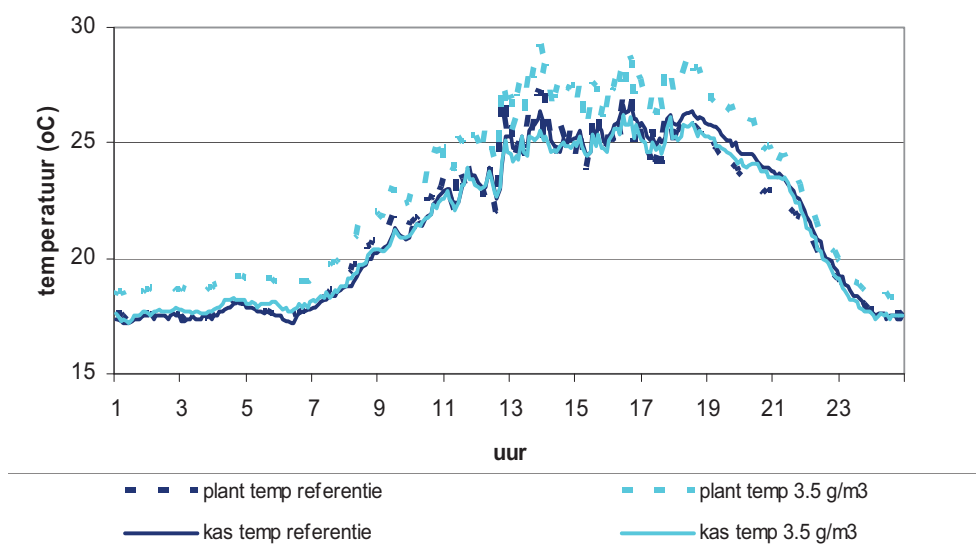


Figuur 35. Dag 181 zonnig. Verdamping en lichtsom. Groot VD = referentie kas en Klein VD = 3.5 g/m³. am = voormiddag, pm = namiddag.



Figuur 36. Dag 180 minder zonnig. Verdamping en lichtsom. Groot VD = referentie kas en Klein VD = 3.5 g/m³. am = voormiddag, pm = namiddag.

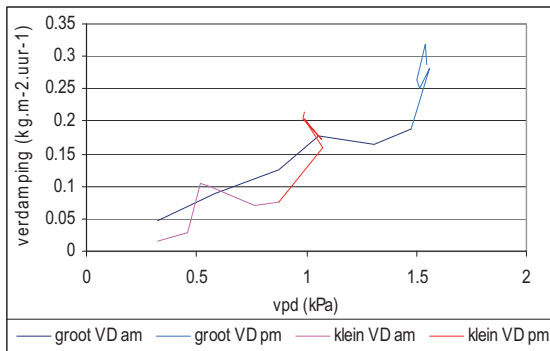
In Figuur 37 zijn zowel de planttemperatuur in de kop van de plant als de kasluchttemperatuur weergegeven. De planttemperatuur was op een zonnige dag in de behandeling met de hoogste luchtvochtigheid hoger dan in de referentiebehandeling, terwijl de kasluchttemperatuur in de vochtige kas lager was dan in de droge kas (Figuur 31). De planttemperatuurmeter meet de bovenste laag van het gewas en daarmee het actiefste en belangrijkste deel van de plant. De top is het deel dat het meest door de buitenomstandigheden (instraling en uitstraling) wordt beïnvloed en is daarmee ook het kwetsbaarste deel van de plant. Het verschil in planttemperatuur en luchttemperatuur geeft aan dat de planten in de behandeling met de hoogste luchtvochtigheid minder verdampen bij een gelijke straling. In de referentiebehandeling zijn de planttemperatuur en kasluchttemperatuur redelijk gelijk (Figuur 37). Deze waarden komen goed overeen met de temperatuurmetingen op verschillende hoogtes in het gewas (Figuur 31).



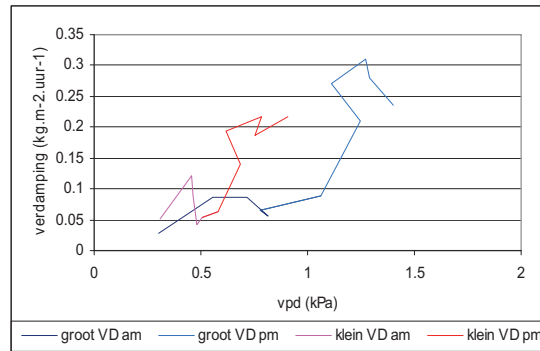
Figuur 37. Verloop van de planttemperatuur en kasluchttemperatuur op dag 181 (30 juni).

Om het verschil in dampdruk tussen blad en lucht (VPD) te berekenen, is de kasluchttemperatuur van de meetbox gebruikt. Deze kwam redelijk overeen met de temperatuur tussen het gewas in de behandeling met vochtdeficit 3.5 g/m³ of de temperatuur van de kop van de plant in de referentiekas (Figuur 37). De VPD en verdamping vertoonden

op een zonnige dag een lineaire relatie (Figuur 38). Op een minder zonnige dag (vooral in de ochtend) liep de verdamping veel langzamer op. In beide kassen nam de verdamping toe in de voormiddag en bleef toenemen in de namiddag (Figuur 39).

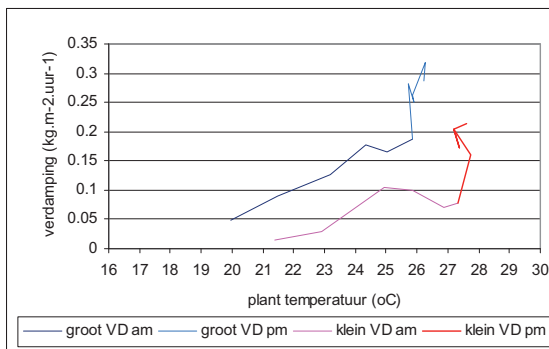


Figuur 38. Dag 181 zonnig. Verdamping en VPD. Groot VD = referentie kas en Klein VD = 3.5 g/m³. am = voormiddag, pm = namiddag.

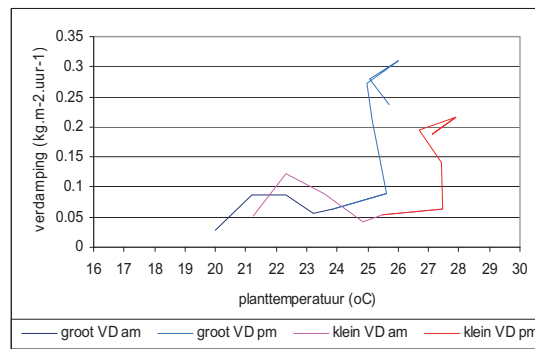


Figuur 39. Dag 180 minder zonnig. Verdamping en VPD. Groot VD = referentie kas en Klein VD = 3.5 g/m³. am = voormiddag, pm = namiddag.

Op een zonnige dag vertoonde de planttemperatuur verschillen tussen de vochtigste en droogste behandeling (Figuur 37). In de beide behandelingen liep de planttemperatuur snel op met toenemende instraling, evenals de verdamping (Figuur 40). De verdamping was hoger in de referentiebehandeling dan in de behandeling met verneveling (vochtdeficit 3.5 g/m³). Op een dag waarop met name in de ochtend de instraling laag was (Figuur 41), was er nauwelijks verschil in verdamping in de ochtend. Pas als de instraling 's middags hoger is, verschilde de verdamping tussen beide behandelingen.

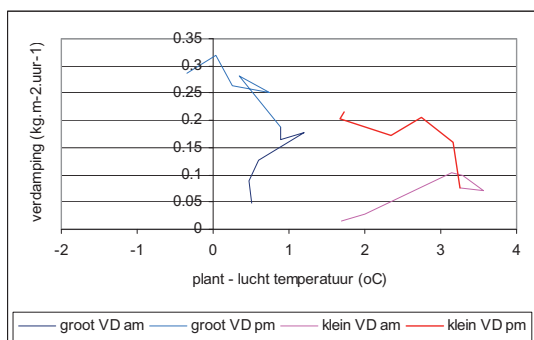


Figuur 40. Dag 181 zonnig. Verdamping en planttemperatuur. Groot VD = referentie kas en Klein VD = 3.5 g/m³. am = voormiddag, pm = namiddag.

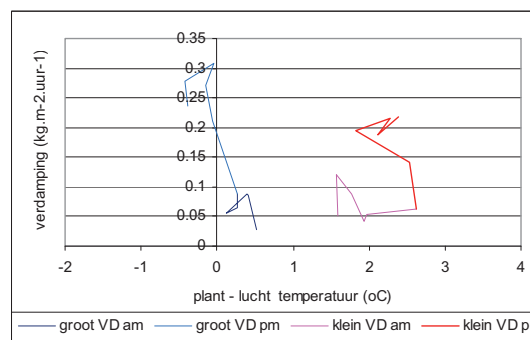


Figuur 41. Dag 180 minder zonnig. Verdamping en planttemperatuur. Groot VD = referentie kas en Klein VD = 3.5 g/m³. am = voormiddag, pm = namiddag.

Op beide dagen was de planttemperatuur in de vochtige kas (vochtdeficit van 3.5 g/m³) enkele graden hoger dan de kasluchttemperatuur en bleef de verdamping lager (figuren 42 en 43). De verdamping in de vochtige kas was lager omdat het vochtdeficit kleiner was dan in de referentiekas. De verdamping reageerde sterker op het vochniveau rondom de bladeren dan op de kasluchttemperatuur.



Figuur 42. Dag 181 zonnig. Verdamping en verschil plant – kaslucht temperatuur. Groot VD = referentie kas en Klein VD = 3.5 g/m³. am = voormiddag, pm = namiddag.



Figuur 43. Dag 180 minder zonnig. Verdamping en verschil plant – kaslucht temperatuur. Groot VD = referentie kas en Klein VD = 3.5 g/m³. am = voormiddag, pm = namiddag.

Op minder zonnige dag, zoals dagnummer 180, was het vochtdeficit van de kaslucht lager op de momenten met weinig instraling dan op een zonnige dag (Figuren 33 en 34). Het verschil tussen planttemperatuur en kasluchttemperatuur was op zonnige dagen in de vochtigste afdeling groter dan in de referentiebehandeling (Figuur 42). In het algemeen was er een verschil tussen de verdamping in de referentiebehandeling en de behandeling waarbij verneveld werd bij een vochtdeficit van 3.5 g/m³. De verdamping was in de referentiebehandeling hoger te zijn dan in de vochtige kas. Op de meeste zomerse dagen is dit te wijten aan de hogere VPD van de referentiebehandeling. Minder instraling veroorzaakt minder verdamping.

Uit deze analyses is het duidelijk dat de verdamping sterk afhankelijk is van de instraling en van het vochtdeficit. Het directe effect van temperatuur is gering maar is sterk verbonden met instraling. In Bijlage V staan ook voor andere dagen gegevens over het verschil tussen planttemperatuur en kastemperatuur uitgezet tegen verdamping voor een zonnige en een donkere dag. Een gelijke trend is zichtbaar.

4 Conclusies

- Het lage vochtdeficit in de eerste weken van de teelt heeft een negatieve invloed op zetting en productie waardoor er meer kleine tomaten geoogst werden.
- Het lage vochtdeficit in de eerste weken van de teelt heeft een negatieve invloed op bladgrootte, bladstand en bladvorm.
- Later in de teelt was het vochtdeficit veel variabeler. Het gewas toonde toen minder verschillen zowel in productie als in gewasarchitectuur, hoewel het blad in de vochtige kas bleef klein. Dit heeft ook een lagere LAI veroorzaakt maar dit leidde in de zomer niet tot een lagere productie. De proef is in augustus beëindigd en de effecten van afnemend licht waren nog niet zichtbaar.
- De vochniveaus in de kassen waren sterk afhankelijk van de instraling.
- De verdamping in de kassen op zonnige momenten was afhankelijk van vochtdeficit en temperatuur verschil tussen blad en lucht (dampdrukspanning of Vapour Pressure Deficit).
- Op zonnige dagen was de verdamping veel hoger dan op donkere dagen.
- Op zonnige dagen was er een verschil in plant temperatuur van de kop tussen de behandelingen.
- Op zonnige dagen was in de vochtiger kas de verdamping lager en de planttemperatuur hoger dan in de overige behandelingen.
- Op zonnige dagen leken de planten in de vochtige kas meer moeite te hebben met het regelen van de temperatuur van de kop van de plant. Bij een lager vochtdeficit is er in het algemeen minder verdampingsvraag. De plant wordt wel warmer door de stralingsenergie, maar verdampt minder. Deze warmte wordt als voelbare warmte afgestaan, aangezien de plant de warmte niet kwijt kan via verdamping (latente warmte). In de referentie kas verdampte de plant meer om warmte kwijt te raken.
- Tijdens minder zonnige dagen was er minder verschil in de verdamping en waren de temperatuurverschillen tussen de koppen van de planten in de behandelingen kleiner dan op zonnige dagen.
- In de korte periode waarin deze proef is uitgevoerd is er geen verschil in de totale productie tussen de behandelingen.

In de zomer van 2008 bleek het gedurende een groot deel van de tijd moeilijk verschillen tussen de behandelingen te handhaven. Bij lagere lichtniveaus was er weinig verschil in het vochtdeficit tussen de behandelingen. In de periode 29 april tot 28 augustus zijn er 30 dagen geweest waarin het lichtsom onder de 5 MJ m² per dag bleef. Gedurende deze dagen was het onmogelijk zonder ontvochtiging de verschillen tussen de behandelingen te realiseren omdat de lucht te vochtig was. Bij een hoge instraling echter, kwam het vochtdeficit in de vochtige kas ver boven het setpoint van 3.5 g/m³. De luchtbevochtiging had niet voldoende capaciteit om bij hoge instraling de luchtvochtigheid tot het gewenste niveau te verhogen. Omdat de temperatuur in alle afdelingen gelijk moest blijven, heeft de ventilatie hierin een rol gespeeld.

Vooraf in de eerste fase van de proef heeft de hoge luchtvochtigheid effecten gehad op de zetting en productie en op de plantarchitectuur met kleinere bladeren, een afhangende bladstand en een lager bladoppervlak. In het najaar zou een lagere LAI voor een afname in productie kunnen zorgen.

Een hogere luchtvochtigheid had tot gevolg dat de temperatuur tussen het gewas lager was. Daarnaast was het verschil tussen planttemperatuur en kasluchttemperatuur in de behandeling met de hoogste luchtvochtigheid het grootst.

Luchtvochtigheid heeft effect op de verdamping. De bevindingen van dit onderzoek zullen in een vervolproef getoetst worden. Wat hierbij van belang is, zijn de temperatuur- en vochtmetingen op verschillende niveaus in het gewas en vooral in de kop.

5 Geraadpleegde literatuur

- Bakker, J.C. 1990.
Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Horticultural Science* 65: 323-331
- Dieleman, A. 2008.
Effecten van luchtvochtigheid op groei en ontwikkeling van tomaat. *Nota 519*, WUR Glastuinbouw.
- Fussell, M. 1994.
How humid do toms like it? *The Grower* April 21: 34-35
- Graaf, de R., De Gelder, A. & Blok, C., 2004.
Advanced weighing equipment for water, crop growth and climate control management. *Acta Horticulturae* 664: 163-167
- Holder, R., & Cockshull, K.E. 1990.
Effects of humidity on the growth and yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 65: 31-39
- Joliet, O., Bailey, D.J., Hand, D.J. & Cockshull, K.E. 1993.
Tomato yield in greenhouses related to humidity and transpiration. *Acta Horticulturae* 328: 115-124.
- Picken, A. J. F., 1984.
A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Horticultural Science* 59: 1-13.
- Romero-Aranda, R., Soria, T. & Cuartero, J. 2002.
Greenhouse mist improves yield of tomato plants grown under saline conditions. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 127: 644-648

Bijlage I.

Gewasbescherming

De gewasbescherming is gelijk uitgevoerd in alle kassen. Er is regelmatig witte vlieg bestreden in de periode april tot en met augustus.

Datum	Plaag	Middel
26 juni	Rupsen	Turex
26 juni	Witte vlieg	Spruizit
4 juli	Witte vlieg	Spruizit
11 juli	Witte vlieg	Spruizit
11 juli	Rupsen	Turex
16 juli	Witte vlieg	Spruizit
18 juli	Witte vlieg	Spruizit
18 juli	Witte vlieg	Turex
8 augustus	Rupsen	Turex
8 augustus	Rupsen	Spruizit
8 augustus	Witte vlieg	Gazelle
15 augustus	Witte vlieg	Gazelle
15 augustus	Witte vlieg	Spruizit
15 augustus	Rupsen	Turex
22 augustus	Witte vlieg	Gazelle
22 augustus	Witte vlieg	Spruizit
22 augustus	Rupsen	Turex

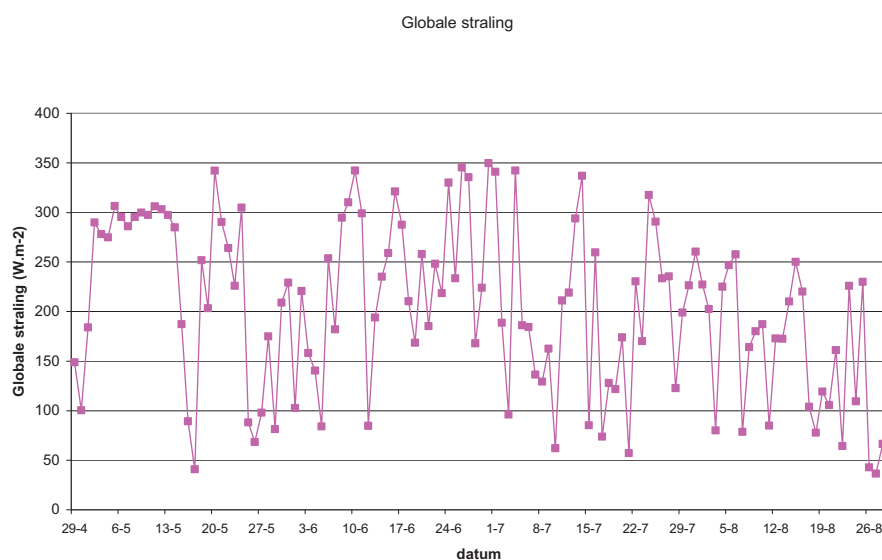
Bijlage II.

Klimaat

In deze bijlage wordt het verloop van het klimaat per dag en per behandeling beschreven. Factoren die elkaar onderling beïnvloeden worden omschreven en zichtbaar gemaakt.

Globale straling en straling in de kas

In Figuur 1 is de gemiddelde globale straling per etmaal (W/m^2) gemeten in Bleiswijk op de weertoren weergegeven. In elke kas is ook de PAR-straling ($mmol/m^2/s$) gemeten bij de kop van de planten en de metingen komen goed overeen. Als de globale straling per dag (W/m^2) omgerekend wordt naar PAR-niveau in de kas door een transmissie van 80% te hanteren en een PAR omrekenfactor van 47% komt de globale straling goed overeen met de PAR-metingen bij de kop van de planten.



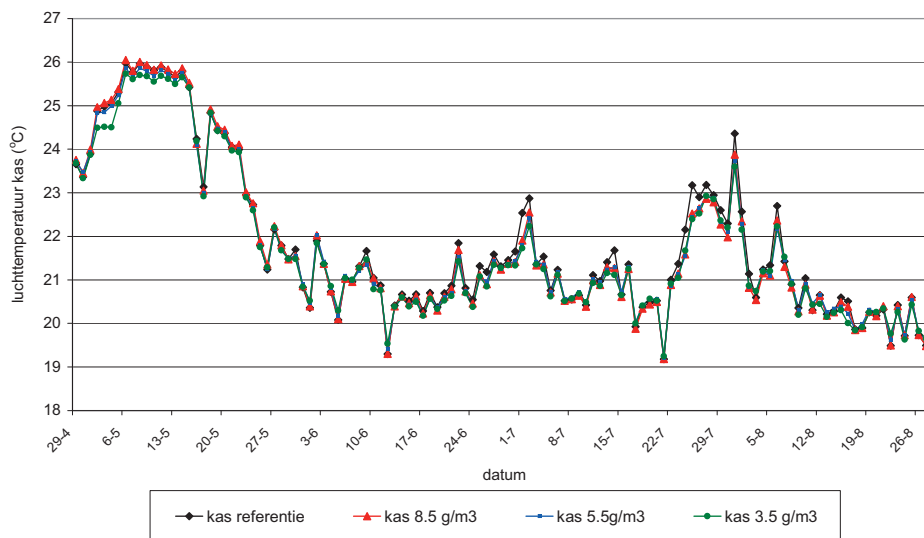
Figuur 1 Verloop van de globale straling gedurende het experiment.

Kastemperatuur

De gemiddelde kasluchttemperaturen en planttemperaturen in de verschillende behandelingen waren redelijk gelijk (Tabel 1). Gedurende periodes van hogere gemiddelde temperaturen zijn er echter grotere verschillen tussen de behandelingen dan op dagen met een lagere gemiddelde temperatuur (Figuur 2).

Tabel 1 Gemiddelde temperatuur

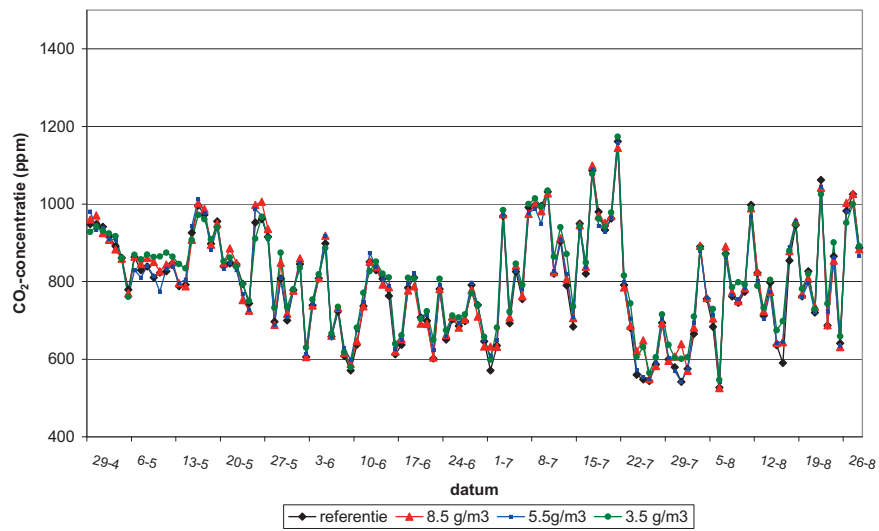
	Referentie kas	8.5 g/ m ³	5.5 g/ m ³	3.5 g/ m ³
Luchttemperatuur	21,8	21,8	21,8	21,7
Planttemperatuur	20,8	21,1	20,8	21,3



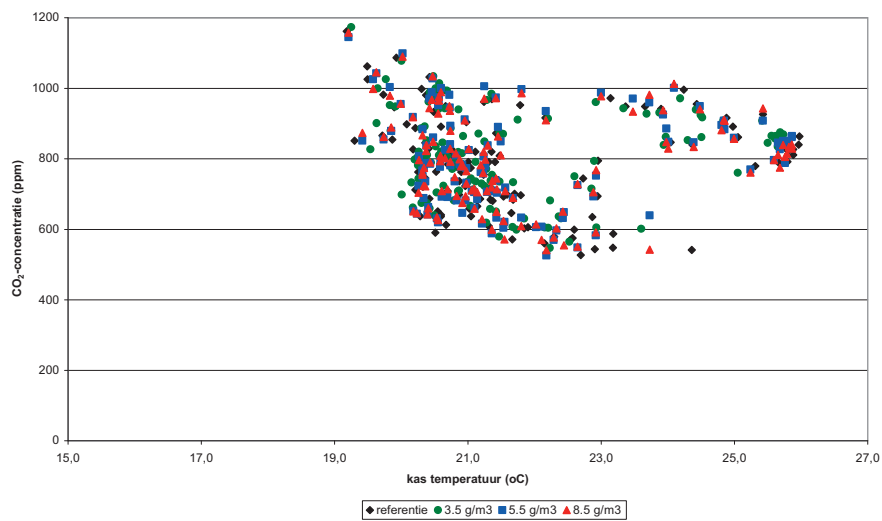
Figuur 2. Verloop van de kasluchttemperaturen voor de 4 behandelingen (zie legenda) gedurende het experiment.

CO₂-concentratie

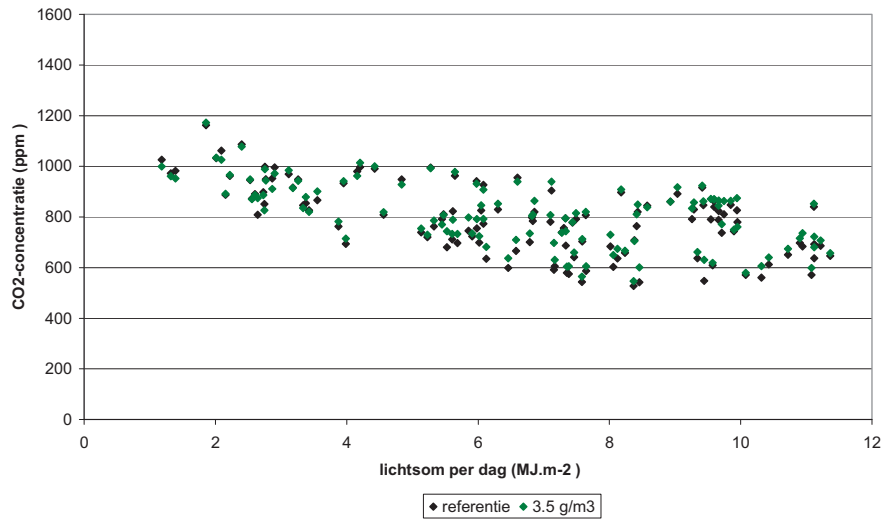
In Figuur 3 is een overzicht gegeven van de gemiddelde CO₂-concentratie overdag per dag voor elke kas voor de looptijd van de proef. Het CO₂-niveau was ingesteld op het niveau van de referentiebehandeling, waar de luchtvochtigheid het laagst was. De gemiddelde waarden zijn gelijk maar dit betekent niet dat de planten in de verschillende behandelingen op dezelfde manier op de CO₂-concentraties reageerden. De verdamping in de behandelingen is berekend en het sluiten van huidmondjes tijdens bijvoorbeeld zeer hoge of een zeer laag vochtdeficit zou invloed kunnen hebben op de reactie van de plant op de CO₂-concentraties. Een lage CO₂-concentratie rondom 23 juli kwam overeen met oplopende temperaturen in de kas die veroorzaakt werden door hoge instraling. Figuur 4 laat zien dat als de temperatuur in de kas opliep, dit een negatief effect op CO₂-concentratie had omdat er dan meer geventileerd werd. In die Figuur is er een wolk punten boven de 23 °C met toch hoge CO₂-concentraties. Dit zijn data uit het begin van de teelt, waarin hogere temperaturen aangehouden werden en de ramen dichtbleven. Later in de teelt is er een lagere temperatuurssetpoint aangehouden, waardoor de CO₂-concentraties lager werden. In Figuur 5 is de CO₂-concentratie uitgezet tegen de straling. Hieruit blijkt dat er een negatief verband is tussen straling en CO₂ concentratie, maar deze relatie verschilt niet tussen de behandelingen.



Figuur 3. Verloop van de CO₂-niveau overdag in de kassen tijdens de proef.



Figuur 4. CO₂-niveau overdag uitgezet tegen de kastemperatuur voor de verschillende behandelingen (zie legenda).

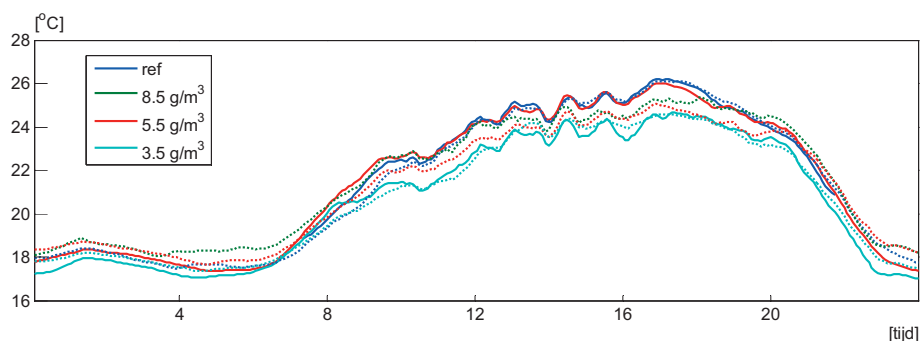


Figuur 5. CO_2 -niveau overdag uitgezet tegen licht voor de verschillende behandelingen (zie legenda).

Bijlage III.

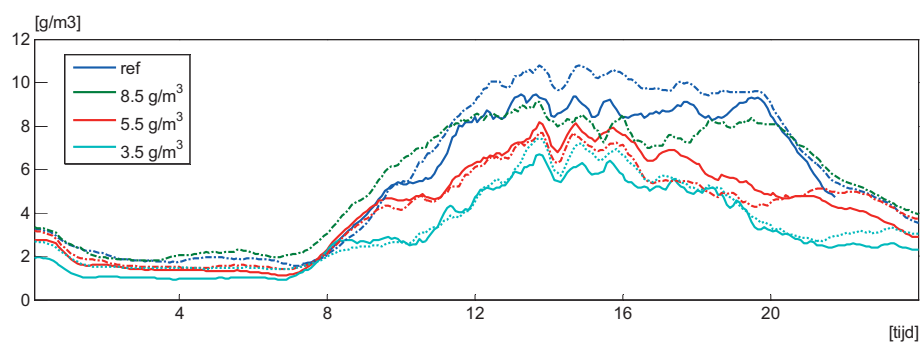
Draadloze klimaatsensoren

De temperatuurverschillen tussen boven en beneden in het gewas zijn klein zoals uit de Figuur 1 blijkt. Alleen in de behandeling met het vochtdeficit setpoint van 5.5 g/m^3 is een duidelijk verschil te zien. Hiervoor is geen duidelijke verklaring voor te geven.



Figuur 1. Het verloop van de temperatuur in de bovenste (getrokken lijn) en de onderste (stippel lijn) helft van het gewas als gemiddelde voor de 4 bijbehorende meetlocaties per behandeling op 30 juni weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over een half uur. Er is geen lijn voor bovenin het gewas in de kas met een setpoint van 8.5 g/m^2 .

Een van de doelen van deze metingen was te bepalen of er ook daadwerkelijk verschillen in vochtdeficit ontstaan op de verschillende hoogten in de kas. Met 8 meetpunten per afdeling is het niet goed mogelijk hier zogenaamde contourplots van te maken. Om toch een idee te krijgen of er duidelijke verschillen in de hoogte zijn, is in Figuur 2 het gemiddelde van de bovenste 4 sensoren en dat van de onderste 4 sensoren weergegeven. De gestippelde lijnen zijn van de onderste helft in het gewas en de getrokken lijn van de bovenste helft.

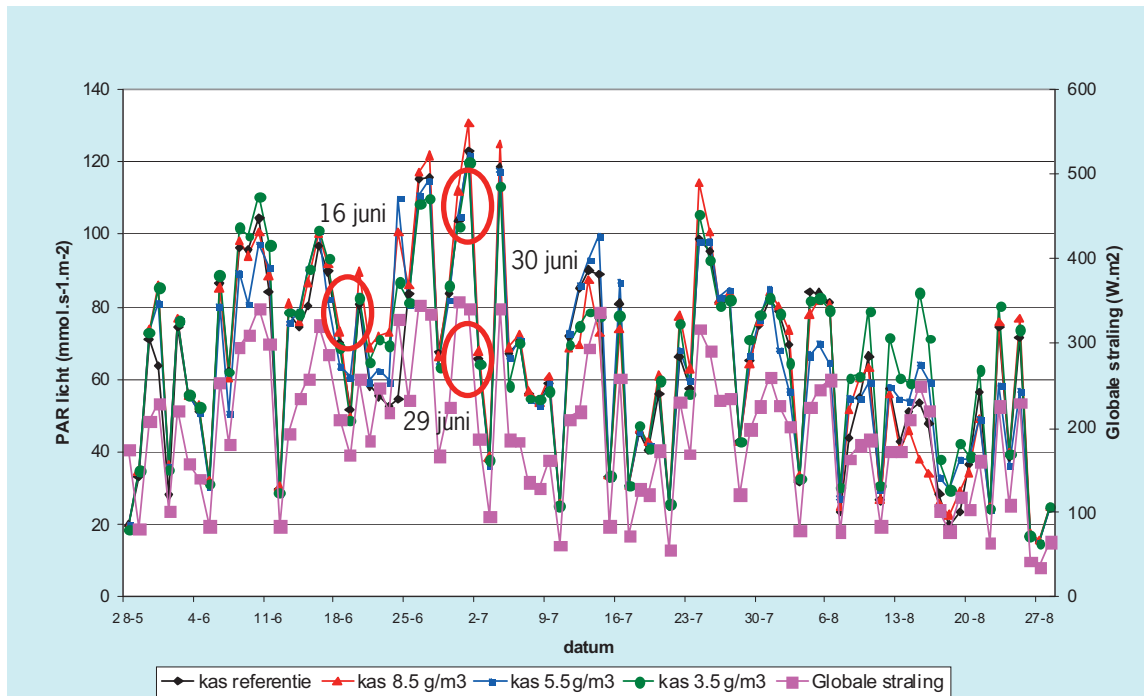


Figuur 2. Het verloop van het vochtdeficit in de bovenste (getrokken lijn) en de onderste (stippel lijn) helft van het gewas als gemiddelde voor de 4 bijbehorende meetlocaties per behandeling op 30 juni weergegeven als een voortschrijdend gemiddelde over een half uur. Er is geen lijn voor bovenin het gewas in de kas met een setpoint van 8.5 g/m^2 .

Er is geen duidelijke trend aan te geven dat het ofwel boven danwel onder in het gewas droger of juist vochtiger is. Alleen in de referentie kas afdeling is er een fors verschil dat gedurende de gehele dag gehandhaafd blijft waarbij het onder in het gewas duidelijk droger is. Op de momenten dat er gebruik gemaakt wordt van de verneveling-installaties, zal in dit deel van het jaar ook vrijwel altijd (fors) geventileerd worden. De luchtbeweging die hierdoor ontstaat, zal ervoor zorgen dat er een goede op menging van de kaslucht plaats vindt.

Bijlage IV.

Geanalyseerde dagen

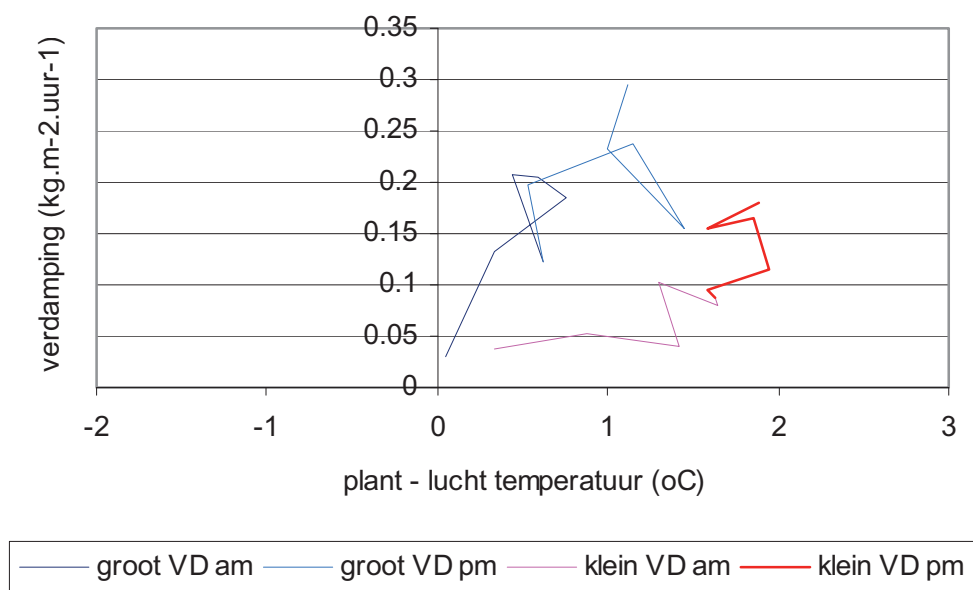


Figuur 1. Licht in de kas en instraling per dag.

Bijlage V.

Verdamping en instraling

Op een zonnige dag (dagnummer 167 – 16 juni) blijkt ook de verdamping in de droge kas sneller op gang te komen dan in de vochtige kas (Figuur 1). Dit resulteert in een planttemperatuur dichterbij de kasluchttemperatuur dan in de vochtige kas. In de vochtige kas is de verdamping lager en de planttemperatuur blijft hoger dan de kasluchttemperatuur. Op dag 167 zijn de verschillen niet zo groot als op dag 181. Een van de redenen hiervoor is dat de instraling net na het middaguur behoorlijk schommelde.

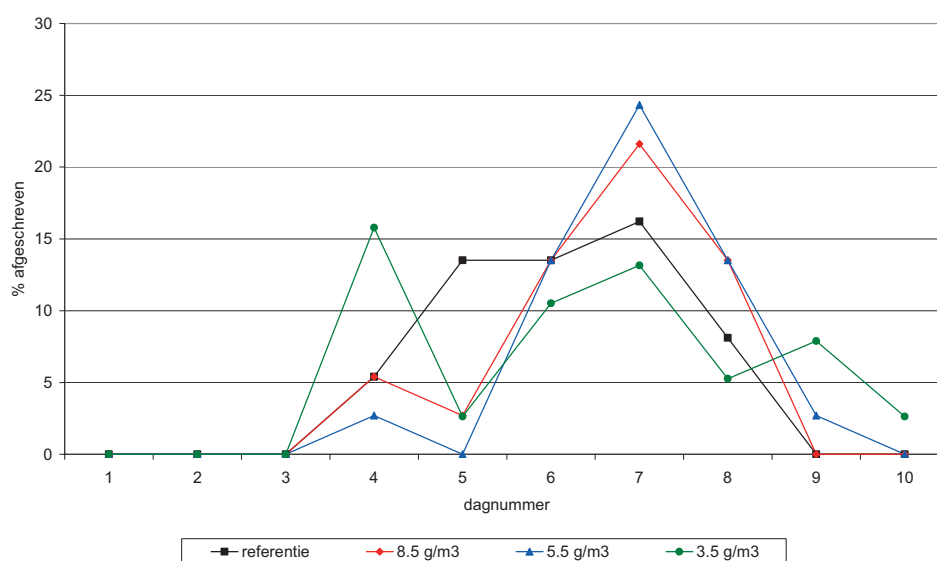


Figuur 1. Dag 167. Verschil plant – luchttemperatuur in kas. Groot VD = referentie kas en Klein VD = 3.5 g/m³. am = voormiddag, pm = namiddag.

Bijlage VI.

Houdbaarheid

Drie keer per week werden de vruchten waargenomen in een 'consumententoets' op zachtheid, ziekte en aantal goede vruchten per tros. Deze drie factoren samen bepalen de houdbaarheid. 15% van de vruchten uit de behandeling met een setpoint van 3.5 g/m³ waren al na 4 dagen afgeschreven op zachtheid. Figuur 1 toont de verloop van de afschrijving.



Figuur 1. Verloop van de afschrijving van de vruchten tijdens de houdbaarheidstest.

Bijlage VII.

Virustoetsing

Virus in de behandelingen 'vernevelen bij vochtdeficit van 3.5 en 5.5 g/m³'

Op 16 juli 2008 is een plant met virusachtige symptomen aangetroffen in de behandeling 'vernevelen bij een vochtdeficit van 5.5 g/m³'. Een monster van deze plant is op de aanwezigheid van diverse virussen getoetst. Hangende de toetsuitslag zijn hygiënemaatregelen ingesteld, waarbij de behandeling 'vernevelen bij een vochtdeficit van 5.5 g/m³' als laatste is geplaatst in de werkvolgorde om eventuele verspreiding in te perken. Van het virusmonster is na diverse toetsen (DAS-ELISA, PCR-toets, toetsplanten) vastgesteld dat de plant geïnfecteerd was met tomatenbronsvlekkenvirus (Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV). Dit is een virus wat door trips wordt overgebracht. De geïnfecteerde plant is direct na de monsternamen verwijderd en in de proeven zijn nadien geen planten meer aangetroffen die geïnfecteerd zijn door tomatenbronsvlekkenvirus. De aanwezigheid van dit virus (in één plant) zal dus geen invloed hebben gehad op het verloop van de proeven.

In alle behandelingen zijn planten vanaf het begin van de proef wekelijks of tweewekelijks getoetst met een DAS-ELISA op de aanwezigheid van pepinomozaïekvirus (Pepino mosaic virus, PepMV). Op 30 juli 2008 is er bij deze controle pepinomozaïekvirus aangetroffen. Pepinomozaïekvirus is een mechanisch overdraagbaar virus wat zich zeer gemakkelijk kan verspreiden via diverse materialen (b.v. kleding, fust, karren en mesjes) of via gewashandelingen. In verband hiermee zijn de hygiënemaatregelen op het complex verder aangescherpt. Vervolgens zijn alle rijen in de vier kassen getoetst op de aanwezigheid van pepinomozaïekvirus. Hieruit bleek dat de behandelingen 'vernevelen bij een vochtdeficit van 8.5 g/m³' en de referentie vrij waren van virus, terwijl in de andere twee behandelingen één rij positief testte. Gezien de besmettelijkheid van het virus en de snelheid waarmee pepinomozaïekvirus zich normaal gesproken door een kas verspreid, is het waarschijnlijk dat de aantasting toen van zeer recente datum was. Ook waren er op het moment van detectie nog geen duidelijke symptomen zichtbaar. Later in het seizoen waren er wel symptomen zichtbaar, maar deze waren relatief mild. Pepinomozaïekvirus is zeer variabel in zijn symptomen, hetgeen bijvoorbeeld samenhangt met groeiomstandigheden, de geteelde cultivar en de virusvariant. Gezien het symptoombeeld was de virusvariant in de kassen 'vernevelen bij vochtdeficit van 3.5 en 5.5 g/m³' mild en zal de invloed ervan op het proefverloop gering zijn geweest. Door de verscherpte hygiënemaatregelen is voorkomen dat de andere twee behandelingen besmet zijn geraakt.

