

Verlagen van de pottemperatuur van boomkwekerijgewassen

Auteur: Margareth E.C.M. Hop

Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, sector
Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit
PPO-projectnummer 32 360766 00

Lisse, december 2008

© 2008 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Uitgevoerd als consultancyopdracht voor:



Projectnummer: 32 360766 00

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bollen, bomen en Fruit

Adres : Professor van Slogterenweg 2
2161 DW Lisse

Tel. : 0252-462121

Fax : 0252-462100

E-mail : infobomen.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
2 HET BELANG VAN DE POTTEMPERATUUR	7
3 FACTOREN DIE DE POTTEMPERATUUR BEÏNVLOEDEN.....	9
3.1 Instraling van zonlicht op pot en potgrond.....	9
3.1.1 Kasteelt	9
3.1.2 Plastic tunnel.....	9
3.1.3 Schaduwdoek.....	10
3.1.4 Zijafscherming van de potten.....	10
3.1.5 Grootte, dichtheid en soort van het gewas.....	11
3.1.6 Afscherming van de potgrond	11
3.2 Weerkaatst zonlicht vanaf de teeltvloer.....	11
3.2.1 De kleur van de teeltvloer	11
3.2.2 De afstand tussen de potten.....	12
3.3 Warmte-uitstraling door de pot.....	12
3.3.1 De kleur van de pot.....	12
3.3.2 Materialen rond de pot	12
3.4 Warmte-uitwisseling door contact met de lucht.....	12
3.4.1 De afstand tussen de potten.....	12
3.4.2 Windschermen en oriëntatie op de windrichting	13
3.4.3 Ventilatoren	13
3.4.4 Vochtgehalte van de lucht.....	13
3.5 Warmte-uitwisseling door contact met de teeltvloer	13
3.5.1 Het contact van de pot met de bodem.....	13
3.5.2 Het pot-in-potsysteem	14
3.5.3 Bedkoeling	14
3.6 Warmte-uitwisseling met toegediend gietwater.	14
3.6.1 Temperatuur van het gietwater.	14
3.7 Verdamping.....	15
3.7.1 Verdamping door de potwand	15
3.7.2 Verdamping door de potgrond	15
3.7.3 Verdamping door de plant	16
3.7.4 Tijdstip van watergeven.....	16
4 DE GROOTTE VAN ENKELE EFFECTEN	19
4.1 Natuurkundige achtergrondinformatie.....	19
4.2 Randrijen.....	20
4.3 De relatieve effecten	21
BIJLAGE 1: LITERATUURLIJST	22

Samenvatting

Een te hoge pottemperatuur is nadelig voor de groei van veel boomkwekerijgewassen. Hoge temperaturen kunnen de plant direct beschadigen. Bij hitte verdampt veel water, en wanneer planten hun huidmondjes door watergebrek moeten sluiten vindt geen fotosynthese meer plaats. Veel ziekteverwekkers zijn met name bij hoge pottemperaturen een probleem.

Hoge temperaturen worden in Nederland vooral veroorzaakt door rechtstreekse en weerkaatste instraling van de zon op de pot. De pot raakt warmte weer kwijt door deze uit te stralen en door contact met de lucht, het gietwater en de bodem, en door middel van verdamping. Voor elk van deze factoren is in dit verslag op een rij gezet welke teeltmaatregelen er zijn om ze te beïnvloeden.

Het grootste koelende effect is te bereiken met het koelen van goten of tafels in kassen met buizen koud grondwater, maar dit vergt een grote investering. Ook met kassen, tunnels of schaduwdoek is een verlaging van een graad of 6 van de piektemperatuur mogelijk, maar dit zal niet op ieder bedrijf en bij ieder gewas toegepast kunnen worden. Voor buitenteelten geeft een pot-in-pot systeem zo'n 5 graden lagere piektemperaturen, en minder temperatuurfluctuatie. Verder zijn er verschillende maatregelen die elk enkele graden verkoeling geven, maar soms te combineren zijn voor een groter effect, zoals:

- randrijen beschaduwen of voorzien van witte overpot
- potgrond afdekken met lichtgekleurd materiaal
- ventilatoren en bevorderen luchtstroom door het gewas
- koud gietwater
- verdampende pot of groeizak
- teeltvervroeging: grotere planten geven meer schaduw op de pot
- donkere teeltvloer
- potafstand: kleiner: minder instraling op de pot, maar groter: meer luchtkoeling
- verhoging RV van langsstromende lucht
- meer contact van de pot met koele bodem; warmtegeleidende bodem (metalen goot/roltafel)
- grovere potgrond
- tijdstip van watergeven verschuiven naar de middag voor optimale gewasverdamping

Sommige van deze koelmethodeën vergen maatregelen die aan het begin van het groeiseizoen genomen moeten worden, dus nog voordat bekend is of er een hittegolf zal komen. Vooral maatregelen die gebaseerd zijn op watergift of ventilatie kunnen ook op basis van de weersverwachting worden toegepast.

1 Inleiding

Om een goede plantengroei mogelijk te maken, moeten alle omstandigheden toerijkend zijn voor de plant. Bij de teelt van planten in pot staan de potten vaak op een teeltvloer, wat geen natuurlijke situatie is voor de plant. De temperatuur van de vollegrond, waar de plant normaal gesproken in staat, wordt door de grote massa veel meer gebufferd dan die van een pot met potgrond. Vooral in hete zomers (bijv. 2003 en 2006) kan de temperatuur in de pot flink oplopen, met schade aan de planten (wortels) tot gevolg. Dit kan opbrengstderving geven. De cultuurgroep Siergewassen van de NBvB heeft PPO gevraagd een literatuurstudie te doen naar de mogelijkheden om de pottemperatuur te beheersen in hete perioden.

2 Het belang van de pottemperatuur

Bij schade aan planten door de temperatuur, wordt in eerste instantie meestal aan vorstschade gedacht. Maar ook hoge zomertemperaturen kunnen bij potplanten problemen veroorzaken. Om zichzelf tegen uitdroging te beschermen moeten de planten hun huidmondjes sluiten, als ze warm staan en er te weinig water via de wortels aangevoerd kan worden. Dat belemmert de fotosynthese, waardoor de planten minder goed groeien. Bij nog hogere temperaturen beschadigen de eiwitten en enzymen die de plant nodig heeft om te functioneren, en deze schade kan onomkeerbaar zijn. De planten krijgen dan dode plekken, vooral op de bovenste bladeren. Ook kunnen de wortels afsterven. Problemen door een hoge pottemperatuur ontstaan vooral bij planten die nog klein zijn als de hete zomerperiode begint, omdat zij hun pot minder beschaduen dan grote planten.

Boomkwekerijgewassen krijgen problemen met de wortelgroei als de pottemperatuur hoger dan 30 °C wordt. Bij 37 °C stopt de wortelgroei bij sommige soorten volledig. (Brown 1982) De temperatuur werkt niet alleen rechtstreeks op de planten in, maar kan ook de groei van ziekteverwekkers versnellen. Als de temperatuur hoger wordt dan 26-27 °C krijgt *Hedera* bijvoorbeeld problemen met *Pythium*.

In de volle zon op een containerveld kan de pottemperatuur oplopen tot wel 50 °C. Niet alleen deze piektemperatuur is van belang, maar ook de grootte van de temperatuurfuctuaties gedurende de dag. De wortels van een plant kunnen minder goed tegen temperatuurfuctuaties dan de bovengrondse delen (Irmak). Joustra vond in 1992 dat planten die incidenteel aan een temperatuur boven de 40 °C worden blootgesteld dat beter kunnen verdragen, dan wanneer de hogere temperatuur vaker in een zomer voorkomt.

In kassen worden sommige gewassen gekoeld in de zomer. De optimale pottemperatuur voor tomaten is 17 °C en voor komkommers 20 °C. (Drews) De pottemperatuur na koeling wordt ingesteld op 20 °C voor pot-Hedera in kas (Vegter 1994). In kassen heeft het koelen van de potten het bijkomende voordeel dat ook de kastemperatuur omlaag gaat, en het werkklimaat daardoor aangenamer is.

Het voldoende laag houden van de pottemperatuur is maar één factor waarop kwekers sturen in de teelt. Een goede maatregel om potten koel te houden mag daarom de teelt verder niet teveel beïnvloeden. Een maatregel mag niet nadelig zijn voor de groei en plantkwaliteit, als er toevallig geen hittegolf optreedt in de zomer. Als de maatregel alleen incidenteel ingezet wordt als er tropische temperaturen voorspeld worden, mag deze niet teveel arbeid vergen. Aangezien hittegolven in Nederland niet zo vaak voorkomen, zullen grote investeringen om de schade ervan te voorkomen meestal niet gerechtvaardigd zijn.

3 Factoren die de pottemperatuur beïnvloeden

De temperatuur van de pot op een warme zomerdag wordt bepaald door verschillende factoren:

1. Instraling van zonlicht op pot en potgrond
2. Weerkaatst zonlicht vanaf de teeltvloer
3. Warmte-uitstraling door de pot
4. Warmte-uitwisseling door contact met de lucht
5. Warmte-uitwisseling door contact met de teeltvloer
6. Warmte-uitwisseling met toegediend gietwater
7. Verdamping

Hieronder wordt van elk van deze 7 factoren aangegeven hoe deze te beïnvloeden zijn.

3.1 Instraling van zonlicht op pot en potgrond

De volgende methoden om hoge pottemperaturen tegen te gaan, werken door het beperken van de instraling op de pot en potgrond.

3.1.1 Kasteelt

Voor kasdaken is een keur aan materialen beschikbaar, die soms selectief het deel van het zonlicht toelaten dat nodig is voor plantengroei, en de warmtestraling buiten houden. Voor veel boomkwekerijgewassen zijn bepaalde delen van de zonnestraling van belang om compacte planten te krijgen, en om (rood) blad goed op kleur te laten komen. Kassen zijn lang niet voor alle boomkwekerijteelten een gewenste en betaalbare optie. Kwekers die meer willen weten over kasdekmaterialen, kunnen bijvoorbeeld de special over kasdekmaterialen in het Vakblad voor de Bloemisterij nr. 40 van 2008 nalezen.

De lichtdoorlatendheid van een glazen kas wordt behalve met het kasdek materiaal ook gevarieerd met een krijtlaag op het glas. De uitwisseling van het temperatuursverschil met de omgeving wordt gestuurd met de luchting. Een cabrioletkas is een voorbeeld van een kas met zeer veel uitwisseling met de omgeving. Een cabrioletkas reduceerde de pottemperatuur met 24% ten opzichte van een niet geschermd containerveld van gravel in de proef van Stoven et al. Wil men gebruik maken van de afschermd werking van het kasdek, is het van belang dat vooral ook de zijgevels luchtingsmogelijkheden hebben. Ook kan het kasdek met daksproeiers worden natgespoten voor koeling van de hele kas. Over deze technieken is veel bekend uit de glastuinbouw. Het microklimaat in een kas is echter van zeer veel onderling samenhangende factoren afhankelijk, en het voert te ver om dit hier uitgebreid te behandelen. De pottemperatuur is immers meestal niet de enige factor waarop men wil sturen.

3.1.2 Plastic tunnel

In de boomkwekerij wordt vaak gebruik gemaakt van plastic tunnels. Ook plastic houdt een deel van de warmtestraling tegen, maar minder dan het glas van een kas. In de proef van Bernardes was de pottemperatuur in een kas zonder scherm gemiddeld 28 °C, en maximaal 38,5 °C. Op dezelfde plaats had een plastic kas met open zijanten een gemiddelde van 20,1 °C en een maximum van 27,6 °C. De goede zijluchting van de tunnel zorgde voor dit grote verschil. Hierdoor werd de zonnestraling deels tegengehouden, terwijl de omringende buitenlucht de warmte van de potten kon afvoeren.

Het meest gebruikte plastic voor tunnels is polyethyleen. Er zijn ook andere plasticsoorten beschikbaar, zoals ETFE, die nuttige straling doorlaten en warmtestraling deels weren. (Jagers op Akkerhuis et al)

3.1.3 Schaduwdoek

Schaduwdoek is een geweven materiaal, dat zonnestraling deels reflecteert, maar in tegenstelling tot plasticfolie wel lucht en water doorlaat. Het is verkrijgbaar in verschillende dichtheden, die meestal gekarakteriseerd worden met het percentage van de zonnestraling dat ze weerkaatsen.

Brown vond dat de zomerse piektemperatuur (van zwarte potten) die onder 60% schaduwdoek stonden 11 °C lager was dan in volle zon.

Schaduwdoek (60%) reduceerde in de proef van Bernardes de maximum potttemperatuur in kas tot 31.9 °C (ongeschermd in de kas was dat 38.5 °C), en zorgde ook dat het verschil tussen de minimale en maximale temperatuur binnen een etmaal kleiner werd.

Door de goede combinatie van het weerkaatsen van straling en een zeer goede warmte-uitwisseling met de buitenlucht, is schaduwdoek een uitstekende manier om de potttemperatuur te verlagen. Niet alle planten groeien echter naar wens onder schaduwdoek. Sommige soorten worden te langgerekt of komen niet goed op kleur. Bovendien is het aanbrengen van schaduwdoek arbeidsintensief, en zal een kweker dat niet doen omdat er een enkele hete zomerdag verwacht wordt. Voor planten waarbij het schaduwdoek een poos kan blijven liggen is dit een van de beste methoden voor potkoeling.

3.1.4 Zijfscberming van de potten

Zijfscberming van de potten is vooral van belang voor de randrijen, en voor potten met een zo ruime plantafstand dat ze elkaar niet beschaduen.

Irmak et al testten een Multi Pot Box System, een plastic doos met gaten in de deksel voor 9 potten, met binnenin een paar richels waarop de potten staan. Een bevoeiingsmat over de richels heen zorgt ervoor dat een teveel aan water kan weglopen, maar de planten wel water uit de goten tussen de richels kunnen opzuigen. De substraattemperatuur van potten in de witte plastic dozen bleef in de zomer circa 3 °C lager dan in de zwarte variant, waar de temperatuur wel tot 35 °C opliep. Potten in de zwarte dozen waren nog altijd ca 8 °C koeler dan de potten die op plastic folie stonden en overhead beregend waren. De potten op folie werden flink warmer dan de luchttemperatuur. De potten in de dozen bleven overdag koeler, maar na 18 u juist warmer dan de luchttemperatuur. Dit systeem was gericht op waterbesparing, en niet op het verkrijgen van een lage potttemperatuur. Voor potkoeling zou men geen gesloten doos moeten gebruiken, maar alleen een scherm aan de zijkant van de potten. Wanneer het om het weerkaatsen van straling gaat zou een lichtgekleurde of spiegelende rand langs de potten geschikt zijn. Er kan een permanente (beton)rand langs de plantvakken worden aangebracht, waar de randrijen tegenaan gezet worden. Niet elke teler wil zijn containerveld echter een vaste indeling van bedden geven. Er zou een tijdelijk zijfscbermpje kunnen worden aangebracht, in de vorm van een opstaande strip wit of spiegelend kunststof. Deze kan in een lus om het hele vak potten worden gelegd, waardoor de strip tegen de potten aan geklemd wordt. Dit werkt als de potten elkaar raken. Voor potten die met tussenruimte op het veld staan zou een losse strip met T-vormig of L-vormig profiel kunnen worden gebruikt aan de zonzijde van het bed. Het T-profiel staat op zijn kop op de grond. Aan de ene kant houdt de randrij potten de strip op zijn plaats, aan de andere kant (in het looppad) kunnen gewichten op de strip worden gelegd om deze rechtop en op zijn plaats te houden. Om enige luchtstroom tussen de potten mogelijk te maken is een geperforeerde strip beter dan een dichte. Het systeem heeft als nadeel dat de strip bij sterke wind los kan schieten, en dat de randrij (deels) op de strip staat, waardoor de drainage anders is dan bij de andere potten. Dit nadeel heeft een strip met L-profiel, dat alleen in het pad wordt vastgezet niet. Een dergelijk systeem is (voor zover bekend) nog niet in de praktijk uitgeprobeerd.

Een andere manier om straling terug te kaatsen, voor het de pot kan binnendringen, is het gebruik van witte potten. Een wit geverfde pot kaatst meer zonlicht terug dan een zwarte pot. De witte pot bleef in de proef van Brown 4,5 °C koeler dan de zwarte. Dit leverde bij alle geteste plantensoorten een kwaliteitsverbetering op, maar niet bij alle soorten in dezelfde mate. In een ander jaar vond hij een verlaging van de piektemperatuur in de volle zon met 6 °C. Onder 60% schaduwdoek levert een witte pot maar 1 graad temperatuurverlaging op. In de volle zon leverden witte potten ook een grote kwaliteitsverbetering op; onder schaduwdoek was de kwaliteitsverbetering minimaal.

Alle planten van een teelt in een witte pot zetten past lang niet in elke bedrijfsvoering. Witte potten zijn immers in de verkoopfase gevoeliger voor vervuiling. Maar aangezien de potkleur vooral effect heeft op de

randrijen aan de zonkant, zou alleen de randrij tijdens de teelt van een witte overpot (zonder bodem) voorzien kunnen worden. Dit heeft ten opzichte van een randstrip als voordeel dat de witte afscherming zonder moeite op zijn plaats blijft, en ook de luchtstroom tussen de potten door niet wordt belemmerd.

Bij de paragraaf over de warmte-uitwisseling van de pot met de teeltvloer worden nog enkele mogelijkheden genoemd die de zij-instraling beïnvloeden, zoals het gebruik van een pot-in-pot systeem.

3.1.5 Grootte, dichtheid en soort van het gewas

De belangrijkste beschaduwning van de pot komt van het gewas zelf. Een groot of dicht bebladerd gewas vangt veel zonnestraling op voor het de pot bereikt. Kleine planten hebben dubbel last van hogere pottemperaturen: ze werpen minder schaduw op hun pot, en jonge planten waarvan de wortels volop in de groei zijn hebben meer last van hoge pottemperaturen. Vervroeging van de teelt, waardoor de planten in de zomer al wat groter zijn kan daarom ook een gunstig effect hebben.

Het soort gewas heeft ook invloed op de pottemperatuur. Planten met veel, groot, glanzend, grijs of wit, of plat uitstaand blad kaatsen meer straling terug dan andere soorten. De gewaskeuze is al lang gemaakt voor duidelijk wordt of er een hittegolf zal optreden in de zomer, dus de teler kan daarmee niet inspelen op hitte. Maar de gewaseigenschappen kunnen wel gebruikt worden wanneer gekozen moet worden, welke gewassen het eerst in aanmerking komen voor extra bescherming tegen hoge pottemperaturen.

Joustra vond in 1992 dat er verschillen zijn in de maximale temperatuur die boomkwekerijgewassen verdragen. Het ging in dit geval om de luchttemperatuur, die in de kas door middel van luchten onder de 21, 28 of 35 °C werd gehouden. De planten groeiden bijna allemaal het best bij instelling 21 °C. *Cytisus scoparius* 'Vanesse' doorstond een zeer hoge kastemperatuur (>50 °C) het best, terwijl *Aucuba japonica* 'Variegata' en *Pieris japonica* 'Debutante' er het slechtst tegen konden.

3.1.6 Afscherming van de potgrond

Over het algemeen zal niet erg veel zonnestraling de potgrond direct bereiken, omdat de plant deze afschermt. Maar bij kleine planten in grote potten, of potten die aan het begin van de teelt direct op eindafstand zijn gezet, kan het wel effect hebben. Potgrond is over het algemeen donker van kleur, en absorbeert veel straling. Het afstrooien van de potten met een lichter gekleurd materiaal of het aanbrengen van een lichtgekleurd onkruidonderdrukkend matje zou theoretisch de pottemperatuur kunnen verlagen, maar hiervan zijn geen experimentele gegevens beschikbaar. Het zou kunnen dat de weerkaatsing van zonlicht tegen het gewas de temperatuur van de bovengrondse delen verhoogd, wat nadelig kan zijn bij hitte. Van afdekmaterialen zoals papierpulp die in de vollegrond worden gebruikt, is wel bekend, dat de bodemtemperatuur eronder 2-4 °C lager is dan zonder afdekking, gemeten op zomerdagen met een bodemtemperatuur van tegen de 20 °C (Munn).

3.2 Weerkaatst zonlicht vanaf de teeltvloer

Behalve de directe zoninstraling valt ook weerkaatste straling vanaf de teeltvloer op de potten. Dit heeft vooral effect op randrijen, en op potten die op grote afstanden staan, waardoor ze de teeltvloer niet beschaduen. Enkele maatregelen hebben op deze factor invloed.

3.2.1 De kleur van de teeltvloer

De bedondergrond heeft een invloed op de pottemperatuur. Warren (2004) vond een temperatuurverschil van 1 to 2 °C in het gewas en 1 tot 4 °C in de pot tussen een ondergrond van zwart en wit plastic. De potten werden warmer op wit plastic. Zwart antiworteldoek en gravel veroorzaakten temperaturen vergelijkbaar met die van zwart plastic. Alleen in de zomer gaf wit plastic hogere temperaturen. In najaar, winter en het vroege voorjaar verhoogde het de temperatuur niet, en hielp dus niet om vorstschade te voorkomen. Afgeleid uit deze gegevens zou een lichtgekleurde (betonnen) teeltvloer ook een hogere temperatuur in de

potten en het gewas in de zomer kunnen veroorzaken. Het effect is in Nederland misschien wel kleiner dan in het zuiden van de USA, waar Warren zijn proeven deed, maar er zijn geen metingen van bekend. Betonvloeren zijn voornamelijk in kassen te vinden. Een laagje zwart antiworteldoek zou hier de weerkaatsing kunnen beperken. Een ander gebruik van lichtgekleurd beton zijn de rijpaden die op een containerveld worden gelegd. Deze zouden ook beter een donkere kleur kunnen hebben.

3.2.2 De afstand tussen de potten

Net als bij de directe instraling is een kleine potafstand gunstig om de absorptie van zonnestraling door de pot te voorkomen. De potten geven elkaar schaduw, en alleen de randrijen staan aan de straling bloot. Een kleine potafstand is echter niet gunstig voor de uitwisseling van warmte met de omgeving door contact met de lucht. De ideale potafstand is afhankelijk van de hoeveelheid instraling en de hoeveelheid wind, omdat er een evenwicht tussen opwarming door instraling en afkoeling door wind ontstaat. Dit evenwicht verandert steeds, dus de teler zal een compromisafstand moeten kiezen. Daarbij spelen natuurlijk ook overwegingen als ruimtebenutting een grote rol.

3.3 Warmte-uitstraling door de pot

Een deel van de warmte die zich in een pot verzamelt, raakt hij ook weer kwijt door infraroodstraling uit te stralen. Enkele factoren beïnvloeden dit.

3.3.1 De kleur van de pot

Zwarte voorwerpen stralen meer warmte uit dan witte voorwerpen van dezelfde temperatuur. Een warme zwarte pot die beschaduwde wordt, zal daarom sneller afkoelen dan een witte. Uiteindelijk zullen ze wel allebei dezelfde eindtemperatuur bereiken, namelijk de omgevingstemperatuur. Een zwarte pot zorgt dus voor grotere temperatuursfluctuaties in de pot, bijvoorbeeld op dagen dat de zon regelmatig even achter de wolken schuilgaat. Ook dit effect is vooral op de randrijen planten van toepassing, en kan getemperd worden door het gebruik van witte (over)potten voor de randrijen (zie ook paragraaf 3.1.4).

3.3.2 Materialen rond de pot

Als een pot zijn warmte door straling kwijt wil raken, moet deze straling niet door materialen dicht bij de pot gereflecteerd worden. Randafschermingen (zie paragraaf 3.1.4) zouden daarom aan de kant die naar de potten toegekeerd is donker van kleur moeten zijn. Van dit effect zijn geen metingen bekend.

3.4 Warmte-uitwisseling door contact met de lucht

Potten kunnen afkoelen door hun warmte af te staan aan de omringende lucht, door direct contact. Dat wordt beïnvloed door de volgende factoren. Daarnaast heeft het contact met de lucht ook veel invloed op de snelheid van de verdamping, die in paragraaf 3.7 behandeld wordt.

3.4.1 De afstand tussen de potten

In paragraaf 3.2.3. is al genoemd dat de potafstand van invloed is op het contact met de omringende lucht. Hoe gemakkelijker de lucht tussen de potten door kan stromen, hoe sneller de potten hun warmte kwijt kunnen raken. In het gunstigste geval wordt de pottemperatuur nooit hoger dan de luchttemperatuur, maar in de praktijk loopt hij meestal hoger op. De wind koelt alleen de wand van de pot, dus kleine potjes hebben er meer profijt van dan grote. Voor koeling door de wind is het gunstig als de potten in rijen staan, en niet verspringend in verband. De wind kan er dan immers met hogere snelheid doorheen stromen.

3.4.2 Windschermen en oriëntatie op de windrichting

Containervelden worden vaak voorzien van windschermen, om de potten te beschermen tegen omwaaien. Het zou gunstig zijn als deze schermen op hete dagen met onschadelijke windsnelheden tijdelijk geopend kunnen worden, zodat de wind meer verkoeling kan brengen. Een windscherm kan echter ook de randplanten beschaduen. Er moet dus naar de richting van het scherm en de stand van de zon worden gekeken, om te beoordelen of een open of dicht scherm het gunstigst is.

3.4.3 Ventilatoren

Vooraf in kassen en tunnels kan de luchting onvoldoende zijn om de potten aan de lucht te laten afkoelen. In dat geval kunnen ventilatoren de koeling vergroten. Dit werkt rechtstreeks doordat de buitenlucht meestal koeler is dan de lucht in de kas. Maar de luchtstroom stimuleert ook de afkoeling via verdamping.

3.4.4 Vochtgehalte van de lucht

Hoeveel warmte de lucht per minuut aan een pot kan onttrekken heeft te maken met de soortelijke warmte van lucht. Dit is echter geen constant gegeven. Droge lucht kan minder warmte opnemen dan vochtige lucht. Het verhogen van de luchtvochtigheid van de langsstromende lucht zorgt voor meer koeling. Dit kan bijvoorbeeld door bij de ventilator water te vernevelen. In sommige kassen is een nevel- of mistsysteem geïnstalleerd dat de uitdroging van stek voorkomt. Dat kan ook vanwege het koelende effect worden ingezet, in combinatie met een ventilator. Op een containerveld zou de vochtigheid van de langsstromende lucht kunnen worden verhoogd door water te sproeien. Bij overheadberegening gebeurt dit al tijdens het water geven. Bij druppelbevloeiing of een eb-vloedsysteem zouden de paden natgespoten kunnen worden op de heetste momenten van de dag. Verhogen van de luchtvochtigheid heeft echter alleen zin als de opgewarmde vochtige lucht boven de planten ook weer weggeblazen wordt met een ventilator of door de wind. Wanneer de opgewarmde vochtige lucht boven de planten blijft hangen, belemmert dit de verdamping door de planten. Bovendien stimuleert warme lucht met een hoog vochtgehalte sommige ziekteverwekkers. Lucht met een hoge RV neemt meer warmte op door contact, maar lucht met een lage RV laat planten gemakkelijker verdampen. Welk effect in de praktijk het gunstigst uitpakt voor de potttemperatuur zou eerst door middel van metingen moeten worden uitgetest.

3.5 Warmte-uitwisseling door contact met de teeltvloer

De bodem heeft vergeleken met de inhoud van een pot een enorme massa. De bodem zal daarom veel langzamer opwarmen dan een pot, en kan verkoeling geven, als de pot er goed contact mee maakt. Factoren die dit beïnvloeden zijn:

3.5.1 Het contact van de pot met de bodem

Dit wordt voornamelijk bepaald door het type teeltvloer en door de pot. Een bedondergrond die veel lucht bevat werkt als een isolerende laag tussen de pot en de bodem, wat de bufferende werking op de temperatuur beperkt. Lava, schuimbeton of piepschuim in de teeltvloer is wat dit betreft ongunstig. Ze kunnen echter noodzakelijk zijn voor de drainage of het draagvermogen. Bij teelt in metalen goten of op roltafels wordt ook warmte afgevoerd, maar is de eindtemperatuur gelijk aan de luchttemperatuur, niet aan de (meestal lagere) bodemtemperatuur. Het grote oppervlak van metalen goten of tafels zorgt ervoor, dat de temperatuur in de potten minder sterk zal fluctueren dan op een isolerende ondergrond. Binnenkomende (stralings)warmte kan immers in korte tijd door de tafel heen aan de lucht worden afgestaan. Kunststof goten of tafels isoleren, en voeren weinig warmte af. Er kunnen in tafels en goten ook koelbuizen worden aangebracht, zie 3.5.3.

Bij de pot is vooral het profiel van de bodem van belang. Een groot oppervlak dat contact maakt met de ondergrond is gunstig voor temperatuurbuffering. Potten die hoge nokken hebben om de drainage te vergroten zijn minder gunstig.

3.5.2 Het pot-in-potsysteem

In dit systeem worden potplanten niet op een teeltvloer gezet, maar in iets grotere potten die in de bodem ingegraven zijn. Daardoor valt er geen zonlicht op de zijkant van de potten. Hun water krijgen ze bijvoorbeeld via druppelbevloeiing. Zhu et al vonden dat dit er vooral voor zorgt dat temperatuursverschillen gedurende de dag sterk gedempt worden. In plaats van het temperatuurverschil van circa 15 graden per etmaal in de luchttemperatuur, werd maar een verschil tussen minimum en maximum van circa 3 °C in de potttemperatuur gemeten. Bij de hoogste luchttemperatuur van 28,9 °C werd de potttemperatuur niet hoger dan 24,5 °C. Dit dempende effect op de temperatuur bleek niet afhankelijk te zijn van het vochtgehalte van de potgrond. Als de grotere potten niet ingegraven worden, zal het effect minder groot zijn.

3.5.3 Bedkoeling

Vooraf in kassen wordt wel gebruik gemaakt van koeling van de tafels of goten waarop de planten staan. In de kamerplantenteelt worden aluminium goten gebruikt met een ingebouwde koelbuis, waardoor in de zomer koud water stroomt. In de winter worden dezelfde buizen voor de verwarming gebruikt. Met dit systeem is het mogelijk om aparte temperaturen in te stellen voor de wortels en de bovengrondse delen van de plant. In de boomkwekerij kent men dat bijvoorbeeld als de "Heated bin" methode, waarbij stekken worden beworteld in een verwarmd medium, terwijl de lucht erboven koud wordt gehouden.

Vroeger werd koud bronwater gebruikt om de potttemperatuur in de zomer laag te houden. Na gebruik werd dit water dan met een koelapparaat weer op de oorspronkelijke temperatuur gebracht. Dit systeem kost 6 x zo veel elektriciteit als recirculerende koeling met bronwater, terwijl de aanlegkosten in dezelfde orde van grootte zitten. (Vegter 1994).

Ook werd wel koel bronwater opgepompt, dat na gebruik werd geloosd. Deze methode werd gebruikt bij snijbloemgewassen als Freesia, Alstroemeria en Amaryllis. Er wordt koud water opgepompt uit een bron, dit wordt door het wortelmedium gevoerd en na gebruik geloosd op het oppervlaktewater, of terug de bodem in gepompt. (Vegter 1994) Dit systeem mag op veel plaatsen niet meer gebruikt worden vanwege provinciale regelgeving.

Tegenwoordig gebruikt men wel recirculerende koeling met bronwater. Dit wordt onder meer toegepast bij kas-Hedera en Freesia. Bij deze methode gaat gebruikt water terug de bron in. In de winter wordt de bron teruggekoeld door het water nogmaals op te pompen en in een warmtewisselaar door koud water uit het gietwaterbassin te laten koelen. Het bronwater is gemiddeld 12 °C, en warmt door het gebruik tot 17 °C op. In de winter wordt het tot 5 °C teruggekoeld. (Vegter 1994)

3.6 Warmte-uitwisseling met toegediend gietwater.

Een factor waarmee men de temperatuur naar behoefte kan beïnvloeden is het gietwater. Het is een van de weinige factoren die à la minute kan worden ingeschakeld als er een piektemperatuur wordt geconstateerd, en dan ook snel effect heeft. Het effect is echter niet groot.

3.6.1 Temperatuur van het gietwater.

Een voorbeeldberekening: een pot van 1 l inhoud krijgt in een gietbeurt 100 ml water toegediend. De pot was voor het watergeven 30 °C.

De hoeveelheid grond in de pot heeft een warmtecapaciteit van 2500 J per °C. Deze hoeveelheid water heeft een warmtecapaciteit van 420 J per °C.

Het verschil tussen deze twee betekent dat voor elke graad dat de pot afkoelt, het water bijna 6 °C opwarmt. Hiermee is te berekenen dat zelfs water van 3 °C de pot maar kan afkoelen van 30 tot 26°C.

Realistischer is dat het gietwater in de zomer bijvoorbeeld 15 °C is. Hiermee wordt de pot per gietbeurt dus maar ongeveer 2°C gekoeld. En dat is nog de theoretische waarde. In de praktijk stroomt het koele water bij berekening eerst nog langs de bovengrondse delen van de plant, waaruit het ook al warmte opneemt. Het directe koelende effect van de gietwatertemperatuur is dus zeer beperkt.

Zimmer vond wel dat hoge gietwatertemperaturen van 24-27 °C nadelig zijn voor de groei en de dikte van wortels van rozen. Het is dus wel belangrijk om te zorgen dat het gietwater geen opwarming van de pot veroorzaakt. De nadelige effecten die Zimmer noemt van erg koud gietwater, namelijk bladbeschadiging, zijn voor de meeste boomkwekerijgewassen niet van toepassing, maar alleen voor (sub)tropische kamerplanten. Ook hij geeft aan dat koud water zo snel opwarmt door de omgeving dat er weinig effecten te zien zijn.

Gietwater kan de temperatuur van potten wel sterker verlagen dan in het voorbeeld hierboven, maar dan moeten de potten met zeer grote hoeveelheden water worden doorgespoeld. Dit is echter niet realistisch, aangezien ook de voedingsstoffen uit de potgrond zouden spoelen. Bovendien is koel gietwater tijdens een hittegolf meestal maar beperkt beschikbaar.

Wanneer het water met een eb-vloed systeem wordt toegediend kan het koelende effect wel groter zijn. Er wordt dan immers een groot volume water met de potten in contact gebracht, waaraan deze hun warmte kunnen afstaan.

De gietfrequentie en het tijdstip van watergeven kunnen ook een verkoelend effect hebben. Dit werkt echter grotendeels via de verdamping van de plant, en deze factoren worden daarom in de hierop volgende paragraaf behandeld.

3.7 Verdamping

Voor het verdampen van een liter water is 2500 kJ nodig. Verdamping vindt ook plaats wanneer de temperatuur onder het kookpunt ligt, omdat er altijd watermoleculen aan het oppervlak van een vloeistof zijn, die voldoende energie hebben om te ontsnappen. De overgebleven moleculen in de vloeistof zijn daarna gemiddeld minder energierijk, dus koeler. De verdamping vindt vooral plaats door de plant, vanuit de potgrond en soms door de potwand heen. De verdamping wordt gestimuleerd wanneer de omringende lucht droog is en wanneer het waait. De grootte van het verdampende oppervlak is een belangrijke bepalende factor voor de snelheid.

3.7.1 Verdamping door de potwand

De wand van een plastic pot is waterdicht, en verdampt dus niet. In de boomkwekerij worden echter ook potten van andere materialen gebruikt. De ouderwetse stenen potten hadden mede door hun verdamping weinig temperatuurproblemen. Tegenwoordig worden wel biologisch afbreekbare potten van papierachtig materiaal gebruikt. Er zijn geen temperatuurmetingen van dit type potten bekend, maar in eigen proeven van PPO is wel een hoger waterverbruik ten opzichte van plastic potten geconstateerd, wat op verdamping via de potwand wijst. Ook potten met perforaties in de zijkant kunnen verdampen. Dit soort potten wordt gebruikt om het ronddraaien van wortels te voorkomen door middel van luchtsnoei. Bij de teelt waarbij planten bovengronds in groeizakken van geweven materiaal worden gezet, zal verdamping bijdragen aan het koelen van de zak. Hoeveel effect verdamping door de pot of zak heeft, hangt af van de grootte van de pot. Grote potten hebben immers een kleiner oppervlak ten opzichte van hun inhoud. Het oppervlak kan groter zijn als de zijwand van de pot voorzien is van ribbels of andere uitsteeksels. In dit geval fungeren die als een soort koelvinnen.

3.7.2 Verdamping door de potgrond

De verdamping door de potgrond wordt bepaald door het contactoppervlak met de lucht. Het afdekken van de potgrond, bijvoorbeeld met een onkruidonderdrukkend matje, zal een remmend effect op de verdamping hebben, maar hiervan zijn geen temperatuurmetingen bekend. De verdamping door de potgrond zal minder effect hebben als de plant in de pot flink verdampt. Hierdoor is de lucht boven de pot al zeer vochtig, en zal er weinig verdamping vanuit de potgrond meer optreden.

Wat wel een effect heeft is de samenstelling van de potgrond. Als de potgrond grove stukken bevat, maakt

dat het contactoppervlak met de lucht groter. Brown vond een temperatuurverlaging van 2 °C bij een grof medium ten opzichte van een fijn medium. De media bestonden uit ¼ grond, ¼ veen en ½ schors, waarbij het verschil in structuur van het medium werd veroorzaakt door de zeeffractie van de schors. Planten reageren echter verschillend op de structuur van het groeimedium, omdat ook andere factoren dan de mediumtemperatuur van belang zijn. Het koelste medium leverde niet altijd de beste planten op. Vooral bij jonge planten in kleine potten was een fijn medium het beste voor de kwaliteit. Later testte Brown ook een groeimedium van 7/8 deel gemalen schors en de rest ofwel grond, ofwel zand. De meeste planten deden het beter in het mengsel met zand, maar hij geeft geen temperatuurmetingen voor deze twee media, dus het is niet duidelijk of dit puur een temperatuureffect is.

3.7.3 Verdamping door de plant

Planten verdampen een flinke hoeveelheid water. Op een warme zomerdag ongeveer 5-7 mm water per dag. Uitgaand van een plant in een vierkante pot van 10,5 cm (oppervlak 110 cm²) verdampt dit ongeveer 65 ml water, waarvoor 163 kJ nodig is. Van de zon komt op een zomerdag (12 uur zon van gemiddeld 10 J/100 cm²/sec) 432 kJ aan straling binnen. Hiervan kan de plant dus circa een derde verbruiken voor verdamping. Met andere woorden: door het verdampen zou de pot in een uur tijd niet 13 graden opwarmen, maar slechts 8 graden (hierbij is de warmte die de pot door uitstraling en contact met de omgeving in de tussentijd kwijtraakt buiten beschouwing gelaten).

Planten gebruiken het water voor veel processen. Het dient voor transport, het op peil houden van de celspanning, chemische reacties en voor de koeling. Planten beperken hun verdamping door het bezit van waslaagjes of beharing op het blad. Planten regelen de hoeveelheid verdamping door middel van hun huidmondjes; bij te veel waterverlies sluiten deze. Dat kan veroorzaakt worden doordat er te weinig water in de pot zit, of doordat de plant met de aanvoer vanuit de wortels de verdamping van de bladeren niet kan bijhouden. De plant kan met dichte huidmondjes niet meer fotosynthetiseren, omdat er te weinig CO₂ binnenkomt. (Tenminste, dat geldt voor de meeste planten, maar niet voor cactussen en vetplanten. Die hebben een ander fotosynthese systeem).

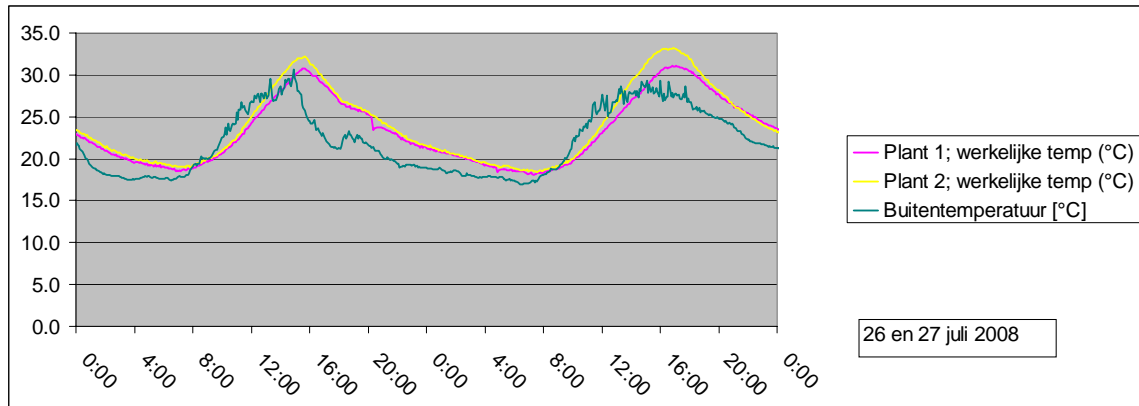
Wil een kweker optimaal gebruik maken van het koelende vermogen van de verdamping van de plant, zal de vochtvoorziening steeds voldoende moeten zijn op hete momenten van de dag. Dit stimuleert de planten hun huidmondjes open te laten, waardoor ze zichzelf koelen. Dit is te beïnvloeden door de planten water te geven op tijdstippen dat ze er de grootste behoefte aan hebben.

Dat dit werkt vond Joustra in 1993: wanneer het waterdeficit bij zijn proefplanten in de kas en op het veld niet te hoog opliep, dan groeiden de planten bij 28 °C beter dan bij 21 °C. Bij sommige planten (*Chamaecyparis lawsoniana* 'Ellwoodii') was een hoge luchtvochtigheid in een warme kas wel nadelig voor de plantkwaliteit.

3.7.4 Tijdstip van watergeven

Wanneer een goed drainerende potgrond wordt gebruikt, krijgen potten in de zomer dagelijks water. Gewoonlijk wordt dit water vroeg in de ochtend gegeven. Het waait dan meestal niet hard, waardoor nauwkeurig gedoseerd kan worden. Ook verdampt een minder groot deel van het water. Voor de potttemperatuur is dit niet het meest gunstige tijdstip. Wanneer later op de dag water wordt gegeven, ondervindt de plant 's middags en 's avonds geen droogtestress, en groeit daardoor beter. De beste groei werd in de proef van Warren verkregen bij een watergift om 12, 15 en 18 uur. Dit werd gemeten in het zuidoosten van de USA, waar de temperatuur van de potten 's ochtends tussen 6 en 8 rond de 23 °C lag, maar tegen 18 u kon oplopen tot boven de 40 °C. De watergiften in de middag in plaats van 3 keer watergeven in de vroege ochtend verlaagden de piektemperatuur met ca 3 °C. De betere groei die dit veroorzaakte kan door het verschil in potttemperatuur veroorzaakt zijn. Maar ook hoeft de plant door de goede beschikbaarheid van water zijn huidmondjes niet te sluiten, waardoor hij door verdamping kan afkoelen en de fotosynthese door kan gaan. In deze proef werd overigens steeds meerdere malen per dag een beetje water gegeven, omdat in het gebruikte teeltsysteem dan minder water ongebruikt weglekte dan met één watergeefmoment. (Warren 2002)

In Nederland treden ook de hoogste pottemperaturen op aan het eind van de middag.



In deze grafiek is te zien hoe de buitentemperatuur en de pottemperaturen in 2 potten in Boskoop variëren op de warme zomerdagen 26 en 27 juli 2008. (*Proef van P. van Dalfsen, PPO, persoonlijke mededeling*) De pottemperatuur bereikt pas zijn hoogste waarde, als de luchttemperatuur alweer gaat dalen. Ook wordt de pottemperatuur hoger dan de luchttemperatuur. Plant 1 stond tijdens deze metingen iets droger dan plant 2. De potten kregen tijdens deze meting 's ochtends vroeg en 's avonds laat water.

Ook in Nederland is het het overwegen waard, om op zeer hete zomerdagen over te schakelen op een ander watergeefregime. De maatregel zal slechts een kleine daling van de piektemperatuur veroorzaken. Een pluspunt ervan is echter, dat de maatregel met de bestaande infrastructuur kan worden uitgevoerd, en naar keuze is in te zetten op het moment dat er daadwerkelijk extreme hitte verwacht wordt. Het effect van deze maatregel zal het grootst zijn als de buitenlucht droog is en het waait over het gewas, zodat het goed verdampt.

Een ander watergeefregime kan alleen worden gebruikt als de hoeveelheid beschikbaar water niet beperkend is, omdat het totale waterverbruik er hoger van wordt door de extra verdamping. Ook kan het werkklimaat voor de mensen op het containerveld een reden zijn om dit niet toe te passen.

4 De grootte van enkele effecten

4.1 Natuurkundige achtergrondinformatie

Om verschillende van de hiervoor genoemde effecten naar waarde te kunnen schatten, zijn wat berekeningen nodig. Lang niet over alle factoren die de pottemperatuur beïnvloeden zijn namelijk praktijkcijfers beschikbaar. Daarom enkele natuurkundige feiten over temperatuur.

Op een onbewolkte dag bestraalt de zon Nederland met een vermogen van gemiddeld 1000 J per seconde per m². Dat komt in een uur overeen met 1 kWh/ m² of 0,1 J/cm². Op een zomerdag in juni, wanneer de zon hoog staat kan dit echter wel oplopen tot boven de 2300 J/sec/m².

De soortelijke warmte is een maat voor de hoeveelheid energie die toegevoegd moet worden aan een materiaal om de temperatuur ervan 1 °C te laten stijgen.

Voor water is dat: 4200 J per liter water per graad Celsius
Voor grond is dat: 2500 J per liter grond per graad Celsius
Voor lucht is dat: 710 J per kilo lucht per graad Celsius
(1 kg lucht is de hoeveelheid die drukt op 1 cm² aardoppervlak)

De soortelijke warmte is ook te gebruiken om in te schatten hoeveel energie een pot met warme grond moet kwijt kunnen om af te koelen.

Stel: een pot heeft een inhoud van 1 liter grond, en staat met een oppervlak van 0,01 m² bloot aan de zon (10 bij 10 cm). Er komt van de zon 10 J per seconde binnen op dit oppervlak. In iets meer dan 4 minuten kan de grondtemperatuur dan een graad stijgen. Als er in de pot alleen water zat duurde het 7 minuten. Als dit de enige factor was, dan zou de pottemperatuur op een zomerdag van 20 °C in een tijd van een uur tot 35 °C oplopen. In de praktijk reageert de grondtemperatuur niet zo snel. De pot neemt niet alleen warmte op, maar staat het ook weer af. De warmte moet ook nog doorgegeven worden van de zonkant naar de schaduwkant van de pot, en grond geleidt warmte niet erg goed. Er ontstaat een evenwicht tussen opname van zonnearmte door de pot en afgifte daarvan aan de omgeving. Hoe hoog de evenwichtstemperatuur oploopt, hangt af van de factoren:

- sterkte van de zoninstraling
- duur van de zoninstraling
- warmte-uitstraling door de pot
- warmte-uitwisseling door contact met de omgeving

In de hoofdstukken hiervoor is een aantal keer genoemd dat de grootte van de pot invloed heeft op de temperatuur. Daarom hier enkele voorbeeldberekeningen. Ook hier is alleen naar de binnenkomende energie gekeken, en niet naar de energie die de pot weer kwijtraakt.

Als bestraalde oppervlak is hier het oppervlak genomen dat zichtbaar is vanaf 1 zijkant van de pot (hoogte x doorsnee).

Type pot	Inhoud in liter	Oppervlak bestraald in cm ²	Opwarming in 1 uur
Ronde 9 cm	0,37	56	21,8 graden
Vierkante 10,5 cm	1,1	100	13 graden
C 1,5 rond	1,5	140	13,5 graden
C 2 rond	2	140	10 graden
C 3 rond	3	190	9,1 graden

4.2 Randrijen

Al een paar keer is ter sprake gekomen, dat randrijen anders reageren dan planten midden in een bed. Ze krijgen in tegenstelling tot andere potten ook zoninstraling op de zijkant van de pot. Maar ze hebben ook meer mogelijkheden om warmte kwijt te raken aan de omringende lucht. Hoe groot is nu de som van deze effecten? Enkele metingen in een proef met conifeertjes in pot, gedaan in Waddinxveen in 2005. (*Proefresultaten van P. van Dalfsen, PPO, persoonlijke mededeling*).

De temperaturen zijn gemeten met sensors in de potten, waarbij onderscheid werd gemaakt tussen midden in een bed, de randrij aan respectievelijk de zuidkant, de westkant en aan de noordkant van een bed. De metingen zijn gedaan eind juli 2005, steeds rond 5 uur 's middags, dus als de zon bijna pal in het westen staat. Het zijn gemiddelden van 5 zomerse dagen. Alle plantensoorten zijn op dezelfde dagen en tijdstippen gemeten.

Pottemperaturen in °C

Plant	midden	Randrij zuid	Randrij west	Randrij noord
Chamaecyparis 'Snow White'	24.9		26.0	23.7
Juniperus 'Blue Carpet'	25.9	26.9		25.7
Thuja 'Smaragd'	25.5	26.7		

Hieruit zijn enkele conclusies te trekken.

- De randrij noord is steeds koeler dan middenpotten. De randrij kan dus meer warmte afstaan dan een plant midden in een bed.
- De randrij west is warmer dan een middenpot. De extra toevoer van warmte met zonnestraling is dus groter dan de extra afvoer van warmte die mogelijk is in een randrij.
- Hoewel de zon uit het westen komt, heeft de randrij zuid een bijna net zo groot temperatuurverschil met de middenpotten als de randrij west. Mogelijk komt dit door het na-ijlen van de temperatuur van de uren in de middag dat de zon wel pal op de potten van randrij zuid scheen.

De temperatuurverschillen in dit tabelletje zijn niet groot. Ze zijn ongeveer even groot als de verschillen die veroorzaakt worden door de aard van het gewas (wat ook samenhangt met het vochtgehalte in de potten). Wanneer naar individuele dagen gekeken wordt blijkt dat de verschillen wel groter kunnen zijn. Bijvoorbeeld op 15 juli was om 17:30 de pottemperatuur midden in het bed 26.2 graden, in de randrij noord 2.6 graden lager en in de randrij west 3.7 graden hoger. Het was die dag onbewolkt, werd maximaal 27 graden en er waaide een windkracht 3.

Op 16 juli was om 17:00 de pottemperatuur in het midden 24.9 graden, de randrij noord was 3.1 graad koeler en de randrij west was 0,4 graad koeler. Op deze dag was er echter wat meer bewolking, een maximum van 25 graden en windkracht 2. Als er net bewolking was tijdens de meting kan dat de oorzaak zijn van de wat sterkere afkoeling van de westelijke randrij. Hieruit blijkt dat randrijen vooral meer temperatuurschommelingen te verduren hebben dan de planten midden in een bed.

4.3 De relatieve effecten

Wat zijn nu de effecten die te verwachten zijn voor de verschillende maatregelen. Over het algemeen geldt dat de effecten van 2 maatregelen niet zomaar bij elkaar opgeteld mogen worden. Sommige maatregelen beïnvloeden meerdere factoren (bijv. een pot-in-pot systeem geeft meer contact met de ondergrond en beperkt zij-instraling). Maar koelende maatregelen met een verschillend werkingsmechanisme (Bijv. witte potten en een ander watergeefregime) zullen wel meer koeling geven dan wanneer slechts één van de maatregelen wordt gebruikt.

Hieronder worden de maatregelen genoemd, waarbij hun effect vergeleken wordt met een standaard-situatie. In dit geval: een middelgrote plant in een plastic 1,5 l pot, in het midden van een vak op een containerveld buiten, op een bedondergrond van lava met zwart antiworteldoek, met sproeiers als watergeefstelsel. De planten staan in de volle zon, luchttemperatuur loopt op tot 27 °C.

Schatting van de van grootte van het koelende effect op potttemperatuur van verschillende maatregelen.

Maatregel	Koelend effect	Bijzonderheden
Kasteelt	6 °C	Zeer afhankelijk van type kas
Teelt in tunnel, open zijkant	8 °C	
Schaduwdoek 60%	6 °C	Ook kleinere temperatuurfuctuaties
Pot in randrij (zon)	1-4 °C warmer	
Pot in randrij (Schaduw)	3 °C	
Zijafscherming randrij potten (witte potten)	3-6 °C	Kleinere temperatuurfuctuaties
Soort gewas	1-3 °C?	
Afscherming potgrond	2-4 °C	
Witte teeltvloer	1-4 °C warmer	
Plasticfolie i.p.v. antiworteldoek		Grotere temperatuurfuctuaties
Kleinere potafstand	Klein effect?	
Oriëntatie op de windrichting	?	
Ventilatoren		Sterk afhankelijk van de situatie
Verhoging RV van de lucht	?	Ook geschikt voor incidenteel gebruik
Bodemcontact beter (andere potbodem)	?	
Pot-in-pot systeem	5 °C	Kleinere temperatuurfuctuaties
Bedkoeling (tafels, goten)	10-20 °C	Grote investering
Gietwater van 3 °	3-4 °	Ook geschikt voor incidenteel gebruik
Gietwater van 15 °C	2 °	Ook geschikt voor incidenteel gebruik
Verdampende pot/zak	Enkele graden?	
Grove potgrond	2 °	
's middags watergeven	3 °	Ook geschikt voor incidenteel gebruik

Hieruit blijkt dat er verschillende maatregelen zijn die een koeling van 5 graden of meer kunnen geven. Dit zijn meestal maatregelen die zeer ingrijpend zijn voor de bedrijfsvoering. En verder zijn er verschillende maatregelen die enkele graden koeling opleveren, die in veel bedrijfssituaties geprobeerd kunnen worden. Vooral enkele systemen die gebruik maken van water en/of wind hebben als voordeel dat ze naar behoefte kunnen worden ingezet, afhankelijk van de weersverwachting.

Bijlage 1: Literatuurlijst

- Bernardes, M.S. et al
Influence of nursery conditions on germination and initial development of peijibaye (*Bactris gasipaes*)
Revista de biologica tropical 1996; 44 (2/A): 499-505
- Brown, W.L.
Temperature in container affects growth of ornamentals
Louisiana Agriculture (1982) 26 (1); p.8-9
- Drews, M.
The supply of nutrients for raising young cucumber and tomato plants in rockwool
Gartenbau 1984; 31 (2): 261-363
- Irmak, S et al
Measurements and analyses of growth and stress parameters of *Viburnum odoratissimum* (Ker-Gawl) grown in a multi-pot box system.
Hortscience (2004).39(6): p.1445-1455
- Jagers op Akkerhuis, F; Vegter, B.; Slegers, J.
Special kasdek materiaal - Innovatie in 'tuindersglas'
Vakblad voor de Bloemisterij 40 (2008) p 44-54
- Joustra, M.K.
Maximum toelaatbare zomertemperaturen bij de teelt van boomkwekerijgewassen in pot
Proefstation voor de boomkwekerij, Boskoop, Intern verslag (3000-06) 1992
- Joustra, M.K.
Maximum toelaatbare zomertemperaturen bij de teelt van boomkwekerijgewassen in pot
Proefstation voor de boomkwekerij, Boskoop, Intern verslag (3000-09) 1993
- Munn, D.A.
Comparisons of shredded newspaper and wheat straw as crop mulches.
Horttechnology july/sept 1992, p.361-366
- Pauwels, E
Comparison of Ground-Cover Materials for Container Growing Systems: Horizontal Versus Vertical Drain
Combined Proceedings International Plant Propagators society, vol 56, 2006
- Stoven A.A.; Mathers H.M.; Struve D.K.
Fertilizer Application Method Affects Growth, Nutrient, and Water Use Efficiency of Container-Grown Shade Tree Whips
Hortscience 41(5): 1206-1212. 2006.
- Vegter, B.
Verlagen pottemperatuur houdt ziekten buiten de deur: koel/recirculatiesysteem met bronwater op hederabedrijf.
Vakblad voor de bloemisterij (1994) deel 49 nr 37, p38-41
- Warren, S.L.; Bilderback, T.E.
Timing of low pressure irrigation affects plant growth and water utilisation efficiency.
Journal of environmental horticulture (2002) 20 part 3 p. 184-188

Warren, S.L.; Bilderback, T.E.
Nursery floor affects containerised plant growth
Journal of environmental horticulture (2004) 22 (2) p. 100-105

Zhu, H. et al
A new system to monitor water use and nutrient use in pot-in-pot nursery production systems.
J. Environ. Hort. 13 (1): 47-56 March 2005

Zimmer, K
Should the irrigation water be heated?
Deutscher Gartenbau 1981; 36(5), p160-162