

IETS OVER HET GEBRUIK VAN GLAS IN BROEIKASSEN.

DOOR

DR. D. VAN GULIK.

Het is in de geschiedenis der natuurwetenschappen geen zeldzaamheid, dat een stelling, die jarenlang voor bewezen heeft gegolden, die van leeraar op leerling of van het eene leerboek op het andere is overgegaan, plotseling ten val wordt gebracht door een onderzoeker, die op het denkbeeld komt haar aan de proef te toetsen.

In dit lot heeft voor korten tijd ook de welbekende theorie omtrent de beteekenis van het glas in broeikassen moeten deelen. Volgens deze theorie zou de hooge temperatuur in onze broeikassen worden verkregen krachtens het feit, dat de glasruiten wél de betrekkelijk korte ethergolven der zonnestrallen (lichte, zoowel als donkere) doorlaten, doch niet de veel langere golven, die door de verwarmde aarde en plantendeelen worden uitgestraald. Juist omdat dit verschillend gedrag van glas ten opzichte van ethergolven van verschillende lengten met afdoende zekerheid was vastgesteld niet alleen, maar ook gemakkelijk door demonstratieproeven werd bevestigd gevonden, namen de juistheid van deze muizenval-theorie, gelijk zij dikwijls niet oneigenaardig werd genoemd, als vanzelfsprekend aan.

Bij den vermaarden Engelschen natuurkundige prof. *R. W. Wood* was echter twijfel gerezen; niet aan de juistheid van de daareven genoemde feiten, maar van de beteekenis welke hieraan voor de broeikas werd gehecht. ¹⁾ Hij stelde

1) Note on the Theory of the Greenhouse. Phil. Mag. 1909, blz. 319.

de mogelijkheid, dat de terugstraling der verhitte aarde (die inderdaad door de glasruiten wordt tegengegaan), indien zij vrij kon uittreden, weliswaar de temperatuur der kas eenigszins zou doen dalen, doch niet in die mate, dat deze daardoor voor de praktijk minder goed bruikbaar ware dan thans. Hij stelde zich m. a. w. voor, dat het glas in de broeierij nog vrijwel dezelfde diensten zou bewijzen, als het de eigenschap van lange ethergolven te absorbeeren niet bezat. Dit was echter proefondervindelijk uit te maken. Steenzout is n.l. een stof, die ook voor lange golven zeer doorschijnend is; het kwam er derhalve op aan door een proef te beslissen of een kas voorzien van ruiten van steenzout een voldoende temperatuurverhooging onderging.

Om dit te onderzoeken liet *Wood* een miniatuur broeikastje van karton maken, dat door een tusschenschot middendoor was gedeeld. De eene helft was met een glasplaat en de andere helft met een even groote en even dikke plaat van goed gepolijst steenzout gesloten. In elke afdeeling stak het reservoir van een thermometer. Nadat het kastje nu geheel in watten was gepakt, zoodanig dat slechts de ruitjes vrijbleven en de thermometerbuizen er buiten uitstaken, werd de toestel aan de zonnestraling blootgesteld. De temperatuur liep in de beide afdeelingen zeer hoog op, steeg zelfs tot 60° C. en hooger, en bereikte onder de zoutplaat de hoogste waarde. Dit nu is hiervan een gevolg, dat zout het geheel der zonnestraling nóg beter doorlaat dan glas. Deze ongelijkheid kon *Wood* vervolgens buitensluiten door de zonnestraling, alvorens zij den toestel bereikte, door een glasplaat als 't ware te filtreeren en aldus van hare langste golven te berooven. Toen bleken inderdaad de beide thermometers nagenoeg even hoog te stijgen; en daarmee dan achtte *Wood* de zaak uitgemaakt.

Met een dergelijken toestel heb ik deze proeven herhaald en voorkomen bevestigd gevonden, ook nadat — ter vergrooting van de warmte-capaciteit — de ruimte in beide afdeelingen bijna geheel met kopervijzel was opgevuld. Een laagje beenderkool of een stukje dof-zwart papier dekte in dit geval het koper aan de voorzijde af, om zoowel de opslorping als de uitstraling te bevorderen.

Het eigenlijke doel echter, waarmee ik het toestelletje

had doen vervaardigen ~~was~~ een ander. Het zal n.l. duidelijk zijn, dat de gevolgtrekking van *Wood* van eenigszins verdere strekking is dan de uitkomsten van zijn proef. Deze toch bewijzen, dat de met zout gedekte helft tijdens krachtige zonnebestraling een even hooge temperatuur aanwijst. Daarmee is echter nog niet aangetoond, dat het ook des avonds en in den nacht — wanneer weinig of geen warmte meer wordt aangevoerd — van geen noemenswaarde beteekenis is, dat de vrije uitstraling door een stof als glas wordt belet. Het was deze kwestie, die ik nader wenschte te onderzoeken. Aan de mededeeling van de uitkomsten dezer proefneming moge echter een korte beschouwing voorafgaan, waarin het vraagstuk van zijn theoretische zijde wordt in oogenschouw genomen.

De nieuwere onderzoekingen over de straling der zon hebben uitgemaakt, dat de waarde der z.g. zonneconstante ongeveer twee bedraagt, d.w.z. dat de zonnestraling buiten de atmosfeer op een oppervlak van een cm^2 loodrecht opgevangen en volkomen geabsorbeerd, hieraan per minuut twee gramcaloriën warmte mededeelt. ¹⁾ Nemen wij nu aan — wat zeker niet te hoog geschat is — dat hiervan bij hoogen zonnestand en heldere lucht ongeveer de helft voor de kas verloren gaat, door verstrooiing en absorptie in den dampkring, terugkaatsing tegen het glas enz., dan zou dus in den middag van het warme jaargetij in de kas één calorie per minuut voor elken (loodrecht bestraalden) cm^2 kunnen worden binnengevoerd. De diffuse straling van den hemel is dan hierbij meegeteld.

Nu moeten wij ons een denkbeeld vormen omtrent de grootte van het warmteverlies, waartegen het glas, krachtens zijn bovengenoemde eigenschap, de inwendige ruimte der kas zou beschermen, d.i. dus de warmte, die bij ongehinderde uitstraling van deze verwarmde ruimte naar de atmosfeer zou verloren gaan. Deze hoeveelheid hangt af van de temperatuur der kas en van die der atmosfeer, waarheen de uitstraling plaats vindt. Nu zijn er door verschillende onderzoekers rechtstreeksche metingen verricht omtrent het warmteverlies door uitstraling naar den nach-

1) O.a. *Annals of the Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution*; Volume II; 1908.

telijken hemel. Zij vonden hiervoor bij onbewolkte lucht omstreeks 0,15 tot 0,20 cal. per cm^2 . en per minuut. Daar dit bedrag overdag, tengevolge van de hoogere temperatuur der lucht, geringer moet zijn, en bovendien de uitstraling van de inwendige kasruimte niet vrij naar alle kanten kan geschieden, zullen wij het warmteverlies door uitstraling op gemiddeld 0,1 cal. stellen.

Vergelijkt men dit cijfer met de boven gevonden waarde van één cal. voor de warmte-ontvangst tijdens volle zonnebestraling, dan zou de gevolgtrekking gemaakt kunnen worden, dat er zelfs bij hoogen zonnestand eenig merkbaar verschil in de temperatuurstijging van een met steenzout gedekte kas en een glazen kas moet optreden, aangezien in eerstgenoemde 0,1 cal. (d.i. 10% van de ontvangen warmte) rechtstreeks door uitstraling verloren gaat, en onder het glas niets. Dit laatste is evenwel volstrekt niet juist. Ook de kas met glazen ruiten verliest op geheel overeenkomstige wijze warmte door uitstraling van de inwendige ruimte, alleen niet rechtstreeks. De weg is hier deze, dat de straling, die door zout ongehinderd als zoodanig zou uittreden, door het glas (aan zijn binnenzijde) wordt geabsorbeerd, d.w.z. in warmte omgezet. Deze warmte nu doordringt door geleiding de ruit en gaat aan de buitenzijde verloren door strooming (convectie) of ook door uitstraling. ¹⁾ Het verschil is dus eigenlijk, dat in het geval van glas het uittreden in zooverre bemoeilijkt wordt dat er geleiding van warmte door glas in den uitweg is opgenomen. Nu is glas zeker geen beste warmtegeleider; men kan echter de beteekenis daarvan in deze kwestie gemakkelijk te hoog aanslaan. Zijn geleidingsvermogen toch is 0,0015 (cal. cm . grd . sec .), waaruit volgt, dat de bewuste warmtestroom van 0,1 cal. per min en per cm^2 . bij een ruit van z.g. dubbeldik vensterglas reeds onderhouden wordt door een temperatuurverschil van slechts een kwart graad tusschen binnen- en buitenkant van het glas. Bedenkt men nu, dat de buitenkant der ruiten door uitstraling en door aanraking met de omringende lucht op vrijwel dezelfde temperatuur als deze wordt gehouden,

1) Glas is voor de lange golven, die hier optreden, als een volkomen straler aantemerkten. Het uitstralend vermogen van een schoon glasoppervlak is n.l. 90%, dat van het glas in de praktijk dus vrijwel 100%.

dan is duidelijk, dat het niet veel verschil kan maken of de kasruimte vrij uitstraalt naar de atmosfeer, dan wel naar de binnenzijde der ruiten, waar de temperatuur weinig hooger is dan in de buitenlucht.

Tot zooverre beschouwden wij een kas in volle zonnebestraling, waarbij het verlies door uitstraling, hetzij dan rechtstreeks of — gelijk bij glas — langs een omweg, slechts een klein deel van de aangevoerde warmte bedraagt.

Het zal nu echter geen uitvoerig betoog meer behoeven om in te zien, dat dezelfde redeneering ook van toepassing is op het geval van een kas, die (b.v. in den nacht) geen warmte van buiten ontvangt en moet teren op de warmte, die zich overdag in den grond heeft verbreid. Ook dan zal de temperatuur weinig gebaat zijn door het feit, dat de donkere stralen, die van het inwendige uitgaan, door het glas worden geabsorbeerd, aangezien die warmte toch ook door het glas heen een uitweg vindt.

Mijne proeven hebben dit volkomen bevestigd. Wanneer ik aan den vroeger beschreven toestel een vrij hooge temperatuur had medegedeeld (hetzij door voorafgaande zonnebestraling, hetzij door het vullen met verhit koper-vijsel), en hem daarna in een koel vertrek aan zich zelf overliet, daalde weliswaar in den aanvang de thermometer onder de zoutplaat iets sneller, doch spoedig vertoonden beide thermometers denzelfden gang. Dit moge uit een enkel voorbeeld blijken, waarbij ieder der beide afdelingen van den toestel met 120 gr. koper was opgevuld, en de kamertemperatuur $15^{\circ},6$ C. bedroeg.

	BEGIN TEMP.	NA 1 MIN.	NA 10 MIN.	NA 1/2 UUR	NA 1 1/2 UUR	NA 3 1/2 UUR
ONDER GLAS	40.0	39.7	36.7	31.4	22.1	16.9
ONDER ZOUT	40.0	39.7	36.4	31.1	21.9	17.0

Uit het bovenstaande blijkt dus, dat de opmerkingen van *Wood* omtrent de beteekenis van glas voor de broeierij in haar vollen omvang mogen worden aanvaard. Die beteekenis is deze, dat het glas de lichte en donkere zonnestrallen vrij goed binnenlaat en daarbij verhindert,

dat de opgenomen warmte *door strooming* — d. i. het ontsnappen en ververschen van de warme lucht — weer snel verloren gaat, gelijk het geval zou zijn indien geen ruiten waren aangebracht.

Aan het slot van zijn opstel spreekt *Wood* nog het vermoeden uit, dat nu ook moet vallen de overeenkomstige theorie, die aan den dampkring eenzelfde werking toeschrijft, ten opzichte van de aarde, als het glas voor de broeikas; dat m. a. w. uit het voorafgaande zou volgen, dat de aanwezigheid van een dampkring op de temperatuur der aarde niet van invloed zou zijn. Deze opvatting is evenwel een groote dwaling.

De dampkring, die de straling der aarde vrijwel geheel absorbeert, ¹⁾ kan tengevolge van zijne enorme massa de aldus opgenomen warmte geruimen tijd vasthouden. Boven elken cM.² van het aardoppervlak toch bevindt zich een luchtmasa van meer dan een K.G., met een warmtecapaciteit van ± 250 gram. Calorimetrisch staat daarom de dampkring gelijk met een waterlaag van 2.5 m. dikte rondom de geheele aarde.

Op afdoende wijze blijkt nog zijn invloed uit de volgende cijfers. Ingeval de aarde, van haren dampkring beroofd, vrij naar de wereldruimte uitstraalde, zou de wet van *Stefan-Boltzmann* van toepassing zijn, en de uitstraling bedragen:

$$S = a (273 + t)^4,$$

waarin a een zekere constante voorstelt. De wet geldt weliswaar slechts streng als het oppervlak een volkomen straler is, doch deze voorwaarde is in ons geval van zeer lange golven tennaastebij vervuld. Door substitutie van de door *Kurlbaum* proefondervindelijk gevonden waarde van a , vindt men voor deze uitstraling bij de gemiddelde temperatuur der aarde (14°):

$$S = 0.5 \text{ cal. per cM.}^2 \text{ en per minuut.}$$

Vergelijken wij nu hiermee het bovengenoemde bedrag dat in werkelijkheid voor de nachtelijke uitstraling is gevonden en dat hiervan slechts een derde deel be-

1) l. c. blz. 172.

draagt, dan volgt hieruit, dat de beteekenis van den dampkring voor de temperatuur der aarde zelfs een zeer groote is. Want dit houde men hierbij nog wel in het oog, dat de warmte die de aardkern door convection mag verliezen steeds ten volle aan den dampkring ten goede komt, en dat (in tegenstelling met hetgeen wij zooeven bij de broeikas zagen) de aarde met haren dampkring tezamen op geen andere wijze dan uitsluitend door straling warmte verliezen kan.

Een bekend verschijnsel in kassen is het z.g. branden van ruiten, waardoor vooral aan sierplanten belangrijke schade kan worden toegebracht. Deze vertoonen dan op de bladeren een aantal dorre plekjes met donkeren rand, die meestal naast elkaar in een rechte lijn gelegen zijn. Veelal wordt dit branden toegeschreven aan plaatselijke oneffenheden van het glas, of ook aan waterdruppels, die, aan de buiten- of binnenzijde van het glas vastgehecht, bijwijze van brandglazen zouden werken; terwijl het lijn-vormige voorkomen op rekening van de voortgaande beweging der zon wordt gesteld. Inderdaad kunnen plaatselijke verdikkingen van het glas (b.v. rondom een ingesmolten zandkorrel) en een regendrup het zonnelicht op bepaalde punten concentreren, en is het mogelijk, dat hierdoor zeer kleine brandplekjes op een blad ontstaan; doch dan uitsluitend in de onmiddellijke nabijheid van het glas.

De grootere brandvlekken evenwel, die op een afstand van enkele meters van de ruiten op planten worden waargenomen, zijn een gevolg hiervan, dat een ruit of geheel, of voor een aanmerkelijk deel van haar oppervlak als convergeerende lens werkt. De wijze van vervaardigen der ruiten brengt mee, dat er licht exemplaren van ongelijkmatige dikte ontstaan, die eenigszins den vorm van een convergeerende lens bezitten ¹⁾. Behalve dat zulke lenzen natuurlijk hoogst onvolkomen van vorm zijn, wijken zij van de gewone convergeerende lenzen (brandglazen) nog in zooverre af, dat het cylinder-lenzen zijn. Zij vereenigen de evenwijdige zonnestrallen dus niet in een brandpunt, maar in een brandlijn, die evenwijdig is aan een der

1) Verg. Baily's Cyclopedia of American Horticulture; onder Greenhouse.

kanten van de ruit en meestal op eenige meters afstand gelegen. Naar gelang dus zoo'n glas in de lengte of overdwars gebruikt wordt, zullen we met een horizontale of met een vertikale brandlijn te doen krijgen.

Deze brandlijn nu is het, die zich als een reeks van plekjes op de bladeren afteekent. Bevindt zich toch een blad op de plaats waar zich omstreeks den middag een brandlijn vormt, dan bestaat groot gevaar, dat de cellen op deze al te sterk bestraalde plaatsen worden gedood. Dit gevaar is verreweg het grootst indien de brandlijn evenwijdig is aan den onder- en bovenkant van de ruit. In dit geval toch ligt de brandlijn horizontaal. Zij zal dus door de beweging der zon (die immers omstreeks den middag hare hoogte weinig verandert) slechts verschuiven in de richting der brandlijn zelve, zoodat de sterk bestraalde deelen der plant geruimen tijd aan dezen schadelijken invloed blijven blootgesteld. Zelfs kleine ruiten en van hoogst onvolkomen lensvorm kunnen dan gevaarlijk zijn.

Doch ook bij vertikale brandlijn is op onze terreinen het verschijnsel voorgekomen. De slechte ruit bezat in dit geval echter de afmetingen van 40 bij 65 cM. en vormde aldus een reusachtig brandglas, dat vooral bij een bepaalden invalshoek der zonnestrallen een vrij scherpe brandlijn op $\pm 3\frac{1}{2}$ M. afstand deed ontstaan.

Om hier de intensiteit der straling in de brandlijn te meten, bracht ik een thermozuil in deze brandlijn en daarna ter vergelijking in de onbelemmerde zonnestraling, waartoe ergens in de kas een ruit was weggenomen. In beide gevallen werd met een micro-ampèremeter de stroomsterkte bepaald, met welke grootheid de intensiteit der straling evenredig gesteld mag worden. Ook met behulp van een insolatie-thermometer ¹⁾ werd de straling op beide plaatsen vergeleken. De stralingsintensiteit is dan evenredig met het aantal graden, dat de toestel boven de kas-temperatuur stijgt. Deze nu bedroeg tijdens de laatste proef $30^{\circ},4$ C. De uitkomsten der proefneming waren de volgende (gemiddeld):

1) D.i. een kwikthermometer met zwart gemaakte bol, welke zich binnen een luchtleedig ballonnetje van dun helder glas bevindt.

	IN BRANDLIJN.	IN VRIJE ZON.
Stroomsterkte in milli-amp.	0,105	0,077
Graden boven de kas-temp.	22,4	15,8

Volgens de eerste metingen zou derhalve de straling in de brandlijn $\frac{105}{77} = 1,36$ -maal zoo krachtig zijn als die

der vrije zon, en volgens de laatste metingen $\frac{224}{158} = 1,42$ -

maal. Dat de laatste eenigszins grooter uitvalt is niet te verwonderen, aangezien de kleine bol van den thermometer, beter dan het grootere oppervlak der thermozuil, bijna geheel binnen de brandlijn gebracht kan worden. Wij mogen dus veilig aannemen, dat er binnen de brandlijn plekjes gevonden worden, waar de verhouding 1,5 is, dat is ongeveer het dubbele van de straling onder een goede ruit.

Tenslotte een opmerking over het opsporen van brandende ruiten. Het beste is natuurlijk de ruiten, voordat zij geplaatst zijn, op deze eigenschap te onderzoeken. Reeds aan den rand kan men dan bij slechte exemplaren dikwijls bespeuren, dat de ruit van den eenen hoek naar den anderen, of van het midden uit naar weerszijden, dunner afloopt. Een nader onderzoek geschiedt in den zonneshijn op de volgende wijze:

Men spreidt op den grond een wit papier of laken uit (een straatje of tuinpad is dikwijls ook voldoende) en houdt de ruit omhoog in zoodanigen stand, dat zij een deel der zonnestralen, die op het papier vallen, onderschept. Den afstand varieert men van twee tot vijf meters en meer, zoodat men genoodzaakt is op een verhevenheid te gaan staan, daarbij de ruit in verschillende standen houdende. Het glas zal dan allicht op het papier min of meer heldere figuren doen ontstaan; het mag echter in geen geval lichte plekken of lijnen vertoonen, die sterk tegen hunne omgeving afsteken. Komen er wél zulke plekken te voorschijn, dan is natuurlijk het meest afdoende middel zulke ruiten af te keuren, dikwijls zal het echter ook mogelijk zijn in de kas een plaatsje te vinden, waar zij zonder gevaar kunnen worden aangebracht.

Ruiten, die reeds geplaatst zijn, onderzoekt men omstreeks het middaguur van een zonnigen dag, liefst even vóór den middag en vervolgens omstreeks één uur andermaals. Men gaat dan met een wit kartonnen schermpje, dat de stralen loodrecht opvangt, langs de planten. Bladeren, die reeds teekenen van verbranding mochten vertoonen, kunnen hierbij een goede vingerwijzing geven. Is nu ergens een brandlijn gevonden, dan wordt de slechte ruit, die er de oorzaak van is, gemakkelijk ontdekt. Het moet nl. die ruit zijn, waardoor men de zon ziet als het oog ter plaatse van de gevonden brandlijn is gebracht. Daar het echter wel eenig bezwaar meebrengt om tegen den fellen zonneschijn in een ruit aan te wijzen en het bovendien meestal de rand is, die het branden veroorzaakt, zoo is het goed nog de proef op de som te nemen door het verdachte glas met papier geheel te bedekken, waarna de brandlijn natuurlijk verdwenen moet zijn.

Naschrift.

Na voltooiing van het bovenstaande, maak ik kennis met een antwoord van *Abbot* op het aangehaalde opstel van *Wood*, eveneens in *Philos. Magaz.* verschenen (Juli-afl. pag. 32). Hierin wordt o.a. op overeenkomstige wijze, als in mijn stuk, de meening van *Wood* weerlegd, dat de aanwezigheid van een dampkring de temperatuur der aarde niet zou verhoogen. Ook voert zijn beschouwing over het warmteverlies van broeikasten *Abbot* tot gevolgtrekkingen, die met de mijne in overeenstemming zijn.

REFERAT.

Es werden die Versuche R. W. Wood's erwähnt, nach welchen die alte Theorie des Gewächshauses hinfällig geworden ist. Die Frage wurde theoretisch verfolgt und er wurde gezeigt, dasz die Versuche noch einer Erweiterung bedürfen. Neuangestellte Versuche des Verfassers haben nunmehr gezeigt, dasz auch am Abend und in der Nacht die Abkühlung des Inneren des Gewächshauses nicht merklich verzögert wird durch die bekannte Eigenschaft des Glases, die längeren Aetherwellen zu absorbieren.

Die Bemerkung aber des Herrn *Wood*, die Atmosphäre verringere die Abkühlung der Erde nicht, wird besritten.

Des weiteren wird gehandelt über die schädliche Wirkung, welche die Scheiben des Gewächshauses veranlassen können, wenn dieselben einigermassen die Form einer Zylinderlinse besitzen. Messungen haben dargetan, dass in diesem Falle die Strahlungsenergie an gewissen Stellen doppelt so gross sein kann als unter guten Scheiben.

Zuletzt wird die Methode angegeben nach welcher man die Scheiben auf diese Eigenschaft prüfen kann; und wie man im Gewächshause die brennenden Scheiben ausfindig macht.
