

INSTITUUT VOOR TUINBOUWTECHNIEK

Wageningen (Holland)

PROEFSTATION VOOR DE GROENTEN- EN FRUITTEELT
ONDER GLAS

Naaldwijk

LICHTAFHANKELIJKE KLIMAATREGELING VOOR KASSEN

(Light dependent control systems for glasshouses)

door: Ir. D. Bokhorst (ITT Wageningen, gestationeerd op het Proefstation te Naaldwijk) A. van Drenth (ITT Wageningen) en G. P. A. van Holsteyn (Proefstation voor de Groenten- en Fruitteelt onder glas, Naaldwijk).

Verschijnt als Publikatie ITT nr. 74 en als nr. 20 in de Informatiereeks van het Proefstation te Naaldwijk.

Augustus 1972

Prijs f 5, --

Ten geleide

De automatische klimaatregeling heeft enkele jaren geleden haar intrede gedaan in de Nederlandse glastuinbouw. Sindsdien is het aantal apparaten sterk toegenomen en het aantal fabrikaten evenzo. De situatie is hierdoor verwarrend geworden. Voor iemand die nog niet eerder met dergelijke apparatuur gewerkt heeft, is het bijzonder moeilijk zich een verantwoord oordeel te vormen, temeer doordat de diverse apparaten ook nog volgens verschillende principes werken.

Het Instituut voor Tuinbouwtechniek te Wageningen en het Proefstation te Naaldwijk, die zich beide intensief met het onderzoek op dit gebied bezig houden, hebben daarom getracht met de uitgave van deze publikatie op dit gebied meer duidelijkheid te brengen.

Een woord van dank aan de fabrikanten is hier op zijn plaats.

Zonder de informatie die zij in gesprekken of geschrift gegeven hebben, zou deze publikatie niet tot stand zijn gekomen.

Inhoud

	blz.
1. Inleiding	5
2. De plant en zijn omgeving	6
2.1. Algemeen	6
2.2. Fotosynthese en ademhaling	6
2.3. Het vocht in en om de plant	7
2.3.1. Luchtvochtigheid	7
2.3.2. Verdamping	11
2.3.3. "Zweten" van een gewas	13
2.3.4. Najaarsproblemen	14
2.4. De plant en de regeling van zijn milieu	14
3. Regeltechniek	17
3.1. Inleiding	17
3.2. De regelkring	17
3.3. Enkele factoren die de nauwkeurigheid beïnvloeden	18
3.3.1. Warmtetraagheid	18
3.3.2. Tijdconstante	20
3.3.3. Dode tijd	20
3.3.4. Regelbereik	20
3.4. De kas als onderdeel van de regelkring	21
3.5. Samenhang van de klimaatfactoren	23
3.6. Regelpuntinstelling klimaatfactoren	26
3.6.1. De lichtinvloed	26
3.6.2. Ventilatieregeling	29
3.6.3. Verwarmingsregeling	30
3.7. Regelsystemen en toepassing	32
3.7.1. Open-dicht regeling	32
3.7.2. Proportionele regeling (P-regeling)	35
3.7.3. Proportioneel-integrerende regeling (PI-regeling)	41
3.7.4. Cascade-regeling (P+PI-regeling)	46
3.8. De opnemers van de regeling	47
4. Automatische regelapparatuur	49
4.1. Inleiding	49
4.2. Klimaatbeheersingsapparatuur	49
4.2.1. Aanpassing aan het beschikbare licht	50
4.2.2. Regeling van de verwarming	53
4.2.3. Regeling van de luchting	54
4.2.4. Minimum-buistemperatuur	57
4.2.5. Gecombineerde regeling van verwarming en ventilatie	59
4.2.6. Extra voorzieningen	74
5. Samenvatting en Summary	76
Bijlagen: 1. Overzicht van de in de handel zijnde automatische klimaat- beheersingsapparatuur.	80
2. Verband temperatuur, vochtdeficit en relatieve vochtigheid.	

1. Inleiding

Deze publikatie geeft een overzicht van de op de markt zijnde apparatuur, zodat de beoordeling wat gemakkelijker zal kunnen gebeuren.

Een dergelijk overzicht heeft natuurlijk zijn beperkingen. Op vele details kan niet ingegaan worden om de overzichtelijkheid niet prijs te geven. Bovendien is de ontwikkeling van klimaatregelingen nog volop in beweging, zodat deze publikatie reeds bij verschijnen verouderd kan zijn. Is een nieuw apparaat nog niet genoemd of een bepaalde vernieuwing aan een bestaande regeling nog niet vermeld, dan houdt dit niet in dat de schrijvers het niet belangrijk genoeg vonden.

Voor een goed oordeel is het nodig, iets van de teeltkundige achtergronden te kennen. Alvorens de regelingen te beschrijven zal daarom eerst de nodige plantkundige informatie worden gegeven. De plant is het tenslotte, waarvoor we zo gunstig mogelijke groeiomstandigheden trachten te realiseren.

Evenzo leek het nuttig wat eenvoudige regeltechniek te behandelen. Dit is echter een vrij ingewikkelde materie. Er is gestreefd naar een compromis tussen een oppervlakkige behandelingen en een informatie die ook de wat meer geïnteresseerde leek zal kunnen bevredigen.

Arbeidskundige en economische factoren, die bij aanschaf en gebruik van de regelingen ook een belangrijke rol spelen, worden in deze publikatie niet behandeld. We hebben ons beperkt tot de klimaattechnische aspecten van de regelsystemen.

De ontwikkeling van de regelingen in de praktijk is gebaseerd op kassen met buisverwarming. Hete lucht-verwarming is, ook in de algemene gedeelten, buiten beschouwing gelaten.

De lezer zal er begrip voor hebben, dat bij deze gecompliceerde stof niet naar volledigheid gestreefd kon worden. Noodzakelijkerwijs is het behandelde soms sterk vereenvoudigd. We hebben echter getracht de vereenvoudiging niet zo ver door te voeren, dat men ons van misleiding zou kunnen betichten.

2. De plant en zijn omgeving

2.1. Algemeen

Een planteleven heet in het spraakgebruik allerm minst opwindend te zijn. Toch gaat er in een plant nog heel wat om, dat is ieder die met planten omgaat wel duidelijk. De vraag is: wat gebeurt er en kunnen we er wat aan doen. We zullen daarom in dit hoofdstuk proberen aan de weet te komen wat de belangrijkste processen in de plant zijn en hoe ze samenhangen met het milieu.

Bij dat milieu denken we in het kader van deze publikatie vooral aan het kasklimaat, opgevat als de toestand van het bovengrondse milieu.

Dat wil niet zeggen dat het bodemmilieu minder belangrijk zou zijn. Integendeel. Met de wortels neemt de plant water en voedingszouten op. De mate waarin dit kan gebeuren wordt bepaald door de grondtemperatuur, de beschikbare hoeveelheid vocht in de grond en de bemestingstoestand. Ook hebben de wortels lucht nodig voor hun ademhaling.

De grond leent zich echter niet zo gemakkelijk voor regelen als de lucht; ze is namelijk bijzonder traag door haar grote massa. Het bovengrondse milieu leent zich beter voor een beïnvloeding door regeling. In het spraakgebruik bedoelen we met een klimaatregeling dan ook een apparaat dat het bovengrondse milieu tracht te beheersen.

De processen in de plant die direkt met het klimaat samenhangen zijn de fotosynthese, de ademhaling en de verdamping.

Hierdoorheen speelt dan nog het transport in de plant.

2.2. Fotosynthese en ademhaling.

Dat deze twee processen in één adem genoemd worden is niet omdat ze zoveel op elkaar lijken. In zekere zin zijn ze zelfs elkaars tegengestelde.

Zoals we zullen zien is er echter zo'n nauwe samenhang tussen deze twee, dat het toch wel goed is, deze begrippen samen te hanteren.

De fotosynthese wordt ook wel assimilatie, of uitgebreider: koolzuurassimilatie genoemd.

Wat wij onder de verzamelnaam "lucht" verstaan is in werkelijkheid een mengsel van gassen, zoals zuurstof (20%), stikstof (79%), argon (1%) en koolzuurgas. Dit

koolzuurgas wordt meestal aangeduid onder de scheikundige formule CO_2 , wat betekent dat een molekulair koolzuurgas bestaat uit een atoom koolstof (C) en twee atomen zuurstof (O). Het vormt maar een klein gedeelte van de lucht, gemiddeld maar 0,03%.

Bij de fotosynthese wordt nu deze CO_2 door poriën in het blad (huidmondjes), opgenomen door de plant. Als er dan licht bij komt gebeurt er iets wonderlijks: de plant kan onder invloed van het licht, langs weliswaar zeer ingewikkelde wegen, uit koolzuurgas en water een andere stof vormen. Dit is het proces dat we fotosynthese noemen; er komt zuurstof bij vrij. De gevormde stof noemen we een koolhydraat. Koolhydraten zijn stoffen, waarvan de moleculen op een bepaalde wijze zijn opgebouwd uit koolstof-, waterstof- en zuurstofatomen. Voorbeelden zijn zetmeel, suikers en cellulose.

Een plant blijkt nu, wat zijn gewicht aan droge stof betreft, voornamelijk uit koolhydraten te bestaan. De koolzuurassimilatie is dus opbouw van materiaal en als zodanig rechtstreeks van groot belang voor de groei van de plant.

De snelheid waarmee dit plaats vindt is vooral afhankelijk van de lichtintensiteit en het CO_2 -gehalte van de lucht. In het donker is geen assimilatie mogelijk. In een eenvoudige formule zouden we kunnen zetten

koolzuur + water $\xrightarrow{\text{licht}}$ koolhydraten + zuurstof

De ademhaling is geen opbouw van materiaal, maar afbraak van stof, uit een zeker oogpunt bezien. Het is een proces waarbij zuurstof opgenomen wordt en koolzuurgas en water vrij komen.

Het is te vergelijken met verbranding, waarbij ook door opname van zuurstof materiaal afgebroken wordt. Nu weten we allen dat bij normale verbranding warmte (dat is een vorm van energie) vrijkomt. Zo is ook de ademhaling in plant en dier een proces waarbij stoffen afgebroken worden en energie vrijkomt. Deze energie kan dan gebruikt worden om allerlei andere noodzakelijke processen in de plant mogelijk te maken. Bijvoorbeeld opname van voedingsstoffen, bepaalde onderdelen van de fotosynthese-keten enz. Als we over deze verademing als een afbraak spreken moeten we dit dus niet te negatief opvatten.

De ademhaling is niet afhankelijk van het licht, maar wordt wel sterk beïnvloed door de temperatuur. Hoe warmer het is, hoe sneller de verademing gaat. Normaal is overdag de ademhaling veel kleiner dan de assimilatie; des nachts is er alleen maar ademhaling.

Bekijken we nu de plantkundige processen, assimilatie en ademhaling, samen met de klimaatfactoren licht en temperatuur, dan zien we het volgende. Veel licht

betekent een snelle opbouw van nieuwe stof, bij weinig licht gaat het traag. En zo geldt voor de temperatuur: een lage temperatuur geeft weinig verademing, dus ook weinig energie voor andere processen, een hoge temperatuur geeft veel verademing. De volgende combinaties, met hun gevolgen zijn nu mogelijk.

a. Een lage lichtintensiteit bij een lage luchttemperatuur.

Er is weinig opbouw, maar ook weinig afbraak van stoffen. De plant zal niet hard groeien, maar raakt ook niet uit zijn evenwicht.

b. Een lage lichtintensiteit bij een hoge temperatuur.

Weinig opbouw gaat hier gepaard met een snelle verademing.

Dit is een situatie die wel optreedt op donkere, warme dagen, vooral bij zwaar schermen of op sombere dagen in de herfst. Duurt het lang, dan krijgen we een slap en bleek gewas. Deze toestand moet vermeden worden.

c. Een hoge lichtintensiteit bij een lage temperatuur.

Er is wel veel opbouw en weinig afbraak, maar er is toch een disharmonie. Het gewas wordt hard en stug.

d. Een hoge lichtintensiteit bij een hoge temperatuur.

Nu hebben we veel opbouw en veel verademing, die voor de energie voor andere processen zorgt. Het is een gunstige combinatie om een gewas snel en zonder narigheid te laten groeien.

Uit deze beschouwingen blijkt al waarom de klimaatregelingen lichtafhankelijk de temperatuur in de kas moeten kunnen verhogen. Bij meer licht sturen we aan op een hogere kastemperatuur. Dat is nodig om een goede evenwichtige groei te krijgen. Het temperatuurtraject hangt af van het gewas en van het seizoen. Het is duidelijk dat we voor sla of anjer andere temperatuurgrenzen aanhouden dan voor roos of tomaat. Elk gewas stelt zijn eigen eisen.

Zo is ook de temperatuurverhoging onder invloed van het licht vooral belangrijk in de winter, wanneer het licht schaars is en we er toch zoveel mogelijk van willen profiteren. 's Zomers gebruiken we liever helemaal geen temperatuurverhoging; het wordt dan toch al warm genoeg in de kas. Bovendien raken we de warmte die we 's morgens vroeg in de kas zouden stoppen, overdag bij zonnig weer moeilijk weer kwijt, waardoor het te warm wordt of te veel gelucht moet worden.

Het traject waarover de lichtintensiteit geregeld kan worden hangt af van het fabriek van de regeling. Sommige gaan van 0 - 25 000 lux, andere wel tot 100 000 lux. Om de gedachten te bepalen kunnen we stellen dat het in de winter bij zonnenschijn buiten hoogstens 10 - 12 000 lux is. In de zomer kan dit oplopen tot 100 à 120 000 lux. Bij een goede regeling hoort bij een lichtintensiteit van 10 000 lux minstens een temperatuurverhoging van 10 °C mogelijk te zijn.

2.3. Het vocht in en om de plant

2.3.1. Luchtvochtigheid

Alvorens we iets over de verdamping gaan zeggen is het wel goed iets van de luchtvochtigheid te vertellen en enkele begrippen die in het vervolg gebruikt zullen worden te verduidelijken.

De luchtvochtigheid wordt veroorzaakt door water dat zich in dampvormige toestand in de lucht bevindt. We spreken dan meestal van waterdamp.

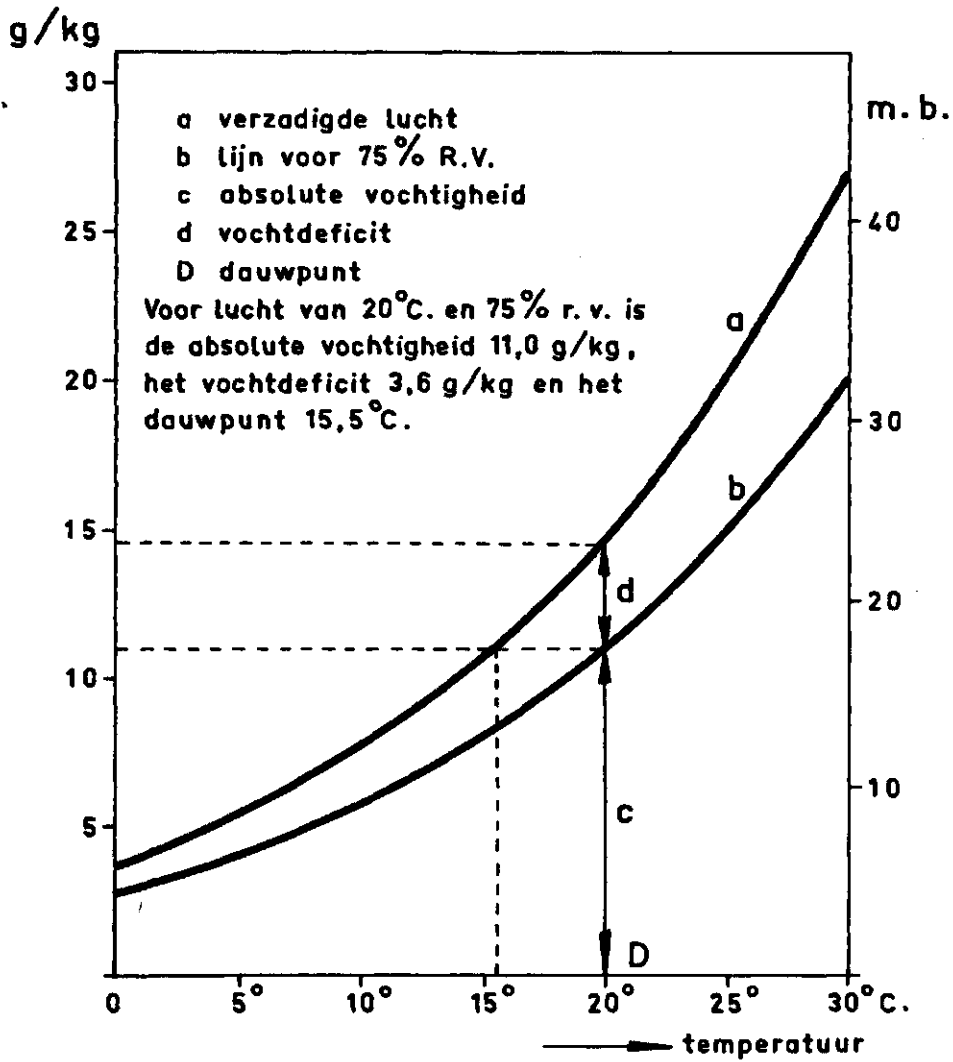
De hoeveelheid waterdamp in de lucht wisselt; het hangt ook nog van de temperatuur af hoeveel waterdamp de lucht hoogstens kan bevatten. Bevat de lucht deze maximale hoeveelheid, dan zeggen we dat de lucht verzadigd is.

De hoeveelheid waterdamp wordt uitgedrukt in grammen waterdamp per m³ lucht of per kg lucht. Hoewel men zich gemakkelijker een m³ lucht voor kan stellen dan een kg lucht, is het in verband met wat verderop volgt beter om te spreken van gram waterdamp per kg lucht. We kunnen er bij onthouden dat een m³ lucht ongeveer 1,2 kg weegt. De uitdrukking "gram waterdamp per kg lucht" zullen we kortheidshalve schrijven als g/kg.

Verzadigde lucht bevat: bij 10 °C 7,6 g/kg
 bij 20 °C 14,6 g/kg
 bij 30 °C 27,2 g/kg

Bevat nu de lucht bij 20 °C maar 11 g waterdamp/kg lucht, dan is dat 3/4 van de mogelijke hoeveelheid bij die temperatuur. Dit geven we aan door te zeggen dat de relatieve vochtigheid 75% is. De hoeveelheid van, in dit geval, 11 g/kg noemen we (natuurkundig niet geheel juist) de absolute vochtigheid. Verzadigde lucht heeft dus een relatieve vochtigheid (afgekort: r.v.) van 100%.

Is de lucht niet voor 100% verzadigd, dan kan er dus altijd nog wat bij en voor wat er nog bij zou kunnen hebben we ook nog een naam. We noemen dit het vochtdeficit. In ons voorbeeld (20 °C, 75% r.v.) is het vochtdeficit 14,6 g/kg min 11,0 g/kg, dat is 3,6 g/kg. Het vochtdeficit wordt bij klimaatregelingen vaak aangeduid als



Afb. 1 Luchtvochtigheid.

Δx (Spreek uit delta-iks). De griekse letter Δ wordt vaak gebruikt om een verschil aan te geven. In bijlage 2 is in een grafiek het verband tussen temperatuur rel. vochtigheid en vochtdeficit aangegeven.

We zagen dat de lucht minder waterdamp kan bevatten al naar ze kouder is. Koelen we lucht met een bepaalde hoeveelheid waterdamp af, dan komen we op een zeker moment bij een temperatuur, waarvoor die hoeveelheid waterdamp het maximum is; de lucht is dan verzadigd. Bij verdere afkoeling zou er een teveel aan waterdamp in komen; de overtollige waterdamp condenseert dan als druppeltjes water. We zien dit als mist of dauw. De temperatuur waarbij dit gebeurt heet het dauwpunt. Het dauwpunt is zo ook een maat voor de hoeveelheid vocht in de lucht.

In de grafiek in afb.1 staat een en ander nog verduidelijkt.

Een heel andere manier van uitdrukking van de luchtvochtigheid hebben we in het begrip dampdruk of dampspanning. De barometerstand geeft ons de totale luchtdruk, die veroorzaakt wordt door het gewicht van de luchtlaag op het aardoppervlak. We drukken dit uit in millibar (mb) of in millimeter kwikdruk (mm kwik). De gemiddelde luchtdruk is 760 mm kwik of 1013 mb.

Een millibar komt overeen met $\frac{3}{4}$ mm kwik.

Zo kunnen we ook het deel dat de waterdamp in de lucht van de totale luchtdruk uitmaakt, uitdrukken in mm kwik of mb en dit is dan de dampdruk of dampspanning.

Ook hier kunnen we weer spreken van vochtdeficit, absolute vochtigheid enz. volgens dezelfde regels. We krijgen alleen andere waarden.

In ons voorbeeld van lucht van 20°C en 75% r.v. krijgen we bijvoorbeeld een absolute vochtigheid van 17,6 mb.

Aan de rechterkant van de grafiek zijn de getalwaarden voor de dampdruk in mb aangegeven.

2.3.2. Verdamping

Keren we van de theoretische beschouwing terug naar de plant. De verdamping van de plant, ook wel transpiratie genoemd, ontstaat doordat de wortels water uit de grond opnemen, dit water wordt door de stengel en de bladeren getransporteerd en door de huidmondjes als waterdamp aan de lucht afgegeven. Aanvoer door de wortels en afvoer door de bladeren moeten met elkaar in evenwicht zijn. Is de aanvoer groter dan de afvoer, dan krijgen we een waterig gewas (glazigheid bij sla); is de afvoer te groot dan wordt teveel water uit de plantecellen getrokken. Deze verliezen dan hun spanning en verslappen. Hierdoor gaat de plant zelf slap hangen. Met de waterstroom in de plant worden ook voedingszouten uit de grond meegevoerd, het

water heeft mede een transportfunctie.

Een belangrijke grootheid die door de verdamping beheerst wordt is de planttemperatuur. Dat mag op het eerste gezicht wat vreemd lijken, maar het is zo dat voor het overgaan van water in waterdamp (en verdamping is niets anders) veel warmte nodig is.

Een veel gebruikte maat voor warmtehoeveelheid is de kilocalorie (kcal). Een kilocalorie is de hoeveelheid warmte die nodig is om een liter water 1 °C in temperatuur te verhogen. Men kan ook zeggen: het is de hoeveelheid warmte die een liter water afstaat als ze een graad afkoelt. Om een liter water te verdampen is veel méér warmte nodig namelijk bijna 600 kilocalorieën.

Schijnt de zon in de kas op een blad van 1 dm², dan kan dat blad 's zomers wel 5 kcal per uur ontvangen. De straling van de zon is ook een vorm van energie die in kcal uitgedrukt kan worden. Nu bestaat een blad overwegend uit water; is het gemiddeld 2 mm dik, dan betekent dat ongeveer 1/50 l water. Zou het blad de zonnwarmte niet kunnen afstaan, dan zou het onvoorstelbaar heet worden. Dat gebeurt natuurlijk nooit. De ontvangen warmte wordt deels uitgestraald, deels aan de lucht afgegeven en gedeeltelijk voor de verdamping van het water uit de plant gebruikt. Gebleken is, dat bij de verdamping van de plant ongeveer 70% van de ingestraalde zonne-energie wordt verbruikt. Het is een zeer belangrijk middel van de plant om te hoge temperaturen te voorkomen.

Het is voor de plant belangrijk dat de verdamping altijd binnen zekere grenzen blijft. 's Nachts verdampt de plant vrijwel niets. Overdag moet er altijd wat verdamping plaats vinden, maar deze mag ook niet weer te groot worden.

De plant kan de verdamping enigszins regelen door de huidmondjes te openen of te sluiten. Normaal gaan de huidmondjes 's morgens vroeg, als het licht wordt, open. Als de plant te veel water dreigt kwijt te raken sluit ze de huidmondjes weer. Dit geeft een rem op de waterstroom in de plant, maar ook op de hoeveelheid CO₂ die uit de lucht wordt opgenomen.

De klimaatregelapparatuur moet dus zo ingesteld kunnen worden, dat we de verdamping kunnen remmen of stimuleren, al naar de plant daar behoefte aan heeft. (Zie hiervoor ook 3.5.)

Hoeveel de plant verdampt hangt o.a. af van de straling. We zagen al, dat tot 70% van de zonnestraling voor de verdamping gebruikt wordt. Bij weinig straling wordt de verdamping vooral bepaald door de hoeveelheid vocht die de lucht nog op kan nemen. Hoe droger de lucht, hoe harder deze lucht aan het water in de plant "trekt". Een maat hiervoor is het vochtdeficit van de lucht. Hoe groter het vochtdeficit is, hoe meer water de plant kan verdampen. Dit is ook de achtergrond van

de zogenaamde regelingen op vochtdeficit. Deze gaan bij een te klein vochtdeficit wat meer luchten, dat betekent meer waterdampafvoer. Bij een te groot vochtdeficit worden de ramen gesloten, dus de waterdampafvoer beperkt. Andere regelingen bereiken hetzelfde op een andere manier, bijv. door de raamstand op een of andere wijze aan de buistemperatuur te koppelen.

2.3.3. "Zweten" van een gewas

Een punt dat de aandacht verdient is het nat worden van het gewas in de morgen. Dit kan vooral bij lichtafhankelijke regelingen optreden als we ze verkeerd gebruiken. Het gewas zal nat worden als het onder het dauwpunt van de lucht komt. Bv. als het 's morgens snel licht wordt. De regeling zal er dan voor zorgen dat de kasstemperatuur ook snel omhoog loopt. De ramen blijven dan in het algemeen nog gesloten. De planten openen de huidmondjes. Ze hebben vroeg in de morgen nog voldoende water en zullen dus waterdamp in de lucht brengen. Omdat de kaslucht snel in temperatuur stijgt kan ze ook steeds meer waterdamp opnemen. Dat geeft dus geen beperking.

Nu heeft het gewas een veel grotere massa dan de lucht, vooral de wat vlezige en zwaardere delen ervan, zoals de vruchten. Deze zullen niet zo snel in temperatuur stijgen. Is de kaslucht nu op 23 °C gekomen bij een relatieve vochtigheid van 85% (we nemen maar een voorbeeld) dan bevat ze 15 g waterdamp per kg lucht. Lucht met deze 15 g/kg is verzadigd als ze een temperatuur van 20,5 °C heeft; dat is het eerder genoemde dauwpunt. Zijn er nu delen van de plant onder die temperatuur, b.v. nog maar op 19 °C dan zal het dunne luchtlaagje in de onmiddellijke omgeving ervan ook ongeveer deze temperatuur hebben. Deze lucht kan echter geen 15 g/kg bevatten en zal het overvloedige water als druppeltjes op de plant of de vrucht afzetten. We kunnen namelijk aannemen dat de absolute vochtigheid, anders gezegd de dampdruk van de waterdamp, overal in een ruimte gelijk is. De temperatuur kan wel verschillend zijn. Boven in de kas is die meest het hoogst en daar heerst daarom dan ook de laagste relatieve vochtigheid.

Het nat worden van het gewas is nu te voorkomen door er voor te zorgen dat de kas en de planten al wat "op temperatuur" zijn, vóór de planten onder invloed van het licht veel gaan verdampen. Dan zullen niet zo gemakkelijk plantedelen onder het dauwpunt van de lucht komen.

Dit is vrij eenvoudig te realiseren met een schakelklok op de regeling. De regeling hoeft dan niet te wachten op de lichttoename buiten en kan door de schakelklok al eerder "maatregelen nemen".

2.3.4. Najaarsproblemen

Op donkere dagen in najaar en winter loopt de verdamping ook niet op rolletjes. Er is weinig straling die voor de verdampingsenergie kan zorgen en we moeten het voor de verdamping vooral hebben van het vochtdeficit. Is het dan ook nog vochtig, dan zal het vochtdeficit erg klein zijn en de verdamping van het gewas staat bijna stil. Dit wordt versterkt als er ook nog weinig wind is, waardoor zelfs bij open ramen weinig vochtafvoer uit de kas is.

Een gewas dat dan al snel verschijnselen van een gestoorde verdamping laat zien is sla. Ze wordt glazig. Al zien we het bij andere planten dan niet zo duidelijk, we kunnen wel aannemen, dat de situatie voor hun welzijn ook allerminst bevorderlijk is.

Een middel wat dan wel toegepast wordt is de "temperatuurstoot". Dit is een snelle en korte temperatuurverhoging van de verwarmingsbuizen. Bijv. een uur naar 70 °C. Door deze temperatuurstoot worden kas en planten wat warmer. Het vochtdeficit neemt toe en de planten kunnen weer wat vocht kwijt. Als het alleen om de verdamping gaat, zouden we de buizen wel de gehele dag wat hoger in temperatuur kunnen houden. De kas wordt dan wat warmer en er zal wat meer ventilatie optreden. Dit kan echter om andere redenen niet. Bij dat donkere weer willen we nu juist niet een te hoge temperatuur in de kas hebben om de kwaliteit van het gewas niet te verslechteren. Denkt u maar aan wat onder het hoofdje fotosynthese en ademhaling gezegd is.

Door de korte temperatuurverhoging bereiken we een korte stimulatie van de verdamping zonder dat, over de hele dag gerekend, het gehele temperatuurniveau te hoog geworden is.

Om te voorkomen dat, mocht de zon gaan schijnen, tegelijk hete buizen en zonnestraling op het gewas inwerken, geven we deze stoot het liefst voor zonsopgang. Dit kan ook weer door een schakelklok gebeuren.

2.4. De plant en de regeling van zijn milieu

Een plant heeft een groot aanpassingsvermogen. Daarom kunnen we ook planten telen die hier niet thuis horen, maar in een beschermd milieu als een kas het nog goed doen. Dat neemt niet weg dat ze in een kas aan andere omstandigheden bloot staan dan in de vrije natuur.

Doordat we de planten, in ons eigen belang, een redelijke bescherming geven zijn ze niet zo afgehard als in de natuur.

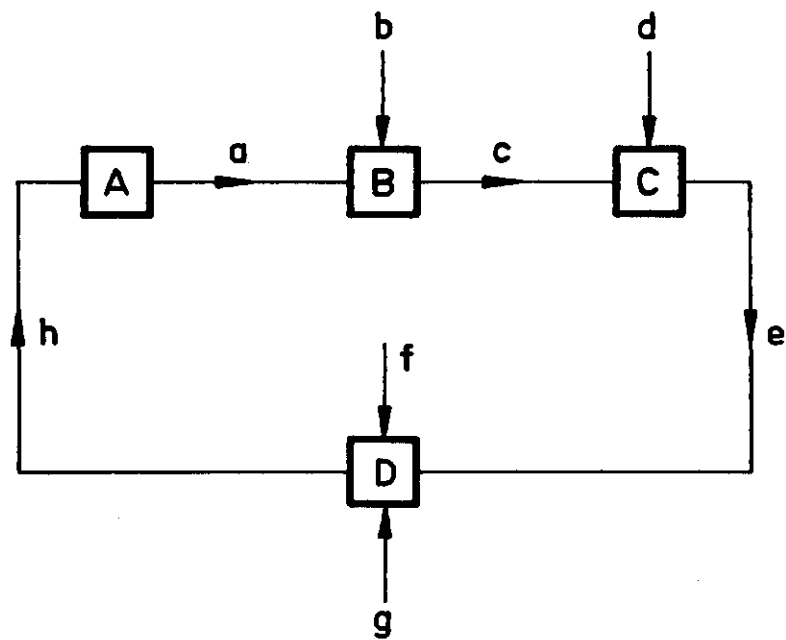
Een van de gevolgen is, dat hoewel ze bij verschillende niveau's van temperatuur en vochtigheid geteeld kunnen worden, de planten wel gevoelig zijn voor schokken. Plotselinge overgangen moeten zoveel mogelijk vermeden of afgevlakt worden. Dit nu is met een automatische regeling veel beter te realiseren dan met de hand. De voelers van de regeling reageren op elke verandering die optreedt snel en nauwkeurig. Het gevolg is dat veel sneller een verandering van toestand in de kas gecorrigeerd kan worden, waardoor de corrigerende maatregelen ook kleiner kunnen zijn.

Is het nodig door een plotselinge stijging of daling van de lichtintensiteit op een ander niveau te gaan regelen, dan kan de regeling er ook voor zorgen dat dit met enige vertraging en dus geleidelijk gebeurt.

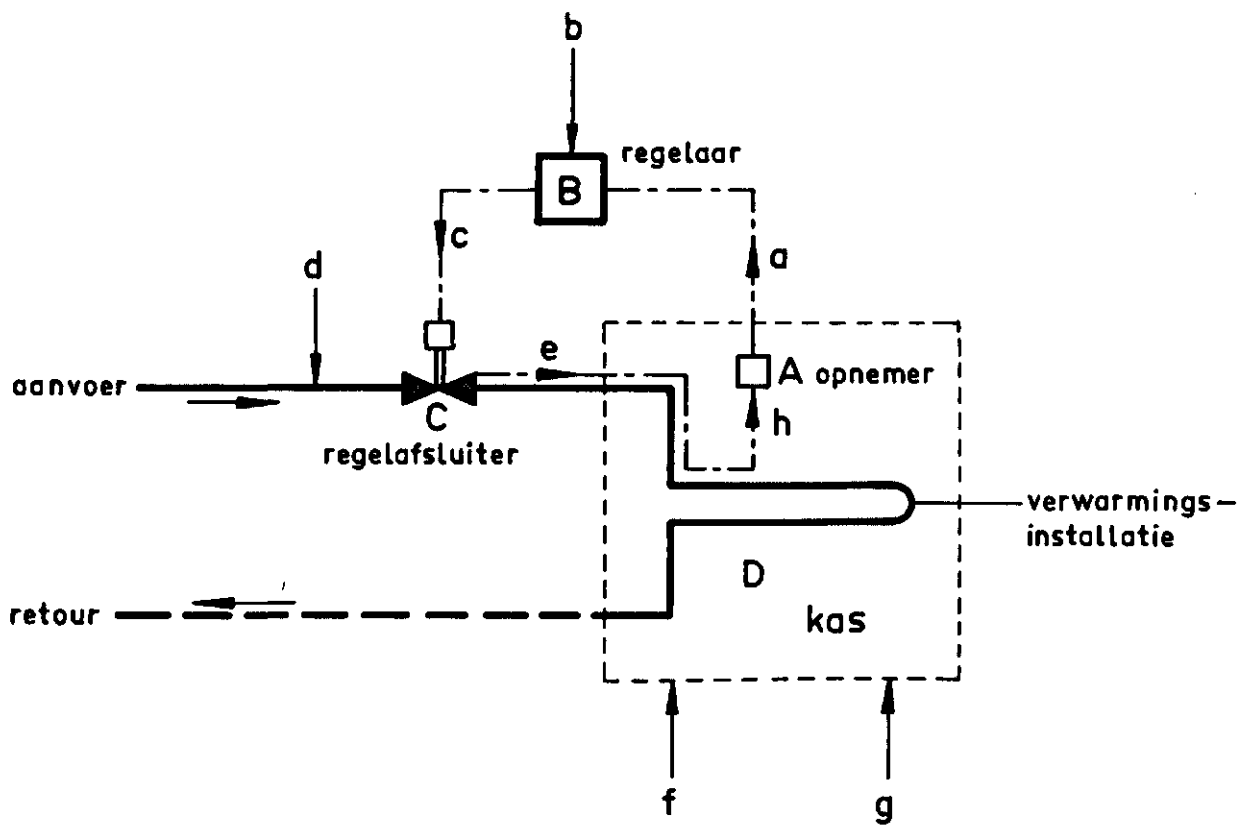
Van de plant uit gezien zijn de voordelen van een automatische, lichtafhankelijke klimaatregeling:

1. De apparatuur zorgt er voor dat de omstandigheden in de kas zoveel mogelijk overeenkomen met die, welke we in een bepaalde situatie wensen.
2. Plotselinge overgangen in milieu-omstandigheden worden vermeden of althans afgevlakt.
3. De apparatuur kan ook gebruikt worden om hulpmiddelen te commanderen (CO₂, gewasbevochtiging e. d.) in overeenstemming met de behoeften op een bepaald moment. Dit is een veelbelovende ontwikkeling, die nu echter nog in de kinderschoenen staat.

We moeten ons wel realiseren dat we voor een groot deel afhankelijk blijven van het weer buiten en we veelal slechts in een beperkte mate kunnen regelen. Er doen zich vaak situaties voor dat we met luchtramen en verwarming niet verder kunnen corrigeren en dat het klimaat in de kas onvoldoende beheerst kan worden.



Afb.2 Regelkring voor regeling van de luchttemperatuur.



Afb.3 Voorbeeld van de omschreven regelkring op een praktijktoepassing.

3. Regeltechniek

3.1. Inleiding

De belangrijkste grootheden, die een rol vervullen bij de groei van het gewas zijn: luchttemperatuur, luchtvochtigheid, licht, koolzuur en luchtbeweging.

Indien over klimaatbeheersing in een kas wordt gesproken, is het de bedoeling deze grootheden in een bepaald onderling verband te regelen.

Een kas is door zijn warmtetechnische eigenschappen en grote afmetingen geen gemakkelijk bouwwerk om er een uitgebalanceerd klimaat in te kunnen handhaven. De beschikbare middelen om afwijkingen van het gewenste klimaat snel en doelmatig te corrigeren, zijn beperkt en veelal eenvoudig van constructie.

De genoemde klimaatfactoren zijn continu aan veranderingen onderhevig, waarbij niet alleen de grootte, maar ook de snelheid van uiteenlopende aard kunnen zijn. Wisselende weersomstandigheden en noodzakelijk uit te voeren cultuurmaatregelen in het gewas, zijn hierop van grote invloed.

Bij een temperatuurregeling zijn het niet alleen de eigenschappen en de kwaliteit van de regelaar die het resultaat en de nauwkeurigheid bepalen. Warmteproductie, warmtetransport en samenhang van de verwarmingsinstallatie met de kas, zijn eveneens factoren waarvan de functie in een regeling zeker niet minder belangrijk zijn. Bij een klimaatregeling zal het vaak noodzakelijk zijn om de toegepaste regelsystemen aan te vullen met besturingssystemen.

Het doel van dit hoofdstuk is om enige regelsystemen toe te lichten met de daaraan verbonden voor- en nadelen. Vervolgens zal ook aandacht worden besteed aan de onderlinge beïnvloeding van de klimaatfactoren, en enige kenmerkende eigenschappen van enkele regelsystemen in samenhang met de kas.

3.2. De regelkring

Teneinde een beter inzicht te krijgen op welke wijze een regeling is samengesteld, kan dit aan de hand van een z.g. regelkring nader worden verduidelijkt.

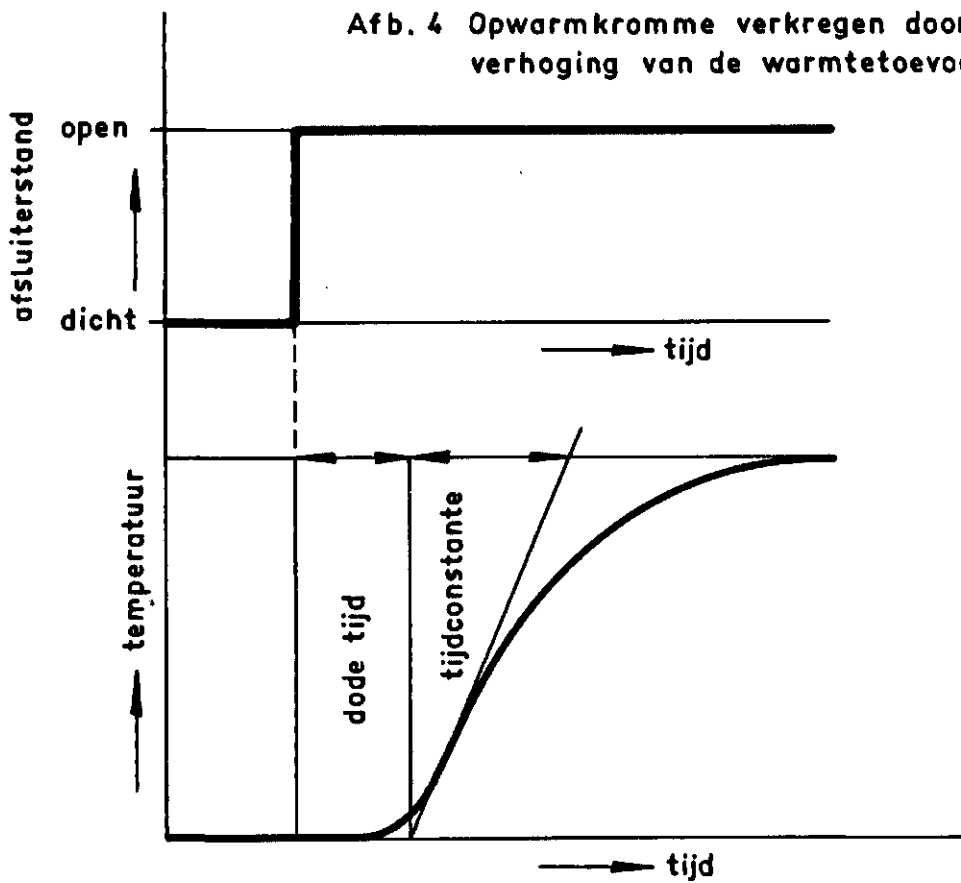
Elke regeling omvat een aantal functies, die elkaar in een kringloop opvolgen. De opnemer controleert hierbij continu de uitwerking van zijn eigen commando's.

Als voorbeeld is in afb. 2 een regelkring aangegeven voor de luchttemperatuur.

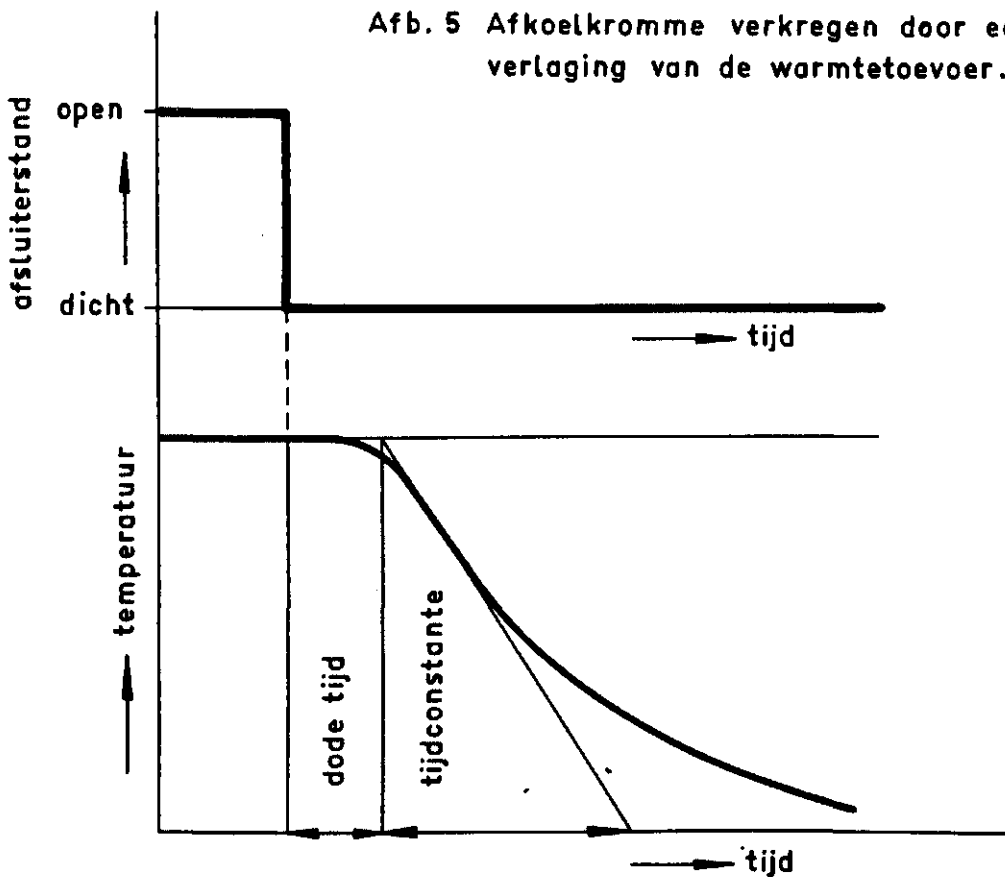
Volledigheidshalve is in afb. 3 een praktische toepassing van een regeling aangegeven, waarin de functies van de regelkring naar voren zijn gebracht.

De temperatuuropnemer A meet de aanwezige luchttemperatuur en het resultaat

Afb. 4 Opwarmkromme verkregen door een sprongsgewijze verhoging van de warmtetoevoer.



Afb. 5 Afkoelkromme verkregen door een sprongsgewijze verlaging van de warmtetoevoer.



wordt via een meetsignaal a, door regelaar B vergeleken met de ingestelde waarde b.

Bij een afwijking van de gewenste waarde wordt door een correctiesignaal c naar de servomotor, de afsluiter C van positie veranderd. Als gevolg hiervan ontstaat er een wijziging in de watertemperatuur, waardoor de warmtetoevoer in de kas, afhankelijk van de wijziging, wordt verhoogd of verlaagd. Hierdoor ontstaat een verandering in de luchttemperatuur D.

De gecorrigeerde luchttemperatuur h wordt door de temperatuuropmeter A weer gemeten, waarna de kringloop is voltooid. Meten en corrigeren blijven continu doorgaan.

De nauwkeurigheid van een regeling is mede afhankelijk van de snelheid, waarmee de veranderingen in de kas tot stand komen. Ingrijpende wijzigingen kunnen ontstaan door veranderingen in de buitencondities en door noodzakelijk te nemen cultuurmaatregelen in de kas, respectievelijk aangegeven door f en g. Vervolgens kunnen ook veranderingen in de luchttemperatuur ontstaan door de vaak onvermijdelijke afwijkingen in de aanvoerwatertemperatuur, aangegeven door d.

3.3. Enkele factoren die de nauwkeurigheid beïnvloeden

3.3.1. Warmtetraagheid

Alle temperatuurgevoelige onderdelen van de regelkring zullen bij een sprongsgewijze verhoging of verlaging van de warmtetoevoer, hierop met een bepaalde traagheid reageren. Het verloop van de luchttemperatuur bij een verhoging van de warmtetoevoer kan in een opwarmkromme worden vastgelegd (afb. 4).

Hiermee wordt de tijd aangegeven die nodig is om de gewenste luchttemperatuurverhoging in de kas te volbrengen.

Doordat de warmte-overdracht van de pijpen op de omringende lucht evenredig is aan het temperatuurverschil tussen beide, verloopt de stijging in het begin sneller dan bij het bereiken van de eindwaarde.

Warmtetraagheid treedt niet alleen op bij lucht; ook in water, metaalonderdelen van opnemers e.d., ontstaat een dergelijk temperatuurverloop bij het opwarmen. Bij een sprongsgewijze verlaging van de warmtetoevoer zal de luchttemperatuur in de kas hierop eveneens vertraagd reageren. Het dalende temperatuurverloop kan in een afkoelkromme worden vastgelegd (afb. 5).

Bij het begin verloopt de daling sneller dan bij het bereiken van de eindwaarde.

3.3.2. Tijdconstante

Teneinde de warmtetraagheid van lucht, water of metaalonderdelen e.d. in een maat te kunnen vastleggen wordt hiervoor het begrip "tijdconstante" gebruikt. De tijdconstante kan worden gedefinieerd als de benodigde tijd om 63,2% van de totale temperatuursprong te overbruggen. De tijdconstante kan ook grafisch worden bepaald door een raaklijn te trekken vanaf het voetpunt van de kromme lijn naar de eindwaarde lijn zoals aangegeven in afb. 4 en 5.

Bij regeling van de luchttemperatuur zal opwarmen en afkoelen gelijktijdig optreden. De tijd die nodig is om veranderingen te corrigeren, blijft bij dit gezamenlijk optreden steeds mede afhankelijk van de beide tijdconstanten.

De grootte van de tijdconstante voor een kas is in sterke mate afhankelijk van een laag of hoog gewas. Aan de tijdconstante-waarde voor een kas kan niets worden gewijzigd.

3.3.3. Dode tijd

Dode tijd is ook een vorm van traagheid en kan worden gedefinieerd als het verschil in tijd dat de temperatuuropnemer een afwijking heeft gesignaleerd en de correctie hiervan een aanvang heeft genomen.

Dode tijd wordt voor een groot deel bepaald door de tijd die nodig is om de gevraagde warmte te transporteren. Ook kan na afsluiting van de warmtetoevoer nog een grote hoeveelheid warmte "op weg zijn" naar de kas. De invloed van de dode tijd heeft tot gevolg dat bij het openen of sluiten van de regelafsluiter pas enige tijd daarna een verandering in de luchttemperatuur optreedt. Door de ontstane vertragingen zal het verwarmen en afkoelen nog even doorgaan, ofschoon een correctie van de regelafsluiter heeft plaats gevonden.

In de opwarm- en afkoelkromme komt de dode tijd tot uitdrukking door een afronding aan de voet van de kromme lijn. Vanaf het moment dat de afsluiterstand is gewijzigd tot aan het begin van de afronding is er zelfs nog enige tijd, dat er helemaal geen verandering optreedt. Het zal duidelijk zijn dat de ontstane temperatuurschommelingen t.o.v. de gewenste waarde door de dode tijd aanmerkelijk kunnen worden vergroot.

3.3.4. Regelbereik

De steilheid van de opwarmkromme wordt bepaald door het regelbereik van de verwarmingsinstallatie.

Met het regelbereik wordt bedoeld het verschil in temperatuur dat maximaal te

bereiken is tussen buiten en binnen de kas. Bedraagt de buitentemperatuur b.v. -10°C en de maximaal te bereiken temperatuur in de kas 20°C , dan is het regelbereik 30°C . Met het regelbereik wordt de warmtecapaciteit van de verwarmingsinstallatie bepaald.

De grootte van het regelbereik is mede bepalend voor de tijd die nodig is om een afwijking te corrigeren.

Een groot regelbereik betekent dat bij hogere buitentemperaturen en langzaam optredende veranderingen, de verwarmingsinstallatie feitelijk een te grote warmtecapaciteit heeft.

Bij een snelle en grote afwijking van de luchttemperatuur is het ook van belang de mogelijkheid voorhanden te hebben om in korte tijd de ontstane afwijking te corrigeren. Daar in een kas dit soort afwijkingen regelmatig optreden is het hierbij wel wenselijk over een groot regelbereik te kunnen beschikken.

Het toe te passen regelsysteem zal dus duidelijk onderscheid moeten maken, of de afwijking zich snel of langzaam voltrekt.

Er zijn echter regelsystemen waarbij het noodzakelijk is om het regelbereik te verkleinen, maar hierop zal nog nader worden teruggekomen.

Het effect bij veranderingen van het regelbereik op de opwarmkromme is volledigheidshalve nader aangegeven in afb. 6.

3.4. De kas als onderdeel van de regelkring

De kas omvat de ruimte waarin de te regelen grootheden, zoals luchttemperatuur en vochtigheid zoveel mogelijk op het gewenste niveau gehouden moeten worden.

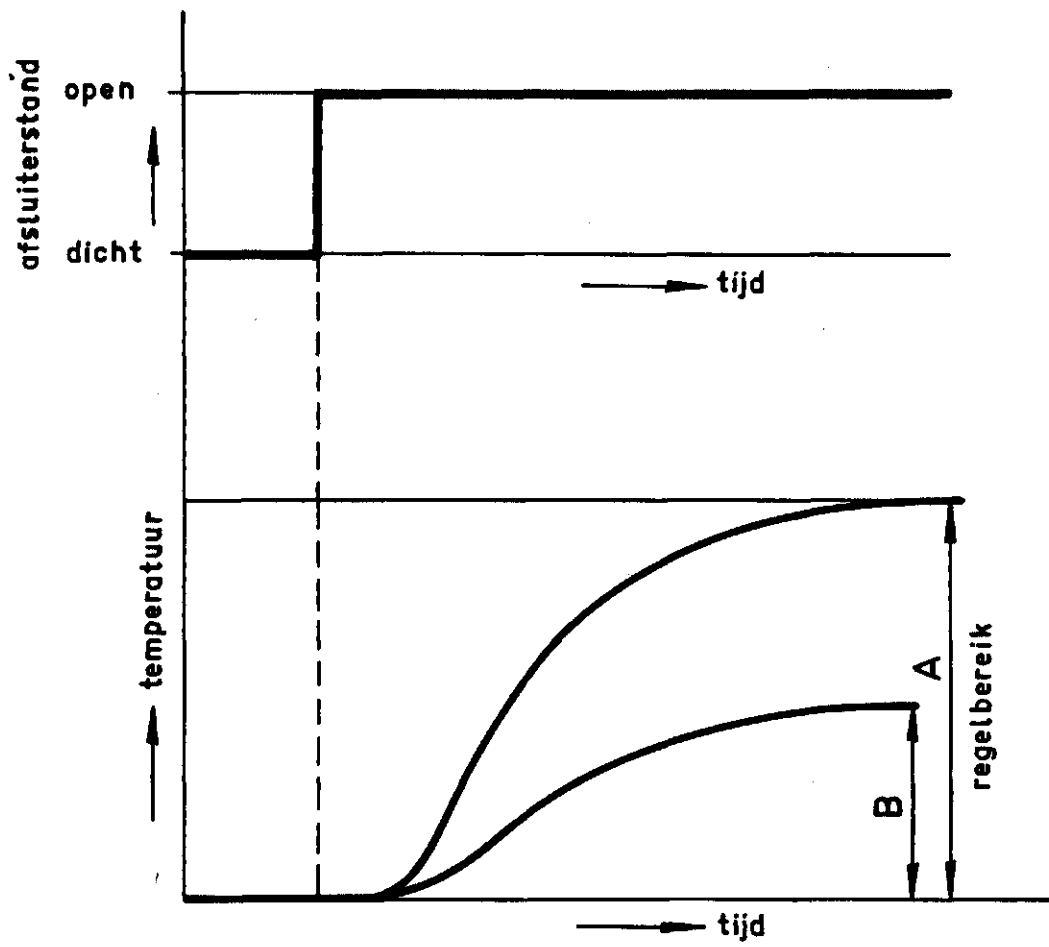
De grootte en snelheid waarmee b.v. de luchttemperatuur in de kas kan worden gewijzigd, zijn factoren voor de keuze van het regelsysteem.

De tijd die nodig is om een luchttemperatuurverlaging te corrigeren, is niet alleen afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid warmte.

De reeds besproken begrippen, "dode tijd" en "tijdconstante" kunnen bij een ongunstige verhouding de opeenvolgende functies in de regelkring ernstig verstoren. Bij het onderwerp regelsystemen zal de invloed hiervan nog nader worden toegelicht.

De benodigde tijd om met behulp van de verwarmingsinstallatie een afwijking te corrigeren kan beduidend groter zijn dan de tijd waarin de afwijking tot stand is gekomen. Ook het omgekeerde kan voorkomen en de regeling dient zonder langdurig overregelen de warmtetoevoer hierop aan te passen. Bij het realiseren van een snelle regeling zullen de ketelcapaciteit en de snelheid waarmee het warme water wordt aangevoerd hierop moeten worden afgestemd.

Een veel gevolgde montage-methode is, om regelafsluiters en circulatiepompen in



Afb. 6 Opwarmkromme bij verschillend regelbereik.

het ketelhuis aan te brengen. Het geregelde aanvoerwater wordt via lange afstandsleidingen naar de kas getransporteerd.

De correctie op een door de thermostaat gesignaleerde afwijking in de kas zal door de benodigde transporttijd dan te laat tot stand komen.

Dit is een duidelijk voorbeeld van een te grote "dode tijd" en deze kan worden verkleind door toepassing van een ringleidingsysteem (afb. 15). Te geringe circulatiesnelheid van het warme water door het pijpennet, langzaam lopende servomotoren van regelafsluiters en te geringe brandercapaciteit voor de warmteproductie, kunnen te grote vertragingen veroorzaken. In dit verband dient speciaal genoemd te worden de vertraging die kan optreden bij een te lange afstand tussen het pijpennet en het meetelement van de temperatuuropmeter. Deze vertraging moet gezien worden als de benodigde transporttijd in warmte-overdracht door de lucht. De aanwezigheid van luchtbeweging is op deze transporttijd van grote invloed.

Ook het meetelement zelf heeft een bepaalde warmtetraagheid. Toename van omvang en gewicht van het meetelement doet de warmtetraagheid toenemen; de gevoeligheid wordt daardoor ongunstig beïnvloed.

Door de geringe warmtecapaciteit van lucht en de veelal kleine temperatuurverschillen tussen meetelement en omringende lucht, zal de warmte-overdracht traag verlopen. Hierin kan een duidelijke verbetering worden verkregen door een geforceerde luchtbeweging langs het meetelement te onderhouden.

3.5. Samenhang van de klimaatfactoren in de kas

Zoals reeds eerder is opgemerkt wordt het gewenste kasklimaat in sterke mate beïnvloed door de buitencondities. Het kan zelfs voorkomen dat de beschikbare middelen ontoereikend zijn om de klimaatveranderingen te corrigeren. Dit kan voorkomen bij hoge of lage luchtvochtigheid van de buitenlucht, grote zoninstraling, gelijktijdig optreden van sterke wind met vorst e. d.

Het gewas zal een zodanige invloed op klimaatveranderingen uitoefenen dat, hoewel vertraagd, de veranderingen worden tegengewerkt. Bij toename van de zoninstraling zal de luchttemperatuur in de kas stijgen, maar door de hierbij toenemende verdamping van het gewas wordt een groter koeleffect verkregen.

Bij een te hoge luchtvochtigheid zal de verdamping afnemen en bij een te lage luchtvochtigheid toenemen. Hoewel het niet de bedoeling is dat het gewas de klimaatfactoren in stand houdt is dit zelfregelend effect toch geen onbelangrijke bijkomstigheid. Bij het handhaven van de gewenste luchttemperatuur wordt bij een bepaalde warmtevraag de benodigde warmte door het pijpennet in de kasruimte gebracht. Afhankelijk van het te telen gewas zullen de pijpen onder of boven dan wel door een combinatie

van beide dienen te worden aangebracht. Een mogelijkheid bij een aparte onder en bovenverwarming is, dat beide afzonderlijk kunnen worden geregeld, waaraan bepaalde voordelen zijn verbonden.

Een laag gemonteerd pijpennet vervult naast de functie van ruimteverwarming ook die van "luchtpomp". Lucht is het transportmiddel voor de aan- en afvoer van warmte, koolzuur, zuurstof, waterdamp e.d. Naarmate de luchtbeweging om en door het gewas groter is wordt ook de transportcapaciteit verhoogd. Warme lucht stijgt op; koudere lucht daalt om de plaats van de opstijgende lucht in te nemen. Dit proces gaat continu door, waarmee een toename van de luchtbeweging wordt verkregen. Het doel van deze verhoogde luchtbeweging is om meer waterdamp uit de omgeving van het gewas af te voeren.

Lucht kan in warmere toestand meer vocht bevatten dan in koudere toestand, waardoor het vermogen om waterdamp op te nemen bij stijgende temperatuur wordt vergroot. Als bekend wordt verondersteld dat er een bepaalde relatie aanwezig is tussen de luchtvochtigheid en verdamping van het gewas. Verlaging van de luchtvochtigheid betekent dus een toename en verhoging van de luchtvochtigheid een afname van de verdamping. Er kunnen zich omstandigheden voordoen dat de verdamping dient te worden gestimuleerd.

Bij een geringe warmtevraag die ontstaat bij een hoge buitentemperatuur en weinig licht, zal doorgaans met een lage pijptemperatuur kunnen worden volstaan.

Door onafhankelijk van de luchttemperatuur de pijptemperatuur te verhogen wordt een toename van de luchtbeweging en een verhoging van de luchttemperatuur verkregen. Hierdoor wordt de verdamping dienovereenkomstig gestimuleerd. Het zal onder deze omstandigheden noodzakelijk zijn de vochtafvoer uit de kas te versnellen door vergroting van de ventilatie. Vergroting van de ventilatie betekent bij een lagere buitentemperatuur altijd verlaging van de luchttemperatuur in de kas, wat door een grotere warmtetoevoer moet worden gecompenseerd. Hierbij dient te worden gestreefd naar een bepaald evenwicht tussen de warmtetoevoer en de warmte-afvoer. Dit kan worden gevonden in het begrenzen van de watertemperatuur in het pijpennet.

Indien de luchttemperatuur bij handhaving van een bepaalde pijptemperatuur toch nog de gewenste waarde zou onderschrijden, moet de ventilatie noodzakelijkerwijs worden verminderd. Bij het overschrijden van een maximum toelaatbare luchttemperatuur, als gevolg van sterke zoninstaling dient de ventilatie te worden vergroot. Toename van ventilatie betekent hierbij vrijwel altijd een verlaging van de luchtvochtigheid. Hoge luchttemperatuur en een lage luchtvochtigheid kunnen het gewas tot een te grote verdamping stimuleren. Hierbij kan zelfs de waterhuishouding van de plant worden verstoord.

Schermen, dakbesproeiing of kortstondig broezen zijn maatregelen die dit gevaar kunnen verminderen.

Bij bloemisterijgewassen kan eveneens gewasbevochtiging worden toegepast. Het kan voorkomen dat zelfs bij hoge buitentemperatuur nog moet worden gestookt en gelucht. Bij sterke zoninstraling treden grote temperatuurverschillen op tussen boven en onder het gewas. Mede hierdoor kan boven het gewas een te lage en onder het gewas een te hoge luchtvochtigheid ontstaan.

Bij tomaten en bij andere hoge gewassen is het daarom gebruikelijk om langere perioden een minimum pijptemperatuur te handhaven, ondanks de hoge luchttemperatuur in de kas. Door de extra verkregen luchtbeweging en de hogere luchttemperatuur onder het bladerendek kan het overtollige vocht worden afgevoerd.

In de bloemeteelt is deze werkwijze niet zo gebruikelijk omdat vaak een andere plantwijze wordt toegepast, waardoor de invloed van de buiswarmte op alle planten niet gelijk is.

Indien de ventiltie mede afhankelijk wordt gesteld van de luchtvochtigheid, zal vanwege de hierbij optredende luchttemperatuur-verlaging de pijptemperatuur worden verhoogd, waarmee ook een droogeffect wordt verkregen. Deze extra benodigde warmtetoevoer bij geopende luchtramen, mag nooit aanleiding geven tot een te grote pijptemperatuurtoename. Dit leidt niet alleen tot een oneconomisch warmteverbruik maar is bovendien minder wenselijk voor het gewas, vooral indien dit nog in een jong stadium verkeert.

Bij gewassen waar een lage luchttemperatuur noodzakelijk is, kan de buitentemperatuur hoger worden dan de gewenste luchttemperatuur in de kas. Voor het verkrijgen van een droogeffect dient dan ook hier over langere perioden een minimum-pijptemperatuur te worden gehandhaafd.

Dit kan evenwel aanleiding geven tot een nog grotere overschrijding van de gewenste luchttemperatuur. Indien dit bezwaarlijk is kan nog worden uitgeweken naar een methode waarbij "trapsgewijs" de luchttemperatuur wordt verhoogd.

Een belangrijk onderdeel in de klimaatregeling is de samenhang tussen het aanwezige daglicht en de luchttemperatuur in de kas. Bij toename van het daglicht wordt dan het regelpunt van de luchttemperatuur naar een hogere waarde verschoven.

Tijdens de wintermaanden is een aanpassing van de luchttemperatuur aan het licht van grotere waarde dan in de zomermaanden. Veelal kan deze verhoging in de zomermaanden achterwege worden gelaten, omdat door zoninstraling reeds de gewenste verhoging wordt verkregen.

Bij de meeste gewassen is het van belang onderscheid te maken in dag- en nachttemperatuur. De wijze waarop van nacht- naar dagtemperatuur wordt overgegaan, kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Het eenvoudigst is de verhoging

sprongsgewijs tot stand te brengen. In verband met de korte daglengte tijdens de wintermaanden zal de verhoging voor zonsopgang ingezet moeten worden, teneinde zo veel mogelijk van het aanwezige licht te kunnen profiteren. Deze sprongsgewijze verhoging heeft als voordeel dat hiermee ook een duidelijk droog-effekt wordt verkregen. (Zie ook 2.3.3.)

Om te voorkomen dat tijdens het opwarmen een te hoge pijptemperatuur ontstaat moet een besturing voor begrenzing van de watertemperatuur worden toegepast. Door verandering van de ventilatie kunnen dus de luchttemperatuur en de luchtvochtigheid worden beïnvloed. Beide factoren ondergaan een verlaging bij toename van de ventilatie.

Bij het openen van luchtramen dient men de nodige voorzichtigheid te betrachten. Gemakkelijk kunnen hiermee schoksgewijze veranderingen van het klimaat optreden, die zoveel mogelijk moeten worden vermeden. Het luchtraam is een uiterst primitief regelorgaan waarmee alleen in het begin van het openingsstadium een redelijk regeleffect kan worden verkregen.

In dit opzicht biedt de toepassing van meerdere in toerental geregelde ventilatoren betere mogelijkheden.

De ventilatie wordt bij luchtramen niet alleen bepaald door de opening, maar windsterkte, windrichting en temperatuurverschil tussen binnen en buiten de kas, spelen hierbij ook een belangrijke rol.

Duidelijk dient onderscheid te worden gemaakt, wanneer een luchtraamopening verlangd wordt voor vochtafvoer of wel voor warmte-afvoer. Bij vochtafvoer is doorgaans geen grotere raamopening nodig dan ca 10 à 15 cm. In dit openingsgebied kan met de luchtramen nog wel in beperkte mate worden gecorrigeerd.

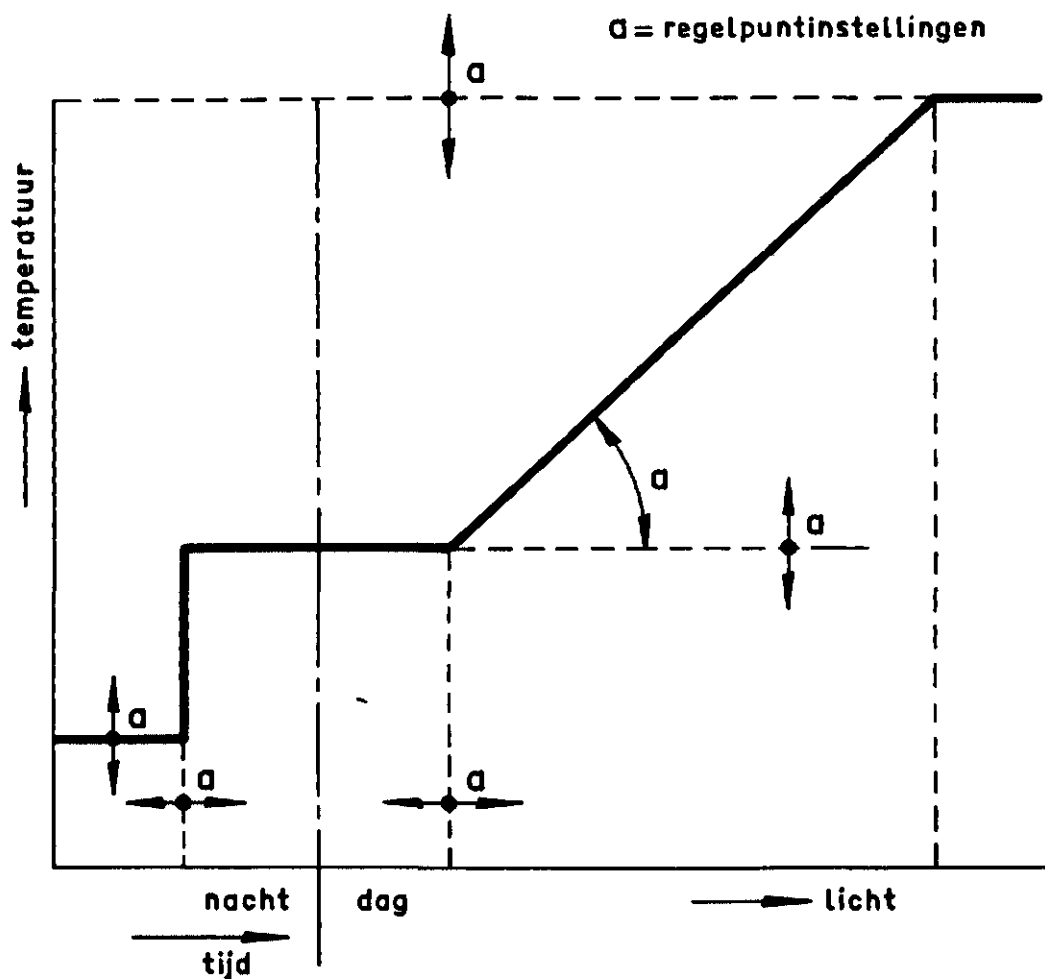
Bij het overschrijden van de maximum gewenste luchttemperatuur worden er geen beperkingen aan de opening van de luchtramen gesteld.

3.6. Regelpuntinstellingen klimaatfactoren

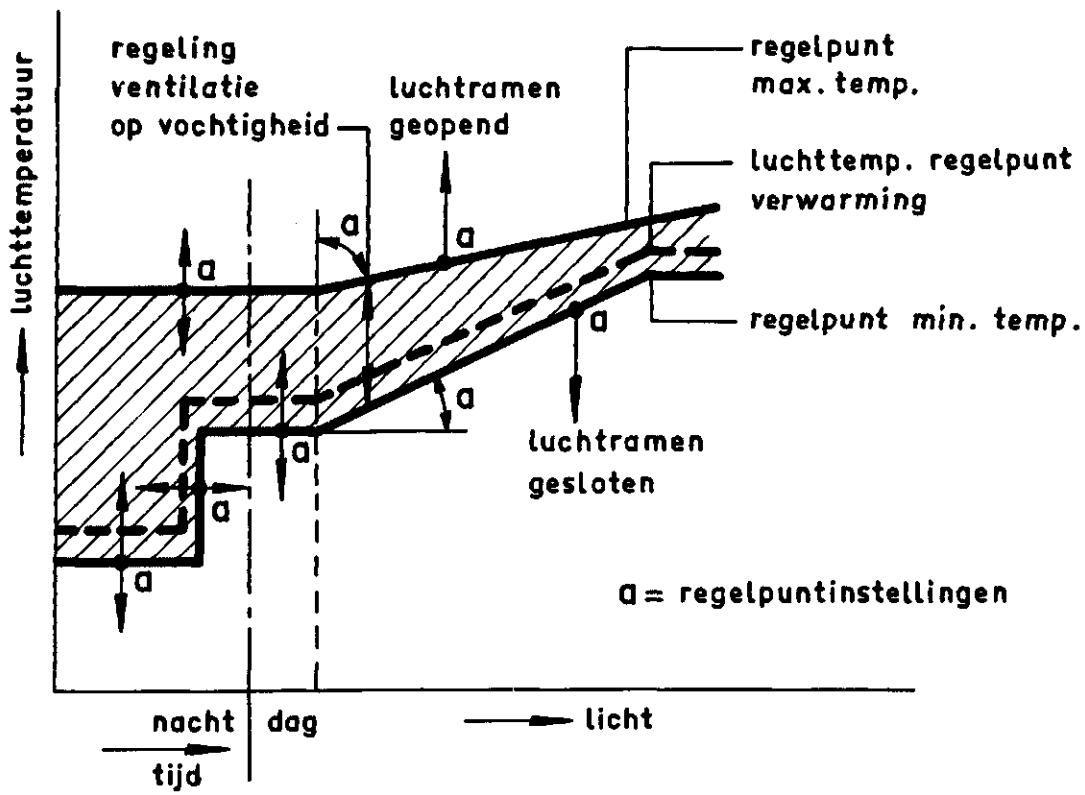
3.6.1. Lichtinvloed

De gewenste luchttemperatuur is mede afhankelijk van het aanwezige licht. Een lichtopnemer meet het licht en geeft een dienovereenkomstig signaal naar de regelaar, waarmee het luchttemperatuurregelpunt kan worden verschoven.

Bij de wijze waarop thans de lichtafhankelijke luchttemperatuurregelingen worden gerealiseerd, is het vooral de lichtmeting waaraan nog verbeteringen kunnen worden aangebracht. Het niet lineaire verband tussen gemeten lichtwaarde en



Afb.7 Regelpuntverschuiving voor de luchttemperatuur op basis van licht en tijd.



Afb.8 Begrensd temperatuurgebied voor regeling ventilatie op vochtigheid.

uitgangssignaal, de montagewijze van het lichtgevoelige element in doosjes e. d., geven weinig zekerheid dat er correct wordt gemeten. Ook de meting van de directe straling bij verschillende invalshoeken laat nog veel te wensen over.

In afb. 7 zijn als voorbeeld verschillende regelpuntverschuivingen nader aangegeven. De nachttemperatuur is veelal het basis-regelpunt van waaruit de verschuivingen plaats vinden. Met behulp van een tijdschakelaar wordt het regelpunt naar een minimale dagwaarde verschoven, om vervolgens over te gaan in een lichtafhankelijke verschuiving.

3.6.2. Ventilatieregeling

Verwarming en ventilatie zijn twee volstrekt gescheiden regelsystemen, die elkaar alleen langs klimatologische weg kunnen beïnvloeden. Wel moeten de beide regelingen met enkele besturingssystemen worden aangevuld.

De ventilatie kan o. a. worden bepaald door drie factoren nl. vochtigheid, maximum luchttemperatuur en minimum luchttemperatuur. Bij overschrijding van een maximum toelaatbare luchttemperatuur dient de ventilatie te worden vergroot. De ventilatietoename moet hierbij evenredig zijn aan de grootte van de overschrijding t. o. v. het regelpunt (proportioneel).

Bij geopende stand van de luchtramen moet bij onderschrijding van een minimum gewenste luchttemperatuur de ventilatie worden verminderd. Ook hier dient het sluiten van de luchtramen evenredig te geschieden aan de grootte van de onderschrijding t. o. v. het regelpunt.

Tussen de regelpuntinstellingen van maximum en minimum luchttemperatuur, bevindt zich een gebied, waarin de ventilatie kan worden geregeld op basis van luchtvochtigheid. In afb. 8 is hiervan een voorbeeld gegeven. Indien de luchttemperatuur door welke oorzaak dan ook buiten dit gebied stijgt of daalt, dient de invloed van de vochtregeling te worden weggenomen en op basis van luchttemperatuur verder te worden geregeld. Door regelpuntveranderingen van maximum en minimum luchttemperatuur kan het vochtregelgebied naar wens worden vergroot of verkleind of desgewenst de invloed hiervan geheel worden opgeheven. Eveneens wordt in dit regelgebied de luchttemperatuurregeling gerealiseerd, aangegeven door de stippellijn. Bij daling van de luchttemperatuur onder deze lijn moet er meer warmte worden toegevoegd. Het is niet wenselijk het maximum regelpunt onder het luchttemperatuurregelpunt in te stellen. De toegevoerde warmte, benodigd voor het in stand houden van de gewenste luchttemperatuur, wordt dan door ventilatie weer afgevoerd.

Zoals in afb. 8 is aangegeven, wordt het maximum regelpunt lichtafhankelijk verschoven. De noodzaak hiervan komt tot uitdrukking bij gewassen in een jong stadium,

die nog weinig vocht produceren. Hierop kan met minder effect een vochtregeling worden toegepast. Door het maximum regelpunt een weinig boven het luchttemperatuurregelpunt in te stellen, kan bij zonnig weer toch worden geventileerd.

Een tweede punt dat naar voren komt bij deze lichtafhankelijke verschuiving is, dat een snellere afkoeling tot stand kan worden gebracht bij het overgaan van dag- naar nachttemperatuur. Deze maatregel is uitsluitend van belang bij warme dagen.

Het maximum temperatuurregelpunt wordt naar beneden verschoven bij minder worden van het licht en kan dan gemakkelijk tot onder de aanwezige luchttemperatuur in de kas dalen. Dit betekent een toename van de ventilatie.

Ook het minimum temperatuurregelpunt wordt lichtafhankelijk verschoven. De verschuiving is volkomen gelijk aan die van het luchttemperatuurregelpunt, alleen de waarde wordt ca 1 °C lager ingesteld. Door deze evenwijdige verschuiving van beide regelpunten, wordt bij onderschrijding van de gewenste luchttemperatuur zowel tijdens de nacht als de dag de ventilatie verminderd.

Voor het vochtregelpunt wordt eveneens onderscheid gemaakt tussen een nacht- en dagwaarde. Gelijktijdig met het luchttemperatuurregelpunt wordt dan ook het vochtregelpunt sprongsgewijs verschoven. Door in de morgenuren het vochtregelpunt plotseling te verhogen, zou de ventilatie sterk toenemen. Dit wordt nu verhinderd door de eveneens sprongsgewijze verschuiving van het minimum temperatuurregelpunt.

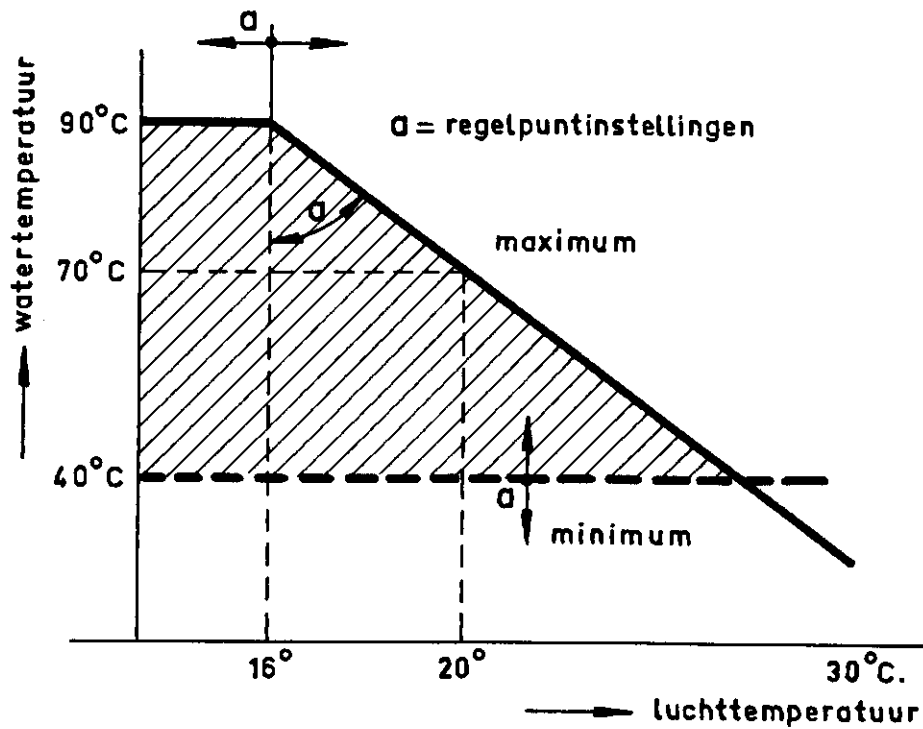
Tijdens de opwarmperiode wordt het openen van de luchtramen dus voorkomen. Is het wel gewenst om in deze periode te ventileren dan dient de instelling van het minimum temperatuurregelpunt te worden verlaagd. Is de buistemperatuur in de ventilatieregeling betrokken, dan betekent dit meestal dat bij hogere buistemperatuur, de luchtramen beperkt kunnen worden geopend. Bij lage buistemperatuur kan evenwel onbeperkt worden geventileerd.

Wellicht ten overvloede dient nog opgemerkt te worden dat ook bij gesloten luchtramen er nog altijd beperkte ventilatie aanwezig is door kieren e.d. in de kas. Ook wordt de vochtafvoer uit de kas niet alleen bepaald door ventilatie, maar tevens wordt waterdamp uit de lucht onttrokken door condensatie tegen het koudere glasdek.

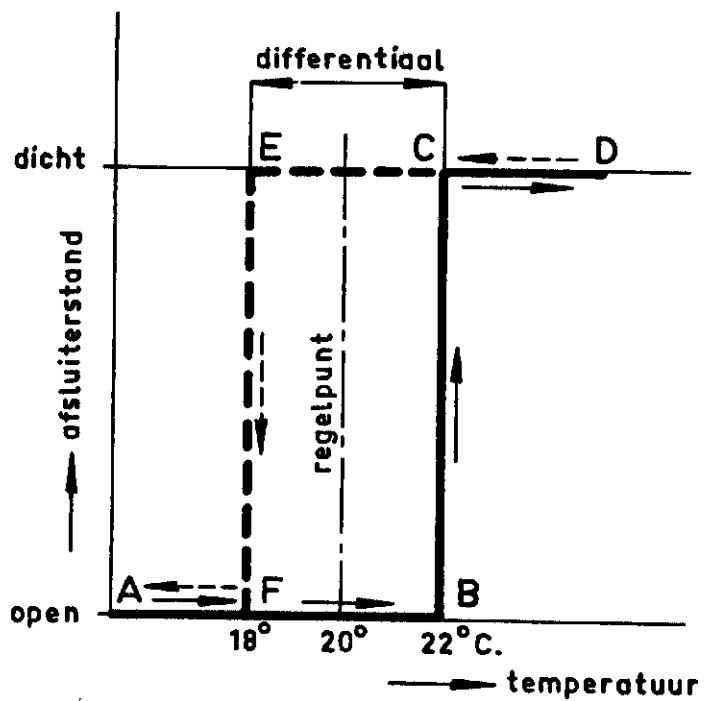
3.6.3. Verwarmingsregeling

Zoals reeds eerder is opgemerkt heeft het pijpennet niet alleen tot taak om de kasruimte te verwarmen, het is ook een belangrijk hulpmiddel om de verdamping te stimuleren.

Bij laatstgenoemde functie zal kunnen worden volstaan door een bepaalde minimum



Afb.9 Watertemperatuur begrenzing met maximum en minimum regelpuntinstelling.



Afb.10 Diagram van een open – dicht regelsysteem.

pijptemperatuur in te stellen, voorgesteld door de stippellijn in afb. 9. Het effect bij het handhaven van een minimum pijptemperatuur is bij laag gemonteerde pijpen groter dan wanneer deze hoog zijn aangebracht. Het in stand houden van een minimum pijptemperatuur zou afhankelijk kunnen worden gesteld van het aanwezige licht en van de vochtconditie in de kas. Door het grote regelbereik van de verwarmingsinstallatie kan bij een luchttemperatuurdaling de pijptemperatuur te hoog worden, ongeacht welk regelsysteem men toepast.

De regeling dient hierbij aangevuld te worden met een besturing om de watertemperatuur te begrenzen. Een wijze waarop deze begrenzing kan functioneren is aangegeven in afb. 9. Als voorbeeld is genomen dat bij 16 °C de watertemperatuur zonder begrenzing afhankelijk van de buitentemperatuur tussen 40 °C en 90 °C kan variëren. Bij een luchttemperatuur van 20 °C wordt de watertemperatuur begrensd tot ca 70 °C.

De verschuiving van het maximum watertemperatuurregelpunt verloopt rechtlijnig naar beneden bij stijging van de luchttemperatuur en houdt op bij het ingestelde minimum watertemperatuurregelpunt.

Met behulp van de door pijlen aangegeven regelpuntinstellingen kan het gearceerde gebied waarin de watertemperatuurregeling wordt gerealiseerd naar wens worden gewijzigd. Hiermee is een automatisch werkende watertemperatuurbegrenzing verkregen, aangepast aan de heersende luchttemperatuur in de kas. Het bezwaar van een vast ingestelde begrenzingswaarde is, dat bij koudere nachten de warmtetoevoer ontoereikend kan zijn, indien verzuimd wordt het regelpunt te verhogen.

Evenals op de ruimtetemperatuur kan ook de watertemperatuur worden begrensd op basis van licht.

In dit deel is hoofdzakelijk de programmering van de regelpunten aan de orde geweest. Dit geeft natuurlijk nog geen enkele aanwijzing met welke nauwkeurigheid de klimaatgrootheden met de gewenste regelpunten in overeenstemming kunnen worden gebracht. Dat hangt voor een groot deel af van het regelsysteem dat wordt toegepast.

3.7. Regelsystemen en toepassing

3.7.1 Open-dicht regeling

De meest eenvoudige regeling is de open-dicht of ook wel twee-standen regeling genoemd. Zoals de naam reeds aangeeft kan de regelafsluiter daarbij twee standen innemen nl. een geopende en een gesloten stand.

In afb. 10 is met behulp van een diagram de werking nader aangegeven.

Bij stijging van de luchttemperatuur wordt het regelpunt met een bepaalde waarde overschreden alvorens de regelafsluiter naar de dichtstand wordt gecommandeerd. Bij daling van de luchttemperatuur wordt in omgekeerde volgorde de regelafsluiter weer geopend. Het temperatuurtraject waarin de regeling niet reageert op luchttemperatuurveranderingen, wordt differentiaal genoemd. Om een te vlug openen en sluiten van de regelafsluiter te voorkomen wordt hiermee bewust een vertraging in de regelkring aangebracht. Het is bij dit regelsysteem gewenst het regelbereik te verkleinen, daar anders bij geopende afsluiter de warmtetoevoer te groot is. Steeds wordt na het openen van de afsluiter een te grote hoeveelheid warmte in het pijppennet opgezameld. Het gevolg hiervan is dat de luchttemperatuur nog ver buiten het differentiaal van de regelaar door zal stijgen (afb. 11). Bij een normale open-dicht regeling wordt de watercirculatie in het pijppennet gestopt bij de gesloten stand van de afsluiter.

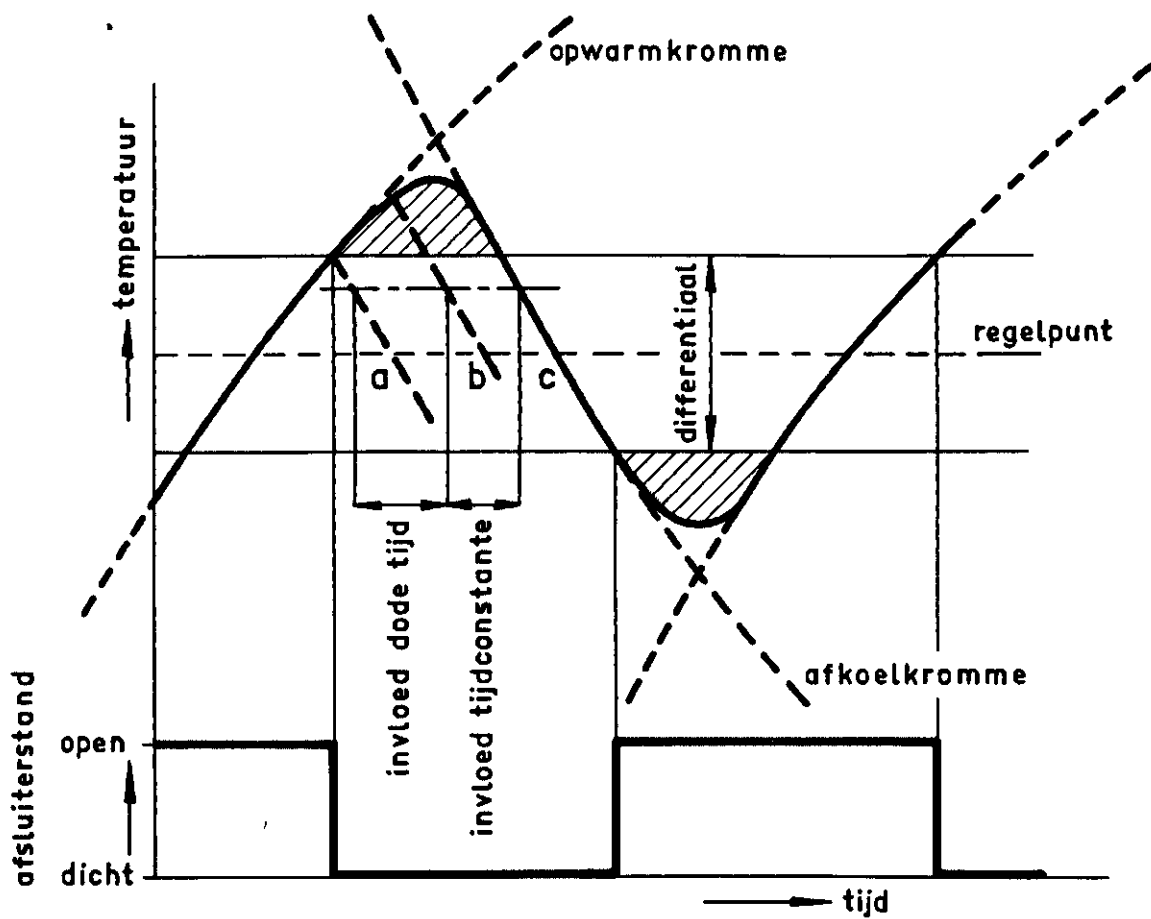
Het weer op gang komen van de watercirculatie bij het openen van de afsluiter betekent een toename van de dode tijd. Tijdens de periode dat de afsluiter is gesloten en de regeling niet reageert op de luchttemperatuurverandering, koelt het water in het pijppennet af. Bij het weer openen van de regelafsluiter duurt het te lang voordat weer voldoende warmte is toegevoerd, waardoor de luchttemperatuur ver buiten het differentiaalgebied kan dalen.

In afb. 11 is de invloed van de dode tijd en de tijdconstante op het gedrag van de regeling nader aangegeven. Hoewel dit gedrag op een open-dicht regelsysteem wordt betrokken blijft dit onverminderd van toepassing op de nog nader te bespreken modulerende regelsystemen.

Indien uitgegaan wordt van een installatie zonder dode tijd zou de temperatuurdaling volgens de stippellijn a verlopen. Door de aanwezigheid van dode tijd zal nu de temperatuur gaan dalen volgens de stippellijn b. Als gevolg van de warmtetraagheid van de kas, vastgelegd in een tijdconstante, zal hierdoor de temperatuurdaling nog op een later tijdstip aanvangen, wat uiteindelijk resulteert in de lijn c.

De gearceerde delen in de grafiek, "overregelen" genoemd, zijn dus het gevolg van de gezamenlijke invloed van dode tijd en tijdconstante. Hoewel reeds hierop is gewezen is nu duidelijk aangetoond waarom de dode tijd zo klein mogelijk gehouden moet worden.

Naarmate de tijdconstante groter is zal het frequent schommelen van de temperatuur afnemen, waarmee een stabiliserende invloed op de regeling wordt verkregen. Het toepassingsgebied van een open-dicht regelsysteem voor regeling van de luchttemperatuur in kassen is beperkt. Voor die gevallen waarbij aan de nauwkeurigheid van de regeling geen hoge eisen worden gesteld kan deze regeling b. v. voor een



Afb.11 Grafische voorstelling van een open – dicht regelsysteem.

aantal kleinere kassen met redelijk resultaat worden toegepast.

Naarmate het regelbereik groter is wordt ook de noodzaak groter om het regelbereik aan te passen aan de buitentemperatuur. Automatische aanpassing wordt verkregen door speciaal hiervoor vervaardigde weersafhankelijke regelaars. De aanvoerwatertemperatuur wordt dan op basis van de aanwezige buitentemperatuur geregeld, zoals schematisch is aangegeven in afb. 12. De warmtetoevoer in de kas bij geopende regelafsluiter, wordt hiermee gereduceerd tot een waarde die weinig hoger is dan de warmtebehoefte.

3.7.2. Proportionele regeling (P-regeling)

In tegenstelling tot de open-dicht regeling kan de regelafsluiter bij een proportionele regeling vele standen innemen tussen de geopende stand en de gesloten stand. Het bijbehorende diagram is gegeven in afb. 13^a. Hieruit volgt dat er een vast verband aanwezig is tussen de afsluiterstand en de afwijking van de gewenste luchttemperatuur. Als de luchttemperatuur in overeenstemming is met het ingestelde regelpunt neemt de afsluiter een stand in van 50%.

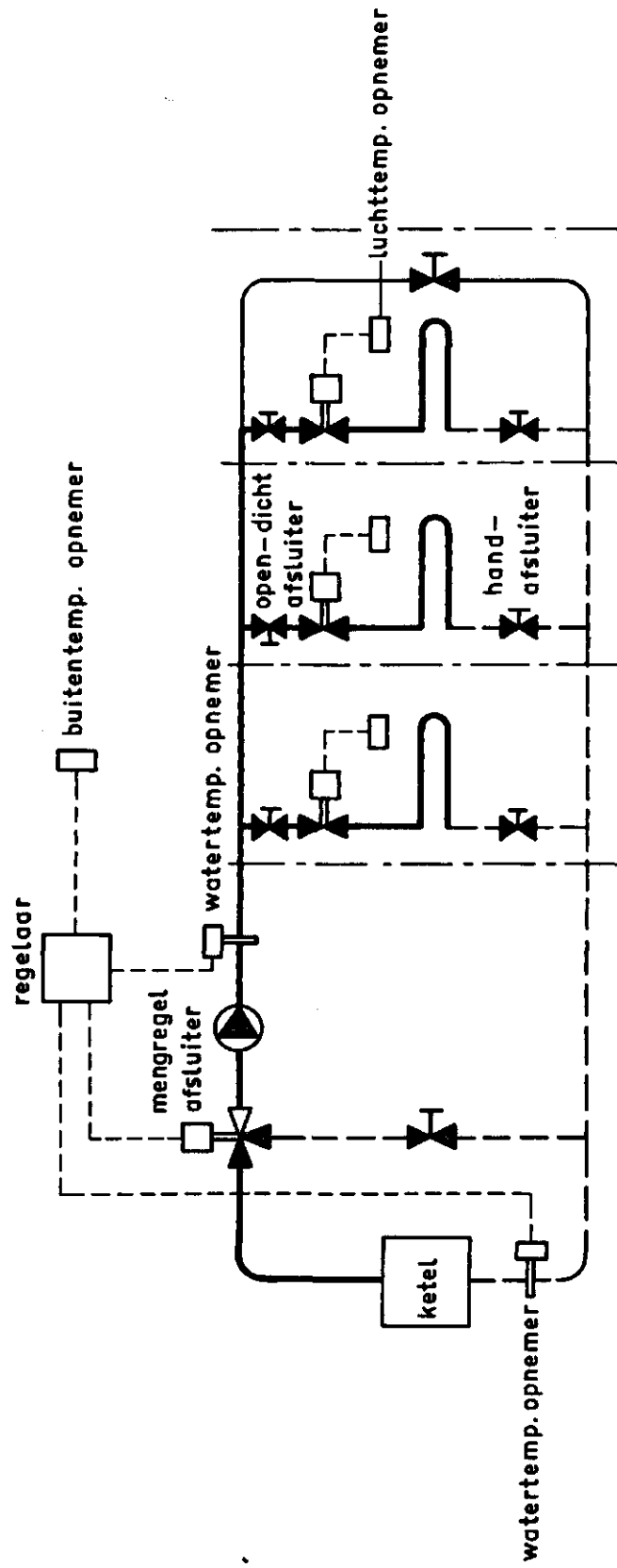
Bij een luchttemperatuur van 18 °C is de afsluiter 100% geopend en bij 22 °C volledig gesloten. Het temperatuurtraject tussen 18 °C en 22 °C wordt de regelband of proportionele band genoemd en bedraagt in het voorbeeld 4 °C.

Deze band is op de regelaar binnen ruime grenzen instelbaar. Door de regelband te vergroten of te verkleinen wordt dus het temperatuurtraject waarin de regelafsluiter zich kan bewegen gewijzigd van 0 tot 100%. Bij vergroting van de regelband wordt de regelafsluiter met een kleinere en bij versmalling met een grotere stap voortbewogen bij eenzelfde temperatuurafwijking.

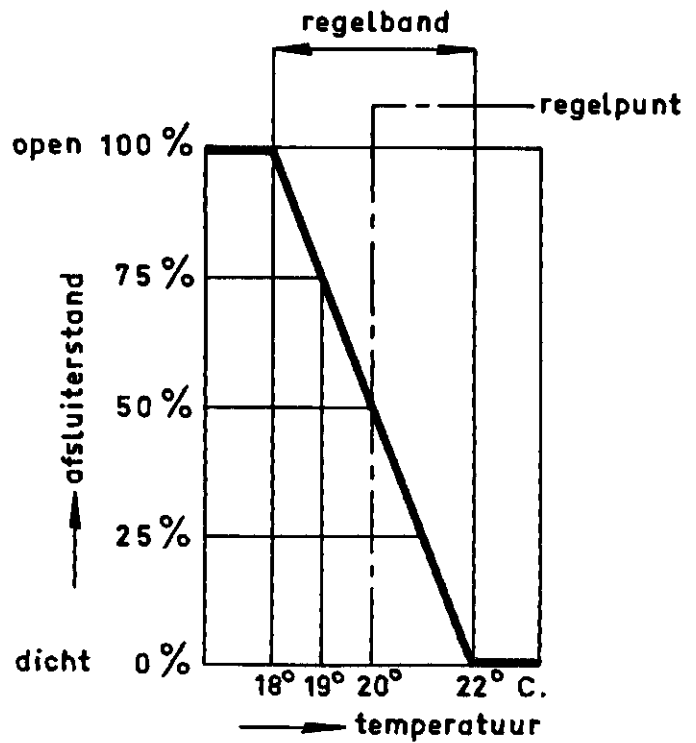
Bij een te smalle regelband kan de warmtetoevoer t.o.v. de afwijking te groot zijn, waardoor te veel warmte in het pijpennet wordt geaccumuleerd.

Overschrijding van het regelpunt is hiervan het gevolg. Een te grote regelband heeft tot gevolg dat de warmtetoevoer te gering is en een grotere afwijking nodig is om de warmtetoevoer te verhogen. Een nadeel van de P-regeling is, dat bij een bepaalde warmtebehoefte in de kas de luchttemperatuur niet op het regelpunt wordt teruggebracht. Dit wordt de statische afwijking genoemd.

Bij een luchttemperatuurverlaging van b.v. 1 °C t.o.v. het ingestelde regelpunt komt de regelafsluiter in een ruststand bij een opening van 15% (afb. 13^a). Indien bij deze afsluiterstand de verkregen warmtetoevoer gelijk is aan de warmte-afvoer, blijft deze stand gehandhaafd. Dit betekent, dat de regeling niet in staat is om onafhankelijk van de warmtebehoefte de luchttemperatuur op het regelpunt terug te brengen.

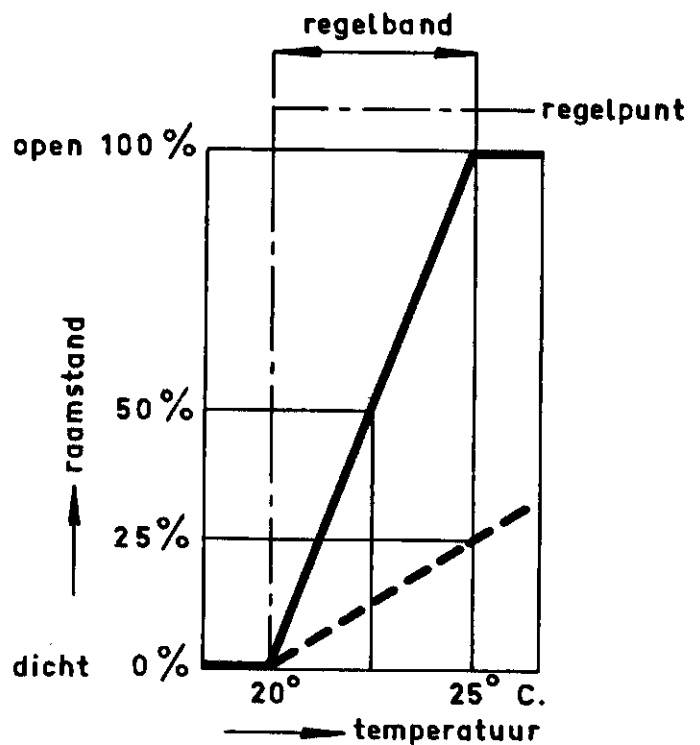


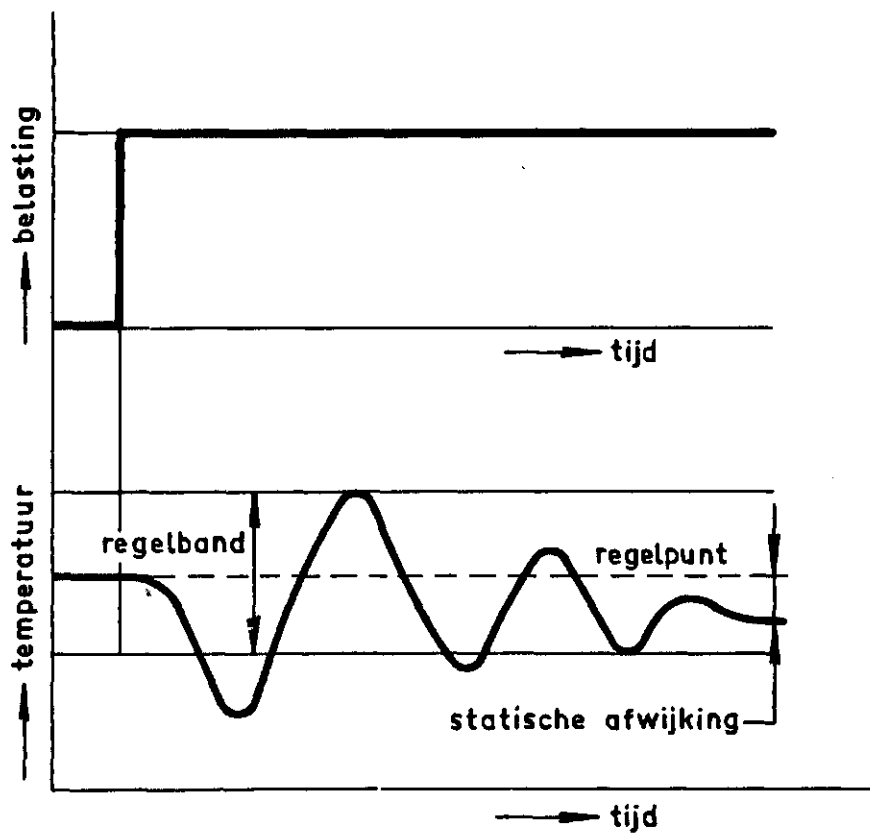
Afb. 12 Voorbeeld van een aantal open - dicht regelingen met voorgeregelde aanvoerwater temperatuur.



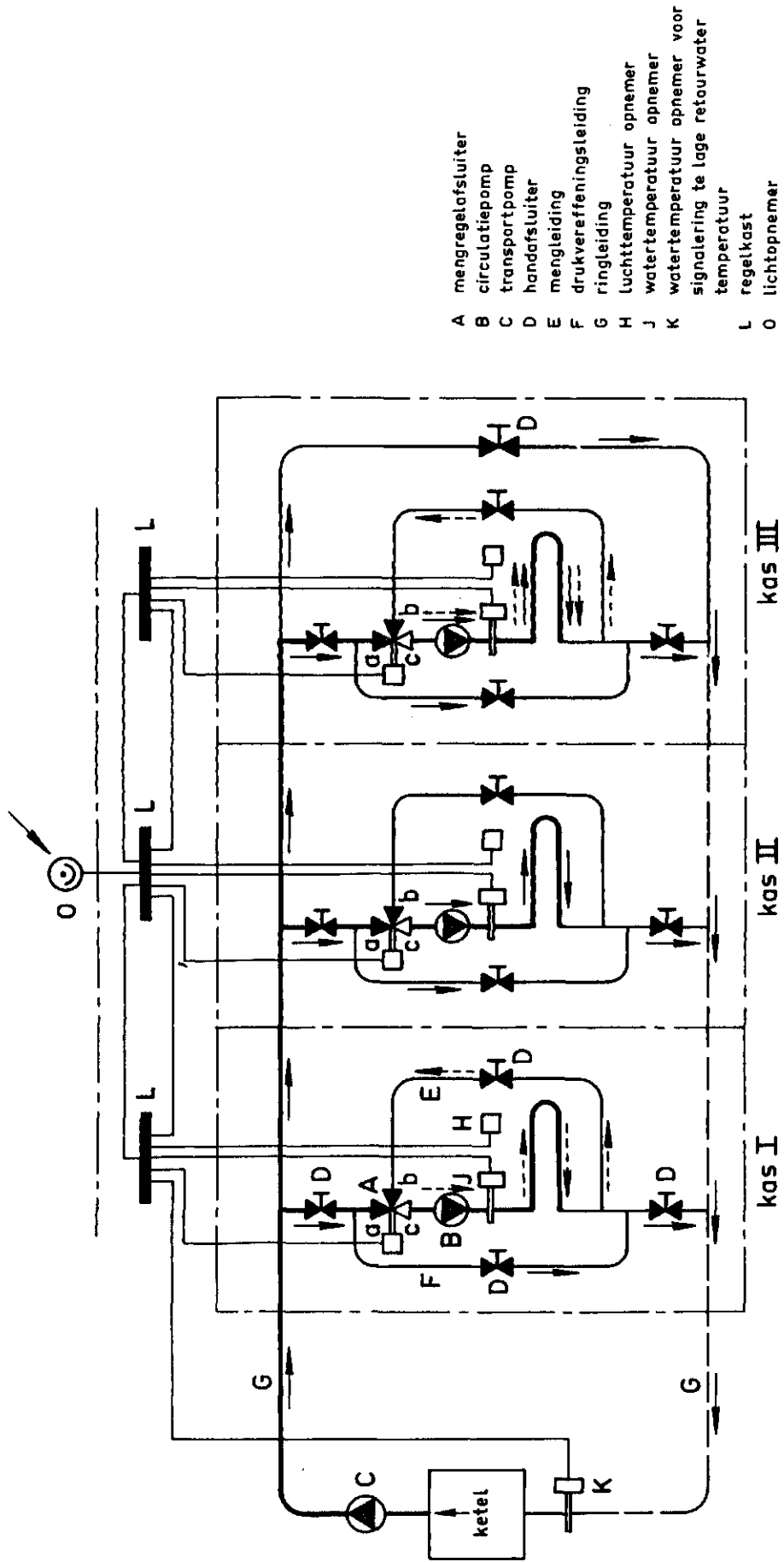
Afb. 13 a Verband tussen afsluiterstand en temperatuur bij een proportionele regeling.

Afb. 13 b Verband tussen raamstand en temperatuur bij een proportionele regeling.





Afb.14 Reactie van een proportionele regeling op een sprongwijze belastingtoename.



Afb.15 Voorbeeld van een aantal modulerende regelingen met mengafluisers.

Het is belangrijk om het gedrag van een regelsysteem te kennen bij een snelle daling van de luchttemperatuur.

Voor een P-regeling is dit gedrag nader aangegeven in afb. 14.

Als voorbeeld is een verlaging gekozen van 3 °C.

Bij een regelband (ook wel bandbreedte genoemd) van 4 °C zal de regelafsluiter direkt naar de volledig open stand worden gestuurd. (zie afb. 13^a)

Bij een voor kassen gebruikelijk regelbereik van 30 °C zal door de grote warmte-toevoer, veel warmte in het pijpennet worden gebracht.

Wanneer de luchttemperatuur in de regelband is teruggekeerd en vervolgens is gestegen tot 22 °C zal de regelafsluiter naar de gesloten stand worden gestuurd. Door de opgezamelde warmte in het pijpennet zal de luchttemperatuur bij het begin van de afwijking het regelpunt ver overschrijden. In de periode dat de luchttemperatuur te hoog is en de regelafsluiter gesloten, zal de warmtetoevoer te traag op gang komen, waardoor het regelpunt wordt onderschreden.

Bij een snelle en grote verandering van de luchttemperatuur krijgt een P-regeling bij de aanvang het karakter van een open-dicht regeling, met de daaraan verbonden nadelen. Na enige tijd wordt het sterk fluctueren van de luchttemperatuur door benadering van een evenwichtstoestand afgevlakt, om tenslotte in een nagenoeg rechte lijn te veranderen.

Bij geleidelijke en kleine veranderingen zal een P-regeling veel minder de neiging vertonen om tot overregelen over te gaan.

De verwarmingsregeling in kassen wordt uitgevoerd met een mengregelsysteem. Door toepassing van een mengafsluiter wordt onafhankelijk van de stand altijd de watercirculatie in het pijpennet behouden. Een schematische voorstelling hiervan is gegeven in afb. 15. Hieruit blijkt dat een mengafsluiter is uitgevoerd voor drie aansluitingen a, b en c die respectievelijk worden verbonden met de warmwatertoevoer, mengleiding en de verwarmingsinstallatie met circulatiepomp. In de afsluiter bevinden zich ook drie poorten waarvan er bij twee de doorgang wordt gewijzigd, nl. van a en b. Wanneer poort a geheel geopend is zal poort b gesloten zijn en omgekeerd. Bij halve stand van de mengafsluiter zijn beide poorten voor 50% geopend. Bij gesloten stand van de mengafsluiter is poort a gesloten.

Met behulp van pijlen is de bewegingsrichting van het water in de verschillende installatie-onderdelen voor drie kassen nader aangegeven. In kas I is de situatie aangegeven bij gesloten poort a, in kas II bij geopende poort a en tenslotte in kas III bij half geopende poorten a en b. Afhankelijk van de poortopening b zal een hoeveelheid kouder retourwater via de mengleiding E met het warmere aanvoerwater worden gemend. De temperatuur van het mengwater wordt bepaald door de grootte van de hoeveelheid retourwater met die van het aanvoerwater.

Het temperatuurverschil tussen aanvoer en retourwater is eveneens mede bepalend voor de uiteindelijke mengwatertemperatuur.

Bij ventilatieregelingen waar luchtramen als corrigerend orgaan worden toegepast is een P-regeling in principe bijzonder geschikt. Het grote voordeel hierbij is het vaste verband dat aanwezig is tussen de raamstand en de afwijking van de luchttemperatuur of luchtvochtigheid t.o.v. het regelpunt of gewenste waarde.

Het regelpunt van een P-regelaar voor ventilatieregelingen bevindt zich in het algemeen niet in het midden van de proportionele band, maar op het einde hiervan (afb. 13^b).

Het principe van de regeling wordt hierdoor niet veranderd. Bij overschrijding van het ingestelde regelpunt door de luchttemperatuur worden de luchtramen geopend.

De grootte van de opening is evenredig aan de regelpuntoverschrijding. Bij 25 °C zijn volgens het voorbeeld de luchtramen geheel geopend.

De proportionele band bedraagt dan 5 °C. Indien over dit temperatuurtraject geen 100% opening wordt gewenst kan door regelbandvergroting een kleinere opening worden verkregen, nader aangegeven met de stippellijn.

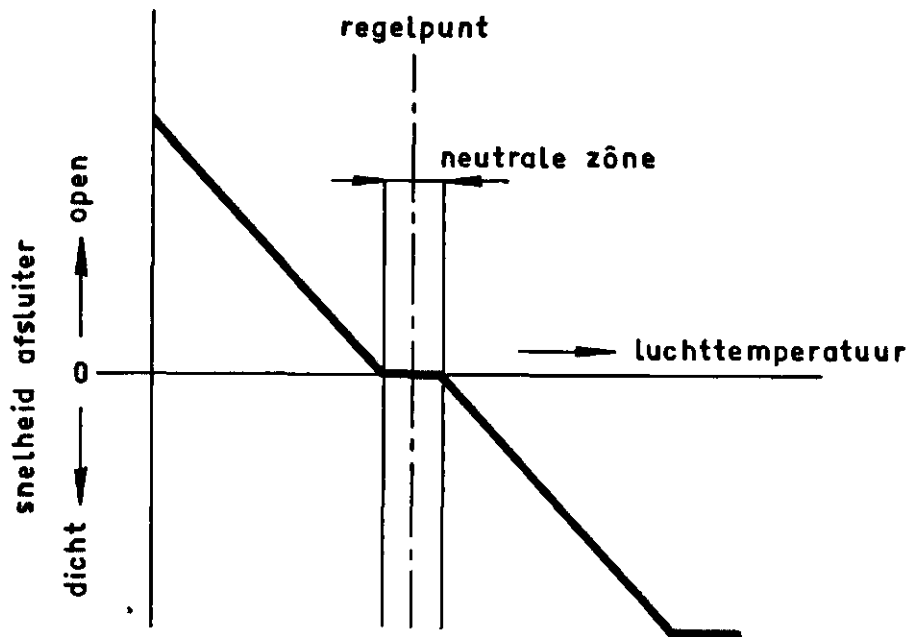
Het pendelen van de luchtramen bij deze grote regelbandinstelling is hierbij uitgesloten. De raamopening is dus alleen afhankelijk van de mate waarmee de luchttemperatuur of de luchtvochtigheid het regelpunt overschrijdt.

3.7.3. Proportioneel - Integrerende regeling (P.I.-regeling)

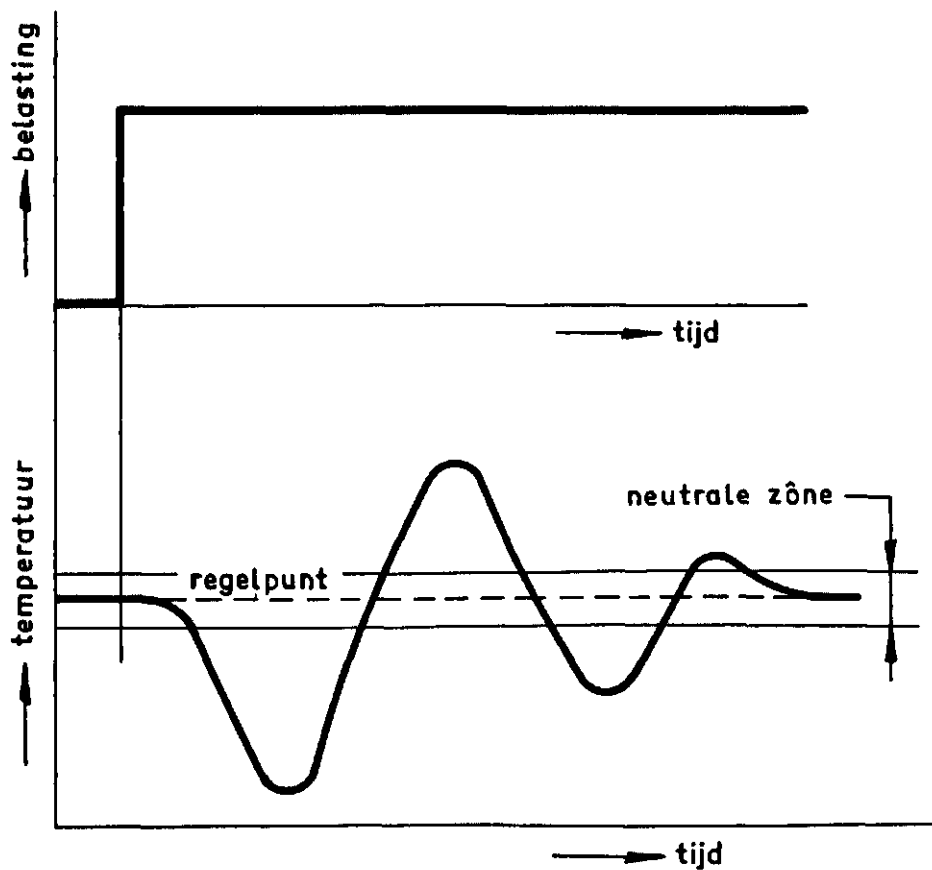
Dit regelsysteem is opgebouwd uit een combinatie van een proportionele en een integrerende regelaar.

Een integrerende regeling wordt vrijwel nooit in een afzonderlijke vorm toegepast. Dit regelsysteem heeft de eigenschap, de stand van de regelafsluiter zo lang te wijzigen tot de luchttemperatuur weer op het regelpunt is teruggebracht. Er is hierbij geen vast verband tussen afwijking en afsluiterstand. Het diagram van een I-regeling is aangegeven in afb. 16. Om een gedurig pendelen om het regelpunt te voorkomen wordt bij deze regelaars een kleine neutrale zône aangebracht, waarbinnen geen afwijkingen worden gecorrigeerd. Bij regeling van de luchttemperatuur wordt deze zône kleiner; bij regeling van de watertemperatuur kan deze zône groter worden ingesteld.

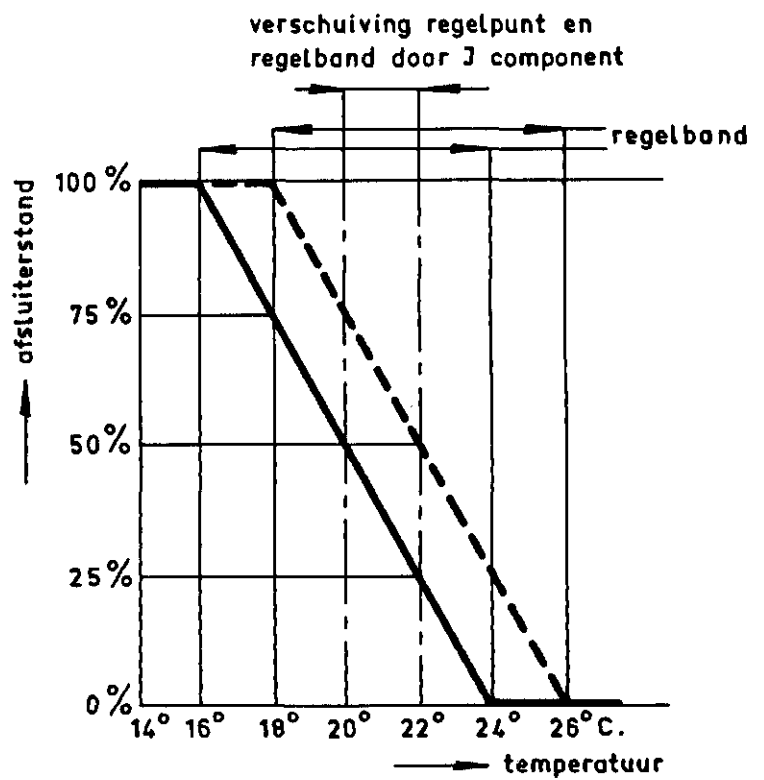
Bij een sprongsgewijze belastingtoename b.v. door grotere afkoeling bij het wegvallen van de zoninstraling of door toename van windsterkte waarvan een luchttemperatuurverlaging in de kas het gevolg is, zal bij een I-regeling de correctie van deze afwijking vertraagd worden uitgevoerd. Hierbij wordt veelal de regelafsluiter impulsgewijs van positie veranderd.



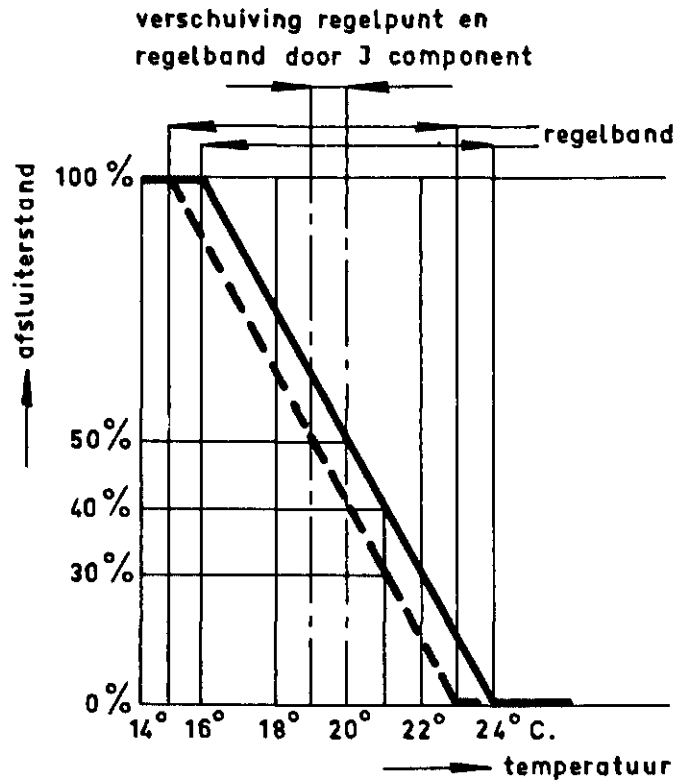
Afb.16 Diagram van een integrerende regeling.



Afb.17 Reactie van een integrerende regeling op een sprongwijze belastingtoename.



Afb.18 a Verband tussen afsluiterstand en temperatuur bij een proportioneel – integrerende regeling bij dalende luchttemperatuur.



Afb. 18 b Verband tussen afsluiterstand en temperatuur bij een proportioneel – integrerende regeling bij stijgende luchttemperatuur.

De positieverandering is dus niet zoals bij de P-regeling evenredig aan de afwijking. De benodigde tijd om een afwijking te corrigeren is daarom bij I-regeling veel groter dan bij een P-regeling. Indien een snelle luchttemperatuurregeling gewenst is zal hiervoor geen I-regelaar kunnen worden toegepast.

In afb. 17 is de reactie aangegeven van een I-regeling waarbij na langdurig schommelen van de luchttemperatuur evenwicht wordt gevonden bij het regelpunt.

De taak van de I-regelaar bij een P.I. combinatie is om de reeds besproken statische afwijking van de P-regelaar op te heffen.

Aan de hand van het diagram aangegeven in afb. 18^a kan dit nader worden toegelicht.

Bij een sprongsgewijze verlaging van de luchttemperatuur zal eerst door een proportionele impuls de regelafsluiter naar een overeenkomstige stand worden gestuurd.

In het voorbeeld is voor deze verlaging 2 °C gekozen, bij een proportionele band van b.v. 8 °C bedraagt de afsluiterstand dan 75%. Door de daarop volgende I-actie wordt nu langzaam het regelpunt met regelband in tegenovergestelde richting naar een hogere temperatuurwaarde verschoven. De nu verkregen situatie is aangegeven door de schuine stippellijn, waar nu bij dezelfde 2 °C afwijking een afsluiterstand wordt verkregen van 100%. Door de grotere warmtetoevoer zal de luchttemperatuur langzaam naar de gewenste waarde worden teruggeregeld.

In afb. 18^b is een geval aangegeven, waarbij de luchttemperatuur 1 °C boven het regelpunt is gestegen. De hierbij behorende afsluiterstand bedraagt 40%. Door de I-actie wordt het regelpunt met regelband 1 °C naar beneden verschoven. De afsluiterstand na deze verschuiving is volgens de stippellijn nu 30% geworden.

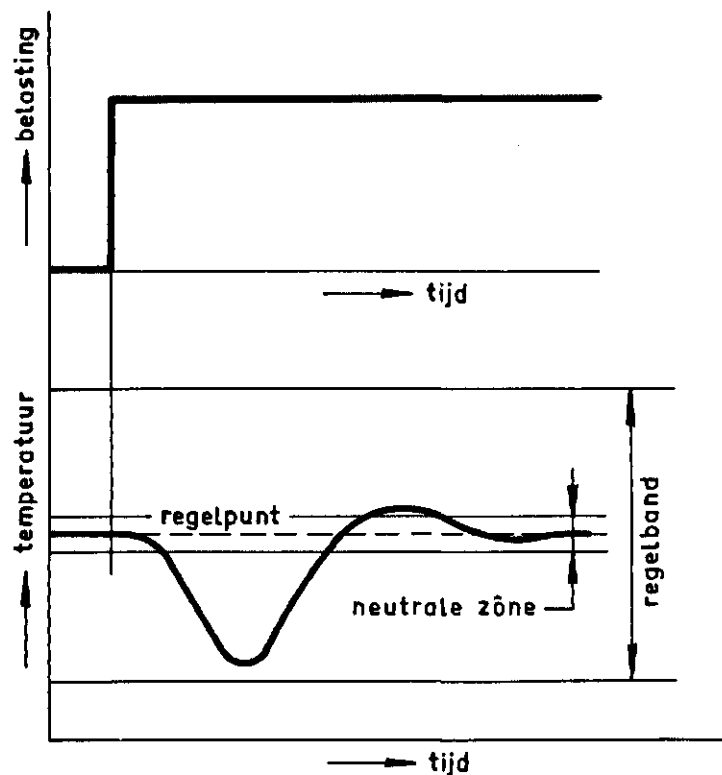
In afb. 19 is de reactie van een P.I.-regeling aangegeven.

Na een betrekkelijk lange schommeling wordt de luchttemperatuur langzaam op het regelpunt teruggebracht.

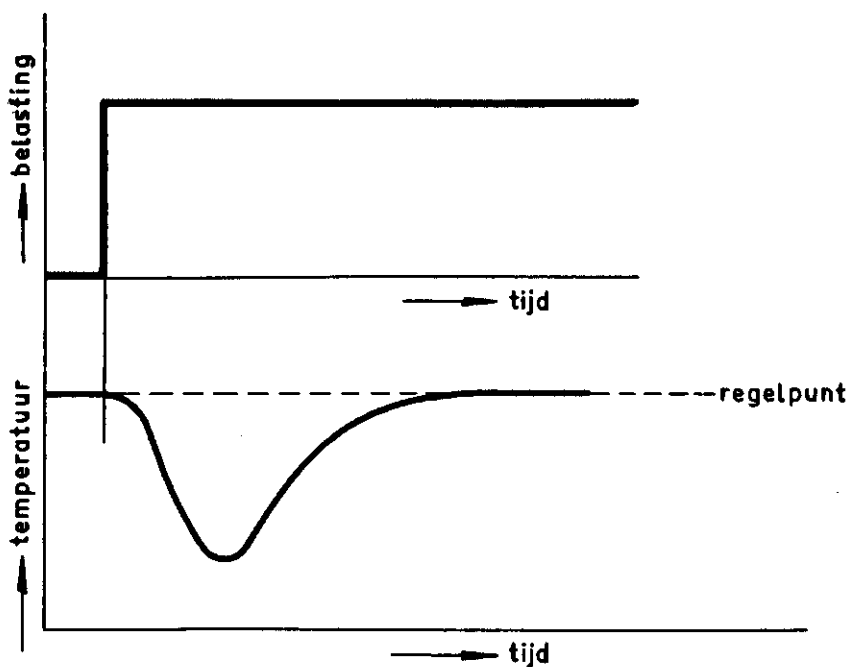
De regelband bij een P.I.-regeling kan doorgaans groter worden ingesteld dan bij een afzonderlijke P-regeling om voldoende "ruimte" over te houden voor de I-actie. Samenvattend kan voor luchttemperatuurregelingen in kassen met een P.I.-regelaar worden opgemerkt dat bij grote afwijkingen de correcties toch nog te traag worden uitgevoerd. Dit houdt verband met de noodzakelijk grotere regelband-instelling en de langzame nacorrecties door de I-actie.

Voor watertemperatuurregelingen is de P.I.-combinatie uitermate geschikt. Voor ventiliertieregeling is de toepassing van deze regelaar weinig zinvol. De regeling blijft steeds werkzaam om de optredende afwijking op te heffen, wat doorgaans moeilijk of helemaal niet zal lukken.

Bovendien wordt extra slijtage van het luchtmechaniek verkregen door de aanhoudende impuls-gewijze standveranderingen van de luchtramen.



Afb. 19 Reactie van een proportioneel - integrerende regeling op een sprongwijze belastingtoename.



Afb. 20 Reactie van een proportioneel + proportioneel integrerende regeling op een sprongwijze belastingtoename.

3.7.4. Cascade-regeling (P + P.I.-regeling)

Indien hogere eisen worden gesteld aan de nauwkeurigheid van de regeling zal de samenstelling van de regelaar moeten worden uitgebreid.

Een belangrijk punt waaraan een bepaalde onnauwkeurigheid moet worden toegeschreven is, dat bij de reeds besproken regelsystemen de stand van de afsluiter wordt geregeld en niet de watertemperatuur.

De uitwerking van een watertemperatuurverandering zal eerst tot uitdrukking moeten komen in een luchttemperatuurwijziging alvorens de regeling hierop kan reageren door de stand van de regelafsluiter te wijzigen. Bij een kassencomplex van enige omvang zijn veranderingen in de aanvoerwatertemperatuur onvermijdelijk.

Deze storende factor kan worden ondervangen door bovengenoemde combinatieregeling toe te passen, ook wel cascaderегeling genoemd.

Het principe waarop de werking berust is dat de P + P.I. combinatie zich t.o.v. de luchttemperatuur als een P-regeling en tot die van de watertemperatuur als een P.I.-regeling gedraagt. De stand van de afsluiter is hierbij nu alleen afhankelijk van de vereiste watertemperatuur. De grootte van de proportionele impuls, verkregen door een luchttemperatuurverandering, bepaalt met welke waarde de watertemperatuur moet worden gewijzigd.

Deze waarde wordt vooraf in de regelaar vastgelegd. Bij een goed gedimensioneerde installatie zal kunnen worden volstaan met een watertemperatuurverandering van 15°C bij een afwijking van de luchttemperatuur t.o.v. het regelpunt met 1°C .

De regelafsluiter kan zowel een positieverandering ondergaan door een afwijking van de luchttemperatuur als door een verandering van de watertemperatuur. Met behulp van een watertemperatuuropnamer kan zo de uitwerking van een correctie of een verandering in de watertemperatuur snel worden gemeten. Om te voorkomen dat bij reeds kleine watertemperatuurveranderingen de stand van de regelafsluiter wordt gewijzigd is een neutrale zone van de P.I.-regelaar noodzakelijk. Dit betekent dat om het regelpunt in een bepaald watertemperatuurtraject geen positieverandering van de afsluiter mogelijk is.

Dit behoeft voor de nauwkeurigheid van de luchttemperatuurregeling geen nadelige gevolgen te hebben.

De snelheid waarmee de regelafsluiter van positie verandert kan bij een cascaderегeling groter zijn dan bij andere regelsystemen.

De hierdoor ontstane kleinere dode tijd zal de regeling zeker ten goede komen. Indien de P + P.I.-regeling goed is ingeregeld zal de kans op een instabiel gedrag ook minder groot zijn dan bij andere regelsystemen.

De regelnauwkeurigheid van de mengafsluiter behoeft bij deze regeling niet aan zo

hoge eisen te voldoen als bij het P en P.I.-systeem.

In afb. 20 is de reactie van een cascaderегeling aangegeven op een sprongvormige belastingtoename. Ook hier wordt bij het begin een daling van de luchttemperatuur verkregen maar daarna wordt deze in korte tijd vrijwel zonder overregelen op het regelpunt teruggebracht.

3.8. De opnemers van de regeling

Het is van groot belang om de juiste waarden te meten van de te regelen grootheden. Een door de zon bestraalde opnemer zal aanmerkelijk hoger in temperatuur kunnen stijgen dan de omringende lucht.

Een opnemer die bij het beregenen nat wordt zal sterk in temperatuur dalen. Ook de verwarmingspijpen dienen bij de meetplaats over een korte afstand te worden gefsoleerd, want stralings- en convectiewarmte kan de meting verstoren.

Zoals reeds is toegelicht kan de gevoeligheid van de meting aanmerkelijk worden verbeterd door een luchtstroom langs de opnemer te onderhouden. Het heeft grote voordelen een z.g. meetbox toe te passen waarin alle benodigde opnemers worden gemonteerd. Door de meetbox te voorzien van isolatiemateriaal voor afscherming van stralingswarmte en een kleine ventilator aan te brengen is het mogelijk op vrij nauwkeurige wijze de luchttemperatuur te meten.

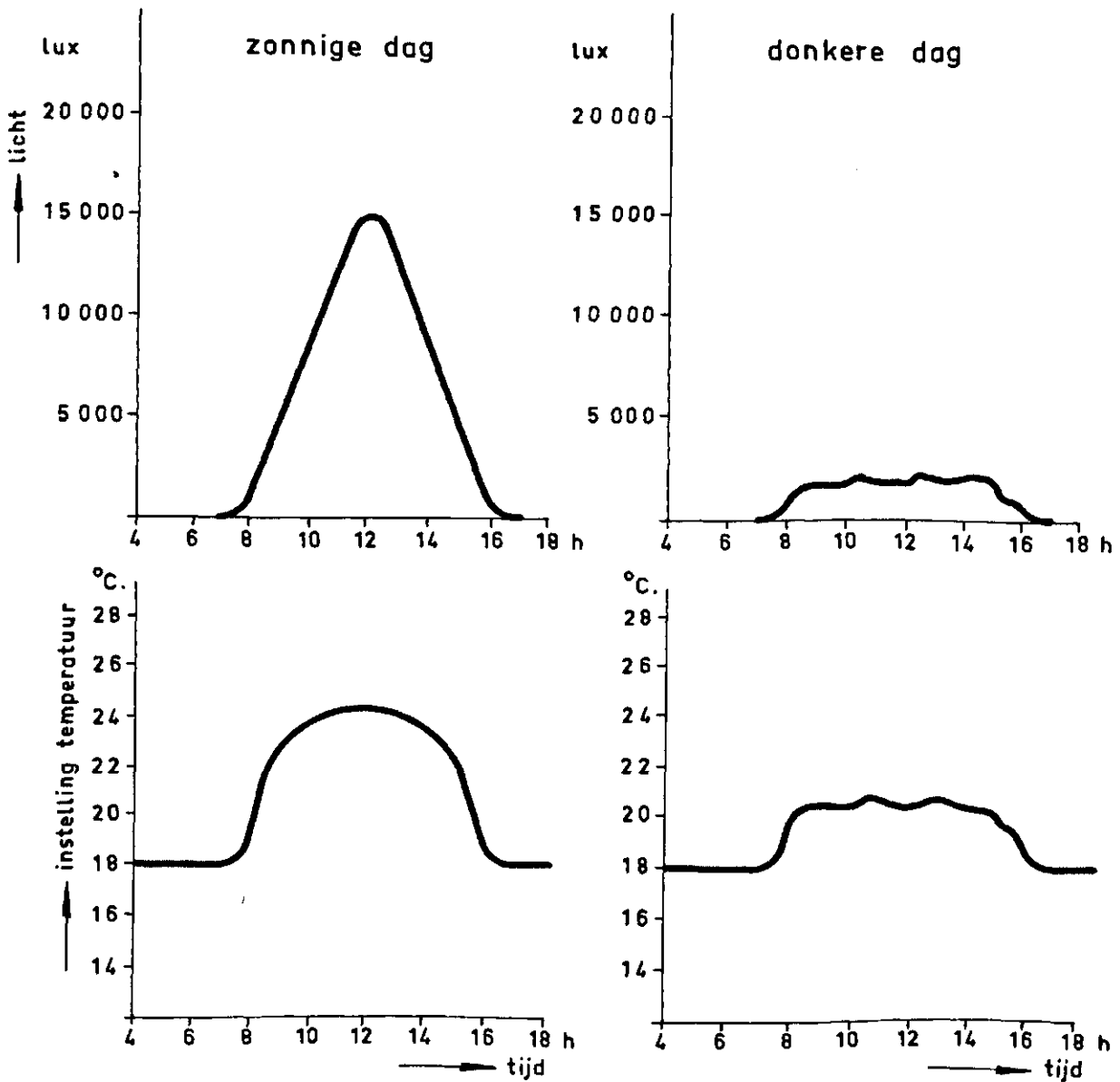
In verband met de toepassing en de uitvoering van de regelaars kan nog het volgende worden opgemerkt.

Onderscheid kan worden gemaakt tussen de z.g. electro-mechanische en electronische regelaars. Hoewel er nog veel electro-mechanische regelaars in gebruik zijn en er zelfs thans nog worden aangeschaft zijn er tal van nadelen op te noemen t.o.v. de electronische regelaars. Opnemer, regelaar en instelling regelpunt zijn bij de electro-mechanische regelaar in één apparaat gecombineerd en dat wordt kortweg thermostaat genoemd. Met deze thermostaten is slechts één instelling mogelijk. Bij regeling van een dag-nacht temperatuur zouden twee thermostaten nodig zijn, die dan met een tijd klok worden omgeschakeld.

De voordelen van het electronische type zijn als volgt.

De "thermostaat" heeft geen bewegende delen en door de kleine afmetingen en gering gewicht wordt een grote gevoeligheid verkregen. De instelling van het regelpunt kan hierbij op afstand plaats vinden, waarbij het mogelijk is de verder benodigde apparatuur centraal op een gemakkelijk toegankelijke plaats te monteren. Met één opnemer kunnen meerdere temperatuurniveaus worden ingesteld, b.v. dag-nacht en lichtverhoging. Het uitbreiden van een electronische regeling met een aantal andere besturingen kan hierbij veel eenvoudiger worden uitgevoerd.

Door toepassing van electronische apparatuur kunnen de verschillende onderdelen na elkaar worden aangeschaft en op simpele wijze met elkaar worden verbonden.



Afb. 21 Verband lichtsterkte en temperatuurstelling op een zonnige en een donkere dag in januari.

4. Automatische regelapparatuur

4.1. Inleiding

De belangrijkste hulpmiddelen om het kasklimaat te regelen zijn de verwarmingsinstallatie en de luchtramen. Met de verwarming wordt warmte in de kas gebracht. De luchtramen dienen om kaslucht te mengen met, of soms geheel te vervangen door de buitenlucht. De lucht buiten is kouder, heeft een lager vochtgehalte en heeft, afhankelijk van het eventueel op kunstmatige wijze koolzuurgas doseren in de kas, een lager of hoger CO₂-gehalte dan de kaslucht. Het ventileren heeft daardoor een grote invloed op de factoren die het kasklimaat bepalen. Daarom worden de luchtramen tegenwoordig niet meer uitsluitend gebruikt om de luchttemperatuur te verlagen, maar ook ter verlaging van de luchtvochtigheid.

De beheersing van het kasklimaat wordt enerzijds beperkt door de regelmogelijkheden van verwarming en luchting, anderzijds door de weersomstandigheden buiten. Tegenwoordig is beter bekend welke eisen de belangrijkste gewassen aan het klimaat stellen dan enkele jaren geleden. Bovendien zijn door de ontwikkeling van de regeltechniek nauwkeuriger regelingen mogelijk. Hierdoor heeft de automatische klimaatbeheersing een belangrijke stimulans gekregen. Er is meet- en regelapparatuur beschikbaar gekomen waarmee de verwarming en de luchting geregeld kunnen worden. Door het gecompliceerde effect dat de ventilatie op het klimaat heeft, zijn de eisen voor het bedienen van de luchtramen niet duidelijk omschreven. Bij het gecombineerd regelen van de verwarming en de luchting zijn de eisen nog minder duidelijk geformuleerd. Hierdoor is de regelapparatuur nog niet voor alle omstandigheden bruikbaar.

Toch bestaat er in de praktijk een grote behoefte om het klimaat automatisch (verwarming in combinatie met luchting) te regelen. Er is een vrij groot aanbod van automatische regelapparatuur. De manier waarop geregeld wordt is echter bij geen enkel fabrikaat gelijk aan een ander. In de volgende gedeelten wordt een overzicht gegeven van de thans in de handel zijnde automatische regelapparatuur voor klimaatbeheersing in kassen.

4.2. Klimaatbeheersingsapparatuur

Hoe ingewikkeld de huidige klimaatbeheersingsapparatuur ook is, het enige wat ze doet is het regelen van de verwarming en van de luchtramen. Men tracht hiermee het kasklimaat aan te passen aan de buitenomstandigheden, vooral aan het licht, in

overeenstemming met de eisen die het gewas aan het klimaat stelt. Ze regelt de verwarming en de luchting op dezelfde wijze als een tuinder met de hand zou willen doen. Het voordeel van automatisch regelen is, dat het nauwkeuriger en sneller gebeurt en ook op tijden dat er niemand op het bedrijf aanwezig is.

De apparatuur kan niet denken. Ze doet wat haar wordt opgedragen. De kweker moet deze opdracht verstrekken. Hiervoor is kennis nodig van de eisen die de plant stelt, van de invloed die een bepaalde verstelling van de mengklep of de luchtramen op het kasklimaat heeft en van de werking van de regelapparatuur. Een moeilijkheid vormt daarbij de grote verscheidenheid aan automatische klimaatbeheersingsapparatuur, die duidelijk nog in de ontwikkelingsfase verkeert. Door ermee te werken in de praktijk wordt men opmerkzaam gemaakt op onvolkomenheden en vinden er nog steeds aanpassingen plaats.

In de volgende gedeelten zal een overzicht worden gegeven van de regelmogelijkheden van de op dit moment in de handel zijnde apparatuur, waarbij vooral gelet wordt op punten van overeenkomst.

Het is onmogelijk van alle in de handel zijnde apparaten de verschillende onderdelen volledig te beschrijven. Met opzet zijn verschillende regeltechnische bijzonderheden weggelaten, hoewel deze vaak belangrijk zijn voor het goed functioneren. We hebben ons beperkt tot een globale omschrijving van de regelprincipes. Deze worden met behulp van eenvoudige grafieken verduidelijkt. Met behulp van pijlen wordt aangegeven waar de gebruiker instelmogelijkheden heeft.

4.2.1. Aanpassing aan het beschikbare licht

Alle automatische regelapparaten voor klimaatbeheersing hebben gemeen dat ze het klimaat, of minstens een onderdeel hiervan trachten aan te passen aan het beschikbare licht.

Een lichtopnemer meet hiertoe voortdurend de lichtsterkte. Verandert deze dan zorgt de regelaar ervoor dat de temperatuur op een andere waarde wordt ingesteld. In sommige gevallen wordt de instelling van de minimum-buistemperatuur bij meer licht naar een lagere waarde gestuurd.

Het is niet steeds even duidelijk hoe het verband is tussen licht en temperatuurverschuiving. Sommige fabrikanten geven op dat bij hun apparatuur de temperatuurinstelling recht evenredig met de lichtverandering verschoven wordt. In de praktijk blijkt dit meestal niet het geval. Bijna steeds vindt bij een lage lichtintensiteit een meer dan evenredige temperatuurverschuiving plaats, terwijl bij een hoge lichtintensiteit de verschuiving minder dan evenredig is. Met een instelknop is die temperatuur in te stellen waarop geregeld moet worden als de lichtopnemer de

maximale hoeveelheid licht meet. Bij minder licht wordt automatisch op een lagere temperatuur geregeld. (zie afb. 21).

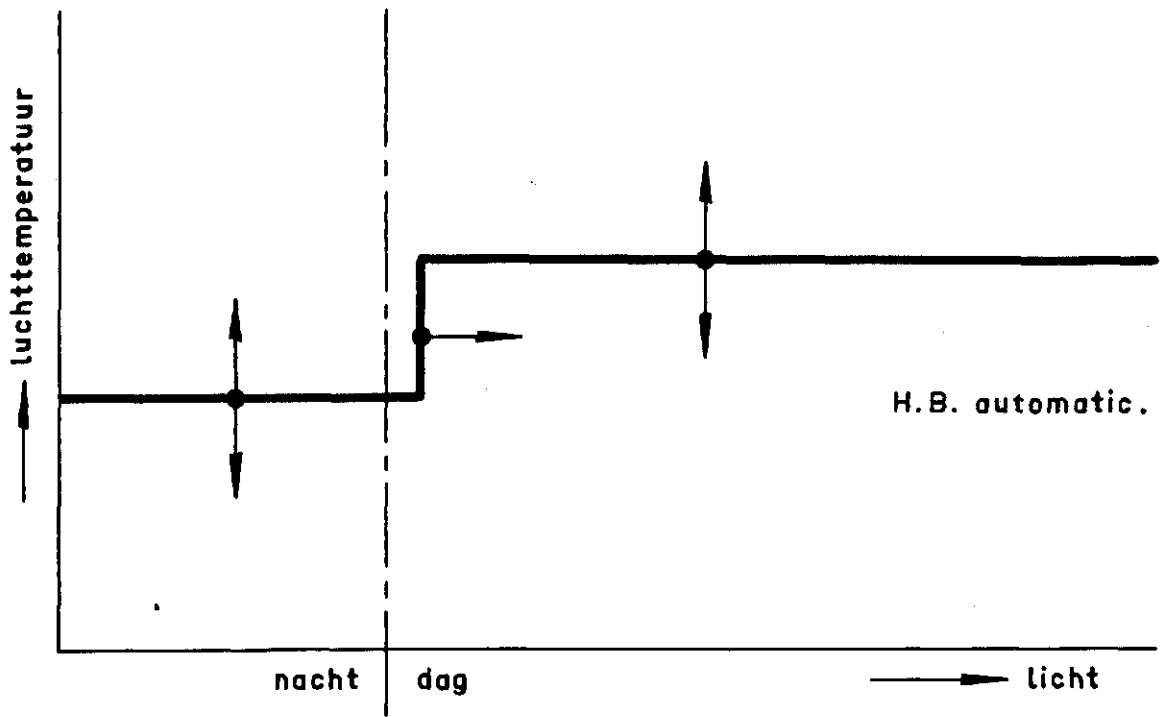
Het maakt een groot verschil of de lichtopnemer maximaal 20.000 lux kan meten (de lichthoeveelheid in februari midden op een heldere dag) of dat deze 100.000 lux kan meten (ongeveer het maximum in de zomer). Bij het instellen van een gewenste temperatuurverhoging moet hiermee rekening worden gehouden. Bij het gebruik van een lichtmeter die gevoelig is tot 100.000 lux moet om in de winter een bepaalde temperatuurverhoging te realiseren, een veel grotere temperatuurverhoging worden ingesteld.

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de eigenschappen van de lichtmeters die zijn ingebouwd bij de verschillende apparaten en de maximale temperatuurverhoging die bij het hoogste te meten lichtniveau kan worden ingesteld. Hierbij kan opgemerkt worden dat het voor de fabrikanten geen technische moeilijkheden geeft het bereik en de instellingsmogelijkheden te veranderen.

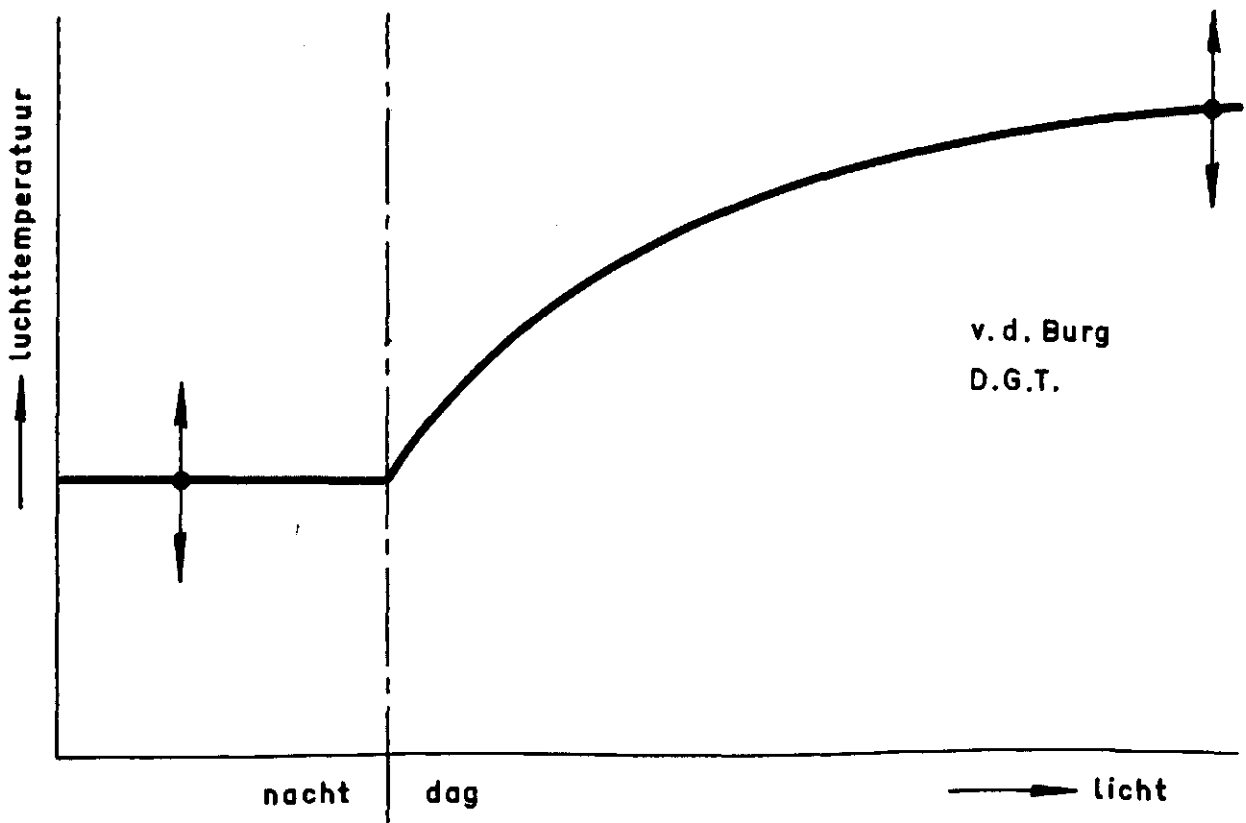
Tabel 1 Meetbereik van de lichtopnemers

fabrikaat	bereik lichtopnemer		maximum temperatuurverhoging
	minimaal in lux	maximaal in lux	
Billman	100 -10.000	1.000-100.000	20 °C boven dagtemperatuur
V.d. Burg	0	30.000	20 °C boven nachttemperatuur
D.G.T.	0	30.000	10 °C boven nachttemperatuur
Hoogendoorn	0	20.000+100.000	10 °C boven dagtemperatuur
V.d. Hoeven	0	10.000-100.000	10 °C boven dagtemperatuur
HB-automatic	0	30.000	10 °C boven nachttemperatuur
V.d. Meer	100 - 1.000	1.000-100.000	20 °C boven dagtemperatuur
Indal	1000-10.000	10.000-100.000	15 °C boven dagtemperatuur
Priva	2000	20.000	10 °C boven dagtemperatuur
Satchwell	0	50.000	8 °C boven dagtemperatuur
Van Vliet	0	20.000+100.000	20 °C boven dagtemperatuur

Bij de apparatuur van Billman, v.d. Hoeven, v.d. Meer en Indal kan het bereik van de lichtmeter via instelknoppen worden gewijzigd. Bij de fabrikaten van Hoogendoorn en Van Vliet kan via een schakelaar het regelbereik van 0 tot 20.000 of van 0 tot 100.000 lux worden gekozen. Bij alle fabrikaten is in de lichtmeter een traagheid ingebouwd, zodat elke lichtverandering niet direct gevolgd wordt.



Afb. 22 Verwarming, omschakeling nacht – dag door het licht.



Afb. 23

Verwarming, overgang naar dag door lichtafhankelijke temperatuurverhoging.

Hierdoor krijgt men een stabiele regeling, wat vooral ook bij wisselend weer van belang is.

4.2.2. Regeling van de verwarming

Hoewel een van de kenmerken van de automatische klimaatregelapparatuur is dat de verwarming geregeld wordt in combinatie met de luchting, wordt in dit overzicht in eerste instantie aandacht besteed aan de manier waarop bij de verschillende apparaten de verwarming en de ventilatie afzonderlijk geregeld worden. Daarna zal de combinatie van beide besproken worden.

De verwarming dient om te voorkomen dat de ruimtetemperatuur te laag wordt. Als de ruimtetemperatuur lager is dan de gewenste waarde, wordt de regelafsluiter (meestal mengklep genoemd) opengestuurd. De ingestelde temperatuur kan niet onder alle omstandigheden gehandhaafd worden. Afhankelijk ervan of voor de verwarming een P-, P.I.-, of P+P.I.-regeling gebruikt wordt, zal bij koud weer de kasttemperatuur meer of minder beneden de ingestelde waarde komen (zie 3.7.). Om een te lage temperatuur bij koud weer tegen te gaan wordt soms gebruik gemaakt van een buitenvoeler, waarmee de ingestelde ruimtetemperatuur of de buistemperatuur wordt aangepast aan de buitentemperatuur.

Bij de klimaatbeheersingsapparatuur wordt verwarmd op een variabel temperaturniveau. Bij licht wordt automatisch op een ander niveau geregeld. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen drie principes volgens welke de aanpassing plaats vindt. Deze zijn als volgt.

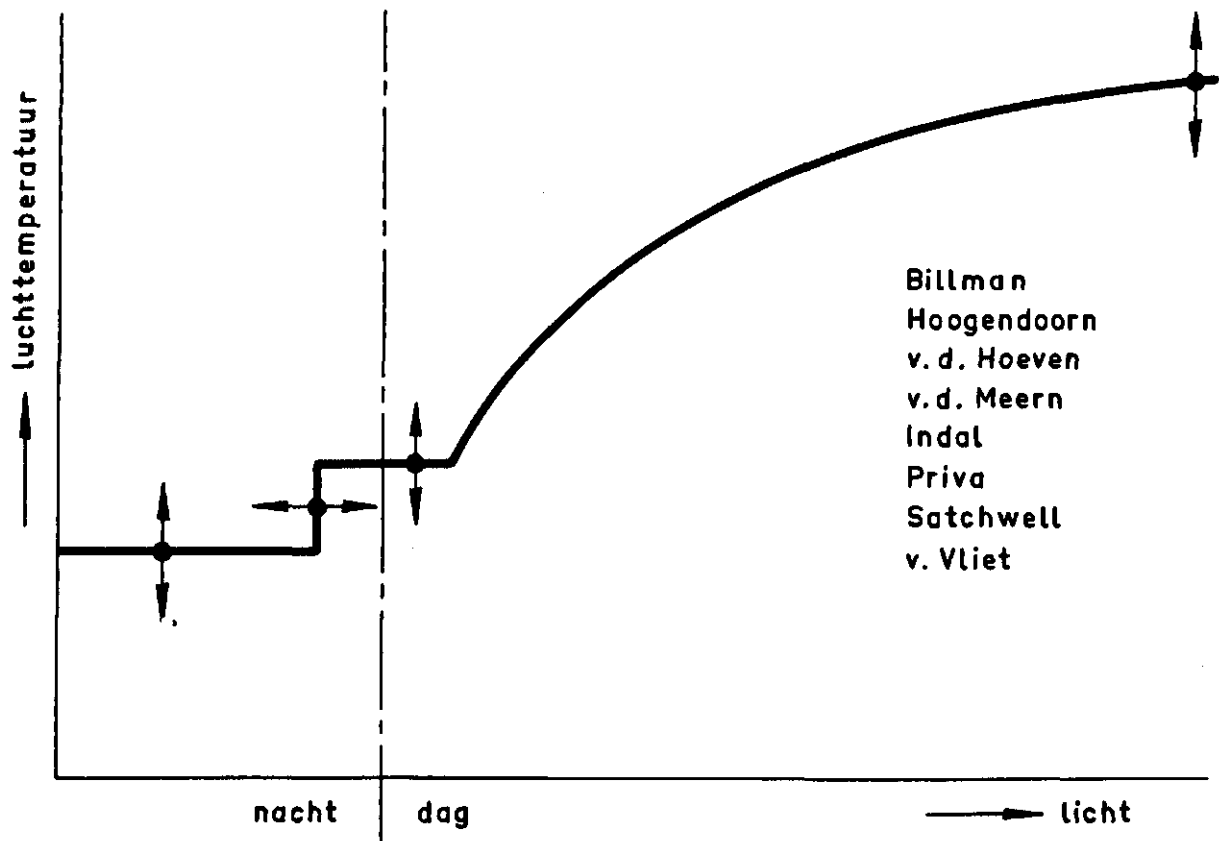
a. Een vaste nachttemperatuur met een omschakeling onder invloed van het licht naar een vaste dagtemperatuur. (afb. 22)

De overgang vindt hierbij plaats als het licht is, dus in het algemeen zal de instelling op een hoger niveau komen als de kas zelf van nature reeds in temperatuur stijgt.

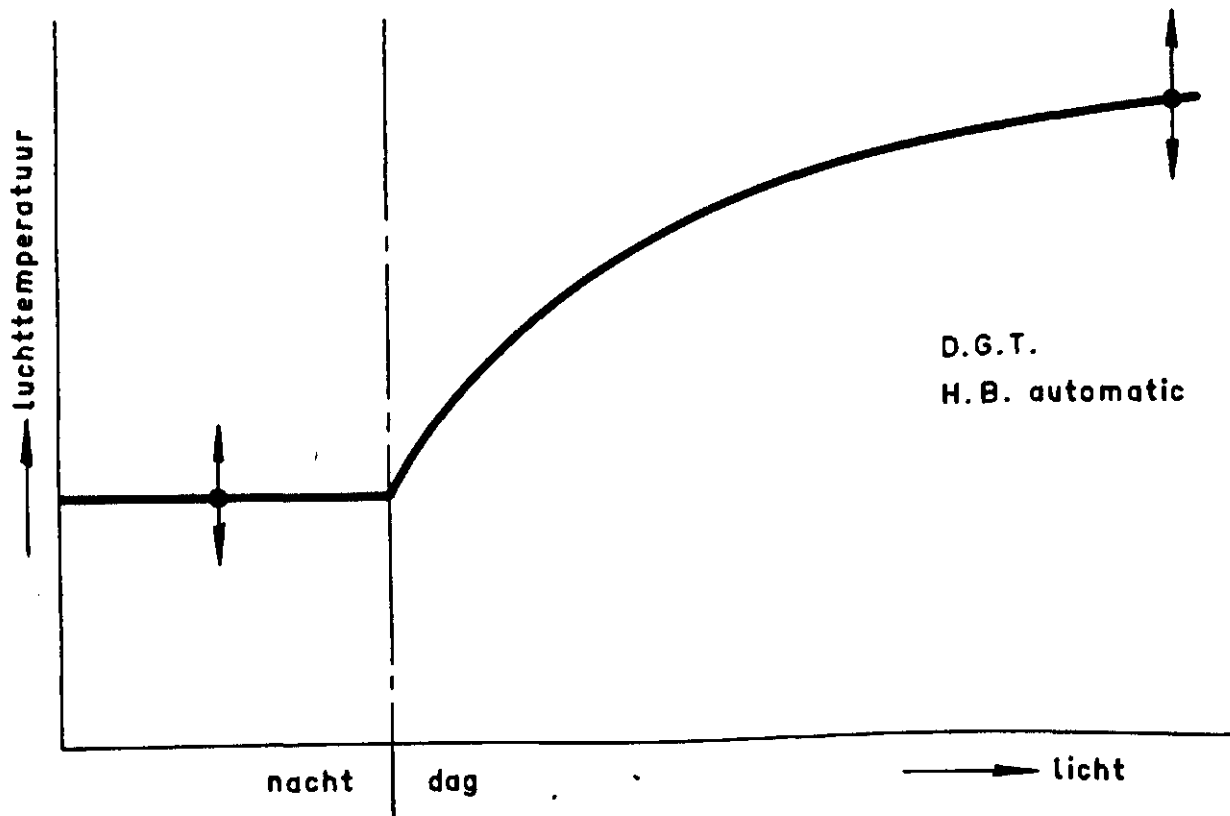
Bovendien kan algemeen gesteld worden, dat een sprongsgewijze verandering niet een sprongsgewijze verandering in kasttemperatuur tot gevolg heeft. Zie hiervoor ook wat over traagheid opgemerkt is onder 3.3.

b. Een vaste nachttemperatuur en op de dag een geleidelijke verschuiving naar een hogere temperatuur afhankelijk van de lichthoeveelheid. (afb. 23)

Hierbij vindt een geleidelijke verschuiving van de gewenste temperatuur plaats. Er moet 's morgens al vrij veel licht zijn om enige graden boven de nachttemperatuur te komen.



Afb. 24 Verwarming, lichtafhankelijk, omschakeling nacht-dag door schakelklok.



Afb. 25 Ventilatie, lichtafhankelijk.

c. Een vaste nachttemperatuur, een vaste minimum dagtemperatuur en een verschuiving naar een hogere dagtemperatuur onder invloed van het licht. (afb. 24)

De overschakeling van dag naar nacht en omgekeerd gebeurt met behulp van een schakelklok en kan daarom op elk gewenst tijdstip plaats vinden. De omschakeling naar de dagtemperatuur gebeurt in de praktijk meestal enige tijd voordat het licht is.

Door Priva en Satchwell wordt gebruik gemaakt van een astronomische klok, waardoor het tijdstip van overgang in de loop van het jaar automatisch wordt verschoven.

4.2.3. Regeling van de ventilatie

Zoals eerder reeds is opgemerkt, heeft het ventileren een veelomvattend effect op het kasklimaat. Bij de automatische regeling van het klimaat kan zowel de warmteafvoer als de vochtafvoer het belangrijkste doel van het luchten zijn. De regelapparaten waarmee men tracht met de luchtramen de temperatuur te beheersen zijn verre in de meerderheid. De luchtramen worden geopend indien de luchttemperatuur of het vochtgehalte de ingestelde waarde overschrijdt.

Voor het luchten wordt meestal gebruik gemaakt van een proportionele regeling. In sommige gevallen kunnen de luchtramen aangepast worden aan de buitenomstandigheden door een maximum- of minimum-begrenzing. In alle gevallen kan een aanpassing plaats vinden door de instelling van de proportionele band (zie 3.7.2.).

Evenals bij de verwarming wordt op de dag op een andere waarde van de temperatuur of de luchtvochtigheid geventileerd als 's nachts.

Dit kan weer gebeuren volgens drie principes.

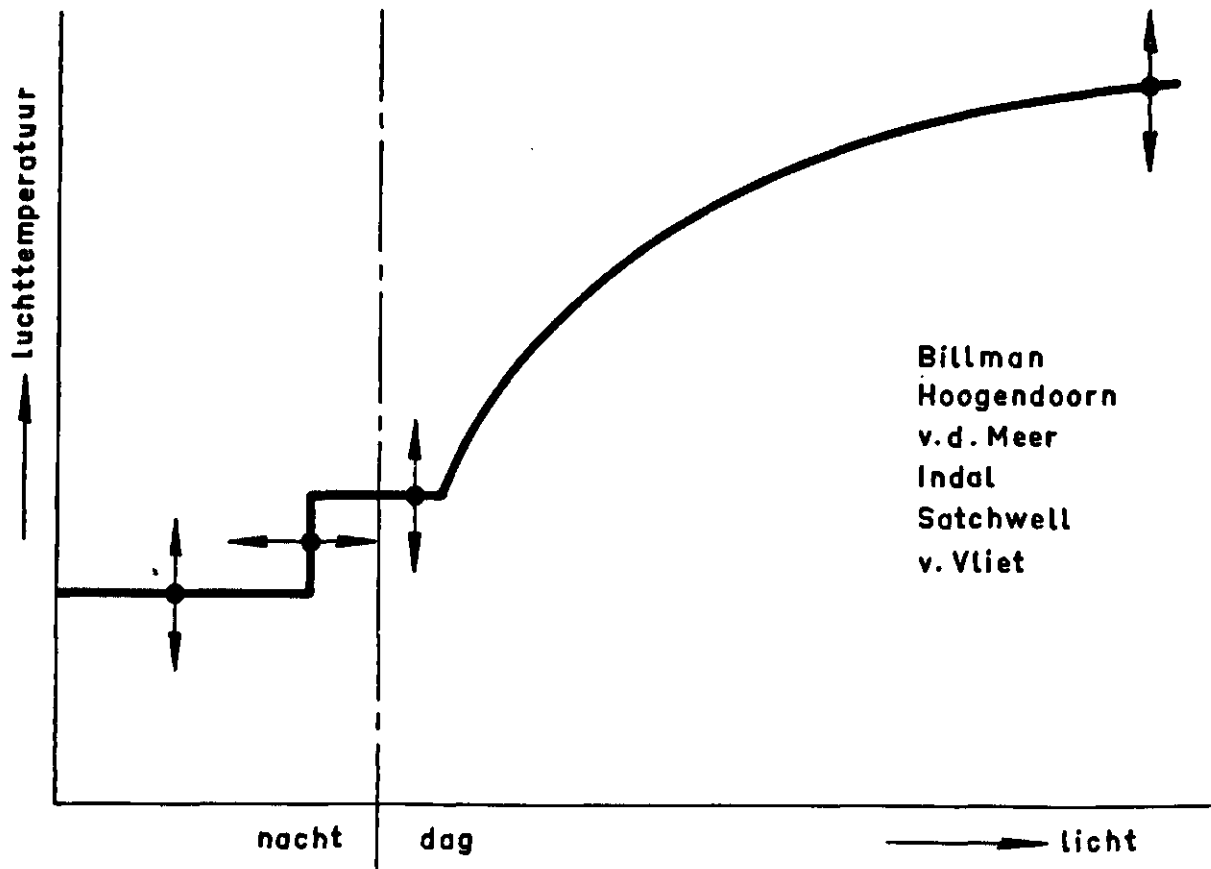
a. Een vaste temperatuurinstelling voor de nacht en op de dag een geleidelijke verschuiving van de ingestelde temperatuur afhankelijk van het aanwezige licht. (afb.25)

Doordat hierbij slechts een hogere temperatuur wordt toegelaten als het reeds licht is, wordt er bij donker weer en 's morgens vroeg gemakkelijk gelucht.

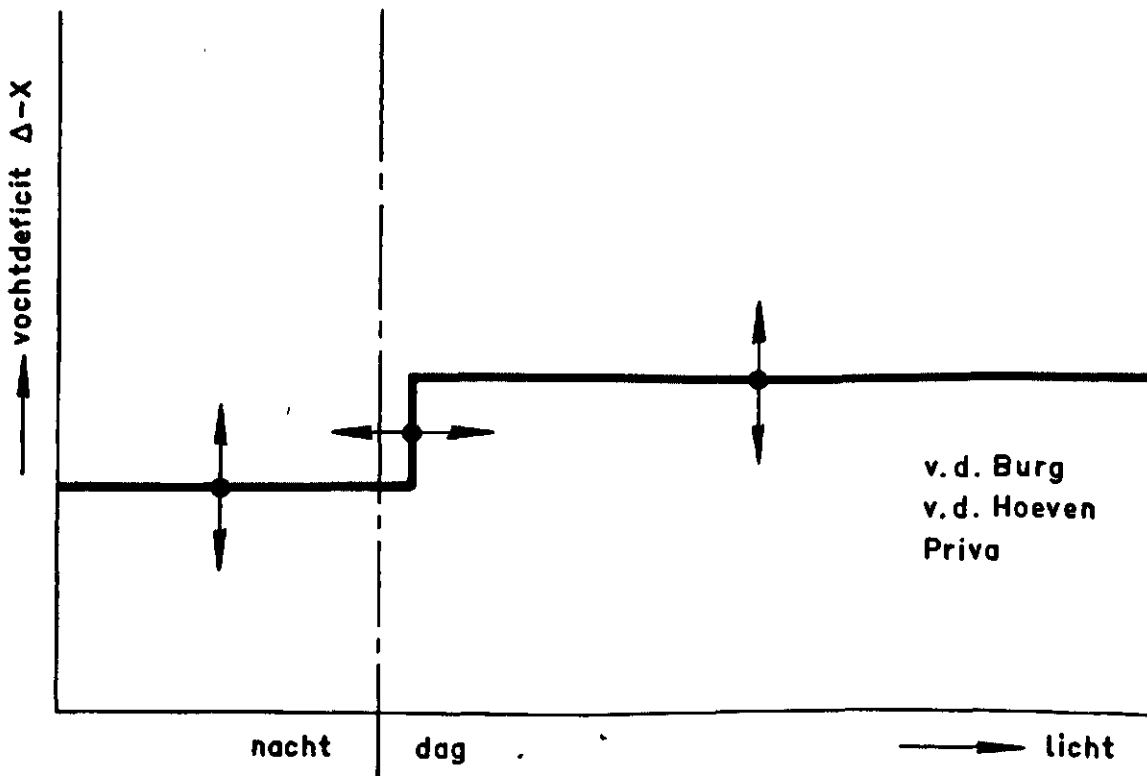
b. Een vaste nachttemperatuur, een vaste minimum-dagtemperatuur en een geleidelijke verschuiving van de dagtemperatuur onder invloed van het licht. (afb. 26)

De overschakeling van dag naar nacht en omgekeerd vindt plaats met een schakelklok. Meestal gebeurt de overschakeling naar de dag tegelijkertijd met de overschakeling van de verwarming.

Bij de meeste apparaten werkt de lichtverhoging zowel op de dag- als op de nachttemperatuur. Hiermee wordt voorkomen dat, wanneer voor het donker reeds wordt teruggeschakeld naar de nachttemperatuur, de overgang te groot zal zijn en de luchtramen te ver open zullen gaan.



Afb. 26 Ventilatie, lichtafhankelijk, met nacht – dag omschakeling.



Afb. 27 Ventilatie op vochtdeficit.

c. Luchten wanneer het vochtgehalte van de kaslucht te hoog of het vochtdeficit te klein is. Voor de dag en de nacht kan een verschillende waarde worden ingesteld. (afb. 27)

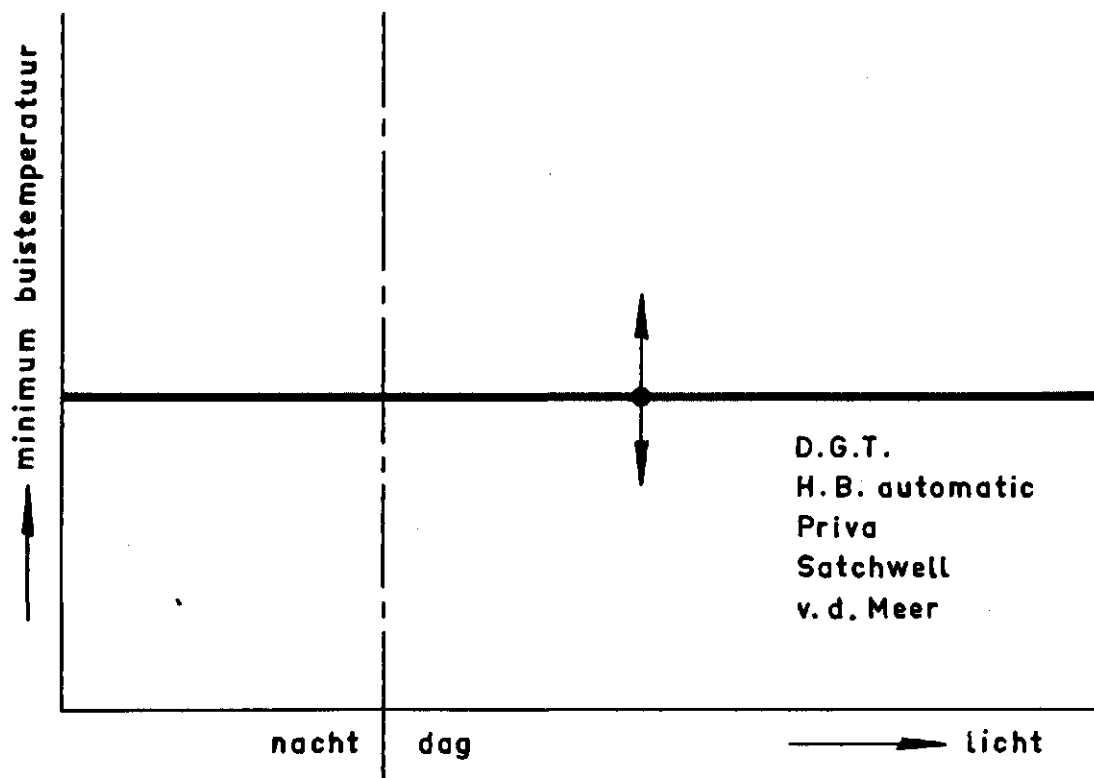
De overgang van de nacht naar de dag kan via een schakelklok worden gerealiseerd (V.d. Burg en V.d. Hoeven) of via een lichtopnemer (Priva). Indien een schakelklok gebruikt wordt kan de lucht gedroogd worden 's morgens voordat het licht is. Als de luchtramen geopend worden bij een te hoog vochtgehalte van de kaslucht, kan het voorkomen dat er te veel gelucht wordt, bijvoorbeeld bij een groot gewas. Hierdoor zakt de temperatuur te ver door de luchtramen te sluiten, ondanks een hoog vochtgehalte, bij overschrijding van een ingestelde buistemperatuur (V.d. Burg, V.d. Hoeven) of bij onderschrijding van een ingestelde ruimtetemperatuur (Priva). Anderzijds kan het voorkomen dat er te weinig gelucht wordt, bijvoorbeeld bij een jong gewas of in de zomer bij veel instraling. In dit geval worden de luchtramen geopend, ondanks een te groot vochtdeficit, wanneer de ruimtetemperatuur een ingestelde temperatuur overschrijdt. De temperatuur waar boven wordt ingegrepen kan voor de dag en de nacht op een verschillende waarde worden ingesteld (Priva en V.d. Hoeven). Soms kan deze ingestelde temperatuur door het licht worden verschoven (V.d. Hoeven en V.d. Burg).

Bij de apparatuur van V.d. Hoeven is het mogelijk om de luchting op het vochtdeficit geheel uit te schakelen; dan wordt er gelucht uitsluitend bij overschrijding van de maximum-temperatuur.

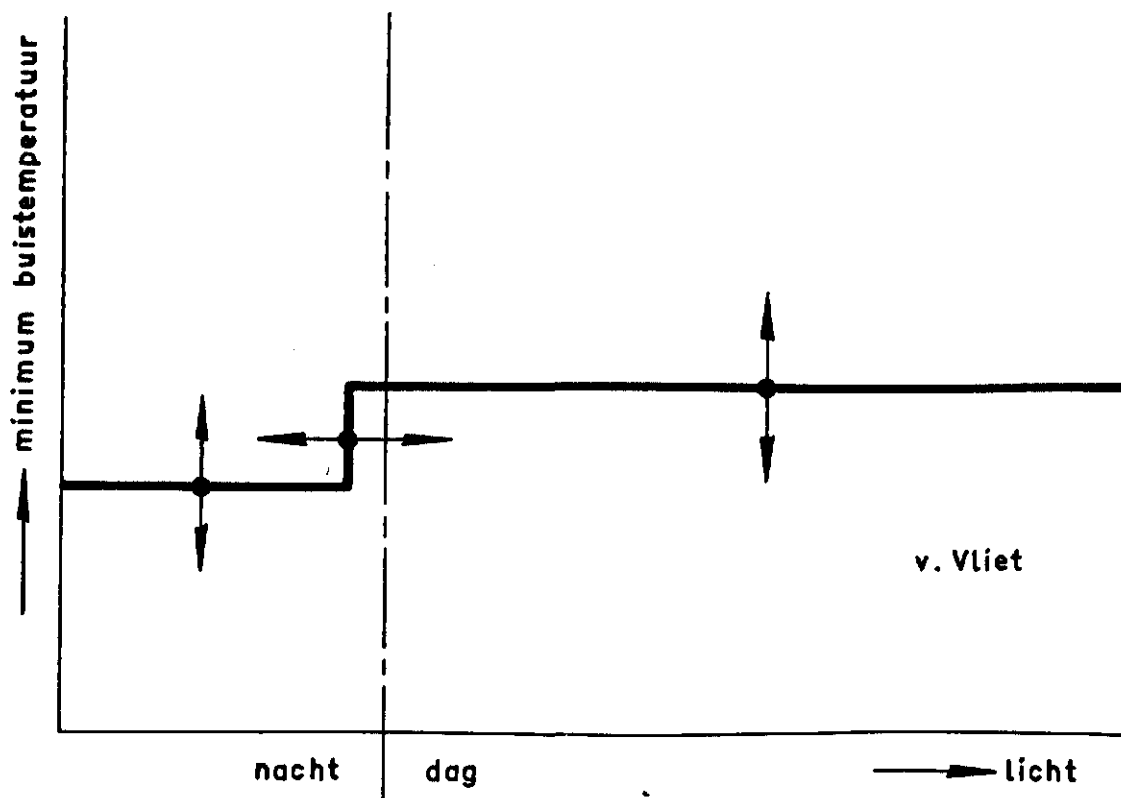
4.2.4. Minimum-buistemperatuur

Ventilatie of verversing van kaslucht met de luchtramen kan alleen plaats vinden als er een temperatuurverschil is tussen kaslucht en buitenlucht. Hiervoor is het nodig dat er of door de zon of via de verwarming energie in de kas komt. Bij donker weer en hoge buitentemperatuur zal er van nature weinig ventilatie zijn. Om onder deze omstandigheden de luchtuitwisseling te stimuleren kan een minimum-buistemperatuur worden ingesteld. Hierdoor zal bij hoge buitentemperatuur de ruimtetemperatuur boven de gewenste waarde stijgen, waardoor de ramen verder geopend worden. Op deze manier is een minimum-ventilatie ook onder ongunstige omstandigheden verzekerd. Zelfs bij een regeling van de ventilatie op het vochtdeficit wil men op deze wijze een minimale ventilatie garanderen.

De instelling van de minimum-buistemperatuur kan volgens drie principes geschieden.



Afb. 28 Minimum buistemperatuur, vaste instelling.



Afb. 29 Minimum buistemperatuur, dag-nacht instelling.

a. Een vaste minimum-buistemperatuur voor dag en nacht (afb. 28).

Hierbij wordt geen rekening gehouden met de energie die door de zon in de kas komt. Om te voorkomen dat de buistemperatuur bij veel licht te hoog blijft, waardoor teveel gelucht zou moeten worden, mag de instelling niet te hoog worden gekozen.

b. Een vaste minimum-buistemperatuur voor de nacht en een vaste waarde voor de dag (afb. 29).

Ook bij deze methode wordt geen rekening gehouden met de energie die door de zon in de kas gebracht wordt.

c. Een vaste minimum-buistemperatuur voor de nacht, een vaste waarde voor de dag en een geleidelijke verschuiving naar een lagere waarde onder invloed van het licht (afb. 30).

Er kan voor de verschillende weersomstandigheden een andere minimale ventilatie worden ingesteld. De grootste stimulans wordt op deze wijze verkregen gedurende de dag bij donker weer. De overschakeling van nacht naar dag en omgekeerd gebeurt met een schakelklok en kan tegelijk met de omschakeling van de ruimtetemperatuur geschieden. Bij Indal kan deze overgang op een willekeurig tijdstip plaats vinden, onafhankelijk van de tijd van overgang van de ruimtetemperatuur.

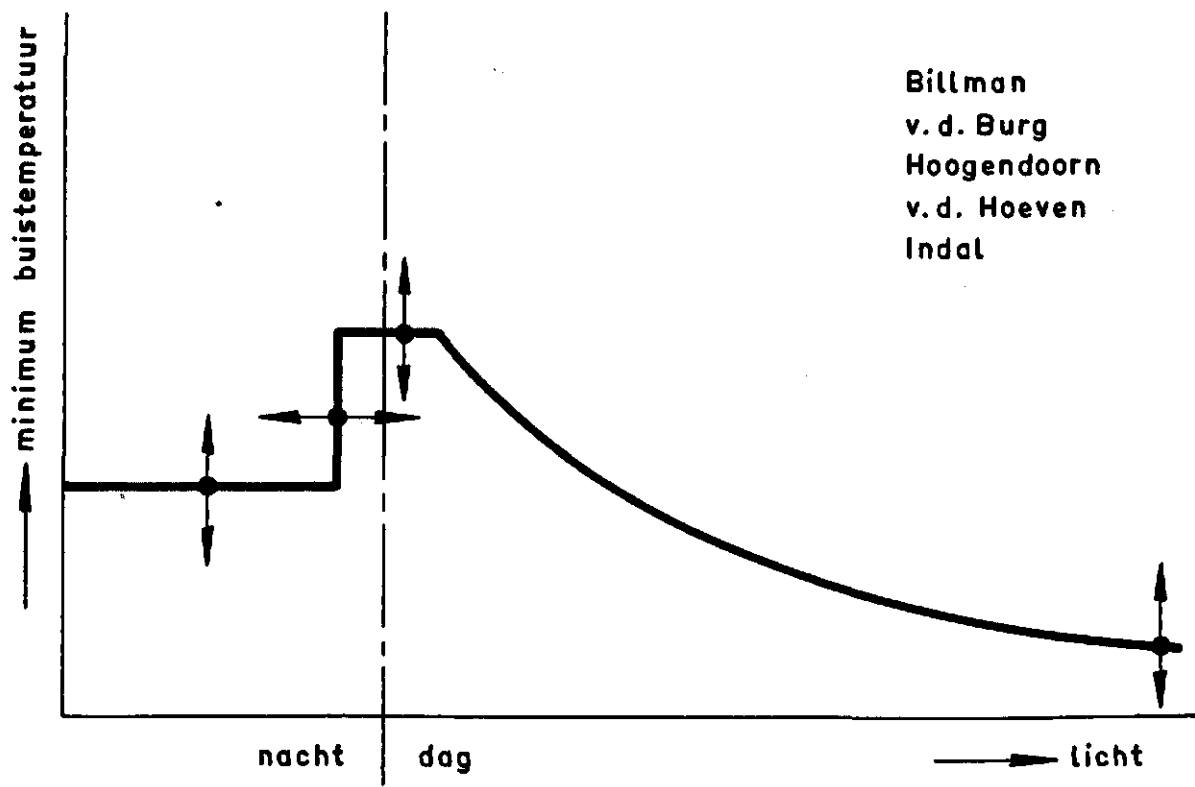
Als de omschakeling gebeurt voordat het licht is, en vooral wanneer niet tegelijkertijd naar een hogere ruimtetemperatuur wordt gestreefd, kan 's morgens bij zacht weer extra drooggestookt worden.

4.2.5. Gecombineerde regeling van verwarming en ventilatie

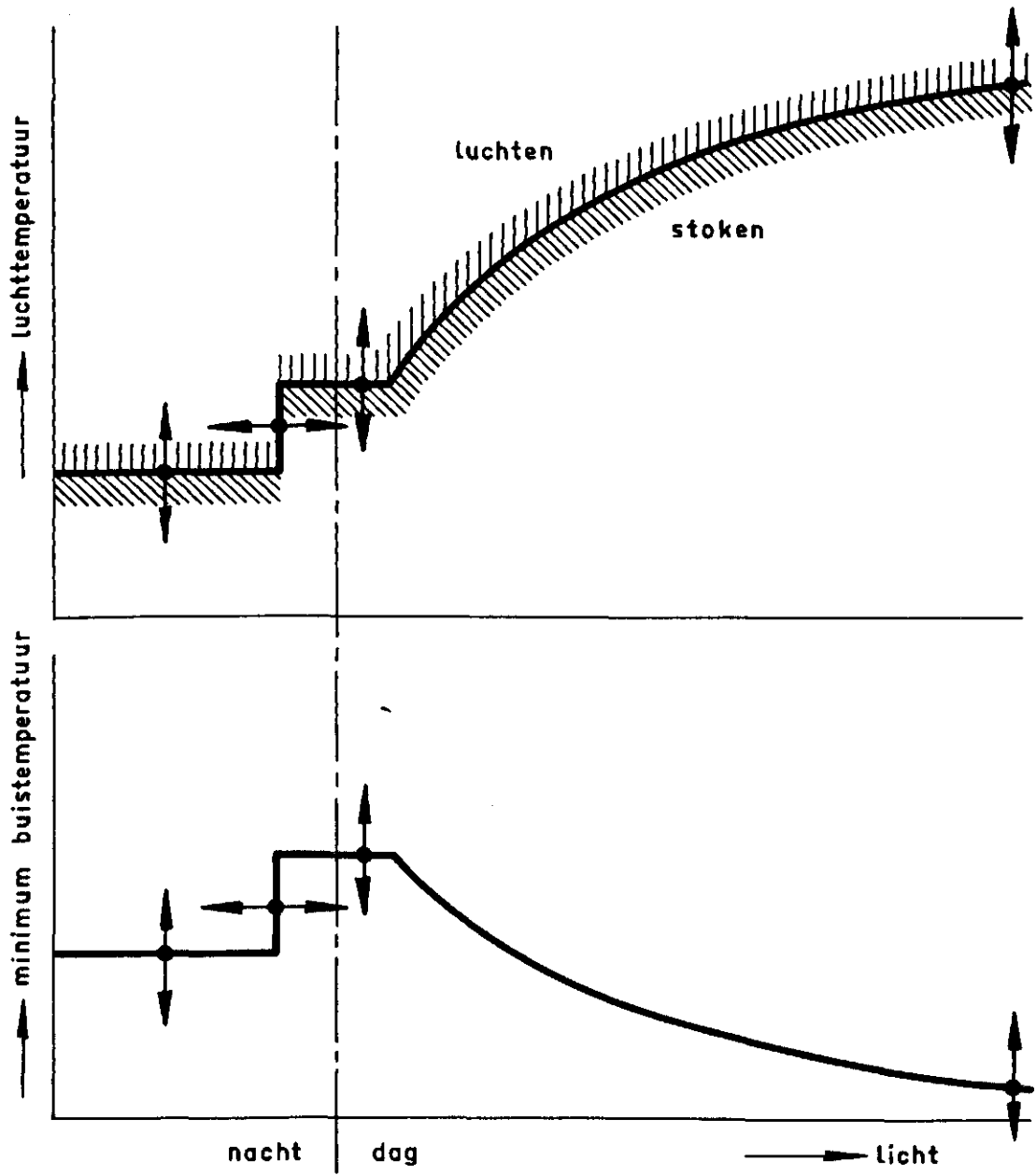
Met de automatische klimaatbeheersingsapparatuur wordt zowel de verwarming als de luchting geregeld. Aan de hand van de hiervoor beschreven regelprincipes zijn diverse combinaties te maken. Alle fabrikaten zijn dan ook verschillend van elkaar. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de in de handel zijnde regelapparatuur. Met een verticale arcering wordt in de figuren het regelgebied van de luchting aangegeven, met een schuine arcering het regelgebied van de verwarming. Uit de plaats van de arcering valt dus op te maken waar de proportionele band (bandbreedte) ligt.

a. Een lichtafhankelijke temperatuurinstelling, waarbij het stoken en het luchten gebeurt vanaf eenzelfde temperatuur, gecombineerd met een minimum-buistemperatuur, die lichtafhankelijk verschoven wordt (afb. 31).

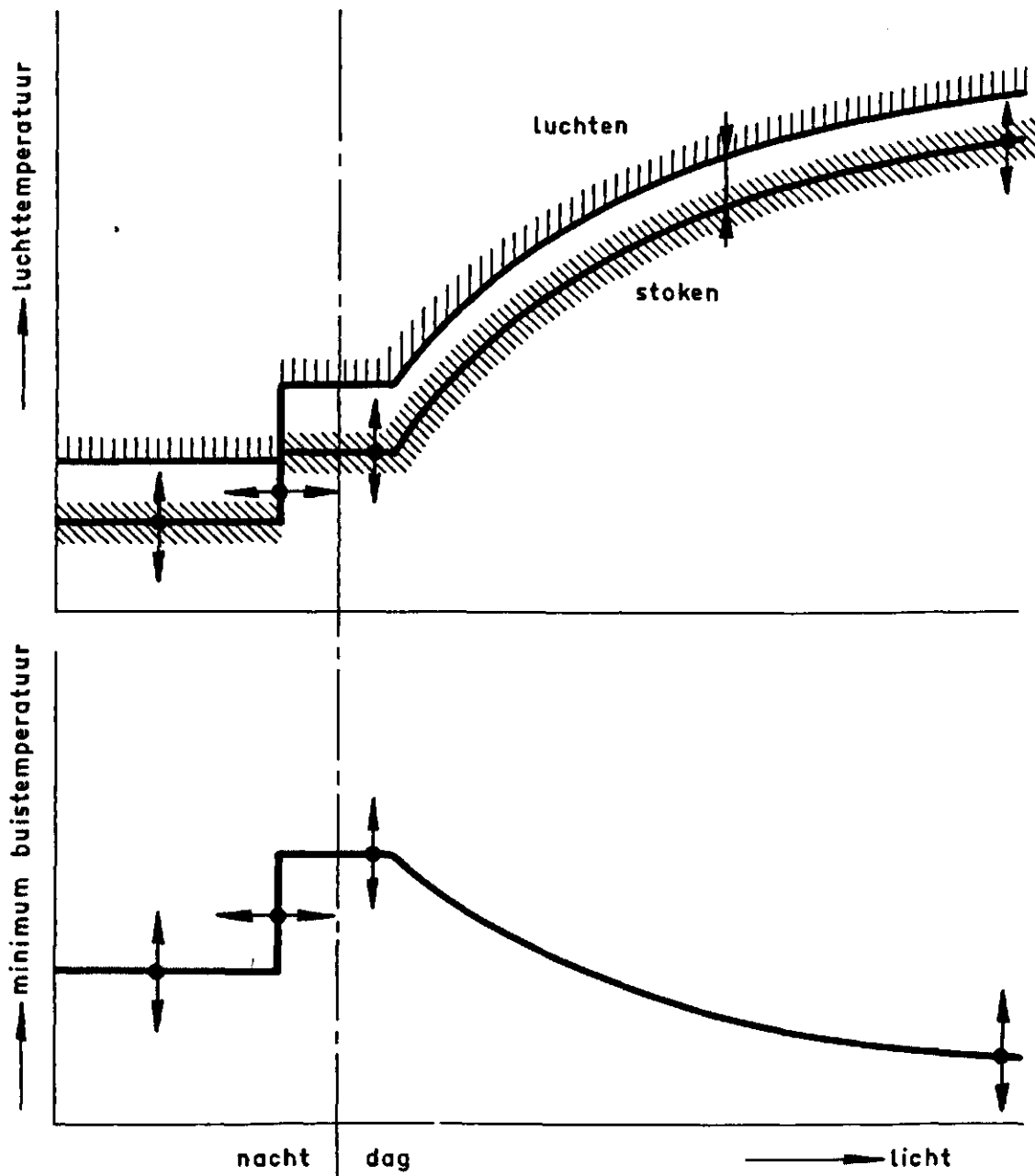
Als de ruimtetemperatuur beneden de ingestelde waarde komt, gaat de mengklep open en wordt het water in de buizen warmer. De buizen worden heter naarmate



Afb. 30 Minimum buistemperatuur, lichtafhankelijk.



Afb. 31 Indol – regeling.



Afb. 32 Billman – en Hoogendoorn-regelingen.

de temperatuur verder onder de ingestelde waarde komt. In welke mate dit gebeurt, kan worden ingesteld met een regelknop voor de proportionele band, in dit geval demping genoemd. Als de temperatuur in de kas gelijk is aan de ingestelde waarde moet de watertemperatuur in de verwarmingsbuizen gelijk zijn aan de ingestelde minimum-waarde.

De luchtramen liggen dan dicht of op een ingestelde minimum-stand. Bij stijging van de ruimtetemperatuur worden de ramen opengestuurd. Ook dit gebeurt evenredig met het verschil tussen de werkelijke en de ingestelde temperatuur. Bij het openen van de ramen blijft de buistemperatuur gehandhaafd op de ingestelde minimum-waarde. Als er weinig warmteverliezen zijn door het glasdek, wat het geval is als de temperatuur buiten weinig lager is dan in de kas, staan de luchtramen open en de buizen op de minimum-temperatuur.

Bij toenemend licht wordt de ingestelde ruimtetemperatuur verhoogd en de ingestelde minimum-buistemperatuur verlaagd. Dit heeft tot gevolg dat de luchtramen meer dicht gaan en de buistemperatuur verlaagd wordt. De ventilatie neemt dan af en er blijft meer vocht in de kas. De verdamping wordt daardoor enigszins atgeremd. Omgekeerd zal bij afnemend licht de verdamping gestimuleerd worden door een grotere ventilatie, die dan automatisch wordt gerealiseerd. Op deze manier worden schokken in de verdamping die het gevolg zijn van wisselingen in zonnestraling, enigszins afgevlakt.

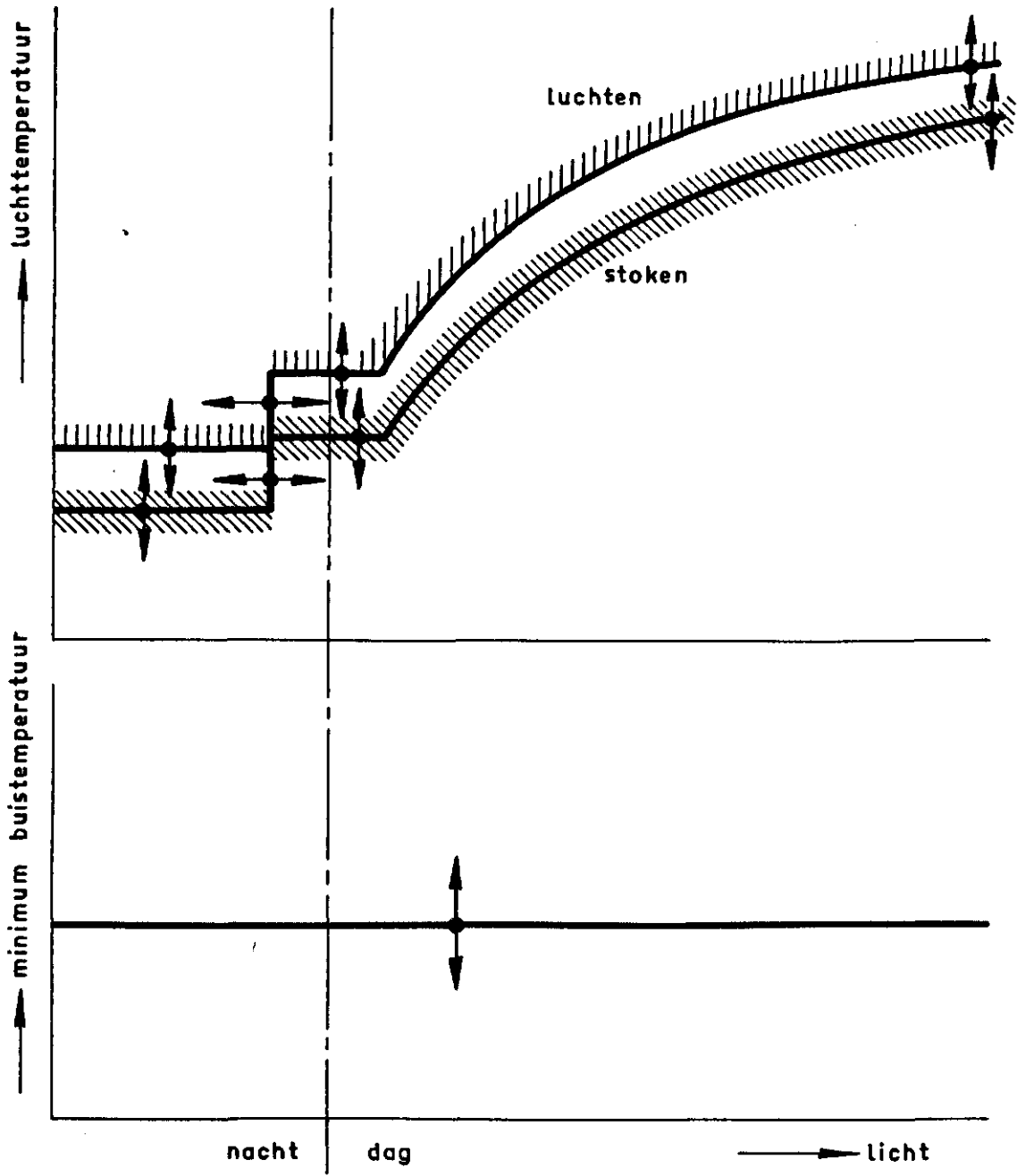
Als de ingestelde temperatuur voor de regeling van de verwarming gelijk is aan die voor de luchting, is het gevaar groot dat bij wisselend weer een pendelen tussen verwarmen en luchten op gaat treden. Dit moet worden tegengegaan door een juiste instelling van de begrenzungen, zowel voor de luchtramen als voor de buistemperatuur en door een goede instelling van de proportionele band.

b. Twee lichtafhankelijke temperatuurinstellingen, nl. een voor het luchten en een voor het stoken. In combinatie hiermee wordt de minimum-buistemperatuur lichtafhankelijk verschoven (afb. 32).

De nadelen van deze manier van regelen t.o.v. de vorige zijn, dat een nagestreefde temperatuur minder nauwkeurig wordt gerealiseerd en dat bij donker weer de luchtvochtigheid soms te hoog kan worden doordat het luchten te lang wordt uitgesteld.

Hier staan echter verschillende voordelen tegenover, nl.

1. Er is minder gevaar dat er pendelen tussen stoken en luchten optreedt.
2. Door het uitstellen van het luchten zijn er betere mogelijkheden voor CO₂-dosering en wordt er zuiniger gestookt.
3. Bij zonnig weer wordt de luchtvochtigheid beter beheerst.



Afb. 33 v.d. Meer - en Satchwell - regelingen

Bij de apparatuur van Hoogendoorn kan de dode zône onder invloed van meer licht vergroot worden. Hierdoor worden de nadelen voor een groot deel ondervangen, terwijl de voordelen nog vergroot worden.

c. Voor het stoken en luchten een afzonderlijke, lichtafhankelijke temperatuurinstelling, gecombineerd met een vaste minimum-buistemperatuur (afb. 33).

Bij de regelapparatuur van V.d. Meer kunnen de instellingen voor het luchten onafhankelijk van die voor het stoken worden gekozen.

Als men voor de minimum-dagtemperatuur het verschil tussen stoken en luchten zodanig neemt dat de proportionele band elkaar voor een gering deel overlappen, wordt bereikt dat bij weinig licht en zacht weer meer geventileerd wordt met warme buizen.

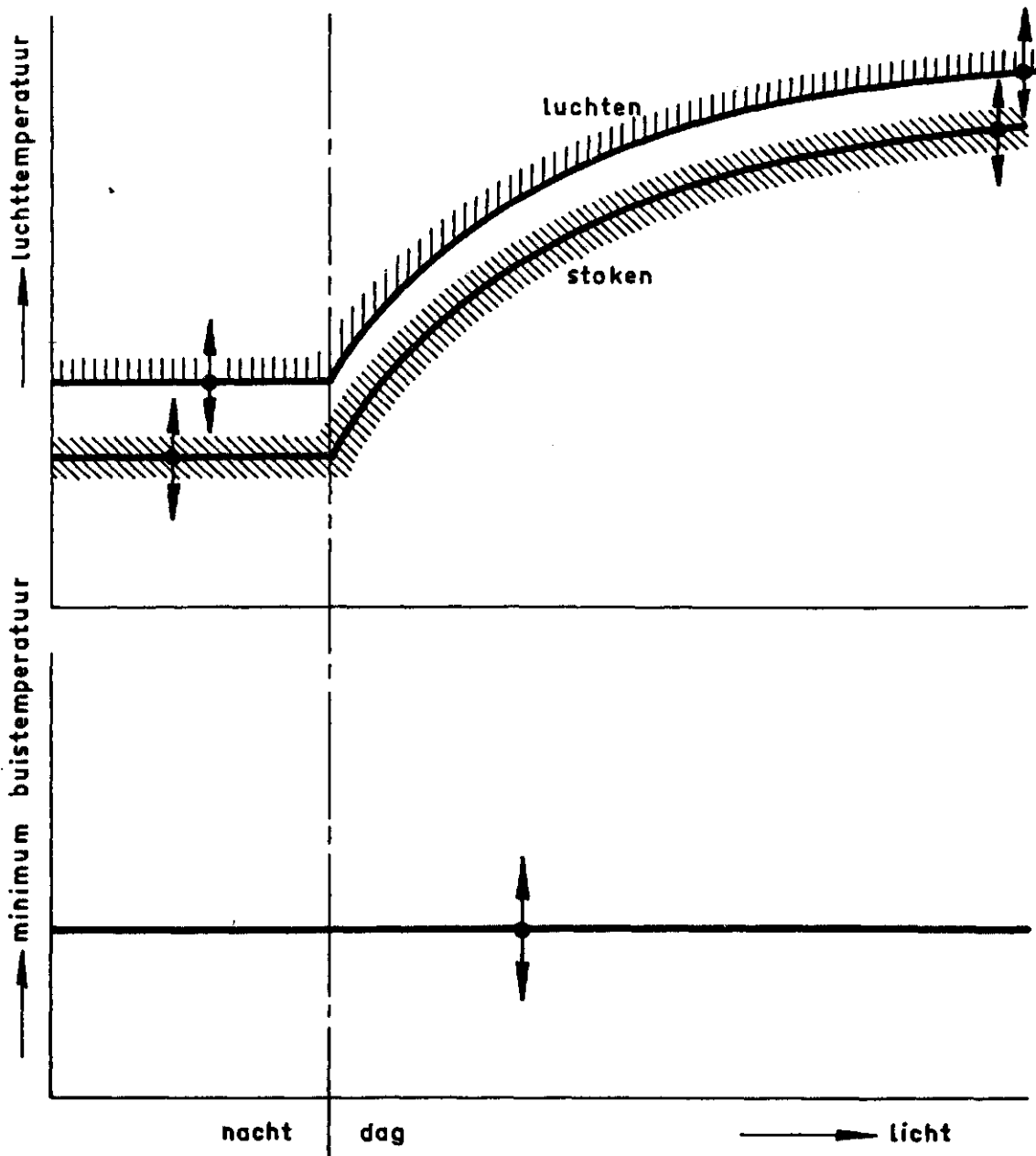
Hiermee wordt het bezwaar van een vaste minimum-buistemperatuur enigszins ondervangen. Door voor het luchten een grotere lichtverhoging in te stellen dan voor de verwarming, wordt voorkomen dat er te veel gelucht wordt bij veel licht. Om de mogelijkheden die dit geeft voldoende uit te buiten is wel enig inzicht nodig in de werking van de regelapparatuur en de regeleigenschappen van de verwarming en de luchtramen. Er kan nl. gemakkelijk een te grote overlapping worden ingesteld, waardoor er te veel gestookt wordt bij geopende ramen.

d. Twee afzonderlijke, lichtafhankelijke temperatuurinstellingen zonder minimum-dagtemperatuur, zowel voor de verwarming als voor de luchting, gecombineerd met een vaste minimum-buistemperatuur (afb. 34).

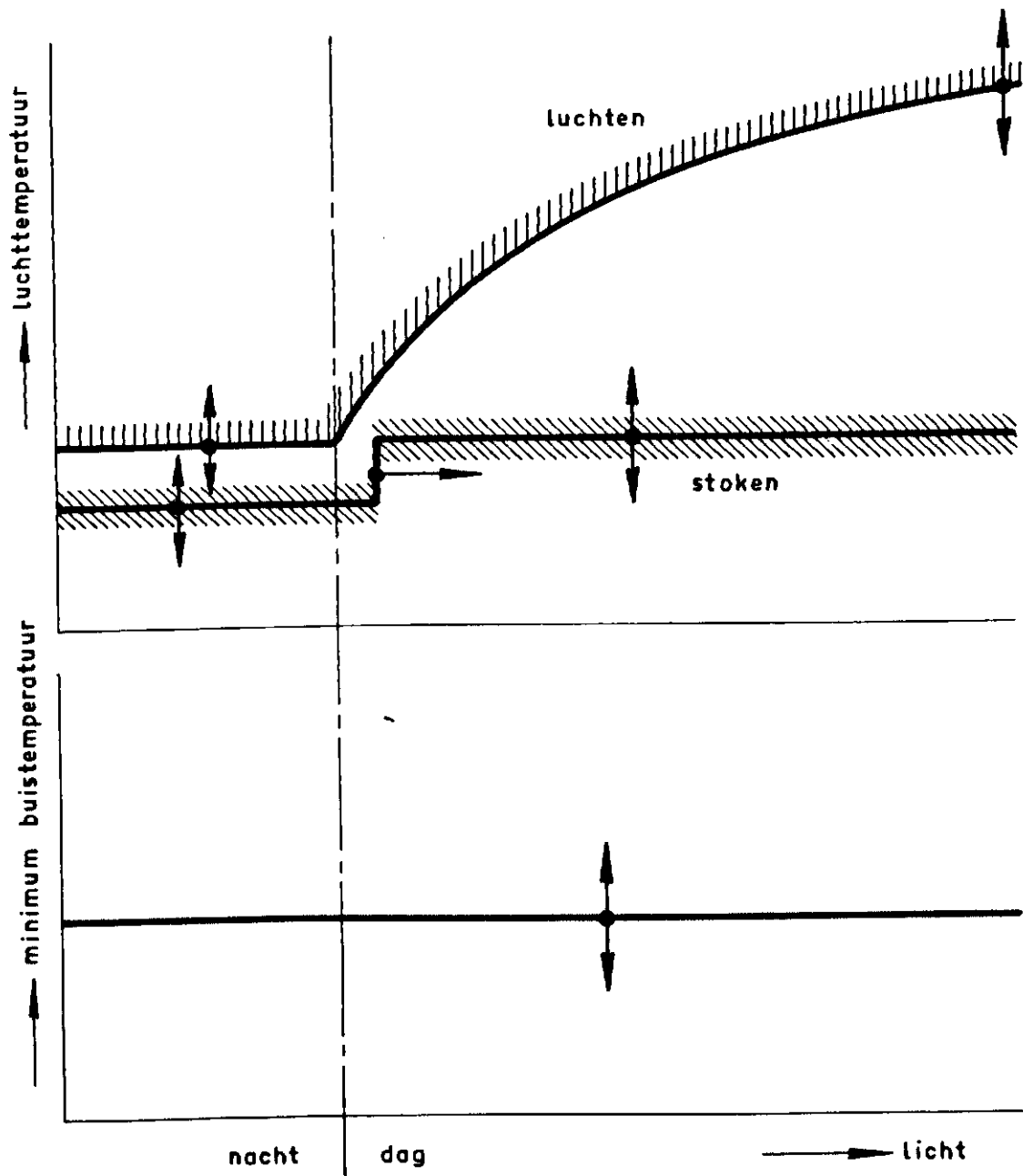
Door het ontbreken van een minimum-dagtemperatuurinstelling wordt 's morgens een geleidelijke overgang van de nacht naar de dag verkregen. Het is hierbij niet mogelijk vóórdat het licht is reeds een verhoging van de temperatuur te bewerkstelligen. Door een grotere lichtafhankelijke verhoging voor het luchten dan voor het verwarmen in te stellen is wel een beperking van de ventilatie mogelijk bij zonnig weer, maar zonder met de hand in te grijpen is geen extra stimulering van de verdamping bij donker weer te realiseren.

e. Een afzonderlijke dag- en nacht temperatuurinstelling voor het stoken. De overgang van nacht naar dag en omgekeerd gebeurt via de lichtopnemer. Een lichtafhankelijke temperatuurinstelling zonder afzonderlijk minimum-dagniveau voor het luchten, gecombineerd met een vaste minimum-buistemperatuur (afb. 35).

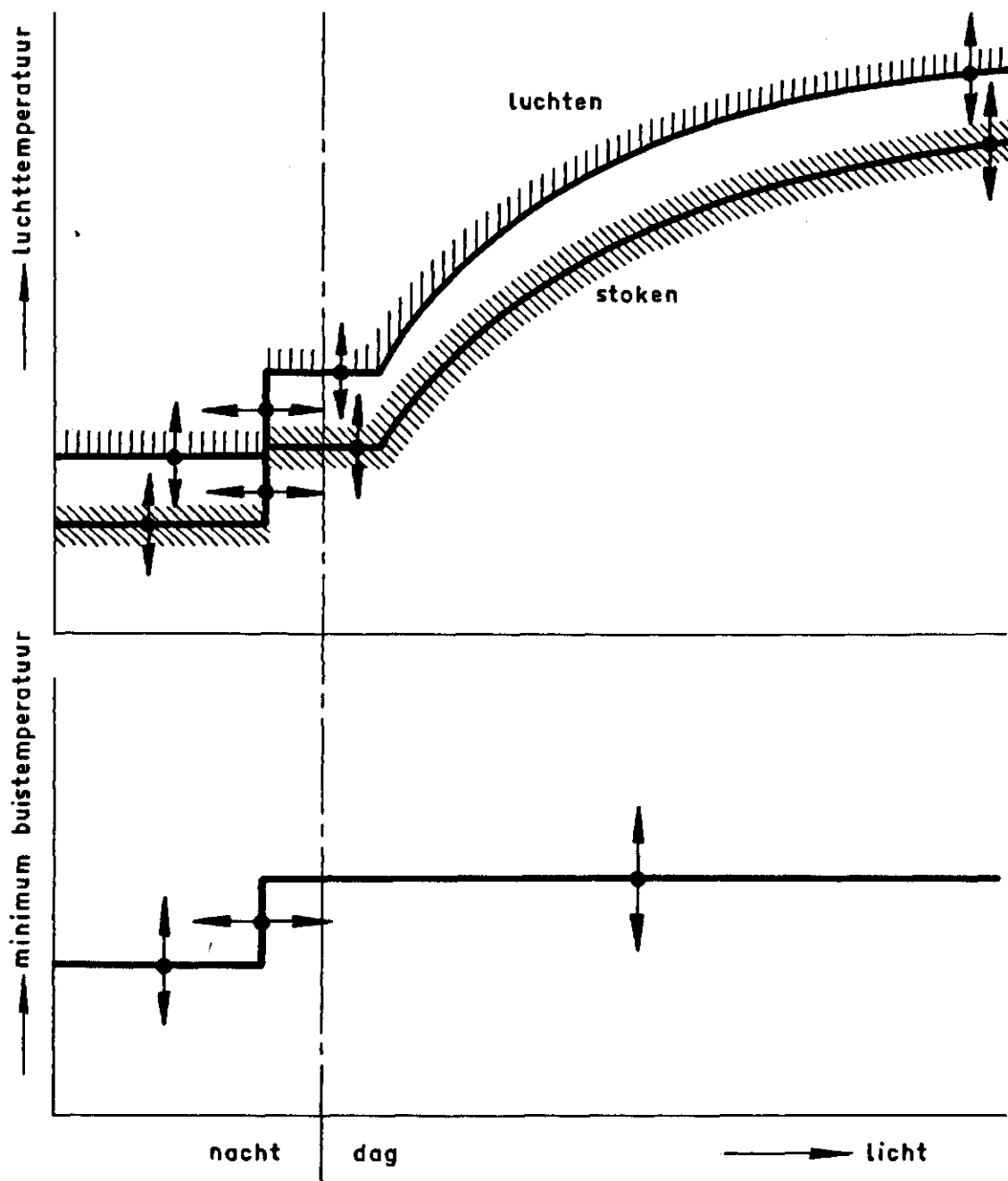
Als belangrijkste doel staat hierbij voorop "zuinig stoken", de zon zoveel mogelijk de warmte in de kas te laten brengen. Het lichtafhankelijk regelen moet geheel verkregen worden door middel van het luchten. Bij lage buitentemperaturen, als ook op de dag de gewenste temperatuur gerealiseerd moet worden met behulp van de verwarming, blijft er van lichtafhankelijk regelen weinig meer over. In het voorjaar



Afb. 34 D.G.T. regeling.



Afb. 35 H.B. Automotic-regeling.



Afb. 36 van Vliet-regeling.

en in de zomer, wanneer de gewenste temperatuur op de dag verkregen wordt door minder of meer te luchten, levert deze manier van regelen geen problemen op. Er kan geen verhoging worden verkregen voordat het licht is, omdat de overgang wordt gerealiseerd met een lichtmeter. De dagverhoging voor de verwarming mag niet te groot worden gekozen. Bij een gering verschil tussen de stook- en luchtinstellingstemperatuur voor de nacht zou dan de stooktemperatuur 's morgens en 's avonds hoger worden dan de temperatuur waarboven de ramen opengaan. In dat geval zou elke ochtend en avond flink gestookt worden met de ramen open.

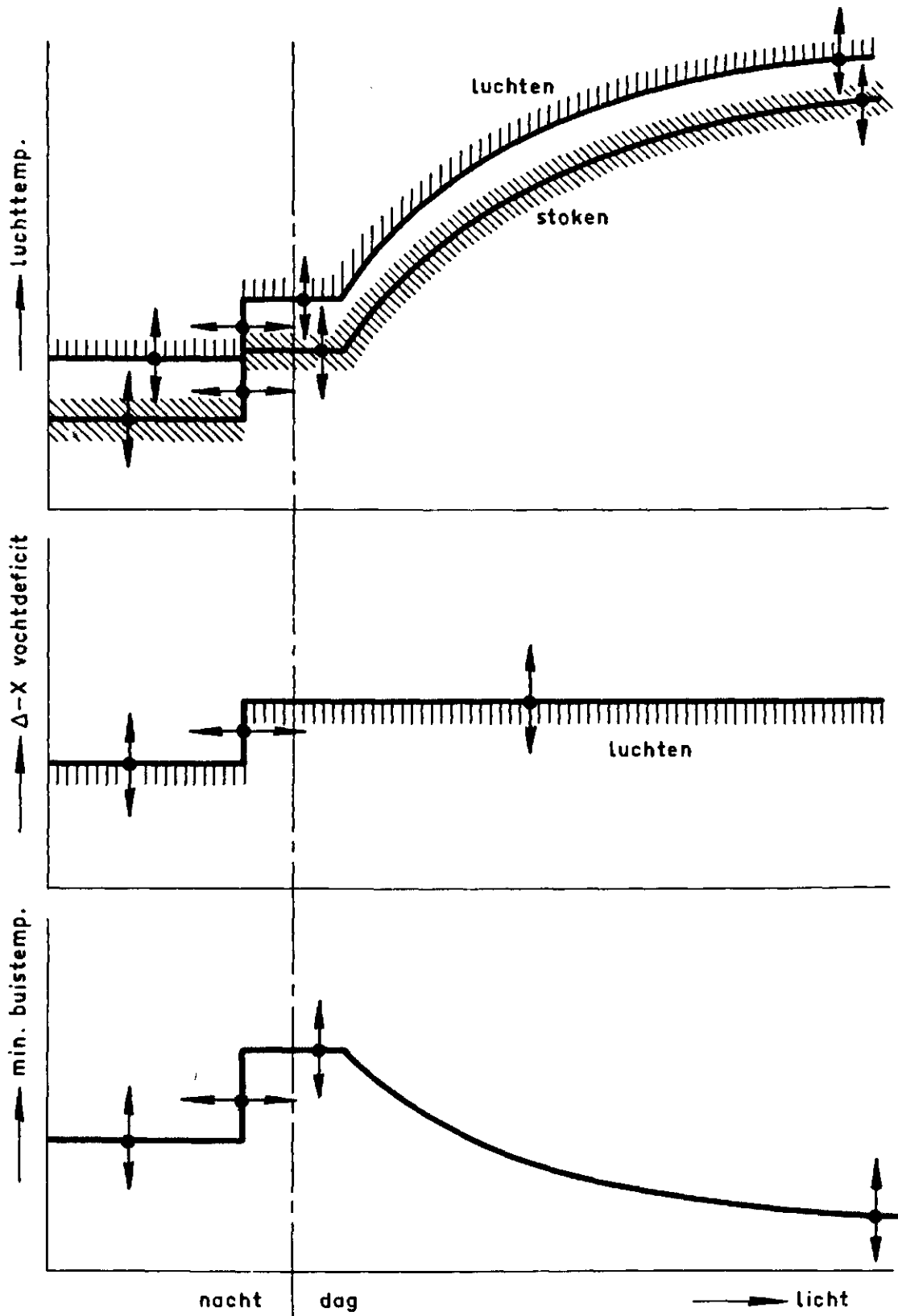
f. Een afzonderlijke, lichtafhankelijke temperatuurinstelling voor het stoken en voor het luchten, gecombineerd met twee instellingen voor de minimum-buistemperatuur, nl. voor de dag en voor de nacht (afb. 36).

Deze apparatuur vertoont veel overeenkomst met de onder c genoemde regelingen. Ook hier kunnen de instellingen voor het luchten onafhankelijk van die voor het stoken gekozen worden en daardoor kan men desgewenst de proportionele banden elkaar een weinig laten overlappen. Ook kan men het luchten en het stoken zeer ver uit elkaar leggen, waardoor een grote dode zône ontstaat.

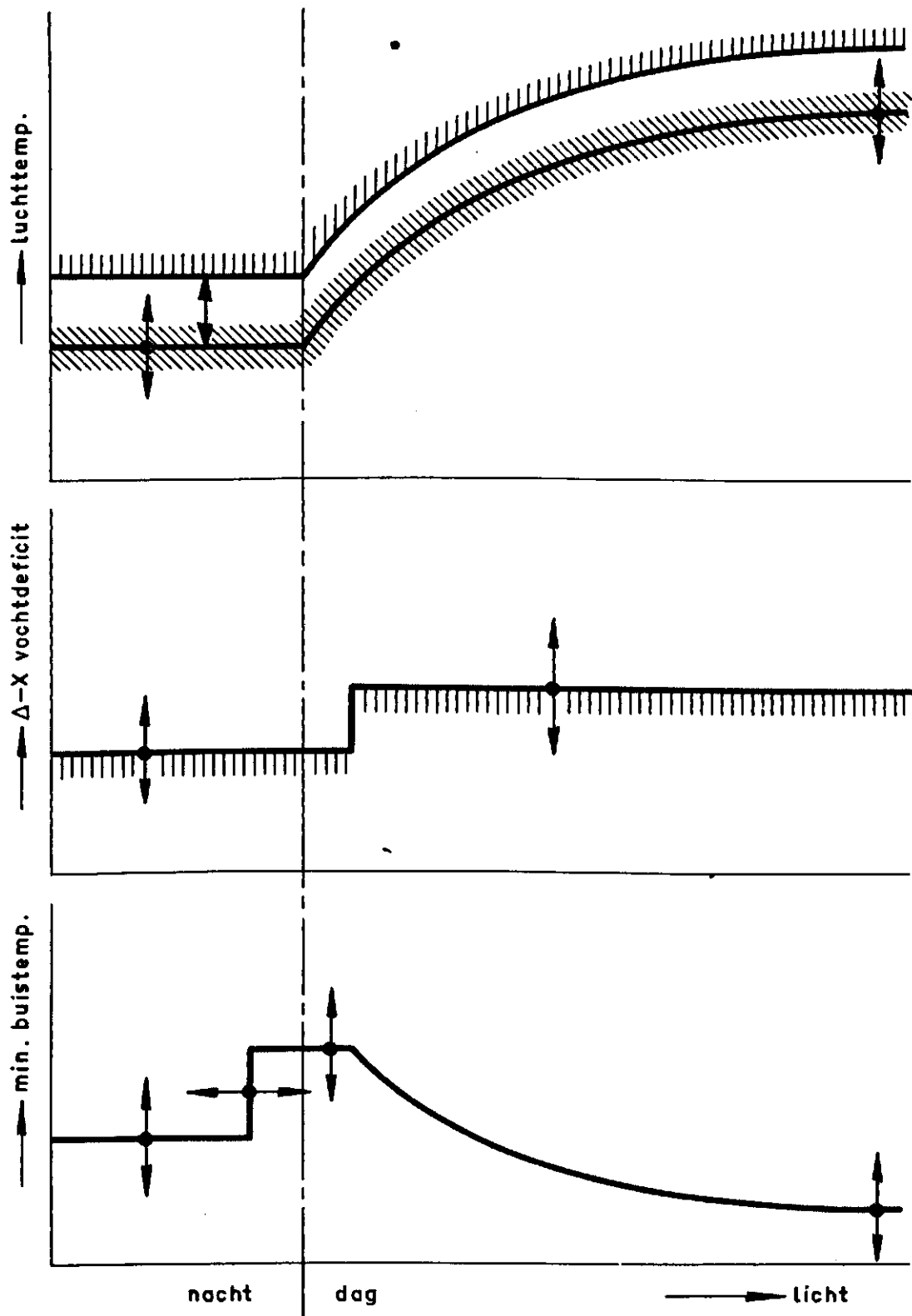
De afzonderlijk in te stellen minimum-buistemperatuur voor de nacht maakt het mogelijk 's nachts een nauwkeurig te bepalen minimum-ventilatie te realiseren.

g. Een lichtafhankelijke temperatuurinstelling, met minimum-dagtemperatuur voor het stoken. Een instelling voor de dag en de nacht afzonderlijk van het vochtdeficit, waar beneden gelucht wordt en een lichtafhankelijke temperatuurinstelling, geheel afzonderlijk in te stellen, waarboven in combinatie met het vochtdeficit wordt gelucht. Dit gecombineerd met een lichtafhankelijke minimum-buistemperatuur (afb. 37). In de dode zône tussen de stook- en ventilatie-temperatuur wordt gelucht op vochtdeficit. Bij warm weer, mede als gevolg van de minimum-buistemperatuur, komt de luchttemperatuur gemakkelijk boven de ingestelde ventilatie-temperatuur. In dit gebied worden de ramen opengestuurd door een signaal, waarvan de sterkte evenredig is met de temperatuurafwijking. Het vochtdeficit dat in de kas heerst, kan bij een afwijking van wat is ingesteld dit signaal versterken, waardoor de ramen nog verder geopend worden. Echter kan het openen van de ramen ook tegengewerkt worden, waardoor deze meer gesloten blijven. In het laatste geval zal de temperatuur natuurlijk meer stijgen.

Om te voorkomen dat er terwille van de vochtafvoer te veel gelucht wordt, waardoor er te veel warmte verloren gaat die door de verwarming weer moet worden aangevuld, is er een instelling mogelijk op de buistemperatuur. Indien de buizen warmer worden dan deze ingestelde waarde, worden de ramen dichtgestuurd, onafhankelijk van het in de kas heersende vochtdeficit. De instelling van de



Afb. 37 Von der Hoeven regeling.



Afb. 38 Van der Burg-regeling.

buistemperatuur waarboven de luchtramen dichtlopen, kan voor de nacht en de dag afzonderlijk van elkaar worden gekozen en wordt lichtafhankelijk verlaagd.

Bij deze apparatuur kan met behulp van een schakelaar het vochtdeficit geheel worden uitgeschakeld. Er blijft dan apparatuur over waarvan de werking vergelijkbaar is met de onder b genoemde regelingen.

h. Een lichtafhankelijke temperatuurinstelling zonder minimum-dagtemperatuur voor het stoken. Een voor de dag en de nacht afzonderlijk in te stellen waarde voor het vochtdeficit, waarop gelucht wordt en een lichtafhankelijke temperatuurinstelling, die evenwijdig loopt aan die voor het stoken, waarboven in combinatie met het vochtdeficit wordt gelucht. Dit gecombineerd met een lichtafhankelijke minimum-buistemperatuur (afb. 38).

Ook hier kan er uitsluitend gelucht worden in de zone tussen de stook- en de ventilatie-temperatuur. Bij overschrijding van de ingestelde ventilatie-temperatuur worden de luchtramen opengestuurd in samenhang met de temperatuur en het vochtdeficit. Er kan ook een buistemperatuur worden ingesteld waarboven de ramen gesloten worden. Deze temperatuur wordt lichtafhankelijk naar een lagere waarde gestuurd en loopt evenwijdig aan de minimum-buistemperatuur.

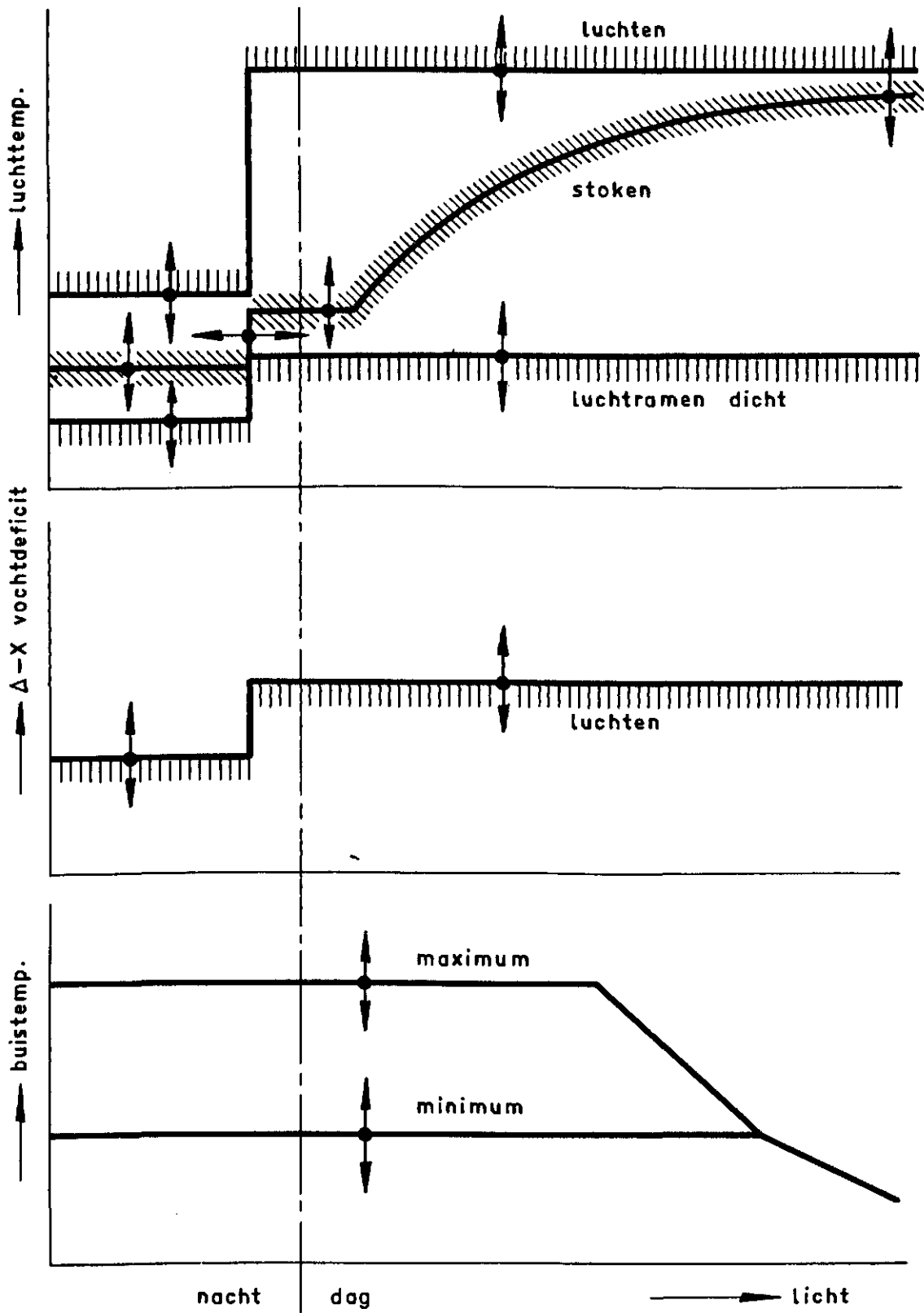
Om 's morgens extra te kunnen droogstoken wordt de minimum-buistemperatuur verhoogd op het signaal van een schakelklok (vervroegd opwarmen).

i. Een lichtafhankelijke temperatuurinstelling met afzonderlijk te kiezen minimum-dagtemperatuur voor het stoken. Voor het luchten een voor de dag en de nacht in te stellen vochtdeficit. Het luchten wordt geregeld in combinatie van temperatuur en vochtdeficit bij over- of onderschrijding van een in te stellen maximum- of minimumtemperatuur. De laatstgenoemde temperaturen hebben een instelmogelijkheid voor de dag en de nacht. In combinatie hiermee kan een vaste minimum- en maximum-buistemperatuur worden ingesteld. De maximum-buistemperatuur wordt verlaagd bij overschrijding van een bepaalde ruimtetemperatuur (afb. 39).

Bij deze regeling kan een groot temperatuurgebied worden ingesteld, waarbinnen gelucht wordt op het vochtgehalte van de kaslucht.

Als de luchtramen gesloten blijven omdat het vochtgehalte te laag is, kan dit tot gevolg hebben dat de luchttemperatuur te hoog wordt of de ventilatie te klein. Dit wordt tegengegaan door het handhaven van een minimum-buistemperatuur en het openen van de luchtramen bij overschrijding van de ingestelde maximum-luchttemperatuur in combinatie met het vochtdeficit, op dezelfde wijze als bij de vorige twee apparaten is omschreven.

Deze apparatuur onderscheidt zich van de vorige o.a. doordat de temperatuur waarboven gelucht wordt, niet lichtafhankelijk verschoven wordt. Hierdoor wordt bij



Afb. 39 Priva - regeling.

donker weer een grote speling in de ruimtetemperatuur toegelaten, ten gunste van de beheersing van het vochtdeficit. Bij een te hoog vochtgehalte worden de lucht-ramen op het vochtdeficit geopend. Hierdoor daalt de ruimtetemperatuur en dit wordt dan weer gecompenseerd door de verwarming. Om een te grote ventilatie, met als gevolg te hard stoken, tegen te gaan moet de buistemperatuur maximaal begrensd worden. Bij lage buitentemperaturen wordt dan bij geopende ramen te weinig warmte in de kas gebracht, waardoor de ruimtetemperatuur te laag blijft. Bij overschrijding van de ingestelde minimum-ruimtetemperatuur worden de lucht-ramen, in combinatie met het vochtdeficit, gesloten. Om vooral bij zonnig weer te hard stoken bij geopende ramen tegen te gaan, wordt bij overschrijding van een bepaalde ruimtetemperatuur de maximum-buistemperatuur geleidelijk verlaagd.

4.2.6. Extra voorzieningen

De meeste apparaten hebben naast de genoemde instelmogelijkheden voor de verwarming en de luchting nog een of meerdere voorzieningen om het klimaat nog beter te beheersen.

Veel regelaars die de temperatuur lichtafhankelijk sturen, kunnen worden voorzien van een hygrostaat. Bij overschrijding van een ingestelde waarde voor de relatieve luchtvochtigheid worden soms de ramen verder opengestuurd (D.G.T., H.B.-automatic en Hoogendoorn); soms wordt de temperatuurinstelling voor de ventilatie verlaagd (Billman, Indal, Satchwell en Van Vliet). In beide gevallen is het beoogde doel de ventilatie op te voeren; indien nodig, wordt een te grote warmteafvoer via de verwarming weer gecompenseerd. In een enkel geval kan een hygrostaat worden aangesloten met het doel de ventilatie te beperken bij een te lage relatieve vochtigheid.

Soms kunnen de temperaturen van de verwarmingsbuizen naast minimaal ook maximaal worden begrensd. Bij Indal wordt de maximale begrenzing bij meer licht naar een lagere waarde verschoven, evenwijdig aan de lichtafhankelijke verlaging van de minimum-buistemperatuur. Bij Priva wordt de maximum-buistemperatuur geleidelijk verlaagd bij overschrijding van een bepaalde ruimtetemperatuur.

Bij alle apparaten zijn instelknoppen aanwezig om de opening van de luchtramen minimaal of maximaal te begrenzen. Bij de apparatuur van Indal, Priva en Hoogendoorn grijpen deze begrenzingen direct in op de regeling van de luchtramen doordat de ingestelde proportionele band tussen de minimum- en maximum-begrenzingen geheel blijft bestaan. Hierdoor kan via de begrenzing de werking van de

luchtramen worden aangepast aan de buitenomstandigheden.

Meestal kan een regenindicator worden bijgeleverd waarmee bij regen de luchtramen geheel of gedeeltelijk worden dichtgestuurd onafhankelijk van alle andere klimaatomstandigheden.

Bij de apparatuur van V.d. Hoeven is via een schakelklok een z.g. temperatuurstoot te geven. Hierbij worden gedurende een in te stellen tijd de ramen gesloten en de buistemperatuur naar een voor dit doel ingestelde waarde verhoogd.

Bij veel fabrikaten is het mogelijk de verschillende onderdelen gespreid aan te schaffen. Weliswaar liggen de totale kosten dan uiteindelijk hoger, doch voor veel bedrijven is een gespreide aanschaf aantrekkelijk. Niet alleen uit financiële overwegingen, maar vooral om de mogelijkheden met klimaatbeheersingsapparatuur geleidelijk te leren kennen.

In dit hoofdstuk is gesproken over de instelmogelijkheden die er zijn bij de automatische regeling van de verwarming en de luchting. Dit zegt echter niets over de betrouwbaarheid van de apparatuur en ook niets over de nauwkeurigheid waarmee de ingestelde klimaatsonderdelen worden beheerst. Voor wat betreft dit laatste wordt verwezen naar hoofdstuk 3, over de regelprincipes.

In bijlage I wordt tenslotte nog een samenvatting gegeven van de instelmogelijkheden van de op dit moment in de handel zijnde automatische klimaatbeheersingsapparatuur.

5. Samenvatting en Summary

Er zijn thans verscheidene automatische klimaatregelingen voor kassen in de handel verkrijgbaar. In deze publikatie wordt informatie verstrekt over deze regelingen en de eisen daarvoor. Eerst worden eigenschappen van de planten behandeld, voorzover deze met het milieu samenhangen. Daarna wordt iets verteld over mogelijke regelsystemen en tenslotte worden de regelingen uit de praktijk besproken.

De groei van de plant (gemeten in droge stof) wordt bepaald door het overschot tussen fotosynthese en ademhaling. De fotosynthese hangt vooral af van de lichtintensiteit; de ademhaling is sterk temperatuurafhankelijk.

Bij lage lichtintensiteiten moet de temperatuur op een vrij laag niveau gehouden worden, om te veel verademing te voorkomen. Bij hoge lichtintensiteiten moet de temperatuur hoger gehouden worden. Dit geeft meer verademing, maar hier komt energie bij vrij, die gebruikt wordt voor andere processen in de plant.

De processen die in de plant plaats vinden worden ook door de sapstroom in de plant beïnvloed, er is althans een sterke correlatie tussen een gezonde groei en een goede verdamping. De verdampingssnelheid kan te laag worden als er bijvoorbeeld te weinig vocht aan de lucht kan worden afgegeven. Ook is het mogelijk dat de planten te veel water aan de omgeving verliezen. Deze extremen moeten zoveel mogelijk vermeden worden.

Bij het regelen van het kasklimaat is het van belang de juiste temperatuur aan te houden. De temperatuur (lichtafhankelijk) kan door verschillende combinaties van buistemperatuur en luchtraamstand gerealiseerd worden. Welke combinatie gekozen wordt hangt af van de gewenste ventilatie, die nodig is om de juiste vochtigheid in de kas te handhaven. Ventilatie is niet alleen afvoer van warmte, maar ook afvoer van waterdamp. Vaak kan de ventilatie bevorderd worden door een minimum-buistemperatuur aan te houden. De overmaat aan warmte die in de kas komt veroorzaakt dan het opengaan van de luchtramen in omstandigheden waarin we de verdamping willen stimuleren.

Er worden verschillende regelsystemen gebruikt.

Een open-dicht regeling van de verwarming wordt wel gebruikt, maar is niet zo geschikt om de juiste kastemperatuur, zonder te veel schommelingen, te handhaven. Proportionele regelingen geven een bevredigender resultaat.

Een bezwaar is wel dat er meestal een afwijking blijft bestaan tussen de gewenste waarde en de werkelijke waarde van de temperatuur, de zogenaamde statische afwijking.

Een proportioneel-integrerende regeling heft ook deze afwijking op en geeft daardoor voor de verwarming meestal de beste resultaten.

Voor de luchting is een proportionele regeling wel geschikt.

Door het instellen van de juiste bandbreedte zullen bij deze regelingen de ramen niet te veel in beweging zijn.

In de regelapparatuur van de diverse fabrikanten komen we de volgende mogelijkheden tegen.

De lichtopnemers hebben soms een meetbereik tot 100.000 lux, andere gaan maar tot 30.000 lux.

Voor de verwarming van de kassen worden de volgende regelsystemen toegepast:

- a. een vaste nachttemperatuur, gevolgd door een overschakeling naar een vaste dagtemperatuur. De omschakeling gebeurt door de tijdklok.
- b. een vaste nachttemperatuur en overdag een geleidelijke stijging van de ruimtemtemperatuur, afhankelijk van de lichtintensiteit.
- c. een vaste nachttemperatuur, een minimum dagtemperatuur en een verhoging van de dagtemperatuur door de lichtintensiteit. De overgang nacht-dag geschiedt door een tijdklok.

De luchtramen worden ook geregeld met verschillende methoden:

- a. een vaste ruimtetemperatuur voor de nacht en overdag een geleidelijke stijging, afhankelijk van de lichtintensiteit.
- b. een vaste nachttemperatuur, een minimum-dagtemperatuur en een lichtafhankelijke stijging van de temperatuur. Nacht-dag overschakeling door een schakelklok.
- c. de ventilatie gestuurd door de luchtvochtigheid, die dan gemeten wordt als vochtdeficit. Voor de dag en de nacht kunnen verschillende waarden voor het vochtdeficit worden ingesteld.

De meeste fabrikanten gebruiken ook een minimum-buistemperatuur.

Dit wordt dan gedaan door:

- a. het houden van een constante buistemperatuur voor dag en nacht.
- b. het houden van een constante buistemperatuur voor de nacht en een andere constante temperatuur voor de dag.
- c. het houden van een constante buistemperatuur voor de nacht en overdag een lichtafhankelijke verlaging.

Deze mogelijkheden voor het regelen van de verwarming, de luchting en de minimum-buistemperatuur worden in de handels-apparaten op verschillende manieren gecombineerd. Bovendien hebben de meeste klimaatregelingen nog aanvullende voorzieningen.

Summary

Several automatic climate control systems for glasshouses are now commercially available. In this publication some information is given about desired possibilities regarding automatic control. One of the first chapters deals with the properties of the plants, regarding the environment. Chapter three describes control possibilities in general and in the last chapter applications, as are met in practice, are discussed.

The growth of the plant (as measured in dry matter) is determined by the net surplus between photosynthesis and respiration.

The photosynthesis is mainly dependent on the light intensity; the respiration depends on the temperature.

At low light intensities the temperature has to be kept on a rather low level, to prevent too much respiration. At high light intensities the temperature has to be higher, giving a higher rate of respiration. This respiration also gives the energy needed by other processes in the plant.

The "plant activities" are also determined by the sap flow in the plant, at least, there is a strong correlation between a healthy growth and a right transpiration rate. The transpiration rate can become too low, in circumstances that are unfavourable to give off sufficient water vapour to the surrounding air. At other times it is possible that the plants lose too much water to the environment (high temperatures and dry air).

These extremes have to be prevented as much as possible.

In controlling the glasshouse climate it is very important to keep the right temperature in the glasshouse. The temperature (light dependent) can be realised with several combinations of pipe temperature and opening of the ventilators. The combination, chosen, is determined by the rate of ventilation, necessary to keep a right humidity in the glasshouse. Ventilation means not only removal of heat, but also removal of moisture. In many circumstances the ventilation can be promoted by keeping a minimum pipe temperature. The excess of heat, that can be the result, will cause the ventilators to open in situations, where the transpiration has to be stimulated.

Different control principles are in use.

Two position control of the heating system is sometimes used, but not very suitable to keep the glasshouse at the right temperature without too much variation. Proportioning control (control with adjustable sensitivity) gives a more satisfactory

result. A drawback of this system is the difference between the set-point, that should be reached, and the real value, the so called off-set.

A proportioning control combined with a reset-control gives mostly the best result for the heating system.

As for the ventilation, a proportioning control will do. By adjusting the right sensitivity, the ventilators will not move too often.

In the practical applications of the several manufacturers the following possibilities are used.

The light-receptors (usually photo-resistors) have sometimes a range up to 100.000 lux, sometimes they only go up to about 30.000 lux.

Regarding the heating of the glasshouses, in use are:

- a. A fixed night room temperature, followed by a switching to a fixed day temperature. The switching is induced by the light-receptor.
- b. A fixed night temperature and in the day-time a gradual raising of the room temperature, dependent on the light intensity.
- c. A fixed night temperature, a minimum day temperature and a raising of the day temperature influenced by the light intensity. The night-day change-over is commanded by a time-switch.

The ventilators are also controlled by several methods. They are:

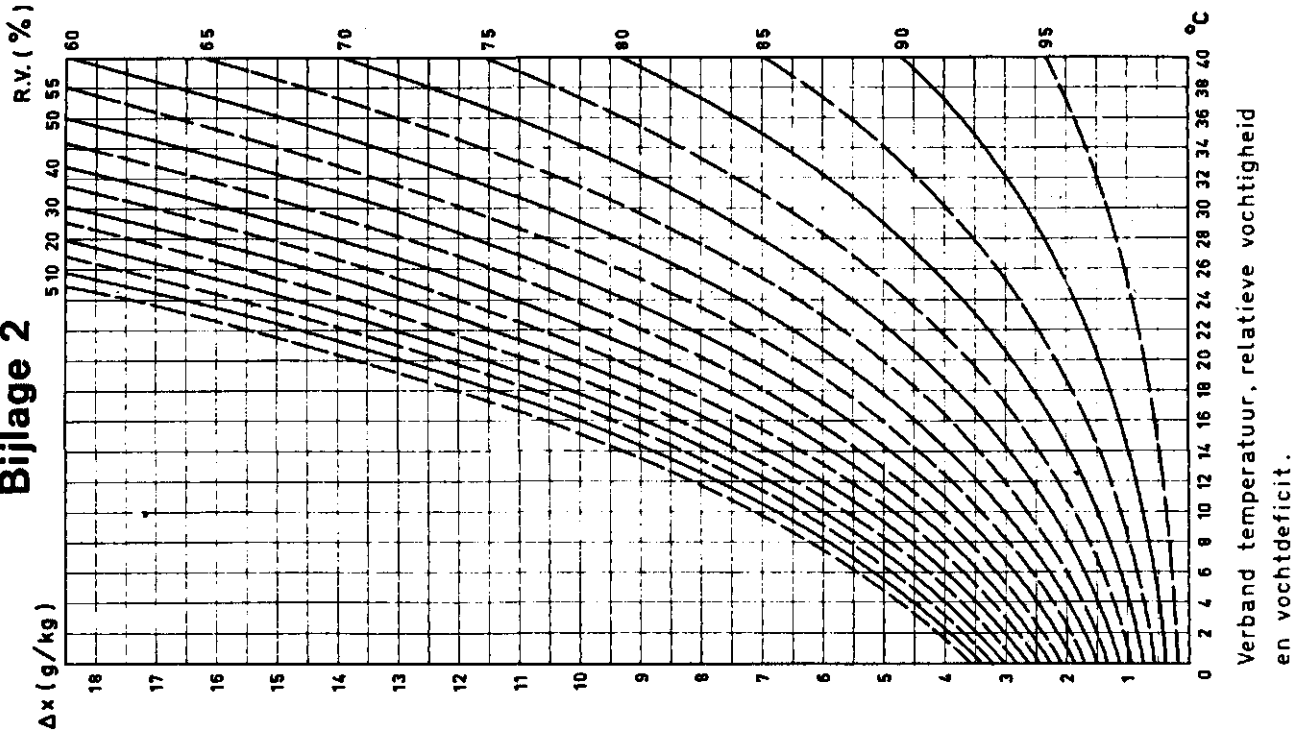
- a. A fixed room temperature for the night and by day a gradual raising, dependent on the light intensity.
- b. A fixed night temperature, a minimum day temperature and a light dependent raising of the temperature. Night-day change-over by time-switch.
- c. Ventilation influenced by the humidity of the glasshouse air. The humidity is measured as the vapour deficit of the air. For the day and the night, different values of the vapour pressure deficit can be adjusted.

Most manufacturers have also a method to keep a minimum pipe temperature. It is done by:

- a. Keeping a constant value for day and night.
- b. Keeping a constant value for the night and a constant value during the day.
- c. Keeping a constant value for the night and during the day a lowering of the value in accordance with the amount of light.

These possibilities, for controlling the heating system, the ventilation and the minimum pipe temperature, are combined in different ways in the commercial apparatuses. These control systems have mostly additional refinements, to guarantee a wide range of conditions in which the apparatus can control the climate.

Bijlage 2



Fabrikaat	Instelbare lichtmeter						luchttemperatuur		Instelbaar verschil stoken en luchten	Overschakeling nacht-dag met klok	Astronomische klok	Overschakeling nacht-dag met lichtopnemer	Min. buistemperatuur (I waarde)	Min. buistemperatuur nacht-dag	Min. buistemp. nacht + dag + lichtverlaging	Max. buistemperatuur (I waarde)	Max. buistemp. nacht + dag + lichtverlaging	Max. buistemp. + verlaging op ruimtetemperatuur	Hygrostaat, maximaal	Hygrostaat, minimaal	Regenmelder	Tweezijdig luchten	Temperatuurstoot (ramen dicht + verwarmen)	Gespreide aanschafmogelijkheid	
	verwarming			ventilatie																					
	Nacht + dag	Nacht + lichtverhoging	Nacht - dag + lichtverhoging	Nacht + lichtverhoging	Nacht + dag + lichtverhoging	Vochtdeficit																			
Billman	+								+																
V. d. Burg		+							+																
D. G. T.			+		+							+													
Hoogendoorn	+			+	+				+																
V. d. Hoeven	+			+	+				+																
HB-automatie		+																							
Indal	+			+	+																				
V. d. Meer				+	+				+																
Priva																									
Satchwell					+				+																
Van Vliet				+	+				+																

Bijlage I. Overzicht van de in de handel zijnde automatische klimaatbeheersingsapparatuur.

* Door voor de ventilatie een grotere lichtinvloed te kiezen kan het verschil lichtafhankelijk worden vergroot