

PROEFSTATION VOOR TUINBOUW
ONDER GLAS TE NAALDWIJK

PROEFSTATION VOOR TUINBOUW ONDER GLAS TE NAALDWIJK

Studiereis naar het Institut für Technik in Gartenbau und
Landwirtschaft en het Institut für Gemüsebau van de
Universiteit te Hannover
31 oktober - 2 november 1984

J.C. Bakker
A.N.M. de Koning
E.M. Nederhoff
C.M.M. v. Winden

Naaldwijk, januari 1985

Intern verslag no 16

* * *

A
09
B
16

Studiereis naar het Institut für Technik in Gartenbau und landwirtschaft
en het Institut für Gemüsebau van de Universiteit te Hannover.
(31 oktober - 2 november 1984).

Inhoud

1. Samenvatting
2. Programma
3. Deelnemers
4. Klimaatregeling (Tantau)
5. Plastic kassen (von Zabeltitz en Weimann)
6. Lage - temperatuurverwarmingssystemen (Von Elsner)
7. Ventilatievoubepaling en warmteterugwinning bij gedwongen
ventilatie (Rüther)
8. Schermonderzoek (Meyer)
9. Institut für Gemüsebau (Krug, Liebig, Mann)

1. Samenvatting

In het najaar van 1984 werd een bezoek gebracht aan 2 faculteiten van de Universiteit te Hannover, t.w. het Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft en het Institut für Gemüsebau.

Bij het Institut für Technik is kennis genomen van het onderzoek betreffende klimaatregelingen, kassenbouw, lage temperatuurverwarmingssystemen, ventilatiesystemen en energiescherm. Bij de klimaatregeling werkt men aan dezelfde onderwerpen als bij het Proefstation in Naaldwijk (verbetering van temperatuur- en CO₂ regeling) waarbij men sterk vast houdt aan het adaptieve regelprincipe.

In de kassenbouw is het onderzoek gericht op verbetering van constructies en bedekkingen van plastic kassen. De belangrijkste aspecten die in het onderzoek de aandacht krijgen zijn lichttransmissie, condensvorming, ventilatiesystemen en stevigheid van de constructie.

Ook in West Duitsland is er een grote hoeveelheid afvalwarmte beschikbaar met een lage watertemperatuur. Diverse verwarmingssystemen worden met deze lage watertemperaturen beproefd. De systemen met veel kleine verwarmingsbuisjes lijken tot nu toe het meeste perspectief te bieden.

Het ventilatie onderzoek richt zich op het terug winnen van warmte bij geforceerde ventilatie. Twee warmtewisselaars waren in onderzoek.

Bij het schermonderzoek zijn allereerst de energiebesparingseigenschappen van verschillende materialen bepaald. Daarna is een methode ontwikkeld om op praktijkbedrijven te bepalen hoe groot de energiebesparing is bij gebruik van een energiescherm. Ook in West Duitsland komen op praktijkbedrijven problemen voor bij gebruik van een energiescherm. Met aanpassingen aan verwarming en in de klimaatregeling tracht men deze problemen op te lossen.

Bij het Institut für Gemüsebau is enerzijds kennis genomen van de onderzoek-outillage, anderzijds is uitvoerig gesproken over het simulatiewerk van Krug en Liebig. Zij gebruiken een 'black-box' simulatiemodel wat duidelijk afwijkt van de aanpak van het simulatiewerk in Nederland. De kennis name van een discussie over dit onderzoek werd als zeer vruchtbaar ervaren.

Het handhaven en zo mogelijk vestigen van de contacten tussen onderzoekers van Proefstation Naaldwijk en de Universiteit te Hannover wordt van groot belang geacht.

2. Programma

- 31 oktober morgen : reis Naaldwijk - Hannover
middag : onderzoek klimaatregeling en plastic kassen
(Tantau, Von Zabeltitz, Weimann)
- 1 november morgen : onderzoek lage temperatuurverwarmingssystemen en
ventilatievoubepaling en warmteterugwinning bij
gedwongen ventilatie (Von Elsner, Rüter)
middag : schermonderzoek (Meyer)
- 2 november morgen : onderzoek op het Institut für Gemüsebau (Krug, Liebig,
Mann)
middag : reis Hannover - Naaldwijk

3. Deelnemers

J.C. Bakker, A.N.M. de Koning, E.M. Nederhoff en C.M.M. van Winden
(allen Proefstation Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk).

4. Klimaatregeling (Tantau)

Het onderzoek op het gebied van de klimaatregeling kan worden opgesplitst in twee hoofddelen:

- 1- ontwikkeling van nieuwe (adaptieve) regelalgorithmen
- 2- gebruik van groei/productiemodellen in de regelstrategie.

Bij het onderzoek wordt gebruik gemaakt van een zelf opgebouwd computersysteem waarop 10 kasafdelingen zijn aangesloten.

In de computer draait één regelprogramma waarin diverse verschillende regelalgorithmen naast elkaar getest kunnen worden. De programma's zijn geschreven in Pascal.

De gebruikte sampletijd bedraagt 1 minuut, en de gemeten waarden worden alleen voor de regeling gebruikt.

Door de regelcomputer worden de minimale, maximale en 24 uur gemiddelde waarde berekend en opgeslagen. Daarnaast worden op cassette de ruwe (nog niet omgerekende) waarden per 10 minuten opgeslagen.

Dit opslaan van ruwe waarden vindt ook plaats op de (zelf ontwikkelde) dataloggers. Deze bestaan uit een eenvoudige multiplexer gekoppeld aan een cassette eenheid. (Systeemkosten DM 4000-5000 voor 100-400 kanalen).

De bandjes worden op een ander systeem uitgelezen en de data worden op floppy gezet. Daarna vindt de omrekening van de ruwe naar fysische waarden plaats.

In de meetcyclus van de regelcomputer zijn naast de sensoren een aantal ijkweerstand en gestabiliseerde ijkweerstand opgenomen. Hierdoor is het mogelijk het systeem on line te ijken.

Naast de gebruikelijke metingen (temperatuur, luchtvochtigheid, CO₂) wordt ook het energieverbruik van de verschillende afdelingen gemeten m.b.v. waterfluxmeters (2 in serie) en de buistemperaturen.

De afwijkingen zijn bij normale warmte vraag < 3%. Bij lage warmte vraag neemt de fout toe. Het gemeten energieverbruik wordt gebruikt bij modeltoetsingen (v. Elsner) en regelingen.

De totale kasregeling is wat betreft instel mogelijkheden vergelijkbaar met de situatie in Naaldwijk. Er kan naast de verwarming/ventilatie, CO₂ en het (energie) scherm ook nog de berekening geregeld worden. Hierbij bestaat de mogelijkheid te kiezen uit een instelling op tijd, afhankelijk van de lichtsom of m.b.v. een sensor.

ad 1 - Regelalgorithmen

De laatste jaren is veel aandacht geschonken aan de ontwikkeling van de adaptieve regelaar voor temperatuur regeling. Het principe van deze regelaar is gebaseerd op een éénvoudig kas energiebalansmodel waarmee de gewenste watertemperatuur wordt berekend. Bij een afwijking van het Setpoint volgt een correctie m.b.v. een P regelaar.

(Eerst wordt een geschatte watertemperatuur berekend het zgn. werkpunt, en daarna volgt een kleine correctie).

De ontwikkelde algorithmen worden zowel op het IT6 als op het Institut für Gemüsebau gebruikt. Momenteel wordt gewerkt aan een CO₂ regeling voor zuiver CO₂ die gebaseerd is op hetzelfde principe. Daarbij wordt voorlopig uitgegaan van dosering tijdens de periode dat de ramen gesloten zijn. Over de opbouw van de CO₂ regeling zal een nadere informatie worden opgestuurd.

De meting van de CO₂ concentratie vindt plaats m.b.v. een Horiba (=Priva) CO₂ meter gekoppeld aan een multiplexer (10 kanaals). Behalve de temperatuur en CO₂ regeling is ook een vochtregeling ontwikkeld, deze houdt in dat de luchtvochtigheid verlaagd wordt m.b.v. stoken en ventileren. Als de kasluchttemperatuur rond het stook setpoint ligt wordt bij te hoge RV extra gestookt, komt de kastemperatuur in de buurt van het ventilatie setpoint dan wordt d.m.v. extra ventilatie de RV verlaagd.

De laatste nieuwe ontwikkeling op het gebied van de temperatuurregeling is een instelbare temperatuursom. Dit is vergelijkbaar met de manier van regeling die door Ad de Koning is voorgesteld voor 307. Tantau kon over deze regeling nog niets zeggen omdat er nog niet mee was geëxperimenteerd.

ad. 2 - Inbouw modellen in de regeling (regelstrategie)

Het tweede hoofddoel van het onderzoek is de ontwikkeling van regelstrategieën in samenwerking met de onderzoekers van de afdeling groenteteelt.

(Krug, Liebig) Dit deel is echter nog in de ontwikkelingsfase. Vanuit de afdeling groenteteelt moet eerst meer informatie beschikbaar zijn.

Om deze doelstelling te realiseren wil men tevens gebruik maken van nieuwe sensoren. Ook op dit gebied is er samenwerking met Krug en Liebig.

Samenvattend kan gesteld worden dat het werk goed aansluit op het onderzoek op het Proefstation. Men werkt aan dezelfde onderwerpen (verbetering, temperatuurregeling, CO₂ regeling) waarbij men sterk vast houdt aan het adaptieve regel principe. Het lijkt (op basis van de resultaten van Udink ten Cate) echter noodzakelijk om voor verdere verbetering van de regelingen gebruik te maken van verbeterde modellen. Adaptatie alleen blijkt niet voldoende.

5. Plastic kassen Von Zabeltitz en Weimann

De laatste jaren worden er in West Duitsland in toenemende mate plastic folie kassen gebouwd. Op dit moment is van de ongeveer 3000 ha kassen 350-380 ha plastic. De belangrijkste reden voor het bouwen van plastic kassen zijn de hoge kosten voor normale glaskassen.

Op het ITG werden 3 verschillende types met elkaar vergeleken. De belangrijkste aspecten die in het onderzoek aandacht krijgen zijn:

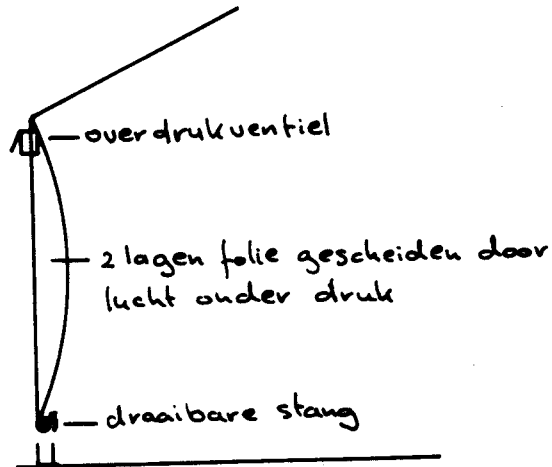
- lichttransmissie
- condensvorming
- ventilatiesystemen
- stevigheid constructie/isolatie

De lichttransmissie van de plastic kassen is over het algemeen lager dan van glaskassen. In een enkel folie kas kwam men tot 55-58% (op 1 m hoogte gemeten). In de kas met 5 lagen folie (teflon pannels) was de lichttransmissie slechts 52% en onder invloed van condens liep dit terug tot 38%. Het optreden van condens vormt een van de belangrijkste problemen. Er werd gesteld dat als men dit probleem niet kon oplossen het gebruik van plastic kassen praktisch onmogelijk is. Men onderzoekt nu diverse anti condens folies op werking en duurzaamheid.

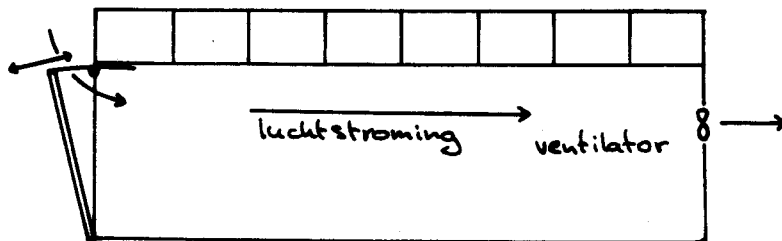
Een ander probleem is het ventilatiesysteem in plastic kassen. De conventionele luchting is in deze kassen erg duur (DM 100 per strekkende meter), daarom wordt gezocht naar andere mogelijkheden.

Er werden 2 andere systemen toegepast:

- 1- zijgevelluchting
- 2- luchting m.b.v. ventilatoren



Figuur 1. Principe gevelluchting bij een kas met dubbel folie in de zijgevel.



Figuur 2. Luchtingsysteem m.b.v. ventilatoren

De drie plastic kassen waren op verschillende manieren geconstrueerd. De eerste plastic kas was opgebouwd als een tentconstructie waarbij de dwars krachten werden opgenomen door schoordraden. De nok werd gedragen door een opgeblazen plastic slang van 1 m ϕ . De zijwanden waren uitgevoerd zoals in figuur 1. In deze kas werden metingen uitgevoerd aan de krachten in de diverse constructie delen. De isolatie wanden van deze kas was vergelijkbaar met een enkel glas kas met dubbele gevels. Het plastic moet na 2-3 jaar vervangen worden. (Kosten constructie ca DM 40/m²). De tweede kas was opgebouwd van zware stalen staanders en spanten waarin panelen met slagen teflon waren gemonteerd (dikte 100, 60, 40, 60, 100 micron). De K-waarde was zeer laag, 1.2 W m⁻² K⁻¹ en de levensduur werd gegarandeerd tot 10 jaar. De kosten van deze kas, inclusief ventilatie m.b.v. ventilatoren kwamen op DM 170 m⁻². (figuur 2) De laatste kas, waarin normale luchting werd toegepast, was opgebouwd uit een aluminium buisconstructie met daaroverheen 0.18 mm dik folie. Ook deze kas was m.b.t. de isolatie waarde vergelijkbaar met een enkel glas kas. (Kosten DM 50-55 m⁻²).

Uit de opmerkingen van beide onderzoekers kwam duidelijk naar voren dat het condens probleem moet worden opgelost omdat zij anders geen grote toepassings mogelijkheden zien. Daarnaast moeten de bouwkosten verlaagd worden. Vooral de kosten van de luchtingssystemen verhogen de bouwkosten sterk. Bij gebruik van gevelluchting en/of ventilatoren is de afmeting van de kas beperkt i.v.m. de lage luchtings capaciteit. Het geheel overziend kunnen we stellen dat de kosten van deze, plastic kassen relatief hoog zijn vergeleken met onze Venlo kassen. In West Duitsland zijn de goedkope plastic kassen concurrerend met 2e hands Venlo kassen uit Nederland. (met name in de gebieden langs de Nederlandse grens).

6. Lage temperatuurverwarmingssystemen (Von Elsner)

Op het ITG doet von Elsner onderzoek aan lage temperatuurverwarmingssystemen. Uitgangspunten bij dit onderzoek zijn:

- in West Duitsland is een grote hoeveelheid afvalwarmte van $\pm 30^{\circ}\text{C}$ afkomstig van elektriciteitscentrales.
- deze warmte is gratis vanaf de centrale, de tuinder betaalt alleen het transport.
- de tuinder krijgt het water dat anders door de koeltorens gaat en gebruikt dit zonder tussenkomst van een warmtewisselaar.
- Centrales met meerder "blokken" zijn vanwege het risico t.a.v. de continuë warmtelevering het interessantste. De centrale moet ook s'nachts draaien.

In een drietal afdelingen (9 m breed, ± 30 m lang) worden evenzoveel verwarmingssystemen getest.

* Hortitherm-systeem

principe: water/lucht warmtewisselaar waar lucht door geblazen wordt. De wisselaars (lxbxh = 293 x 40 x 13 cm³) worden over de hele lengte van een (lange) zijgevel aangebracht (fig. 3). Het systeem is zo gedimensioneerd dat bij een buitentemperatuur van -6°C een binnentemperatuur van 16°C gehandhaafd kan worden in een 12 m brede enkelglazen kas, bij een aanvoertemperatuur van 26°C een een luchtverplaatsing van $6 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ per eenheid van 3 m. De regeling m.b.v. de traploos-regelbare ventilatoren werd niet ideaal gevonden. Bij de max. snelheid van de ventilatoren wordt een deel van de lamellen niet benut. Bij een lage warmte vraag voldoet de regeling niet vanwege de ondergrens van de ventilatorsnelheid. Dankzij de grote luchtverplaatsing (tot 56 h^{-1}) is de warmteverdeling goed (fig 4).

Op jaarbasis verbruiken de ventilatoren minder dan 5% van de totale door de warmtewisselaar geleverde energie.

Enkele nadelen van dit systeem zijn:

- eerder problemen met het uitdrogen van potten, de planten hadden echter geen last van de lage (30 cm s^{-1}) windsnelheid.
- ventilatoren maken veel lawaai
- het systeem neemt $\pm 2\%$ van het kasopp. in
- kortsluiting tussen in- en uitgaande lucht

De investeringskosten van dit systeem bedragen $\pm 18 \text{ DM/m}^2$ kasopp. Een 8 ha nieuw te bouwen kas in Rijnland-Westfalen wordt waarschijnlijk met dit systeem uitgerust.

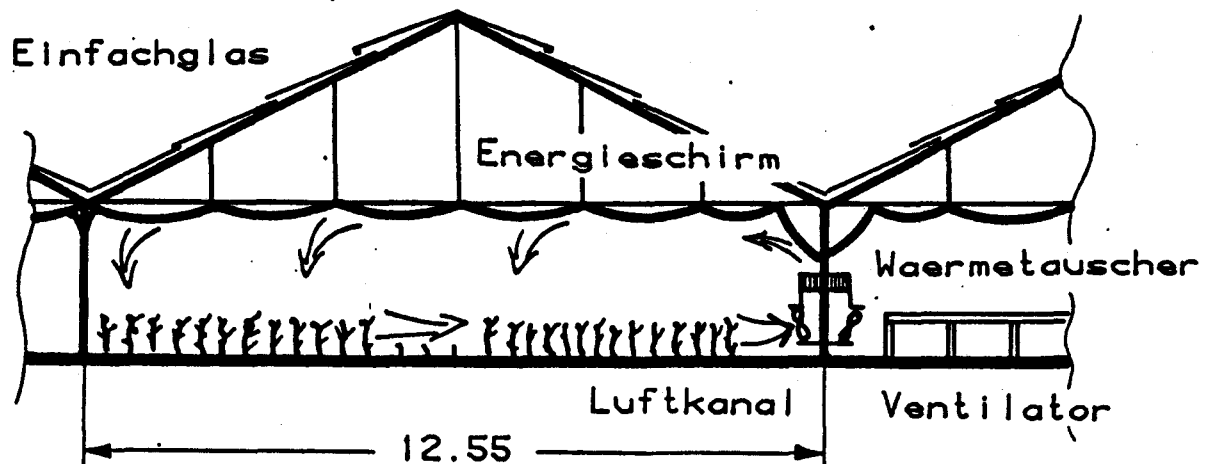
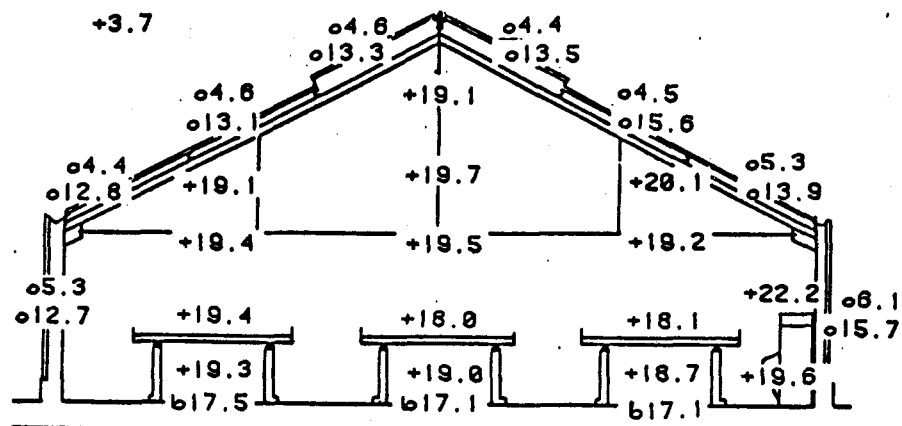


fig. 3 : Anordnung der HORTITHERM-Gewächshausheizung nach RWE



Lufttemperatur [C] + $t_v = 25.6$ $t_r = 23.0$
 Glasetemperatur [C] o
 Bodentemperatur [C] b Luftumwälzung 35 l/h

fig. 4 : Temperaturverteilung am 14.-15.1.84 im Gewächshaus

- * Warmtewisselaar met al dan niet geforceerde convectie. Dit systeem bestaat uit een warmtewisselaar (water/lucht) langs de gehele zijgevel. D.m.v. schermen kan de vrije convectie verbeterd worden. Bij een grote warmte vraag wordt de convectie bevorderd door m.b.v. een ventilator en een plastic slurf met gaten, lucht onder de convector te blazen. De capaciteit wordt hierdoor met een factor 5 groter. Vanwege de hoge kosten en de te lage capaciteit ziet men geen toekomst voor dit systeem.

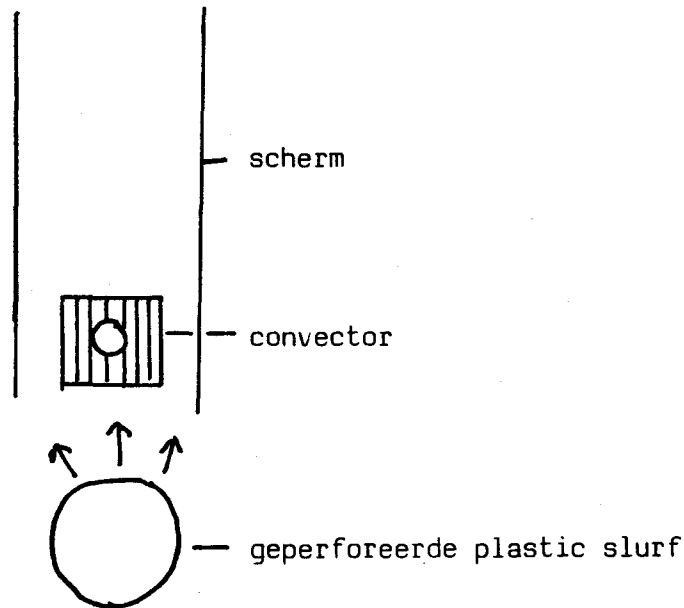


fig. 5: Warmtewisselaar met geforceerde convectie, zijaanzicht.

- * Spaghetti-systeem

Dit systeem bestaat uit een zeer groot aantal 6/4 mm dikke PE-slangetjes onder de tabletten (fig 6). Door het bijna aangesloten zijn van de tabletten kon de warme lucht niet opstijgen. Men maakt nu gebruik van "goottabletten" waarbij het systeem wel goed functioneerd. Voor het verstopt raken van de slangetjes is men niet bang. Wel moet bij het gebruik van koeltorenwater een filter in het systeem opgenomen worden. Dit geldt ook voor de eerder besproken warmtewisselaar. De verwachting is dat dit systeem bij een buitentemperatuur van -14°C een binnentemperatuur van 16°C kan handhaven met 26°C aanvoertemperatuur en een ΔT van 4°C . De prijs bedraagt $\pm 40 \text{ DM/m}^2$. De levensduur wordt geschat op minimaal 20 jaar.

VORAUSSETZUNGEN:
Isoliertes Glas, Energieschirm, Tischkulturen
Vorlauftemperatur: 16 grad C

FORDERUNGEN:
Innentemperatur: 16 grad C, Heizleistung: 136 W/m²

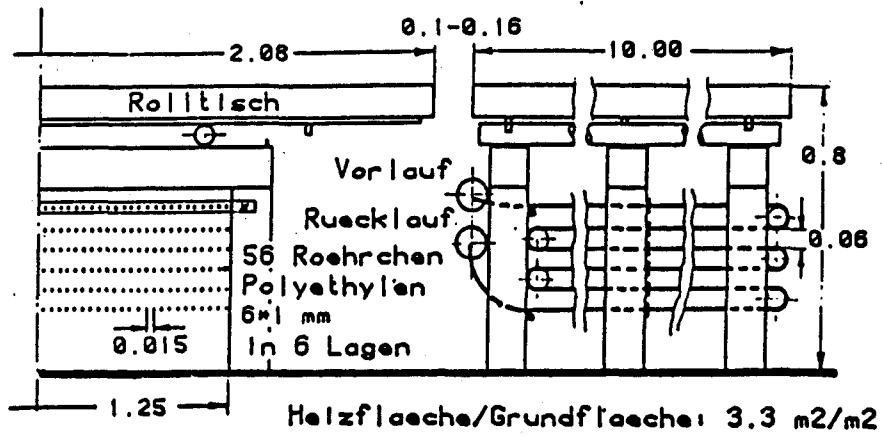


fig. 6 : Aufbau des Spaghetti-Röhrchen-Wärmetauschers

- * Bevloeien van het kasdek met warm water.
Deze methode, waarbij men over het kasdek water van 28°C laat lopen voldoet uit warmte technisch oogpunt goed. De grotere benodigde hoeveelheid warm water werd niet als een groot nadeel gezien. Dit systeem is echter ongeschikt door de sterke vervuiling van het glas door vuil (uit het water) en algen.
- * Verwarmingsmat.
Bij dit systeem wordt het verwarmingswater door matrassen (dubbel plastic) die langs de gevel hangen geleid. Wanneer er geen warmte gevraagd wordt kan men de matten laten zakken zodat er geen lichtverlies optreedt. De prijs, de k-waarde (10W/K m²) en de lichtreductie maken dit systeem echter ongeschikt.

7. Ventilatievoubepaling en warmteterugwinning bij gedwongen ventilatie (Rüther)

De ventilatievoubepaling wordt overeenkomstig de Naaldwijkse methode uitgevoerd. Het grootste verschil is de N₂O concentratie waarbij gewerkt wordt, die ligt een factor 100 hoger dan in Naaldwijk. De N₂O-analysator hoeft daardoor minder nauwkeurig en duur te zijn. Alleen de lekventilatie was tot nu toe gemeten.

In de afdeling waarin de ventilatiemeting plaatsvond deed men ook onderzoek naar het terugwinnen van warmte bij geforceerde ventilatie. Deze warmteterugwinning is alleen van belang indien men niet lucht om de temperatuur te verlagen, b.v. bij het luchten op vocht. Het systeem werkt met een lucht/lucht warmtewisselaar en twee ventilatoren waarbij de uitgaande kaslucht de binnenkomende buitenlucht opwarmt. De kas lucht wordt langs de kopgevel op ± 2 m hoogte aangezogen. De opgewarmde buitenlucht wordt d.m.v. één plastic slurf onder in de 9 m brede kas geblazen fig 7.

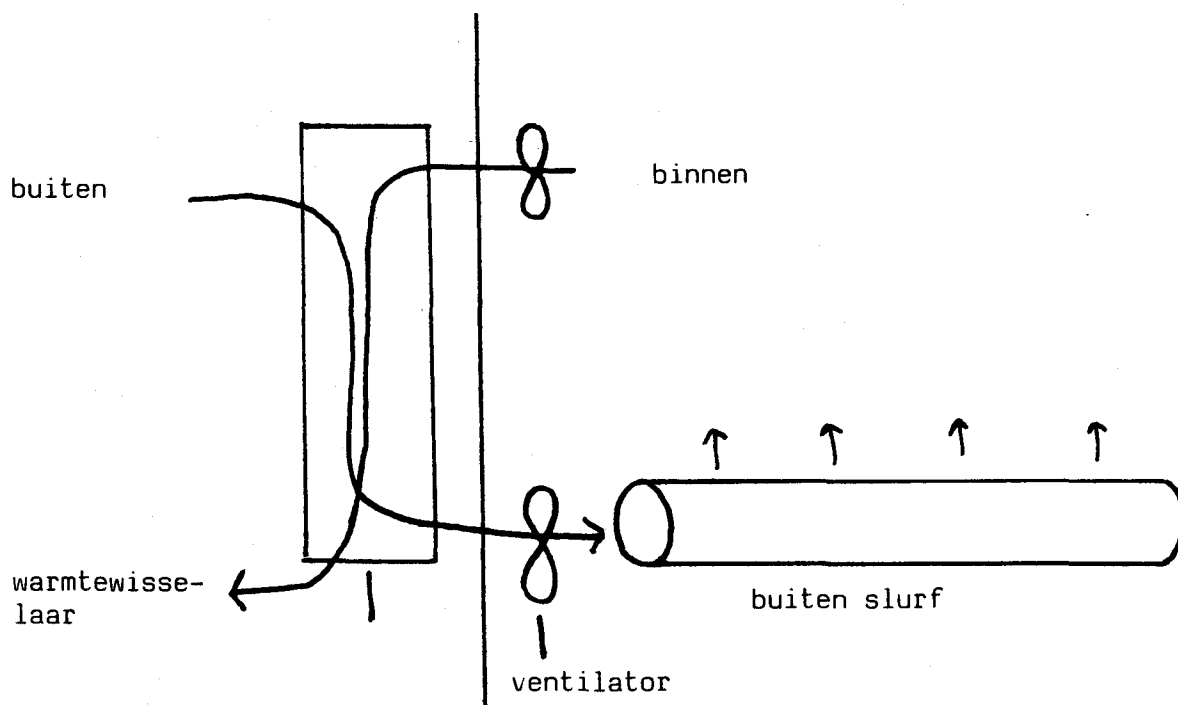


fig. 7 : Warmteterugwinning bij gedwongen ventilatie.

Twee warmtewisselaars worden getest, één met een messing binnenwerk (Priva) en de andere met een plastic binnenwerk. Met deze methode werd de RV tot 60% teruggebracht. Het gewenste RV-niveau wordt door de tuinder bepaald. De vochtigheid in de kas werd gemeten met een zelfgemaakte droge-/nattebol psychrometer, zelfs het kousje was zelfgemaakt. De invloed van de RV op de transpiratie wordt gemeten met een keramisch kunstblad. Ook wordt de bladtemperatuur en de globale straling (4x) gemeten.

8. Schermonderzoek (Meyer)

In het schermonderzoek heeft men zich allereerst gericht op het testen van materialen wat betreft de energiebesparingsaspecten. Hiertoe heeft men in een kas met enkel glas een schermstelsel ontwikkeld, dat zowel de bovenzijde als de zijwanden van de kas volledig oplost.

Bij de geteste materialen varieerde de energiebesparing van 40% voor schermmateriaal, bestaande uit één laag tot 50% voor 2 lagen systemen en zelfs 59% voor een drie lagen systeem. Deze cijfers gelden voor een gesloten scherm (Meyer, 1983).

Men heeft dit onderzoek naar energiebesparingscijfers bij de diverse materialen voorlopig afgerond.

In vervolgonderzoek heeft men gezocht naar methoden om op praktijkbedrijven want te kunnen stellen hoe goed de scherminstallatie werkt. Ook de dichtheid van een scherm kan informatie worden verkregen door meting van de temperatuur in de kas boven en onder het scherm en de buitentemperatuur.

Om de energiebesparing met een scherm op de praktijkbedrijf te kunnen bepalen heeft hij een methode ontwikkeld die gebaseerd is op meting van de temperatuur in de kas en daarbuiten en de temperatuur van het verwarmingssysteem. Hij adviseert de metingen gedurende tenminste 14 nachten uit te voeren.

In Duitsland heeft men problemen met temperatuur fluctuaties onder het scherm en daardoor met fluctuaties van de luchtvochtigheid. Dit kan leiden tot condensatie van waterdamp op de plant. Men zoekt de oplossing in het installeren van 2 onafhankelijke verwarmingstoren, één voor de situatie waarin weinig warmte wordt gevraagd en één voor de pieklasten. Verder wordt ervoor gepleit de verwarmingsregeling aan te passen om te voorkomen dat grote problemen met de temperatuur ontstaan bij insluiten en openen van het scherm.

In Duitsland zijn de kosten voor aanleg van een energiescherm 25 DM/m². De extra kosten voor het installeren van dubbel glas zijn 40 DM/m².

Er is vanwege de hoge investeringskosten voor energieschermen meer belangstelling voor dubbel glas maar ook voor dubbele foliekassen.

Ten tijde van ons bezoek werd een meetopstelling gemaakt waarmee men de lichtvermindering kan meten bij folie, waartegen men in verschillende mate condensatie van water kan laten plaatsvinden.

Literatuur:

Meyer, J. 1983. the influence of thermal screens on energy consumption of greenhouses. Gartenbau wissenschaft 49 (2): 74-76.

9. Institut für Gemüsebau der Universität Hannover (Krug, Liebig, Mann)

Het instituut voor groenteteelt is ook een afdeling van de fakulteit voor tuinbouw en akkerbouw. Er zijn vier wetenschappelijk medewerkers aan verbonden (behalve bovengenoemde ook Dr. H. J. Wiebe en Dr. E. Fölster), een achttal promotieassistenten en twee gastmedewerkers. Tevens wordt onderzoek van doctoraal studenten begeleid. Het instituut beschikt o.a. over 1620 m² kasruimte en een fytotron van 9 afdelingen.

Het programma voor ons bezoek zag er als volgt uit:

1. kennismaking en overzicht krijgen van het onderzoek v.h. instituut
2. rondleiding langs kassen, fytotron en meetopstellingen
3. discussie m.n. over het simulatiewerk v.h. instituut
4. korte uiteenzetting door ons over het werk in Naaldwijk.

Ad 1: overzicht van het onderzoek

Op het instituut wordt onderzoek gedaan gewassen in de open grond en in kassen. Bij de kasteeltproeven wordt vnl. gekeken naar het effect van klimaatsfactoren (luchttemp., straling, CO₂, bodemtemp.) op groei, ontwikkeling en produktie van een aantal belangrijke gewassen (komkommer, koolrabi, sla, kool, radijs enz). Aandachtspunten zijn: wisselingen in klimaatsfactoren, interacties van factoren, schadedrempels van CO₂, economische analyse van produktieverloop, teeltplanning mbv. kentallen, effect van straling en temp. op kwaliteit. Ook wordt iets gedaan aan substraatteeltonderzoek, produktverbreding en rasvergelijking.

Ad 2: Rondleiding

De rondleiding gaf ons een indruk van de methode van onderzoek en van de beschikbare outillage. Er werd uitleg gegeven bij een meerjarige proef met verschillende CO₂-nivo's in combinatie met verschillende temperaturen en verschillende plantdata bij een aantal gewassen.

Enkele opmerkingen bij deze proef:

- * Er worden 6 afdelingen gebruikt van 6.3 bij 21 m. De behandelingen liggen in enkelvoud. Over de jaren heeft men herhalingen.
- * In één afdeling staan verschillende gewassen; in het winterhalfjaar sla, kool, radijs enz., in de zomer o.a. komkommer.
- * De klimaatsfactoren (behalve CO₂) worden op minuutbasis gemeten en naar een datalogger gestuurd.
- * Temp. wordt gemeten met thermokoppels, bodemvocht met tensiometers. Straling wordt maar in één kas gemeten met één solarimeter.
- * CO₂ wordt gemeten met één eenvoudige CO₂-meter (Horiba) en een multiplexer, zodat in iedere afdeling 1 keer per 10 min. wordt gemeten. Op vier plaatsen per afdeling wordt lucht aangezogen.
- * CO₂ wordt gedoseerd uit flessen mbv. een tijdsproportionele regeling. In de regeling worden straling en windsnelheid als regelfactoren meegenomen. Daaroverheen wordt echter een bepaalde korrektiefactor toegepast die iedere 10 min. wordt berekend a.d.h.v. het verschil tussen gerealiseerde en gewenste CO₂-concentratie. Een listing van de regeling (in Fortran) zal ons nog toegestuurd worden.
- * De verwerking van de resultaten vindt plaats op de computer m.b.v. regressie-analyse. Op deze wijze komen de simulatie programma tot stand (zie verderop).
- * CO₂-dosering geeft in het najaar 15 tot 20% hogere opbrengst, en in het vroege voorjaar minder dan 5%. Dit is verklaarbaar omdat CO₂ tot vervroeging leidt, waardoor de periode met relatief veel licht wordt gemist. Radijs reageerde helemaal niet op CO₂.

In een ander kassencomplex wordt begin november koolrabi geplant voor temp. onderzoek. Hierbij wordt geregeld op warmtesom die in de voorgaande 7 dagen is gerealiseerd. De setpoints voor dag- en nachttemperatuur worden éénmaal per dag berekend en niet meer aangepast.

Het fytotron bestaat uit 9 afdelingen van 4 m^2 . het is 10 jaar geleden gebouwd met de bedoeling om onderzoek onder geconditioneerde omstandigheden te doen voor simulatiewerk. Tegenwoordig prefereert men waarnemingen onder praktijkomstandigheden. Er is geen CO₂ dosering, wel r.v.v.-regeling aanwezig.

In één fytotron afdeling wordt een methode getest om de plantmassa te meten. M.b.v. microwave wordt de hoeveelheid water gemeten en m.b.v. gammastraling wil men de totale massa meten. Uit het verschil volgt dan de hoeveelheid droge stof.

Het instituut beschikt verder over een curvet van 1 m^3 voor fotosynthesemetingen. Hierin wordt gemeten hoeveel CO₂ geïnjecteerd moet worden om de CO₂-concentratie op een bepaald nivo te houden. Men wil een kleinere (120 lit) gaan bouwen.

Ad 3: Simulatiewerk: algemeen.

In het simulatiewerk worden drie typen modellen ontwikkeld (en combinaties daarvan) nl. technische, teeltkundige en economische. De werkwijze van Krug en Liebig verschilt van die van de mensen in Wageningen (de Wit, Challa, Schapendonk). Terwijl in Wageningen de methode van de verklarende modellen wordt toegepast, wordt in Hannover een zgn. black-box methode gevolgd. In verklarende modellen worden de basisprocessen die zich in de planten afspelen, gemodelleerd. Een black-box model is een input-output model. D.w.z. er is niets gedefinieerd over wat zich in de plant afspeelt. Alleen is gedefinieerd wat het wiskundige verband is tussen invoer (b.v. klimaatsfactoren) en uitvoer van het model (b.v. productiecijfers). Dit model (de wiskundige verbanden) is verkregen door regressieanalyse van teeltkundige proeven. Het is dus een inter- en/of extrapolatie van proef resultaten. De verbanden tussen klimaatsfactoren en productiecijfers kunnen worden weergegeven in grafiekvorm (zie fig. 8 en 9), maar ze kunnen uiteraard evengoed bestaan in de vorm regressievergelijkingen opgeslagen in een computerprogramma. Black-box modellen hebben een hoog abstraktie nivo. Ze zijn in eerste instantie grof en worden daarna zonodig verfijnd. Volgens Krug en Liebig zullen de modellen uit Hannover en die uit Wageningen "elkaar ergens in het midden tegenkomen". Dit betekent dat zij hun black-box modellen willen gaan verfijnen door ook enigszins de onderliggende processen erin te modelleren.

Resultaten van simulatie bij radijs

De eerste verfijning is het onderscheiden van verschillende fasen en subfasen.

De vier hoofdfasen zijn:

- a) kiemingsfase
- b) jonge planten fase
- c) fase van uitplanten tot vroege oogst
- d) productiefase

Bij wijze van voorbeeld van de werkwijze werden resultaten bij radijs en komkommer besproken. Voor de 1e fase v.d. radijsplant wordt de kiemsnelheid uitgedrukt als functie van de datum (= bodemtemp.) en van stoken (=luchttemp.), fig 8A. Het stook-setpoint kan hierbij uitgedrukt worden als energieverbruik, (rekening houdend met de datum).

De volgende stap is voor de 2e (en 3e) fase van de radijsplanten aan te geven hoe de groeisnelheid afhangt van de stralingssom en de stooktemp. Weer is het energieverbruik berekend als functie van stooktemp. en datum. Hieruit heeft men vervolgens het verband bepaald tussen enerzijds de datum van opkomst en het stookregime en anderzijds de datum van oogst, fig. 8B. Tenslotte is een financieel plaatje (model) gemaakt dat het overschot in DM/m^2 (alleen opbrengst minus energiekosten) aangeeft als functie van de oogstdatum en van het stookregime, fig 8C. Overigens is de factor CO_2 er niet in verwerkt, o.a. omdat men bij radijs geen CO_2 effect heeft gevonden.

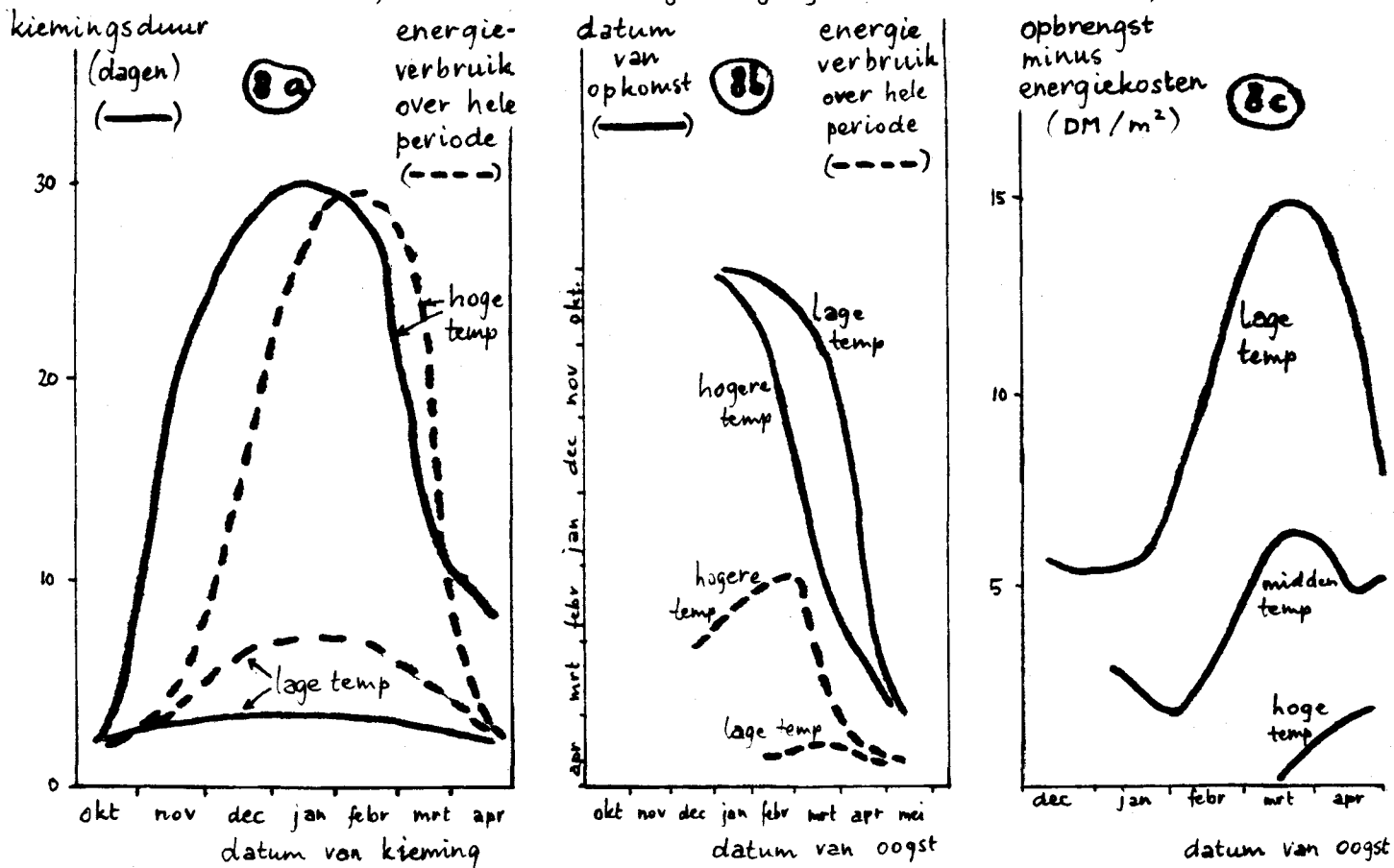


Fig. 8 Schets van de gevonden verbanden tussen teeltfactoren en plantreactie bij radijs (Krug en Liebig).

Resultaten van simulatie bij komkommer

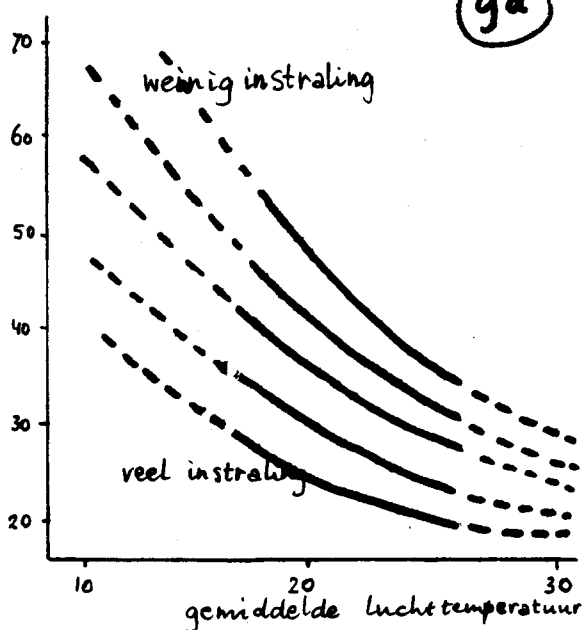
Bij komkommer is o.a. gekeken naar de gevoeligheid voor lage lucht en bodemtemp. en de mogelijkheid om korte periode van lage temp. te compenseren. Komkommer reageert vnl. op gemiddelde temp., mits kritieke temp. vermeden worden. De gevoeligheid voor lage temp. is groter in perioden met lage instraling, wat uiteraard te maken heeft met de conditie van de planten. (Overigens trad een reactie van de planten (afsterving) op te lage bodemtemp. pas op ca. 7 à 8 dagen na het temp. tekort). Ook is bekeken in hoeverre luchttemp. vervangen kan worden door bodemtemp.

Van de temp. reacties zijn grafieken samengesteld voor de verschillende fasen. b.v. in fig. 9a is voor de 3e fase aangegeven hoelang het duurt van planten tot vroege oogst (= 1 kg/m²) bij verschillende temp. en instralingen. Voor de 4e fase (produktiefase) is de produktie snelheid berekend als functie van plantleeftijd, temp. en straling. Deze drie factoren, en met name plantleeftijd, verklaren voor 50% het oogstverloop (kg/m².week).

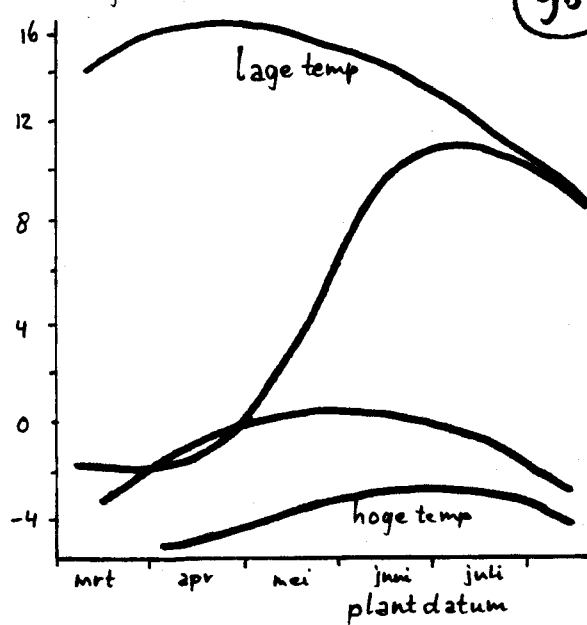
De faktor CO₂ is nog niet verwerkt in het model, en dat zal één van de eerste verfijningen zijn. Gesteld wordt dat met dit model goed het relatieve effect van de input factoren zichtbaar gemaakt kan worden. Men heeft niet de pretentie het absolute produktie nivo nauwkeurig te simuleren.

Tenslotte is ook voor komkommer een financieel model bepaald zoals voor radijs; nl. de opbrengst minus energiekosten uitgezet tegen oogstdatum bij verschillende temp., fig. 9b. Eén van de belangrijkste konklusies hieruit is dat onder Duitse omstandigheden het meest economisch geteeld kan worden bij lage temp. instelling (aangenomen dat er laat geplant wordt). De verklaring is dat vanwege de late plantdatum (april: al vrij hoge instraling) de temp. reaktie vrij gering is (zie fig. 9a). Verder werd dit economische model ook gebruikt om het effect van de energieprijs door te rekenen. Bij relatief lage energieprijs en vroeg planten, zoals in Nederland, was een hoger temp. regime het meest economisch.

duur van planten tot vroege oogst (1 kg/m²)



opbrengst minus energiekosten (DM/m²)



Nabeschuwing (simulatie in Naaldwijk)

Een aantal zaken die we gezien hebben tijdens de bezoeken aan de twee instituten in Hannover, zijn de moeite waard om nader te bekijken. Met name geldt dit voor het simulatiewerk van Krug en Liebig. Als aanzet voor discussie volgen hier een aantal gedachten.

Kenmerkend voor de zgn. black-box simulatie werkwijze van Krug en Liebig is dat in principe een snelle omzetting mogelijk is van experimentele gegevens naar een computer simulatie model (zie de beschrijving op pag. 12 e.v.) Naast dit grote voordeel heeft deze werkwijze ook nadelen. Het voornaamste probleem is dat een black-box model eigenlijk alleen geldig is in de situatie(s) die tijdens het experiment heerste(n), m.a.w. zo'n model is moeilijk te generaliseren en ook extrapoleren is niet zonder meer toegestaan. Van factoren die geen onderzoeksfactoren waren in het experimentele werk is vaak totaal niet bekend hoe groot de invloeden en de interacties zijn. Doordat die factoren dan niet opgenomen worden in het model, bevatten de simulatieresultaten altijd een bepaalde onnauwkeurigheid.

Een algemeen geldig model, dit is een model dat voor vele factoren (op een breed bereik) de werkelijkheid goed beschrijft, kan dus alleen tot stand komen als er zeer veel experimentele gegevens beschikbaar zijn. Er zijn twee mogelijkheden om de benodigde hoeveelheid gegevens te verzamelen: ofwel door een grote proef op te zetten (met veel factoren in veel trappen en veel combinaties, in verschillende identieke afdelingen) ofwel door in de loop van de tijd veel proeven te doen die in eenzelfde kader passen. Krug en Liebig hadden gekozen voor de laatste mogelijkheid, waarschijnlijk ook noodgedwongen omdat er op hun instituut onvoldoende onderzoekskassen zijn. Zij zijn in 1971 begonnen met veldproeven en in 1975 met proeven in kassen. Wel hebben zij meerdere gewassen tegelijk in één kasafdeling, waardoor ze tegelijkertijd aan meerdere modellen werken. Bij deze werkwijze (herhalingen in de tijd) is het extra moeilijk om uit alle gegevens één model te maken. Men moet ofwel zeer veel rekenwerk verrichten ofwel de gerealiseerde klimaatfactoren zeer sterk vereenvoudigen, om de variatie in weersomstandigheden eruit te werken. Het blijkt bij Krug en Liebig toch op één andere wijze mogelijk te zijn.

Uit de beschrijving van de black-box simulatie methode en uit het bovenstaande, zal duidelijk zijn dat er mogelijkheden zijn voor toepassing ervan in het Naaldwijkse onderzoek, vooral bij kasklimatologie/teeltkundige en fysiologische proeven. Hiervoor zal het nodig zijn de opzet en uitvoering van proeven sterk planmatig te doen en verder zal de uitwerking dieper moeten gaan dan nu gebruikelijk is. De computer zal hierbij nodig blijven. Belangrijk is echter dat er geen rigoreuze principiële veranderingen nodig zijn ten opzichte van de huidige werkwijze in het Naaldwijkse onderzoek. Meestal worden toch de proef resultaten al grafisch of in formulevorm weergegeven, wat in principe ook een soort model is. Tenslotte kan opgemerkt worden dat dergelijk simulatie onderzoek heel goed gedaan kan worden naast het simulatie onderzoek dat op het CABO plaatsvindt.

Er zijn veel aspecten aan de bovenbeschreven onderzoeksmethode black-box simulatie die verder besproken moeten worden, b.v.:

1. is het mogelijk met een goed geplande proefopzet voldoende gegevens te verzamelen en hoe kan dat het beste? (veel afdelingen of herhaling in de tijd)
2. op welke wijze moeten de proeven precies uitgewerkt worden om tot een model te komen? (regressieanalyse, software pakketten)
3. door wie wordt de gegevensverwerking in principe uitgevoerd? (statistici of gespecialiseerde onderzoeker)
4. welk type onderzoek is geschikt voor en dergelijke aanpak? (kasklimatologisch, teeltkundig, fysiologisch, bodemkundig)
5. welk(e) gewas(sen) kom(t/en) 't eerst in aanmerking voor verwerking tot een simulatiemodel?
6. op welke wijze kunnen en willen andere instituten (b.v. CABO) deze aanpak ondersteunen?

De discussie zal verder buiten dit reisverslag voortgezet worden. Tenslotte wil ik aan het eind van dit verslag vermelden dat we door de bezoeken aan de twee instituten in Hannover een goede kijk op het tuinbouwkundig onderzoek in Duitsland hebben gekregen. Bovendien kunnen een aantal ideeën, m.n. die we bij Krug en Liebig hebben opgedaan, zeer bruikbaar blijken voor het Naaldwijkse onderzoek.