A 411

VOORKOELEN VAN SNIJBLOEMEN
Verslag van onderzoek in 1991

J.W. Rudolphij en H. Wang

Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek

ato-dlo



PPORT 203

ATO-rapport 203

ato-dlo

VOORKOELEN VAN SNIJBLOEMEN
verslag onderzoek in 1991

J.W.Rudolphij
H.Wang

DLO Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek (ATO-DLO)
Haagsteeg 6
Postbus 17
6700 AA Wageningen

Opdrachtgever: Bedrijfsschap voor de Groothandel in Bloemkwekerijprodukten te Aalsmeer

November 1991

2239924

Inhoudsopgave

		blz
Trefwoorden		3
Samenvatting		3
Summary		3
1.	Inleiding; doel van het projekt	4
2.	Uitgevoerde metingen, werkwijze	6
3.	Bepreking resultaten	13
4.	Discussie mogelijkheden verkorting koeltijd	19
5.	Conclusies en aanbevelingen	20
Bijlagen		22

Trefwoorden: anjer, koeltijd, roos, voorkoelen

Samenvatting

Het in dit rapport beschreven onderzoek richt zich op de mogelijkheden om korte koeltijden te bereiken in voorkoelinstallaties bestemd voor gebruik bij groothandelsbedrijven en exporteurs in snijbloemen. Het rapport is een interimrapport van een onderzoekprojekt, dat aan ATO - DLO in opdracht is gegeven door het "Bedrijfsschap voor de Groothandel in Bloemkwekerijprodukten" te Aalsmeer.
In het rapport wordt aandacht gegeven aan de invloed van de verschillende mogelijke systeemvariabelen op de lengte van de koeltijd en aan het te hanteren criterium voor het vaststellen van de koeltijd. De relatie 'koeltijd - luchtdebiet' is experimenteel bepaald voor anjers en rozen gegeven de bestaande werkwijze bij het voorkoelen van snijbloemen. Binnen die werkwijze blijkt een vergroting van het luchtdebiet geen substantieel effect meer te hebben op het terugdringen van de koeltijd. Maatregelen worden voorgesteld om langs andere wegen korte koeltijden te realiseren.

Summary

The purpose of the work, described in this report, is to improve the usefulness of precool installations for cut flowers. This goal can be achieved by realising a reduction of the cooling time. Precool installations are in use by wholesale- and export-firms in the flower trade. At that point in the distribution chain for flowers little time is available for a cooling process. However the lowering of the temperature of the flowers there, before the long distance transport in the distribution chain takes place, is of importance for the maintenance of the quality of the product.
The study is part of a research program of ATO - DLO ordered by the "Bedrijfsschap voor de Groothandel in Bloemkwekerijprodukten" at Aalsmeer.
In the report the influence of different system variables on the length of the cooling time is discussed, in particular the influence of the evaporation of water from the product. The relation 'cooling time - air volume rate' is established experimentally for roses and carnations. Within the airflow system of existing precool installations it appeared no longer possible to reduce cooling time by increasing the air volume rate. Other means to realise a reduction in cooling time are presented.

1. Inleiding

Wanneer één van de gewenste naoogstbehandelingen bij een produkt in een afzetkanaal 'koeling' is, dan moet voor dat proces tijd ter beschikking worden gesteld. De tijd nodig voor het afkoelen van het produkt, *de koeltijd,* bepaalt praktisch de minimaal ter beschikking te stellen tijd. Voor binnenlandse dagprodukten, d.w.z. produkten met een geringe houdbaarheid, die binnen ca. 24 uur na de oogst bij de detailhandel in Nederland worden afgeleverd, is een koeltijd tot een duur van 12 uur aanvaardbaar. Er kan dan gedurende de nacht worden gekoeld. Wanneer de koeling echter overdag moet plaatsvinden, zoals voor produkten bestemd voor export kan voorkomen, dan is een aanmerkelijk kortere koeltijd wenselijk. Koelinstallatie en koelcelinrichting moeten daarop worden afgestemd. In het bijzonder moet de directe produktomgeving zo worden beïnvloed, dat het warmteafgiftevermogen en het vochtafgiftevermogen van het produkt maximaal worden benut. Installaties gericht op het bereiken van korte koeltijden worden vaak aangeduid als *voorkoelinstallaties.*

De afzet van snijbloemen via een veiling kent globaal in volgorde de volgende handelingen:

1. oogst
2. bundeling, voorbehandeling en verpakking van het produkt
3. tijdelijke opslag bij de teler (wel of niet gekoeld)
4. transport teler - veiling in de namiddag en avond
5. gekoelde opslag op de veiling gedurende de nacht
6. verkoop via de veilingklok in de ochtend
7. distributie over kopers in de ochtend
8. groothandel/ exporthandel: handelsklaarmaken, verpakken, facultatief voorkoelen voor transport
9. transport naar distributiecentrum of detaillist.

Tijdens verkoop, distributie en handelsklaarmaken van de snijbloemen bij de groothandel/exporthandel warmt het 's nachts gekoelde of koel gehouden produkt weer op. Dit gebeurt juist in de periode voorafgaande aan het lange-afstand-transport in de afzetketen. Al hoewel dergelijke transporten plaatsvinden in gekoelde wagens worden deze meestal zo dicht beladen, dat van een afkoeling van het produkt tijdens de rit geen sprake is. Beladen koelwagens zijn wel in staat om de produkttemperatuur, aanwezig bij het laden, te handhaven; op een temperatuurverlaging van de inhoud van het voertuig moet niet worden gerekend. Daarvoor is het geïnstalleerde koelvermogen in koelwagens te gering.

Voor een konsekwente toepassing van temperatuurbeheersing in de afzetketen van snijbloemen, is de uitvoering van een koelproces bij de groothandel/exporthandel tussen verpakken en laden voor transport, dan ook van belang. Het is bekend, dat ondanks dat belang bij het handhaven van een lage produkttemperatuur, van de aanwezige voorkoelinstallaties bij de groothandels- en exporteursbedrijven slechts een beperkt gebruik wordt gemaakt. Een belangrijke belemmering kan zijn het oponthoud, dat een "off-line" koelproces veroorzaakt in het verwerkingsproces in een pakstation. Daar waar gebruik is gemaakt van koeltunnels "on line" in de verpakkingslijn zijn deze tot nu toe geen succes gebleken.

Dit komt mede door onvolkomenheden in het ontwerp van de enkele gerealiseerde installatie en ook door, o.m. voor snijbloemen geldend, onbekendheid met de juiste waarde van enkele voor de warmteuitwisseling belangrijke produkteigenschappen en hun samenhang met de luchtsnelheid en de vochtigheidsgraad van de koellucht [1]. Voor het juist dimensioneren van koeltunnels is kennis van die gegevens essentiëel.
Een bijdrage tot de uitvoering van het idéé van produkt-temperatuur-beheersing in de afzetketen kan dan ook worden geleverd, wanneer de duur van het koelproces bij de groothandel/exporthandel zo veel mogelijk wordt verkort. Een alternatief is om de afkoeling van het produkt tijdens het lange-afstand-transport uit te voeren. Dit alternatief verdient de voorkeur, gezien de efficiënte tijdsbenutting binnen de afzetketen. De uitvoering is op korte termijn echter moeilijker te realiseren dan voorkoeling bij de handel. Afkoeling tijdens transport vraagt nl. verzwaring van de capaciteit van transportkoelinstallaties en waarschijnlijk opoffering van enige laadruimte om het luchtcirculatiesysteem te kunnen aanpassen aan de verzwaarde taak.

Het in dit rapport beschreven onderzoek richt zich op de mogelijkheden om korte koeltijden te bereiken in voorkoelinstallaties bestemd voor gebruik bij groothandelsbedrijven en exporteurs. Het rapport is een interimrapport van een onderzoekprojekt, dat aan ATO-DLO in opdracht is gegeven door het Bedrijfsschap voor de Groothandel in Bloemkwekerijprodukten te Aalsmeer.

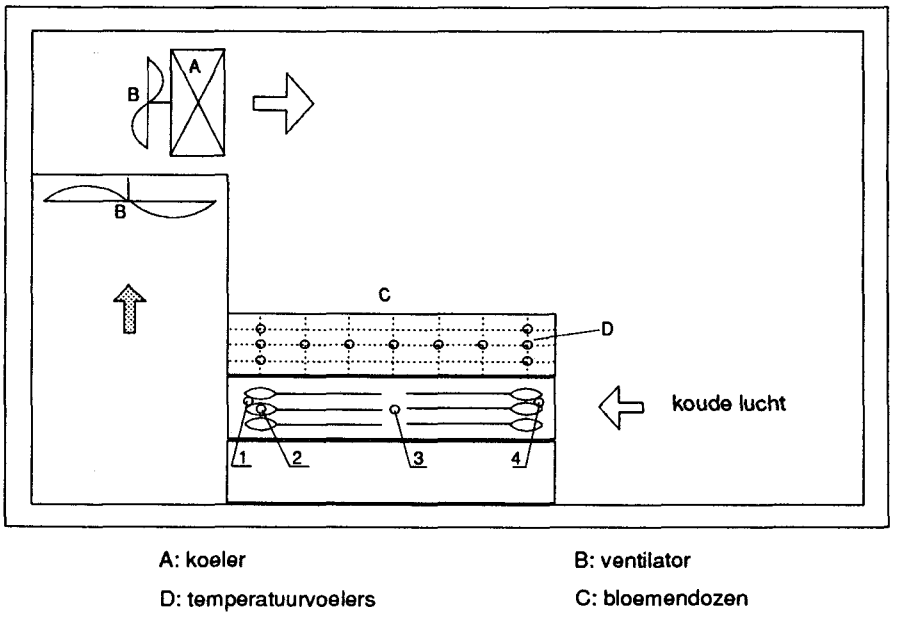
- Doel van het onderzoek:

1. Vaststellen van de mate van invloed van de factoren, die de koeltijd van een produkt bepalen; hier in het bijzonder voor snijbloemen.
2. Vaststellen van de praktisch te behalen minimum koeltijden en de daarbij behorende aandachtspunten cq. invloed op kwaliteit, investeringen en bedrijfskosten.
3. Verzamelen van gegevens, vnl. warmte- en vochtoverdrachtsgegevens, voor toepassing in een simulatierekenmodel voor temperatuur en vochtverlies bij produkt in (voor)koelinrichtingen en verpakkingen.

Omdat experimenteel niet alle op de koeltijd van invloed zijnde variabelen vrij kunnen worden gevariëerd is een simulatierekenmodel een goed hulpmiddel om de mate van invloed van veranderingen in die variabelen te schatten en tevens de versterking of verzwakking van de invloed door interacties. Via het model voor koelinstallaties kunnen daarnaast nog gegevens worden geproduceerd over economische aspecten van het voorkoelen; benodigd vermogen voor koeling en luchtcirculatie; te verwachten energieverbruik.

---

[1] Rudolphij. J.W., ATO-(intern)-rapport no. 39, Beoordeling van twee koeltunnels voor het koelen van resp. AA - dozen en emmerdozen met snijbloemen, sept. 1989.



Figuur 1. Voorkoelsysteem voor snijbloemen

2. Uitgevoerde metingen; werkwijze

- Experimentele opstelling.

Om met gekoelde lucht het produkt zo snel mogelijk af te koelen, is het voor de hand liggend het produkt direkt in aanraking te brengen met de koellucht. Bij voorkoelinstallaties, in gebruik voor produkten in vrijwel gesloten verpakkingen zoals kartonnen dozen, en met lucht als transporteur van warmte of koude, komt dan ook alleen een doorstroom-luchtcirculatie-systeem in aanmerking. Een uitvoering daarvan is getekend in figuur 1.

Onafhankelijk van het luchtcirculatiesysteem van de koelinstallatie van een koelcel worden in de koelcel voorkoelunits gebruikt. Deze voorkoelunits bestaan uit een kast, waarin onderdruk wordt gezogen met behulp van een ventilator. Tegen openingen in de kast worden de bloemendozen geplaatst. De dozen zijn op hun beurt voorzien van openingen in de kopse kanten van de doos. Op die wijze wordt gekoelde lucht uit de ruimte door de dozen naar de kast gezogen. Het systeem heeft het voordeel, dat niet gebruikte openingen van de kast eenvoudig kunnen worden afgedicht met afdekplaatjes, die dan tijdens bedrijf op de openingen worden vastgezogen. De beschreven uitvoering is gebruikt voor de afkoelexperimenten in het projekt.

- De variabelen met invloed op de koeltijd van een produkt zijn:

- starttemperatuur en eindtemperatuur van het produkt		[°C]
- temperatuur van de koellucht		[°C]
- luchtdebiet door de verpakkingséénheid		[m^3/h] of [kg/s]
- luchtverdeling binnen de verpakkingséénheid		
- massa produkt in de verpakkingséénheid		[kg]
- soort produkt:	soortelijke warmte	[kJ/ kg.K]
	warmteoverdracht	[W/ kg.K]
	vochtoverdracht	[kg H_2O/ kg.Pa.s]
in mindere mate	warmteproduktie	[W/ ton]
en	warmtegeleiding	[W/ m.K]
- vochtigheidsgraad van de koellucht; dampdruk		[Pa]

Gegeven overige gelijke omstandigheden zal de koeltijd van een produkt in eerste instantie worden bepaald door de warmteoverdrachtseigenschap van dat produkt. Dit betreft de warmte, die door geleiding wordt overgedragen aan de circulerende lucht. Omdat bij de verdamping van water uit een produkt echter zoveel warmte is betrokken (warmteopname uit de produktomgeving 2500 kJ per kg vocht bij overgang van water naar damp in vergelijking tot de ca. 4 kJ per kg produkt, die moet worden onttrokken voor een temperatuurverlaging van één °C) kan naar verwachting de koeltijd van een produkt sterk worden beïnvloed door de mate van verdamping. Deze verdamping wordt beheerst door een dampdrukverschil tussen produkt en koellucht. De hoge dampdruk aan de produktzijde hangt samen met de temperatuur en de evenwichts-relatieve-vochtigheid van het produkt; de lage dampdruk aan de luchtzijde met de luchttemperatuur en het vochtdeficit van de koellucht. De beide laatste grootheden, de temperatuur en het vochtdeficit van de koellucht, worden beheerst door het geïnstalleerde koelsysteem. Daarbij de aantekening, dat de temperatuur instelbaar is en het vochtdeficit wordt bepaald door het type en de wijze van sturing van de warmtewisselaar(s). Plaatselijk in de verpakking variëert het bovengenoemde dampdrukverschil langs de lengte van de doos door toename van de temperatuur van de koellucht als gevolg van opwarming (voelbaar warmtetransport) en door afname van het vochtdeficit als gevolg van opvulling met damp (latent warmtetransport). In het experimentele systeem zijn de warmtewisselaars, waarmee gekoelde lucht wordt geproduceerd, freonverdampers. Afhankelijk van de verdampingstemperatuur waarop dergelijke warmtewisselaars zijn ingesteld en van de vorm en grootte van de warmtewisselaars werkt zo'n koelsysteem met droge of minder droge koellucht. In de praktijk komen in koelcellen ook water-lucht-warmtewisselaars voor, die werken met koellucht tegen de verzadigingsgrens voor waterdamp [2]. Het positieve effect van de verdamping op de afkoeling is in deze systemen beperkt. Experimenteel betekent het, dat koeltijden behaalt in verschillende koelsystemen moeilijk met elkaar zijn te vergelijken. Een vergelijking van koeltijden binnen een systeem is legaal.

---

[2] Hierop is weer een uitzondering mogelijk, namelijk daar waar het waterdebiet van deze warmtewisselaars, om energieverbruik te beperken, wel voldoende ruim is gedimensioneerd voor opslagkoeling doch opzettelijk beperkt is gehouden voor afkoeling. In het laatste geval is de koellucht droger tijdens afkoelen en vrijwel verzadigd tijdens opslagkoeling.

De invloed van andere systeemomstandigheden, zoals beschikbaar vermogen waarmee het verloop van de temperatuur en de vochtigheidsgraad van de koellucht tijdens het koelproces samenhangt, moet in verband met de lastig te beredeneren interactie tussen een groot aantal betrokken variabelen langs de weg van simulatie met rekenmodellen plaatsvinden.

Met betrekking tot de te hanteren warmteoverdracht- en vochtoverdrachteigenschappen van een produkt is het van belang te wijzen op de onderdelen, waaruit deze begrippen zijn opgebouwd.

De warmteafgifte = overdracht * temperatuurverschil (Tp - Tk) [W/ kg]
De vochtafgifte = overdracht * dampdrukverschil (Pp - Pk) [kg H_2O/ kg.s]

Tp = temperatuur van het produkt [°C]; Tk = temperatuur van de koellucht [°C]
Pp = dampdruk in de oppervlaktelaag van het produkt [Pa];
Pk = dampdruk van de koellucht [Pa]

overdracht = coëfficiënt * effectief oppervlak

warmteoverdracht:	coëfficiënt	[W/ m^2.K]
	effectief oppvl.	[m^2/ kg]
	overdracht	[W/ kg.K]
vochtoverdracht:	coëfficiënt	[kg H_2O/ m^2.Pa.s]
	effectief oppvl.	[m^2/ kg]
	overdracht	[kg H_2O/ kg.Pa.s]

In beide overdrachtsgevallen is als uitgangspunt genomen, dat de overdrachtscoëfficiënt produktgebonden is en dat de toegepaste luchtsnelheid voor koelen altijd voldoende is om de bovengrenswaarde van de coëfficiënt te bereiken. Variatie van de overdracht binnen een produktsoort is dan het gevolg van variatie van het effectief oppervlak; i.c. het oppervlak, dat in aanraking komt met de koellucht. Langs die weg kunnen binnen de verpakking verschillen in warmte- of vochtoverdracht worden verklaard. In het geval van rozen met tamelijk open bloemknoppen zal de warmte- of vochtoverdracht op plaats 4, figuur 1, aanstroming van koude lucht rechtstreeks in de knop, groot effectief oppervlak, waarschijnlijk veel groter zijn dan op plaats 1, figuur 1, koellucht stroomt af langs de buitenbladen van de knop, kleiner effectief oppervlak. Snijbloemen met in het verzendstadium meer gesloten knoppen, zoals irissen, zullen mogelijk in dit opzicht minder verschillen vertonen tussen aanstroom- en afstroomzijde van de koellucht.

De koellucht wordt binnen de verpakkingen in veel gevallen nog geleid door tunnels als gevolg van het feit, dat de snijbloemen gebost in de dozen worden gelegd en deze bossen gedeeltelijk zijn omgeven door cellofaanfolie. Deze werkwijze heeft locaal een grotere luchtsnelheid langs het produktoppervlak tot gevolg dan een situatie zonder

folieverpakking. Wanneer het eerste uitgangspunt juist is mag deze verpakking geen grote invloed uitoefenen op het koelresultaat.
Wel zal een verhoging van de luchtsnelheid voor de verpakking als geheel een verbetering kunnen geven van het koeleffect. Binnen voorgaande beschouwing alleen via vergroting van het effectieve oppervlak van het produkt in zijn geheel. Net als voor de overdrachtscoëfficiënt locaal geldt (volgens de zogenoemde grenslaagtheorie), geldt ook voor het effectieve oppervlak een verzadigingseffect. Vanaf een bepaald debiet zal het beschikbare oppervlak maximaal effectief cq. in gebruik zijn. Voor het bereiken van die grens valt een afnemende verkorting van de koeltijd te verwachten bij toenemend luchtdebiet.
Voor een goed inzicht in het temperatuur- en vochtafgiftegedrag van produkt in verpakkingen is het van belang, dat uitgangspunten als bovengenoemde experimenteel worden getoetst. In de beide proefseries van 1991 is alleen globaal de relatie koeltijd - luchtdebiet vastgesteld.

- Bij het onderzoek betrokken produkten.

In verband met vorm en oppervlak van de bloemknoppen, hoeveelheid en oppervlak van het blad, het commerciële belang van de produkten, zijn de volgende snijbloemen uitgekozen als referentieprodukten voor het koelonderzoek:

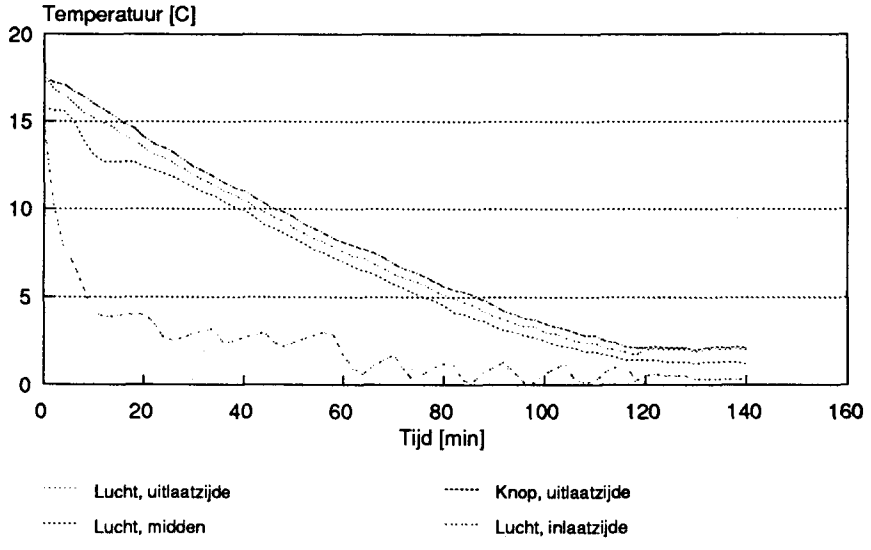
anjer; chrysanth; iris; roos; tulp.

- Metingen en werkzaamheden in 1991.

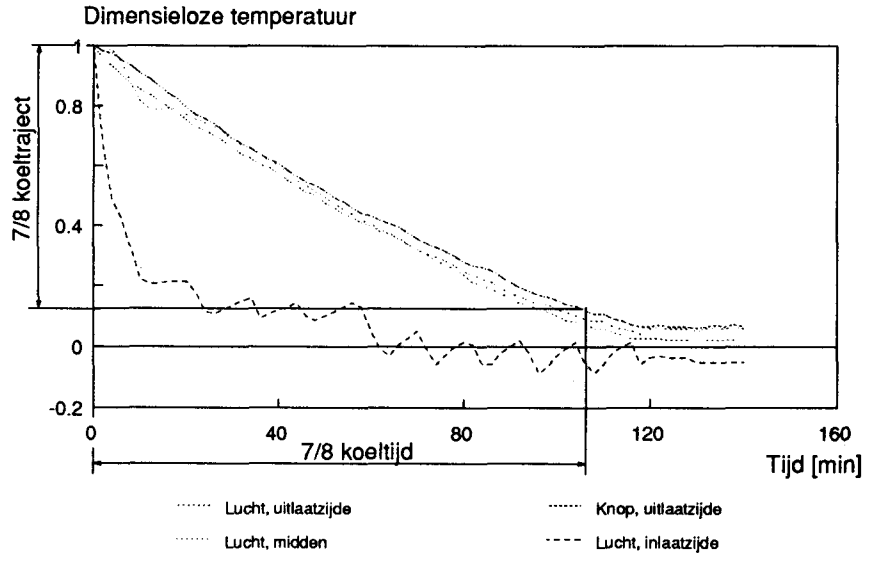
In het eerste jaar van het projekt zijn twee proefseries uitgevoerd en wel met de produkten anjer (trosanjer Natila) en roos (variëteit Sonia).

Een proefserie bestaat uit 5 afkoelproeven, ieder bij één van 5 mogelijke toerenstanden van de ventilator van de voorkoelopstelling.

Vooraf zijn bij een tweetal exporteurs te Aalsmeer proefmetingen uitgevoerd om na te gaan welke luchtdebieten in voorkoelinstallaties in de praktijk zijn geïnstalleerd. Dit bleek nogal uiteen te lopen. Het laagste gemeten luchtdebiet door de dozen was ca. 35 m^3/h per doos, het hoogste ca. 80 m^3/h per doos. De proefinstallatie heeft een maximaal debiet van ca. 68 m^3/h per doos, dus in dezelfde orde van grootte. Alle metingen zijn uitgevoerd met produkt in AA-dozen (l, b, h resp. 1.20 m, 0.45 m, 0.30 m) met twee ronde openingen in de kopse zijden van de doos (diameter: 0.06 m). Per meting zijn 3 dozen gebruikt om een indruk te krijgen van de voorkomende spreiding in koelresultaat en vochtverlies. In één doos worden de temperaturen van lucht en produkt naar plaats en tijd bepaald met 16 meetpunten aangebracht volgens een patroon als aangegeven in figuur 1. Daarnaast is de temperatuur en relatieve vochtigheid geregistreerd van de aangezogen koellucht en van de retourlucht uit de dozen. In alle gevallen is gekoeld met koellucht van gemiddeld 3 °C (thermostaatinstelling koelruimte) en is het koelproces gestopt bij het bereiken van een produkttemperatuur van ca. 4 °C.



Figuur 2. Temperatuurverloop als functie van de tijd



Figuur 3. Dimensieloze temperatuur als functie van de tijd; 7/8 e koeltijd

Een experimenteel probleem, dat de vergelijking tussen koelresultaten bemoeilijkt, is het feit dat het praktisch niet mogelijk is proeven te starten met gelijke produkttemperaturen. Vereffening van temperaturen voor een proef kost dagen. Om die reden is gekozen voor een presentatie van resultaten in dimensieloze temperaturen (zie als voorbeeld figuur 2 origineel meetresultaat en figuur 3 het meetresultaat met de dimensieloze temperatuur uitgezet op de y - as).

Omzetting T naar Tdim met behulp van: $Tdim = (T - Tk)/ (Ts - Tk)$

Tk = gemiddelde celtemperatuur einde registratietijd
Ts = gemiddelde begintemperatuur produkt

Door de trage asymptotische toenadering van de produkt- en luchttemperaturen tot de celtemperatuur is het verder noodzakelijk een goed gedefiniëerd punt te kiezen voor het vaststellen van de koeltijd. Hiervoor is gekozen het moment, waarop de traagst koelende knoppen (lucht- uitlaatzijde doos) 7/8e deel van het koeltraject (Ts - Tk) hebben doorlopen (zie figuur 3). Was in de plaats van 7/8e deel van het koeltraject voor de helft van het koeltraject gekozen, dan wordt de zogenoemde "halfkoeltijd" genoteerd. Dit begrip komt in de literatuur nogal eens voor (vast te stellen met een kortere experimenteertijd) maar heeft het bezwaar, dat het functioneel verband tussen temperatuur en tijd bekend moet zijn om de reële koeltijd te kunnen vaststellen. Vaak wordt dan het model gehanteerd, waarbij de temperatuurverandering van een produkt per tijdséénheid geacht wordt evenredig te zijn met het temperatuurverschil tussen produkt en omgeving:

$$dTp / dt = \text{constante} * (Tp - Tomg).$$

Dit model geldt wanneer de koelluchttemperatuur onafhankelijk is van de belasting en resulteert in een exponentiëel verband tussen produkttemperatuur en tijd. Voor trage koelprocessen in installaties met weinig koelvermogen geldt dit niet en wordt meestal een lineair verband tussen produkttemperatuur en tijd aangetroffen. Dat verband behoort bij een model, waarbij de warmteafvoer vanuit het produkt constant wordt verondersteld; de koelluchttemperatuur daalt met dezelfde snelheid als de produkttemperatuur:

$$c * dTp / dt = \text{constante}$$

met c = soortelijke warmte van het produkt [kJ/kg.K].

De bij dit onderzoek te gebruiken simulatie-rekenmodellen maken geen gebruik van een vooraf gesteld functioneel verband tussen produkttemperatuur en tijd. Per tijdsinterval wordt een punt van de curve vastgelegd op basis van warmte- en vochtbalansen van lucht en produkt in de koelruimte en in de verpakking.

In samenhang met het experimentele onderzoek betreffende het voorkoelen van snijbloemen is gewerkt aan de ontwikkeling en aanpassing van twee rekenmodellen:
- Het KOBA rekenmodel berekent het afkoel- of opwarmgedrag van produkt en verpakking in een ruimte, waarbij tussen verschillende typen warmtewisselaars kan worden gekozen. Het programma genereert verder het vochtverlies van het produkt en het energie-

verbruik van de installatie. Er zijn warmtewisselaars, die het ingebrachte koel- of verwarmingsvermogen opleggen aan de ruimte (electrische verwarming) en warmtewisselaars, die hun vermogen aanpassen bij de warmtebelasting van de ruimte (verdampers, water-luchtwarmtewisselaars). In het laatste geval levert het program het in te zetten vermogen in ieder stadium van het koel- of verwarmingsproces.
- Het DYFL rekenmodel is een elementenmodel en gericht op het warmte- en stofoverdrachtsproces tussen produkt en lucht in een verpakking. Het temperatuurverloop en de temperatuurspreiding binnen de verpakking wordt door dit model meer in detail berekent dan mogelijk is met het KOBA programma. Aan de hand van het resultaat van dit programma kan een effectverwachting betreffende het verdere verloop van kwaliteit en houdbaarheid van het produkt worden gemaakt.

Om modelresultaat en experimenteel resultaat in overeenstemming te brengen dienen de eerder vermelde warmte- en stofoverdrachtgegevens produkt-lucht te worden vastgesteld. Hierbij de aantekening, gezien de eerdere bespreking, dat deze van plaats tot plaats in de verpakking kunnen verschillen samenhangend met het effectieve oppervlak.

De resultaten van de modellen geven het vaak waargenomen temperatuurverloop van produkt weer tussen een zuiver lineair en een zuiver exponentiëel verband. Beide eerder genoemde temperatuur - tijd - functies zijn dus duidelijk slechts benaderingen van de werkelijkheid. Het betekent, dat de temperatuur van de koellucht niet volledig door de koelinstallatie wordt bepaald onafhankelijk van de belasting die het produkt oplegt, nog dat het koelvermogen zich zodanig aanpast dat juist de door het produkt afgegeven warmte wordt weggenomen.
Omdat de relatie produkttemperatuur - tijd afhankelijk blijkt te zijn van de omstandigheden, koelsysteem, koelluchttemperatuur, luchtvochtigheid, luchtdebiet, en dus niet vooraf goed vast te leggen, heeft het vaststellen van de koeltijd in een experiment op basis van een 7/8e koeltraject de voorkeur.

Een tweede experimenteel probleem ligt in de vulling van de dozen. Snijbloemen worden verpakt op basis van stukstal of aantal bossen (20 rozen of anjers per bos; 40 - 45 bossen per doos). Gemeten is met 40 bossen per doos. De massa van deze vulling kan echter per herkomst aanzienlijk verschillen. Gemeten koeltijden dienen dan voor een vergelijking te worden gecorrigeerd voor het massaverschil. Deze correctie wordt zeer gecompliceerd door het aandeel van de verdamping in het koeleffect en is om die reden achterwege gelaten. Aan de andere kant is de ingangsvariabele "het luchtdebiet" eenvoudiger aan te passen door in plaats daarvan gebruik te maken van de specifieke variabele "debiet per massa-éénheid produkt" [m^3/h.kg]

De gehanteerde criteria bij het beoordelen van het resultaat van de voorkoelproeven zijn:

- koeltijd (7/8 e)
- optreden van mechanische schade bij het produkt
- houdbaarheidseffect

Het ligt in de bedoeling aan het laatstgenoemde aspect aandacht te besteden in een afzonderlijke proefserie nadat de haalbaarheid van de koeling bekend is en dus ook de mate van forcering van het produkt (gevolgen van snelheid temperatuurverandering, locale uitdroging, mate van eventuele mechanische schade door de geforceerde luchtstroming).
De tot nu toe praktisch gebruikte luchtsnelheden liggen betrokken op het lege oppervlak van de doos max. in de orde van 0.15 m/s. Dit ligt ver beneden de norm, die wordt gehanteerd voor grote koelruimten met bloemen op emmers nl. max. 0.5 m/s op de hoogte van de knoppen. De kans op mechanische beschadiging door de sterkte van de luchtstroming is dus gering.

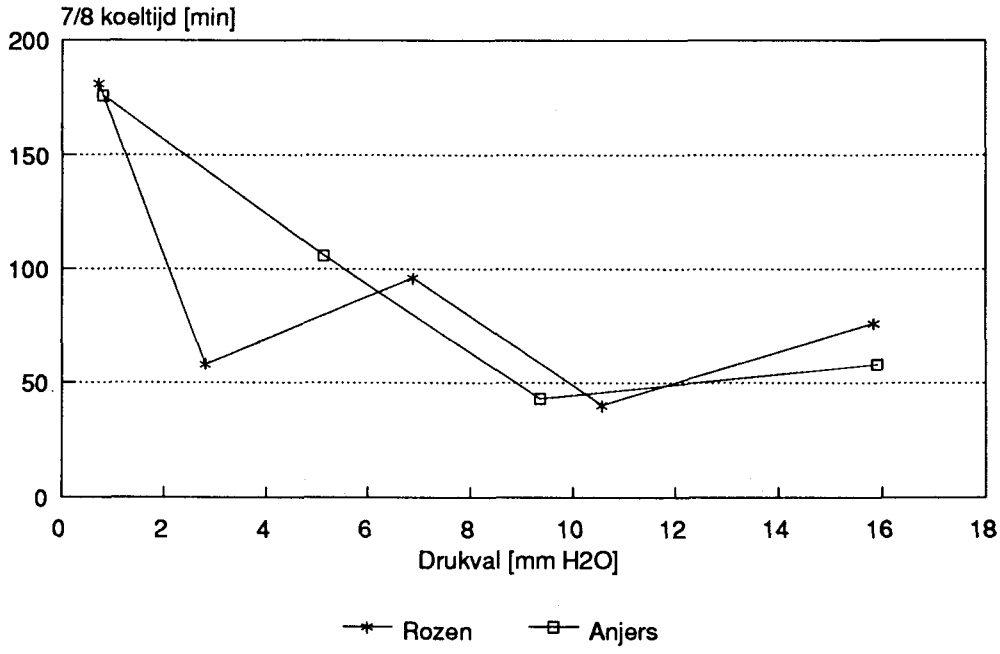
3. Bespreking resultaten

De meetresultaten verkregen uit de proefseries voor anjers en voor rozen zijn opgenomen de bijlage. Een samenvatting van de resultaten is gegeven in tabel 1.

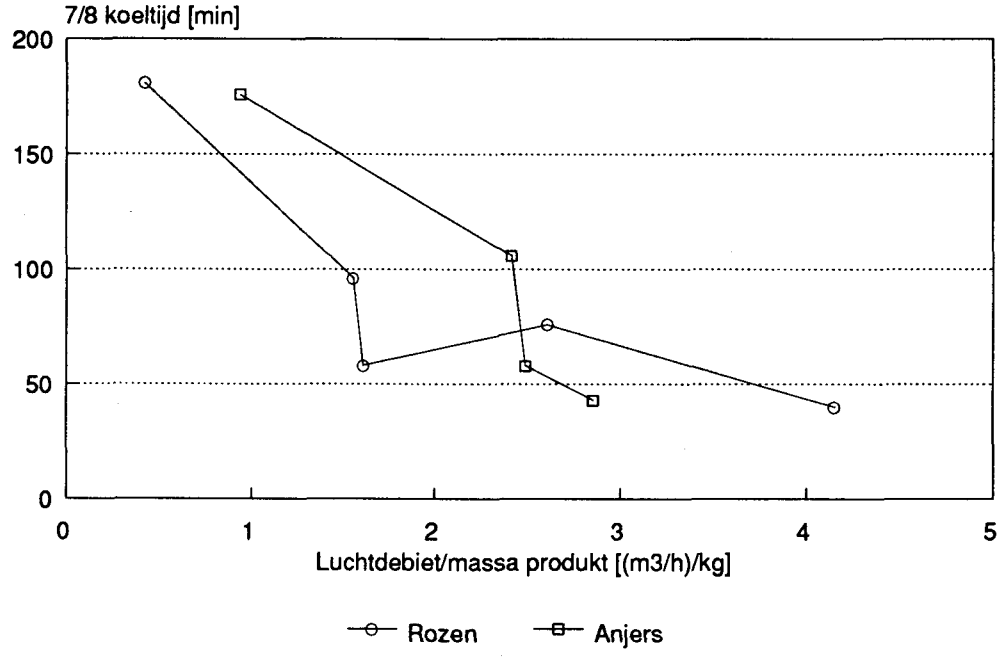
Tabel 1. Meetresultaten proefserie

	Rozen				*Anjers*			
Vent. stand	*ΔP mmH_2O*	*V m/s*	*B $(m^3/h)/kg$*	*7/8 koeltijd*	*ΔP mm H_2o*	*V m/s*	*B $(m^3/h)/kg$*	*7/8 koeltijd*
2	*0.72*	*0.27*	*0.422*	*181*	*0.80*	*0.58*	*0.939*	*176*
3	*2.80*	*0.69*	*1.613*	*58*	** 2.60*	*1.40*	*2.799*	*181*
4	*6.88*	*0.75*	*1.555*	*96*	*5.12*	*1.27*	*2.414*	*106*
5	*10.56*	*1.63*	*4.152*	*40*	*9.36*	*1.54*	*2.855*	*43*
6	*15.84*	*1.38*	*2.608*	*76*	*15.9*	*1.43*	*2.490*	*58*

V : gemeten luchtsnelheid door de gaten van de doos; gemiddelde van 6 metingen aan 3 dozen [m/s]
ΔP: gemeten drukval over de dozen; grootheid evenredig met V^2
B : circulatiedebiet per kg produkt $[m^3/h.kg]$
7/8 koeltijd [min]
* *De gemeten koeltijd in deze proef is relatief te lang omdat de koelcel nog onvoldoende op temperatuur bleek te zijn bij de start van de proef; zie ook bijlage figuur anjer 3.*



Figuur 4. 7/8 e koeltijd versus het drukverschil (grootheid evenredig met V^2)

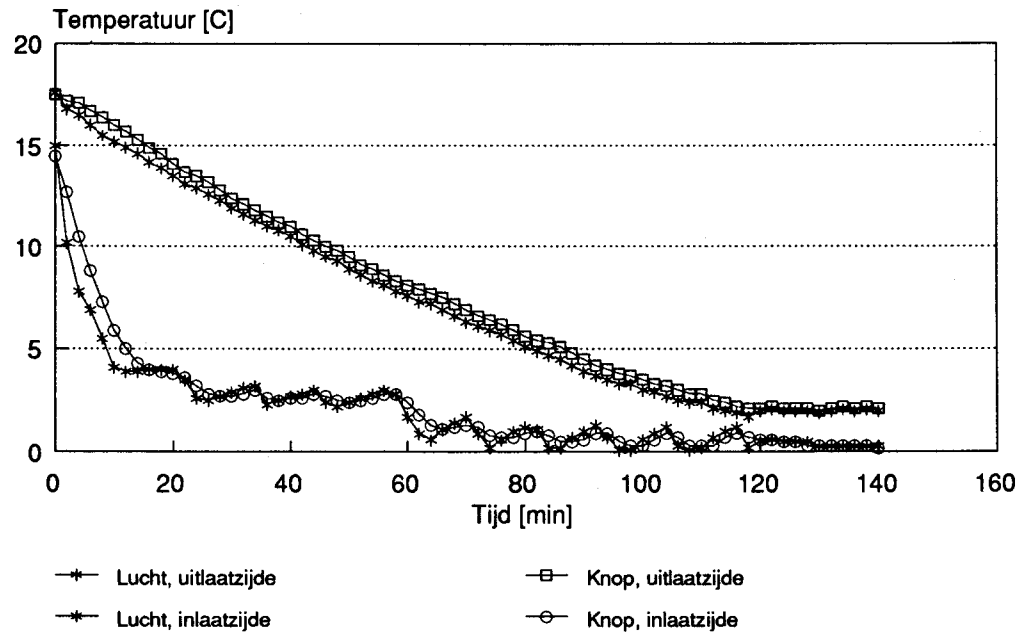


Figuur 5. 7/8 e koeltijd versus het specifieke luchtdebiet

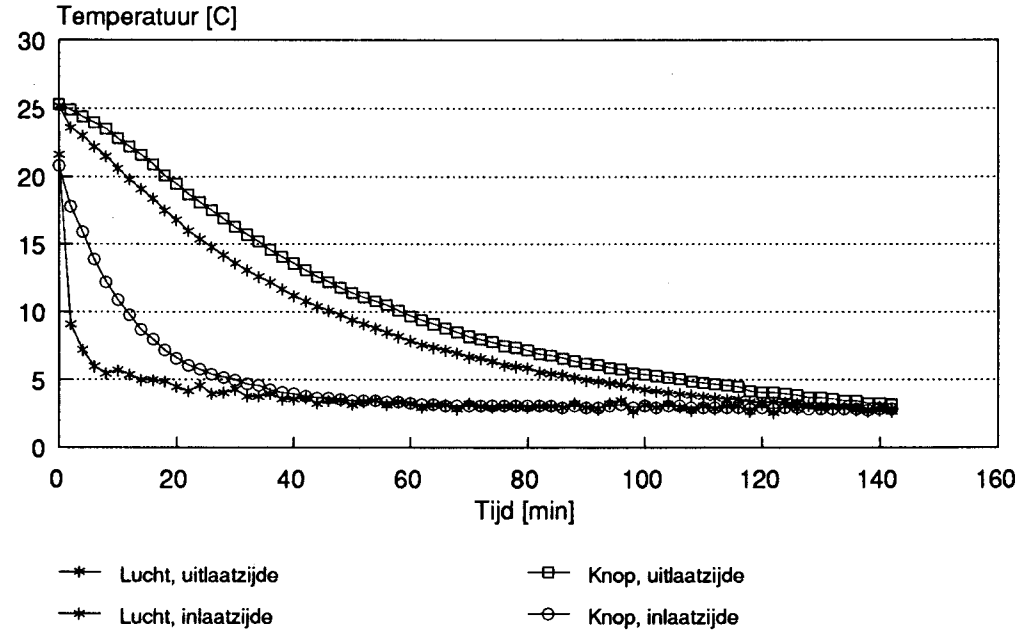
De figuren 4 en 5 geven een beeld van de invloed van het luchtdebiet op de koeltijd. In figuur 4 is de waargenomen 7/8e koeltijd uitgezet als functie van het gemeten drukverschil over een doos. Dit drukverschil is evenredig met de luchtsnelheid door de gaten van de doos in het kwadraat en dus op gelijke wijze ook met de luchtsnelheid langs het produkt in de doos. Verder langs die weg met het kwadraat van het luchtdebiet (volumestroom of massastroom), die zorgt voor het transport van de afgegeven warmte door het produkt. De keuze voor het gebruik van het drukverschil i.p.v. het debiet berust op de grotere nauwkeurigheid, waarmee deze grootheid kan worden gemeten, ten opzichte van een meting van de luchtsnelheid. In figuur 5 is de koeltijd uitgezet als functie van de specifieke variabele "debiet per massa-éénheid" produkt. Deze werkwijze compenseert, zoals genoemd, voor verschillen in massa-inhoud tussen de dozen. Het met een asterix gemerkte proefresultaat van anjers uit tabel 1 is weggelaten uit de grafische presentatie van de resultaten omdat in die proef de koeltijd onnodig is verlengd als gevolg van het niet op temperatuur zijn van de koelcel bij de start van de koeling.

Grafiek 4 geeft het beeld, dat vanaf drukval 5 mm Wk, overeenkomend met ca. 15 m^3/h per doos, voor rozen en vanaf drukval 10 mm Wk, overeenkomend met ca. 30 m^3/h per doos, voor anjers vergroting van het luchtdebiet weinig meer bijdraagt aan een verbetering van de koeltijd. De koeltijd blijft steken op minimaal ca. 60 min. voor rozen en ca. 50 min. voor anjers. Installatie van een groter luchtdebiet leidt dan alleen tot meer energieverbruik door de installatie, maar niet tot een verbetering van het koelresultaat.
Grafiek 5 bevestigt dit beeld voor rozen, maar niet voor anjers. Na de correctie op verschillen in massa-inhoud van de dozen lijkt het er op, dat de koeltijd van anjers nog gunstig beïnvloed kan worden door vergroting van het luchtdebiet boven 3 $m^3/h.kg$. Voor rozen heeft de installatie van een luchtdebiet groter dan 1.6 $m^3/h.kg$ weinig zin.
Om te bepalen welke minimum koeltijd voor anjers bereikbaar is binnen de tot nu toe gebruikte vorm van voorkoelinstallaties voor snijbloemen zijn één of twee aanvullende proeven nodig met een hoger luchtdebiet dan 3 $m^3/h.kg$. Voor dit doel zal de aanwezige ventilator van de proefopstelling moeten worden vervangen door een zwaarder type. De aanwezige meetresultaten, weergegeven in de grafiek, geven geen uitsluitsel over de minimum koeltijd, welke haalbaar is.

De figuren 6 en 7 geven een beeld van een proefresultaat. De series proefresultaten voor anjers en rozen zijn volledig opgenomen in de bijlage. Uit de grafieken blijkt, dat de bloemknoppen van anjers aan de luchtinlaatzijde en aan de luchtuitlaatzijde de daling van de luchttemperatuur vrijwel op de voet volgen. Dat betekent, dat deze bloemsoort goede warmte- en/of vochtoverdrachtseigenschappen heeft. Voor rozen is dit minder het geval. Aan de inlaatzijde is de vertraging ca. 15 min. Zou de koeltijd op de bloemknoppen aan de inlaatzijde kunnen worden gebaseerd, dan komen we tot koeltijden in de orde van
10 min. voor anjers en in de orde van 25 min. voor rozen. De knoppen aan de uitstroomzijde volgen met een grote vertraging, die de koeltijd nadelig beïnvloedt. Er zijn drie oorzaken te noemen: de afkoeling geschiedt met opgewarmde lucht en dus geringer temperatuurverschil tussen lucht en produkt; de koellucht is ter plaatse vochtiger door eerdere vochtopname, waardoor afkoeling door verdamping wordt gehinderd; mogelijk is het effectieve oppervlak voor warmteuitwisseling bij deze bloemen kleiner dan bij de bloemknoppen aan de inlaatzijde. Het lang aanhoudende temperatuurverschil tussen uitgaande lucht en produkt in tegenstelling tot het wegvallen van dat verschil bij de ingaande lucht wijst op een slechtere warmteoverdracht.



Figuur 6. Afkoeling van anjers bij ventilatorstand 4 (2.41 m^3/h.kg)



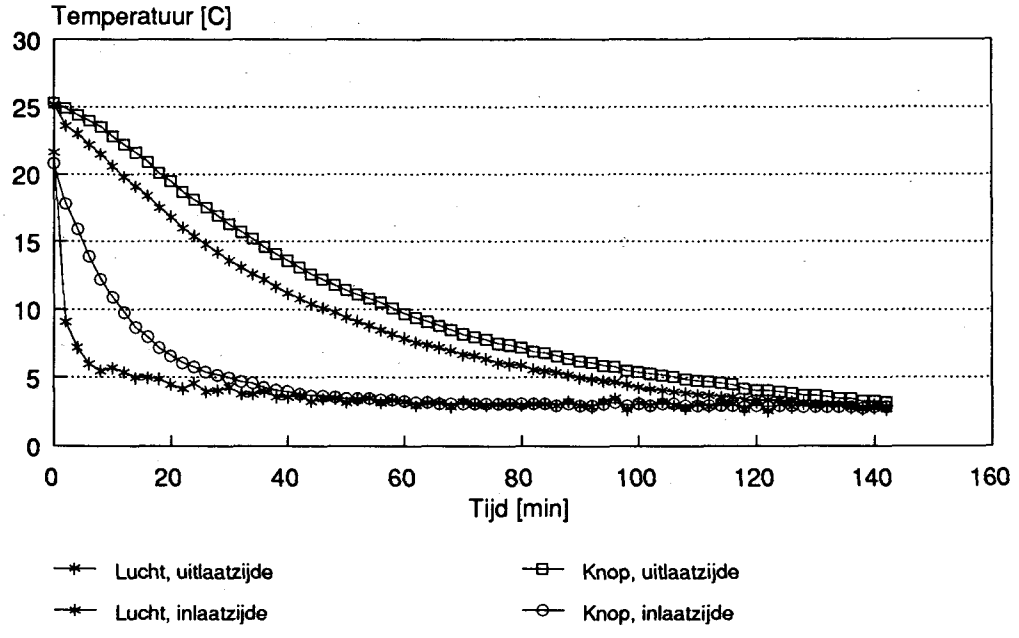
Figuur 7. Afkoeling van rozen bij ventilatorstand 4 (1.55 m^3/h.kg)

De temperatuur van de lucht en de knoppen aan de luchtuitlaatzijde van de doos blijkt zelfs te kunnen dalen onder de temperatuur van de ingaande koellucht. Dit fenomeen treedt op bij een hoger debiet. Vergelijk de figuren 8 en 9 van het koelresultaat van rozen. Het optreden ervan kan alleen worden verklaard door het koeleffect, dat gepaard gaat met verdamping. Afgaande op voorlopige modelresultaten is het effect alleen te bereiken met verdamperinstallaties, die droge koellucht leveren. In voorkoelcellen, die zijn uitgerust met water-lucht-warmtewisselaars treedt het effect niet op. Dit is het gevolg van het verzadigd zijn van de koellucht uit dit type warmtewisselaars, die in eerste instantie geen vocht kan opnemen. Pas bij opwarming in de verpakking kan enig vocht worden opgenomen.

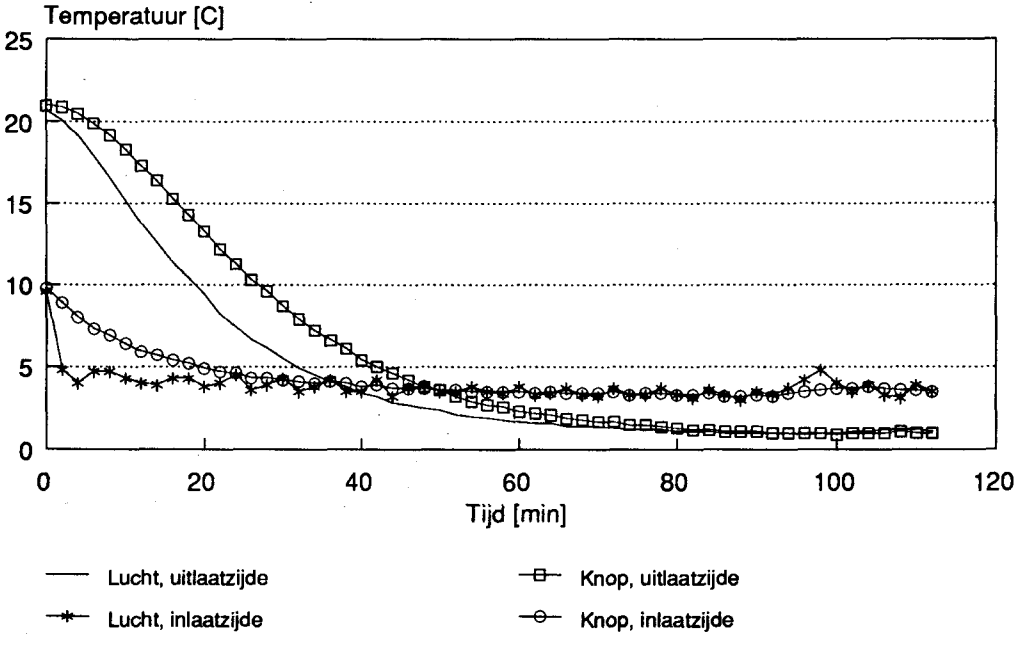
Tabel 2 bevat de meetgegevens met betrekking tot het vochtverlies tijdens de afkoelingen. De eerste kolom geeft het vochtverlies behorende bij de doos waarin de verschillende temperaturen zijn geregistreerd. De tweede en derde kolom geven het gemiddelde gemeten vochtverlies over drie dozen en de spreiding in de vorm van 2 * de standaard deviatie in de waarnemingen. De gegevens zijn ook uitgedrukt in percentages van het vulgewicht van de dozen om de verschillen in vulgewicht tussen de dozen in rekening te brengen. De gewichtsverschilmeting om een vochtverlies te bepalen geeft op zich geen aanleiding tot grote onzekerheid over het resultaat van de meting. Onder dit gegeven blijkt het vochtverlies per doos en per proefpartij zodanig te variëren, dat een verband met de luchtsnelheid of het specifiek luchtdebiet niet is te leggen. Volgens waarnemingen zijn er grote verschillen geweest in de vochtigheidsgraad van het geleverde produkt op de verschillende dagen, waarop metingen zijn verricht. Omdat naar verwachting het vochtverlies cq. de verdamping van water veel invloed uitoefent op het koelresultaat geeft de variatie in vochtverliesresultaten onzekerheid over de spreiding in later in de praktijk te bereiken koelresultaten. In hoeverre de verwachting omtrent de invloed van verdamping op het koelresultaat juist is, zal nog extra worden nagegaan aan de hand van de in ontwikkeling zijnde fysische modellen.

Tabel 2. Gemeten vochtverliezen

	Rozen						*Anjers*					
Vent. stand	*Waterverlies meetobject*		*Gemiddelde waterverlies*		*Spreiding 2 * st. dev.*		*Waterverlies meetobject*		*Gemiddelde waterverlies*		*Spreiding 2 * st.dev.*	
	[g]	*[%]*	*[g]*	*[%]*	*[g]*	*[%]*	*[g]*	*[%]*	*[g]*	*[%]*	*[g]*	*[%]*
2	*180*	*0.95*	*187*	*0.99*	*14.8*	*0.08*	*262*	*1.02*	*268*	*1.05*	*8.0*	*0.03*
3	*189*	*1.10*	*132*	*0.8*	*80.8*	*0.48*	*249*	*1.09*	*379*	*1.7*	*260*	*1.2*
4	*265*	*1.31*	*236*	*1.1*	*47.4*	*0.21*	*181*	*0.78*	*173*	*0.75*	*12.2*	*0.05*
5	*319*	*1.79*	*316*	*1.77*	*6.8*	*0.04*	*253*	*1.03*	*297*	*1.1*	*80.4*	*0.3*
6	*493*	*2.18*	*505*	*2.3*	*86.6*	*0.39*	*146*	*0.57*	*129*	*0.5*	*24.8*	*0.1*



Figuur 8. Afkoeling rozen bij ventilatorstand 4 (1.55 m^3/h.kg)



Figuur 9. Afkoeling rozen bij ventilatorstand 5 (4.15 m^3/h.kg)

4. Discussie mogelijkheden verkorting van de koeltijd

Het doel van het onderzoek is om te komen tot een verantwoorde verkorting van de koeltijd. In de huidige opstelling wordt de koeltijd van de bloemendozen bepaald door het traagst koelende deel van het produkt zijnde de bloemknoppen aan de lucht-uitstroomzijde van de doos. De koeltijd in een bestaande koelcel, die is voorzien van voorkoeléénheden en verder normaal continu in gebruik is bedraagt voor rozen minimaal 60 min. en voor anjers voorlopig 50 min. Echter voor anjers valt wellicht nog een verkorting te bereiken door vergroting van het luchtdebiet.

De kortst haalbare koeltijd is onder bovengenoemde omstandigheden de koeltijd van het snelst koelende produkt zijnde de bloemknoppen aan de lucht-instroomzijde van de doos. Voor rozen volgt dan een koeltijd van 25 min. en voor anjers een koeltijd van 10 min. Om deze koeltijden te kunnen realiseren moet echter onder behoud van de bestaande verpakking een andere opstelling van het systeem van luchtcirculatie door de dozen worden gekozen. In dat geval is het nl. gewenst de koellucht in het midden van de dozen af te zuigen. Een mogelijkheid daarvoor is het aanbrengen van een extra opening in het midden van de doos en het plaatsen van de dozen dwars voor de zuiginrichting i.p.v. in de lengterichting. Mogelijk zijn er handiger oplossingen te bedenken, die dit principe van luchtcirculatie door dozen handhaven.

Bovengenoemde koeltijden kunnen altijd tot een bepaalde grens worden verkort door de koeling te forceren, d.w.z. te koelen met een luchttemperatuur vele graden lager dan de gewenste eindtemperatuur van het produkt. Het nadeel van een dergelijke methode is, dat de koeling dan strikt aan een tijdsduur (schakelklok) gebonden is omdat anders lage temperatuurschade optreedt aan het produkt. Bovendien past een dergelijk systeem niet in aanwezige werk-koelcellen omdat deze cellen dan niet als buffer-neerzetruimte voor ander produkt kunnen worden gebruikt. Welke resultaat kan worden verwacht van geforceerde koeling kan het beste met het KOBA model worden uitgewerkt. De interactie van warmteoverdracht en vochtoverdracht bij temperatuurverandering bemoeilijkt het maken van een voorspelling alleen op basis van voelbare warmte-effecten. Het ligt in de bedoeling in een vervolgrapport resultaten van modelberekeningen te presenteren.

Een volgende mogelijkheid ligt bij behoud van de huidige voorkoelsystemen in de mogelijkheid gekoelde lucht bij te mengen in de doos. De doos zou daarvoor van gaten moeten worden voorzien in de zijkanten van de doos. In een zuigsysteem wordt dan niet alleen koellucht aangezogen door de gaten in de kopse kanten van de doos, maar ook door de aangebrachte gaten in de zijkanten. Een voorlopige modelberekening geeft een verbetering in de koeltijd van ongeveer 10 min. D.w.z voor anjers ontstaat dan een koeltijd van ca. 40 min. en voor rozen een koeltijd van ca. 50 min. Het effect van een dergelijke werkwijze moet nog experimenteel worden geverifieerd.
Een andere uitvoeringsvorm, waarbij geen aanpassing aan de dozen behoeft te worden uitgevoerd, ligt in het plaatsen van één of meer losse niet te grote kartonnen kokertjes tussen de bossen bloemen met een opening in de houtwol in de nabijheid van de luchtinlaat-openingen in de kopse kant van de AA - dozen. De kokers laten uitmonden in de zuighelft van de doos. Koude lucht wordt in dat geval via een inwendige verbinding

zonder warmteopname aangevoerd naar de zuighelft van de doos. Ook het effect en de eenvoudigste uitvoering van deze oplossing kan experimenteel nader worden vastgesteld.

Koeltijden als eerder genoemd in de orde van 10 - 15 min., die nog kunnen worden verkort door gebruik te maken van forcering van de koeling brengen het eventueel gebruik van een 'on line' koeltunnel in beeld in plaats van de 'off line' voorkoelinstallatie.

5. Conclusies en aanbevelingen

- Metingen zijn verricht aan twee van de vijf hoofdzakelijk op basis van vormeigenschappen gekozen produkten. De relatie koeltijd - luchtdebiet is onderzocht, gegeven de bestaande werkwijze bij het voorkoelen van snijbloemen. Voor rozen blijkt de installatie van een luchtdebiet boven 1.6 m^3/h.kg weinig zin te hebben, omdat daarboven geen verkorting van de koeltijd van betekenis kan worden bereikt. Voor anjers is het grootste gemeten luchtdebiet in de proefserie 3 m^3/h.kg geweest. Voor dit produkt kan de koeltijd waarschijnlijk nog iets worden verkort door vergroting van het luchtdebiet.
Binnen het gehanteerde systeem voor de vaststelling van de koeltijd was de kortste koeltijd voor rozen 60 min. en voor anjers 50 min.

- De koeltijd van produkt bij de luchtinlaatzijde van de doos en de koeltijd van produkt bij de luchtuitlaatzijde van de doos loopt in de nu gebruikte voorkoelinstallaties sterk uiteen. Meting van het verloop van de produkttemperatuur aan de luchtinlaatzijde van de doos, de eenvoudigste toegankelijke plaats in bestaande installaties, geeft daardoor een te optimistisch beeld van de koeltijd van het produkt.

- Koeltijden, minder dan een uur, kunnen alleen worden bereikt door systeem en verpakking aan te passen. Enige mogelijkheden daarvoor zijn besproken in hoofdstuk 4.
Zonder koeling te forceren (tijdelijk koellucht toepassen van een veel lagere temperatuur dan de gewenste eindtemperatuur van het produkt) is de minimaal te bereiken koeltijd voor rozen 25 min. en voor anjers 10 min.

- Een tweetal rekenmodellen, één gericht op de installatie, de ander gericht op het temperatuurverloop in de verpakking, is grotendeels ontwikkeld. Deze modellen zullen hoofdzakelijk dienen om de invloed te kwantificeren van de vele mogelijke variabelen, die mede de koeltijd bepalen. De belangrijkste daarvan is wel het warmte-effect van de verdamping van water uit het produkt. De vochtverliesgegevens verzameld tijdens de proeven vertonen teveel spreiding om op dit gebied conclusies te kunnen trekken.

- De tijdens de metingen gebruikte gemiddelde luchtsnelheid over de doorsnede van de bloemendozen ligt nog ver beneden de vaak gehanteerde grens voor mechanische schade 0.5 m/s. Het is wel mogelijk, dat locaal binnen de doosverpakking de genoemde grens wordt overschreden. Kwaliteitsverlies als gevolg van mechanische schade is tot nu toe niet geconstateerd.

Het ligt in de bedoeling het onderzoek als volgt voort te zetten:

1. Nog een proefserie uit te voeren met één van de gekozen produkten om de bevindingen met rozen en anjers te verifiëren. In verband met de geheel andere vorm van de bloem gaat de voorkeur uit naar tulpen. Daarbij voor anjers nog een vergroot luchtdebiet toe te passen om de grenswaarde van de koeltijd binnen de bestaande werkwijze vast te stellen.

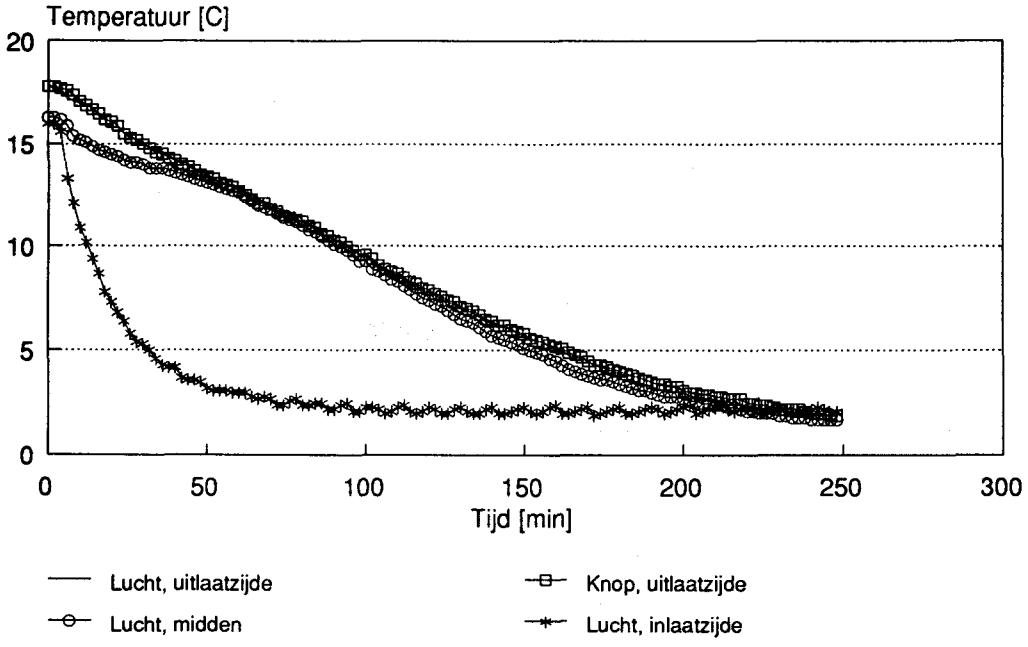
2. Verificatieproeven uit te voeren aan een gewijzigd systeem, dat voor de praktijk mogelijkheden biedt om toe te passen. Mogelijkheden zijn (zie hfdst. 4): aanzuiging midden doos, bijmenging koude lucht (2 mogelijkheden).

3. De overdrachtsgrootheden voor warmte- en vocht in de ontworpen modellen vast te stellen met behulp van de nu aanwezige gegevens.

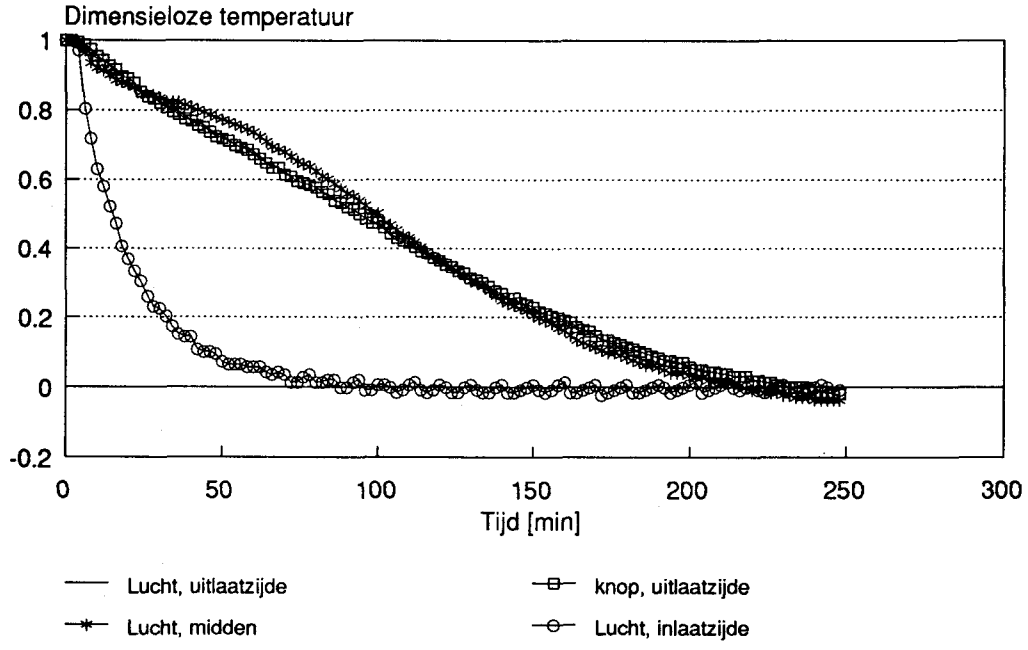
4. De rekenmodellen te gebruiken om de mogelijkheden af te tasten voor het bereiken van korte koeltijden (invloed temperatuur en vochtigheid van de koellucht; forcering door middel van verlaging van de luchttemperatuur). Dit in het bijzonder om na te gaan of koeling met behulp van een "on line" koeltunnel haalbaar is. Verder om voor de verschillende installaties uitspraken te kunnen doen over aansluitwaardes (te vertalen naar investeringskosten) en te verwachten energieverbruik (te vertalen naar gebruikskosten)

5. Voor de als bruikbaar te beoordelen voorkoelsystemen te verifiëren de invloed op de kwaliteit van het produkt na een gesimuleerde verblijftijd in de afzetketen.

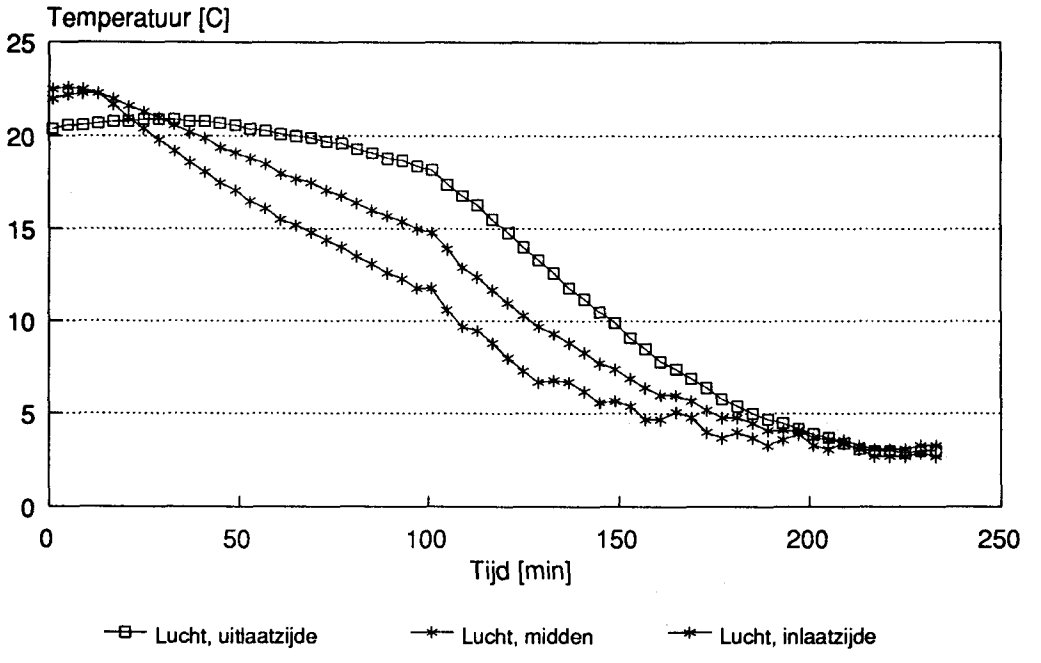
Bijlagen



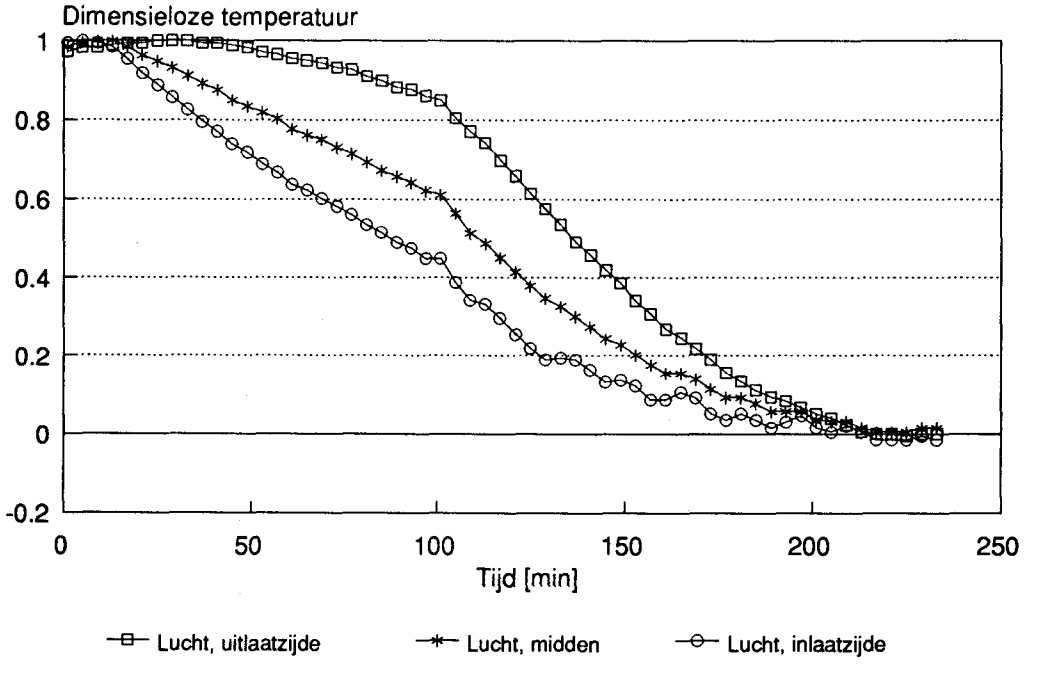
Figuur B-1 Temperatuur-tijd krommen; anjers bij ventilator stand 2



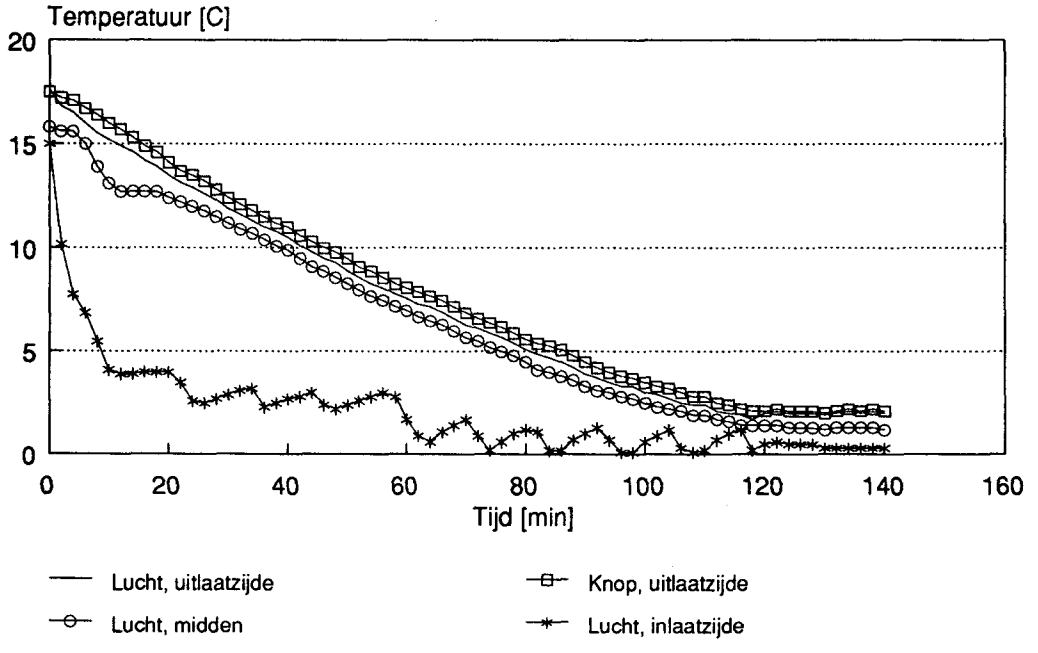
Figuur B-2 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; anjers bij ventilator stand 2



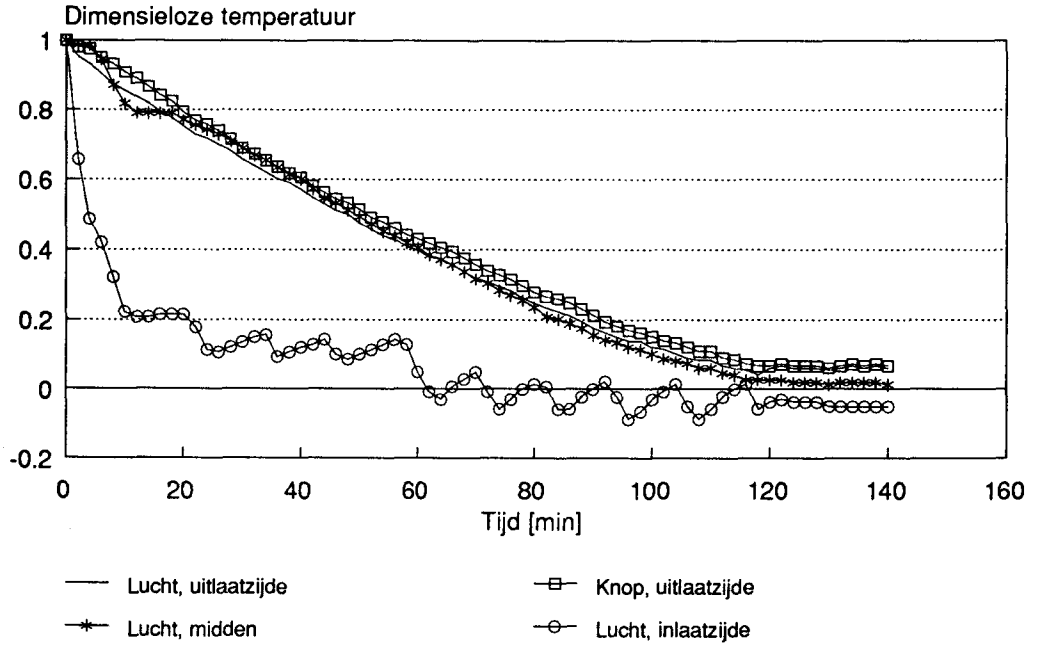
Figuur B-3 Temperatuur - tijd krommen; anjers bij ventilator stand 3



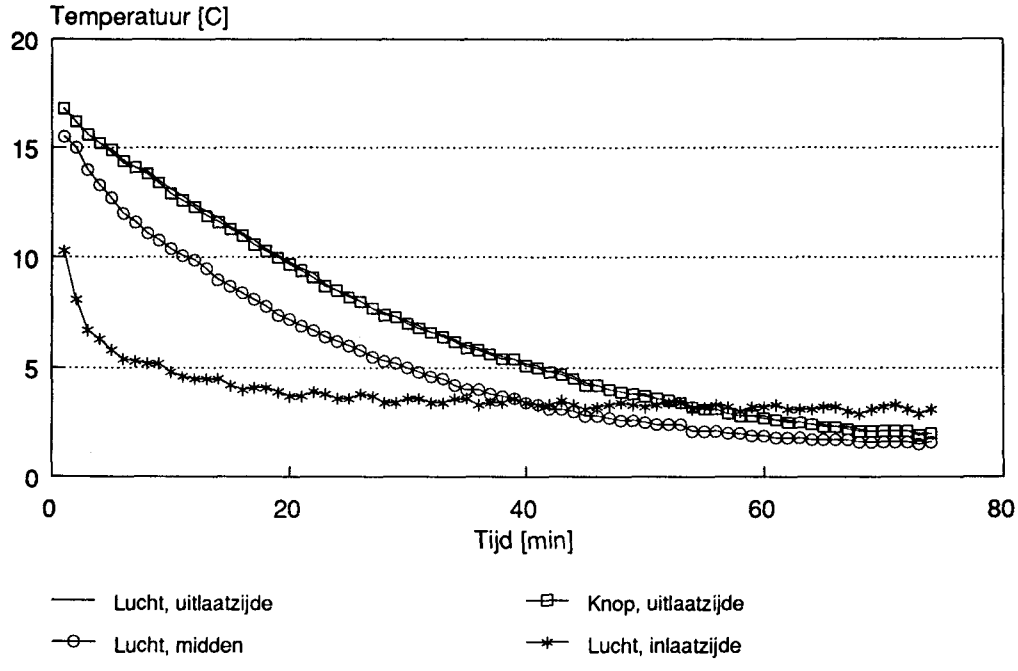
Figuur B-4 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; anjers bij ventilator stand 3



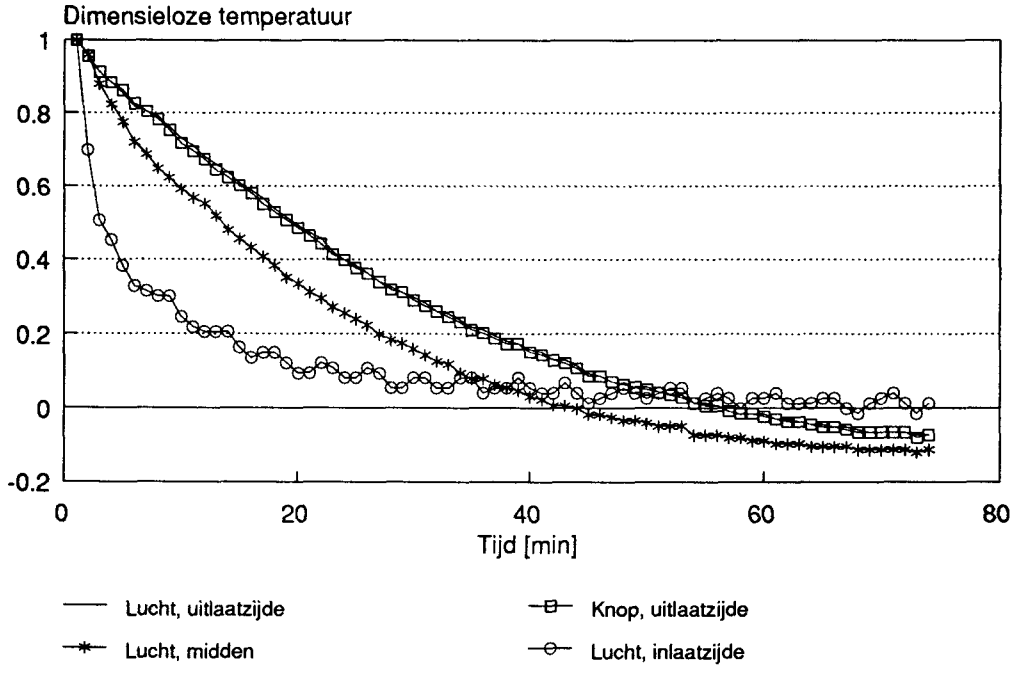
Figuur B-5 Temperatuur - tijd krommen; anjers bij ventilator stand 4



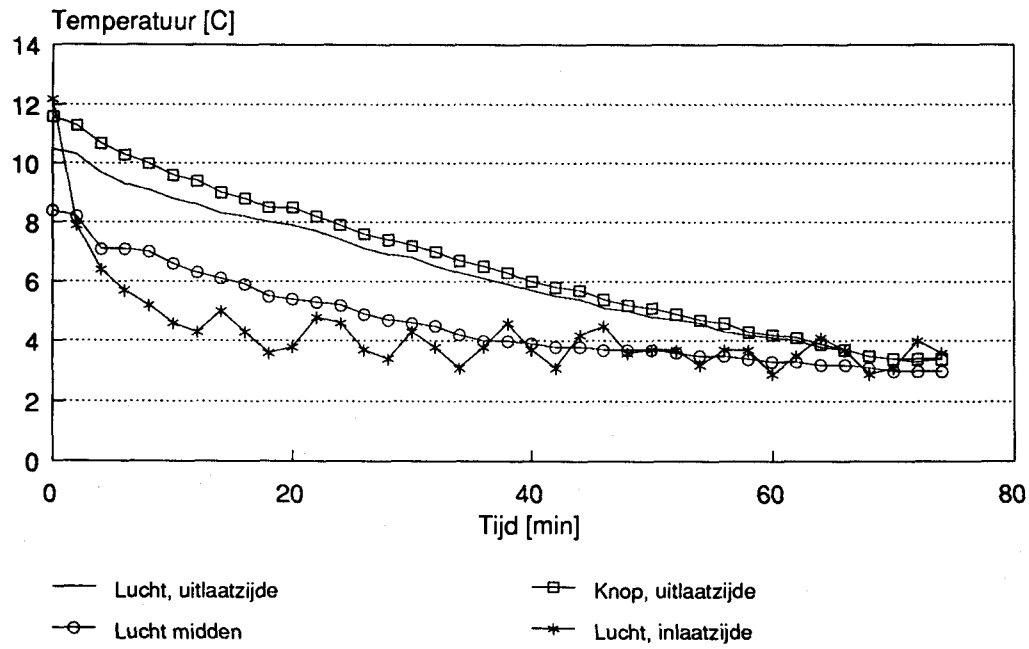
Figuur B-6 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; anjers bij ventilator stand 4



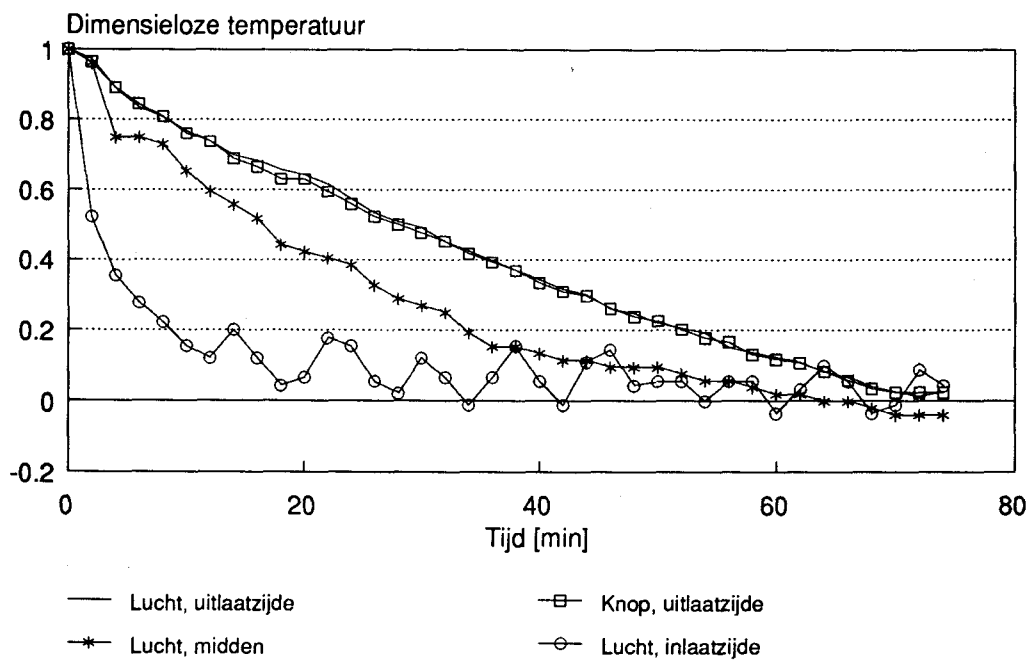
Figuur B-7 Temperatuur - tijd krommen; anjers bij ventilator stand 5



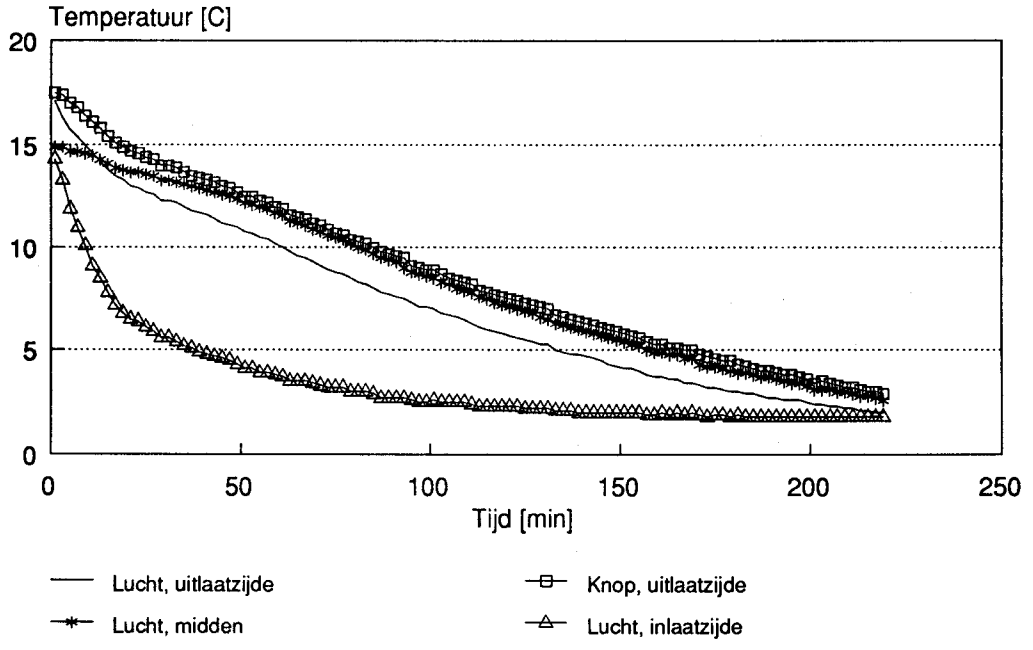
Figuur B-8 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; anjers bij ventilator stand 5



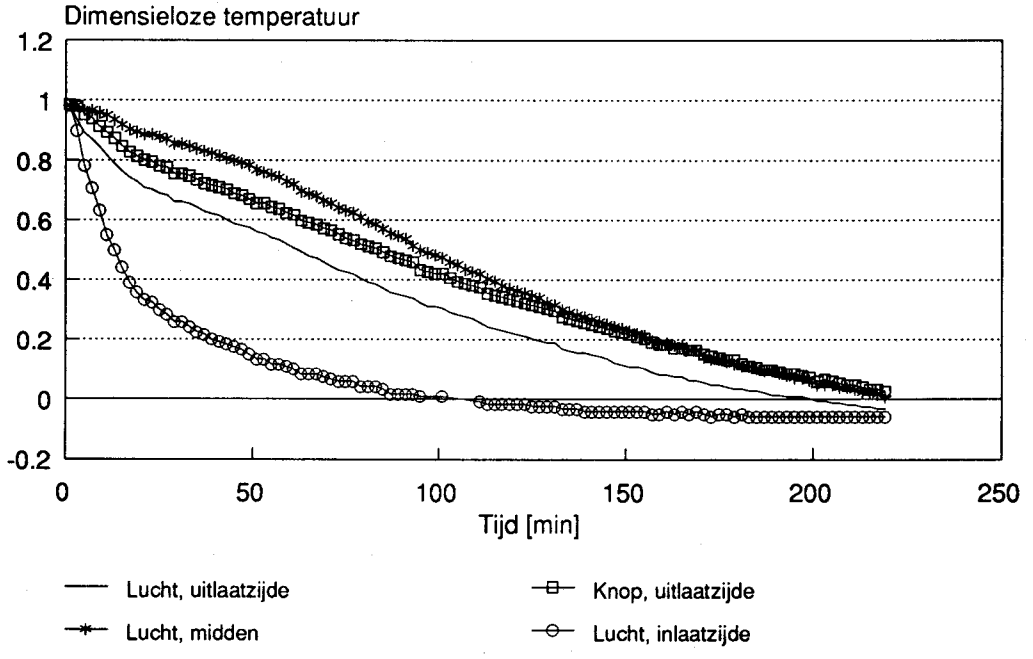
Figuur B-9 Temperatuur - tijd krommen; anjers bij ventilator stand 6



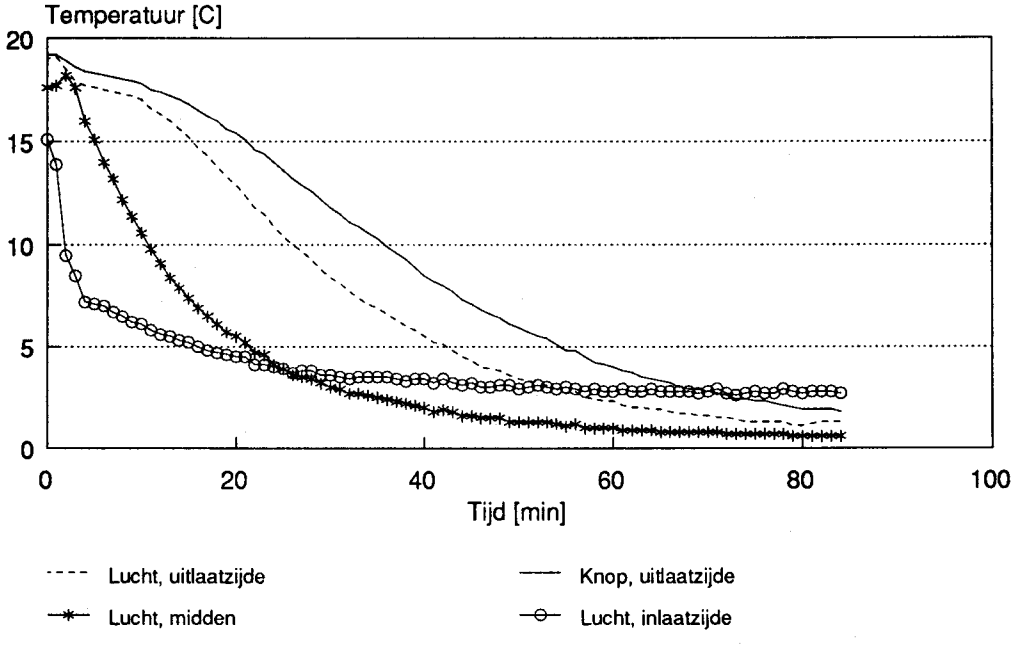
Figuur B-10 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; anjers bij ventilator stand 6



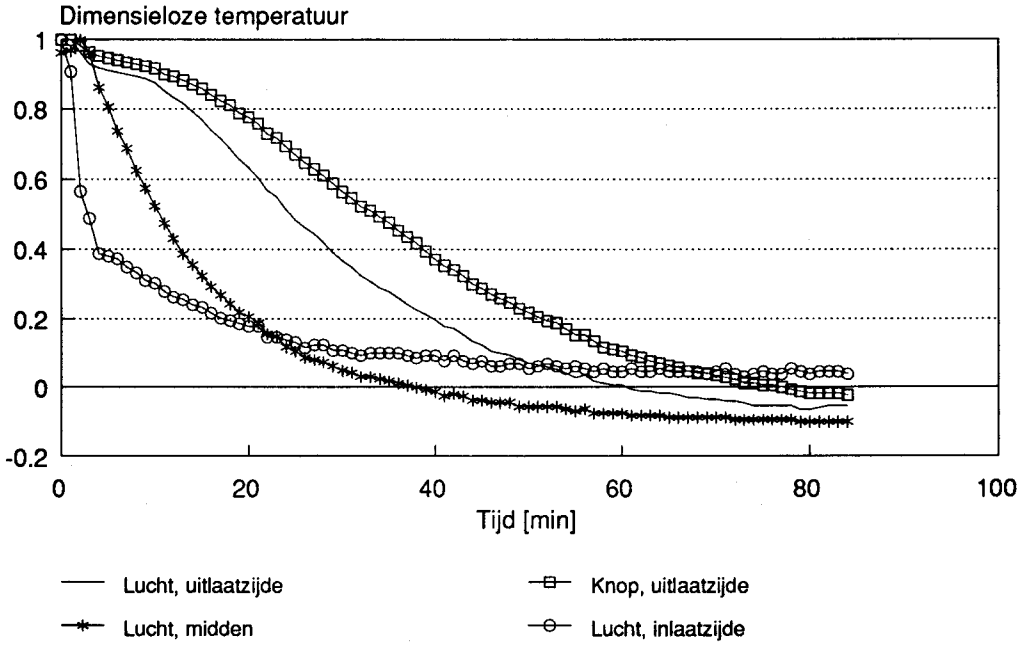
Figuur B-11 Temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 2



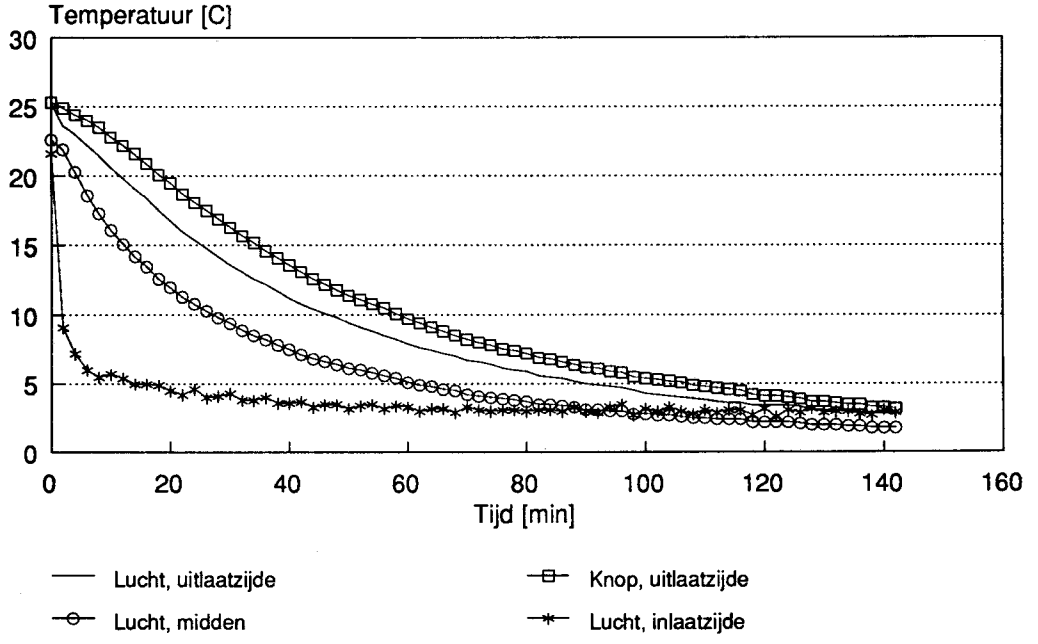
Figuur B-12 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 2



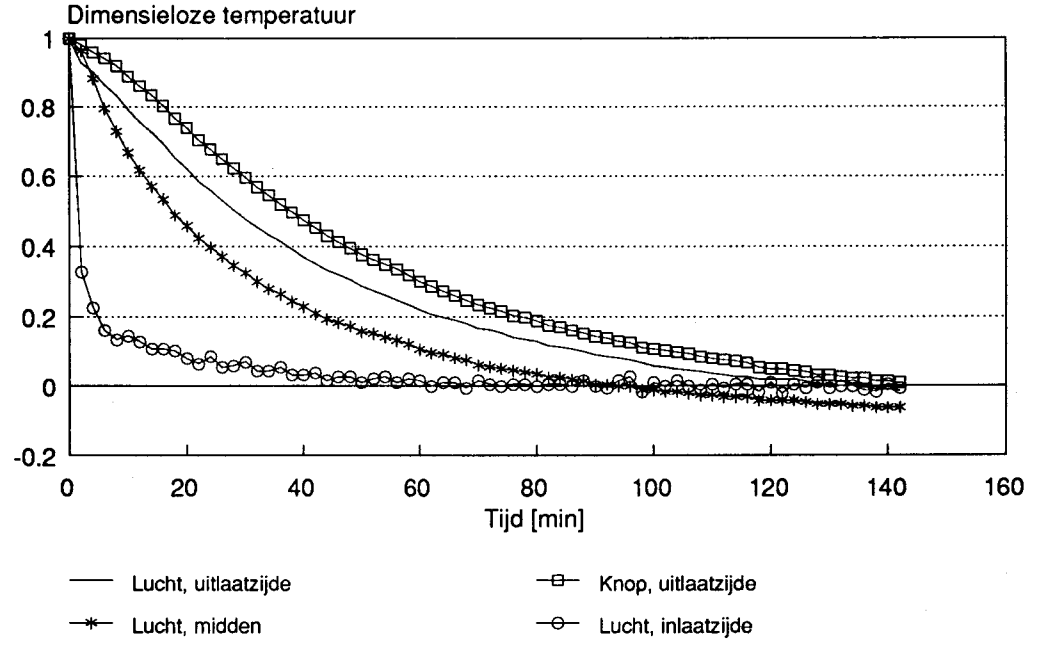
Figuur B-13 Temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 3



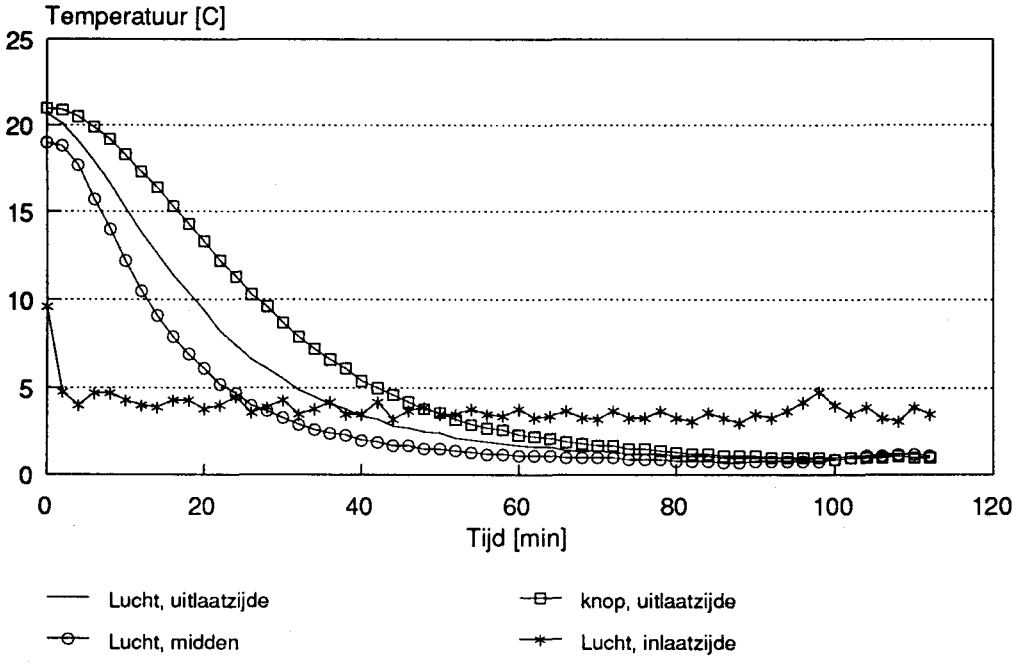
Figuur B-14 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 3



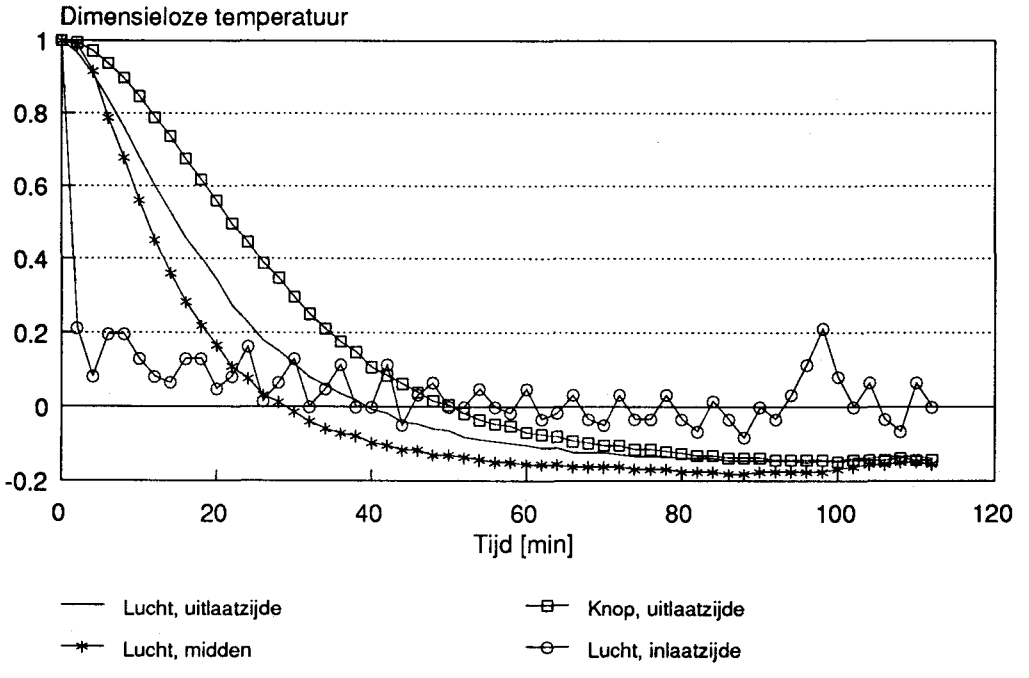
Figuur B-15 Temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 4



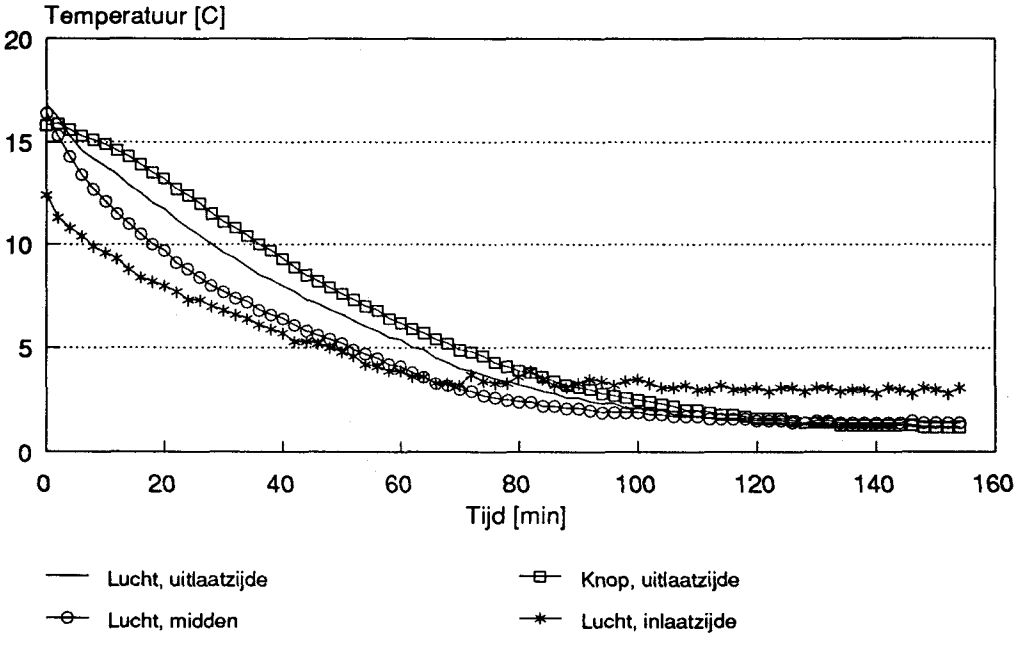
Figuur B-16 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 4



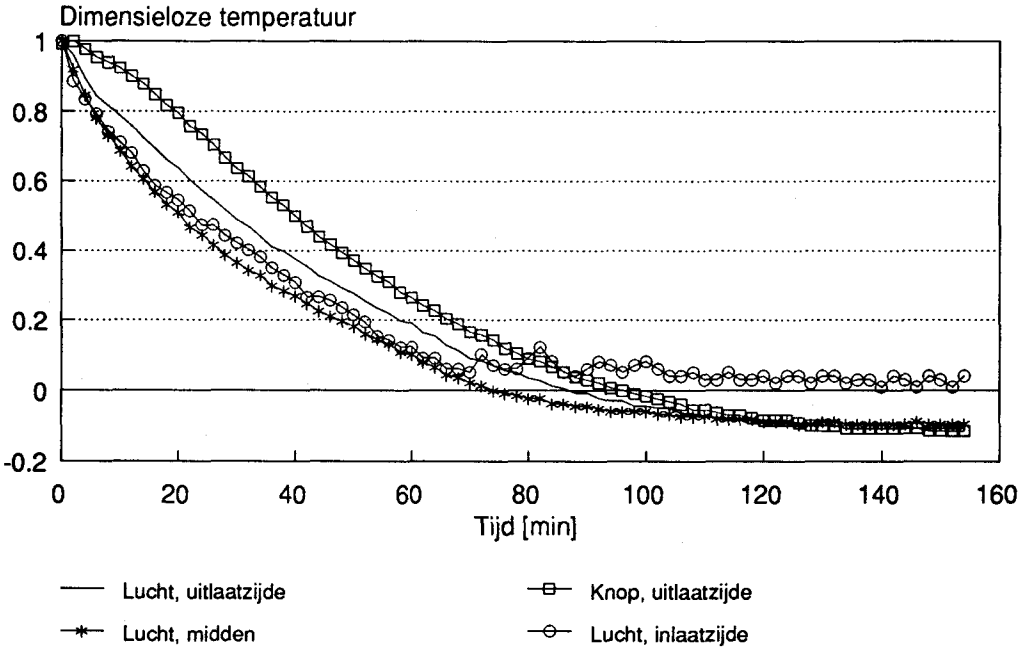
Figuur B-17 Temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 5



Figuur B-18 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 5



Figuur B-19 Temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 6



Figuur B-20 Dimensieloze temperatuur - tijd krommen; rozen bij ventilator stand 6