

**Agrotechnological Research Institute (ATO-DLO)**  
P.O. Box 17, 6700 AA Wageningen, The Netherlands

Instituut voor  
Agrotechnologisch  
Onderzoek  
ATO-DLO  
Bornsesteeg 59  
Postbus 17  
6700 AA Wageningen



## **Temperatuur gradiënt in een pallet met MA dozen**

Gérard van den Boogaard  
Arco Berkenbosch

**VERTROUWELIJK**

**1999-05-18**



**ato-dlo**



ato-dlo

# **Temperatuur gradiënt in een pallet met MA dozen**

**Onderzoek om inzicht te krijgen in het afkoelgedrag en de overtemperatuur**

**vertrouwelijk**

**Mei 1999**

**Gérard van den Boogaard  
Arco Berkenbosch**

**Agrotechnological  
Research Institute  
(ATO-DLO)  
Bornsesteeg 59  
P.O. box 17  
6600 AA Wageningen  
Tel: (31)317-475000  
Fax: (31)317-475347**

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit rapport mag worden gekopieerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO.

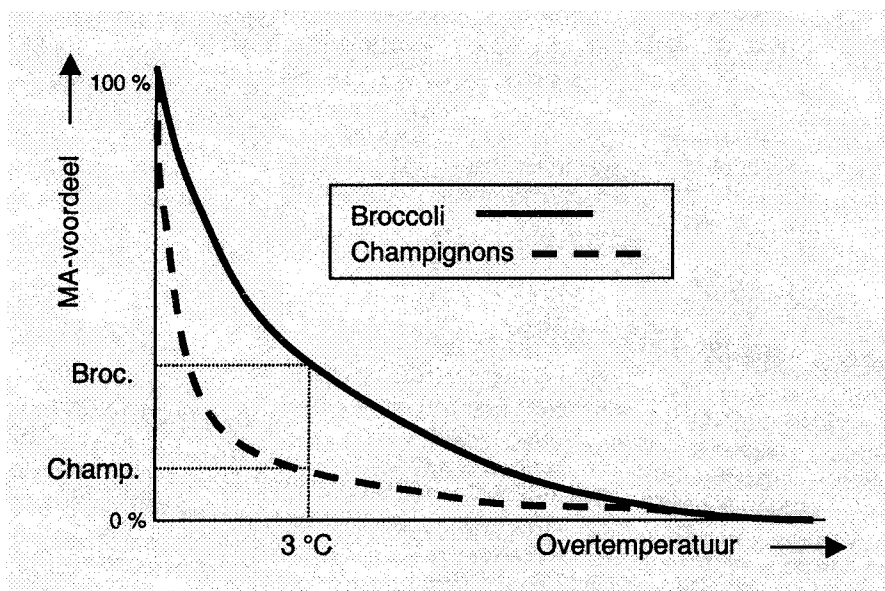
2251134

## Inhoudsopgave.

1. Inleiding.....	3
2. Doelstelling.....	4
3. Materiaal en Methoden.....	4
4. Resultaten.....	6
5. Belangrijkste conclusies.....	9

## 1. Inleiding.

Tijdens het MA onderzoek in 1998 is gebleken dat de ontwikkelde transportverpakking voor broccoli een significante verbetering van de houdbaarheid van het verpakte product tijdens de distributiefase kan bewerkstelligen. In palletstapels bleek dat de MA verpakte broccoli een hogere temperatuur in de verpakking genereerde (zgn. "overtemperatuur") dan normaal verpakte broccoli. Verlaging van deze overtemperatuur zou het MA-concept nog effectiever en robuuster in het gebruik maken. De overtemperatuur is palletpositie afhankelijk en wordt bepaald door de warmteproductie van het product en het thermodynamisch gedrag van de verpakking. Het is duidelijk dat de relatief open standaard dozen de door de broccoli zelf gegenereerde warmte veel sneller afvoeren dan de relatief dichte MA-dozen. Bij sommige producten (bijv. champignons) is het wellicht nodig om eerst de overtemperatuur te minimaliseren om een significant MA voordeel te bereiken. Immers het MA voordeel is temperatuurafhankelijk. Het vermoeden bestaat dat we bij broccoli in een relatief gunstige situatie zitten (m.a.w. het MA voordeel is groter dan het overtemperatuur nadeel).



**Figuur 1.** Schematische weergave van het MA voordeel t.o.v. het overtemperatuur nadeel.

Behalve overtemperatuur zorgt de relatief dichte MA doos in een pallet gestapeld ook voor een minder efficiënt afkoel gedrag. Het snel en goed afkoelen van het product is essentieel voor de productkwaliteit en voor het bereiken van maximaal MA voordeel. Verlaging van de overtemperatuur en versnelling van de afkoeling kan het eenvoudigst worden bereikt door verhoging van de ventilatie door de pallet. Op deze wijze kan voldoende warmte worden afgevoerd en voldoende koude lucht worden aangevoerd.

Er zijn twee mogelijkheden:

- Optie 1.** De doos zodanig te modificeren dat er luchtspleten ontstaan in de palletstapels.
- Optie 2.** De palletstapel op een praktische wijze toegankelijk te maken voor koellucht

Een combinatie van bovenstaande is natuurlijk ook mogelijk.

## 2. Doelstelling.

Doel van de experimenten is te onderzoeken wat het effect is op de overtemperatuur en de afkoeling door een aangepaste palletstapelingswijze te passen die meer toegankelijk is voor koellucht.

## 3. Materiaal en Methoden.

In de experimenten is gekeken naar het afkoelgedrag van een pallet MA-dozen en een pallet standaarddozen (bodem-deksel komkommerdoos) met spruiten. Een samenvatting van de opzet staat hieronder puntsgewijs weergegeven.

### **Product.**

Om diverse redenen is gekozen om met spruiten te werken:

- Gegeven het seizoen waarin de experimenten plaatsvonden waren spruiten in voldoende mate beschikbaar.
- Spruiten zijn lang houdbaar (blijven gedurende langere tijd in dezelfde mate actief, dus dezelfde warmteproductie). Dit maakt het mogelijk om alle experimenten uit te voeren met één partij spruiten.
- De warmteproductie van spruiten is hoog (150 W/1000 kg). Dit leidt tot duidelijk waar te nemen effecten en maakt spruiten tot een "worst case".

### **Verpakking.**

Er is gekozen voor een standaard MA doos van 30 cm x 40 cm x 9 cm met een permeabiliteit van 20 ml/ (min·bar).

### **Palletstapelingswijze.**

Opbouw van de pallets was als volgt:

- 30 x 40 x 9 cm dozen met 4 kg spruiten,
- Twee pallets, één met MA-dozen en één met standaard telescoop dozen (komkommerdoos),
- 7 lagen van 10 dozen per laag gestapeld in kolomstapelingswijze.
- Van iedere stapel werden 2 varianten bekeken:
  - "massieve" pallet, m.a.w. de kolomen vast tegen elkaar,
  - 1,5 cm spleten tussen de kolomen.

### **Temperatuurtraject (afkoeltraject).**

- Alle afkoeltrajecten hadden 8 °C als startpunt en 1 °C als stabiele eindtemperatuur.
- Er zijn twee afkoelmethode toegepast, namelijk één zonder luchtforcering en een met luchtforcering door de palletstapel heen. Daarna we beschouwen we opslag bij gewone koeling en bijkoeling met een geforceerde luchtstroming.

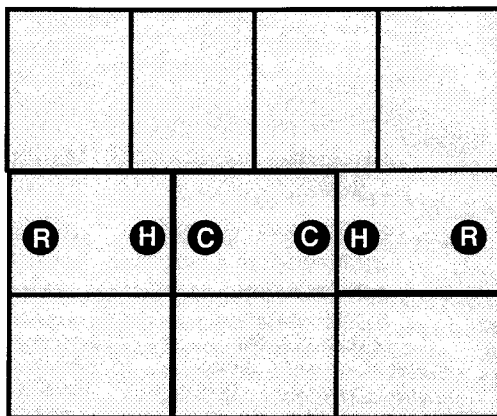
Totaal hebben we dus 8 varianten, nl.  
2 doostypen x 2 stapelingen x 2 afkoelmethode.

### **Uitgevoerde metingen en bepalingen:**

De temperatuur werd op de volgende posities gemeten:

- Metingen in de hoogte: laag 4 (midden), 6 (één na bovenste) en 7 (bovenste laag),
- Metingen in de laag (zie Figuur 2): het centrum (C) , halverwege tussen centrum (H) en rand en aan de rand van de pallet (R).

Aan de hand van de gemeten temperatuur verlopen zijn de volgende parameters bepaald:



● Meetpunt in de pallet

**Figuur 2.** Plaatsen in de stapel waar de temperatuur gemeten wordt.

- *Halfwaardetijd*  $t_{1/2}$  in uren. De halfwaardetijd is de tijd die nodig is om de helft van het temperatuur verschil tussen begintemperatuur en omgevingstemperatuur te overbruggen. De temperatuur in de verpakking kan omschreven worden als:

$$(1) \quad T_{verp}(t) = T_{verp}(0) - T_{ref} + T_{ref} \cdot e^{-\frac{t}{C}}$$

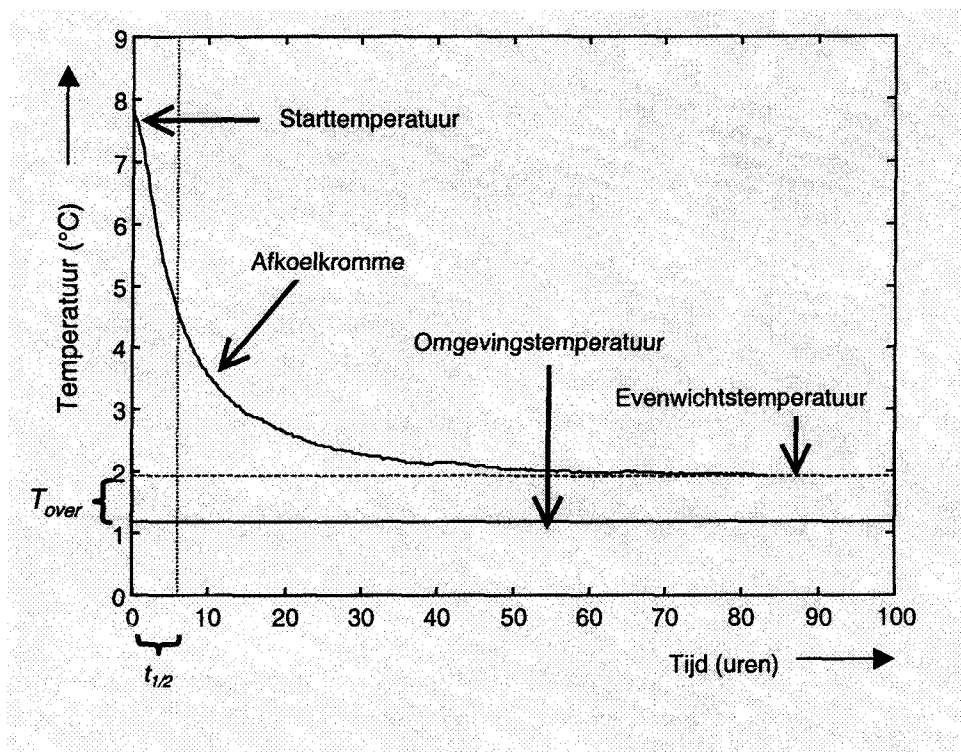
met  $T$  de temperatuur (in ° Celsius),  $t$  de tijd (in uren),  $T_{ref}$  (in ° Celsius) en  $C$  (in uren) constanten. De halfwaarde tijd is dan gelijk aan  $t_{1/2} = C \ln(2)$ .

- *Overtemperatuur*  $T_{over}$  in ° Celsius. De overtemperatuur is het temperatuur verschil tussen de omgeving en de temperatuur in de doos na het bereiken van een constante temperatuur

$$(2) \quad T_{over} = T_{verp}(\infty) - T_{omgeving}(\infty)$$

## 4. Resultaten.

De bepaalde halfwaarde tijden en overtemperaturen zijn met elkaar vergeleken. De vergelijkingen gelden voor de MA-dooos versus de standaarddooos, voor de twee stapelvarianten en voor de afkoelmethode. In Figuur 3 staat een voorbeeld van een gemeten afkoelkromme.



Figuur 3. Temperatuurverloop tijdens het afkoelen van een MA transportverpakking.

### Afkoelgedrag.

In Tabel 4 staan alle halfwaardetijden  $t_{1/2}$  in uren weergegeven bij afkoeling zonder geforceerde luchtstroming door de pallet.

Koeling	Verpakking	laag	Centrum	Halfweg	Rand	gemiddeld
Pallet vast	MA-dooos	4				
		6				
		7				
	Standaard	4				
		6				
		7				
Pallet met spleten	MA-dooos	4				
		6				
		7				
	Standaard	4				
		6				7
		7		5	3.3	

Tabel 4. De halfwaarde tijd  $t_{1/2}$  in uren voor de MA doos en de gewone doos bij afkoeling van 8 °C naar 1 °C zonder geforceerde luchtstroming door de pallet. Bij de blanco velden was de halfwaarde tijd nog niet bereikt na 72 uur.

Uit Tabel 4 volgt duidelijk dat spruiten zowel warmte produceren dat zowel bij de MA verpakking als bij de standaard verpakking de afkoeling niet of niet voldoende plaatsvindt. In Tabel 5 staan alle halfwaardetijden  $t_{1/2}$  in uren weergegeven bij afkoeling met geforceerde luchtstroming door de pallet.

Koeling	Verpakking	laag	Centrum	Halfweg	Rand	gemiddeld
Pallet vast	MA-doos	4	27.0	28.0	20.8	25.27
		6	20.8	24.0	22.7	22.5
		7	17.5	8.6	9.3	11.8
	Standaard	4	4.8	4.2	5.0	4.67
		6	5.7	5.0	3.8	4.83
		7	4.8	4.0	3.7	4.17
Pallet met spleten	MA-doos	4	11.3	13.0	9.8	11.37
		6	11.2	12.2	12.2	11.87
		7	10.0	6.5	5.3	7.27
	Standaard	4	2.0	1.5	1.3	1.6
		6	2.5	1.5	0.8	1.6
		7	2.0	1.3	1.2	1.5

**Tabel 5.** De halfwaarde tijd  $t_{1/2}$  in uren voor de MA doos en de gewone doos bij afkoeling van 8 °C naar 1 °C met geforceerde luchtstroming door de pallet.

Het is duidelijk dat de luchtforcering door de pallet de afkoeling aanzienlijk versnelt. Alle verpakking hebben nu binnen 30 uur de halfwaardetijd bereikt. De MA verpakking in een pallet met spleten heeft een voor de praktijk acceptabele halfwaarde tijd. Merk op dat spruiten een "worst-case" product. Voor de meeste andere producten zal de MA-doos in een pallet met spleten nog aanzienlijk sneller afkoelen.

### Overtemperatuur.

Zoals eerder opgemerkt ontstaat overtemperatuur door de warmteproductie van het product zelf, het thermodynamisch gedrag van de verpakking en de omgevingstemperatuur. Natuurlijk zal dit effect ook optreden in standaardverpakkingen, maar gegeven het relatief dichte karakter van de MA doos zal dit effect versterkt worden in MA verpakkingen. In Tabel 6 staat de overtemperatuur  $T_{over}$  in °C weergegeven bij standaard koeling (geen geforceerde luchtstroming).



Koeling	Verpakking	laag	Centrum	Halfweg	Rand	gemiddeld
Pallet vast	MA-doos	4	7.4	6.4	2.5	5.43
		6	6.4	5.9	2.9	5.07
		7	3.9	2.7	1.6	2.73
	Standaard	4	3.2	4.7	2.6	3.5
		6	4.1	3.4	0.8	2.77
		7	2.3	1.8	0.4	1.5
Pallet met spleten	MA-doos	4	2.5	2.3	1.5	2.1
		6	2.4	2.2	1.6	2.07
		7	1.8	1.3	1.0	1.37
	Standaard	4	0.7	0.4	0.3	0.47
		6	0.7	0.4	0.2	0.43
		7	0.5	0.2	0.1	0.27

**Tabel 6.** Overtemperatuur  $T_{over}$  in °C voor de MA doos en de gewone doos bij 1 °C en standaard koeling.

Uit Tabel 6 volgt duidelijk dat de overtemperatuur groot is voor de MA doos in de vaste pallet. Echter, door het creëren van luchtspleten, wordt de overtemperatuur van dezelfde orde als die van standaard dozen. Bij over temperaturen tot  $\pm 2$  °C zal bij bijna alle producten het MA voordeel het groter zijn dan het overtemperatuur nadeel.

In Tabel 7 staat de overtemperatuur  $T_{over}$  in °C weergegeven van de MA-doos en de standaarddoos bij koeling met geforceerde luchtstroming.

Koeling	Verpakking	laag	Centrum	Halfweg	Rand	gemiddeld
Pallet vast	MA-doos	4	1.7	1.8	1.4	1.63
		6	1.4	1.5	1.5	1.47
		7	1.2	0.9	1.0	1.03
	Standaard	4	0.3	0.2	0.3	0.27
		6	0.2	0.2	0.1	0.17
		7	0.3	0.2	0.2	0.23
Pallet met spleten	MA-doos	4	1.2	1.2	1.1	1.17
		6	1.1	1.2	1.3	1.2
		7	1.0	0.9	0.8	0.9
	Standaard	4	0.1	0.1	0.1	0.1
		6	0.1	0	0.1	0.07
		7	0.1	0	0.1	0.07

**Tabel 7.** Overtemperatuur  $T_{over}$  in °C voor de MA doos en de gewone doos bij 1 °C en koeling met geforceerde luchtstroming.

Uit Tabel 7 volgt duidelijk dat de overtemperatuur sterk afneemt als er geforceerde luchtstroming plaatsvindt (vergelijk Tabel 7 en Tabel 6). Wederom wordt door het creëren van luchtspleten de overtemperatuur bij MA verpakkingen gereduceerd tot die van standaard verpakkingen.

## 5. Belangrijkste conclusies.

- ☛ De MA verpakking heeft in een pallet met spleten een voor de praktijk acceptabele halfwaardetijd en overtemperatuur.
- ☛ Een standaarddoos is zonder geforceerde luchtstromen door de pallet ook niet goed te koelen. Kortom, de hoeveelheid luchtcirculatie is cruciaal voor een goede koeling.
- ☛ De afkoelsnelheid van een product in een MA-doos zal altijd langzamer zijn dan die van een niet MA-verpakking.