Dienst Landbouwkundig Onderzoek

Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek

8455

# Verbetering van korte en langdurige bewaring van aardappelen voor een betere beheersing van de verwerkingskwaliteit

**(Verslag van het derde proefseizoen 1993/1994)**

**Onderzoek in uitvoering voor:**
**Produktschap voor Aardappelen**

Drs. M.L.A.T.M. Hertog
G.J. Kristiaan
Drs. S.P. Schouten
Ing. P.S. Hak, programmaleider

**VERTROUWELIJK**

ato-dlo

1900652

RAPPORT 440 / november 1994

**VERBETERING VAN KORTE EN LANGDURIGE BEWARING VAN AARDAPPELEN VOOR EEN BETERE BEHEERSING VAN DE VERWERKINGSKWALITEIT (Verslag van het derde proefseizoen 1993/1994)**

Onderzoek in uitvoering voor: **Produktschap voor Aardappelen**

In dit rapport is de verslaggeving over seizoen 1993/1994 opgenomen van:

***Deelproject 1*** (drs. S.P. Schouten)
*Effecten van verhoogde $CO_2$ concentraties op de kwaliteit van aardappelen.*

***Deelproject 2*** (G.J. Kristiaan en ing. P.S. Hak)
*Invloed van de wijze van afkoelen en temperatuurbeheersing tijdens de bewaring op de verwerkingskwaliteit van aardappelen.*

***Deelproject 3*** (drs. M.L.A.T.M. Hertog)
*Fysiologische veranderingen in de aardappel tijdens het bewaarproces en intrinsieke parameters ten behoeve van de kwaliteitsbewaking.*

***Deelproject 4*** (ing. P.S. Hak, G.J. Kristiaan en ir. K. Pleijsier)
*Invloed van bewaarplaats en bewaaromstandigheden op de bakkleur van frites-aardappelen.*

Programmaleider : ing. P.S. Hak

DLO Instituut voor
Agrotechnologisch
Onderzoek (ATO-DLO)
Bornsesteeg 59, postbus 17
6700 AA Wageningen
Tel.: 08370 - 75000
Fax : 08370 - 12260

november 1994

INHOUDSOPGAVE PAG.

VOORWOORD

**HOOFDSTUK 1 :** 1
**Effecten verhoogde CO2 concentraties op de kwaliteit van aardappelen (deelproject 1)**

1.1 INLEIDING 1

1.2 MATERIAAL EN METHODEN 1
1.2.1 Invloed lage $CO_2$ concentraties en tijd 1
1.2.2 Invloed $CO_2$ in verschillende fasen van de bewaring 2
1.2.3 Invloed van extreme luchtsamenstellingen 2

1.3 RESULTATEN 2
1.3.1 Invloed lage $CO_2$ concentraties en tijd 2
1.3.2 Invloed $CO_2$ in verschillende fasen van de bewaring 3
1.3.3 Invloed van extreme luchtsamenstellingen 3

1.4 DISCUSSIE EN CONCLUSIES 4

1.5 SAMENVATTING 4

**HOOFDSTUK 2 :** 10
**Invloed van de wijze van afkoelen en temperatuurbeheersing tijdens de bewaring op de verwerkingskwaliteit van aardappelen (deelproject 2)**

2.1 INLEIDING 10

2.2 MATERIAAL EN METHODEN 10

2.3 RESULTATEN 12
2.3.1 Constante temperaturen 12
2.3.2 Constante temperaturen gevolgd door geleidelijke temperatuurstijging 13
2.3.3 Volledig glijdende temperatuurverlopen 13
2.3.4 Effecten van reconditioneren van bij constante temperaturen bewaarde aardappelen 14

2.4 VOORLOPIGE CONCLUSIES 16

INHOUDSOPGAVE (VERVOLG) PAG.

**HOOFDSTUK 3 :** 31
**Fysiologische veranderingen in de aardappel tijdens het bewaarproces en intrinsieke parameters ten behoeve van de kwaliteitsbewaking (deelproject 3)**

3.1 INLEIDING 31

3.2 PROEFOPZET 1993/1994 32

3.3 RESULTATEN 34
3.3.1 Schaalproef 34
3.3.2 Stootproef 42
3.3.3 Schommelproef 43
3.3.4 Simulatieproef 45

3.4 SUCROSE EN VEROUDERING 46

3.5 MODELONTWIKKELING 48
3.5.1 Algemeen 48
3.5.2 Modelformulering 48
3.5.3 Modelvalidatie 50

3.6 SAMENVATTENDE CONCLUSIES 53

**HOOFDSTUK 4 :** 54
**Invloed van bewaarplaats en bewaaromstandigheden op de bakkleur van frites-aardappelen in bewaarseizoen 1993/1994 (deelproject 4)**

4.1 INLEIDING 54

4.2 MATERIAAL EN METHODEN 54

4.3 RESULTATEN 55
4.3.1 Algemeen 55
4.3.2 Temperatuurverloop 56
4.3.3 Verloop $CO_2$ concentratie op bedrijf 2 en 4 56
4.3.4 Verloop bakkleur-indices tijdens bewaring 57
4.3.5 Verloop van de gewichtsverliezen 59
4.3.6 Draaiuren ventilatoren en energieverbruik 60

4.4 SAMENVATTING 62

## VOORWOORD

Voor de grondstofvoorziening van de verwerkende industrie in voorjaar en zomer moet een groot kwantum consumptie-aardappelen lang worden bewaard. In de praktijk komen regelmatig partijen voor, soms al vrij vroeg in het bewaarseizoen, met een slechte verwerkingskwaliteit. Dit probleem blijkt zich ook te manifesteren in goed geoutilleerde bewaarplaatsen. Als factoren die de bakkleur in de na-oogstperiode mogelijk beïnvloeden kunnen genoemd worden:

* Verhoogde koolzuurconcentraties in de bewaaratmosfeer;
* De snelheid en diepte van afkoelen na de wondheelperiode;
* Het niveau van de bewaartemperatuur;
* Koudeverzoeting;
* Ouderdomsverzoeting.

Voor zowel de primaire sector als de verwerkende industrie is het van economisch belang dat de verwerkingskwaliteit beheersbaar is voor verschillende afleverdata het jaar rond.
Na overleg met en in opdracht van het Produktschap voor Aardappelen wordt door ATO-DLO een onderzoekprogramma uitgevoerd dat bestaat uit vier onderdelen (deelprojecten) te weten:

* Deelproject 1: Effecten van verhoogde $CO_2$ concentraties op de bakkleur;

* Deelproject 2: De invloed van de wijze van afkoelen en temperatuurbeheersing tijdens de bewaring op de verwerkingskwaliteit;

* Deelproject 3: Fysiologische veranderingen in de aardappel tijdens het bewaarproces en intrinsieke parameters t.b.v. de kwaliteitsbewaking;

* Deelproject 4: Het doorlichten van praktijkbedrijven die m.b.t. de verwerkingskwaliteit bekend staan als probleem c.q. non probleem bedrijven.

Dit onderzoek beoogt meer inzicht te krijgen in de factoren die de verwerkingskwaliteit tot frites in de na-oogstperiode bepalen en bruikbare oplossingen te vinden voor een betere beheersing van de verwerkingskwaliteit voor ieder gekozen afleveringstijdstip.

In dit interim rapport wordt per deelproject verslag gedaan van de resultaten van bewaarseizoen 1993/1994, het derde seizoen dat bovengenoemd programma in uitvoering is.

De programmaleider

Ing. P.S. Hak

# HOOFDSTUK 1

## EFFECTEN VAN VERHOOGDE KOOLZUURCONCENTRATIES OP DE KWALITEIT VAN AARDAPPELEN IN BEWAARSEIZOEN 1993/1994 (Deelproject 1)

### 1.1 INLEIDING

Het onderzoek naar de invloed van verhoogde koolzuurconcentraties tijdens de bewaring van consumptie-aardappelen heeft tot dusverre enkele duidelijke resultaten opgeleverd. Aangetoond werd, dat koolzuurverhoging in de heelperiode een licht nadelig effect kan hebben op de bakkleur, terwijl de kieming sterk gestimuleerd wordt. Tijdens de langdurige bewaring bleek steeds, dat koolzuur een duidelijk nadelige invloed had op de bakkleur. De kieming werd gestimuleerd bij geringe verhogingen tot 3% koolzuur, erboven bleek de kieming bij normale bewaartemperatuur te worden geremd.
Nog niet volledig duidelijk waren: de minimale CO2 concentratie, die een verschuiving van de bakkleur veroorzaakt en het gevoeligheidsverloop voor koolzuur in de verschillende fasen van de bewaring. Deze vragen werden in het afgelopen seizoen onderzocht. Tevens werd op kleine schaal aandacht geschonken aan de invloed van extreem hoge koolzuurconcentraties. Op basis van enkele literatuurvermelding zou hiervan een gunstig resultaat kunnen worden verwacht met name in de reconditionneringsperiode. Verder werd eveneens op kleine schaal aandacht gegeven aan het effect van een verhoogde zuurstofconcentratie.

### 1.2 MATERIAAL EN METHODEN

Het onderzoek werd uitgevoerd door knollen van de rassen Bintje, Saturna en Agria te leggen in doorstroom of statische containers, welke geplaatst zijn in koelcellen. In de containers kan volautomatisch de gewenste luchtsamenstelling worden gehandhaafd. Beoordeling van de aardappelen werd verricht door op gezette tijden monsters uit de containers te nemen en deze te beoordelen op bakkleur en kieming.
Kieming werd vastgesteld aan de hand van 20 knollen, waarvan de totale hoeveelheid gevormde kiemen werd gewogen. De bakkleur van de frites werd beoordeeld door uit 20 knollen het centrale gedeelte te boren en deze bij 180°C te frituren en vervolgens met kleurenkaarten de kleur vast te stellen.
Het onderzoek was in 3 gedeelten onderverdeeld:

#### 1.2.1 Invloed lage $CO_2$ concentraties en tijd

Dit onderzoek werd uitgevoerd door gedurende 35 dagen Bintje en Saturna bij 6°C bloot te stellen aan 0.5%, 1.5% en 2.5% $CO_2$ en even grote verlagingen van de zuurstofconcentratie. Gedurende de periode van 35 dagen werden monsters beoordeeld op de bakkleur voor frites na 1, 2, 4, 7, 10, 14, 17, 24, 31 en 35 dagen.

### 1.2.2 Invloed $CO_2$ in verschillende fasen van de bewaring

Dit onderzoek werd uitgevoerd door Bintje en Saturna te bewaren bij 6°C en vanaf het begin van de opslag monsters te begassen met 3% CO2 gedurende ongeveer één maand.

### 1.2.3 Invloed van extreme luchtsamenstellingen

Bij dit onderzoek werden Bintje en Agria gedurende korte perioden van enkele weken bij reconditioneringstemperaturen bewaard bij extreem hoge koolzuur- en verhoogde zuurstofgehalten, namelijk bij 40% $CO_2$ + 20% $O_2$ , 0% $CO_2$ + 40% O2 en 40% CO2 + 40% $O_2$. Het experiment werd verricht door de knollen aanvankelijk twee weken te bewaren in lucht bij 15 en 2°C, daarna twee weken in de genoemde condities bij 15°C en tenslotte nog eens twee weken in lucht bij 15°C op te slaan. Verder werden Bintje en Agria in vervolgonderzoek ook blootgesteld aan 90% $CO_2$ + 10% $O_2$ en 95% $CO_2$ + 5% $O_2$ en stikstof bij 18°C.

## 1.3 RESULTATEN

### 1.3.1 Invloed lage $CO_2$ concentratie en tijd

In de figuren a en b zijn de resultaten van het onderzoek naar beïnvloeding van de bakkleur weergegeven.
Uit de figuren blijkt, dat Bintje gedurende de eerste 5-10 dagen geen verslechtering van de bakkleur te zien geeft. Na deze periode zijn er tussen bewaring in lucht en in 0.5% $CO_2$ geen verschillen te zien, terwijl 1.5% $CO_2$ iets minder van kleur lijkt dan lucht. Dit verschil wordt echter pas duidelijk na een periode van 30-35 dagen. De in dit onderzoek gehanteerde hoogste concentratie $CO_2$ van 2.5% blijkt zich vanaf 2 weken bewaring in ongunstige zin te onderscheiden van de andere condities.
Het beeld van de chipskleur van Saturna is principeel hetzelfde als van de frieskleur van Bintje. Mogelijk is dit effect nog geringer, daar pas in de laatste fase van de 35 dagen durende bewaring de hoogste koolzuurconcentraties in een nadelig effect sorteerden.

De conclusie uit dit onderzoek is, dat de koolzuurconcentratie tot minstens 1.5% moet worden verhoogd gedurende 2-3 weken om enig nadelig effect op de bakkleur teweeg te brengen. Bedacht moet voorts worden, dat hier knollen zijn gebruikt, waarvan de kieming niet langs chemische weg werd geremd. De gebruikte CO2 concentraties kunnen een stimulerende invloed op de kieming (in dit onderzoek niet vastgesteld) hebben en dit maakt het trekken van conclusies voor praktische situaties moeilijk. Immers onder de gebruikte proefomstandigheden zal de ademhalingsactiviteit stijgen als gevolg van kieming en hierdoor zullen gevormde reducerende suikers voor een deel worden verademd. Met andere woorden: in de praktische situatie, waarin de kieming wordt onderdrukt, zullen suikers gevormd door verhoging van koolzuur veel minder worden "weggewerkt". Er bestaat dus een kans, dat het hier gevonden effect in de praktische situatie mogelijk zelfs aanzienlijk groter is. Dit leidt dan weer tot de overweging de praktijk te adviseren elke verhoging van koolzuur te vermijden.

### 1.3.2 Invloed $CO_2$ in verschillende fasen van de bewaring

Uit bij 6°C opgeslagen Bintjes en Saturna's werden ongeveer elke maand monsters genomen en gedurende de daarop volgende maand begast met 3% koolzuur. De resultaten van dit onderzoek, begonnen in januari 1994 en voortgezet tot begin juni, zijn weergegeven in de figuren 1, 2 (bakkleur), 3 en 4 (kieming).
De bakkleur van met koolzuur behandelde Bintjes (fig. 1) blijkt voortdurend een fractie slechter te zijn dan de in lucht bewaarde knollen. Een soortgelijk effect werd waargenomen voor de chipskleur van Saturna. De maximale verschillen blijken zowel voor de frites als chipskleur ongeveer een vol punt. Evenals in het onderzoek onder 1.3.1 moet worden bedacht, dat de knollen niet met chemische spruitremmingsmiddelen werden behandeld. De toename in activiteit als gevolg van kieming kan een mogelijk groter verschil tussen lucht en met koolzuur behandelde knollen hebben gemaskeerd.
Met betrekking tot de fase van de bewaring zijn er geen zeer grote verschillen. Voor Bintje en Saturna lijken de verschillen tussen lucht en 3% koolzuur in januari wat groter dan in de daaropvolgende maanden. Voor Saturna lijkt dit eveneens het geval in de maanden april, mei en juni.
De kieming wordt door 3% koolzuur in dit onderzoek bij Bintje niet en bij Saturna een beetje gestimuleerd. Dit komt overeen met eerder uitgevoerd onderzoek bij 6°C.

De conclusie uit dit onderzoek is, dat in elke fase van de bewaring ophoping van koolzuur moet worden vermeden, daar het steeds een negatieve invloed heeft op de bakkleur. Voorts mag niet worden uitgesloten, dat de hier geconstateerde verschillen in de praktijk groter kunnen zijn.

### 1.3.3 Invloed extreme luchtsamenstellingen

In de figuren 5 en 6 zijn de resultaten met betrekking tot de bakkleur van Bintje en Saturna weergegeven. Bij Bintje (fig. 5) is er na de 2 weken bewaring, voorafgaand aan de blootstelling aan de extreme condities, een duidelijk verschil in niveau van bakkleur. De koud vóórbewaarde scoren tussen de 5 en 6, terwijl de warm vóórbewaarde knollen tussen de 3 en 4 scoren. Behandeling met 20 of 40% zuurstof levert geen verschillen op. De met 40% koolzuur behandelde knollen vertonen een verslechtering van de bakkleur. Opnieuw wordt dus ook bij hoge temperatuur een negatieve invloed vastgesteld voor opslag in koolzuur.
De resultaten met Saturna (fig. 6) vertonen dezelfde tendensen als gesignaleerd voor Bintje. Ook hier is er sprake van een negatieve invloed van het hoge koolzuurgehalte op de bakkleur van chips.

Blootstelling van Bintje en Agria aan 90-95% koolzuur bleek de bakkleur tijdens bewaring bij 18°C niet te verbeteren. Integendeel, de bakkleur werd donkerder bij beide rassen.

De conclusie uit dit onderzoek is, dat bewaring bij relatief hoge temperaturen in extreem hoge koolzuurgehalten of in verhoogde zuurstofgehalten, geen verbetering van de bakkleur tot gevolg hebben. Ook in de reconditionneringsperiode is blootstelling aan koolzuur dus maar beter te vermijden.

## 1.4 DISCUSSIE EN CONCLUSIES

In voorgaand onderzoek was reeds vastgesteld, dat koolzuur een negatieve invloed heeft op de kwaliteit van consumptie aardappelen. Deze negatieve invloed komt tot uitdrukking in een verslechtering van de bakkleur, terwijl de kieming ook kan worden gestimuleerd.
In de heelperiode is de invloed van verhoogd koolzuur op de bakkleur gering, maar kan er een vrij sterke stimulering van de kieming optreden. Tijdens de bewaring bij 6°C hebben verhoogde koolzuurgehalten een duidelijk negatieve invloed op de bakkleur, terwijl de invloed op de kieming varieert. Tot ongeveer 3% koolzuur kan de kieming worden gestimuleerd, daarboven wordt de kieming afgeremd. Vooral het effect van koolzuur op de kieming blijkt nogal afhankelijk van de fase van de bewaring: in de vroege fase is er een veel groter stimulering door koolzuur dan in de latere periode.
Het in dit seizoen uitgevoerde onderzoek bevestigt de reeds gevonden effecten. Als aanvulling geldt, dat de invloed van geringe verhogingen tot 0.5-1% geen invloed lijkt te hebben. Van 1.5 en 2.5% gedurende enkele weken koolzuur werd een negatieve invloed waargenomen. 3% koolzuur toegediend in verschillende fasen van de bewaring leidde niet tot buitengewoon grote verschillen. In januari (Bintje en Saturna) en in de maanden mei, juni (Saturna) leken de verschillen tussen lucht en 3% koolzuur groter dan in de overige maanden.
Toepassing van zeer extreem hoge koolzuur- en verhoogde zuurstofgehalten bij reconditionneringstemperaturen leidde tot een verslechtering van de bakkleur.
De slotconclusie uit dit onderzoek is dan ook, dat verhoging van het koolzuurgehalte in elke fase, inclusief heelperiode en reconditionnering, van de bewaring kan leiden tot een negatieve invloed op de bakkleur. Vooral in de heelperiode kan voorts de kieming vrij sterk worden gestimuleerd, terwijl met licht verhoogde koolzuurgehalten dit zich ook kan voordoen tijdens langdurige bewaring.
Toepassing van chemische spruitremmers zal naar verwachting de gevonden effecten op de bakkleur versterken.

Voor de bewaarpraktijk van consumptie aardappelen geldt, dat elke verhoging van koolzuur vermeden dient te worden. Het toepassen van een koolzuur gestuurde ventilatie zou hierbij een punt van overweging kunnen zijn.

## 1.5 SAMENVATTING

In het bewaarseizoen 1993/1994 werden in het kader van "Onderzoek naar de invloed van koolzuur op de kwaliteit van aardappelen" 4 aanvullende experimenten uitgevoerd. Onderzoek werd verricht naar de minimale koolzuurconcentratie en tijd, die een verschuiving van de bakkleur veroorzaken. Gebleken is, dat 1.5% en 2.5% gedurende enkele weken bij 6°C een verslechtering van de bakkleur tot gevolg kunnen hebben.
Een tweede experiment betrof de gevoeligheid voor koolzuur in verschillende fasen van de bewaring. De gevoeligheid verschilde in de maanden januari tot juni niet spectaculair. In januari (Bintje en Saturna) en in mei en juni (Saturna) leken de verschillen tussen lucht en 3% koolzuur groter dan in de andere maanden.
Tenslotte werden twee proeven uitgevoerd naar de invloed van extreem hoge $CO_2$ en $O_2$ concentraties tijdens opslag bij 15°C. Er bleek van de verhoogde $O_2$ gehalten geen invloed uit te gaan, terwijl de zeer hoge $CO_2$ de bakkleur nadelig beinvloedde.
De algemene conclusie uit dit aanvullende onderzoek is, dat ophoping van koolzuur in alle fasen van de bewaring, inclusief heelperiode en reconditionnereing, vermeden dient te worden.

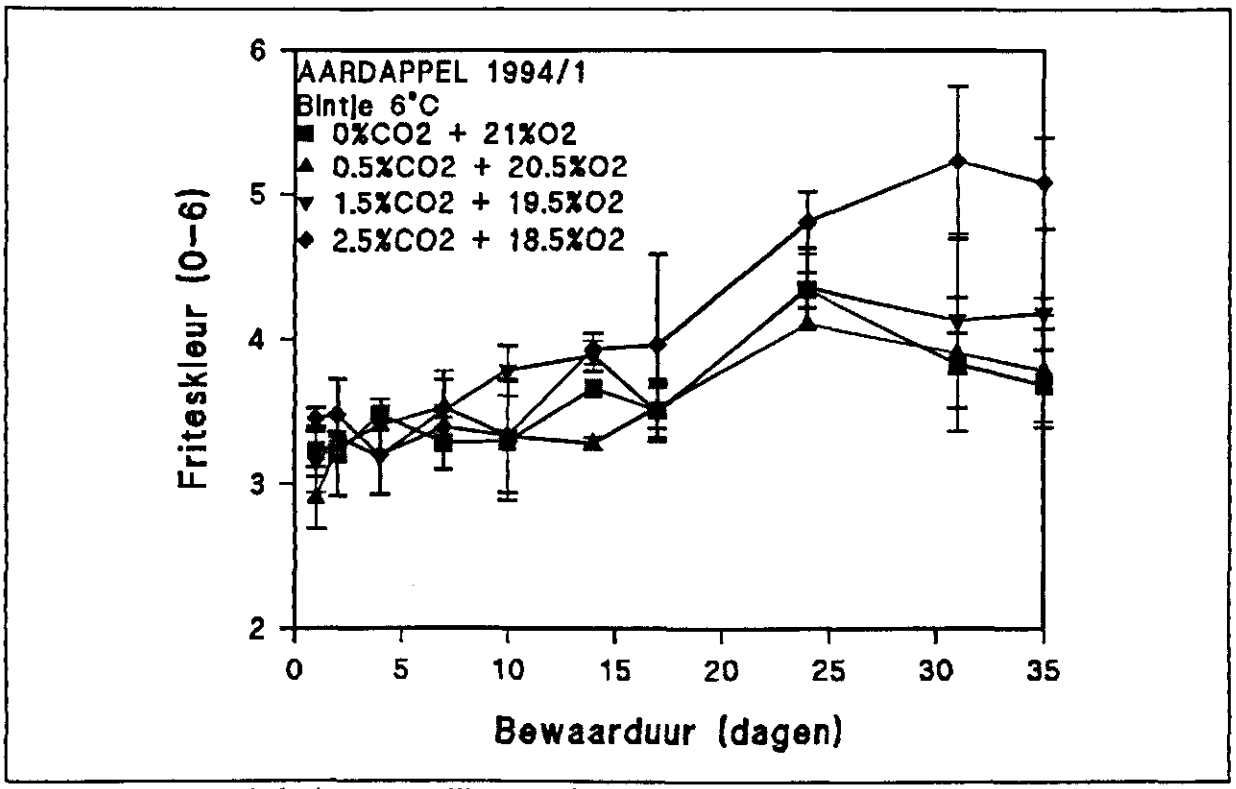



Fig a: Invloed van de luchtsamenstelling bij 6°C op de bakkleur van frites van Bintje

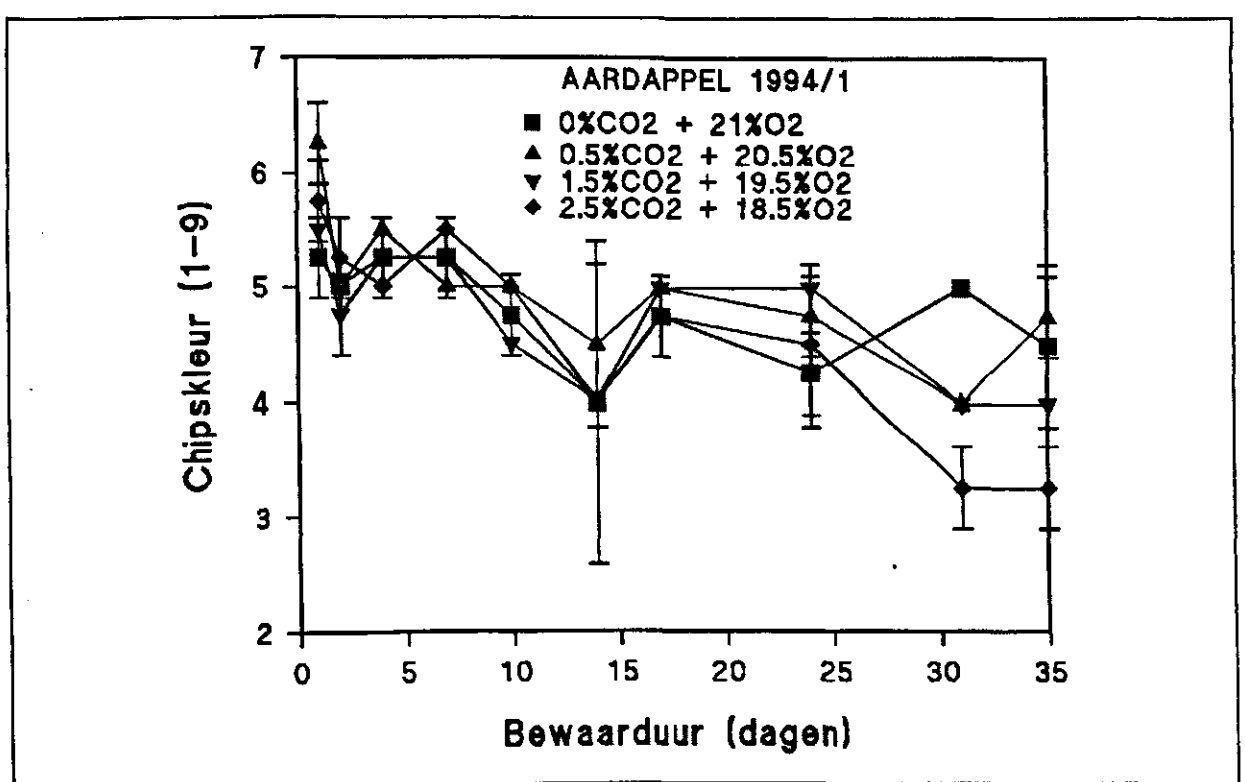



Fig b: Invloed van de luchtsamenstelling bij 6°C op de bakkleur van chips van Saturna.

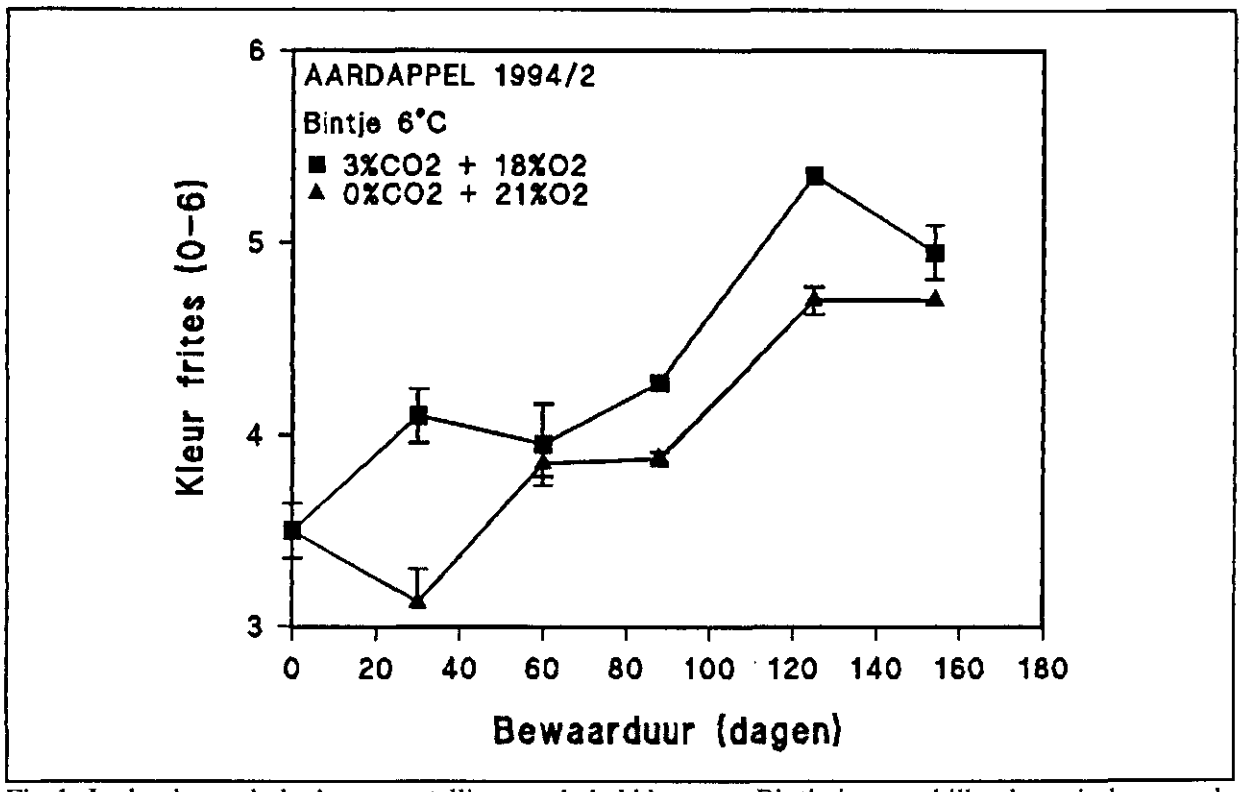



Fig 1: Invloed van de luchtsamenstelling op de bakkleur van Bintje in verschillende perioden van de bewaring.

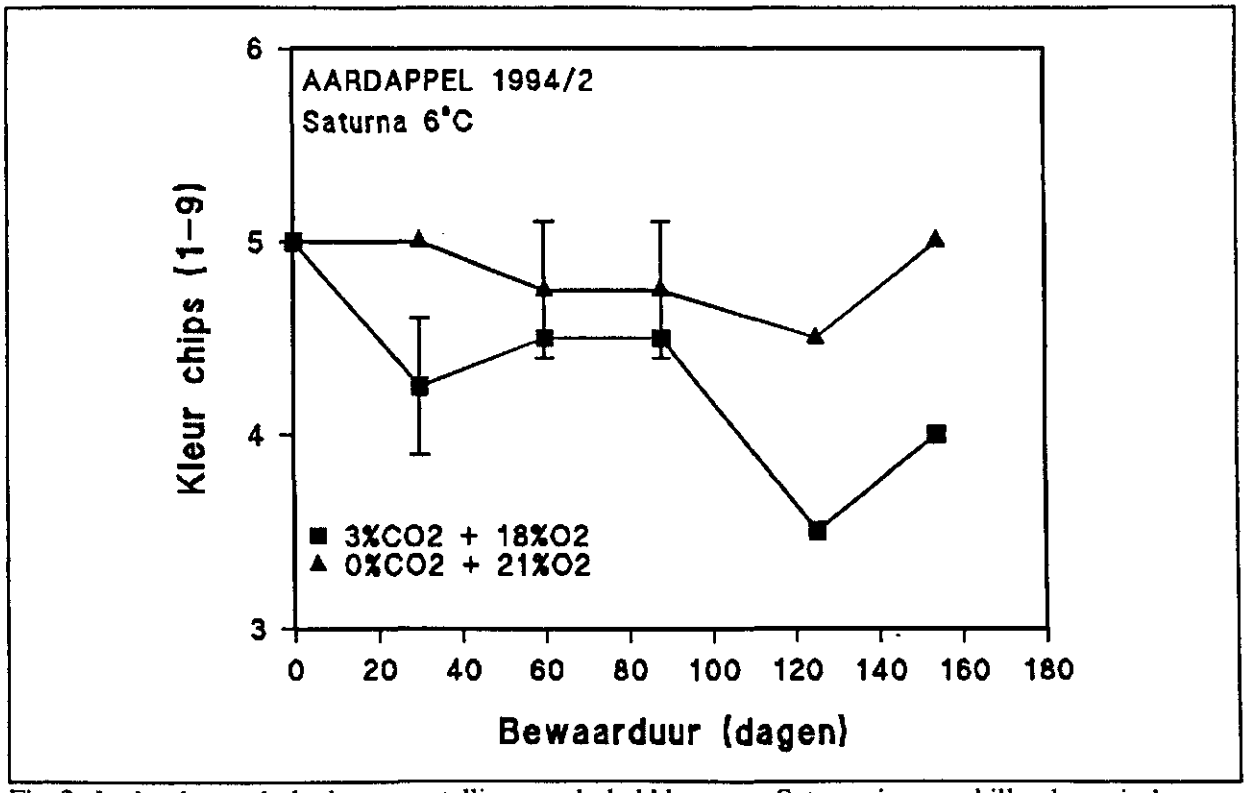



Fig 2: Invloed van de luchtsamenstelling op de bakkleur van Saturna in verschillende perioden van de bewaring.

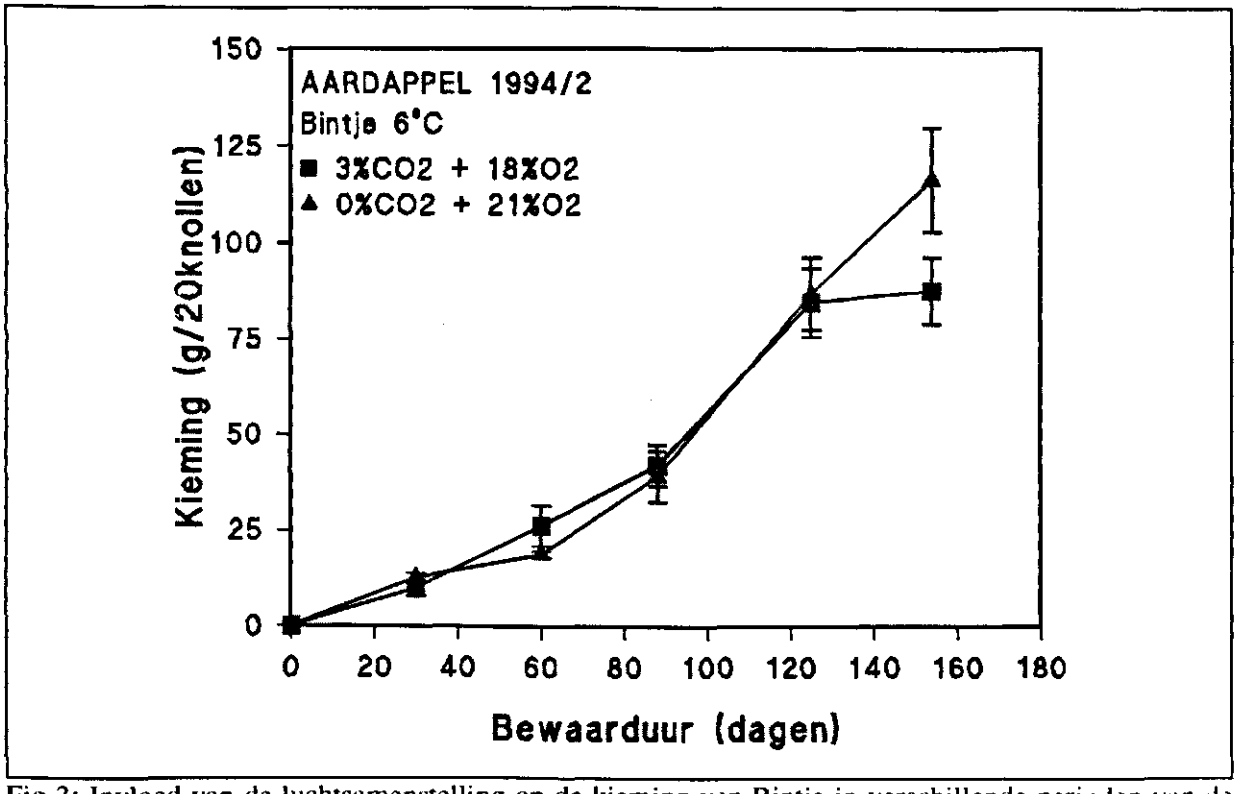



Fig 3: Invloed van de luchtsamenstelling op de kieming van Bintje in verschillende perioden van de bewaring.

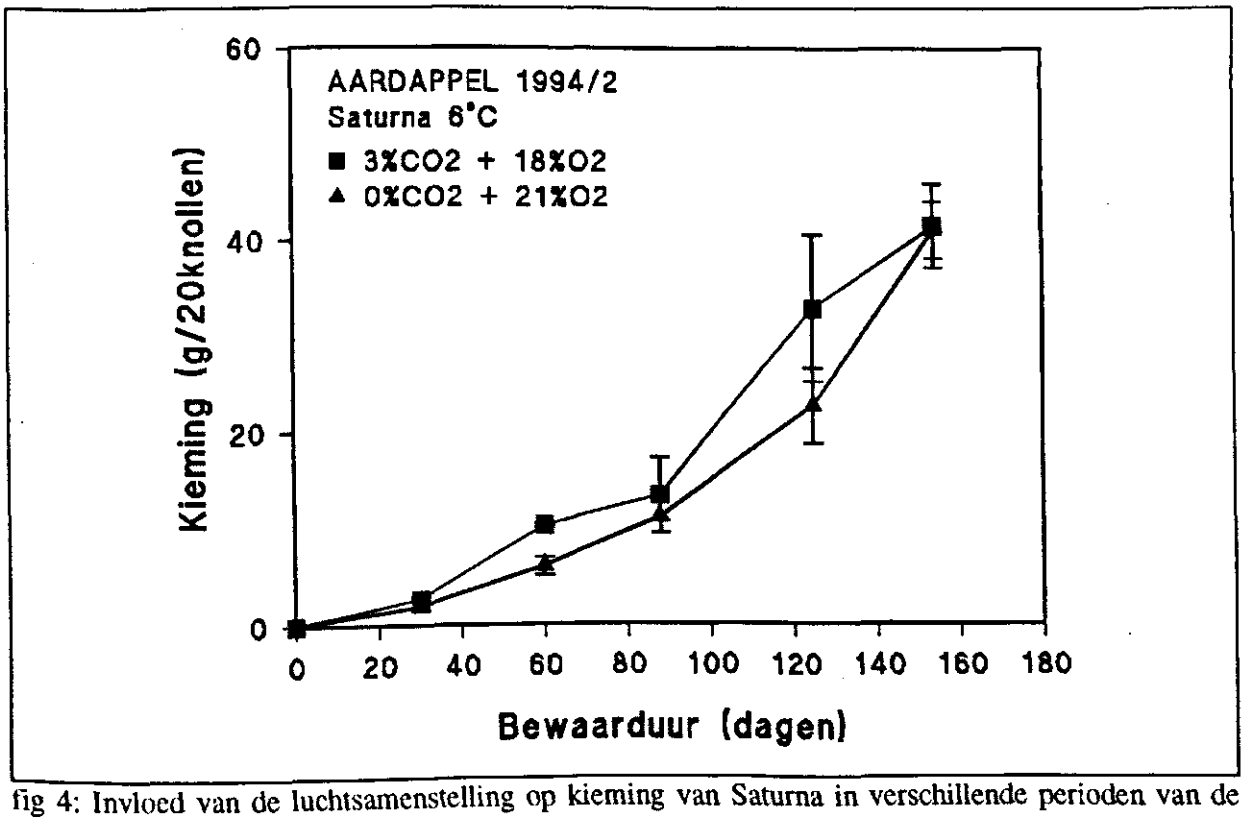



fig 4: Invloed van de luchtsamenstelling op kieming van Saturna in verschillende perioden van de bewaring.

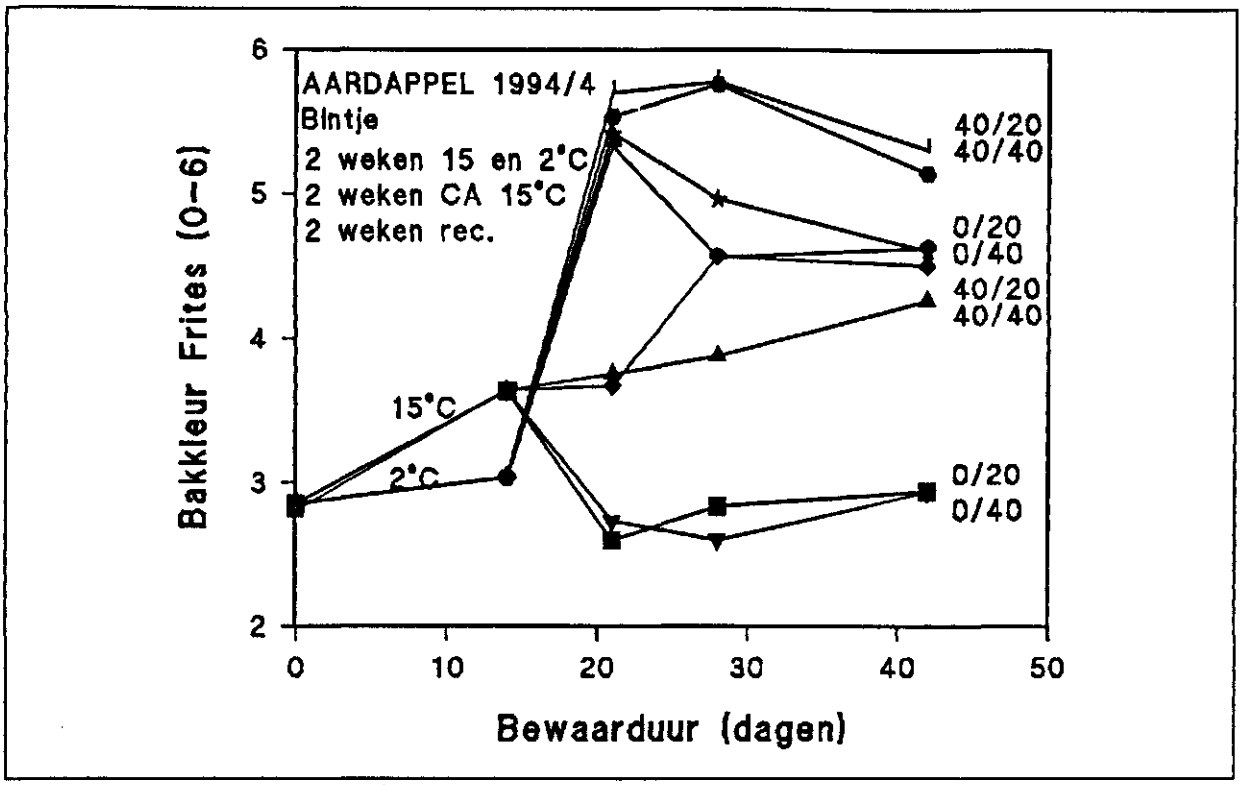



Fig 5: Invloed van zeer hoge CO2 en O2 op de bakkleur van Bintje bij 15°C.

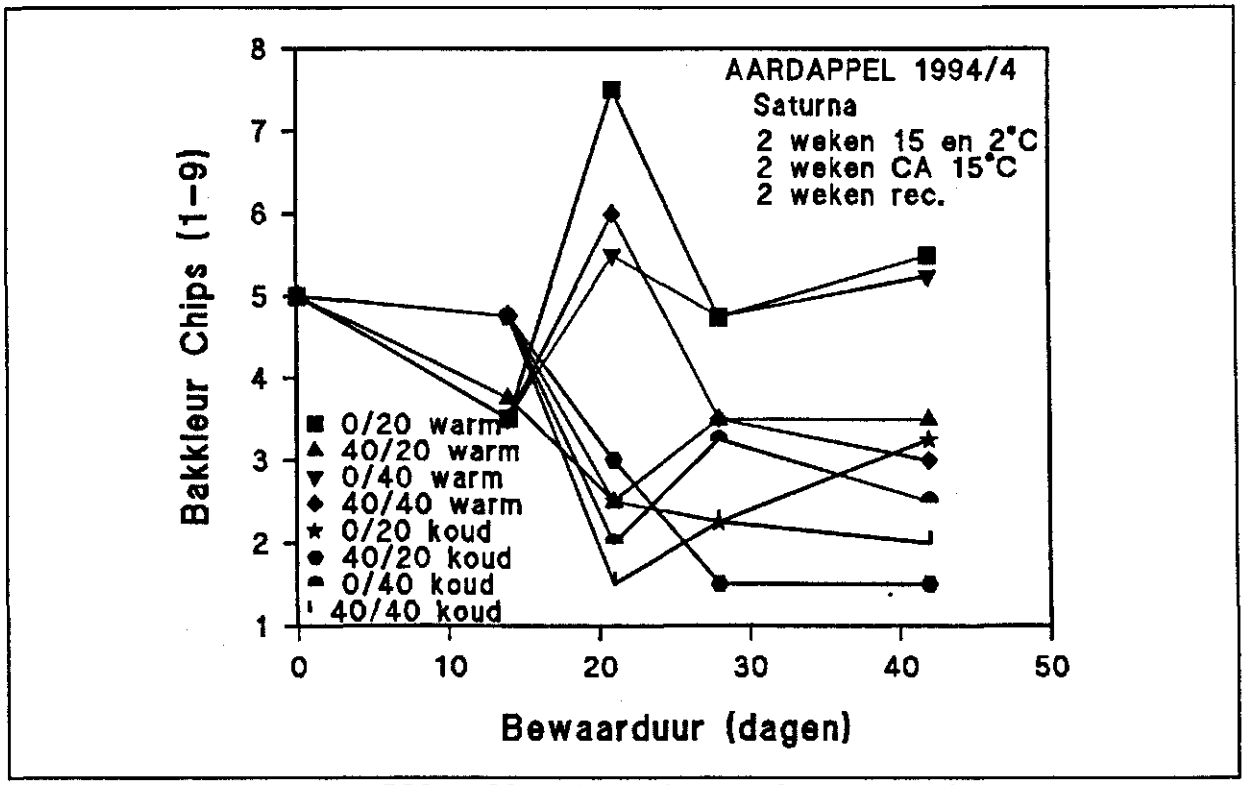



Fig 6: Invloed van zeer hoge CO2 en O2 op de bakkleur van Saturna bij 15°C.

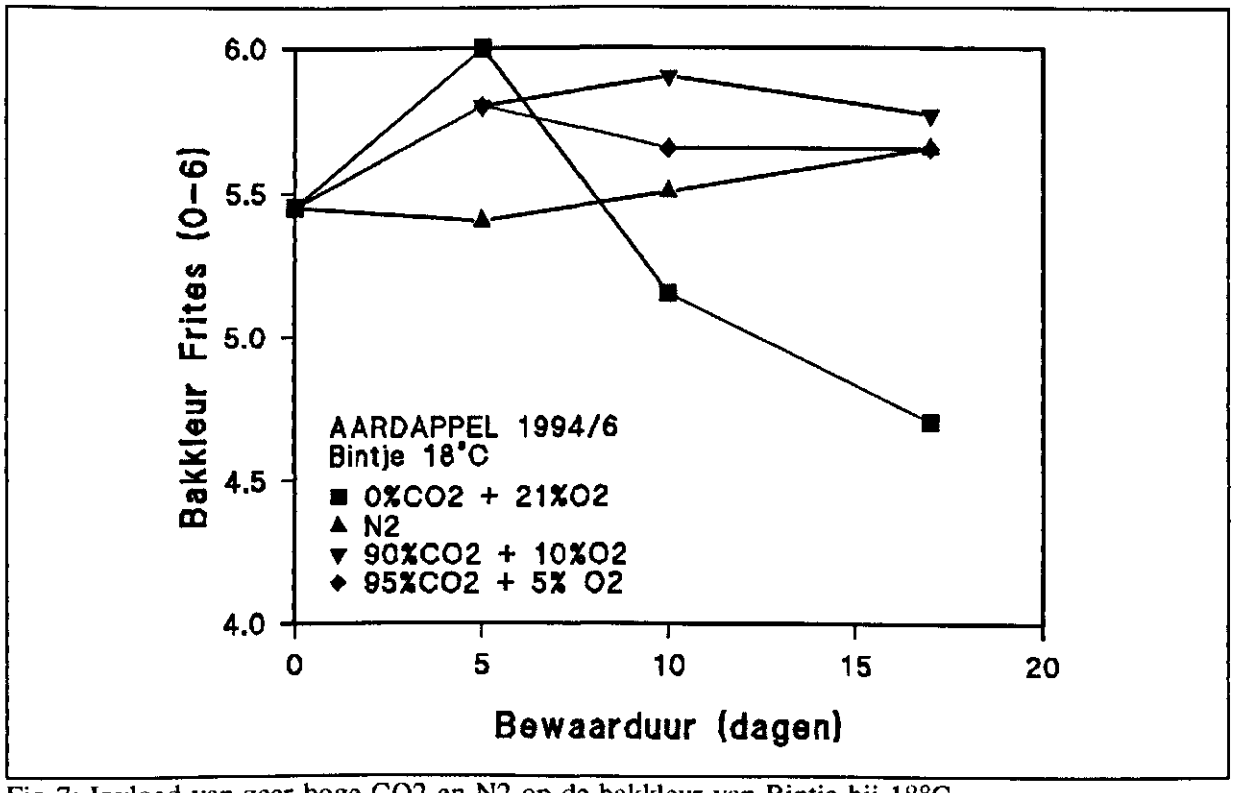



Fig 7: Invloed van zeer hoge CO2 en N2 op de bakkleur van Bintje bij 18°C.

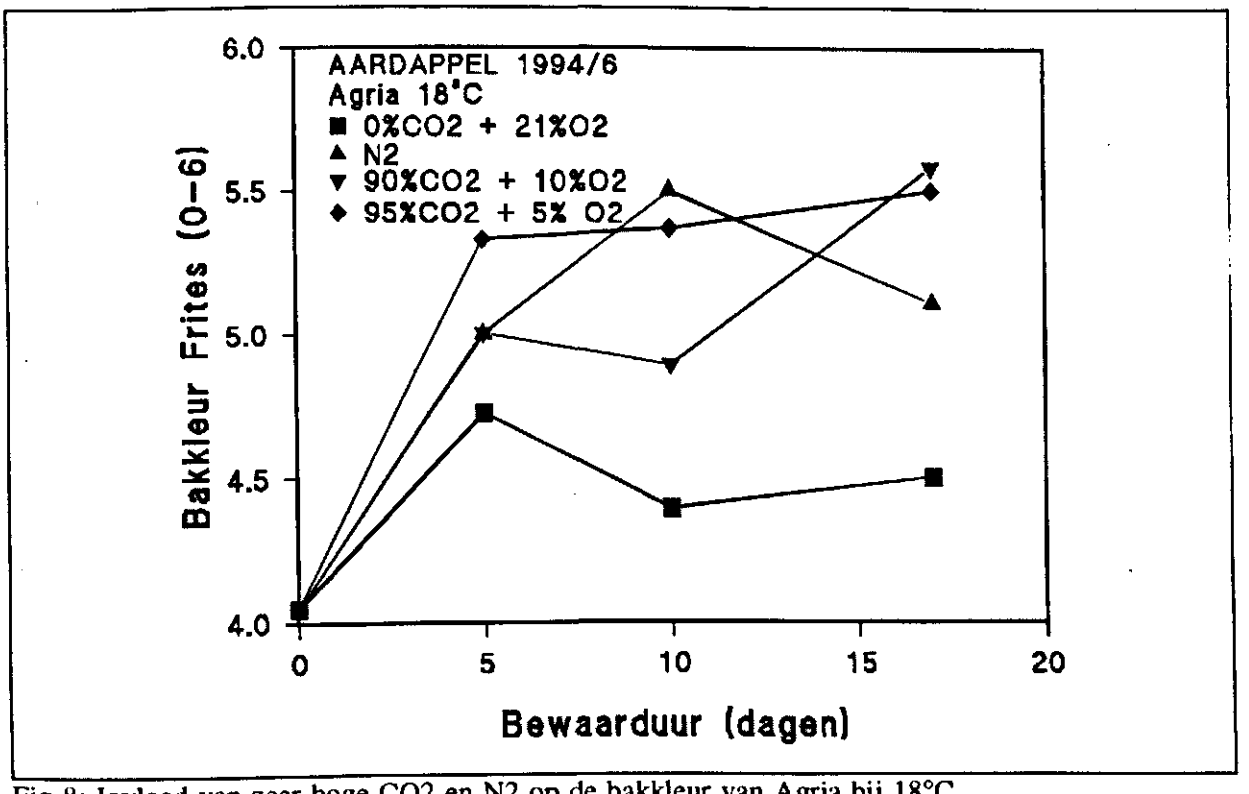



Fig 8: Invloed van zeer hoge CO2 en N2 op de bakkleur van Agria bij 18°C.

# HOOFDSTUK 2

## DE INVLOED VAN DE WIJZE VAN AFKOELEN EN TEMPERATUURBEHEERSING TIJDENS DE BEWARING OP DE VERWERKINGSKWALITEIT VAN AARDAPPELEN (Deelproject 2)

### 2.1 INLEIDING

Van aardappelen die bestemd zijn voor verwerking tot o.a. frites en chips dient het reducerende suikergehalte niet te hoog te zijn daar anders de uitwendige kwaliteit (kleur) en smaak van deze produkten negatief beïnvloed worden.
Aardappelen bevatten naast een bulk aan zetmeel wisselende hoeveelheden suikers. De voornaamste zijn de reducerende suikers glucose en fructose en de niet-reducerende suiker sucrose. Binnen de aardappel heerst een dynamisch evenwicht tussen deze suikers en het zetmeel. Dit geheel wordt beïnvloed door de bewaring zoals die wordt opgelegd tussen het tijdstip van oogst en verwerking.
Tijdens de bewaring wordt het niveau van het reducerende suikergehalte en daarmede de bakkleur, in sterke mate bepaald door de bewaartemperatuur en de bewaarduur. In deelproject 2 wordt het verloop hiervan tijdens de bewaring gevolgd bij verschillende bewaartemperaturen (constante en glijdende) voor het onderzoeken van de mogelijkheden voor het gebruik van glijdende temperatuurregimes die realiseerbaar zijn met buitenluchtkoeling. Daarnaast vindt in combinatie met deelproject 3 onderzoek plaats naar parameters met een voorspellende waarde om het gehele bewaarproces nog beter te kunnen sturen.
De resultaten van het onderzoek tot dusverre zijn zeer perspektiefvol.

### 2.2 MATERIAAL EN METHODEN

Evenals in de voorgaande twee seizoenen werd het onderzoek ook in het derde proefseizoen met vier rassen uitgevoerd. Deze rassen waren Van Gogh en Bintje, bij lagere temperaturen gevoeliger voor suikervorming, en Saturna en Agria die hiervoor minder gevoelig zijn.
De partijen van deze vier rassen werden verbouwd op het ATO proefbedrijf "De Eest" te Nagele (NOP). De bemesting werd uitgevoerd overeenkomstig het advies na grondmonstername. Het poten vond plaats op 1 april, het doodspuiten van het loof van de rassen Bintje, Van Gogh en Saturna op 1 september en dat van het ras Agria op 28 september 1993. Op genoemde tijdstippen was het loof reeds voor een groot deel langs natuurlijke weg afgestorven. Door het zeer wisselvallige en regenrijke weer in september en oktober kon niet vroeg worden gerooid. Bovendien trad er rond half oktober nog een korte periode (ca. 5 dagen) met vorst aan de grond op tot - 4°C. Uiteindelijk kon op 25 en 26 oktober 1993 worden gerooid (grondtemperatuur in de rug ca. 8°C). Het drogen/wondhelen werd bij alle partijen op overeenkomstige wijze uitgevoerd. Voor het onderzoek werd gebruik gemaakt van de sortering ≥ 55 mm.
Op 11 november 1993 is het proefmateriaal van de verschillende rassen in de cellen geplaatst bij de verschillende temperatuurvarianten. Tijdens de bewaarperiode, van 11 november 1993 tot 12 augustus 1994, werd bij alle temperatuurvarianten carvon toegepast

als kiemremmingsmiddel.
In overleg met de Ad-hoc Begeleidingscommissie waren in seizoen 1993/1994 de volgende varianten bij het onderzoek betrokken:

- Direct afkoelen naar 4, 5*, 6, 8 en 14°C en deze temperaturen constant handhaven;
- Direct afkoelen naar 4°C en later (vanaf half maart) geleidelijk naar 12 en 14°C;
- Direct afkoelen naar 6°C en later (vanaf begin april) geleidelijk naar 12 en 14°C;
- Direct afkoelen naar 8°C en later (vanaf eind april) geleidelijk naar 12 en 14°C;
- Geleidelijk afk.tot ca. 24 dec. naar 4°C en later (vnf half mrt) geleid. naar 12 en 14°C;
- Geleidelijk afk.tot ca. 10 dec. naar 6°C en later (vnf begin apr.) geleid. naar 12 en 14°C;
- Geleidelijk afk.tot ca. 25 nov. naar 8°C en later (vnf eind apr.) geleid. naar 12 en 14°C.

* Constant 5°C is meegenomen om meer inzicht te krijgen in het kritische temperatuurgebied tussen 4 en 6°C.

Opmerking: Alleen van de varianten met constante bewaartemperaturen zijn maandelijks ook monsters gereconditioneerd (14 dagen bij 18°C) i.v.m. signalering veroudering. Deze beperking is gemaakt omdat bij constante bewaartemperaturen de meest overzichtelijke resultaten kunnen worden verkregen.

Via maandelijkse bemonsteringen is het verloop van de bakkleur-index, het gewichtsverlies en de spruiting bepaald. Met het oog op deelproject 3 werd maandelijks per ras en temperatuurvariant, naast de bakkleur-index, tevens het gehalte aan reducerende suikers en sucrose bepaald. Zowel direct na bemonstering als na aansluitend reconditioneren (zie deelproject 3). Op de volgende data werden de bakkleur-indices en de suikers van de monsters per ras en temperatuurvariant bepaald:

| *data directe bepalingen* | *dgn bewaren vanaf eerste bemonstering* | *data bep. na reconditioneren monsters bew. op const. temp.* |
|---|---|---|
| 05-11-'93 | 0 | |
| 12-11-'93 | 7 | 26-11-'93 |
| 03-12-'93 | 28 | 17-12-'93 |
| 30-12-'93 | 55 | 14-01-'94 |
| 28-01-'94 | 84 | 11-02-'94 |
| 25-02-'94 | 112 | 11-03-'94 |
| 25-03-'94 | 140 | 08-04-'94 |
| 22-04-'94 | 168 | 06-05-'94 |
| 20-05-'94 | 196 | 03-06-'94 |
| 17-06-'94 | 224 | 01-07-'94 |
| 15-07-'94 | 252 | 29-07-'94 |
| 12-08-'94 | 280 | 26-08-'94 |

## 2.3 RESULTATEN

### 2.3.1 Constante bewaartemperaturen

In de figuren 1 t/m 4 zijn de resultaten qua bakkleur en gewichtsverliezen per ras weergegeven van de na de droog- en heelperiode snel bereikte en daarna gehandhaafde bewaartemperaturen van 4, 5, 6, 8 en 14°C. Het percentage spruiten is in de figuren achterwege gelaten omdat dit bij alle varianten onder 0.5% lag. Alleen bij de rassen Van Gogh en Saturna, bewaard bij 14°C werd vanaf half juni spruiting van enige betekenis aangetroffen (≥ 1.8%). Dit goede spruitremmende effect kan worden toegeschreven aan de mogelijkheden die carvon biedt als spruitremmer.

*Constant 4°C*
Voor Van Gogh, Bintje en Agria leidt een bewaartemperatuur van 4°C snel en blijvend tot onacceptabele bakkleuren. Bij Saturna blijft de bakkleur-index tot ca. eind mei rond 4 schommelen, daarna treedt nog een verbetering op tot een acceptabeler niveau.

*Constant 5°C*
Deze temperatuur leidt eveneens voor de rassen Van Gogh, Bintje en Agria tot onacceptabele bakkleuren gedurende het gehele bewaarseizoen. Bij Saturna leidt dit temperatuurniveau, zeker na eind januari, tot zeer acceptabele bakkleuren.

*Constant 6°C*
Bij Van Gogh zijn de bakkleur-indices aanvankelijk onvoldoende maar treedt een geleidelijke verbetering op tot een nog acceptabel niveau vanaf ca. half juni. Voor Bintje is 6°C een kritische bewaartemperatuur. Voor Agria resulteert deze temperatuur vanaf ca. eind januari in acceptabele bakkleuren. Bij Saturna blijft de bakkleur gedurende het gehele bewaarseizoen op een goed niveau gehandhaafd.

*Constant 8°C*
Bij Van Gogh blijft de bakkleur aanvankelijk onacceptabel, echter vanaf ca. begin april wordt een acceptabel niveau bereikt dat gehandhaafd blijft tot het eind van het bewaarseizoen. Bij Bintje blijft de bakkleur tot ca. eind mei acceptabel, daarna zet een geleidelijke achteruitgang in en rond half juli is de kleur zodanig achteruitgegaan dat een onacceptabel niveau is bereikt ("veroudering"). Bij Saturna en Agria leidt dit temperatuurniveau tot goede bakkleuren, met name na eind februari.

*Constant 14°C*
Voor Bintje leidt deze temperatuur tot begin april tot de beste bakkleur, daarna zet een achteruitgang in die al vóór half juni tot onacceptabele bakkleuren leidt ("veroudering").
Ook bij Van Gogh worden bij dit temperatuurniveau de beste bakkleuren gevonden. Bij dit ras wordt tot het eind van het bewaarseizoen geen achteruitgang gesignaleerd.
Bij Agria laat deze temperatuur geen verbetering van de bakkleur zien t.o.v 8°C. Hetzelfde geldt voor Saturna.
Bij de temperatuurgevoeligere rassen leidt een dergelijk hoog temperatuurniveau kortere of langere tijd tot een verbetering van de bakkleur. Uit een oogpunt van gewichtsverliezen is het echter niet interessant een dergelijk hoge temperatuur gedurende langere tijd te handhaven.

### 2.3.2 Constante bewaartemperaturen, later gevolgd door een geleidelijke temperatuurstijging

In de figuren 5 t/m 8 zijn de resultaten samengevat van de regimes waarbij na de droog/wondheelperiode snel is afgekoeld naar constante temperaturen van 4, 6 en 8°C en later in het bewaarseizoen (startend vanaf maart/april) een geleidelijke temperatuurverhoging naar respectievelijk 12 en 14°C is gerealiseerd. Daar de resultaten van een temperatuurverhoging naar 12°C nagenoeg identiek waren aan die van 14°C zijn in de figuren alleen de resultaten van een geleidelijke verhoging naar 14°C weergegeven.

***Aanvankelijk constant 4°C, vanaf half maart geleidelijk stijgend naar 14°C***
Voor Bintje leidt de geleidelijke temperatuurverhoging in de tweede helft van het seizoen niet tot betere resultaten dan bij constant 4°C.
Bij Van Gogh resulteert de temperatuurverhoging wel tot aanzienlijk betere bakresultaten vanaf eind april, maar ze blijven onvoldoende.
Voor Agria geldt ongeveer hetzelfde als voor Van Gogh.
Saturna laat na eind april een duidelijke verbetering in bakresultaten zien t.o.v. bewaren bij constant 4°C.

***Aanvankelijk constant 6°C, vanaf begin april geleidelijk stijgend naar 14°***
Bij Van Gogh leidt de geleidelijke temperatuurverhoging vanaf begin april tot een geleidelijke verbetering van de bakkleur tot een zeer acceptabel niveau in juli/augustus.
Voor Bintje geeft de temperatuurverhoging geen verbetering te zien t.o.v. 6°C constant. Na half juni zijn de bakresultaten zelfs slechter.
Bij Agria laat de temperatuurverhoging na eind april betere bakresultaten zien en bij Saturna geldt dit na half juni.

***Aanvankelijk constant 8°C, vanaf eind april geleidelijk stijgend naar 14°C***
Bij Van Gogh leidt de temperatuurverhoging vanaf eind april nauwelijks tot een verbetering van de bakkleur in juni/juli/augustus.
Ook bij Bintje is het effect op de bakkleur te verwaarlozen en na half juni treedt zelfs een snellere achteruitgang op dan bij constant 8°C.
Bij Agria blijft ook een positief effect achterwegen, na half juni wordt de bakkleur zelfs minder goed dan bij constant 8°C.
Bij Saturna kan van de temperatuurverhoging in het voorjaar geen verbetering op de bakkleur t.o.v. 8°C constant worden afgeleid.

### 2.3.3 Volledig glijdende temperatuurverlopen

In de figuren 9 t/m 12 zijn de resultaten weergegeven van de regimes waarbij na de droog/wondheelperiode geleidelijk wordt afgekoeld naar respectievelijk 4, 6 en 8°C en later in het bewaarseizoen (startend in de periode van half maart tot eind april) een geleidelijke temperatuurverhoging wordt ingezet naar 12 en 14°C. Daar de resultaten van een temperatuurverhoging naar 12°C nagenoeg identiek waren aan die van 14°C zijn in de figuren alleen de resultaten van de verhoging naar 14°C opgenomen. Dit zijn de regimes die in principe met alleen buitenluchtkoeling het dichtst te benaderen zijn.

*Geleidelijk naar 4°C tot eind december en vanaf half maart geleideljk naar 14°C*
Voor Van Gogh leidt dit regime tot betere resultaten dan de reeds besproken regimes. Na het slechter worden door de periode bij 4°C zet weer een geleidelijke verbetering van de bakkleur in die uiteindelijk in eind juli/augustus reulteert in een acceptabele bakkleur.
Bij Bintje resulteert dit regime weliswaar ook in een beter verloop van de bakkleur, echter in onvoldoende mate en treedt zelfs na eind mei "veroudering" op.
Ook voor Agria leidt dit regime tot een beter verloop van de bakkleur dan de voorgaande regimes. Van ca. half januari tot ca. half mei (periode met een laag temperatuurniveau is de bakkleur onvoldoende. Daarvoor en daarna is de bakkleur acceptabel. Voor hele lange bewaring biedt dit regime mogelijkheden voor dit ras.
Ook voor Saturna geeft dit regime een veel vlakker en beter verloop van de bakkleur te zien dan de voorgaande regimes met 4°C.

*Geleidelijk naar 6°C tot ca. begin december en vanaf begin april geleidelijk naar 14°C*
Voor Van Gogh zijn de resultaten met dit regime in voorjaar en zomer vergelijkbaar met die van constant 6°C en later geleidelijk naar 14°C en biedt het ook mogelijkheden voor lange bewaring.
Bij Bintje blijft het verloop van de bakkleur met dit regime tot ca. half juni vrij vlak verlopen en op een iets beter acceptabel niveau gehandhaafd dan bij de voorgaande regimes. Na half juni treedt echter een snelle verslechtering ("veroudering") in.
Bij Agria wordt met dit regime een vlak verloop van de bakkleur op een acceptabel niveau gehandhaafd tot ca. half augustus.
Bij Saturna zijn de resultaten met dit regime vergelijkbaar met die van constant 6°C en later geleidelijk naar 14°C. Gedurende het gehele bewaarseizoen blijft een goede bakkleur gehandhaafd.

*Geleidelijk naar 8°C tot ca. eind november en vanaf eind april geleidelijk naar 14°C*
Voor Van Gogh en Bintje voldoet dit regime voor lange bewaring. In voorjaar en zomer komen de resultaten van dit regime overeen met die van constant 8°C en later geleidelijk naar 14°C.
Ook voor Agria is dit een goed regime voor lange bewaring. Gedurende het gehele bewaarseizoen blijft de bakkleur zeer acceptabel. Het verloop t.o.v. constant 8°C en later geleidelijk naar 14°C is wat regelmatiger.
Bij Saturna stemmen de resultaten van dit regime vrij goed overeen met constant 6 en 8°C en later geleidelijk naar 14°C en met de volledig glijdende regimes naar 6 en 4°C.

### 2.3.4 Effecten reconditioneren van bij constante temperaturen bewaarde aardappelen

In de figuren 13 en 14 zijn de resultaten samengevat van het reconditioneren van de aardappelen die bij constante temperaturen van 4, 5, 6 en 8°C werden bewaard. Van deze temperatuurvarianten werden per monstertijdstip steeds monsters direct gebakken en na 14 dagen reconditioneren bij 18°C. Voor het bepalen van het reconditioneereffect kunnen de resultaten van figuur 13 en 14 vergeleken worden met die van de figuren 1 t/m 4.

*Effect reconditioneren na bewaren bij 4°C*
Bij deze bewaartemperatuur had reconditioneren voor alle vier rassen een verbetering van de bakkleur tot gevolg. De beste resultaten (ca. 1 punt verbetering) met reconditioneren werden over het algemeen tot ca. eind mei geboekt. Alleen bij Van Gogh bleef een

duidelijker effect zichtbaar tot ca. eind juli. Verder moet voor Bintje en Van Gogh nog worden opgemerkt dat de positieve resultaten van reconditioneren pas zichtbaar werden vanaf januari.
Ondanks de gesignaleerde positieve invloed van reconditioneren leidde dit bij de rassen Van Gogh, Bintje en Agria niet tot zodanige verbeteringen dat bakkleur-indices in het acceptabele gebied werden verkregen. Dit was alleen het geval bij het ras Saturna. Bij Bintje werd aan het eind van het bewaarseizoen geen tot een licht negatief effect van reconditioneren ondervonden.

***Effect reconditioneren na bewaren bij 5 °C***
Na bewaren bij 5°C waren de effecten van reconditioneren vaak wat geringer en kortdurender in het bewaarseizoen dan na bewaren bij 4°C. Dit was met name het geval voor Bintje. Bij dit ras werd alleen in de periode van eind december tot eind maart een redelijk positief effect (0.75 punt verbetering) tot een ongeveer acceptabel niveau bereikt. Evenals na bewaring bij 4°C tendeerden de resultaten van reconditioneren aan het eind van het bewaarseizoen naar de negatieve kant.
Bij Saturna was het effect van reconditioneren marginaal. Bij 5°C verliep de bakkleur van dit ras al op een heel acceptabel niveau zodat er kennelijk niet veel suikers waren geaccumuleerd en van reconditioneren ook minder mocht worden verwacht.
Bij de rassen Agria en Van Gogh was de reactie op reconditioneren vergelijkbaar met die bij 4°C. Dit leidde bij Agria tot bakkleuren die hierdoor steeds teruggebracht konden worden tot een acceptabel niveau. Bij Van Gogh was dit niet mogelijk. Kijkend hoe goed Van Gogh reageert op een geleidelijke opwarming in het voorjaar zal 14 dagen reconditioneren voor dit ras waarschijnlijk te kort zijn om nog een acceptabel resultaat te kunnen bereiken.

***Effect reconditioneren na bewaren bij 6 °C***
Na bewaren bij 6°C waren de effecten van reconditioneren weer geringer en nog kortdurender in het bewaarseizoen als bij 5°C.
Bij Van Gogh en Saturna waren de effecten van reconditioneren namelijk te verwaarlozen en bij Bintje en Agria resulteerde reconditioneren alleen tot begin januari in een duidelijke verbetering van de bakkleur-index (0.75 - 1 punt verbetering).

***Effect reconditioneren na bewaren bij 8 °C***
Bij deze bewaartemperatuur kan alleen voor Agria en dan nog slechts tot eind december, een positieve reactie op reconditioneren (ca. 0.75 punt verbetering) worden afgeleid.
Voor het overige kunnen de effecten van reconditioneren bij deze bewaartemperatuur als marginaal worden aangemerkt en aan het eind van het bewaarseizoen soms tenderend naar licht negatief.

## 2.4 VOORLOPIGE CONCLUSIES

Na drie proef seizoenen (1991/1992, 1992/1993 en 1993/1994) kunnen de volgende voorlopige conclusies worden getrokken:

* Gedurende het bewaarseizoen is het verloop van de bakkleur in sterke mate te beïnvloeden door het temperatuurbeleid. De mate van invloed verschilt van jaar tot jaar. Er is dus sprake van een jaar-invloed die zich het sterkst manifesteert bij lagere bewaartemperaturen;

* Een snelle afbouw van de temperatuur na de wondheelperiode tot een niveau ≤ 6°C resulteert voor meerdere rassen in onacceptabele bakkleur-indices vroeg in het bewaarseizoen. Dit effect is ras afhankelijk;

* Naarmate vroeger in het bewaarseizoen tot lagere temperaturen wordt afgekoeld en langer bij lagere temperaturen wordt bewaard kan bij Bintje via reconditioneren of een geleidelijke temperatuurverhoging geen acceptabele bakkleur meer worden bereikt. Bij Agria en met name Saturna, leidden deze handelingen vrijwel altijd wel tot een voldoende resultaat;

* Bij temperatuurniveaus van 4 en 6°C resulteren glijdende temperatuurverlopen in betere bakkleur-indices in voorjaar en zomer dan overeenkomstige constante bewaartemperaturen. Voor een temperatuurniveau van 8°C komen de resultaten van een glijdend verloop en constant 8°C vrij goed met elkaar overeen. Dit betekent dat wanneer door gebrek aan koeling 8°C niet te handhaven is glijdende regimes een goed alternatief vormen;

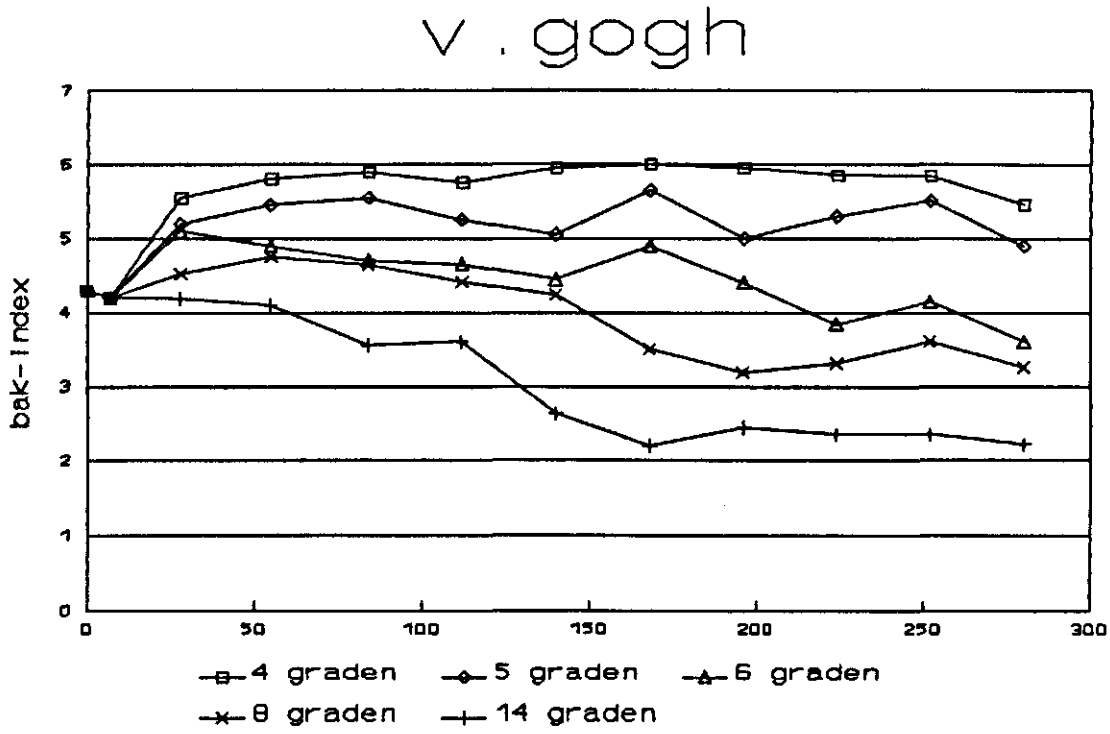
* Bij glijdende temperatuurverlopen (regimes) komen tot dusverre de resultaten qua bakkleur, spruiting en gewichtsverliezen van een geleidelijke verhoging 10 t.o.v. 14°C en van 12 t.o.v. 14°C goed met elkaar overeen. Dit is gunstig omdat voor langdurige bewaring met buitenluchtkoeling een geleidelijke verhoging naar 14°C in de voorzomer de realiteit meer benadert dan naar 10°C;

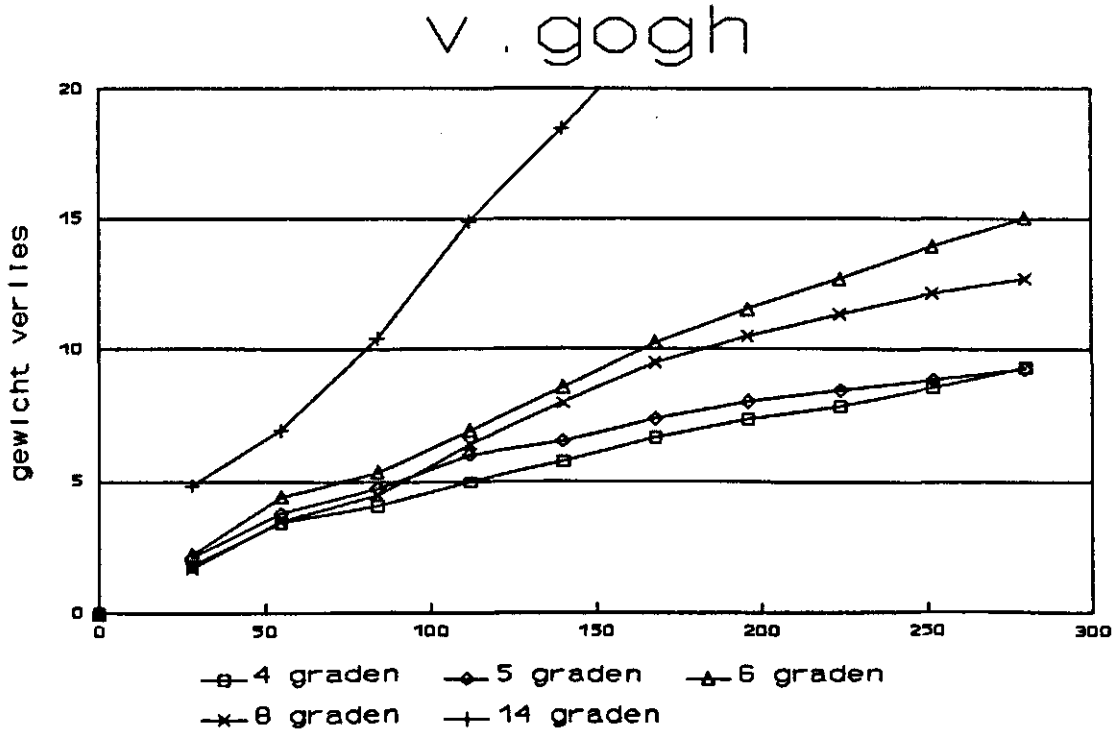
* Voor korter durende opslag (tot maart/april) worden, met het oog op een goede bakkwaliteit, met de bij het onderzoek betrokken rassen tot dusverre de beste resultaten geboekt met bewaren bij 8 à 10°C constant en/of na de wondheelperiode geleidelijk afkoelen naar deze temperaturen en daarop handhaven;

* Voor langdurige bewaring van oogst tot juni/juli komen met het oog op bakkleur, spruiting en gewichtsverliezen tot dusverre de volgende varianten als veelbelovend naar voren voor:

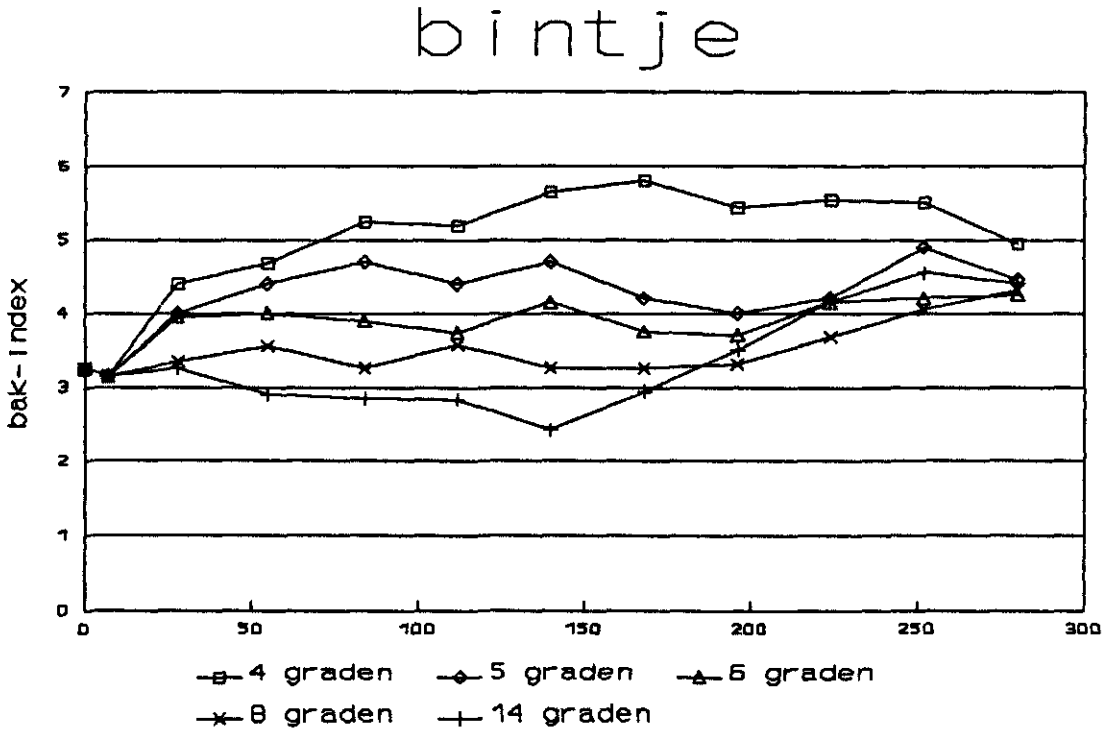
  - Saturna de glijdende regimes 14 → 6 → 14°C en 14 → 4 → 14°C;
  - Agria de glijdende regimes 14 → 8 → 14°C en 14 → 6 → 14°C;
  - Van Gogh een glijdend regime 14 → 8 → 14°C en ook 14 → 6 → 14°C biedt perspektief;
  - Bintje een glijdend regime 14 → 8 → 14°C tot ca. eind juni;

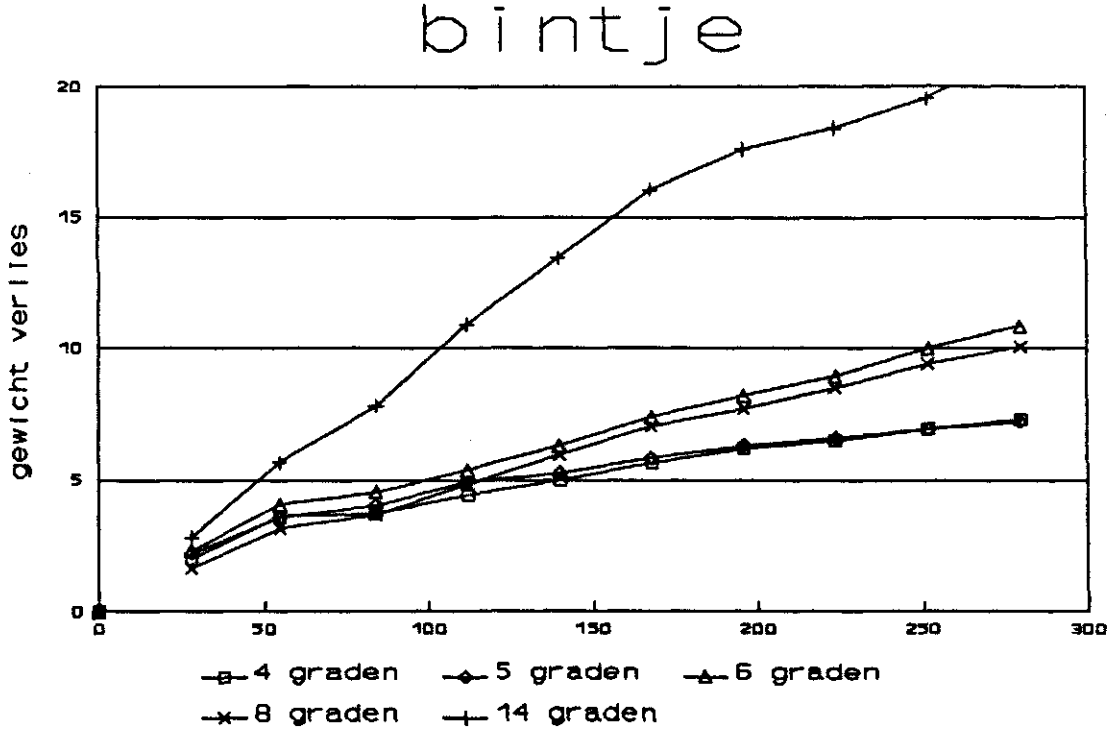
**Figuur 1**


V . gogh
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden
14 graden

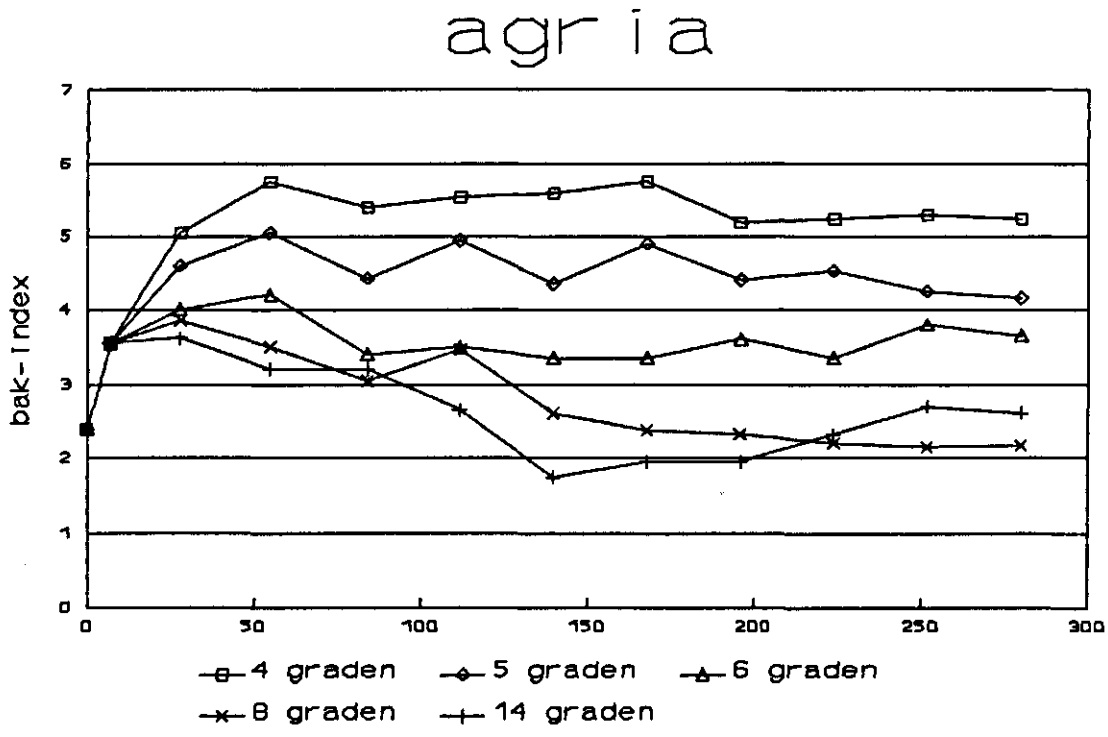

V . gogh
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden
14 graden

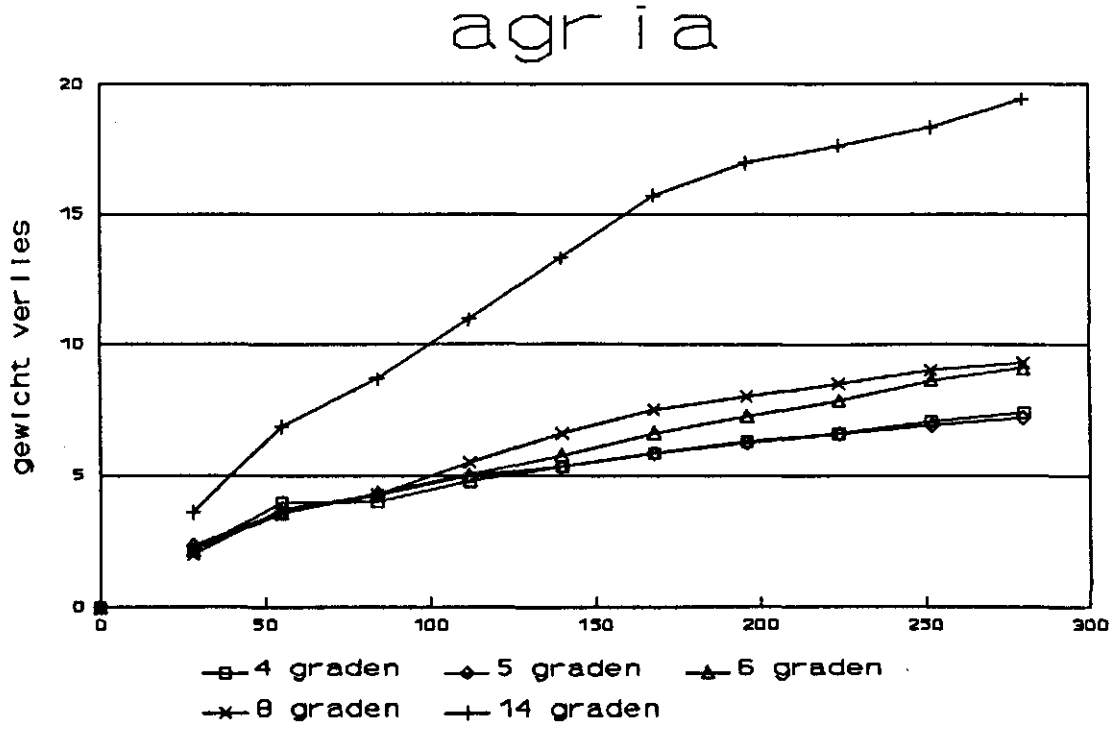
**Figuur 2**


bintje
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden
14 graden

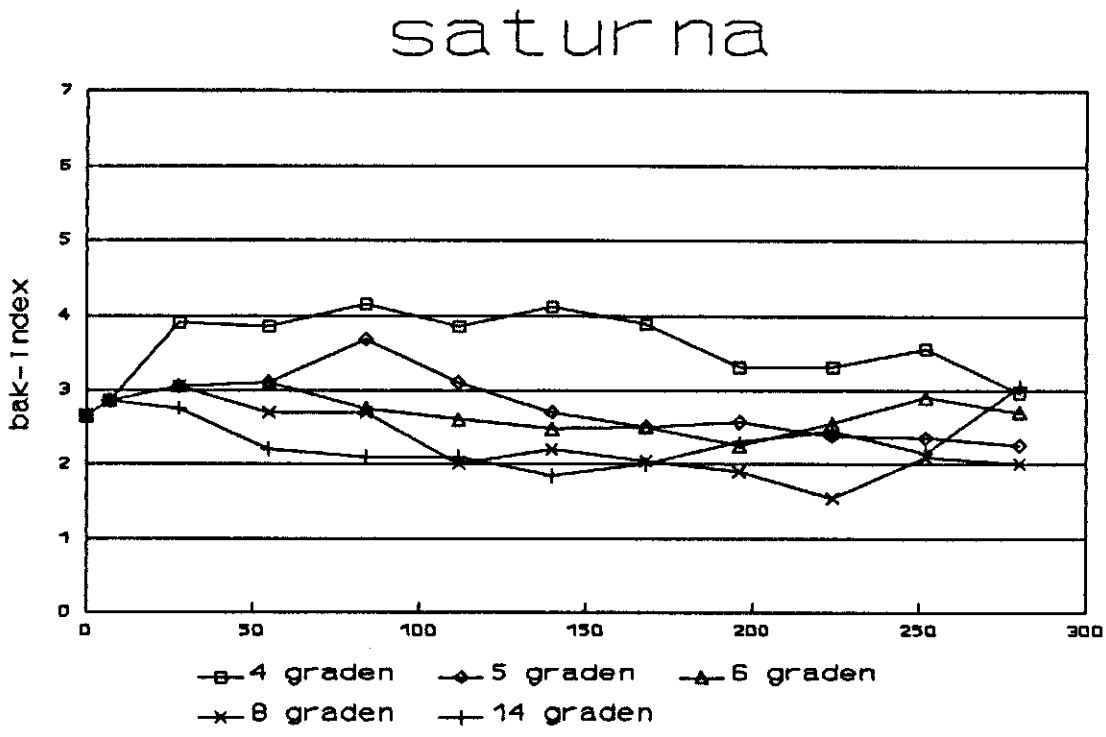

bintje
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden
14 graden

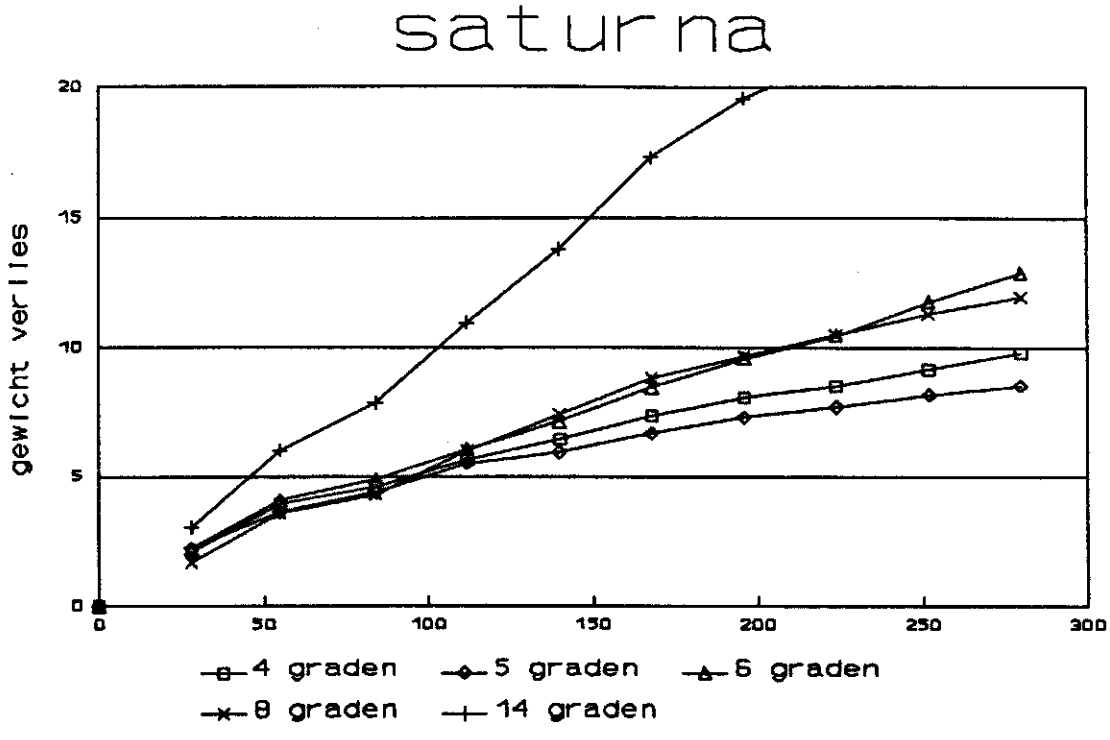
**Figuur 3**


agria
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden
14 graden

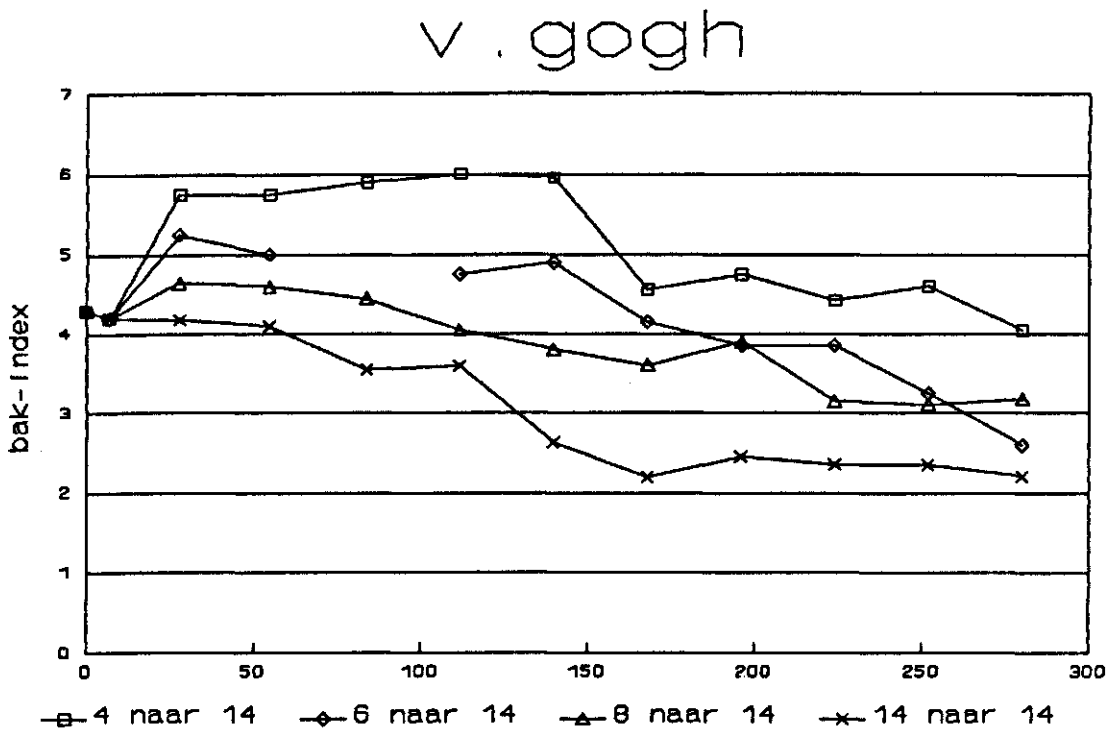

agria
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden
14 graden

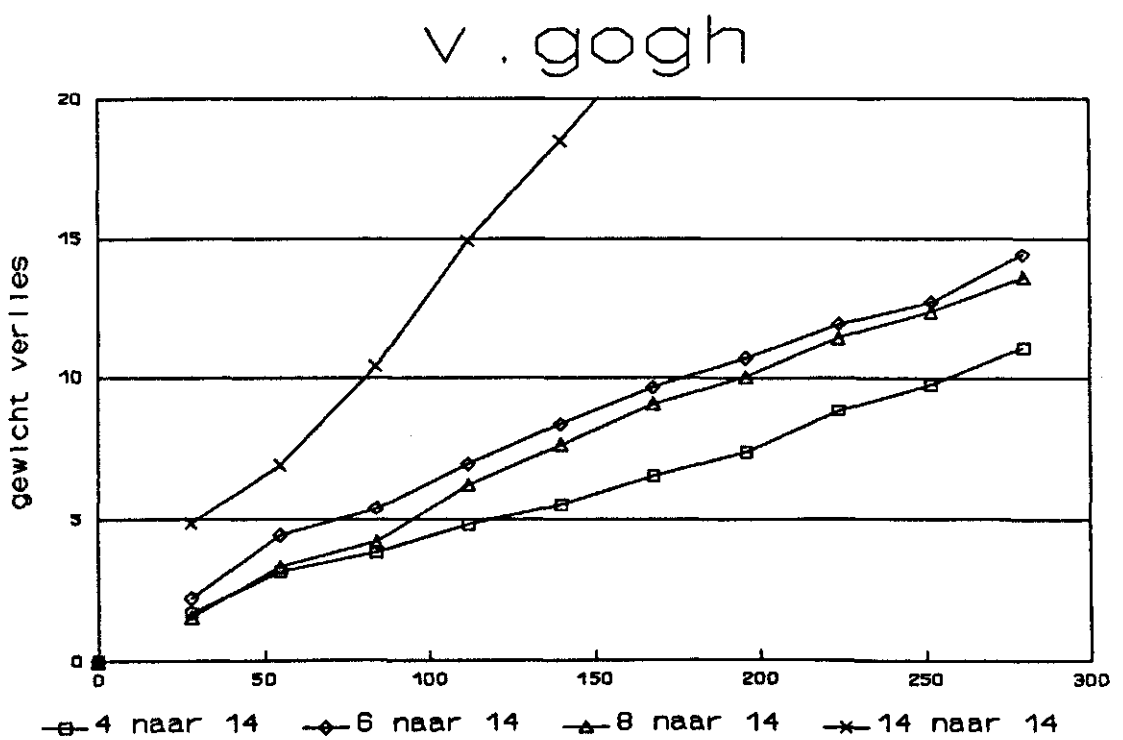
**Figuur 4**


saturna
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden
14 graden

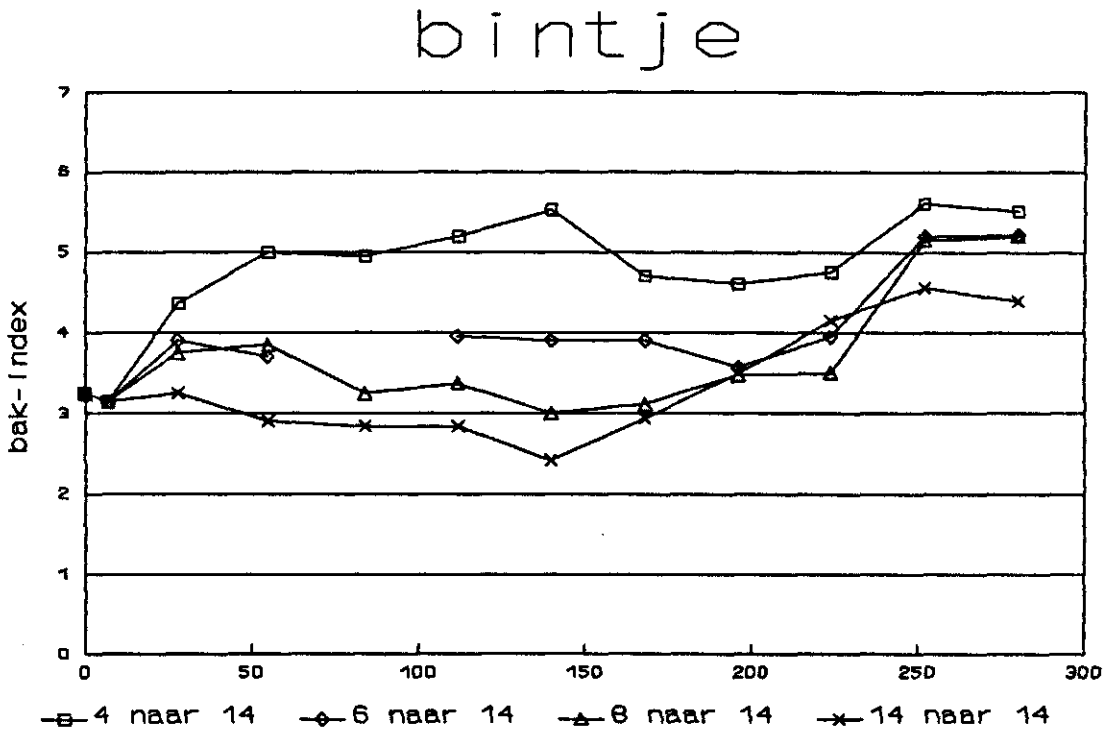

saturna
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden
14 graden

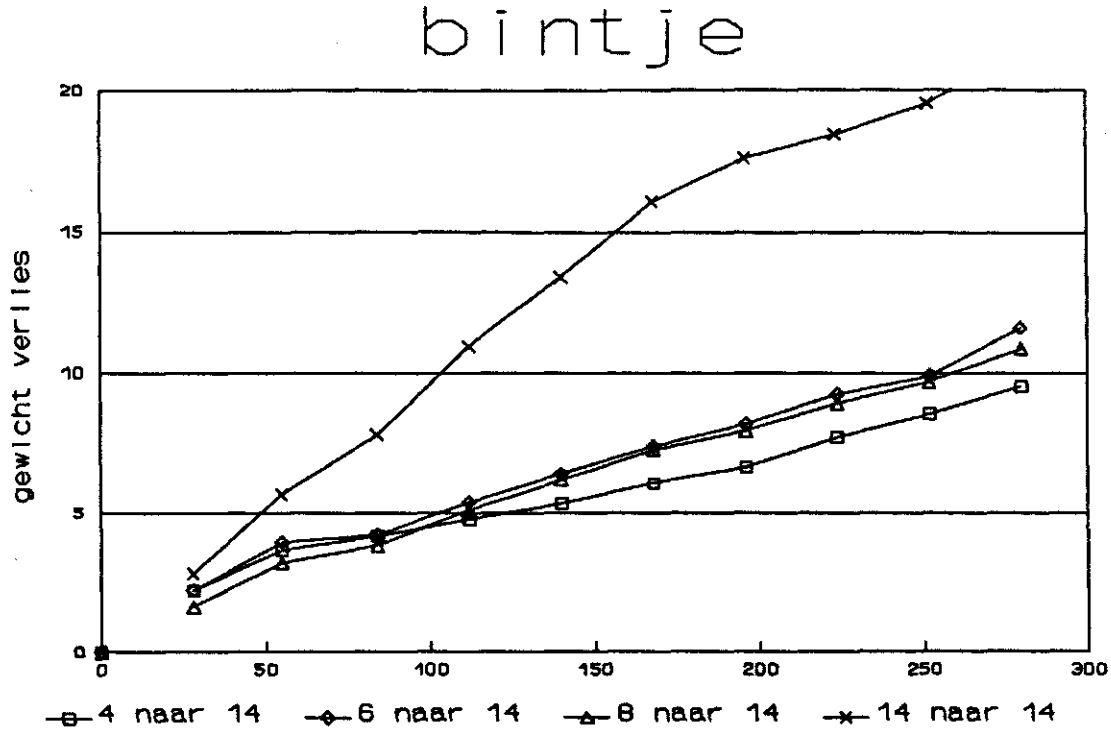
**Figuur 5**


V . gogh
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
4 naar 14
6 naar 14
8 naar 14
14 naar 14

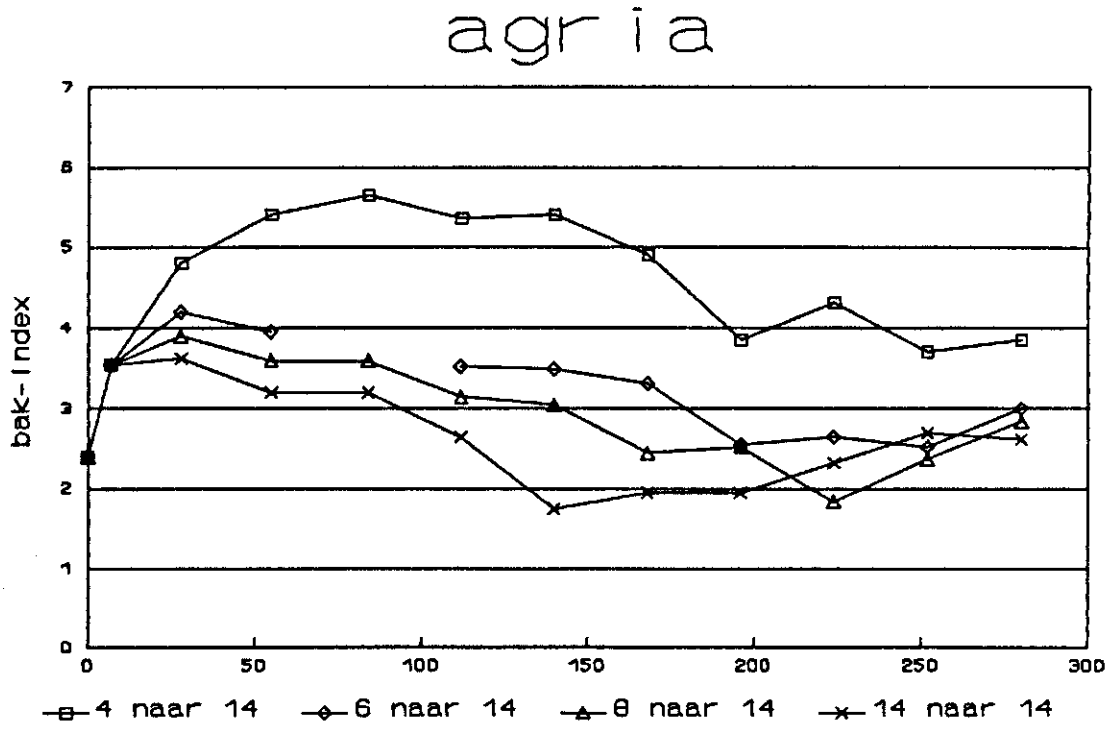

V . gogh
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
4 naar 14
6 naar 14
8 naar 14
14 naar 14

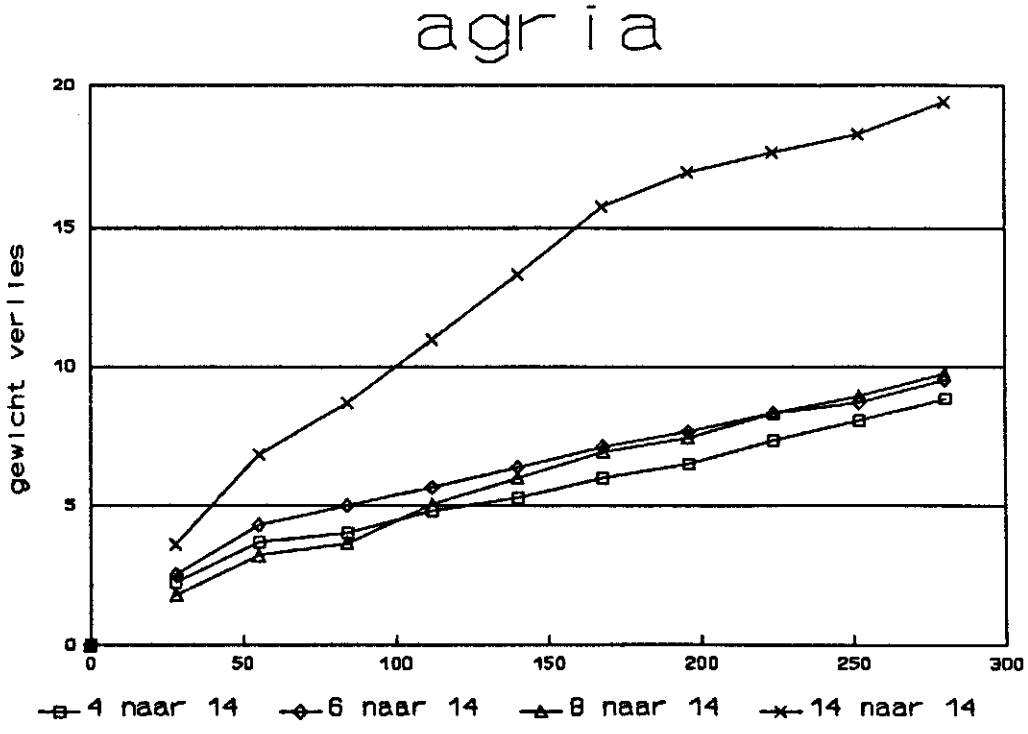
**Figuur 6**


bintje
bak-Index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
4 naar 14
6 naar 14
8 naar 14
14 naar 14

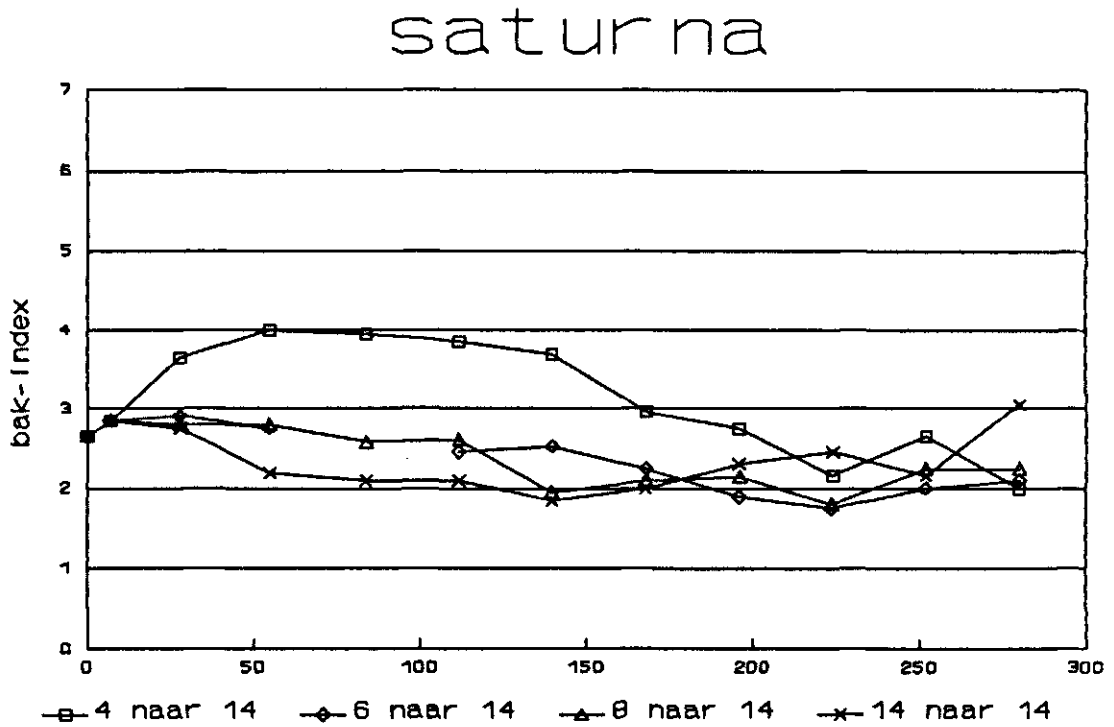

bintje
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
4 naar 14
6 naar 14
8 naar 14
14 naar 14

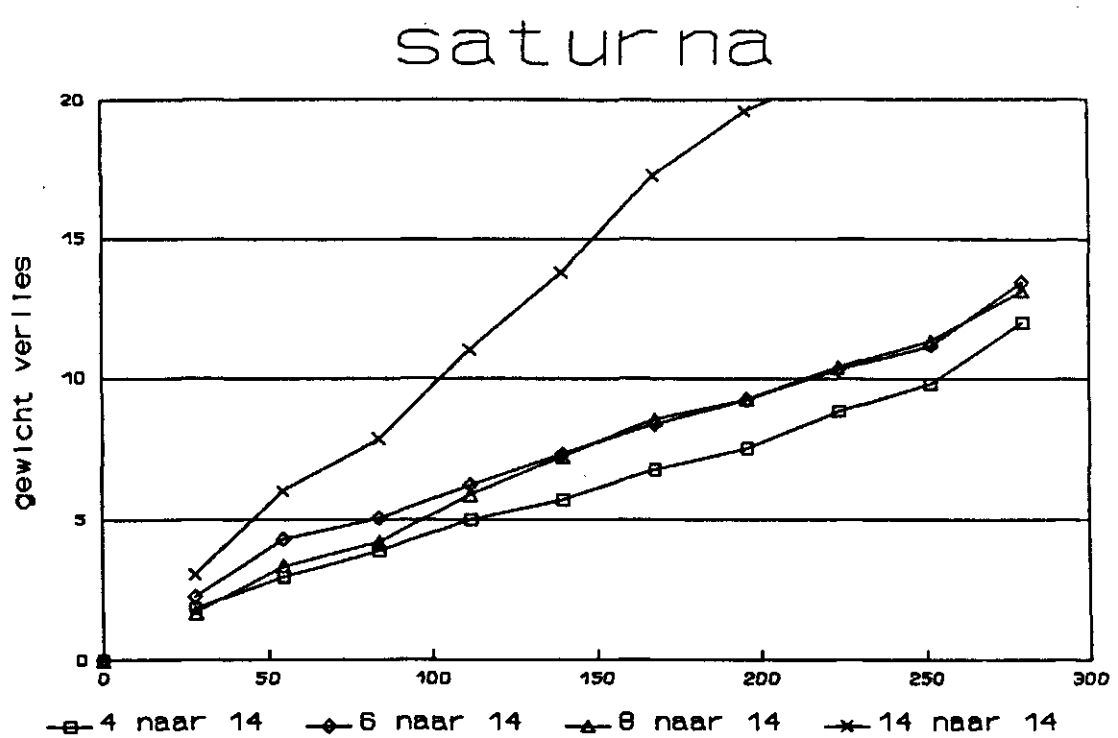
**Figuur 7**


agria
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
4 naar 14
6 naar 14
8 naar 14
14 naar 14

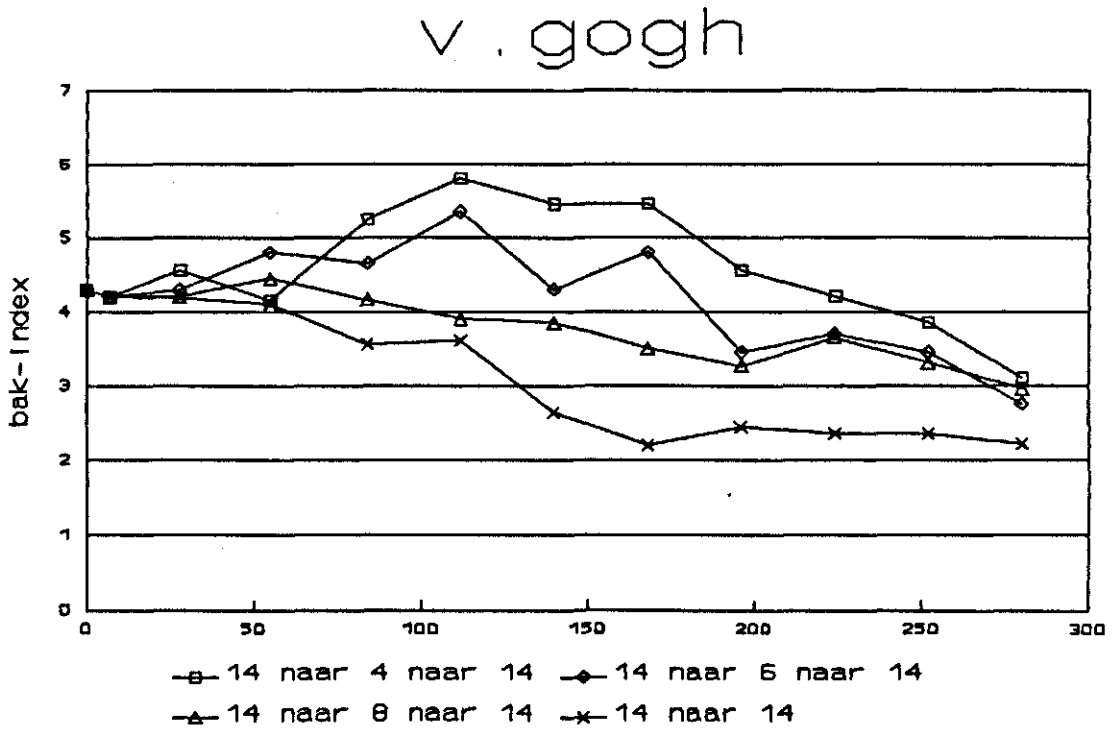

agria
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
4 naar 14
6 naar 14
8 naar 14
14 naar 14

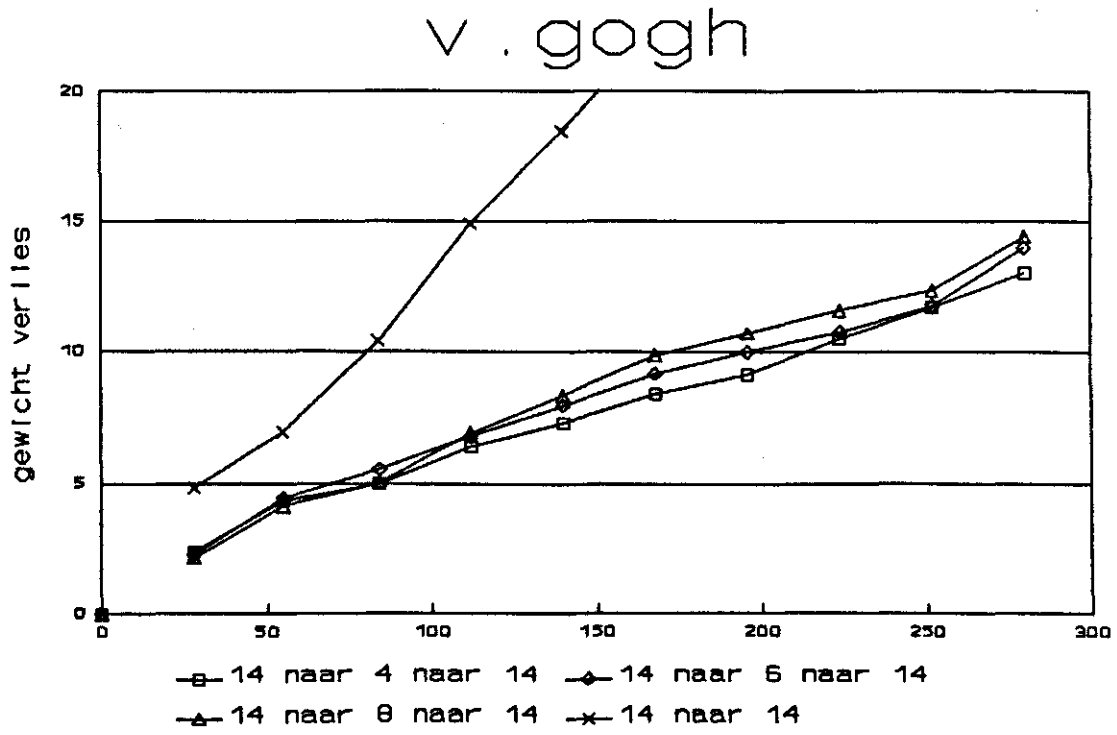
**Figuur 8**


saturna
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
4 naar 14
6 naar 14
8 naar 14
14 naar 14

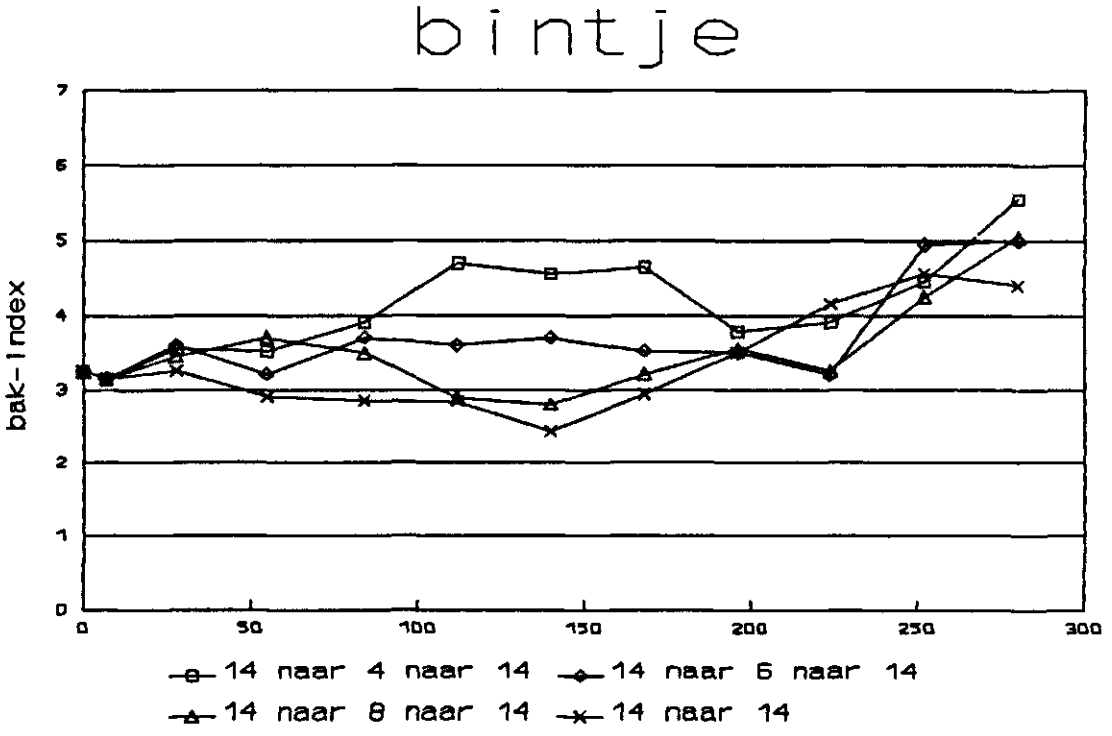

saturna
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
4 naar 14
6 naar 14
8 naar 14
14 naar 14

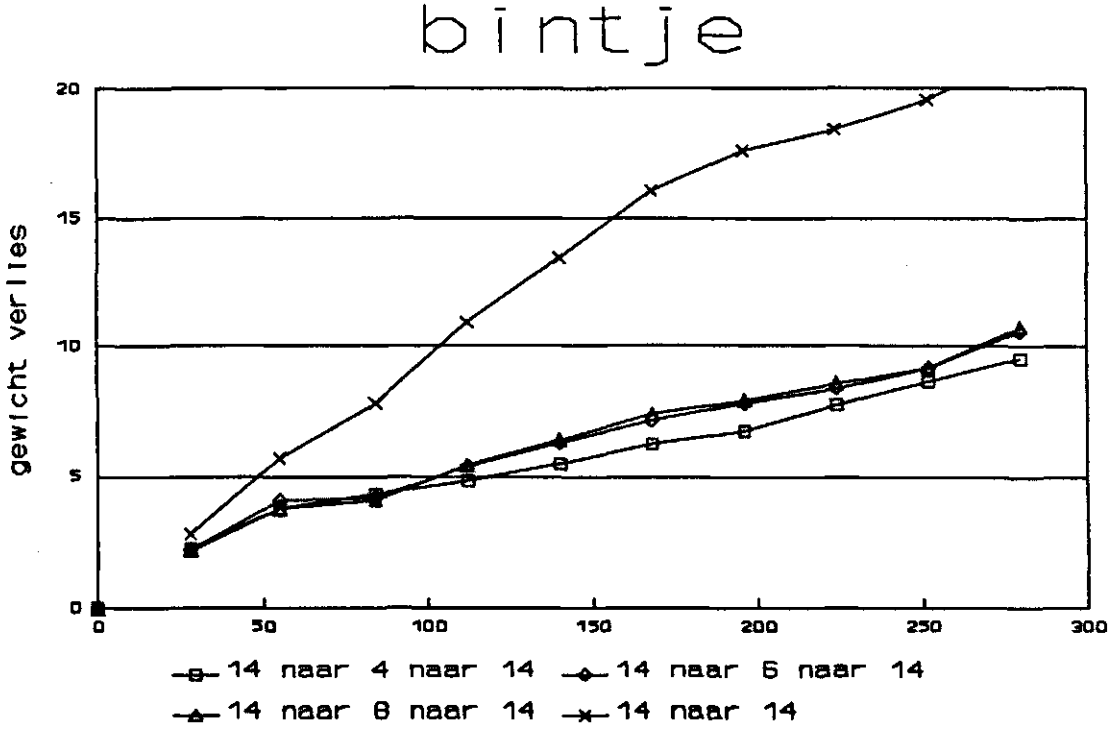
**Figuur 9**


V . gogh
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
14 naar 4 naar 14
14 naar 6 naar 14
14 naar 8 naar 14
14 naar 14

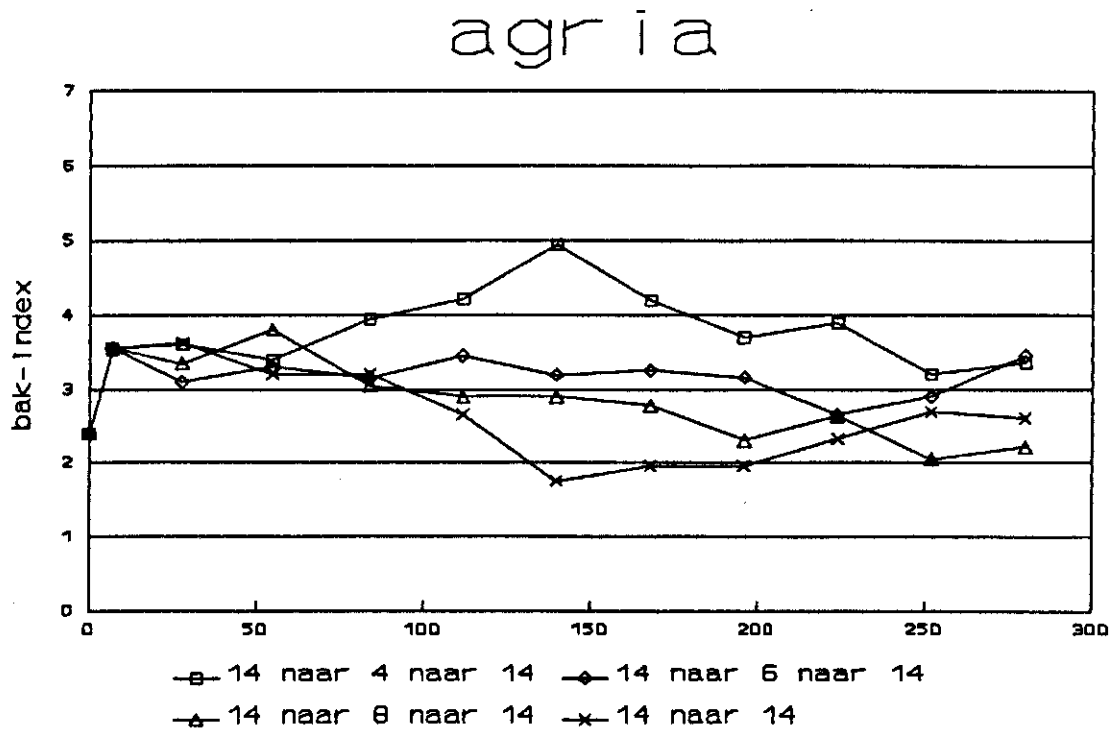

V . gogh
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
14 naar 4 naar 14
14 naar 6 naar 14
14 naar 8 naar 14
14 naar 14

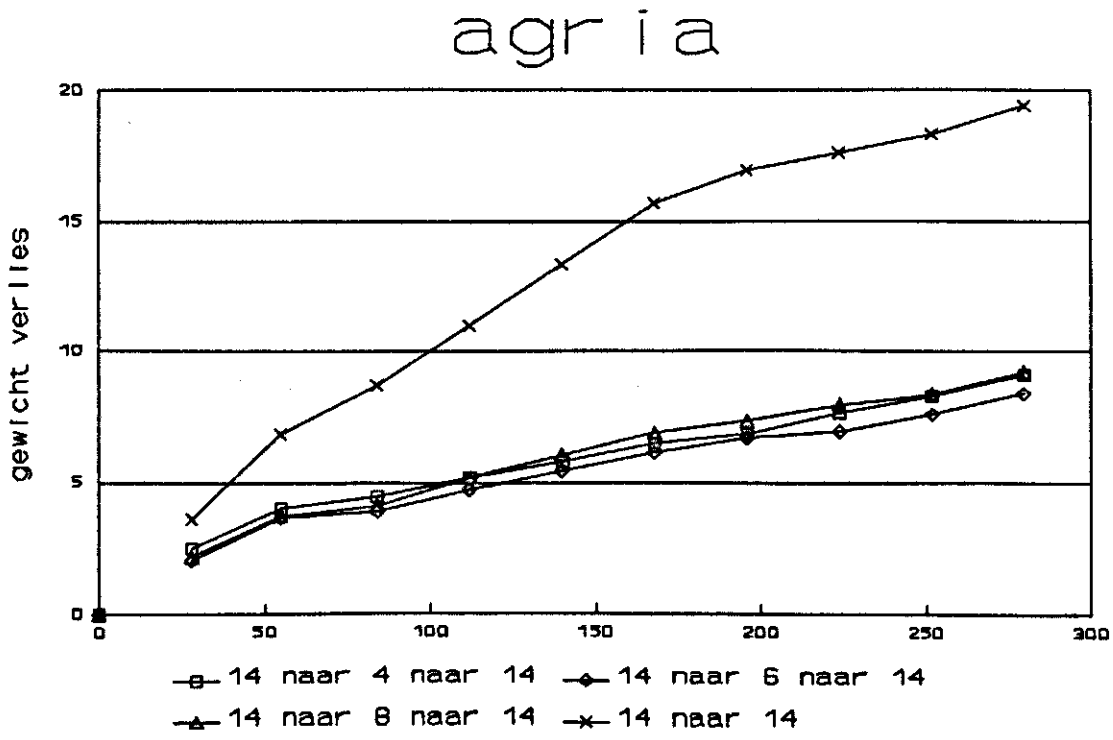
**Figuur 10**


bintje
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
14 naar 4 naar 14
14 naar 6 naar 14
14 naar 8 naar 14
14 naar 14

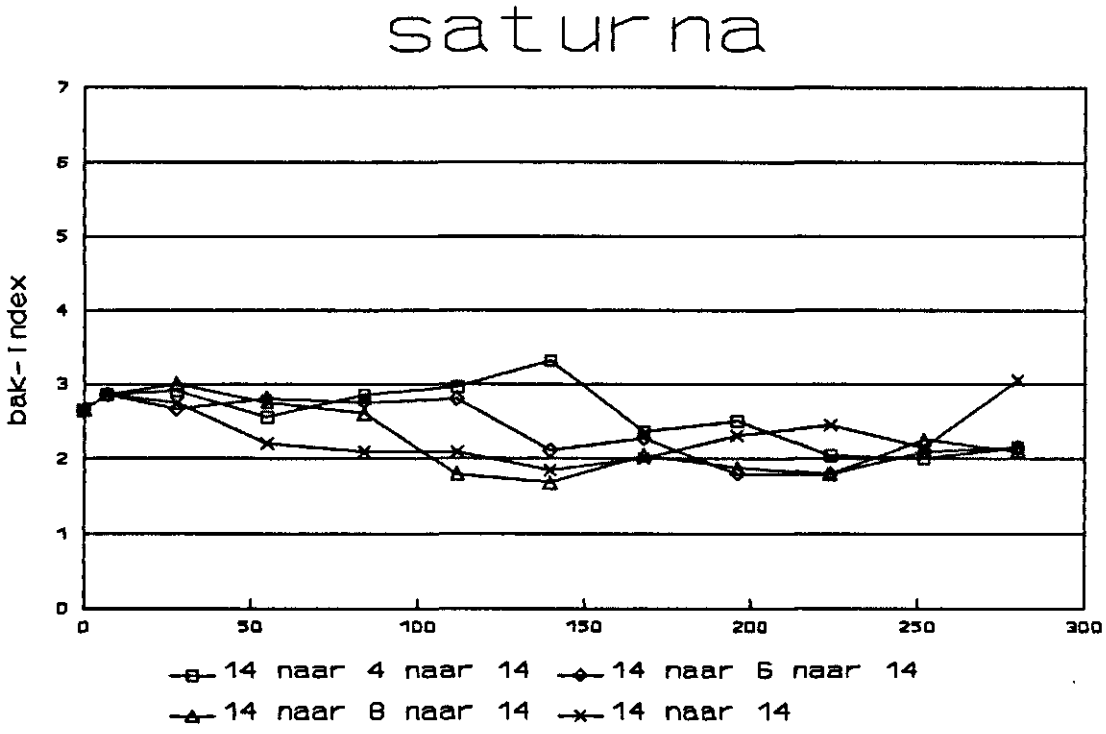

bintje
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
14 naar 4 naar 14
14 naar 6 naar 14
14 naar 8 naar 14
14 naar 14

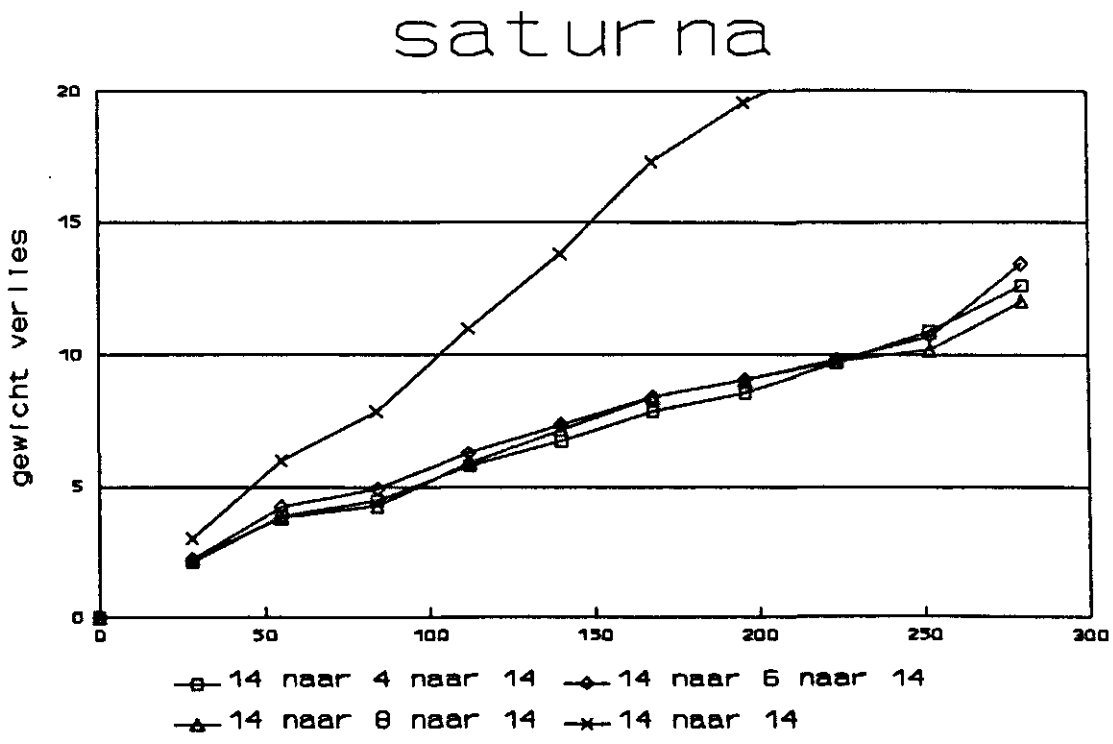
**Figuur 11**


agria
bak-index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
14 naar 4 naar 14
14 naar 6 naar 14
14 naar 8 naar 14
14 naar 14

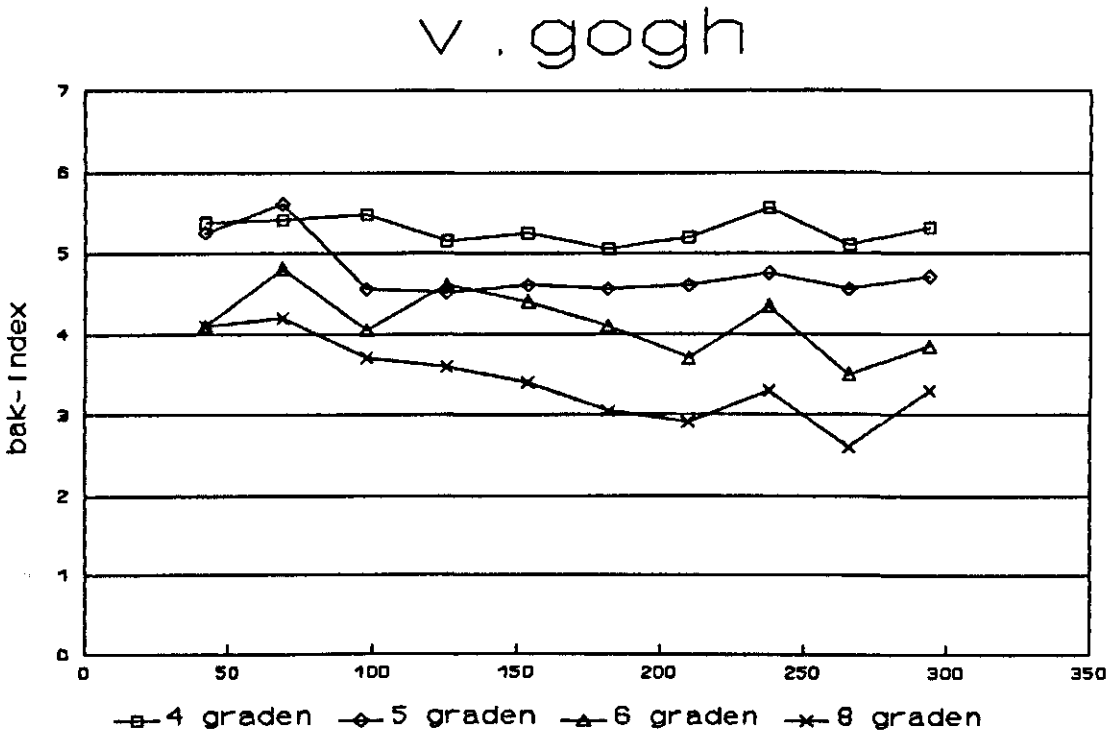

agria
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
14 naar 4 naar 14
14 naar 6 naar 14
14 naar 8 naar 14
14 naar 14

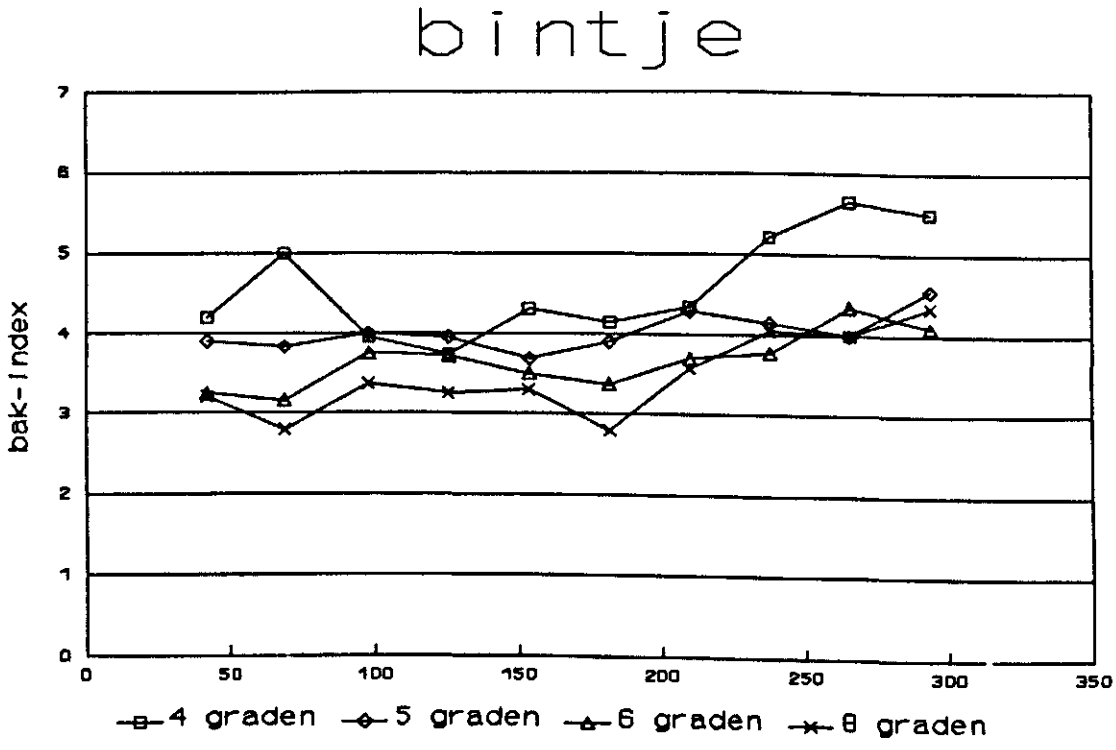
**Figuur 12**


saturna
bak-Index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
14 naar 4 naar 14
14 naar 6 naar 14
14 naar 8 naar 14
14 naar 14

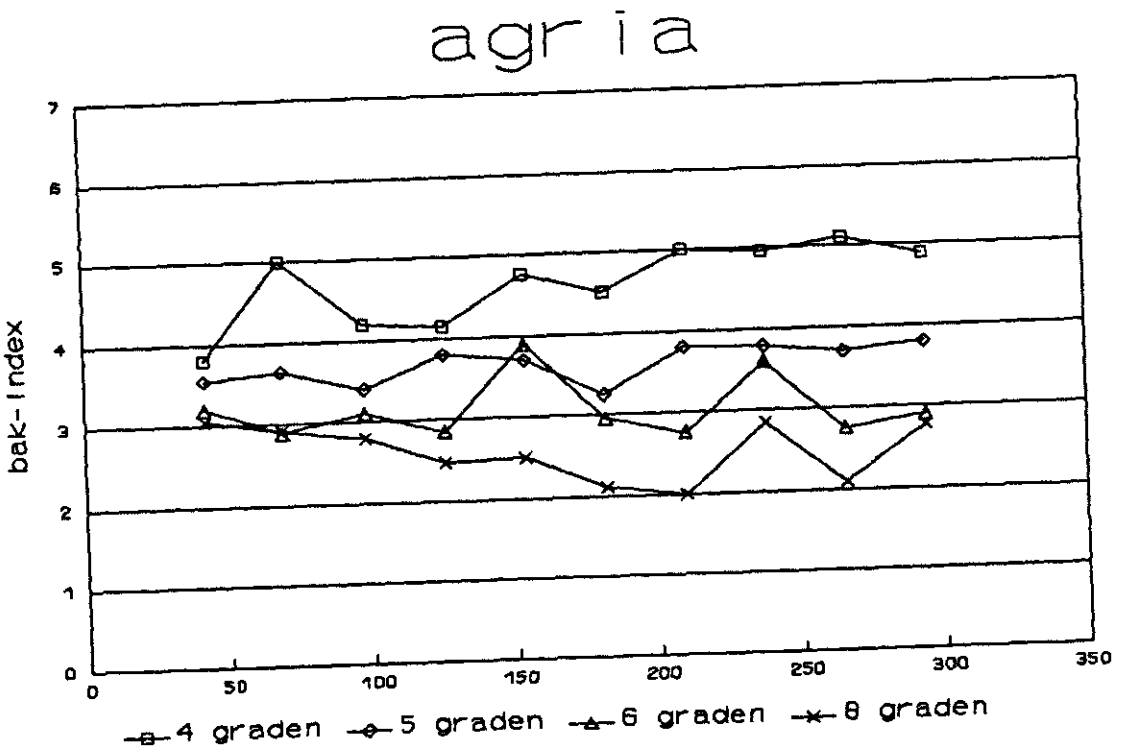

saturna
gewicht verlies
0
5
10
15
20
0
50
100
150
200
250
300
14 naar 4 naar 14
14 naar 6 naar 14
14 naar 8 naar 14
14 naar 14

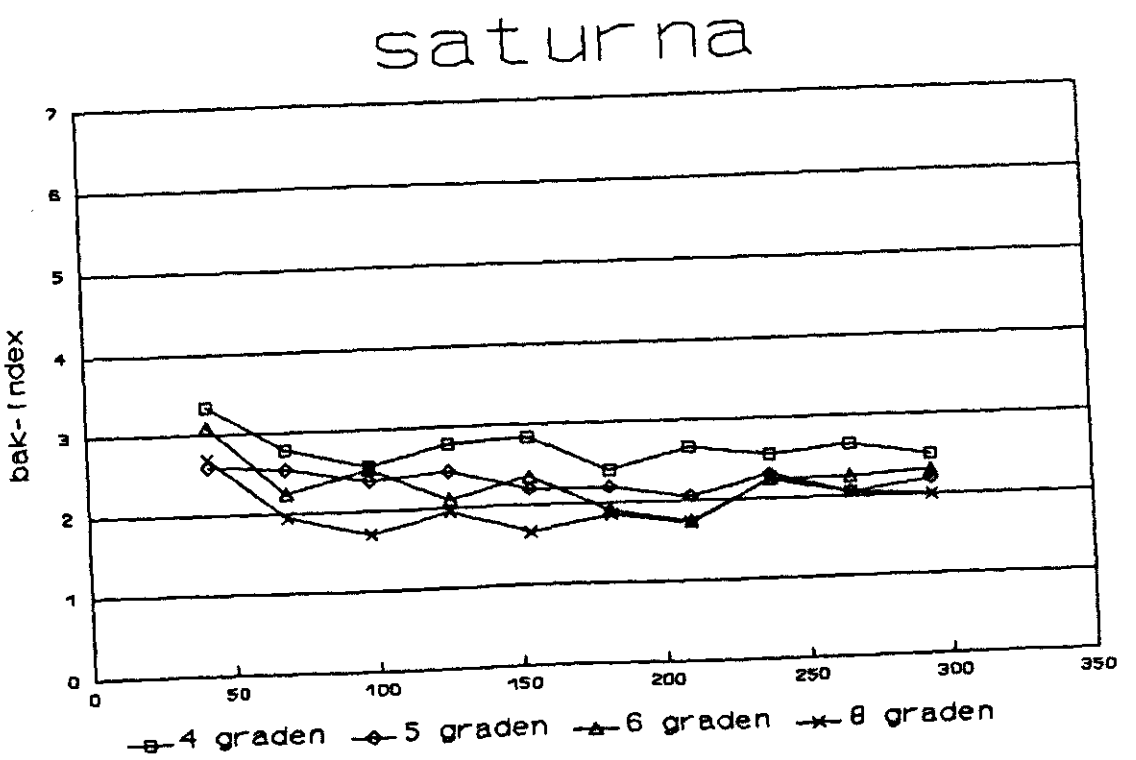
**Figuur 13**


v . gogh
bak-Index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
350
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden


bintje
bak-Index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
350
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden

**Figuur 14**


agria
bak-Index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
350
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden


saturna
bak-Index
0
1
2
3
4
5
6
7
0
50
100
150
200
250
300
350
4 graden
5 graden
6 graden
8 graden

# HOOFDSTUK 3

# FYSIOLOGISCHE VERANDERINGEN IN DE AARDAPPEL TIJDENS HET BEWAARPROCES EN INTRINSIEK PARAMETERS TEN BEHOEVE VAN KWALITEITSBEWAKING
**(Deelprojekt 3).**

## 3.1 INLEIDING

In de loop van de eerste twee onderzoeksjaren (1991-1992 en 1992-1993) is de nadruk in dit deelprojekt geheel komen te liggen op het verloop van de verzoeting tijdens bewaring in het algemeen, en het tijdig aan zien komen van ouderdomsverzoeting in het bijzonder. De reden hiervoor is dat verzoeting van aardappelen (als grondstof voor de frites- en chips-industrie) de verwerkingskwaliteit sterk negatief beïnvloedt en daarmee een onverwachtte aanslag kan plegen op het geïnvesteerde vermogen van de bewaarder.
In verband met het onvoorspelbare en nog deels onbegrepen karakter van ouderdomsverzoeting gaat hier de meeste aandacht naar uit.

De gegevens uit de twee eerste bewaarseizoenen geven een redelijk compleet beeld van het verloop van **koudeverzoeting** en het effect van **reconditioneren** hierbij. Naarmate de bewaartemperaturen lager zijn geweest (en er zich meer koude suikers hebben opgehoopt) is het absolute effect van reconditioneren groter. Naarmate men later in de bewaring komt neemt het reconditioeereffect weer af. Wat met name opvalt in deze periode, zijn de sterk negatieve effecten van reconditioneren op het sucrose-gehalte.
Bij vergelijking van de gegevens van Saturna en Bintje wordt duidelijk wat wordt verstaan onder **raseffecten**. Het patroon van suikeraccumulatie (inclusief het optreden van ouderdomsverzoeting) is overeenkomstig, maar de uiteindelijke niveaus aan reducerende suikers liggen voor Saturna duidelijk lager.
Uit de gegevens van de twee opeenvolgende jaren voor Bintje spreken duidelijk de **jaarinvloeden**. In vergelijking tot het eerste jaar is Bintje het tweede jaar koudegevoeliger geweest en heeft het een duidelijkere ouderdomsverzoeting vertoond. Dergelijke verschillen zijn mogelijk toe te schrijven aan verschillen in groeiseizoen of oogsttijdstip.
De aanvang en intensiteit van **ouderdomsverzoeting** is tijdens bewaarseizoen 1992-1993 afhankelijk van de bewaartemperatuur. De ouderdomsverzoeting weerspiegelt zich het eerst in een sucrose-accumulatie. Een terugkerend verschijnsel hierbij is dat er zich een verschil in sucroseconcentratie ontwikkeld tussen basis (=stolonzijde) en apex (=kiemzijde). Er ontstaat een zogenaamde **sucrosepolariteit**.
Gezien het onvoorspelbare karakter van ouderdomsverzoeting is het voor het onderzoek van belang te beschikken over een methode om veroudering te kunnen induceren. Bewaren bij een relatief hoge temperatuur van 14°C is één optie. Nog hogere bewaartemperaturen geven teveel problemen door de oplopende kiemdruk. Een ander optie is vermoedelijk het introduceren van temperatuurschommelingen.

Op grond van de verzamelde meetgegevens is het mogelijk een **wiskundig beschrijvend model** op te stellen. Dit betreft geen willekeurig statistisch model, maar een dynamisch model gebasseerd op fysiologische processen zoals die zich in de aardappel afspelen. Uitgaande van een karakterisering van de grondstof en gegevens over het bewaarbeleid wordt het hiermee mogelijk de te verwachten suikerophoping in het produkt door te rekenen.

## 3.2 PROEFOPZET 1993-1994

Naar aanleiding van de gegevens van deze eerste twee bewaarseizoenen is er een programma opgesteld voor 1993-1994. Tijdens dit bewaarseizoen ligt de nadruk bij:

- Sucrose als indicator voor ouderdomsverzoeting
- Sucrose polariteit als indicator voor ouderdomsverzoeting
- Modelontwikkeling voor beschrijving van verzoeting tijdens bewaring

Tijdens het bewaarseizoen is een aantal experimenten uitgevoerd:

**Schaalproef**

Aardappelen van de rassen Agria, Bintje, Van Gogh en Saturna zijn na rooien op 27/10/93 bewaard tot 12/08/94, een bewaarduur van bijna 300 dagen. Er zijn constante bewaartemperaturen gehanteerd van:

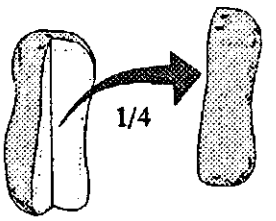
| | |
|---|---|
| 2°C | 6°C |
| 4°C | 8°C |
| 5°C | 14°C |

De temperatuur van 2°C is minder frequent bemonsterd.
Verder is gekeken naar de volgende geleidelijk temperatuurregimes:

| | |
|---|---|
| 4 < 14°C | 14 > 4 < 14°C |
| 4 < 12°C | 14 > 4 < 12°C |
| 6 < 14°C | 14 > 6 < 14°C |
| 6 < 12°C | 14 > 6 < 12°C |
| 8 < 14°C | 14 > 8 < 14°C |
| 8 < 12°C | 14 > 8 < 12°C |

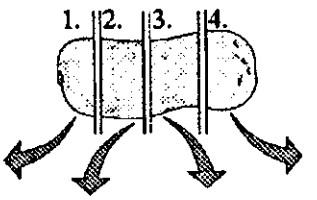
Alle temperatuursveranderingen verliepen met een snelheid van ± 1°C per week. De kieming werd onderdrukt met behulp van Carvon.

Reconditioneren is alleen bij de constante temperaturen van 4°C, 5°C, 6°C en 8°C gedaan, door de knollen gedurende twee weken bij een temperatuur van 18°C te brengen.
Vierwekelijks zijn de concentraties glucose, fructose en sucrose bepaald. De suikerbepalingen zijn uitgevoerd aan kwartstukken van dezelfde 20 knollen als waaraan de bakkleuren zijn bepaald.




**Stootproef**

Om een indruk te krijgen van het effect van een instabiel temperatuursbeleid tijdens de verschillende fasen van de bewaring in relatie tot veroudering wordt in dit experiment de reactie getoetst van aardappelen op koude en warmte stoten in de loop van de bewaring.
Uit een partij Bintje en Saturna die bij constant 8°C wordt bewaard worden maandelijks monsters gebracht bij 4°C en 18°C. Deze worden hier gedurende een maand gevolgd. Hierbij worden de suikers gemeten in de verschillende delen van de knol van basis(=stolonzijde(1)) tot Apex(=kiemzijde(4)).




**Schommelproef**

In dit experiment wordt gekeken naar het effect van herhaalde temperatuurschommelingen over het seizoen op een partij Bintje

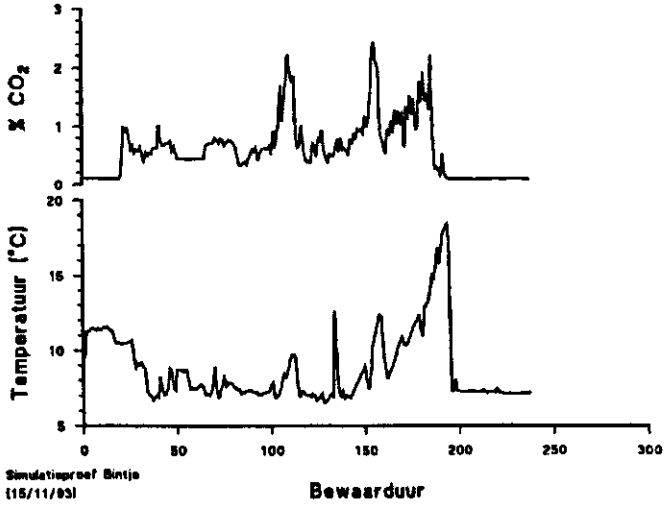
en Saturna aardappelen. Hierbij worden aardappelen die worden bewaard bij 8°C, tijdens de eerste deel van de bewaring blootgesteld aan drie koudestoten (drie keer één week bij 4°C) en tijdens het laatste deel van de bewaring aan drie warmtestoten (drie keer één week bij 12°C). Hierbij wordt de verdeling van suikers door de knol gevolgd zoals bij de stootproef.

**Simulatieproef**

Uit de praktijkproeven bleek dat de afgelopen jaren op een enkel probleembedrijf sprake was van sterk fluctuerende bewaartemperaturen en verhoogde $CO_2$ concentraties. De verwerkingskwaliteit van de bewaarde aardappelen bleef in vergelijking met de andere praktijkbedrijven achter. Om te zien in hoeverre het een en ander is toe te schrijven aan temperatuur of $CO_2$ effecten of combinaties hiervan is deze simulatieproef opgezet. Hierbij is de temperatuur en de $CO_2$-conditie gesimuleerd aan de hand van de gegevens zoals die op een probleembedrijf zijn gemeten (zie onderstaande figuur). De volgende condities zijn aangelegd.

| | $CO_2$ = constant | $CO_2$ = gesimuleerd |
|---|---|---|
| Temperatuur = 8°C | SIM_00 | SIM_01 |
| Temperatuur = gesimuleerd | SIM_10 | SIM_11 |

Om de verschillende $CO_2$ concentraties aan te kunnen leggen en te handhaven is in afgesloten containers gewerkt. Hierdoor zijn er echter wel beperkingen aan het aantal monsters in de loop van het bewaarseizoen.




Weergave van het temperatuur- en $CO_2$-beleid zoals die bij de simulatieproef is gerealiseerd

## 3.3 RESULTATEN

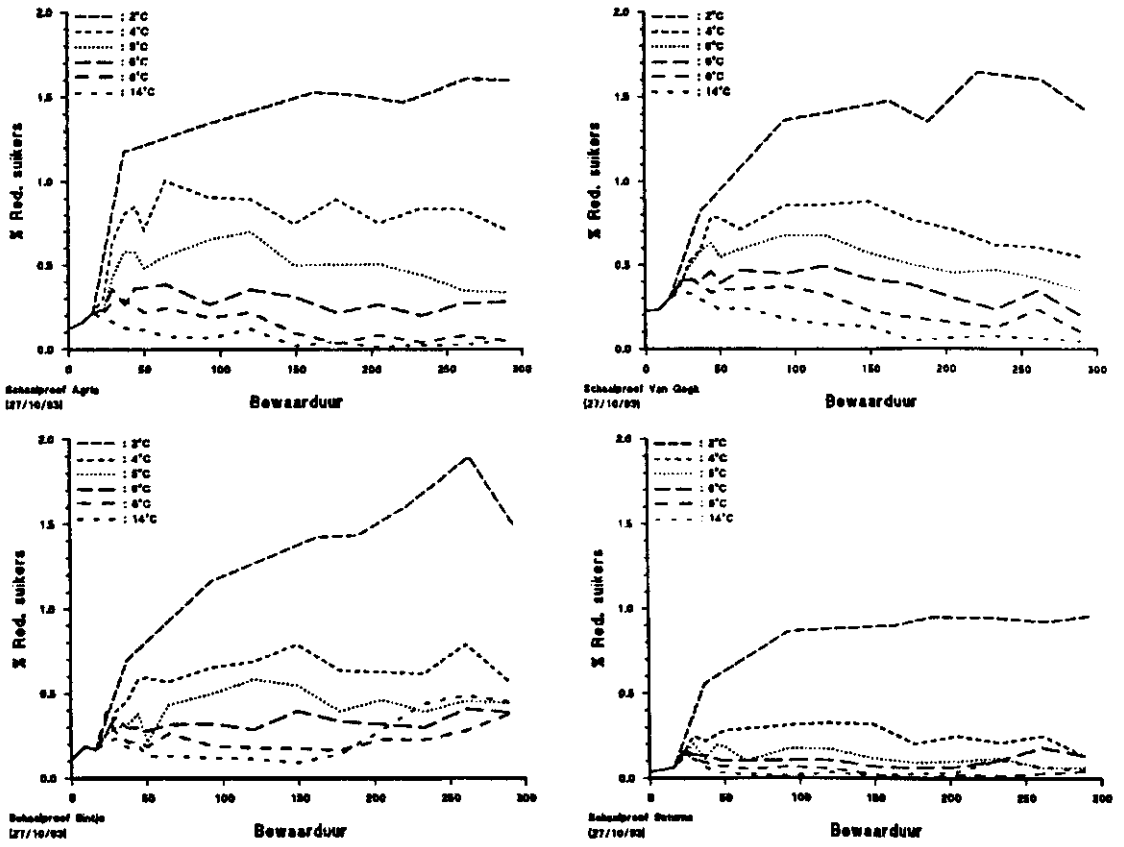
### 3.3.1 Schaalproef

In de figuren 1 t/m 12 worden de resultaten van de schaalproef weergegeven. De suikerconcentraties zijn in alle figuren uitgedrukt als percentage (gram per 100 gram versgewicht). De figuren 1 en 2 betreffen suikeraccumulatie bij constante bewaartemperaturen, terwijl de figuren 3 t/m 6 het effect van reconditioneren beschrijven. De figuren 7 t/m 12 gaan over de geleidelijke temperatuurregimes. Achtereenvolgens wordt het percentage reducerende suikers (= glucose + fructose) en het percentage sucrose weergegeven. De grafieken van de verschillende rassen staan steeds in dezelfde volgorde:

| Agria | Van Gogh |
|---|---|
| Bintje | Saturna |

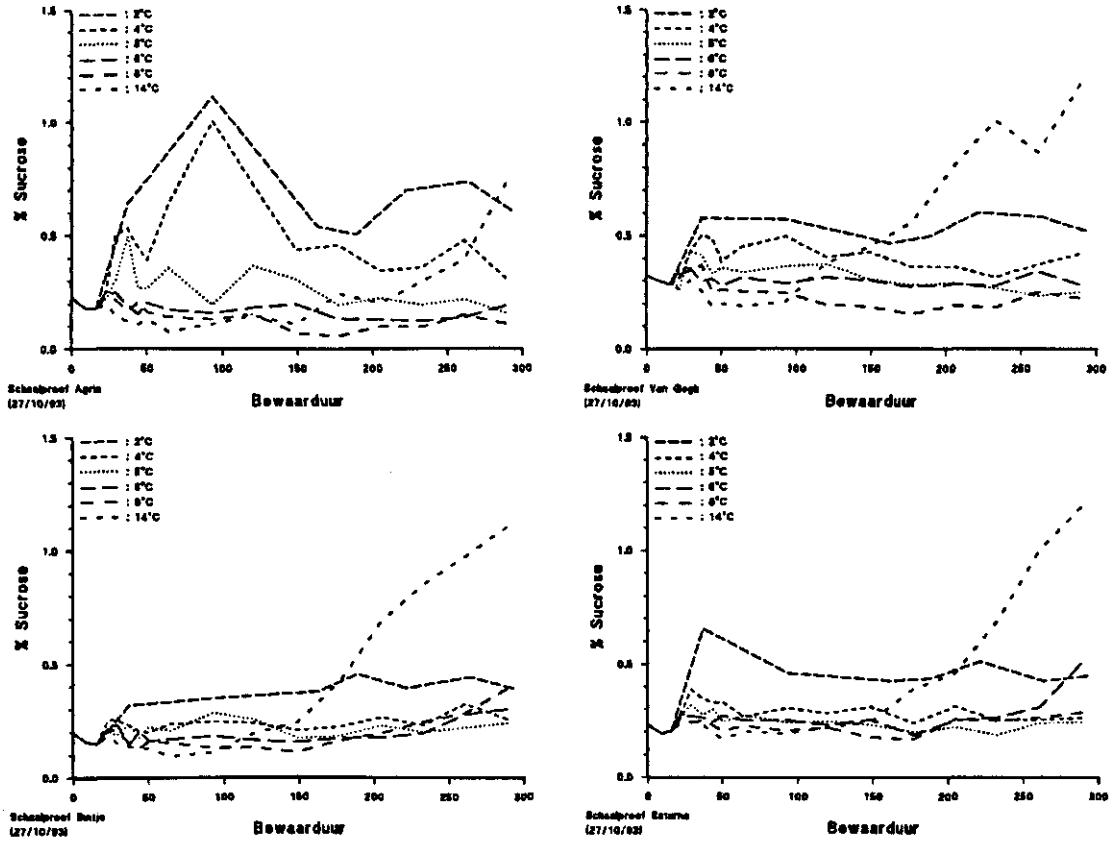
**Constante bewaartemperaturen**

In figuur 1 wordt de accumulatie van reducerende suikers weergegeven bij constante bewaartemperaturen. Ondanks grote verschillen treedt er voor alle rassen een duidelijk koudeverzoeting op. Hierbij is Saturna het minst koudegevoelig. Zelf bij een bewaartemperatuur van 4°C accumuleert Saturna niet meer dan ±0.3 % reducerende suikers. De ander rassen moeten hiervoor naar een temperatuur van 8°C of 14°C worden gebracht. Frapant is dat Van Gogh en in mindere mate Agria na een aanvankelijke accumulatie gedurende de eerste honderd dagen, weer een dalende trend inzetten die doorloopt tot het einde van het




**Figuur 1:** Accumulatie van reducerende suikers (% = g/100 g vers) tijdens bewaarseizoen 1993-1994 voor de rassen Agria, Bintje, Van Gogh en Saturna bij temperaturen van 2°C tot 14°C. Dag 0 komt overeen met 27 oktober 1993.

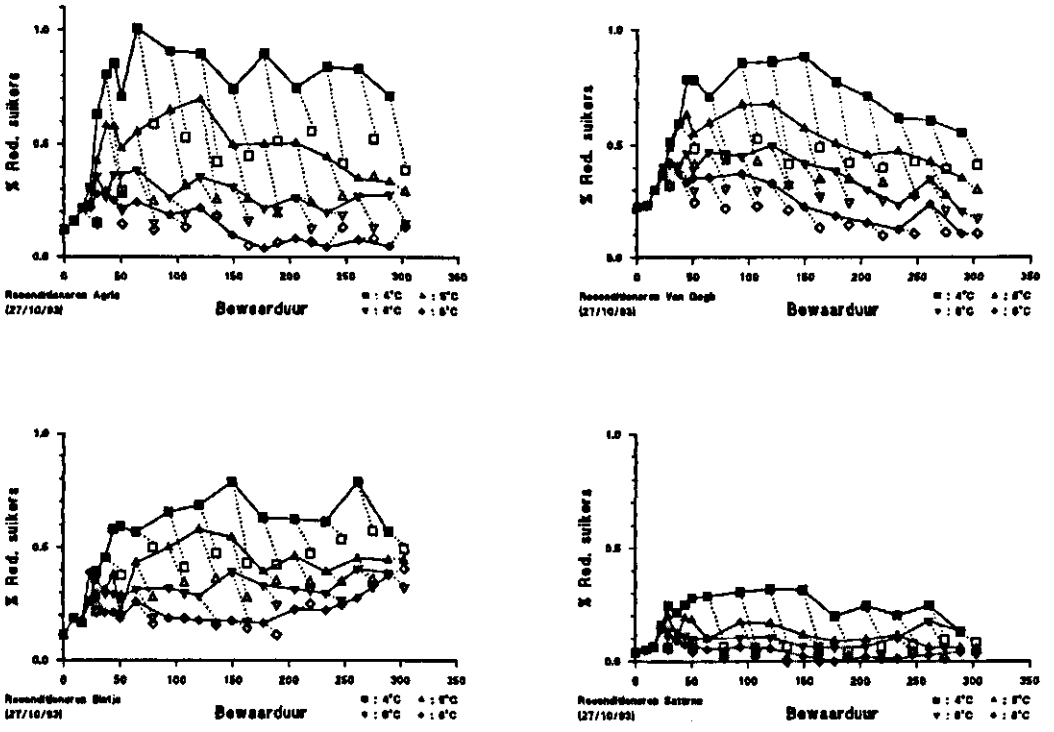
seizoen. Ouderdomsverzoeting op het niveau van reducerende suikers treedt dit seizoen alleen duidelijk op bij Bintje bewaard bij 14°C of 8°C. Bij bewaring bij 14°C begint ouderdomsverzoeting al na 150 dagen op te zetten. Aardappelen bewaard bij 8°C volgen vanaf ± 200 dagen.
Wanneer we kijken naar de sucrose accumulatie (figuur 2) valt voor alle rassen direct de sterke stijging op tijdens de tweede helft van bewaring bij 14°C. Voor Bintje zien we deze stijging in mindere mate ook terug bij 8°C. Deze sucrosestijgingen hebben zich echter alleen maar bij Bintje vertaald in een daadwerkelijke accumulatie van reducerende suikers. De sucrose- en glucosestijging bij Saturna na bewaring bij 6°C is vermoedelijk het gevolg van een tijdelijk weggevallen kiemremming.



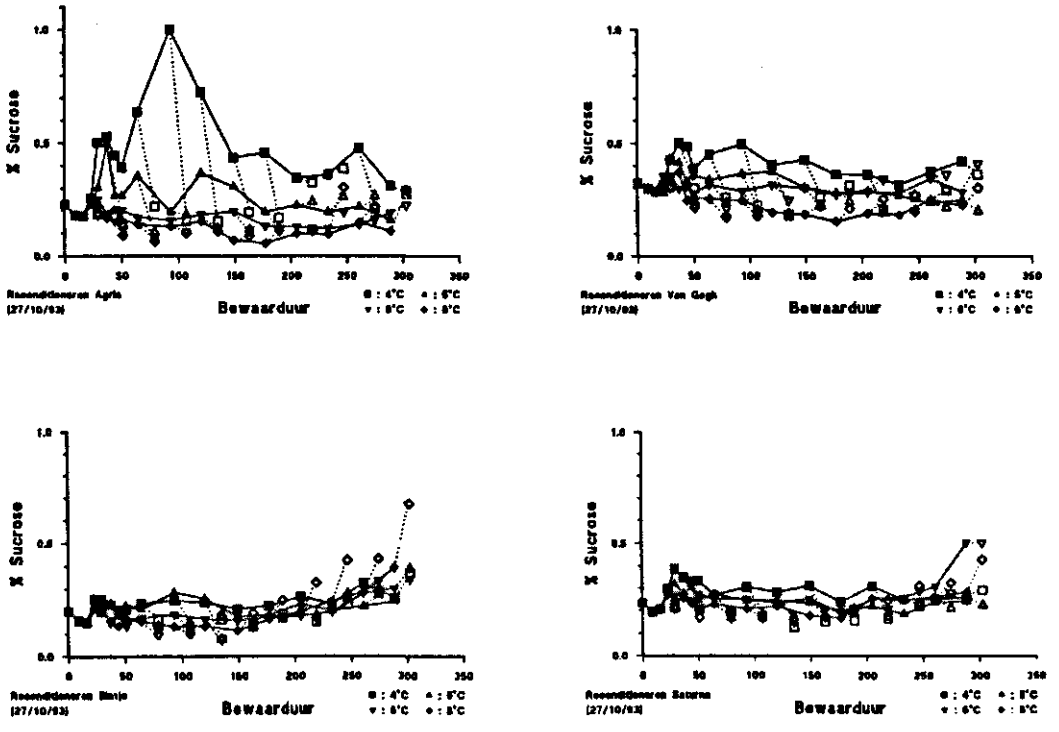

**Figuur 2:** Accumulatie van sucrose (% = g/100 g vers) tijdens bewaarseizoen 1993-1994 voor de rassen Agria, Bintje, Van Gogh en Saturna bij temperaturen van 2°C tot 14°C. Dag 0 komt overeen met 27 oktober 1993.

## Reconditioneren

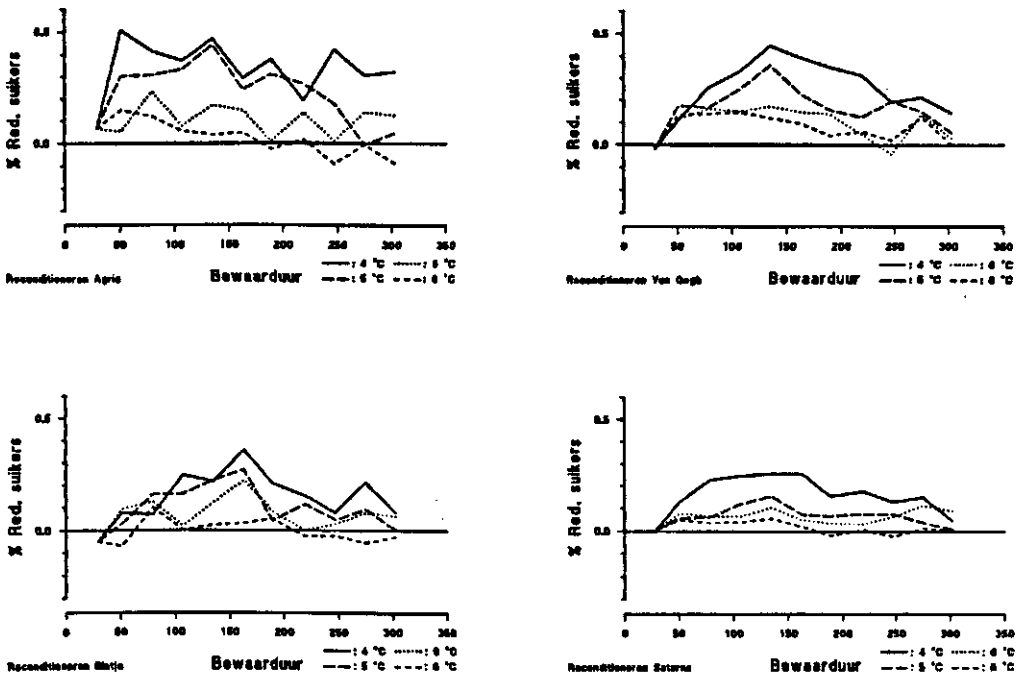
Wanneer aardappelen uit 4°C t/m 8°C voor twee weken bij 18°C worden gebracht is het mogelijk een deel van de opgehoopte suikers weer te verwijderen. In de figuren 3 en 4 wordt met de stippellijntjes aangegeven hoe groot dit effect is voor de reducerende suikers en sucrose opgehangen aan de suikeraccumulatie vóór reconditioneren. Het reconditioneer-effect is in het middenstuk van de bewaring het grootst. Later in de bewaring loopt het effect weer terug. In de figuren 5 en 6 staat alleen de grootte van het reconditioneereffect uitgezet. Hieruit komt nog duidelijker naar voren dat het reconditioneren in de loop van de bewaring een soort optimumcurve doorloopt. Voor de reducerende suikers verloopt die anders dan voor sucrose. Negatieve reconditioneereffecten (een verdere accumulatie van suikers) treden sneller op voor sucrose dan voor reducerende suikers.



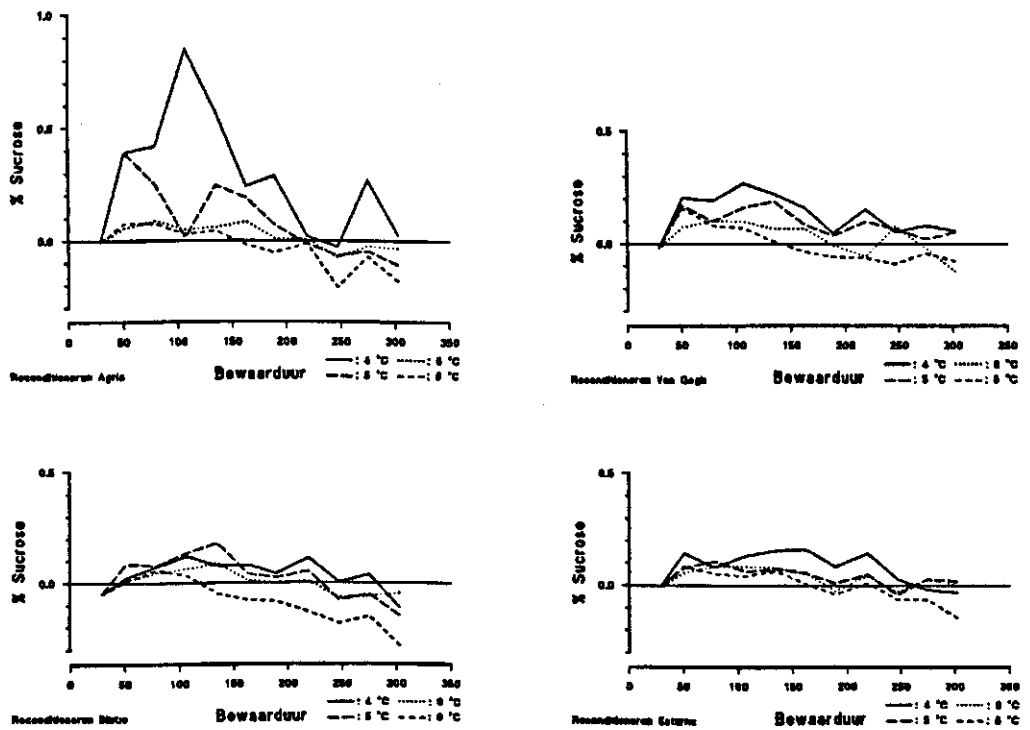

**Figuur 3**: Reconditioneereffect op de geaccumuleerde reducerende suikers (% = g/100 g vers). Na de bewaring bij temperaturen van 4°C tot 8°C is het materiaal gedurende twee weken bewaard bij 18°C.




**Figuur 4**: Reconditioneereffect op het geaccumuleerde sucrose (% = g/100 g vers). Na de bewaring bij temperaturen van 4°C tot 8°C is het materiaal gedurende twee weken bewaard bij 18°C.



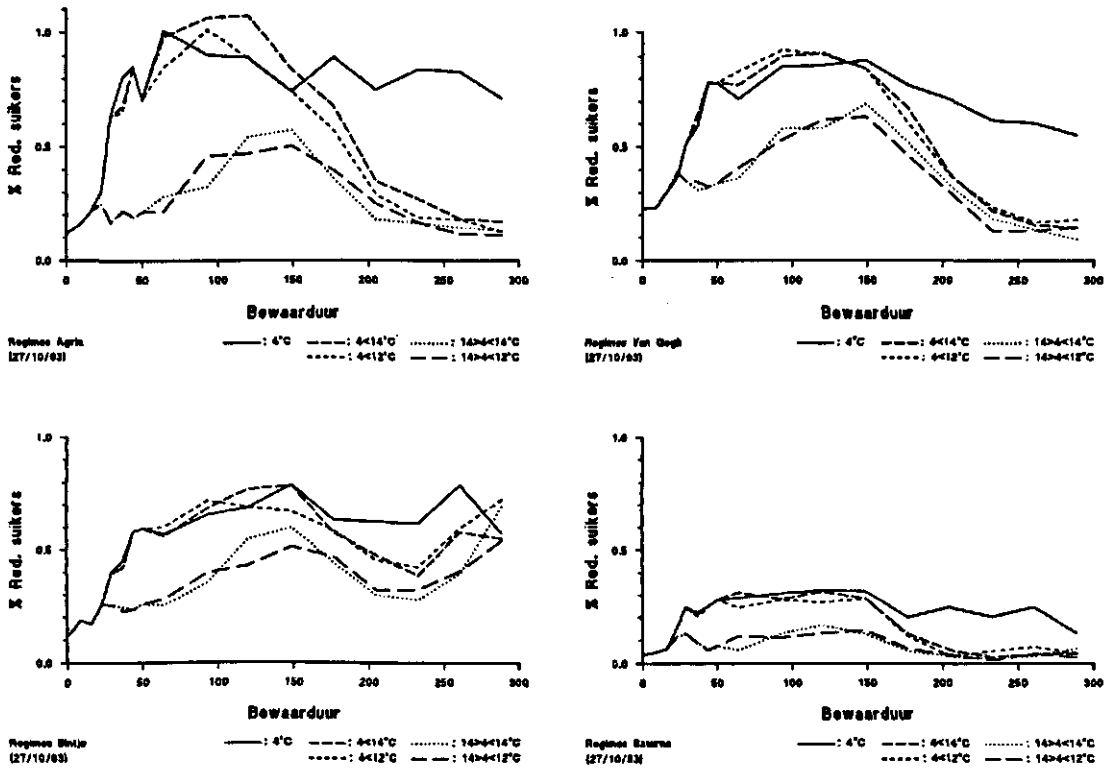

**Figuur 5**: Grootte van de reconditioneereffecten op de reducerende suikers uit figuur 3.



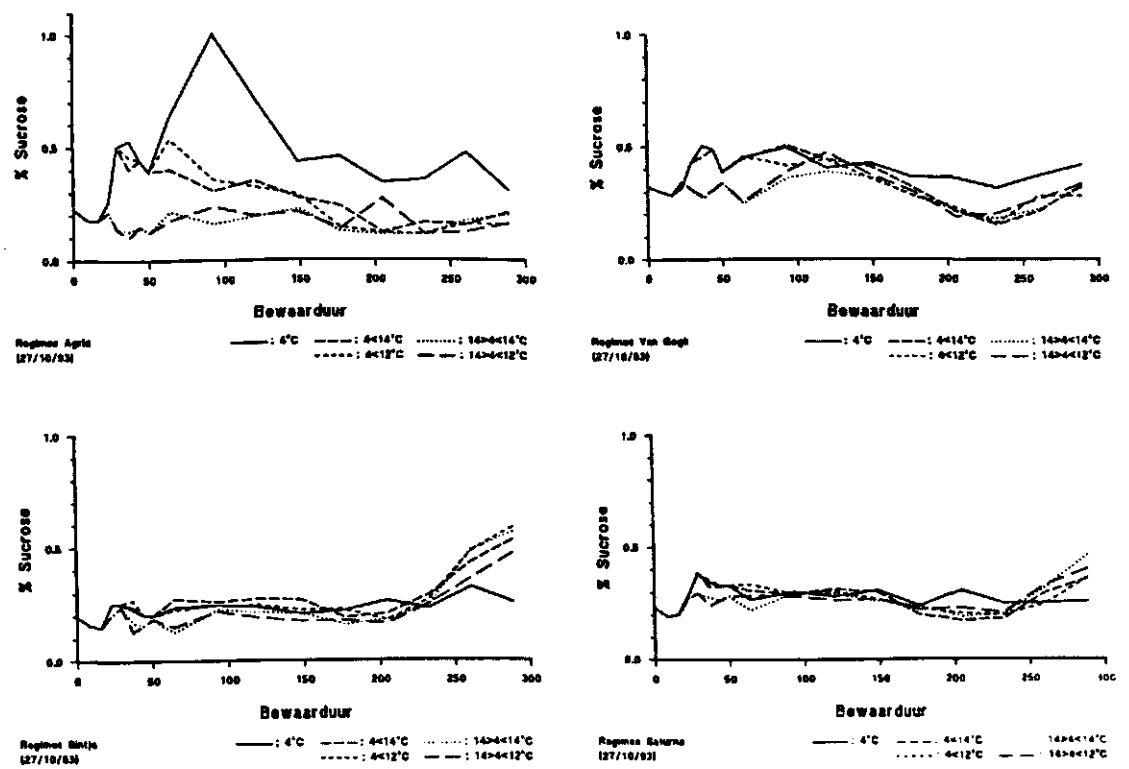

**Figuur 6**: Grootte van de reconditioneereffecten op sucrose uit figuur 4.

**Geleidelijke regimes**

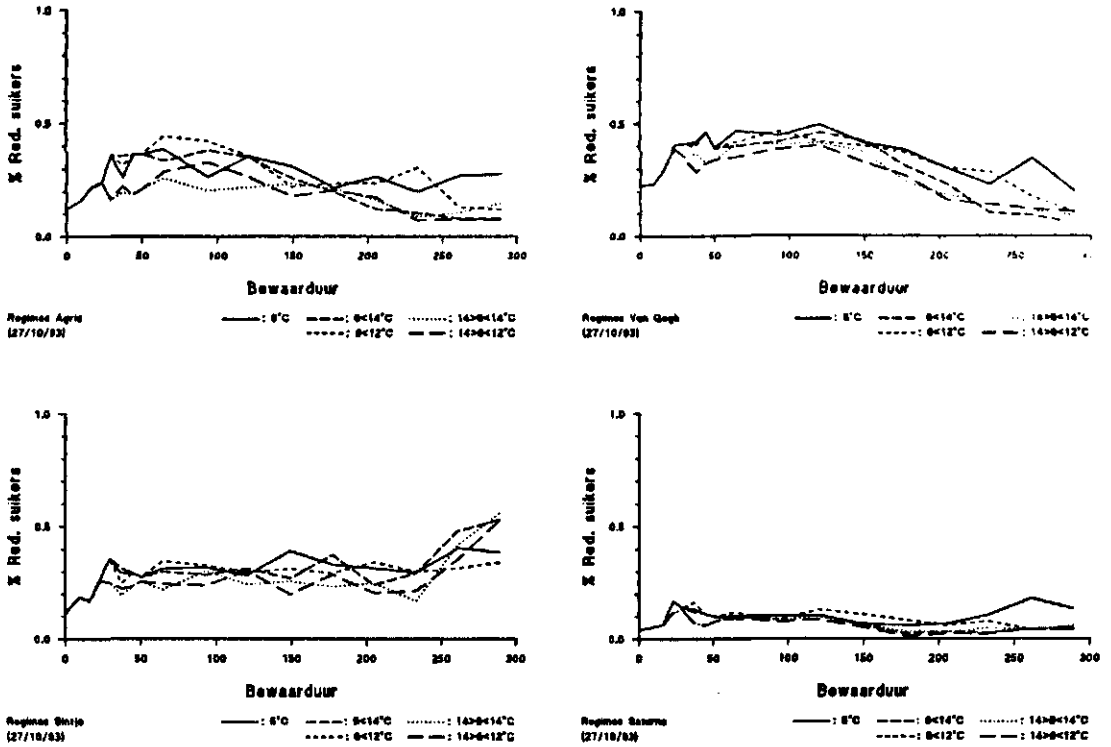
Bij het onderzoek zijn zogenaamde geleidelijke temperatuurregimes betrokken in verband met de ontwikkeling van een energetisch voordeliger bewaarbeleid. In de figuren 7 en 8 staan de gegevens uitgezet voor de regimes naar 4°C. Ter vergelijking is ook constant 4°C opgenomen. Uit deze en volgende figuren volgt dat er geen verschil zit tussen de regimes die opwarmen naar 12°C of 14°C. De regimes die **direct** naar 4°C gaan komen uiteindelijk na de geleidelijke opwarmperiode weer op hetzelfde niveau uit als de regimes die **geleidelijk** zijn ingekoeld naar 4°C. Voor Agria, Van Gogh en Saturna betekenen dit acceptabele suikerniveau's van 0.2% reducerende suikers of lager. Bij bintje leidt het opwarmen vanaf ±230 dagen tot opnieuw een accumulatie van reducerende suikers: veroudering wordt hier en feit. Bij Van Gogh en Saturna zien we weliswaar een stijging van het sucrosegehalte aan het eind van de bewaring, maar deze resulteert nog niet in een stijging van het reducerend suikergehalte. Het geleidelijk opwarmen in het voorjaar naar 12°C of 14°C functioneert dus als een ingebouwde vorm van reconditioneren. Bij rassen die snel ouderdomsverzoeting vertonen moet men hier voorzichtig mee zijn. Bij de regimes naar 6°C (figuren 9 en 10) zijn de verschillen minder extreem, maar wel vergelijkbaar. Voor lange bewaring (250-300 dagen) leiden de regimes bij Agria, Van Gogh en Saturna tot lagere reducerend suikergehalte dan na bewaring bij 6°C constant. Voor het eerdere verloop van de bewaring liggen de regimes vergelijkbaar, of een fractie lager dan constant 6°C. Bij Bintje duikt vanaf ±230 dagen weer ouderdomsverzoeting op, waardoor de regimes daar slechter uit de bus komen. Bij de regimes naar 8°C (figuren 11 en 12) is er geen verschil meer tussen accumulatie van reducerende suikers voor de diverse regimes en constant 8°C. De ouderdomsverzoeting bij Bintje wordt nu door het opwarmen na een relatief hoge bewaartemperatuur nog verder versterkt. Uit de gegevens van deze geleidelijke regimes komt duidelijk naar voren dat het ene ras meer last heeft van ouderdomsverzoeting dan het andere ras. Eigenlijk blijven de problemen dit jaar beperkt tot Bintje.



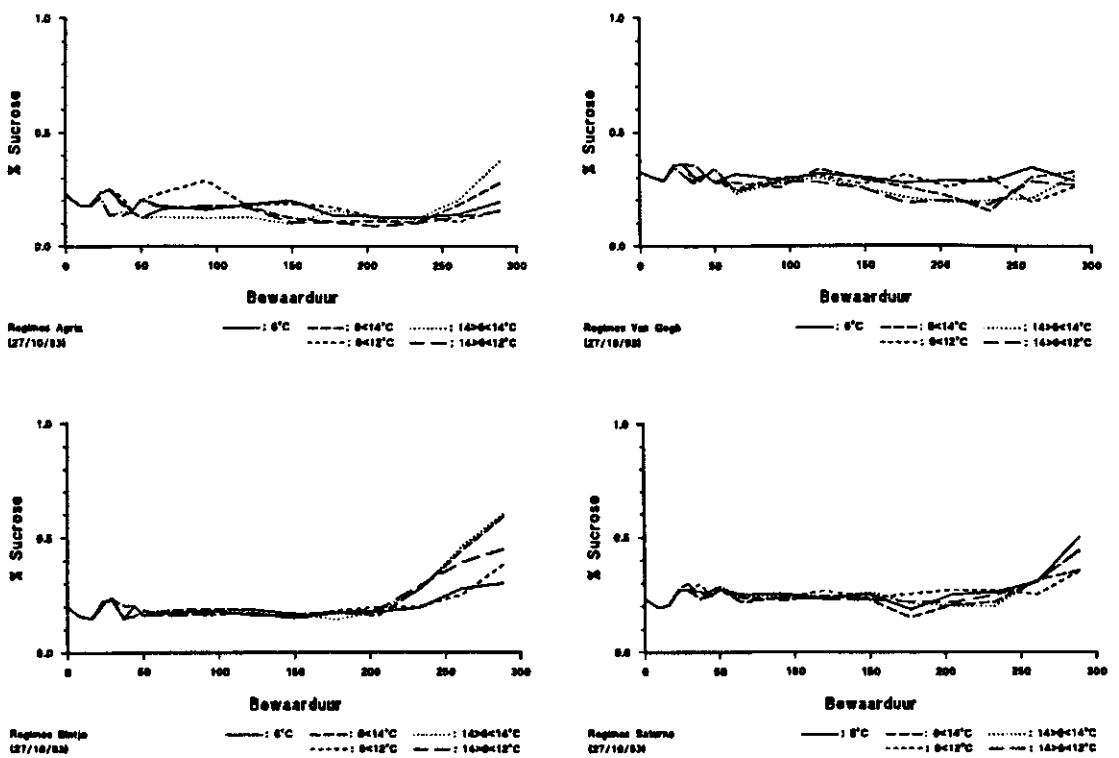

**Figuur 7**: Accumulatie van reducerende suikers bij bewaring onder diverse geleidelijke regimes naar 4°C, in vergelijking met bewaring onder constant 4°C.



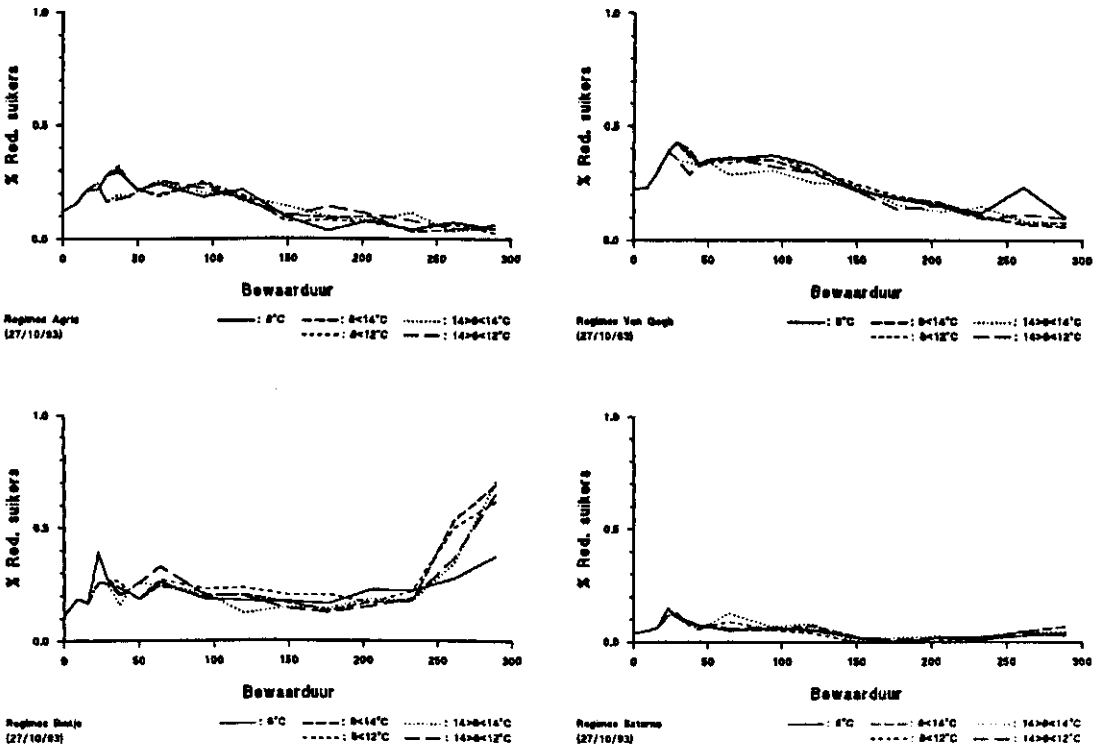

**Figuur 8**: Accumulatie van sucrose bij bewaring onder diverse geleidelijke regimes naar 4°C, in vergelijking met bewaring onder constant 4°C.



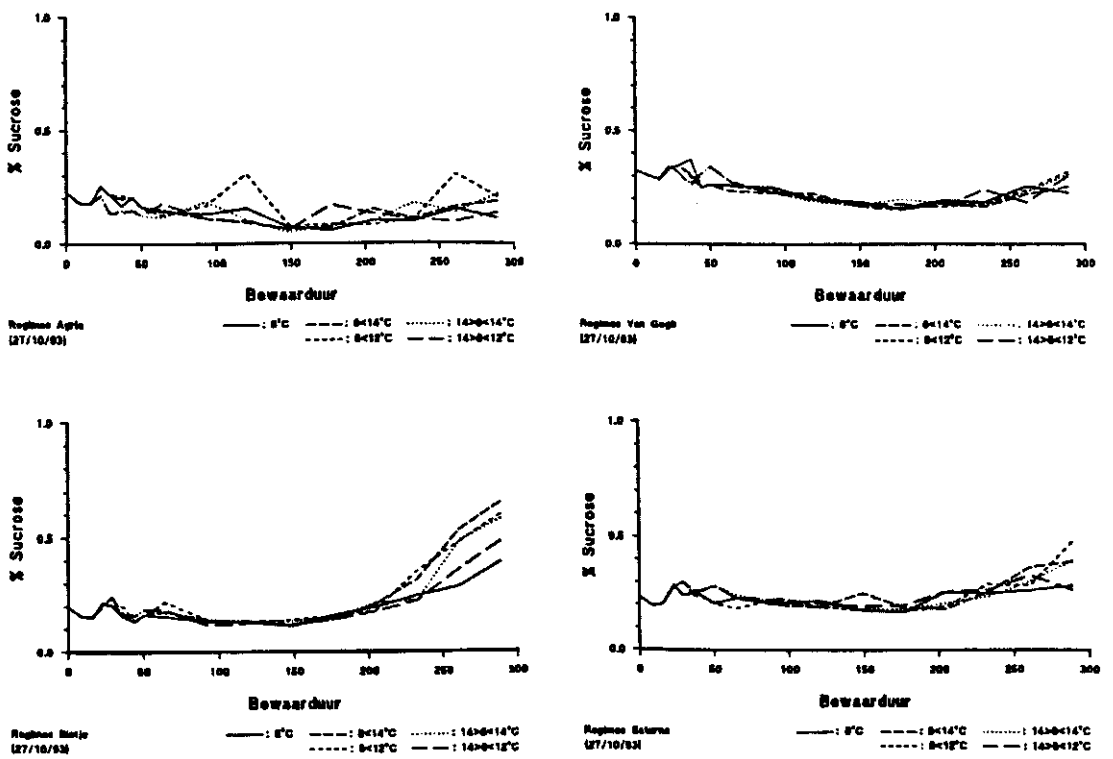

Figuur 9: Accumulatie van reducerende suikers bij bewaring onder diverse geleidelijke regimes naar 6°C, in vergelijking met bewaring onder constant 6°C.




Figuur 10: Accumulatie van sucrose bij bewaring onder diverse geleidelijke regimes naar 6°C, in vergelijking met bewaring onder constant 6°C.




**Figuur 11:** Accumulatie van reducerende suikers bij bewaring onder diverse geleidelijke regimes naar 8°C, in vergelijking met bewaring onder constant 8°C.



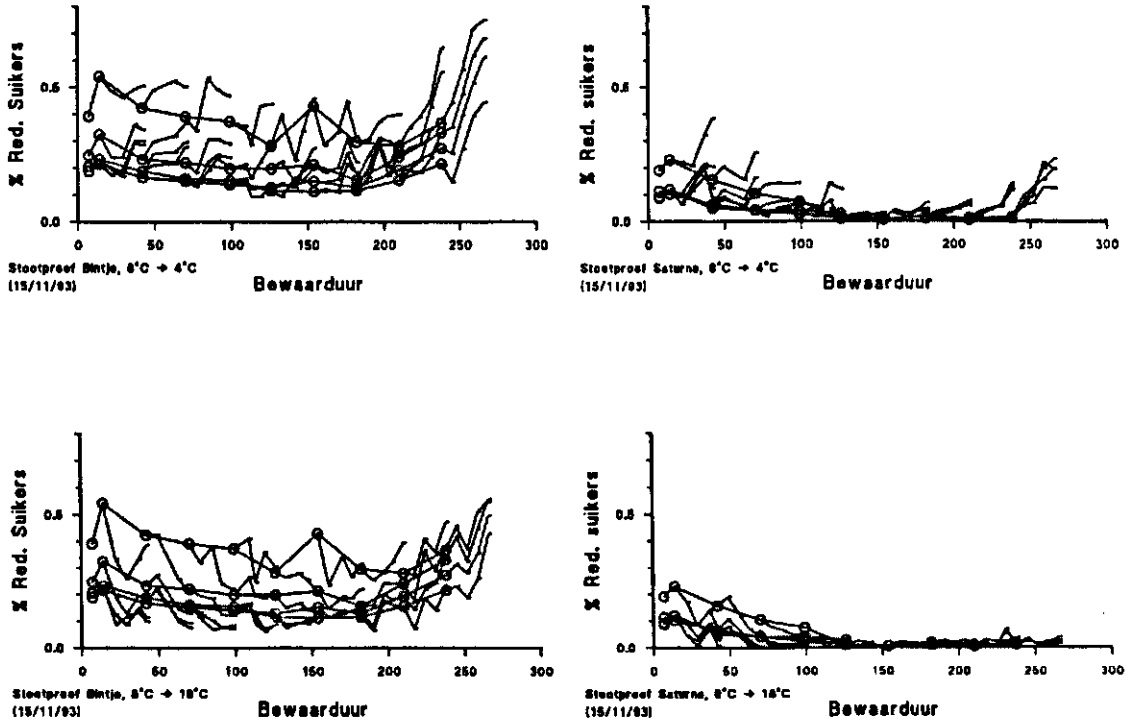

**Figuur 12:** Accumulatie van sucrose bij bewaring onder diverse geleidelijke regimes naar 8°C, in vergelijking met bewaring onder constant 8°C.

### 3.3.2 Stootproef

In de figuren 13 en 14 staan de resultaten weergegeven van de stootproef. Hierbij zijn aardappelen bewaard bij 8°C waarbij maandelijks knollen in vier stukken van basis naar apex zijn bemonsterd. Dit zijn de lijnen die de open symbolen met elkaar verbinden. Hierbij staat de bovenste van de vier lijnen steeds voor de basiszijde van de knol, en de onderste voor de apexzijde. De korte lijntjes die vanuit de open symbolen weglopen, beschrijven het gedrag van het betreffende deel uit de knol tijdens de stoot naar 4°C of 18°C. De figuren voor Saturna en Bintje, en voor de stoten naar 4°C en 18°C staan steeds op dezelfde volgorde weergegeven.

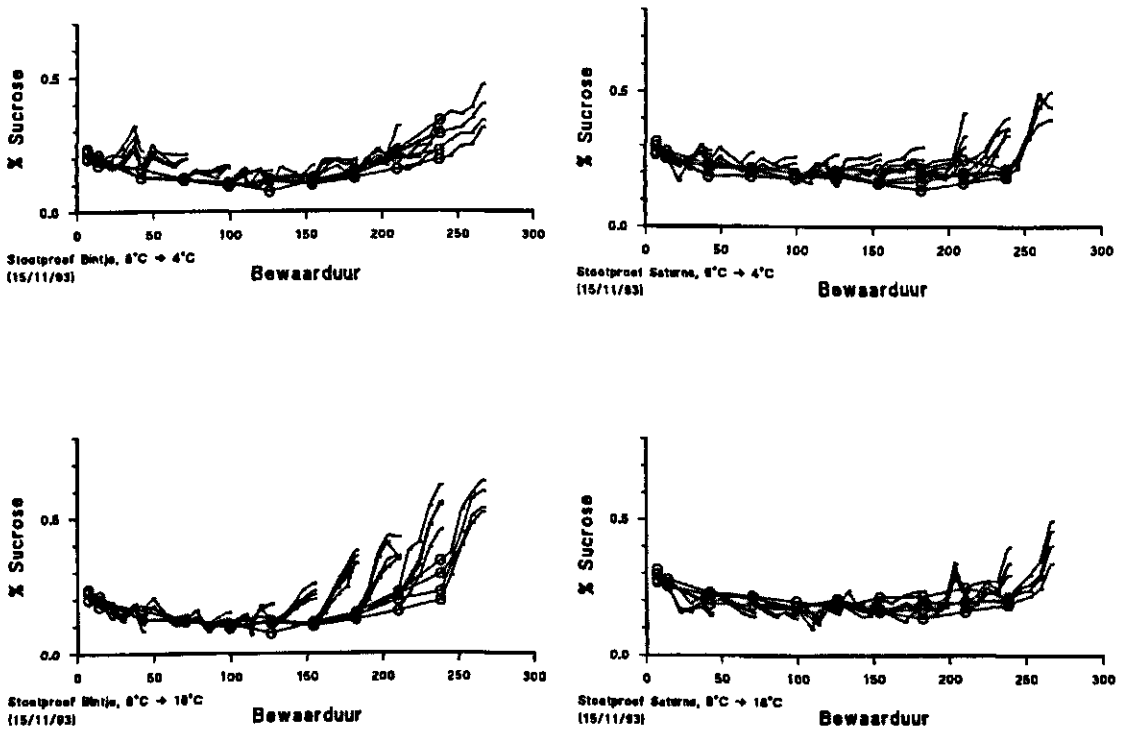
| | |
|---|---|
| Bintje<br>8°C → 4°C | Saturna<br>8°C → 4°C |
| Bintje<br>8°C → 18°C | Saturna<br>8°C → 18°C |

De reducerende suikers (figuur 13) vertonen bij Bintje een scheve verdeling door de knol. In de eerste helft van de bewaring bij 8°C bevat het meest basale deel van de knol beduidend meer reducerende suikers dan de andere drie delen. Aan het eind van de bewaring wordt deze gradient wat vlakker doordat ook de twee middelste delen reducerende suikers gaan accumuleren. Deze verschillen tussen apex en basis handhaven zich ook tijdens de koude en warmte-stoten die volgen op de bewaring bij 8°C. Saturna vertoont in het begin van de bewaring een vergelijkbare verdeling van reducerende suikers door de




**Figuur 13:** Accumulatie van reducerende suikers tijdens temperatuurstoten naar 4°C of 18°C gedurende één maand na bewaring bij 8°C. De knol is hierbij opgesneden in vier delen van basis naar apex.

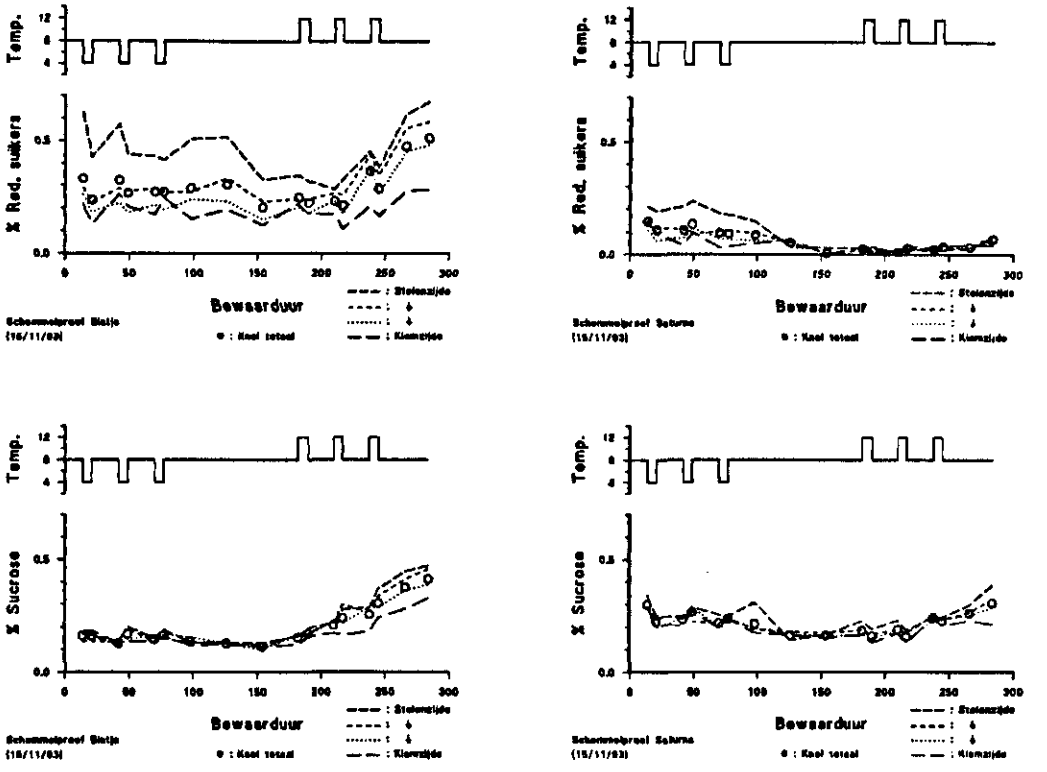
knol. Door de voor Saturna hoge bewaartemperatuur van 8°C vervlakt deze polariteit verderop in de bewaring. De keuze van 8°C blijkt nu te hoog te zijn om nog veel effect te zien op het reducerend suikergehalte na een maand bij 18°C, maar is te laag voor een overtuigende ouderdomsverzoeting. Een maand 4°C blijkt ook erg kort te zijn om een duidelijke koudeverzoeting teweeg te brengen.
Sucrose (figuur 14) is aanvankelijk egaal door de knol verdeeld om vanaf ±200 dagen uit te gaan splitsen. Dezelfde verdeling komt ook terug tijdens de koude en warmte-stoten. Het moment dat sucrose gaat uitsplitsen komt overeen met het moment dat de reducerende suikers beginnen te stijgen. Vóór het moment van uitsplitsen zijn er al negatieve reconditioneereffecten zichtbaar op sucrose. Saturna vertoont aan het eind van de bewaring wel negatieve reconditioneereffecten op sucrose, maar nog geen overtuigende consistente uitsplitsing.




Figuur 14: Accumulatie van sucrose tijdens temperatuurstoten naar 4°C of 18°C gedurende één maand, na bewaring bij 8°C. De knol is hierbij opgesneden in vier delen van basis naar apex.

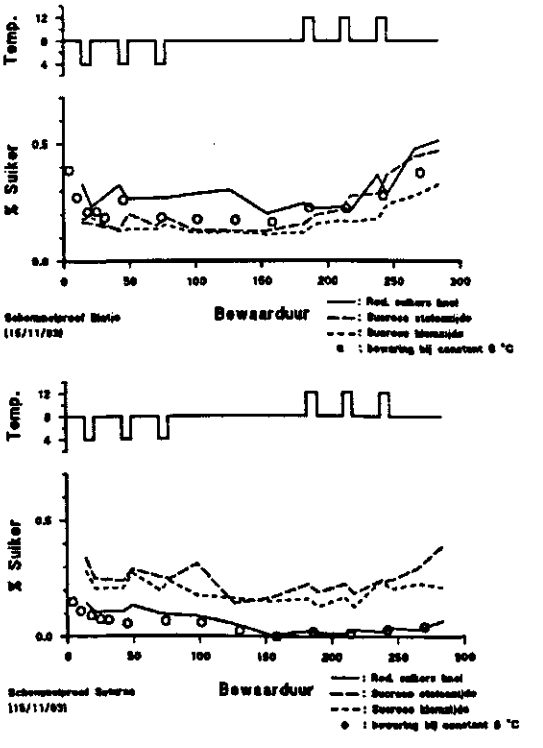
### 3.3.3 Schommelproef

In de schommelproef wordt gekeken naar het effect van een aantal opeenvolgende temperatuurfluctuaties in de loop van de bewaring. In figuur 15 zien we dat de verdeling van suikers door de knol zich op een vergelijkbare manier ontwikkeld als bij de stootproef. Omdat we geïnteresseerd zijn in de mogelijkheden van sucrosepolariteit als indicator voor ouderdomsverzoeting is in figuur 16 de sucrosepolariteit uitgezet naast het percentage reducerende suikers in de knol. Hierbij is duidelijk te zien dat het moment waarop sucrose gaat uitsplitsen bij Bintje overeenkomt met het moment dat de reducerende suikers beginnen te stijgen.




**Figuur 15:** Accumulatie van suikers onder invloed van opeenvolgende temperatuurfluctuaties. De knol is hierbij opgesneden in vier delen van basis naar apex.

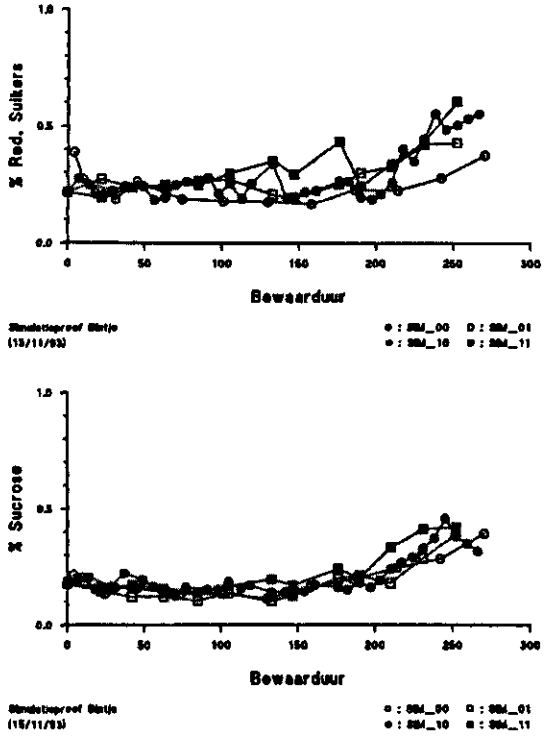
Om te zien inhoeverre de temperatuurschommelingen nu een extra verouderingen geïnduceerd hebben is tevens het gehalte aan reducerende suikers bij aardappelen onder constant 8°C vermeld. Bintje lijkt door de schommelingen iets eerder te gaan verouderen, maar de verschillen zijn niet extreem groot.




**Figuur 16:** Sucrosepolariteit tijdens de schommelproef als indicatie voor de ouderdomsverzoeting met reducerende suikers. Ter referentie is de accumulatie van reducerende suikers bij constant 8°C weergegeven.

### 3.3.4 Simulatieproef

De simulatieproef geeft een indruk van het effect van fluctuerende Temperatuur en $CO_2$-gehalten zoals die zich in een praktijkbedrijf voor kunnen doen. Wanneer we kijken naar het verloop van de bewaarperiode zien we dat het reducerend suikergehalte bij constante temperatuur en $CO_2$ (SIM_00) steeds het laagste blijft (figuur 17). Alle andere situaties leiden bovendien tot een duidelijk eerder optredende veroudering. Hierbij ligt de dubbel gesimuleerde situatie (temperatuur èn $CO_2$, SIM_11) steeds het slechtst, zowel voor wat betreft reducerende suikers als sucrose. Bij constante temperatuur is er voor de accumulatie van reducerende suikers een duidelijk verschil tussen constante $CO_2$ (SIM_00) en fluctuerende $CO_2$ (SIM_01). Bij fluctuerende temperatuur is dit verschil minder groot, waarschijnlijk doordat het effect van de fluctuerende temperatuur overheerst.




Figuur 17: Effect van fluctuerende bewaartemperatuur en $CO_2$-gehalte op de accumulatie van suikers in vergelijk tot bewaring onder constante condities.

## 3.4 SUCROSE EN VEROUDERING

Uit de gegevens tot nu toe blijkt dat ouderdomsverzoeting steeds vooraf wordt gegaan door achtereenvolgens:

1. negatief reconditioeereffect op sucrose
2. stijging van het sucrosegehalte
3. sucrosepolariteit tussen top en basis.

De termijn die zit tussen het optreden van deze effecten en het daadwerkelijk accumuleren van reducerende suikers is echter nog niet eenduidig vast te stellen. Een groot probleem hierbij is dat het vooralsnog niet mogelijk gebleken is om onderzoeksmatige met enige zekerheid ouderdomsverzoeting te induceren. De enige verouderingsgegevens waar we nu over beschikken zijn die van twee seizoenen Bintje en een seizoen Saturna.

**Negatief reconditioeereffect op sucrose**

Nog voordat sucrose begint te stijgen neemt het reconditioeereffect op sucrose af tot nul om vervolgens negatief te worden. Het tijdsinterval tussen negatieve reconditioeereffecten op sucrose en het optreden van ouderdomsverzoeting is echter te groot om voor de praktijk van enig praktisch nut te zijn. Bovendien is de bepaling vrij tijdrovend doordat steeds monsters voor toch mininmaal 3 weken moeten worden weggezet bij 18°C.

**Stijging van het sucrosegehalte**

Ouderdomsverzoeting wordt steeds voorafgegaan door een stijging van het sucrosegehalte. De stijging van sucrose op zich geeft echter nog geen garantie dat zich binnen een bepaalde termijn ook reducerende suikers op zullen gaan hopen. Zo is er dit jaar voor alle rassen sprake geweest van een sterke sucrose stijging na lange bewaring bij 14°C, maar heeft dit alleen bij Bintje geresulteerd in een daadwerkelijke accumulatie van reducerende suikers.

Het monitoring systeem zoals dit vorig jaar is voorgesteld ondervangt dit probleem door de beslissing tot ontruimen van een partij niet alleen op te hangen aan het stijgende sucrose gehalte, maar mede aan een daadwerkelijke, zij het minimale, stijging van de reducerende suikers. Hierbij moet men tevens de absolute niveaus in de gaten houden. Wanneer er na het vallen van de beslissing niet al te lang wordt opgewarmd eer er wordt afgeleverd kan dit systeeem ook voor de praktijk voldoende safe zijn. Zeker wanneer we de toch vrij trage reacties uit de stootproef in het achterhoofd houden.

Naar believe kan het monitoring systeem worden verfijnd door vanaf ongeveer 150 dagen bewaring vaker dan eens per maand en in veelvoud te gaan bemonsteren. Hierdoor wordt het overzicht en de betrouwbaarheid van het proefmonster vergroot.

We kunnen het monitoring systeem toepassen op onze maandelijkse gegevens met de volgende criteria:

- sucrosestijging in deze periode ≥ 0.03 %
- sucrosestijging in voorgaande periode ≥ 0.03 %
- stijging reducerende suikers in deze periode ≥ 0.015 %

Met het tweede criterium wordt voorkomen dat het systeem alarm slaat bij een toevallige meetonnauwkeurigheid. Er moet sprake zijn van een reeds ingezette trend.

In de volgende situaties wordt nu een alarm-melding gegeven:

| Ras | Temperatuur | Bewaarduur (dagen) |
|---|---|---|
| Agria | 14°C | 289 |
| | 14 > 6 < 14°C | 289 |
| Bintje | 8°C | 205... |
| | 14°C | 177... |
| | 14 > 8 < 12°C | 233... |
| | alle overige geleidelijke regimes | 261... |
| Saturna | 14°C | 233 (éénmalig) |
| | 8 > 14 °C<br>14 > 6 > 12 °C | 261 (éénmalig) |
| | 14 > 4/6 > 14 °C | 289 |
| Van Gogh | 14 °C | 205 (éénmalig) |

Wanneer er vaker dan eens in de maand wordt bemonsterd, en op een wat uitvoeriger manier is het mogelijk ook voor de reducerende suikers de accumulatie in de vorige periode erbij te betrekken. Hierdoor kunnen die enkele (loze) alarm meldingen zoals bij Saturna en Van Gogh worden geëlimineerd. In onze situatie zouden we het niet kunnen riskeren om zo'n alarm te negeren omdat het nog een maand duurt voordat we al of geen bevestiging hiervan krijgen. Mocht het een serieus alarm zijn dan is de partij in die maand al weer verder verslechterd en misschien onverhandelbaar geworden.

**Sucrosepolariteit tussen top en basis**

Uit de verzamelde gegevens tot nu toe lijkt de sucrose polariteit het meest direct gekoppeld te zijn met de aanvang van ouderdomsverzoeting (zie figuur 16). Om dit fenomeen goed te kunnen kwantificeren zijn er echter meer gegevens noodzakelijk. Bovendien is het van belang te weten in hoeverre dit ook voor andere rassen toepasbaar is. In verband hiermee zullen voor het nieuwe bewaarseizoen proeven worden ingezet waarbij met behulp van continue temperatuurschommelingen veroudering wordt geïnduceerd bij een zevental rassen.

## 3.5 MODELONTWIKKELING (Hertog & Tijskens)

### 3.5.1 Algemeen

Met de gegevens van de afgelopen jaren in het achterhoofd wordt het duidelijk dat het niet altijd mogelijk is éénduidige adviezen naar de praktijk te geven. Wat het ene jaar een goede streeftemperatuur is, kan het jaar erop leiden tot onacceptabele bakcijfers. Bovendien moet men steeds bedenken in welke periode men moet afleveren. Een partij die in februari/maart onacceptabel is, kan twee maanden later weer wèl acceptabel zijn. Bovendien zullen we meer inzicht moeten krijgen in het hoe en waarom van de verschillen tussen de jaren. Aanvullende gegevens over de rijpheid van het produkt bij inschuren lijken hiervoor onontbeerlijk.

Naast de verschillen tussen de opeenvolgende jaren is er uiteraard ook nog sprake van verschillen tussen de diverse rassen. Ondanks al deze verschillen is er echter één grote overeenkomst: het gaat steeds over een aardappel. Het is net als met auto's, een "lelijk eendje" lijkt heel anders dan een Porsche, maar toch werken ze allemaal volgens hetzelfde principe.

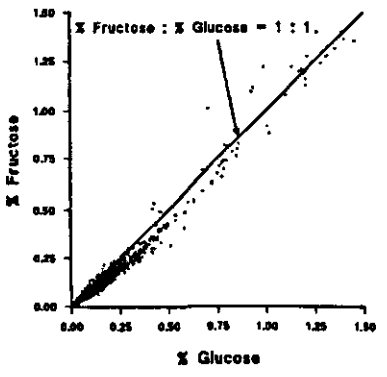
Uitgaande van deze benadering wordt er gewerkt aan een algemeen beschrijvend model voor de verzoeting van aardappelen tijdens de bewaring verder aangeduid als **FAVIM** (**F**ysiologie **A**ardappel **V**erzoeting **I**n **M**odel). Op grond van een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid wordt het functioneren van een aardappel gevangen in wiskundig vergelijkingen. Hiermee wordt een soort prototype aardappel gedefinieerd uitgaande van biologisch onderbouwde processen die in elke aardappel voorkomen. In FAVIM zitten een aantal parameters die tesamen bepalen of we te maken krijgen met een soort "lelijk eendje" of met een Porsche. Zo zullen een aantal parameters rasafhankelijk blijken te zijn, terwijl andere parameters jaarafhankelijk zullen zijn.

### 3.5.2 Modelformulering

FAVIM is geformuleerd uitgaande van een aantal fysiologische veronderstellingen.

In verband met het belang voor de verwerking is er voor gekozen het gedrag van de reducerende suikers te modelleren. Hierbij is er van uitgegaan dat de reducerende suikers glucose en fructose zich doorgaans verhouden in de verhouding 1:1 (zie figuur 18).

Sucrose is vooralsnog buiten het model gehouden. Er wordt vanuit gegaan dat alle suikers vrijkomen door de afbraak van zetmeel (1).




**Figuur 18:** Verhouding glucose:fructose zoals gemeten in de schaalproef voor de diverse rassen bij de diverse bewaartemperaturen in vergelijking tot de veronderstelde verhouding 1:1.

$$Z(\text{etmeel}) + E(\text{nzym}) \xrightarrow{k_z} S(\text{uiker}) + E(\text{nzym}) \qquad (1)$$

Zetmeel is in bulkhoeveelheden aanwezig en we veronderstellen de concentratie zetmeel in

de loop van de bewaring constant. Reactie (1) wordt mogelijk gemaakt door een enzym. Zoals kenmerkend is voor enzymen worden deze bij de reactie zelf niet verbruikt. Dergelijke door enzymen gekatalyseerde reacties worden gekenmerkt door een bepaalde snelheidsconstante, in geval van reactie (1) is dat $k_z$. In FAVIM komen meer van deze snelheidsconstanten voor. Al deze snelheidsconstanten worden temperatuurafhankelijk verondersteld volgens Arrhenius. Dit betekent dat de snelheidsconstante van de reactie in de tijd constant blijft, maar verandert bij veranderende temperatuur. FAVIM gaat er van uit dat reactie (1) door twee verschillende enzymen wordt gekatalyseerd (zie (2)). Één enzym verantwoordelijk voor de koudeverzoeting ($E_{koud}$) en één enzym verantwoordelijk voor de ouderdomsverzoeting ($E_{oud}$). Elk enzym heeft hierbij zijn eigen snelheidsconstante (resp. $k_{z,koud}$ en $k_{z,oud}$) met zijn eigen temperatuurafhankelijkheid.

$$\begin{aligned} Z + E_{koud} &\xrightarrow{k_{z,koud}} S + E_{koud} \\ Z + E_{oud} &\xrightarrow{k_{z,oud}} S + E_{oud} \end{aligned} \qquad (2)$$

In FAVIM gaan we er van uit dat het koudeverzoetingsenzym ($E_{koud}$) een negatieve temperatuurafhankelijkheid heeft; bij lagere temperaturen zal dit enzym harder gaan werken. $E_{oud}$ kennen we in het model juist een positieve temperatuurafhankelijkheid toe. Dit enzym wordt gestimuleerd bij toenemende temperatuur.
We veronderstellen dat het koudeverzoetingenzym in de loop van de bewaring onderhevig is aan afbraak. Het verouderingsenzym wordt in de loop van de bewaring gevormd onder invloed van een zichzelf versterkend (autokatalytisch) proces (zie (3)). Beide processen zijn ook weer temperatuurafhankelijk. De vorming van $E_{oud}$ zal een positieve temperatuurafhankelijkheid hebben. Van de afbraak van $E_{koud}$ is dit niet op voorhand aan te geven.

$$\begin{aligned} E_{koud} &\xrightarrow{k_{e,koud}} \ldots \\ E_{oud} &\xrightarrow{k_{e,oud}} 2 \cdot E_{oud} \end{aligned} \qquad (3)$$

Tenslotte worden de vrijgemaakte suikers uit (2) gebruikt voor de ademhaling van de knollen (zie (4)).

$$S \xrightarrow{k_{resp}} CO_2 + H_2O \qquad (4)$$

Deze ademhaling wordt tijdonafhankelijk verondersteld, met een positieve temperatuuraf-

hankelijkheid. De reacties uit (2), (3) en (4) kunnen we schrijven in de vorm van zogenaamde differentiaalvergelijkingen die de veranderingen van $E_{koud}$, $E_{oud}$ en de hoeveelheid geaccumuleerde S(uiker) per tijdseenheid weergeven.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial E_{koud}}{\partial t} = -k_{e,koud} \cdot E_{koud} \\ \dfrac{\partial E_{oud}}{\partial t} = k_{e,oud} \cdot E_{oud} \\ \dfrac{\partial S}{\partial t} = \underbrace{k_{z,koud} \cdot E_{koud}}_{\text{koudeverzoeting}} + \underbrace{k_{z,oud} \cdot E_{oud}}_{\text{veroudering}} - \underbrace{k_{resp} \cdot S}_{\text{respiratie}} \end{cases} \tag{5}$$

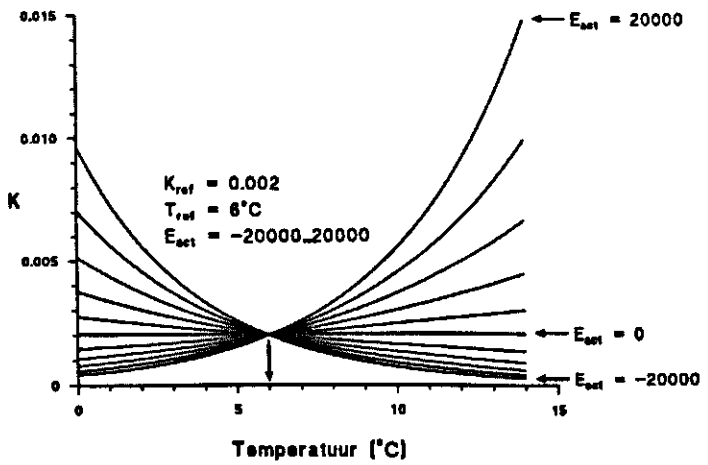
Deze set van drie differentiaalvergelijkingen vormt het hart van FAVIM.

### 3.5.3 Modelvalidatie

Zoals is aangegeven zijn alle snelheidsconstanten in het model temperatuurafhankelijk volgens Arrhenius. Deze temperatuurafhankelijkheid wordt beschreven door vergelijking (6). De snelheidsconstante (k) voor een bepaalde temperatuur (T) wordt bepaald door de

$$k = k_{ref} \cdot e^{E_{act} \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)} \tag{6}$$

grote van de snelheidsconstante bij een bepaalde standaard gekozen referentie-temperatuur ($k_{ref}$ bij een $T_{ref}$) en de zogenaamde activeringsenergie ($E_{act}$). De activeringsenergie bepaald of een snelheidsconstante een positieve of een negatieve temperatuurafhankelijkheid heeft, en hoe sterk dit effect is. In Figuur 19 zien we ter illustratie wat voor een invloed de temperatuur kan hebben op het gedrag van een snelheidsconstante k, gegeven een $k_{ref}$ van 0.002 bij een $T_{ref}$ van 6°C. Bij een positieve $E_{act}$ neemt de k toe bij oplopende temperatuur. Bij een $E_{act}$ van 0 is de k totaal onafhankelijk van de temperatuur; m.a.w. de k blijft constant bij wisselende temperaturen. Wanner de $E_{act}$ negatief is neemt de k juist af bij toenemende temperaturen.




**Figuur 19** Temperatuurafhankelijkheid van een fictieve snelheidsconstante k (met $k_{ref}$ = 0.002 bij een $T_{ref}$ = 6°C) voor waarden van $E_{act}$ = -20000..20000 volgens Arrhenius.

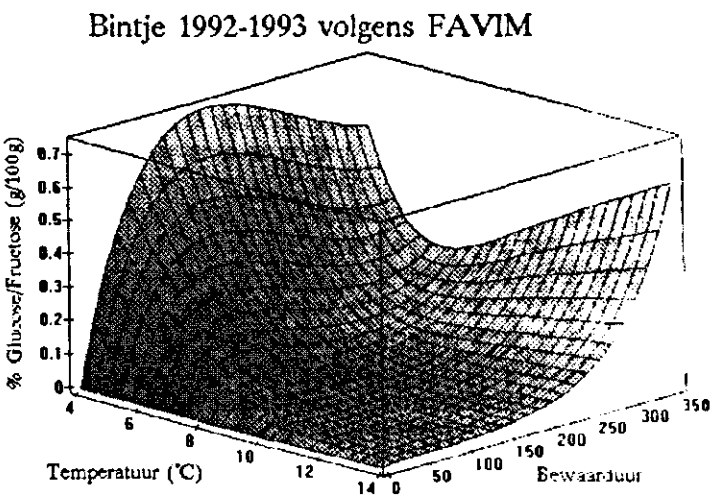
Wanneer we proberen het model te toetsen op de meetgegevens van afgelopen jaren moet voor elk van de snelheidsconstante een schatting gemaakt worden van zowel de $k_{ref}$ als de $E_{act}$. Om dit te kunnen doen moest uit het stelsel differentiaalvergelijkingen (5) eerst een analytische opgelossing worden verkregen. Deze analytische oplossing is vervolgens gebruikt voor een statistische analyse (non-lineaire regressie) om een schatting te krijgen van alle model parameters (de $k_{ref}$'s en de $E_{act}$'s).
De maat voor overeenstemming tussen de gemeten waarden en de volgens het model berekende waarden wordt weergegeven door $R^2$ ('Coefficient of Determination'). Een waarden van 100 % betekent dat de gegevens exact overeenkomen. In tabel 1 worden de resultaten van het model voor de achtereenvolgende rassen en jaren weergegeven.

Tabel 1: Resultaten statistische analyse FAVIM voor de verschillende rassen en jaren. $R^2$ : Coefficient of Determination

| Ras | Jaar | $R^2$ | Veroudering |
|---|---|---|---|
| Bintje | 1991-1992 | 95.55 % | - |
| | 1992-1993 | 96.03 % | + |
| | 1993-1994 | 97.49 % | + |
| Saturna | 1992-1993 | 94.45 % | + |
| | 1993-1994 | 97.21 % | - |
| Agria | 1993-1994 | 96.75 % | - |
| Van Gogh | 1993-1994 | 98.25 % | - |

De kolom 'Veroudering' in de tabel geeft aan of in die dataset sprake is van een duidelijke ouderdomsverzoeting. Dit is slechts een aantal keer het geval. In de gevallen dat er geen duidelijke ouderdomsverzoeting plaatsvindt is het echter onmogelijk een goede schatting te geven van de parameters die hier mee samenhangen ($k_{e,oud}$ en $k_{z,oud}$). Je kunt nu eenmaal niet iets schatten wat er niet is. Een vereenvoudigd model waar de verouderingstermen uit zijn geschrapt voldoet in deze situatie dan ook.

Dit modelmatig onderzoek is nu zo ver dat FAVIM in staat is de processen van koude- en ouderdomsverzoeting te beschrijven. Hiermee zijn we in staat de meetgegevens voor ruim 95 % te verklaren. Ter illustratie staat in figuur 20 het resultaat van FAVIM weergegeven voor Bintje 1992-1993. Het resultaat van de statistische analyse van het model is een set parameters voor de ver-




**Figuur 20:** Glucose/fructose accumulatie zoals die door FAVIM voor Bintje uit seizoen 1992-1993 is berekend, voor opslagtemperaturen van 4 tot 14°C. Voor het totale percentage reducerende suikers moet alles nog worden verdubbeld.

schillende rassen over de verschillende jaren. In een volgend stadium moet worden gekeken welk van de modelparameters rasafhankelijk zijn en welk jaarafhankelijk. Bovendien zal geprobeerd moeten worden parameters te relateren aan de initiële condities van de aardappelen op het moment van oogst.
Wanneer FAVIM voldoende gevalideerd is kunnen verschillen tussen rassen en jaren worden herleid tot concrete waarden van bepaalde parameters in het model. Het is dan mogelijk om op grond van gegevens over ras, jaarafhankelijke condities en het te volgen temperatuursbeleid, uitspraken te doen over het te verwachten kwaliteits-verloop tijdens de bewaring. Het streven is om zo een model te krijgen dat universeel bruikbaar is voor het beschrijven en voorspellen van verzoeting tijdens aardappelbewaring zodat zowel handel als industrie de logistiek kunnen aanpassen op de te verwachten verwerkingskwaliteit.

## 6 SAMENVATTENDE CONCLUSIES

Uit de gegevens van de opeenvolgende drie proefseizoenen komen duidelijke ras- en seizoenseffecten naar voren. Het globale verloop is steeds overeenkomstig. De absolute niveaus zijn per ras en seizoen verschillend. Het idee bestaat dat de grootste verschillen zijn toe te wijzen aan de lengte van het teeltseizoen, m.a.w. het oogsttijdstip. Zo zijn in 1991-1992 de aardappels geoogst, 190 dagen na poten. In 1992-1993 was dit 160 na dagen na poten, en in 1993-1994 210 dagen na poten. Dit heeft consequenties gehad voor de mate van afrijping van de verschillende partijen en zeer waarschijnlijk verklaard dit voor een deel het verschil in gedrag tijdens de bewaring.
Een terugkerend probleem voor dit deelproject blijft het induceren van ouderdomsverzoeting. Bintje, een nog steeds belangrijk ras voor de verwerkende industrie, heeft hier duidelijk problemen mee, terwijl dit bij Agria en Van Gogh dit seizoen niet ter sprake kwam. In verband hiermee zullen in bewaarseizoen 1994-1995 experimenten worden ingezet met sterk fluctuerende temepraturen om een uitspraak te doen over hoe relevant het probleem van veroudering voor de verschillende rassen is en welk van de de genoemde methoden (sucrose monitoring of sucrose polariteit) het meest geschikt is voor het voortijdig signaleren van ouderdomsverzoeting.
De modelontwikkeling biedt volop perspectieven om een bruikbaar instrument af te leveren voor het afstemmen van het bewaarbeleid. Er zijn een aantal opties om het model verder te optimaliseren. Zo is het model nog niet gevalideerd voor fluctuerende temperaturen. Dit is echter zeer wel mogelijk. Dan zouden ook de effecten van reconditioneren en geleidelijke temperatuurregimes kunnen worden doorgerekend. Verder liggen er opties om het model uit te breiden richting bakkleurindex en om ook de ademhaling van het produkt (denk aan $CO_2$-effecten) uitgebreider in het model op te nemen.
Om het model ook een voorspellend karakter te geven moeten er verbanden worden gelegd tussen de waarden van de diverse parameters in het model en specifieke parameters van de aardappel op het moment van inschuren. Hiervoor is echter verder uitgebreid onderzoek noodzakelijk. Eerste indicaties hiervoor kunnen misschien worden verkregen uit het reeds lopende onderzoek van de VAVI.

# HOOFDSTUK 4

## DE INVLOED VAN BEWAARPLAATS EN BEWAAROMSTANDIGHEDEN OP DE BAKKLEUR VAN FRITES-AARDAPPELEN IN BEWAARSEIZOEN 1993/1994
*(Deelproject 4)*

### 4.1 INLEIDING

In de praktijk komen regelmatig partijen aardappelen voor die, soms zelfs al vroeg in het bewaarseizoen, een slechte bakkleur voor frites vertonen. De indruk bestaat dat dit probleem zich meer lijkt voor te doen in moderne/goed geoutilleerde dan in oudere bewaarplaatsen.
Om inzicht te krijgen of de aard van de problemen in de praktijk zijn toe te schrijven aan de bewaarplaats (gasdichtheid), aan het gebruik ervan (temperatuurbeheer) of aan de herkomst van de bewaarde partijen wordt al enige jaren onderzoek uitgevoerd. Zo wordt op het ATO-DLO te Wageningen met een viertal verschillende rassen gedetailleerd onderzoek uitgevoerd naar:

- de effecten van verhoogde $CO_2$ concentraties op de kwaliteit van aardappelen;
- de invloed van de wijze van afkoelen en temperatuurbeheersing tijdens de bewaring op de verwerkingskwaliteit;
- fysiologische veranderingen die tijdens de bewaring in aardappelen optreden als gevolg van koude- of ouderdomsverzoeting met als doel intrinsieke parameters op te sporen ten behoeve van de kwaliteitsbewaking.

Aansluitend hierop worden een zestal praktijkbedrijven gevolgd, waaronder bedrijven waar zich meer of minder regelmatig problemen voor doen m.b.t. de verwerkingskwaliteit, om te bezien of de daaruit verkregen resultaten kunnen worden verklaard met de gegevens van het achtergrond onderzoek. Het uiteindelijke doel van het geheel aan onderzoekinspanningen is zodanige besturingen van het bewaarproces te kunnen aangeven dat de verwerkingskwaliteit volledig beheersbaar wordt.
In dit rapport wordt verslag gedaan van de resultaten van het onderzoek op de praktijkbedrijven in seizoen 1993/1994.

### 4.2 MATERIAAL EN METHODEN

Bij het onderzoek van seizoen 1993/1994 waren , evenals in het voorgaande seizoen, zes praktijkbedrijven betrokken. Naast de zes praktijkbedrijven was ook een zgn. schaduwcel op het ATO-DLO proefbedrijf "De Eest" te Nagele (NOP) bij het onderzoek betrokken. In deze cel werd een constante temperatuur van 6.5°C gehandhaafd. De bewaring onder vaste condities in de schaduwcel was bedoeld om vast te kunnen stellen of ontstane problemen met de bakkwaliteit worden veroorzaakt door de bewaring of door de grondstof (partij verschillen).
Op 1 oktober 1993 zijn monsters van het ras Bintje, verbouwd op "De Eest" te Nagele, samengesteld in de sortering 55 - 65 mm. Een deel van deze proefmonsters werd, zo snel

mogelijk tijdens of na het vullen van de bewaarplaats van ieder deelnemend bedrijf, in de bovenste produktlaag ingegraven. Een ander deel van de proefmonsters werd opgeslagen in de schaduwcel.
Van de partij van ieder deelnemend bedrijf werden ook monsters samengesteld. Deze monsters werden deels bij de proefmonsters op het bedrijf zelf en deels in de schaduwcel opgeslagen.
De keuze van opslag van de proef- en bedrijfsmonsters in de bovenste 75 cm van de bulkpartij op ieder deelnemend bedrijf was noodzakelijk uit een oogpunt van bereikbaarheid tijdens het bewaarseizoen. In de schaduwcel werden de netmonsters van de bedrijfspartijen en proefpartij op een laag losgestorte aardappelen gevlijd.
Op 7, 15 en 22 oktober 1993 zijn de monsters op de bedrijven samengesteld en ingelegd en ook in de schaduwcel geplaatst. Op die bedrijven waar direct bij het inschuren een poedervormig kiemremmingsmiddel was toegediend werden de monsters van de proefpartij eveneens met een dergelijk middel behandeld alvorens ze in de betreffende bewaarplaats werden ingegraven. Door de zeer natte bodemomstandigheden en het zeer wisselvallige weer van herfst 1993 verliep het inschuren in de praktijk zeer moeizaam en duurde het vaak 1 - 4 weken voordat een bewaarplaats was gevuld. Er is van uitgegaan om de monsters in te leggen als een bewaarplaats voor meer dan een derde was gevuld.
Alle monsters werden bij het in opslag brengen gewogen. Verdere bepalingen en waarnemingen die tijdens het bewaarseizoen zijn verricht waren:

- Meten en registreren van het temperatuurverloop in de onmiddellijke omgeving van de monsters en op drie meter onder het bovenoppervlak in iedere bewaarplaats, alsmede van de buitenlucht;
- Het wegen van de monsters bij uithalen op ieder monstertijdstip;
- Het bepalen van de bakkleur-index in drievoud per monstertijdstip en zomogelijk bij aanvang opwarming voor afleveren en aan het eind van de aflevering;
- Meten en registreren van het verloop van de $CO_2$ concentratie in de bewaarplaatsen van twee deelnemende bedrijven.
- Meten en registreren van ventilatie-uren en energieverbruik.

De bemonsteringen, zowel op de bedrijven als in de schaduwcel, vonden plaats op het tijdstip van inleggen en vervolgens tot ca. half december '93 om de drie weken, in de periode van half december tot begin maart om de zes weken en daarna tot afleveren weer om de drie weken.

## 4.3 RESULTATEN

### 4.3.1 Algemeen

Herfst 1993 was zeer extreem, met name de maanden augustus, september en oktober waren zeer wisselvallig en regenrijk. Bovendien trad er rond half oktober, toen er nog veel aardappelen in de grond zaten, ook nog een korte periode met vorst aan de grond op. Het rooien en inschuren ondervond van al deze omstandigheden grote vertraging en verliep hierdoor vaak schoksgewijs. Onder druk van de steeds slechter wordende bodemomstandigheden en het voortschrijdende seizoen werd ook wel gerooid bij te lage knoltemperatu-

ren. Er waren deelnemende bedrijven bij waar het vullen van de bewaarplaats, door de geschetste omstandigheden, een maand in beslag nam. Dit kan gemakkelijk leiden tot complicaties bij de uitvoering van een goede droog- en wondheelperiode voor de verschillende charges binnen een bewaarplaats.
Ondanks de beslist niet ideale startpositie zijn, op één uitzondering na, alle partijen toch nog redelijk lang bewaard (tot ca. half mei en langer). Op één bedrijf werd om bedrijfseconomische redenen verladen rond half februari.

### 4.3.2 Temperatuurverloop

Voor ieder deelnemend bedrijf afzonderlijk zijn de temperatuurverlopen in de onmiddellijke omgeving van de monsters, op drie meter diep in de hoop en van de buitenlucht weergegeven in de afbeeldingen 1 t/m 6.
Tussen de temperatuurverlopen van de afzonderlijke bedrijven komen verschillen voor.
Onder andere verschillen in wijze van afkoelen na het drogen/wondhelen; met name op bedrijf 4 verliep dit onregelmatiger (met vrij grote schommelingen) dan op de overige bedrijven.
Verschillen in diepte van afkoelen; met name op bedrijf 3 werd aanvankelijk tot een zeer laag niveau (4°C) afgekoeld. Bij bedrijf 5 daalde de temperatuur tijdens de bewaarperiode regelmatig, kortdurend, tot ca. 5°C. Op bedrijf 1 daarentegen zijn de temperaturen in de nabijheid van de monsters niet beneden de 7°C geweest.
Ook kunnen verschillen worden geconstateerd in temperatuurbeheer gedurende het bewaarseizoen; op bedrijf 1 varieerde de bewaartemperatuur rond 7°C, op bedrijf 2 tussen ca. 6.0 en 7.0°C, op bedrijf 3 tussen 4 en 6.0°C, op bedrijf 4 (op enkele uitschieters naar 5°C na) tussen 6 en 7.0°C, op bedrijf 5 tussen 5 en 7°C en op bedrijf 6 rond 6°C.
Tot slot kan nog worden opgemerkt dat het temperatuurverschil tussen boven (ca. 0.5 m diep) en onder (ca. 3 m diep) in de hoop op de meeste bedrijven zeer gering was. Een uitzondering hierop vormden de bedrijven 2 en 5. Uit tabel 1 kan worden afgeleid dat op deze bedrijven de laagste aantallen draaiuren werden gemeten.

### 4.3.3 Verloop $CO_2$ concentratie op bedrijf 2 en 4

In afbeelding 7 is voor de bewaarplaats van bedrijf 2 het verloop van de $CO_2$ concentratie weergegeven, gemeten boven het produkt, in de onmiddellijke omgeving van de monsters en in het luchtverdeelsysteem. Gedurende het gehele bewaarseizoen blijkt de CO2 concentratie in deze bewaarplaats laag te blijven (< 0.5%). Alleen tijdens de opwarmperiode voor afleveren, waarvoor een oliekachel werd ingezet, blijkt de concentratie op te lopen tot iets boven 0.5%. In seizoen 1992/1993 werden op dit bedrijf ook lage concentraties gemeten maar liep deze tijdens de opwarmperiode op tot bijna 1%. Op dit gegeven heeft deze deelnemer geanticipeerd door tijdens de opwarmperiode, voorjaar 1994, de buitenluiken wat open te zetten om meer verse lucht aan te voeren. Dit heeft geresulteerd in een wat lagere piek.
In afbeelding 8 zijn de gemeten $CO_2$ concentraties op bedrijf 4 weergegeven. In deze bewaarplaats blijken weliswaar hogere concentraties te zijn gemeten dan in die van bedrijf 2, maar ook hier kan nog worden gesproken van een laag niveau. De pieken tussen 0.5 en

0.9% $CO_2$ vallen voornamelijk samen met swing-fog behandelingen. Opvallend is dat de hoogste $CO_2$ pieken vaak boven het produkt worden aangetroffen. Een mogelijke verklaring hiervoor kan liggen in het ventilatiebeleid, mede gezien de ligging van de temperatuurlijnen onder en boven in de stapel (zie afb. 4).

### 4.3.4 Verloop bakkleur-indices tijdens de bewaring

A. *Bedrijfsmonsters bewaard op eigen bedrijven (zie afb. 9)*

Door de uitzonderlijke omstandigheden van herfst 1993 zijn de verschillen bij aanvang wat groter dan in voorgaande jaren. De natte bodemomstandigheden en vooral de periode met lichte vorst rond half oktober, hebben de knoltemperaturen en daarmee het suikergehalte ongunstig beïnvloed. Dit kwam met name bij de laatst gerooide aardappelen tot uiting. Het verschil in bakkleur-index bij aanvang, tussen de relatief vroeg geoogste (laatste week september) partij van bedrijf 2 en de als laatst (na half oktober) geoogste partij van bedrijf 6, kan hieraan worden toegeschreven.
Rond 17 november, het derde bepalingstijdstip, blijkt de bakkleur-index op de bedrijven 3 en 6 relatief het snelst te zijn achteruitgegaan. Ook in de schaduwcel was dit met de partijmonsters van deze bedrijven het geval. Op bedrijf 3 werd na de droog/wondheelperiode tot lage temperaturen (ca. 4°C) afgekoeld. De aardappelen van bedrijf 6 hadden vóór het rooien aan lagere temperaturen blootgestaan. De relatief snelle achteruitgang in bakkleur op deze bedrijven kan worden toegeschreven aan een ophoping van reducerende suikers (koudeverzoeting).
Na half november 1993 kunnen over het verloop van de bakkleur-indices, in relatie tot het gerealiseerde temperatuurbeeld, per bedrijf de volgende opmerkingen worden gemaakt.
**Bedrijf 1 :**
Op dit bedrijf werd de bewaarplaats gevuld in de periode van ca. 20 september tot 15 oktober 1993.
De bakkleur-index is geleidelijk teruggelopen naar een index van 4 en heeft zich daarop gestabiliseerd. Een verdere achteruitgang is waarschijnlijk uitgebleven door handhaving van een bewaartemperatuur van rond 7.0°C (zie afbeelding 1). Om handelstechnische redenen werden de aardappelen in de periode van 14 tot 18 februari 1994 afgezet. Hiervoor werd vanaf eind januari opgewarmd tot ca. 15°C. Deze temperatuurverhoging heeft tot gevolg gehad dat nog wat reducerende suikers zijn weggewerkt. De uiteindelijke bakkleur-index bij afleveren bedroeg 3.8.
**Bedrijf 2 :**
Op dit bedrijf is de bewaarplaats gevuld in de laatste week van september 1993.
Na het drogen/wondhelen werd geleidelijk afgekoeld waarna een temperatuurniveau tussen 6 en 7°C werd gehandhaafd. In maart/april/begin mei is een wat wisselender temperatuurverloop tussen 7 en 9°C opgetreden (zie afbeelding 2).
Na het inschuren is de bakkleur zeer geleidelijk achteruitgegaan en heeft zich tenslotte gestabiliseerd op een index van rond 3.5.
Vanaf 9 mei is geforceerd opgewarmd naar 11 à 12°C en vanaf 11 mei is met afleveren begonnen. De gemiddelde kleur-index bij afleveren bedroeg 3.7. Rond half april 1994 ontstond de indruk dat de partij ging verouderen. Uit het feit dat de reactie op de temperatuurverhoging niet negatief was mag worden afgeleid dat deze indruk kennelijk niet juist was.

**Bedrijf 3 :**
Op dit bedrijf werd de bewaarplaats gevuld in de periode van ca. 1 tot 11 oktober 1993. Na drogen/wondhelen vond een geleidelijke afkoeling plaats naar ca. 4°C. Tot ca. half februari werd bewaard tussen 4 en 5°C. Daarna werd een niveau van rond 6.0°C gehandhaafd tot begin mei, waarna een forse temperatuurstoot tot boven 10°C is opgetreden. Vanaf ca. half juni is de temperatuur verhoogd tot boven 15°C en op 27 juni werd met ruimen begonnen (zie afbeelding 3).
De bakkleur-index is door suikerophoping als gevolg van de lage temperatuur geleidelijk teruggelopen naar een niveau van 5. Door de hogere bewaartemperatuur vanaf ca. half februari heeft de kleur-index zich vanaf begin maart gestabiliseerd op 5. De opwarming vóór afleveren heeft nog wel een licht positief effect gehad maar dit was onvoldoende in relatie tot de lange verblijfsduur bij voor dit ras (Bintje) te lage bewaartemperaturen. De uiteindelijke bakkleur-index bij afleveren lag rond 5.2.
**Bedrijf 4 :**
In tegenstelling tot alle andere bedrijven zijn hier aardappelen van het ras Agria bewaard. Het inschuren vond plaats in de periode eind september tot eind oktober '93.
Na een, als gevolg van de zeer lange inschuurperiode, zeer grillig temperatuurbeeld tot ca. half november werd bewaard bij 6 à 7°C. In mei werd het temperatuurbeeld wederom wat grillig (zie afbeelding 4). Vanaf ca. 10 juni heeft men via ventilatie met buitenlucht de temperatuur op laten lopen tot ca. 13°C en op 17 juni werd met afleveren begonnen.
De bakkleur-index van de Agria's heeft zich rond 3.5 gestabiliseerd. Bij ruimen bedroeg de gemiddelde kleur-index van de partij 3.2.
Uit achtergrond onderzoek op ATO-DLO is bekend dat Agria's minder gevoelig zijn voor lage temperaturen dan Bintjes. Hieraan kan waarschijnlijk worden toegeschreven dat, ondanks de aanvankelijk vrij lage bewaartemperaturen, de bakkleur zich op een acceptabel niveau kon handhaven.
**Bedrijf 5 :**
Op dit bedrijf werd ingeschuurd in de periode van 21 september tot ca. 22 oktober '93. Door storing in de apparatuur kan geen goed beeld worden verkregen van de afkoelperiode. De periode november tot april geeft een vrij onrustig temperatuurbeeld te zien tussen 5 en ca. 7.0°C. Vanaf eind maart is de temperatuur geleidelijk wat verhoogd tot 6 à 7°C met een uitschieter boven 10°C. Vanaf ca. 10 juni heeft men via ventilatie met buitenlucht de temperatuur laten oplopen tot ca. 15°C (zie afbeelding 5). In de periode rond 15 juni werd afgeleverd.
De bakkleur-index vertoont een geleidelijke achteruitgang tot boven 4. Dit kan worden toegeschreven aan ophoping van reducerende suikers als gevolg van de relatief lage bewaartemperatuur. De lichte verbetering die later in het seizoen optrad is waarschijnlijk een gevolg van de temperatuurverhoging in maart. Bij afleveren bedroeg de gemiddelde kleur-index uiteindelijk 4.
**Bedrijf 6 :**
Op dit bedrijf werd de bewaarcel gevuld in de periode van 19 tot 27 oktober '93.
Na een wat onregelmatig verlopen afkoeling tot ca. 5.5°C werd een bewaartemperatuur van rond de 6°C gerealiseerd (zie afbeelding 6). Vanaf ca. 4 mei is aangevangen met opwarmen, aanvankelijk met buitenlucht en daarna met behulp van een oliekachel. Op 10 mei werd één vracht geladen en van 16 tot 18 mei de rest.
Dat de bakkleur-index aanvankelijk snel terugliep tot boven 4 kan worden toegeschreven aan de koude periode vóór de oogst. De uiteindelijke achteruitgang tussen begin opwarming en ruimen zal waarschijnlijk zijn veroorzaakt door veroudering als gevolg van de vrij langdurige opwarming tot vrij hoge temperaturen in deze periode.

**B.** *Bedrijfsmonsters bewaard in schaduwcel* (zie afbeelding 10)
In afbeelding 10 is het verloop van de bakkleur-index gegeven van de bedrijfspartijen Bintje, alle bewaard onder gelijke omstandigheden in de schaduwcel bij constant 6.5°C.
De onderlinge verschillen tussen de partijen Bintjes van de bedrijven blijken weliswaar gering te zijn, maar toch lijkt een opsplitsing plaats te vinden in twee groepen. De bakkleur van de bedrijven 1, 3 en 6 beweegt zich rond een index van 4 en die van de bedrijven 2, 5 en 7 rond 3.5.
Bij vergelijking van het verloop van de bakkleur van de bedrijfsmonsters uit dezelfde groep, maar dan bewaard op de bedrijven (zie afb. 9), blijkt er tussen de monsters van bedrijf 2 en 5 een verschil in index van ca. één punt op te treden. Tussen die van bedrijf 3 en 6, van de andere groep, een verschil van ca. drie kwart punt en tussen die van bedrijf 2 en 3 (uit verschillende groepen) een verschil van ≥ 1 punt. Kijkend naar het temperatuurbeleid op de bedrijven kan dit waarschijnlijk worden toegeschreven aan temperatuureffecten. De invloed van de bewaring (ventilatie- en temperatuurbeleid) is dus groter dan van de partij.
Tot slot kan worden opgemerkt dat een constante bewaartemperatuur van 6 à 6.5°C voor Bintje over het algemeen aan de krappe kant is m.b.t. een goede bakkleur.

**C.** *Proefmonsters bewaard op de bedrijven* (zie afbeelding 11)
In afbeelding 11 is het verloop van de bakkleur-index gegeven van de monsters van de proefpartij die op de deelnemende bedrijven zijn bewaard.
Uit vergelijking van afbeelding 9 en 11 kan worden afgeleid dat het verloop van de bakkleur van de proefpartij vrij goed overeenstemt met de bedrijfspartij per bedrijf.
Dat op bedrijf 4 het verloop van de proefpartij afwijkt van de bedrijfspartij komt door het rasverschil. De bedrijfspartij is van het ras Agria en de proefpartij van het ras Bintje. Voor Bintje was het temperatuurniveau op bedrijf 4 te laag.

### 4.3.5 Verloop van de gewichtsverliezen

Daar het niet uitvoerbaar is bij alle bedrijven in exact hetzelfde stadium van de bewaring, bijvoorbeeld juist bij aanvang van het drogen/wondhelen, met de metingen aan te vangen kunnen uit de verzamelde gegevens m.b.t. de gewichtsverliezen slechts tendenzen worden afgeleid en geen absolute niveaus. Zeker in herfst 1993, toen over het algemeen het inschuren per bedrijf over een langere periode verliep, kon niet worden voorkomen dat er variaties in uitgangssituatie ontstonden. Er waren bedrijven bij waar op het tijdstip van inleggen van de monsters de hele bewaarplaats was gevuld, maar ook waar de bewaarplaats nog niet tot de helft vol was.
Gewichtsverliezen worden voornamelijk veroorzaakt door verdamping = vochtafgifte. De vochtafgifte wordt voornamelijk bepaald door de vochtdoorlatendheid van de schil en door het verschil in interne dampspanning van de aardappelen en de dampspanning van de omgevingslucht. Naarmate het dampspanningsverschil tussen de knollen en de omringende lucht groter is treedt meer vochtafgifte (gewichtsverlies) op. Bij de gebruikelijke vertikale beluchtingssystemen (ventilatie van onder naar boven) zijn de dampspanningsverschillen boven in de stapel (waar de monsters liggen) altijd het kleinst.
In de afbeeldingen 12 en 13 is het verloop van de gewichtsverliezen van de bedrijfsmonsters en van de proefmonsters, bewaard op de bedrijven, weergegeven.
Op de bedrijven zijn de monsters, i.v.m. de bereikbaarheid tijdens het bewaarseizoen,

boven in de stapels bewaard. Voor wat betreft de bedrijfspartijen geldt dat ze in de regel nat, vrij sterk verontreinigd met grond en met een lagere temperatuur werden ingeschuurd en dat gezien de hoge opbrengsten vrij hoog werd gestort (minder ventilatiecapaciteit). In dergelijke situaties kan het vrij lang duren eer de aardappelen boven in de stapel droog zijn. In afbeelding 12 zien we dan ook pas op het tweede bepalingstijdstip (rond 17 november) een stijging van de gewichtsverliezen. Na een lichte terugval, na de droogperiode, als gevolg van het weer vochtiger worden van het produkt boven in de stapel (evenwichtstoestand) zien we een zeer geleidelijke stijging van de gewichtsverliezen optreden met het voortschrijden van het bewaarseizoen. Het niveau blijft laag, stijging van betekenis gaat pas optreden in april/mei als gevolg van spruiting. Spruiten zijn namelijk veel doorlatender voor vocht dan een goede, intakte schil.
De monsters van de proefpartij die op de bedrijven werden bewaard (afbeelding 13) waren eerder geoogst, vrij droog en goed afgehard bij inleggen. Hier was het eerste verlies (droogverlies) al grotendeels opgetreden voordat met de metingen werd aangevangen. Ook hier is sprake van enige mate van herbevochtiging en een dalende tendens in gewichtsverliezen na het drogen. Duidelijk is ook te zien dat bij goed gewondheelde partijen de gewichtsverliezen slechts zeer weinig toenemen in de tijd zolang er geen sprake is van spruiting.
De gewichtsverliezen van de monsters van de bedrijfspartijen Bintje bewaard in de schaduwcel (afbeelding 14) geven een zelfde tendens te zien als bij bewaring op de bedrijven, alleen het niveau van de verliezen ligt hoger. In de schaduwcel werden alle monsters onder dezelfde condities bewaard, namelijk bij constant 6.5°C. De schaduwcel werd mechanisch gekoeld. Hierdoor heerste vanaf het begin in deze cel een groter dampspanningsverschil tussen de knollen en de omringende lucht. Als gevolg daarvan had op het eerste bemonsteringstijdstip al een aanzienlijk grotere vochtafgifte (gewichtsverlies) plaatsgevonden dan op de praktijkbedrijven. Met name bij de monsters die het eerst (7 en 15 oktober, bedrijf 1, 2 en 3) werden ingelegd en op het eerste bepalingstijdstip (27 oktober) al het langst onder drogere omstandigheden waren bewaard. Daarna zien we ook in deze cel een geleidelijke toename van de gewichtsverliezen bij toenemende bewaarduur.

### 4.3.6 Draaiuren ventilatoren en energieverbruik

Getracht is om over een zo groot mogelijk deel van de bewaarperiode het aantal draaiuren van de ventilatoren en het bijbehorende energieverbruik te meten per deelnemend bedrijf. Hierin werd redelijk geslaagd want uiteindelijk bleken de metingen, gemiddeld over de zes bedrijven, ca. 94% van de totale bewaarduur te bestrijken.
Ten aanzien van het meten van de draaiuren kan nog worden opgemerkt dat hieruit niet met zekerheid kan worden afgeleid of het om interne danwel externe ventilatie ging, of om gemengde binnen-/buitenlucht koeling.
Op basis van de metingen zijn per bedrijf het gemiddeld aantal draaiuren per ventilator per dag en het energieverbruik in kWh/ton.maand uitgerekend en samengevat in tabel 1.

**Tabel 1:** Overzicht per bedrijf betreffende tonnage, bewaarduur, draaiuren en energieverbruik.

| Bedrijf nr. | Tonnage (ton) | Bewaarduur (mnd) | Gem. aantal draaiuren/ventilator/dag | Energieverbruik/ton/maand (kWh/ton.mnd) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1250 | 5.0 (4.0) | 6.4 (3.5) | 2.97 (1.79) |
| 2 | 375 | 7.5 (6.6) | 1.5 (1.0) | 1.27 (1.25) |
| 3 | 1000 | 9.0 (7.0) | 4.4 (3.2) | 2.64 (1.89) |
| 4 | 1900 | 8.5 (8.0) | 2.6 (1.1) | 1.71 (0.86) |
| 5* | 1150 | 8.0 (4.9) | 2.0 (2.2) | 1.42 (1.64) |
| 6 | 650 | 7.0 (8.9) | 6.7 (2.0) | 5.18 (1.84) |

( ) zijn waarden van seizoen 1992/1993 voor dezelfde bedrijven.

* Door storing in meetapparatuur van de eerste periode in herfst '93 minder metingen. Gegevens betreffende draaiuren en energieverbruik van dit bedrijf dus minder goed vergelijkbaar met dat van de andere bedrijven.

Uit tabel 1 kan worden afgeleid dat de aantallen draaiuren en het energieverbruik in seizoen 1993/1994 op de meeste bedrijven aanzienlijk groter waren dan in seizoen 1992/1993. Als oorzaken hiervoor kunnen worden genoemd de natte oogstomstandigheden die goed drogen noodzakelijk maakte, de over het algemeen lange inschuurperiode en het feit dat over het algemeen tot verder in het voorjaar werd bewaard.
Op de bedrijven 1, 3, 4 en 6 waar grotendeels in de natste (en ook wel koudere) periode werd geoogst en waar, m.u.v. bedrijf 1, tot vrij ver in het voorjaar werd bewaard zijn in oktober/november en in de maand van ruimen de meeste draaiuren en het hoogste energieverbruik gemeten. Op genoemde bedrijven varieerde het hogere energieverbruik t.o.v. '92/'93 van 140 tot 280%.
Evenals in seizoen 1992/1993 is het moeilijk uit de verzamelde meetgegevens een verband tussen energieverbruik en bakkwaliteit af te leiden. Zowel bij de bedrijven met lagere als met hogere energieverbruiken worden partijen met nog acceptabele en onacceptabele bakkleur-indices aangetroffen. De kwaliteit bij inschuren in samenhang met het ventilatie- en temperatuurbeleid lijken de belangrijkste factoren te zijn die de uiteindelijke kwaliteit bepalen.

## 4.4. SAMENVATTING

In seizoen 1993/1994 werd de bewaring op een zestal praktijkbedrijven gevolgd waarbij de aandacht met name was gericht op het verloop van de bewaartemperatuur en de bakkleur-index.
Op deze bedrijven werden ook monsters van een proefpartij Bintje, afkomstig van één herkomst, bewaard. Tevens werden monsters van de proefpartij en van de bedrijfspartijen bewaard in een zogenaamde schaduwcel bij ca. 6.5°C constant. Op twee van de deelnemende bedrijven werd ook het verloop van de $CO_2$ concentratie in de bewaarplaats gemeten.
Het onderzoek liep van begin oktober 1993 tot ca.eind juni 1994. Er werd naar gestreefd om de monsters zo snel mogelijk na het inschuren in de verschillende bewaarplaatsen in te graven en met de temperatuur-, CO2- en kwaliteitsmetingen te starten. Door het zeer wisselvallige weer van herfst 1993, de natte bodemomstandigheden en een korte periode met vorst rond half oktober verliep het inschuren in de praktijk zeer moeizaam. Inschuurperioden van twee tot vier weken per bewaarplaats waren dan ook geen uitzondering. Ondanks de beslist niet ideale startpositie zijn op één uitzondering na alle partijen toch nog redelijk lang bewaard (tot half mei en langer).

Tussen de gemeten temperatuurverlopen op de verschillende bedrijven kwamen verschillen voor ten aanzien van de wijze van afkoelen na drogen/wondhelen, de diepte van afkoelen en in temperatuurbeheer gedurende het bewaarseizoen.

CO2 metingen in een doorsnee bewaarplaats en in een zeer dichte bewaarplaats gaven geringere verschillen in $CO_2$ concentratie te zien dan in seizoen 1992/1993. In de doorsnee bewaarplaats bleef de $CO_2$ concentratie steeds laag (0.1 tot maximaal 0.5%). Alleen gedurende de opwarming voor afleveren, waarvoor een oliekachel werd ingezet, liep de concentratie kortdurend op tot iets boven 0.5%.
In de dichte bewaarplaats werden weliswaar hogere concentraties gemeten dan op het doorsnee bedrijf maar ook hier kan de gemiddeld gemeten concentratie bij de monsters nog als vrij laag worden gekwalificeerd. De pieken boven 0.5% vielen voornamelijk samen met swing-fog behandelingen. De lagere concentraties t.o.v. seizoen 1992/1993 zijn mogelijk veroorzaakt door een gewijzigd ventilatiepatroon (andere bewaarder dan vorig seizoen) en door het ras (Agria i.p.v. Bintje).

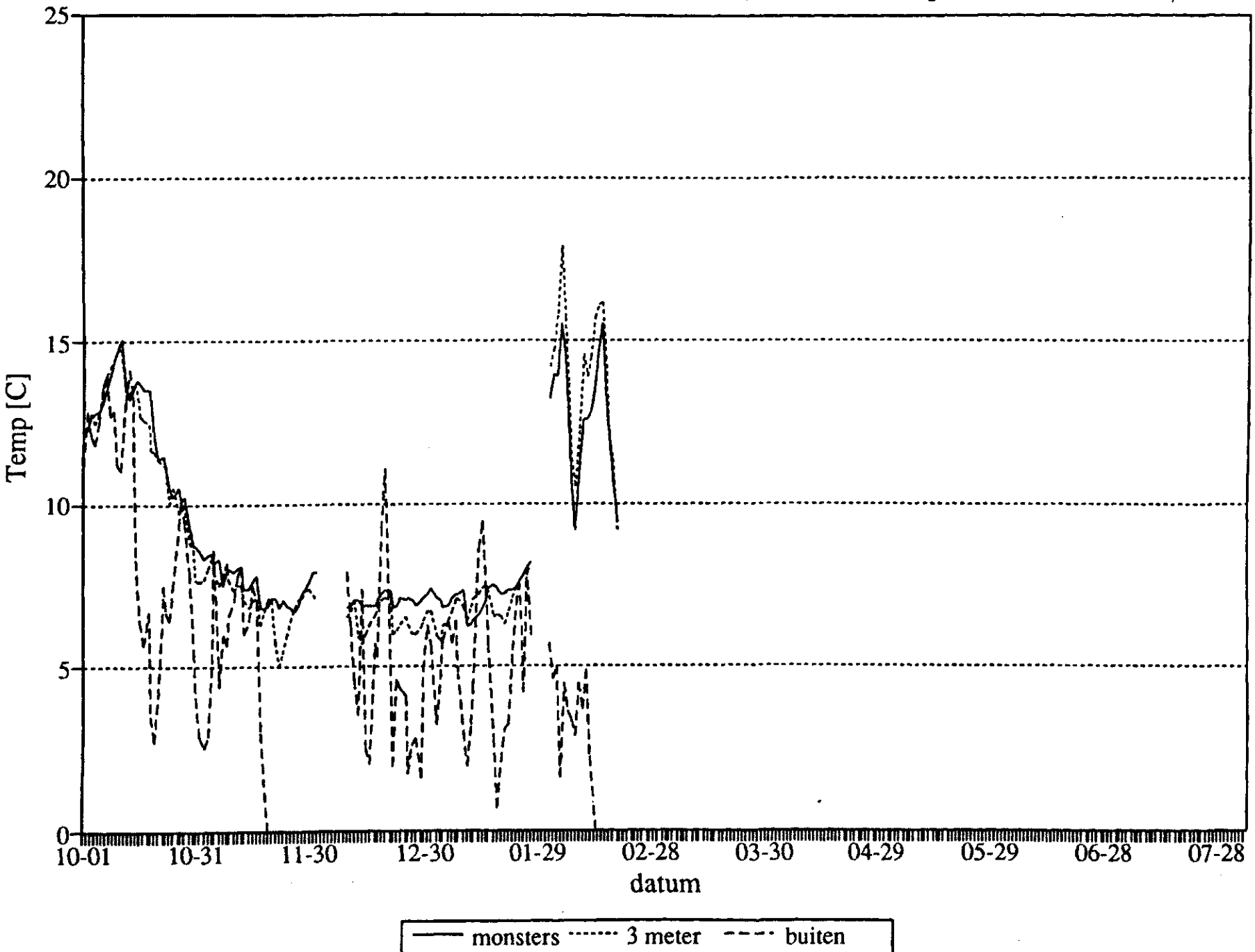
In het verloop van de bakkleur op de bedrijven traden verschillen op die kunnen worden verklaard door het gerealiseerde temperatuurbeleid per bedrijf. Ook dit seizoen bleek de invloed van het gevoerde bewaarbeleid groter te zijn op de verwerkingskwaliteit dan van de partijen.
Bij afleveren, tussen eind februari en eind juni, was de gemiddelde bakkleur-index op vier bedrijven nog acceptabel Van de twee bedrijven waarvan de bakkleur-index onacceptabel was kan dit enerzijds worden toegeschreven aan een te grote mate van koudeverzoeting, terwijl op het andere bedrijf de oorzaak in veroudering moet worden gezocht.

Omdat het niet mogelijk is exact bij aanvang van de bewaring de monsters per bedrijf te hebben ingelegd en met de metingen te starten kunnen uit de verzamelde gegevens m.b.t. de gewichtsverliezen slechts tendenzen worden afgeleid.
Dit seizoen kwam duidelijk naar voren dat het onder vrij extreme omstandigheden vrij lang kan duren eer het produkt boven in de stapel droog is. Verder bleek duidelijk dat bij

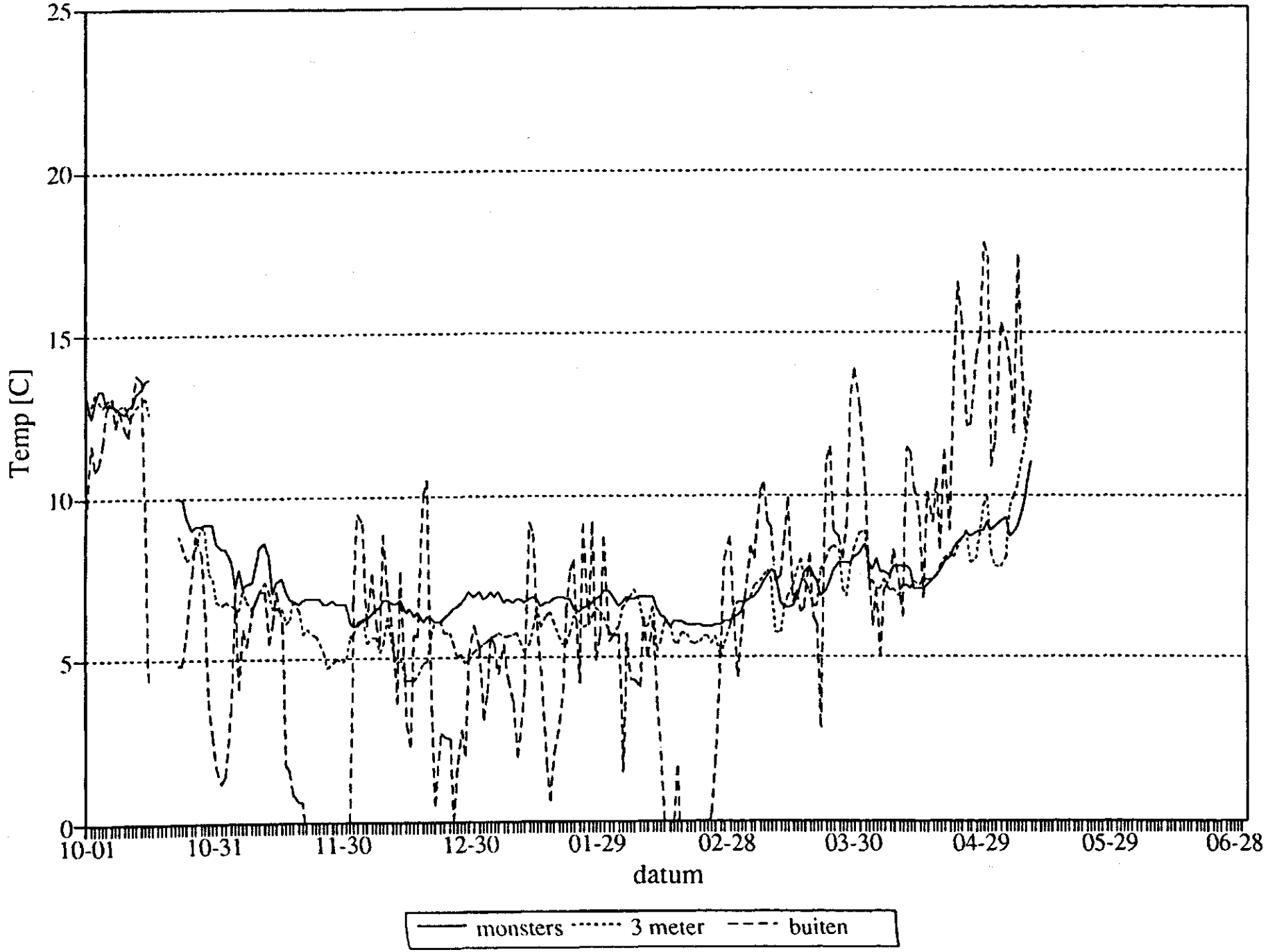
goed afgeharde partijen die een goede wondheling hebben gehad de gewichtsverliezen tijdens de bewaring slechts zeer weinig toenemen zolang er geen sprake is van spruiting. De epidermis van spruiten is veel doorlatender voor vocht dan de schil van de aardappel. Uit de bewaring in een mechanisch gekoelde (schaduw)cel kon duidelijk worden afgeleid dat bewaring onder drogere omstandigheden de vochtafgifte en dus het ontstaan van gewichtsverliezen bevordert.

Het aantal draaiuren en het energieverbruik was op de meeste bedrijven in seizoen 1993/1994 aanzienlijk groter dan in seizoen 1992/1993. Dit kan worden toegeschreven aan de natte oogstomstandigheden die goed drogen noodzakelijk maakte, de over het algemeen lange inschuurperiode en aan het feit dat tot verder in het voorjaar werd bewaard.
Uit de verzamelde gegevens kan moeilijk een verband tussen energieverbruik en bakkwaliteit worden afgeleid. Zowel bij bedrijven met lagere als met hogere energieverbruiken werden partijen met nog acceptabele en onacceptabele bakkleur-indices aangetroffen.

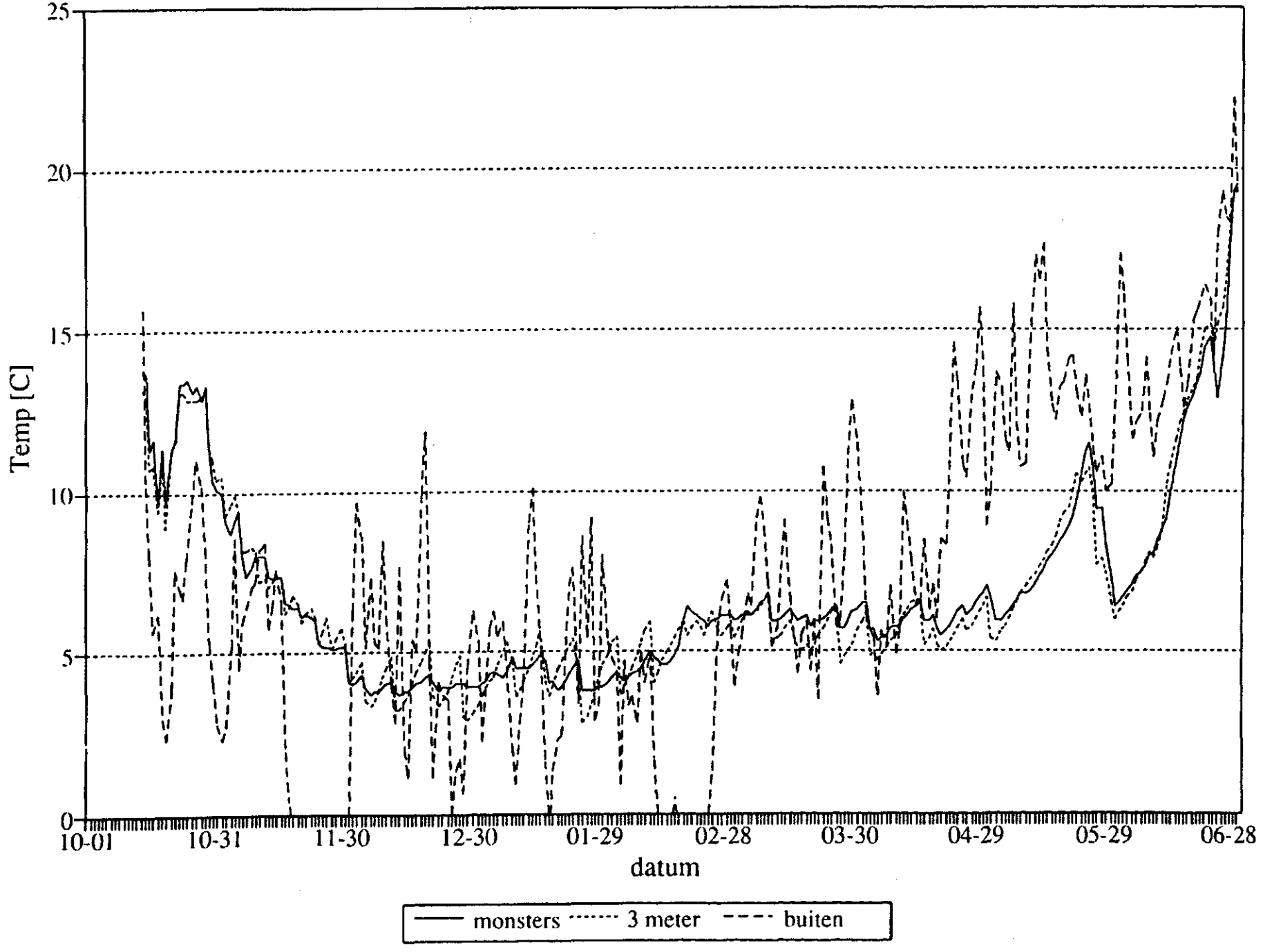
**AFBEELDING 1: TEMPERATUURVERLOOP OP BEDRIJF 1**



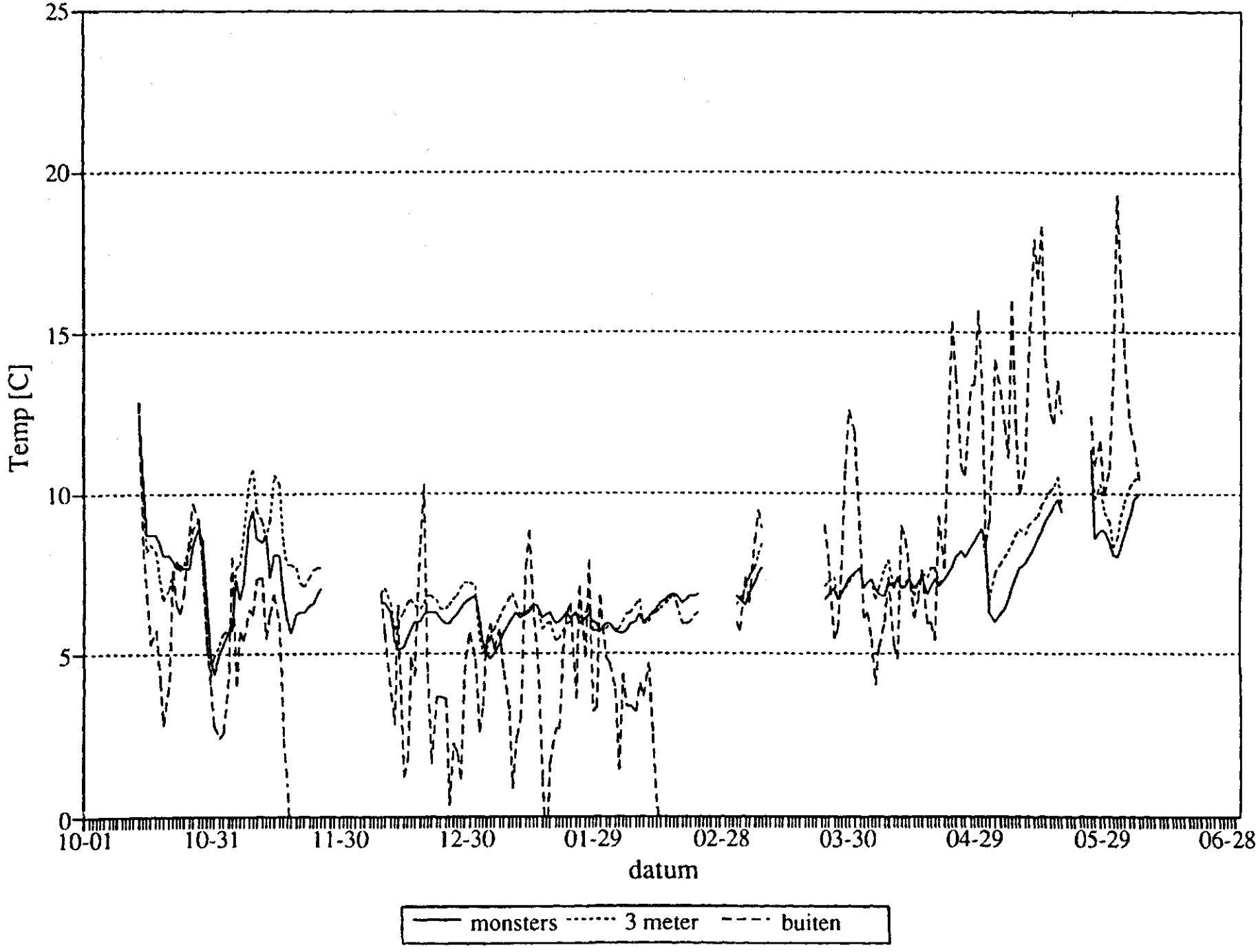
**AFBEELDING 2: TEMPERATUURVERLOOP OP BEDRIJF 2**



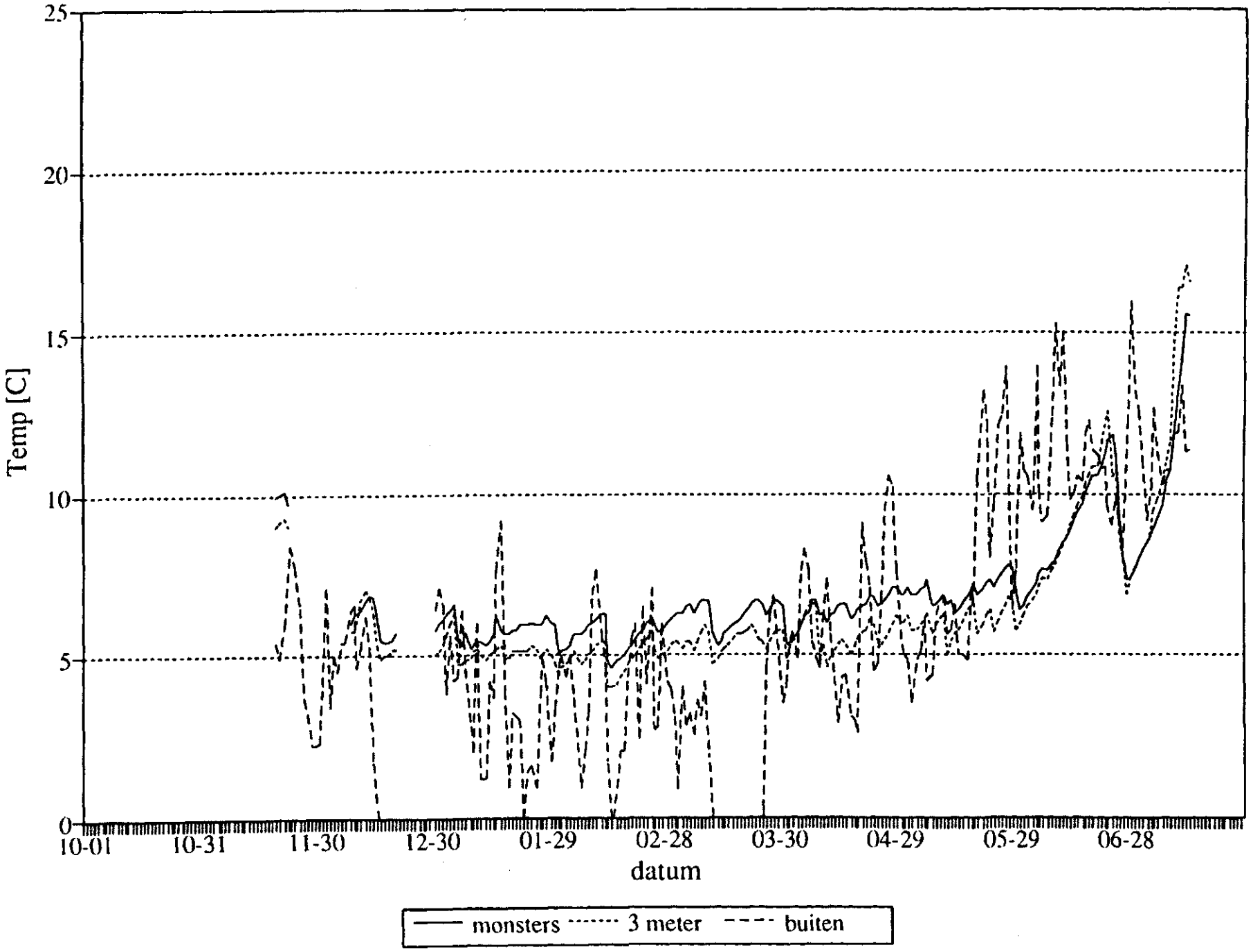
**AFBEELDING 3: TEMPERATUURVERLOOP OP BEDRIJF 3**



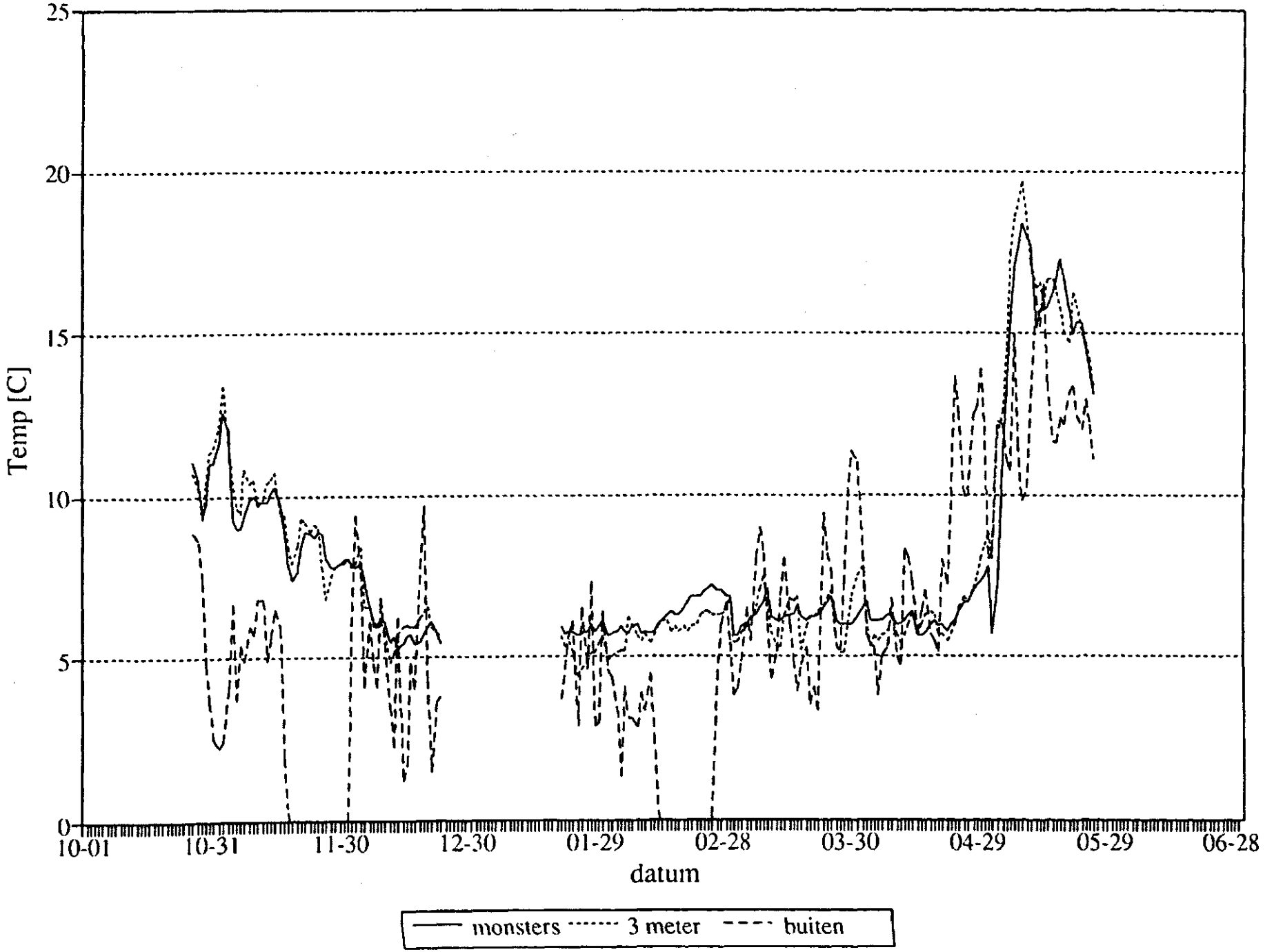
**AFBEELDING 4: TEMPERATUURVERLOOP OP BEDRIJF 4**



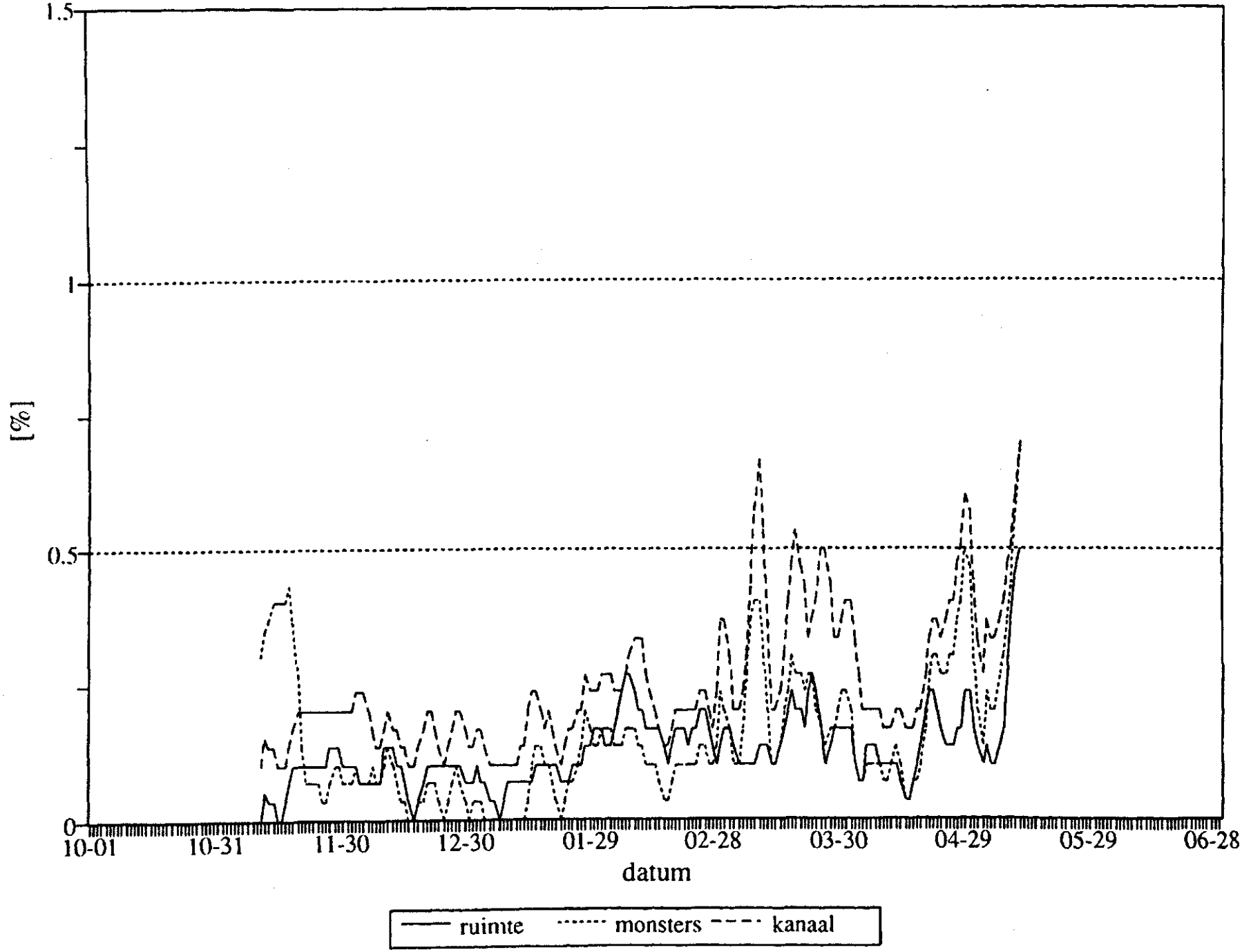
**AFBEELDING 5: TEMPERATUURVERLOOP OP BEDRIJF 5**



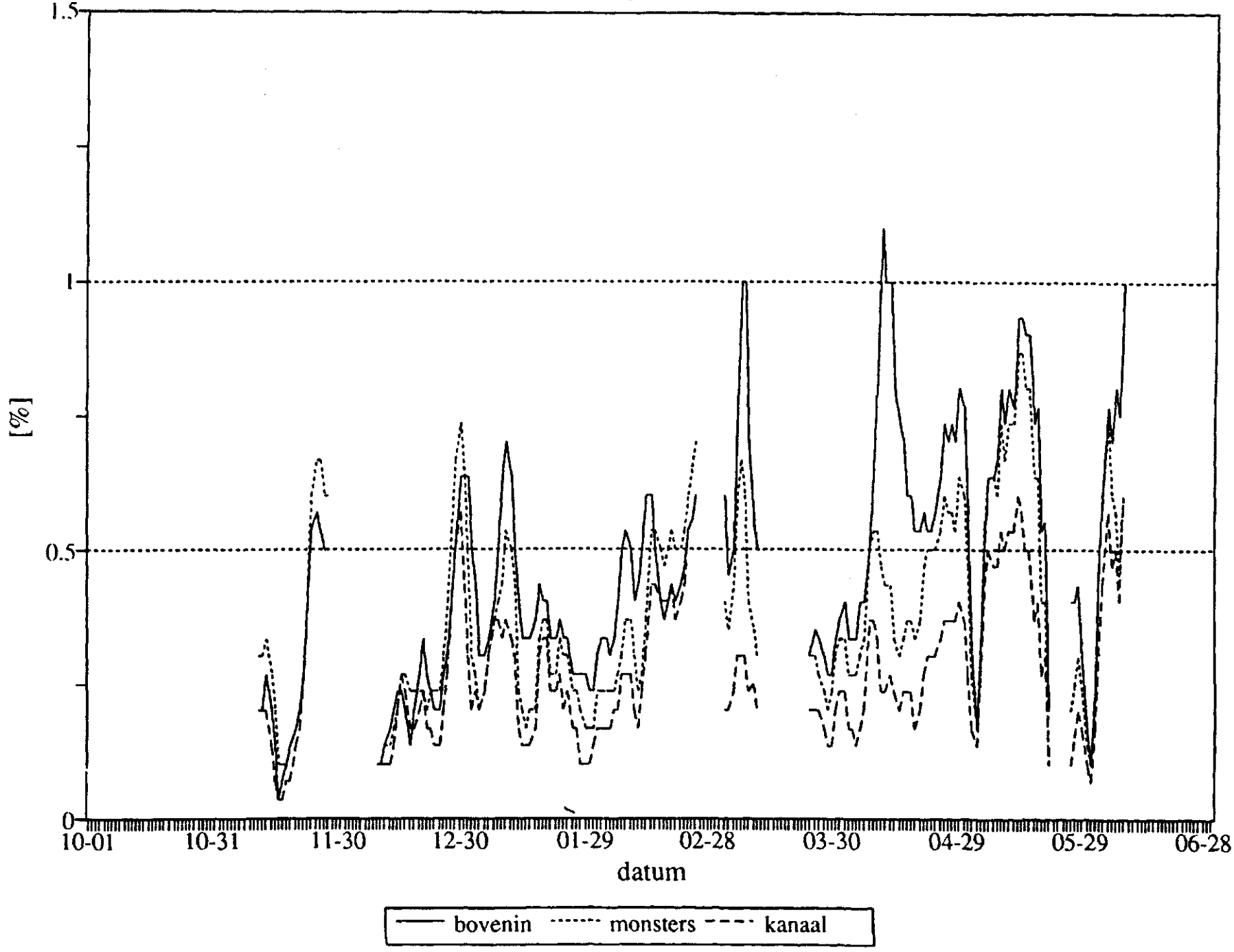
**AFBEELDING 6: TEMPERATUURVERLOOP OP BEDRIJF 6**



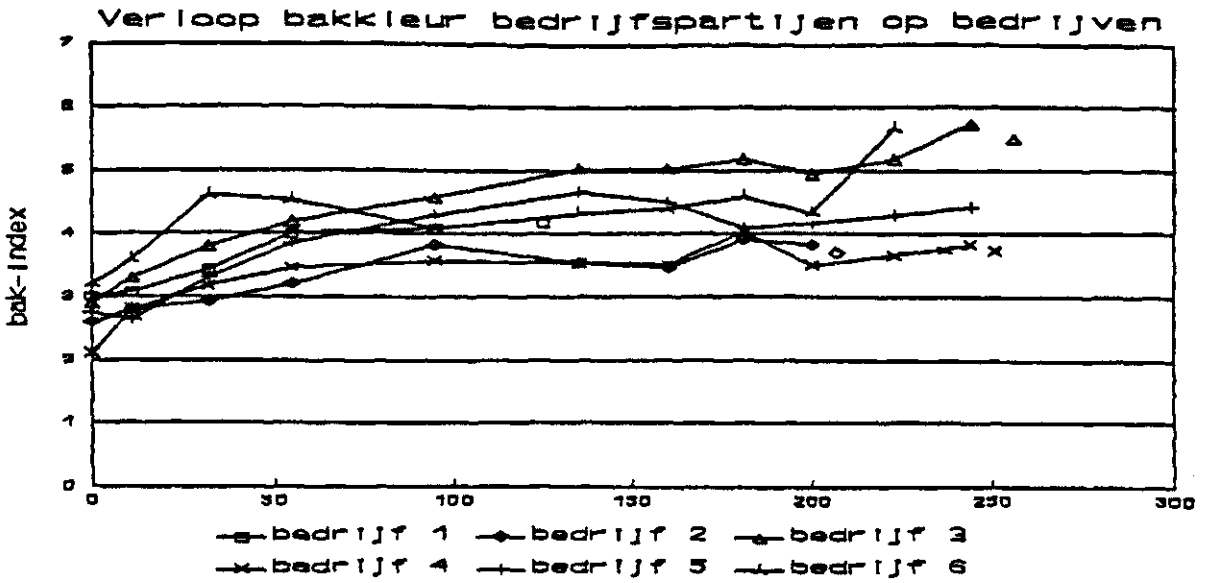
**AFBEELDING 7: VERLOOP $CO_2$ CONCENTRATIE OP BEDRIJF 2**



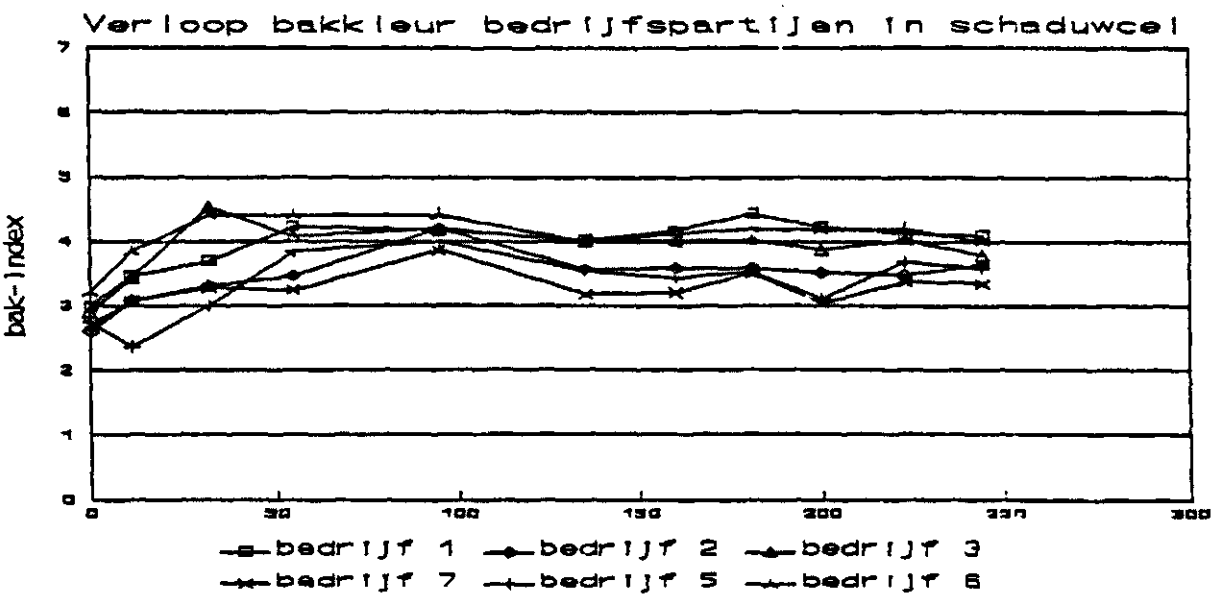
**AFBEELDING 8: VERLOOP $CO_2$ CONCENTRATIE OP BEDRIJF 4**



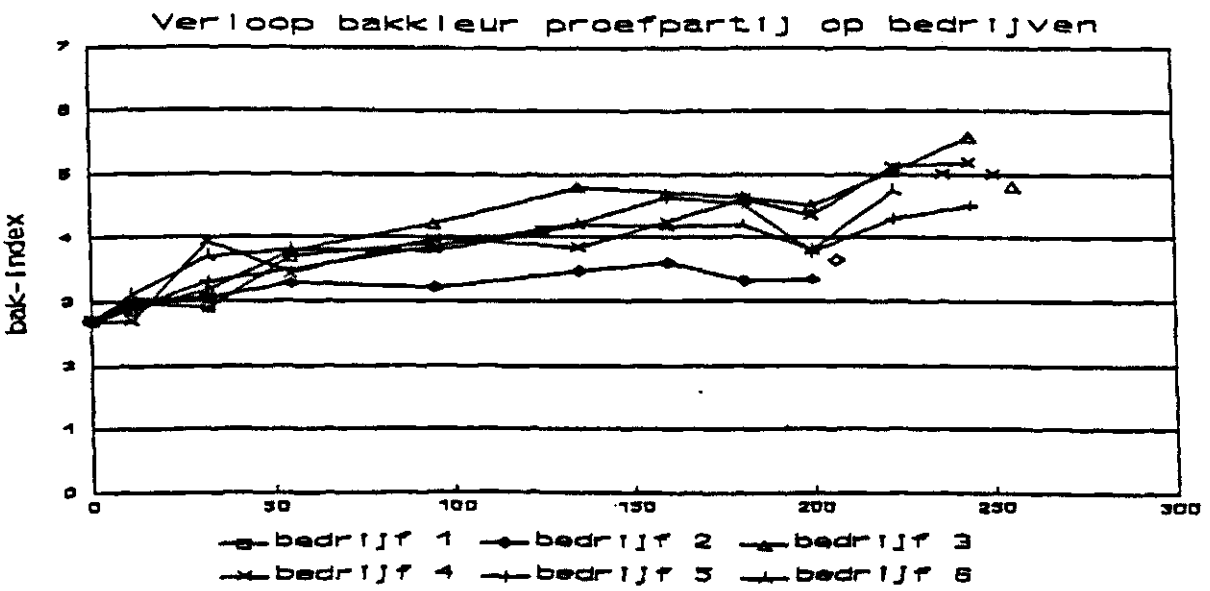
AFB.9



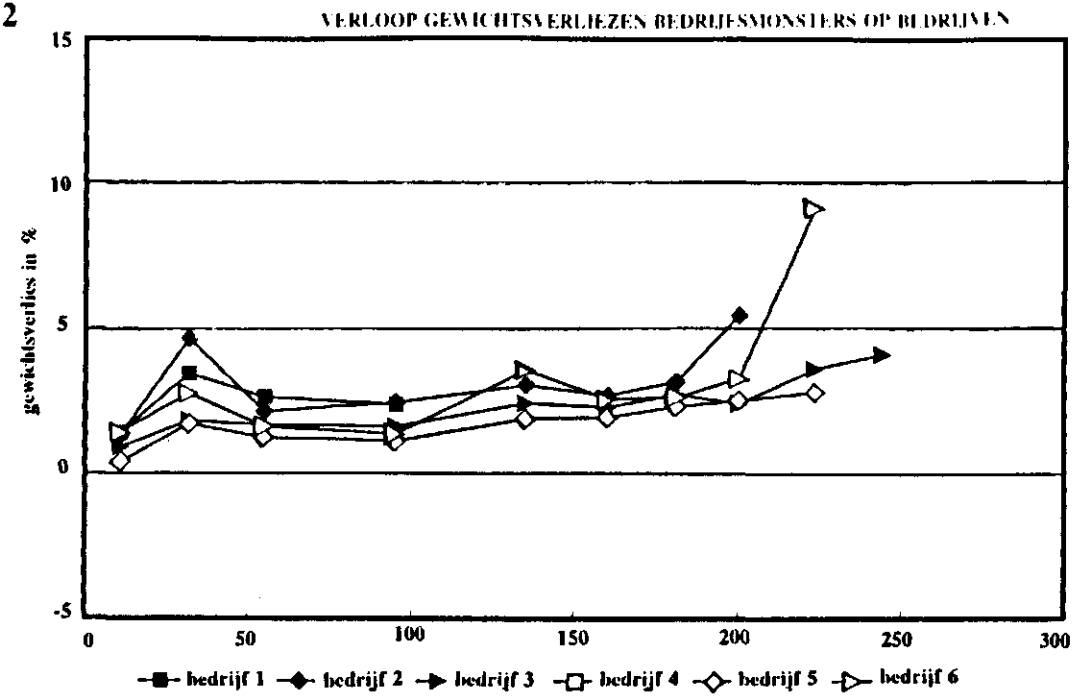

AFB. 10



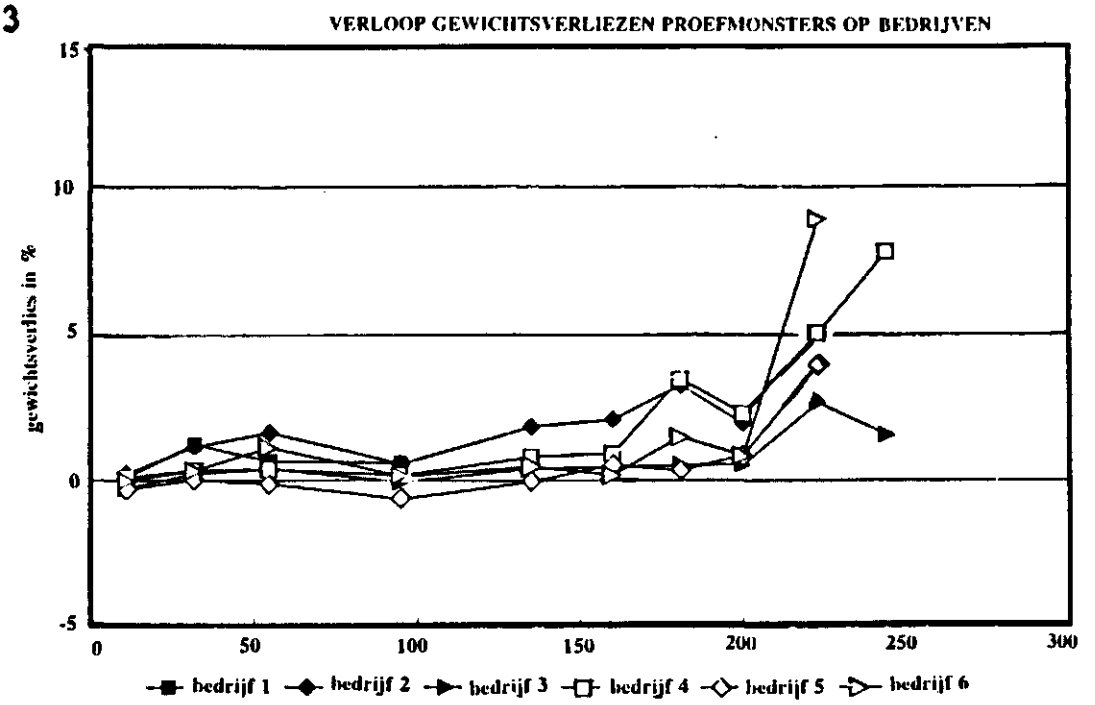

AFB. 11

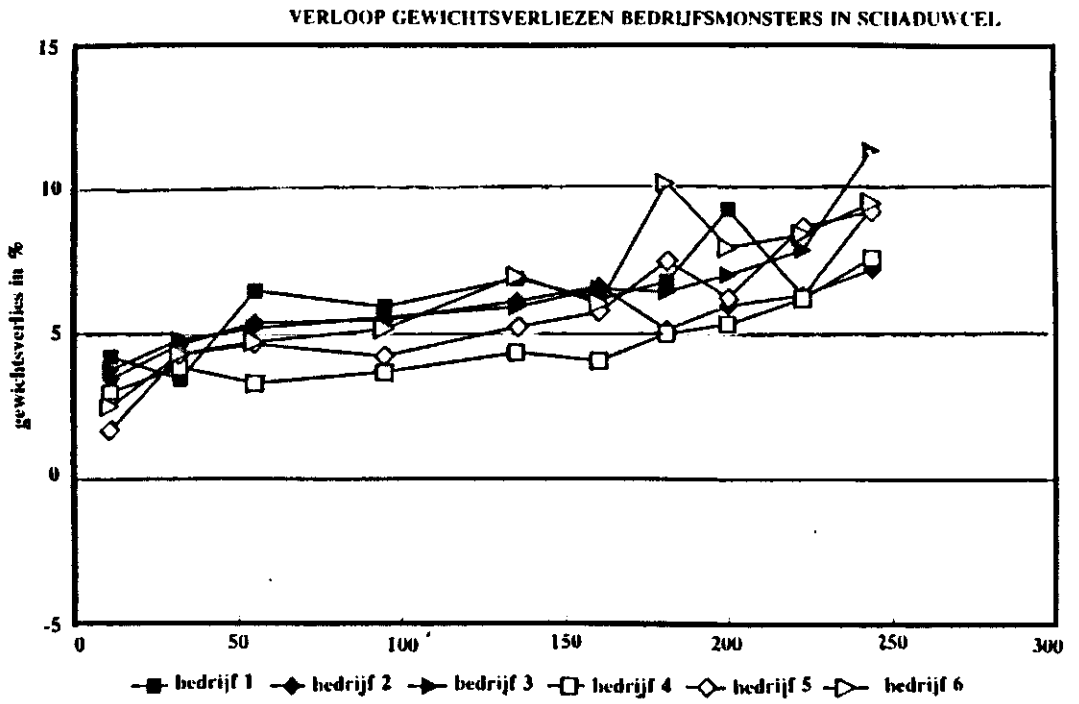


AFB. 12




AFB. 13




AFB. 14