

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



A185  
**MODEM**

**Modelgebaseerde Regeling voor  
Optimale Aardappelbewaring**

**Voortgangsrapportage januari-juni 1998**

P. Hak  
G. Verdijck  
M. Hertog

**VERTROUWELIJK**

Rapport B347 / Juli 1998



ato-dlo



ato-dlo

# MODEM

Modelgebaseerde Regeling voor  
Optimale Aardappelbewaring

Voortgangsrapportage januari-juni 1998

VERTROUWELIJK

projectleider	M. Hertog
projectgroep	P. Hak M. Hoving G. van der Kolk J. van Maldegem G. Verdijck
medewerkers	R. Bons W. van Kleef M. van Ooijen H. Sewtahal K. Sinke
eindverantwoordelijke	C. Ceton

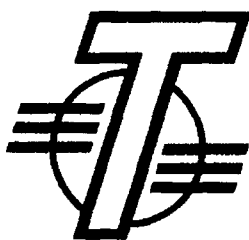
**Agrotechnological  
Research Institute  
(ATO-DLO)**  
Bornsesteeg 59  
P.O. Box 17  
NL-6700 AA Wageningen  
The Netherlands  
Telephone: 31.317.475000  
Fax: 31.317.475347

Research on:  
post harvest physiology  
and quality parameters  
storage and cell and  
molecular biology  
product development  
logistic expert systems and  
computer image analyses

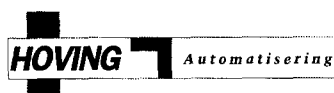
2251653

# MODEM

Modelgebaseerde Regeling voor Optimale Aardappelbewaring



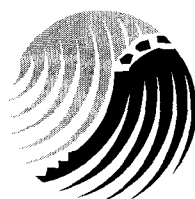
**Tolsma Techniek b.v.**  
Postbus 165  
8300 AD Emmeloord



**Hoving Automatisering**  
Reigerweg 21  
3897 Zeewolde



**Dacom Automatisering**  
Postbus 2243  
7801 CE Emmen



**ato-dlo**  
Postbus 17  
6700 AA Wageningen

een project gesubsidieerd door

**SENER**

Den Haag

onder projectnummer

ITU96007

## Inhoud

	<i>Blz.</i>
<b>1 Doel van het project</b>	<b>3</b>
1.2 Doelstelling .....	3
<b>2 Projectplanning</b>	<b>4</b>
<b>3 Resultaten januari - juni 1998</b>	<b>6</b>
<b>4 Productmetingen</b>	<b>7</b>
4.1 Inleiding .....	7
4.2 Seizoen 1997-1998 .....	7
4.2.1 Praktijkpartijen: bewaarexperimenten op ATO .....	7
4.2.2 Praktijkpartijen: bewaarexperimenten op twee bedrijven.....	8
4.2.3 Oogstijdstippenproef: bewaarexperimenten .....	9
4.2.4 Oogstijdstippenproef: afkoelproef.....	10
<b>5 Schuurmetingen</b>	<b>21</b>
5.1 Inleiding .....	21
5.2 Plaatsen meetsysteem.....	21
5.3 Metingen ATO .....	21
5.3.1 Metingen Schuur 1	22
5.3.2 Metingen Schuur 2	34
5.4 Vergelijk metingen ATO-DLO en Tolsma B.V.....	39
5.5 Conclusies .....	41
<b>6 Schuurmodel</b>	<b>42</b>
6.1 Controle van de aannamen bij de modellering .....	42
6.2 Bepaling van de invloed van het product en de schuur .....	43
6.2.1 Product	43
6.2.2 Schuur specifieke invloeden	43
<b>7 Regeling</b>	<b>45</b>
7.1 Resultaten.....	45
<b>8 Prototype</b>	<b>49</b>
8.1 Simulatieversie.....	49
8.2 Testversie .....	50
8.3 Prototype .....	52
<b>9 Verdere planning</b>	<b>54</b>

# 1 Doel van het project

## 1.1 Probleemstelling

Binnen de aardappelindustrie vinden een aantal ontwikkelingen plaats:

- de eisen met betrekking tot de kwaliteit van frites of chips van de consument worden hoger
- de eisen aan de kwaliteit van de aardappelen vanuit de verwerkende industrie worden hoger
- de concurrentie vanuit het buitenland (Oostblok) wordt sterker (voorlopig op prijs in de toekomst op kwaliteit?)

Met het oog op bovenstaande punten is het van groot belang dat de kwaliteit van de Nederlandse aardappel verder te verbeteren. De kwaliteit van aardappelen tijdens bewaring wordt sterk bepaald door de uitgangskwaliteit van aardappelen bij oogst en het bewaarklimaat in de bewaarschuur (voornamelijk temperatuur en relatieve luchtvochtigheid). Door een uitgekende geïntegreerde benadering van de aardappelbewaring vanuit thermodynamische en fysiologische kennis in combinatie met teelt- en weersgegevens is het mogelijk de kwaliteit van de Nederlandse aardappelbewaring verder te verbeteren.

## 1.2 Doelstelling

Tolsma Techniek stelt zich ten doel om in samenwerking met de automatiseringsbedrijven Dacom en Hoving en het onderzoek instituut ATO-DLO een prototype van een procesapplicatie te ontwikkelen die het klimaat in een aardappelbewaarschuur optimaal kan aansturen met betrekking tot de kwaliteit van de aardappelen (uitgedrukt in bakkleurindex, uitdroging en energieverbruik).

Hiertoe worden ontwikkeld: (a) een fysiologisch model dat de aardappelkwaliteit beschrijft, (b) een thermodynamisch model dat het klimaat in de aardappelschuur beschrijft en (c) een (MPC gebaseerde) regeling die op basis van de eerdergenoemde modellen en andere noodzakelijke informatie de technische installatie van de bewaarschuur aanstuurt. Naast de informatie die door de modellen wordt gegenereerd wordt in de regeling tevens rekening gehouden met het weer en de weervoorspelling. Hiertoe wordt de procescomputer gekoppeld (d) aan een netwerk. Via dit netwerk wordt de applicatie voorzien van de nodige informatie omtrent het weer en andere procesparameters (bijvoorbeeld informatie over de teelt of de ziekteverspreiding onder de aardappelen).

Het ontwikkelde systeem moet in staat zijn om de technische installatie in de bewaarschuur zodanig aan te sturen dat een significante verbetering wordt bereikt met betrekking tot:

- de kwaliteit (bakkleurindex) van de aardappelen bij aflevering
- het percentage uitval (afgekeurde partijen) bij de verwerkende industrie.

## 2 Projectplanning

Het *MODEM* project is onderverdeeld in 4 hoofd taken (A t/m D):

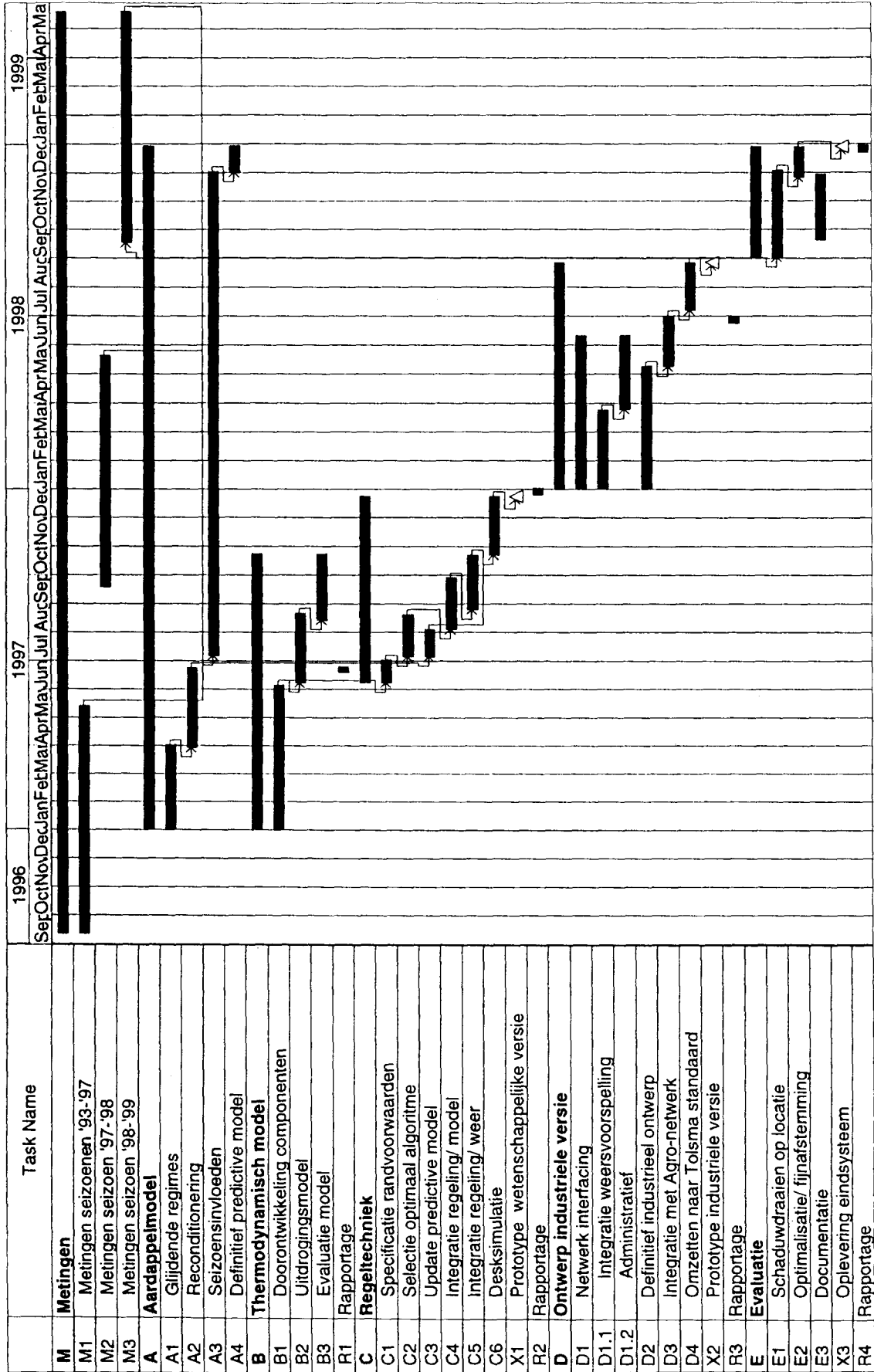
- A** Het fysiologisch model van de aardappel
- B** Het fysisch model van de aardappelschuur
- C** De regelstrategie
- D** De integratie van de deelsystemen en de prototype ontwikkeling

Naast deze vier hoofdtaken zijn nog een aantal andere taken te onderscheiden, te weten:

- M** Metingen in de praktijk
- E** Evaluatie/ optimalisering
- R** Rapportage

Het derde halfjaar van dit project stond volgens planning (blz. 5) in het teken van het ontwikkelen van een industrieel prototype dat getest kan worden gedurende het laatste halfjaar. De geboekte voortgang is grotendeels in overeenstemming met de verwachte voortgang volgens de planning. In dit halfjaarlijkse verslag (R3) zal van deze voortgang verslag worden gedaan.

# MODEM PLANNING



Milestone Δ Summary ■

### 3 Resultaten januari - juni 1998

In dit derde halfjaarlijkse verslag wordt de voortgang besproken van het *MODEM* project tijdens de periode januari tot juli 1998. In de volgende hoofdstukken wordt een overzicht gegeven van achtereenvolgens:

Hoofdstuk

- 4 Productmetingen** Tijdens het bewaar seizoen zijn metingen gedaan, zowel in praktijk bewaarplaatsen als onder experimentele omstandigheden in de bewaarfaciliteiten van ATO-DLO. Hierbij is gekeken naar de invloed van partijverschillen en verschillen in afrijping op de bewaarbaarheid. Tevens wordt stilgestaan bij het effect van het moment van afkoelen in relatie tot verzoeting tijdens bewaring. De gegevens van dit bewaar seizoen zullen in combinatie met de gegevens van het bijbehorend groeiseizoen worden gebruikt om het product model verder te valideren.
- 5 Schuurmetingen** In twee praktijkbewaarplaatsen zijn gegevens verzameld ten aanzien van temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, koolzuurgas, ventilator draaiuren en klepstanden ten behoeve van de verdere ontwikkeling van het schuurmodel. Deze gegevens zijn inmiddels compleet en zijn in dit hoofdstuk uitvoerig gedocumenteerd.
- 6 Schuurmodel** Aan de hand van de metingen uit hoofdstuk 5 wordt het ontwikkelde thermodynamisch schuurmodel geëvalueerd.
- 7 Regeling** De ontwikkelde MPC regeling is verfijnd en uitgebreid met een module voor weervoorspellingen. De regeling is uitvoerig getest op grond van simulaties met de ontwikkelde modellen.
- 8 Prototype** Er is een prototype in ontwikkeling die het mogelijk maakt de ontwikkelde regeling in de praktijk te gaan testen. Hiervoor is een interface geprogrammeerd die de communicatie verzorgt tussen de gebruiker, de Matlab-regeling, de TOLSMA bewaarcomputer en een modem voor het binnenhalen van weersgegevens via het Teelt-Plus systeem.



## 4 Productmetingen

### 4.1 Inleiding

De productmetingen zijn er op gericht om gegevens te verzamelen die kunnen dienen voor het uitbouwen van het beschrijvende verzoetingsmodel tot een voorspellend model. Het aspect dat hierbij centraal staat is de karakterisering van partijen aardappelen op de mate van afrijping, en daarmee op bewaarpotentie. Hiervoor is de afgelopen periode het onderzoek met de cultivars Bintje en Asterix, afkomstig van een aantal praktijkbedrijven en van ATO proefbedrijf 'De Eest', voortgezet.

### 4.2 Seizoen 1997-1998

In de voortgangsrapportage over de periode juni/december 1997 (rapport B 316 /febr. '98) zijn de eerste resultaten van de verschillende bewaarexperimenten van seizoen 1997/1998 vermeld. In dit rapport zijn de resultaten van de verschillende onderdelen tot mei/juni opgenomen.

#### 4.2.1 Praktijkpartijen: bewaarexperimenten op ATO

Op het oogsttijdstip van iedere praktijkpartij is materiaal naar Wageningen vervoerd en opgeslagen in bewaarcellen. Na eerst een wondheelperiode van twee weken bij 14°C is dit materiaal snel afgekoeld naar 4°C. Bij deze temperatuur wordt dit materiaal bewaard tot ca. half augustus 1998. Om het verloop van de bakkleur en suikers tijdens de bewaring te kunnen volgen is de eerste twee maanden van de bewaarperiode om 14 dagen bemonsterd en daarna maandelijks.

In figuur 4.1 zijn de bewaarresultaten van de Bintje partijen, afkomstig van de praktijkbedrijven waar ook tijdens het groeiseizoen metingen hebben plaatsgevonden, gegeven tot half/eind mei.

Uit de resultaten kan worden afgeleid dat het verloop van het hexose-gehalte (reducerende suikergehalte) bij de partij van praktijkbedrijf 9 het ongunstigst is en bij bedrijf 6 het beste verloop laat zien van alle Bintje partijen. De resultaten van de overige partijen liggen hier tussen in. Dit sluit redelijk aan bij hetgeen op blz. 17 van het vorige voortgangsverslag (B 316) werd vermeld. Daar bleek dat aan de hand van de resultaten van de koudestoot proef voor de partij van bedrijf 9 de hoogste schatting voor de waarde van  $E_{ncold,0}$  werd gevonden en voor bedrijfspartij 6 de laagste waarde. Dat een hoge waarde voor dit enzym tot een grotere gevoeligheid voor lage temperatuur leidt dan een lage waarde van dit enzym lijkt hier dus te worden bevestigd.

In figuur 4.2 zijn de bewaarresultaten van de Asterix partijen van de praktijkbedrijven gegeven tot half/eind mei 1998.

Uit de resultaten kan worden afgeleid dat het hexose-gehalte van de partij van bedrijf 5 een ongunstig verloop heeft en die van bedrijf 2 het gunstigste verloop. Verwijzend naar blz. 17 van rapport B 316 kan worden afgeleid dat de geschatte waarde van  $E_{ncold,0}$  voor partij 5 het hoogst en voor partij 2 het laagst was.

#### 4.2.2 Praktijkpartijen: bewaarexperimenten op twee bedrijven

Op twee praktijkbedrijven, waarvan de bewaarplaats t.b.v. het schuurmodel wordt doorgemeten, zijn netmonsters van de betreffende praktijkpartij samengesteld en ca. 75 cm diep in de aardappelhoop ingegraven. Op één van deze bedrijven zijn ook nog netmonsters van een ander praktijkbedrijf ingelegd. Via maandelijkse wegingen en bepalingen wordt het verloop van de gewichtsverliezen en verwerkingskwaliteit, in termen van suikers en bakkleur gevolgd tijdens de bewaring.

De netmonsters waren afkomstig van de praktijkbedrijven 8, 9 en 11 met Bintjes en werden bewaard op resp. bedrijf 9 en 8.

In tabel 1 is een overzicht gegeven van het kwaliteitsverloop van de netmonsters van bedrijf 9, bewaard op bedrijf 9.

**Tabel 1** Verloop suikers en bakkleur-index van de netmonsters van bedrijf 9 bewaard op bedrijf 9.

<i>data monstername</i>	<i>% sucrose</i>	<i>% hexose</i>	<i>bakkl. index</i>
23 sept. '97	0.12	0.02	1.50
20 okt. '97	0.10	0.01	1.40
19 nov. '97	0.12	0.10	1.53
17 dec. '97	0.16	0.12	1.70
13 jan. '98	0.14	0.13	2.71
11 febr. '98	0.14	0.19	2.06
11 maart '98	0.11	0.17	2.30
08 april '98	0.08	0.14	2.47
06 mei '98	0.14	0.13	1.65
03 juni '98	0.28	0.25	2.51

Uit de resultaten van tabel 1 kan worden afgeleid dat de bakkleur-index een goed verloop heeft en gezien het al ver gevorderde bewaarseizoen (8 maanden bewaren) nog op een goed niveau zit. De stijging van het sucrose en hexose gehalte tussen 6 mei en 3 juni wijst er echter op dat de partij begint te verouderen. Dit is aan de betreffende bewaarder doorgegeven. Tevens is besloten deze partij i.p.v. eind juni reeds half juni weer te bemonsteren om tijdig maatregelen te kunnen nemen.

In tabel 2 zijn de bewaarresultaten van de partij Bintjes van bedrijf 8 en 11, bewaard op bedrijf 8 samengevat.

**Tabel 2** Verloop suikers en bakkleur-index van de netmonsters van bedrijf 8 en 11, bewaard op bedrijf 8.

<i>data monstername</i>	<i>partij</i>	<i>% sucrose</i>	<i>% hexose</i>	<i>bakkleur-index</i>
30 sept. '97	8	0.14	0.04	1.50
	11	0.15	0.06	1.60
20 okt. '97	8	0.19	0.10	2.33
	11	0.17	0.13	2.16
19 nov. '97	8	0.23	0.21	2.97
	11	0.25	0.32	3.14
17 dec. '97	8	0.19	0.23	3.23
	11	0.21	0.35	3.55
13 jan. '98	8	0.19	0.41	4.75
	11	0.15	0.37	4.36
11 febr. '98	8	0.14	0.37	3.65
	11	0.15	0.35	3.52
11 maart '98	8	0.11	0.22	3.30
	11	0.08	0.18	3.56
08 april '98	8	0.15	0.30	3.83
	11	0.09	0.23	3.76
06 mei '98	8	0.17	0.30	3.61
	11	0.18	0.30	3.55
13 mei '98	8	0.22	0.27	3.42
	11	0.14	0.22	3.51
27 mei '98	8	0.22	0.26	3.82
	11	0.23	0.37	4.28

Bij deze twee partijen zien we na de start het reducerende suikergehalte al vlot oplopen en de bakkleur achteruitgaan. Het dieptepunt wordt bereikt rond half januari '98. Het bleek dat deze bewaarplaats zeer dicht was waardoor er een verhoogde CO<sub>2</sub> concentratie in de bewaaratmosfeer ontstond. Na overleg met de betreffende bewaarder is deze frequenter de lucht in de bewaarplaats gaan verversen. Dit heeft tot resultaat gehad dat de CO<sub>2</sub> concentratie tot minder hoge waarden kon oplopen. Dit heeft een positief effect op het reducerende suikergehalte en de bakkleur-index gehad. De partij van bedrijf 11 vertoont tussen 13 en 27 mei een stijging in sucrose en hexose gehalte, gepaard gaande met een sterke achteruitgang van de bakkleur. Deze partij was duidelijk aan het verouderen. De bulkpartij van bedrijf 11 bewaard op het eigen bedrijf is ter vergelijking ook enige malen bemonsterd voor vaststelling van de bakkleur-index. In deze bewaarplaats waren kennelijk geen problemen met CO<sub>2</sub> ophoping in de bewaaratmosfeer want de bakkleur-index lag daar op vergelijkende tijdstippen steeds ongeveer 1 punt lager.

#### 4.2.3 Oogsttijdstippenproef: bewaarexperimenten

Zomer 1997 zijn twee rassen: Bintje en Asterix verbouwd op proefboerderij 'De Eest' te Nagele (NOP). Ieder ras is op 7 verschillende tijdstippen geoogst met tussenliggende perioden van één of twee weken. Voor Bintje vielen de oogsttijdstippen tussen 11 augustus en 20 oktober 1997 en voor Asterix tussen 1 september en 10 november. Het loof werd steeds 14 dagen

voor ieder oogsttijdstip vernietigd. Direct na de oogst volgde steeds eerst een wondheelperiode van 14 dagen bij ca. 14°C. Daarna zijn de aardappelen van ieder oogsttijdstip en ras opgeslagen bij 4, 6 en 8°C constant en bij glijdende regimes van 14-4-14°C, 14-6-14°C en 14-8-14°C. Tijdens de bewaring zijn de eerste twee maanden om de 14 dagen en daarna maandelijks van alle bewaarvarianten per ras monsters genomen voor bepaling van de suikers en bakkleur-index.

In de figuren 4.3 t/m 4.5 zijn enige voorlopige bewaarresultaten van het ras Bintje samengevat en in de figuren 4.6 t/m 4.8 van het ras Asterix tot ca. eind mei 1998.

Bij bewaring bij lagere temperaturen blijkt, met name bij het ras Bintje (figuur 4.3 en 4.4) maar ook bij het ras Asterix (figuur 4.6 en 4.7), het bewaarresultaat duidelijk te worden beïnvloed door het oogststadium. Latere oogst (beter uitgerijpt materiaal) laat bij een zelfde bewaar temperatuur steeds een beter bewaarresultaat zien in termen van een lager niveau aan hexose en een lagere bakkleur-index. Ook nu blijkt onrijper materiaal dus gevoeliger te zijn voor lagere temperaturen tijdens de bewaring. Bij een hoge bewaar temperatuur (8°C, zie figuur 4.5 en 4.8) nemen deze effecten af.

Verder blijken bij de lagere bewaar temperaturen de bewaarresultaten van de geleidelijke regimes (te realiseren met buitenlucht koeling) over het algemeen beter te zijn dan bij de overeenkomstige constante bewaar temperaturen.

Dit bewaaronderzoek wordt nog voortgezet tot medio/eind augustus 1998.

#### 4.2.4 Oogsttijdstoppenproef: afkoelproef

Om na te gaan in hoeverre de snelheid en mate van accumulatie van koude suikers beïnvloed wordt door temperatuur en tijdstip tijdens het bewaar seizoen (voorafgaande bewaarcondities) wordt een extra afkoel experiment uitgevoerd met aardappelen van het ras Bintje van het 4e oogsttijdstip.

Deze aardappelen zijn direct na de oogst eerst gedurende ca. 14 dagen bewaard bij 14°C om een goede wondheling te bewerkstelligen. Daarna, op 30 september 1997, zijn de volgende maatregelen genomen:

- Een deel van deze aardappelen is op 30 sept. direct bij 4°C geplaatst voor bewaring bij deze temperatuur tot begin augustus 1998 (gerekend vanaf einde wondheling dus na 0 dagen bij 4°C geplaatst;
  
- De overige aardappelen zijn op 30 sept. bij 8°C geplaatst waarna op:
  - . 29 oktober een deel vanuit 8°C bij 4°C is geplaatst (na ca. 4 wk naar 4°C)
  - . 26 nov. een deel vanuit 8°C bij 4°C is geplaatst (na ca. 8 wk naar 4°C)
  - . 23 dec. een deel vanuit 8°C bij 4°C is geplaatst (na ca. 12 wk naar 4°C)

Van 30 september '97 tot 18 februari '98 werd om de 14 dagen bemonsterd om het verloop van de suikers en bakkleur bij de verschillende afkoelvarianten te kunnen volgen. Daarna is overgegaan op maandelijks bemonstering.

In figuur 4.9 zijn de voorlopige resultaten tot 13 mei '98 samengevat.

Uit de resultaten in deze figuur kan worden afgeleid dat direct afkoelen na de wondheling resulteert in een zeer snelle suikeraccumulatie en derhalve een slechte bakkleur die ook op een hoog niveau blijft gehandhaafd.

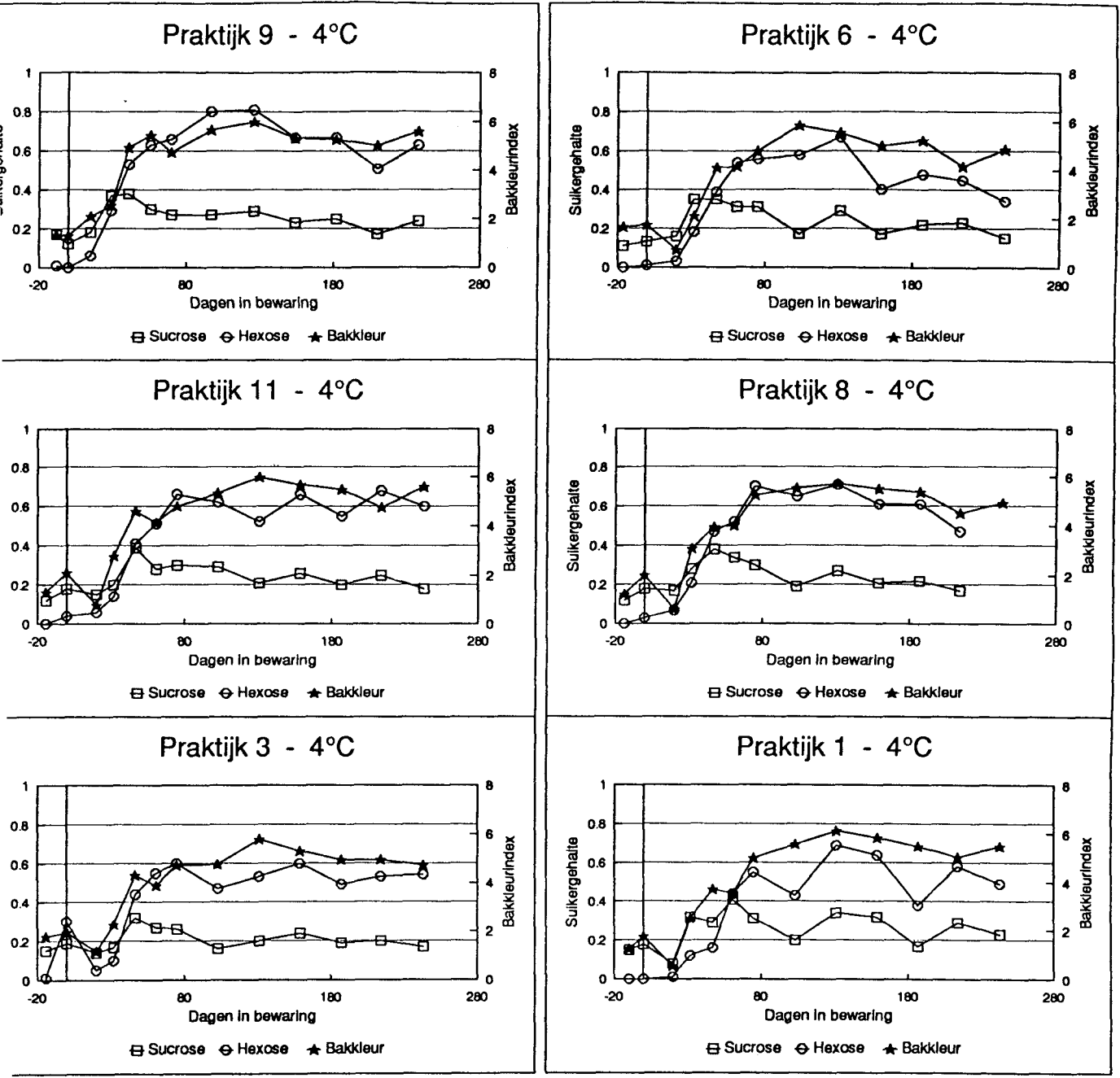
Getrapt afkoelen naar 8°C en na 4 weken naar 4°C leidt duidelijk tot een minder grote accumulatie aan suikers en tot een beter verloop van de bakkleur.

Getrapt afkoelen naar 8°C en na 8 weken naar 4°C leidt pas een maand na inzet bij 4°C tot accumulatie aan hexose.

Getrapt afkoelen naar 8°C en na 12 weken naar 4°C leidt ook pas na meer dan een maand tot suikeraccumulatie en tot een minder hoog niveau.

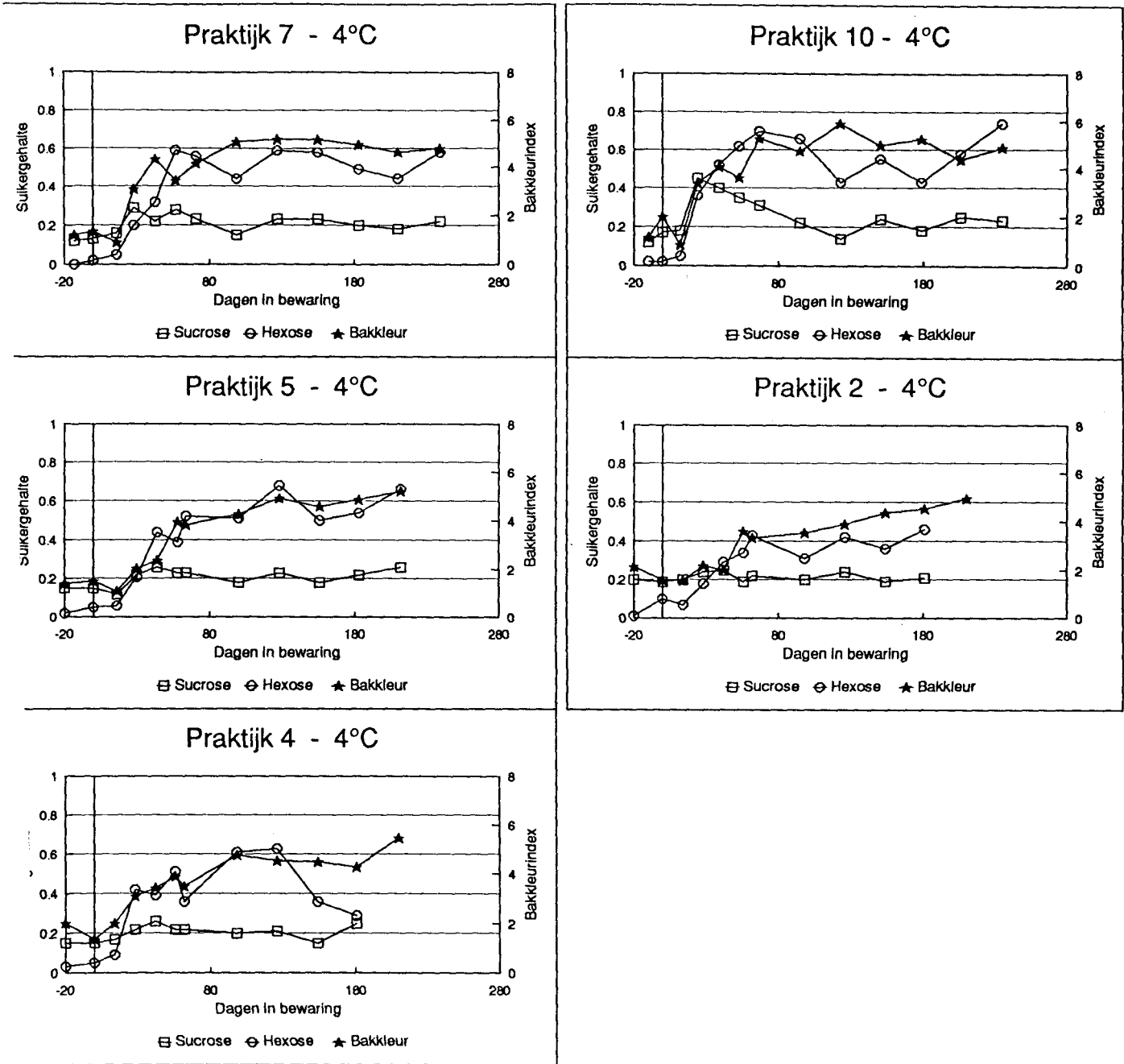
De voorlopige conclusie kan luiden dat naarmate later na de curingperiode wordt afgekoeld de suikeraccumulatie trager op gang komt en tot een minder hoog niveau.

### Bintje partijen

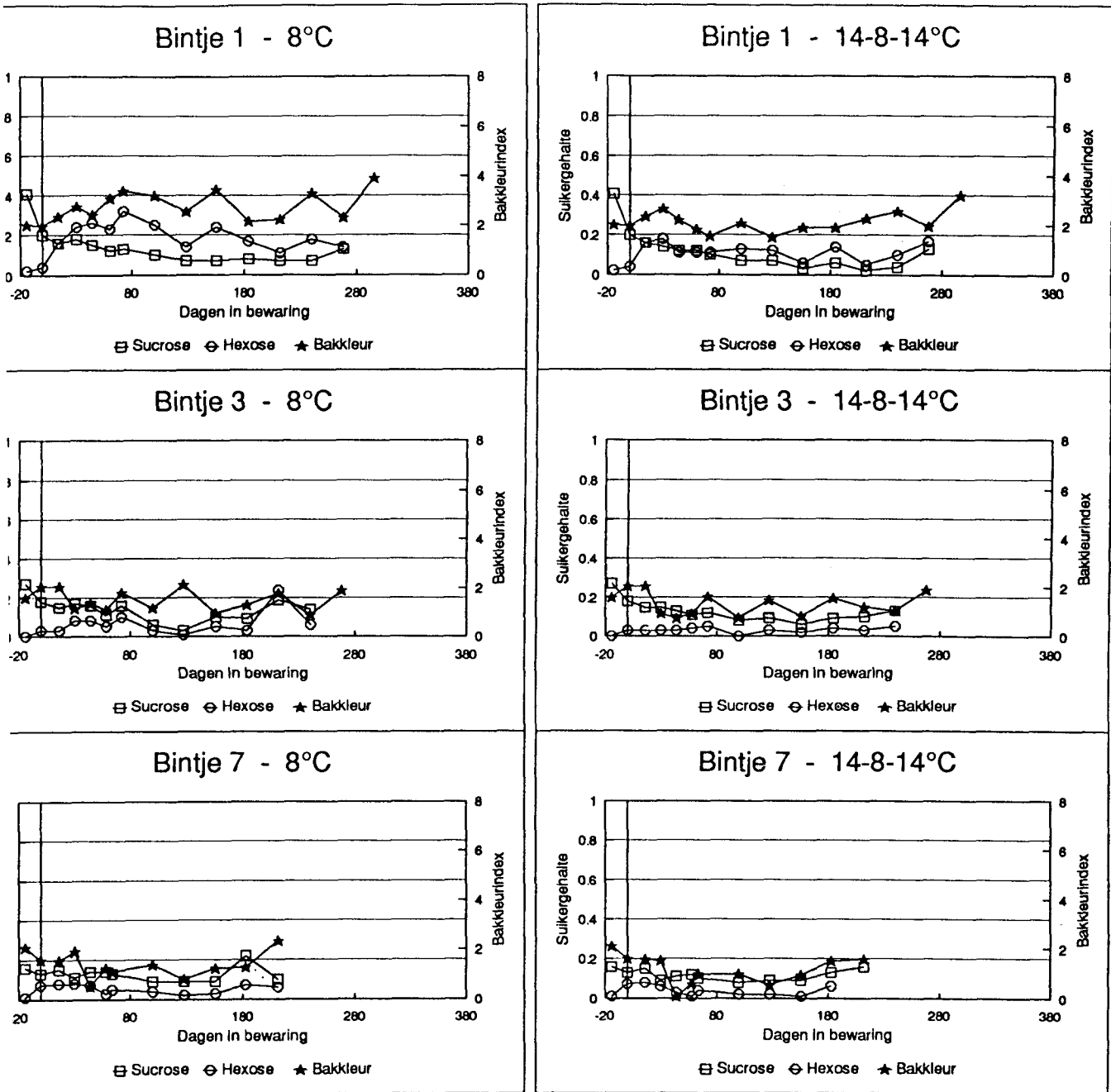


Figuur 4.1 Voorlopige bewaarresultaten van de Bintje praktijkpartijen op ATO in termen van bakkleur

**Asterix partijen**

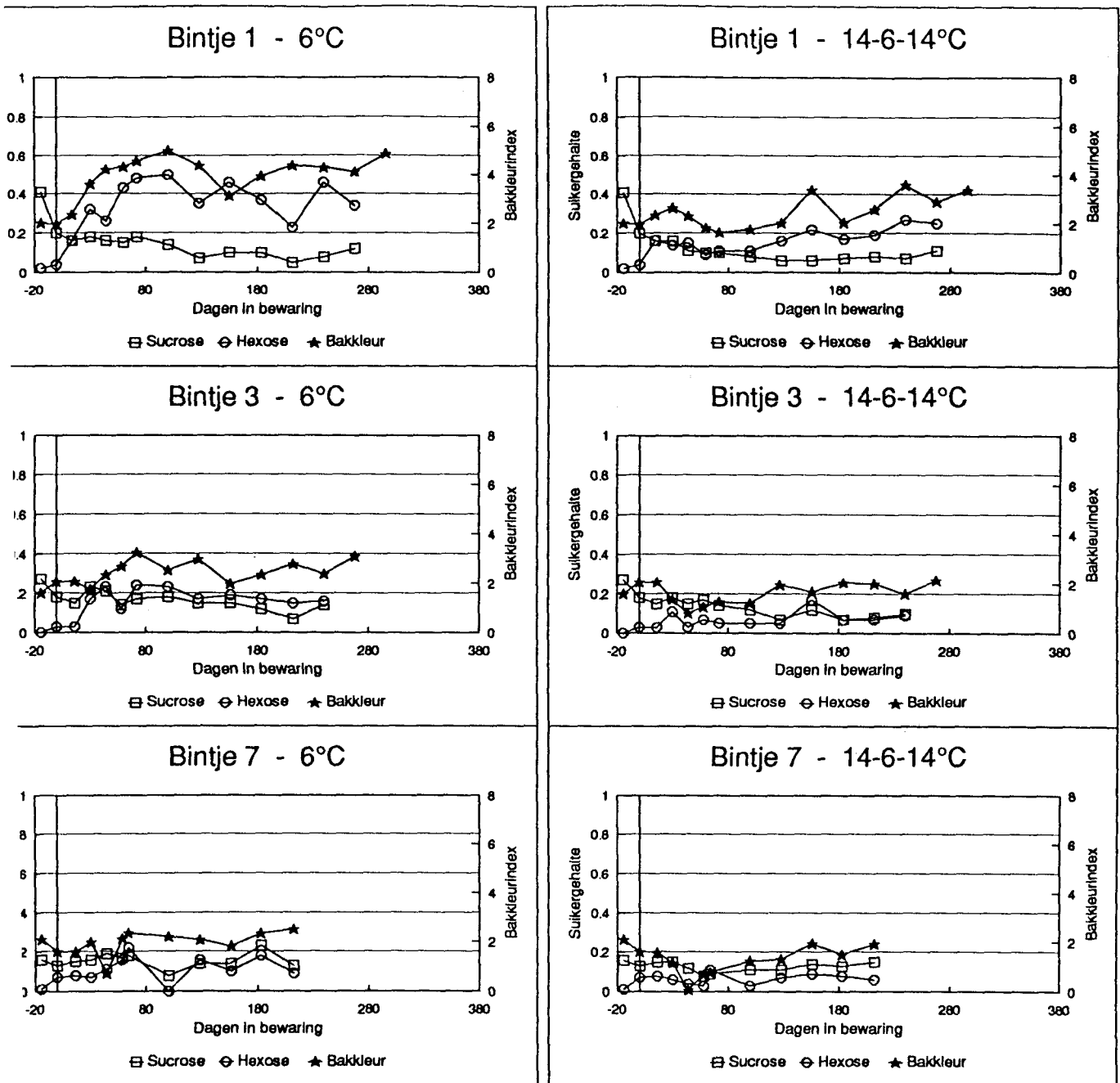


Figuur 4.2 Voorlopige bewaarresultaten van de Asterix praktijkpartijen op ATO in termen van bakkleur

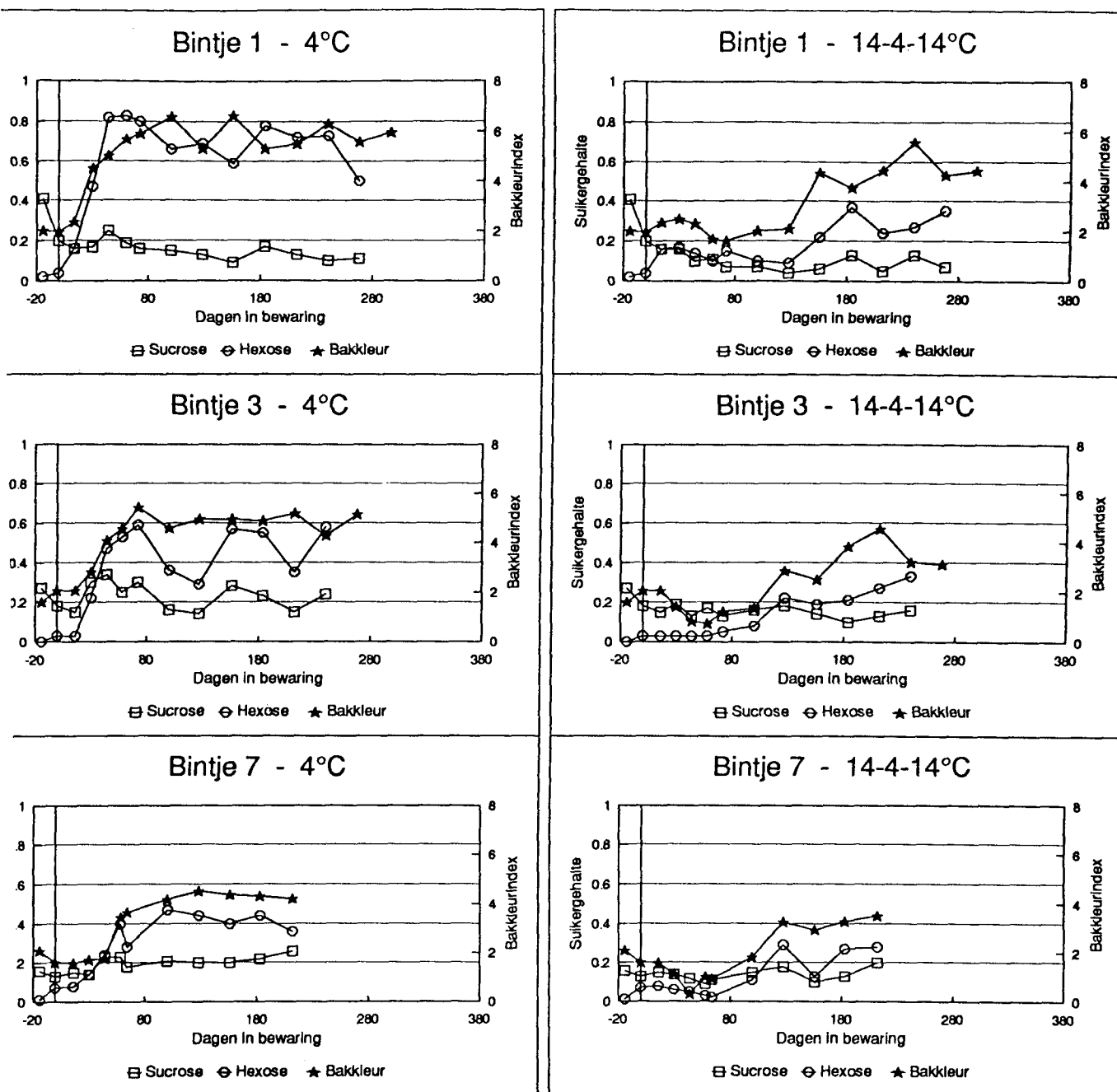


Figuur 4.3 Voorlopige bewaarresultaten van Bintje 1ste, 3de en 7de oogst bewaard bij 4°C constant en bij een geleidelijk regime 14 → 4 → 14°C

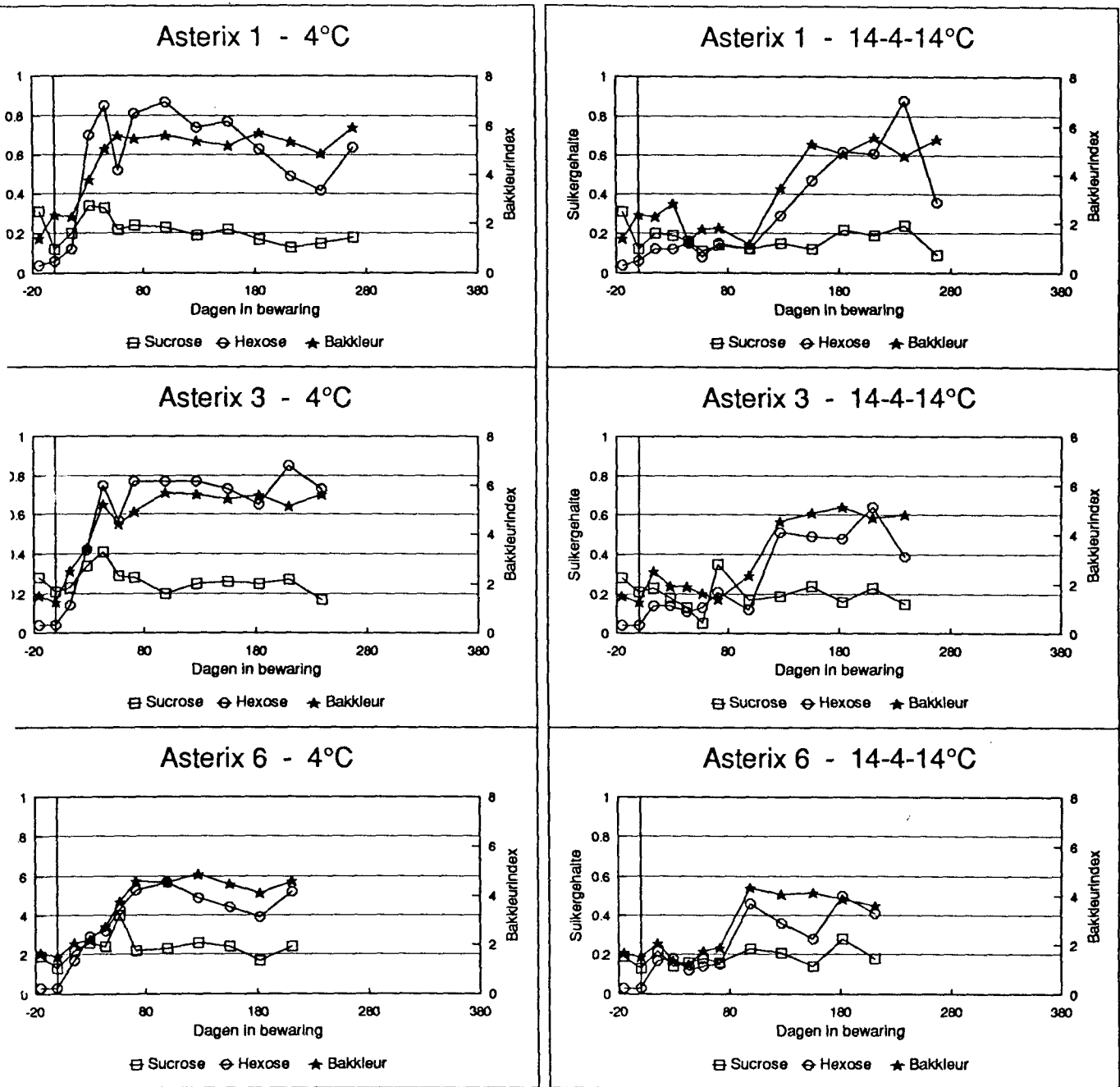




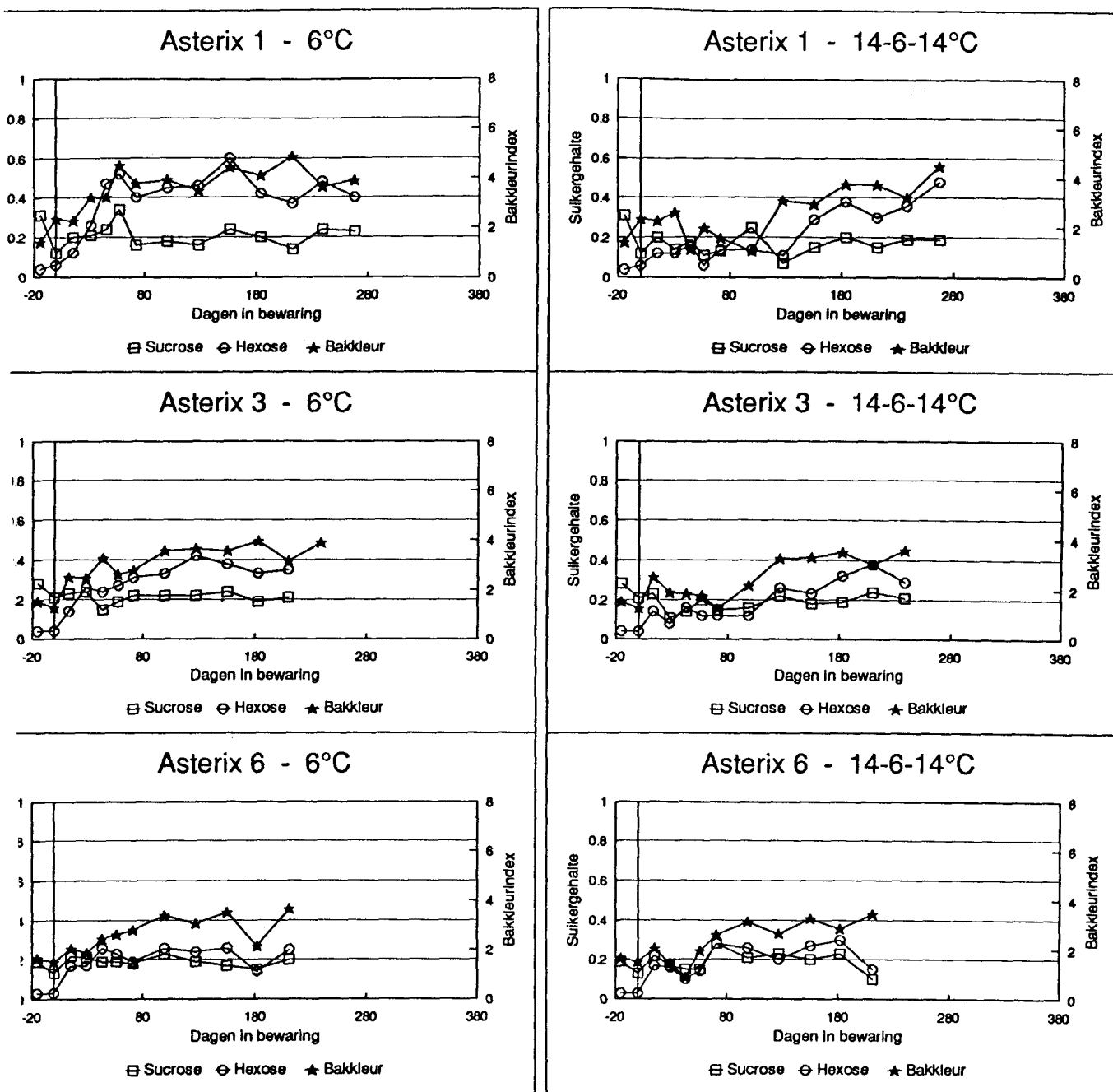
Figuur 4.4 Voorlopige bewaarresultaten van Bintje 1ste, 3de en 7de oogst bewaard bij 6°C constant en bij een geleidelijk regime 14 → 6 → 14°C



Figuur 4.5 Voorlopige bewaarresultaten van Bintje 1ste, 3de en 7de oogst bewaard bij 8°C constant en bij een geleidelijk regime 14 → 8 → 14°C

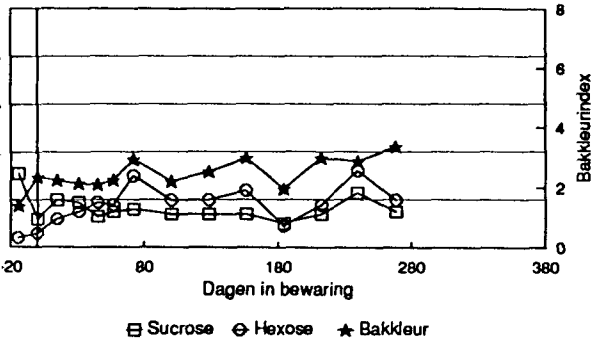


Figuur 4.6 Voorlopige bewaarresultaten van Asterix 1ste, 3de en 7de oogst bewaard bij 4°C constant en bij een geleidelijk regime 14 → 4 → 14°C

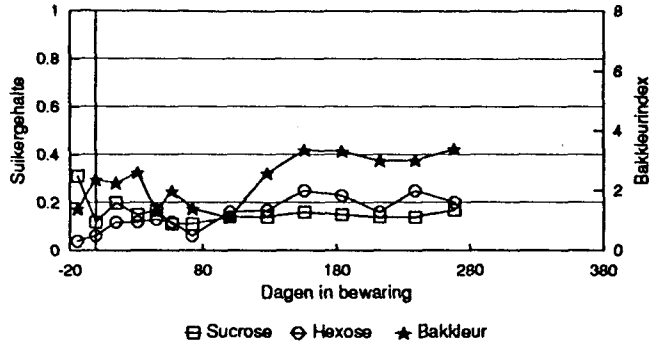


Figuur 4.7 Voorlopige bewaarresultaten van Asterix 1ste, 3de en 7de oogst bewaard bij 6°C constant en bij een geleidelijk regime 14 → 6 → 14°C

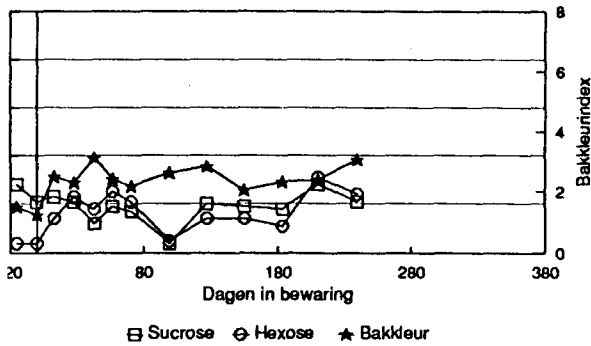
Asterix 1 - 8°C



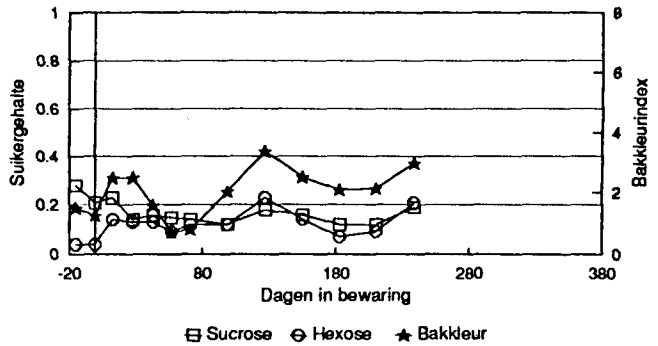
Asterix 1 - 14-8-14°C



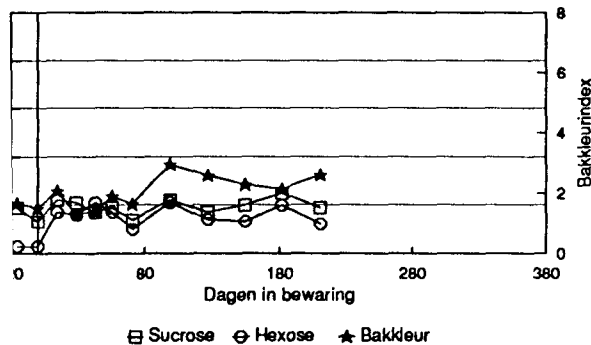
Asterix 3 - 8°C



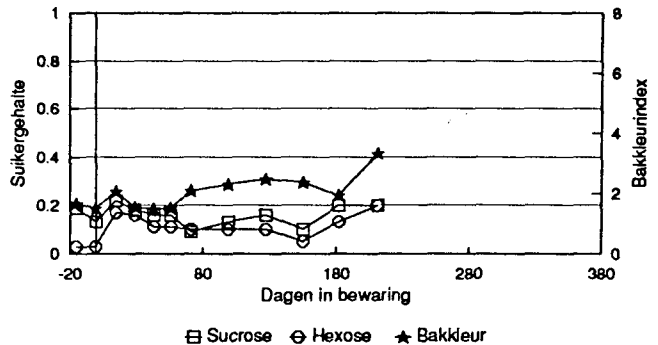
Asterix 3 - 14-8-14°C



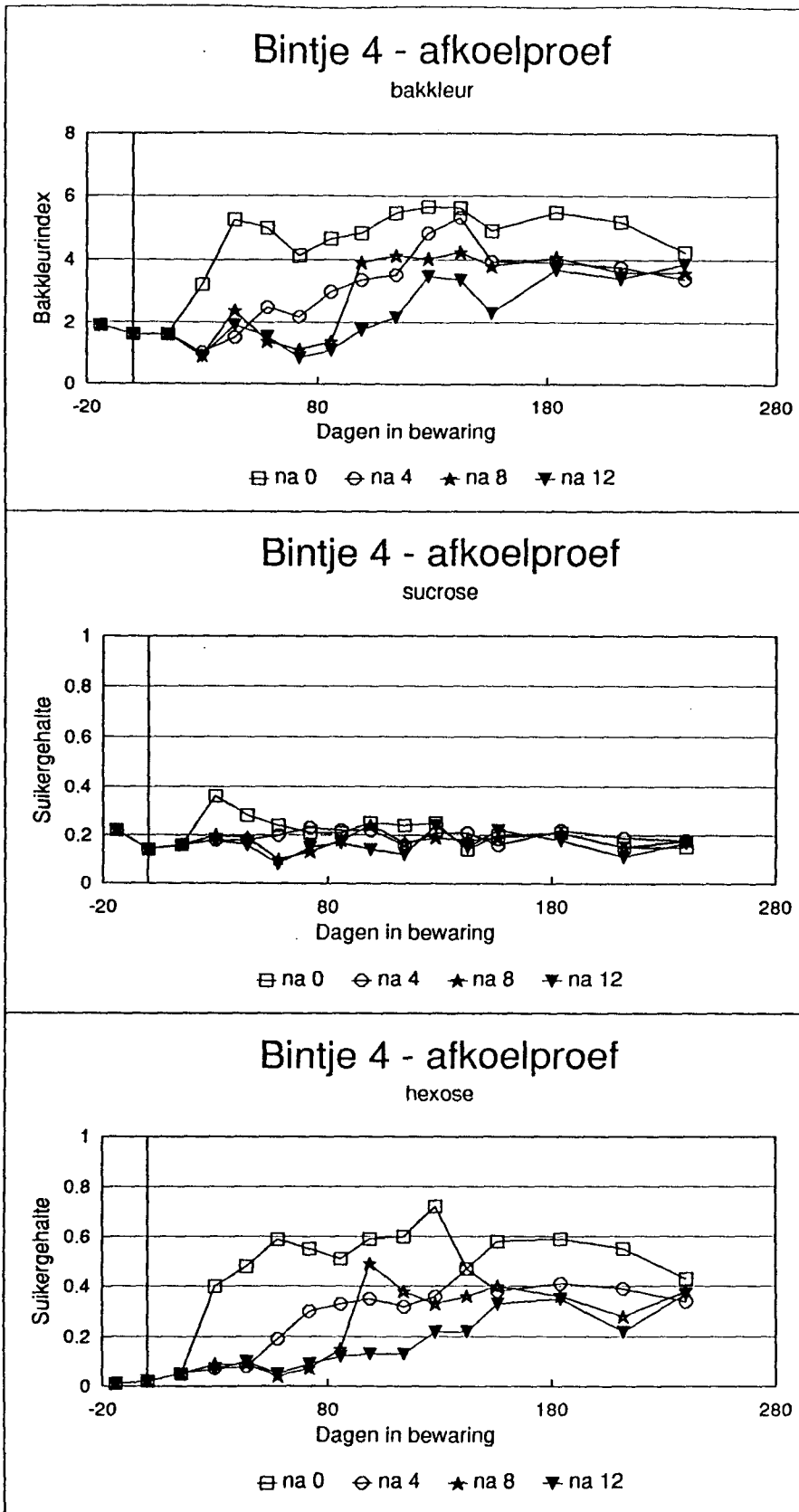
Asterix 6 - 8°C



Asterix 6 - 14-8-14°C



Figuur 4.8 Voorlopige bewaarresultaten van Asterix 1ste, 3de en 7de oogst bewaard bij 8°C constant en bij een geleidelijk regime 14 → 8 → 14°C



Figuur 4.9 Voorlopige bewaarresultaten van de afkoelproef met Bintje in termen van verloop suikers en bakkleur-index

## 5 Schuurmetingen

### 5.1 Inleiding

In deze sectie worden de resultaten besproken van de metingen die in het bewaarseizoen 1997-1998 zijn uitgevoerd in bewaarplaatsen. De metingen dienen ter validatie van het eerder ontwikkelde schuurmodel, voor de bepaling van nog niet geheel bekende parameters (zoals isolatiewaarden), voor het bepalen van de meest representatieve meetlocaties in verband met de regeling en voor het doen van uitspraken over nog geheel onbekende fenomenen zoals de CO<sub>2</sub>-ophoping.

De metingen zijn verricht met het ATO-systeem dat in eerdere rapportages is besproken. Daarnaast zijn meetresultaten opgenomen die met het Tolsma-systeem zijn gemeten. Dit is gedaan voor het verkrijgen van aanvullende informatie en om de beide systemen met elkaar te kunnen vergelijken.

### 5.2 Plaatsen meetsysteem

Voor het inschuren van de aardappelen zijn reeds voorbereidingen getroffen voor het aanbrengen van de meetsensoren. Deze voorbereidingen bestonden uit het aanleggen van het netwerk dat de opslag van de gemeten data verzorgt, het aanbrengen van de sensoren op de locaties buiten de aardappelstapel en het bevestigen van de staaldraden en gereed maken van de meetsensoren voor de locaties in de aardappelstapel. Bij de voorbereidingen werden verstoringen op de meetdata zichtbaar. Zoals het zich op dit moment laat aanzien werden deze veroorzaakt door de in de nabije omgeving geplaatste radiozender. Dit probleem is opgelost door uitvoeren van isolerende handelingen voor de meetdraden. Tijdens het inschuren werd het aanbrengen en handhaven van de meetsensoren op de gewenste locaties bemoeilijkt door het verplaatsen van de ingeschuorde aardappelen. Deze zich verplaatsende aardappelen namen de sensoren met zich mee. De aangebrachte staaldraden maakten het mogelijk om de sensoren uit de aardappelstapel te trekken. Het was op een andere wijze niet mogelijk om de sensoren redelijk om de gewenste posities te krijgen en te houden. Een paar meetdraden bleek niet bestand tegen het geweld van de aardappelen en dit kon enkel door het aanleggen van nieuwe meetdraden, tijdens het inschuren, worden opgelost. Tijdens het bewaarseizoen bleken niet alle RV-meetsensoren bestand tegen het gassen om de kieming van de aardappelen te remmen. Dit veroorzaakte het uitvallen van verschillende RV-sensoren. Een aantal temperatuursensoren in de aardappelstapel is tijdens de bewaring uitgevallen, gedeeltelijk veroorzaakt door het inzakken van de aardappelstapel. Tijdens het uitschuren is gebleken dat een aantal staaldraden los zijn geraakt door het proces van het inzakken van de aardappelen.

Samenvattend, de meeste problemen die voor, tijdens en na het meten zijn opgetreden, zijn redelijk opgelost. Ze geven echter aan dat in gecompliceerde projecten als deze de nodige innovativiteit, creativiteit, kennis en handigheid is vereist, in dit geval gecombineerd met de bereidwillige medewerking van de in- en uitschuurders.

### 5.3 Metingen ATO

Er zijn in de periode van september 1997 tot in juni 1998 metingen verricht in twee schuren waar aardappelen (bintje) waren opgeslagen. De beide bewaarschuren worden aangegeven met respectievelijk schuur 1 (Hoving) en schuur 2 (Koning). In schuur 1 zijn de aardappelen bewaard van september 1997 tot eind juni 1998. In schuur 2 zijn de aardappelen opgeslagen van september 1997 tot eind maart 1998. Schuur 1 bestaat uit een voorruimte, zijruimte en de daadwerkelijke aardappelopslag met luchtsluis, luchtkanaal, aardappelstapel

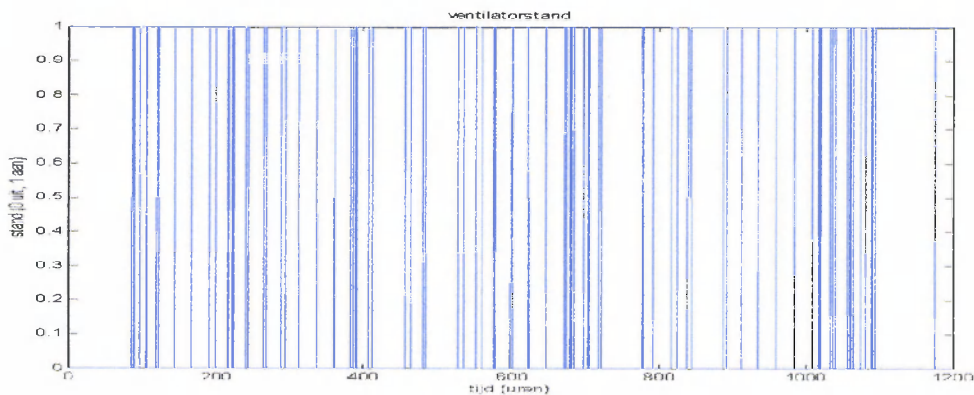
aardappelstapel en bovenruimte. Schuur 1 beschikt niet over een echte voorruimte en heeft geen zijruimte. Verder heeft deze schuur een roostervloer, terwijl in schuur 1 gebruik wordt gemaakt van houten luchtkanalen.

Van de bewaarperiode zijn gedurende een aantal tijdsperioden metingen in de verschillende figuren weergegeven.

### 5.3.1 Metingen Schuur 1

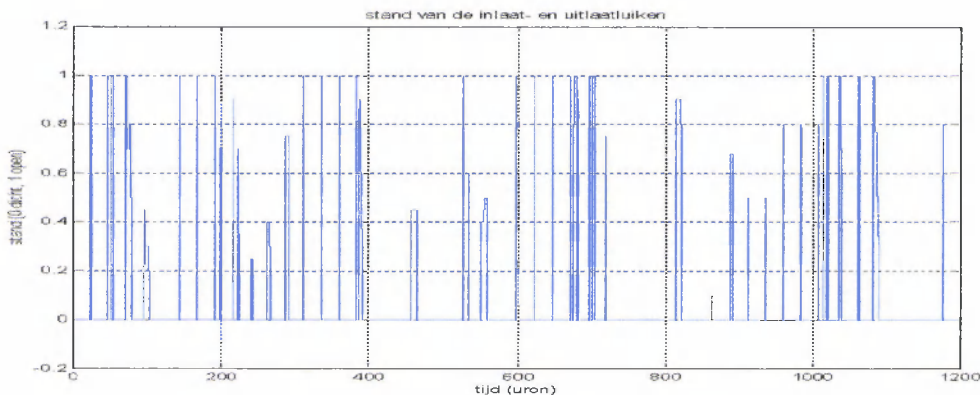
#### Periode 1

De tijdsperiode die in de plots is uitgezet loopt van 15 november 1997 tot en met 3 januari 1998. In Figuur 5.1 is de ventilatorstand weergegeven. Van de 1005,4 uur in deze tijdsperiode zijn 119,5 uren geventileerd. Dit betekent dat gedurende meer dan 10 procent van de tijd de ventilatoren hebben gedraaid.



Figuur 5.1: Ventilatorstand

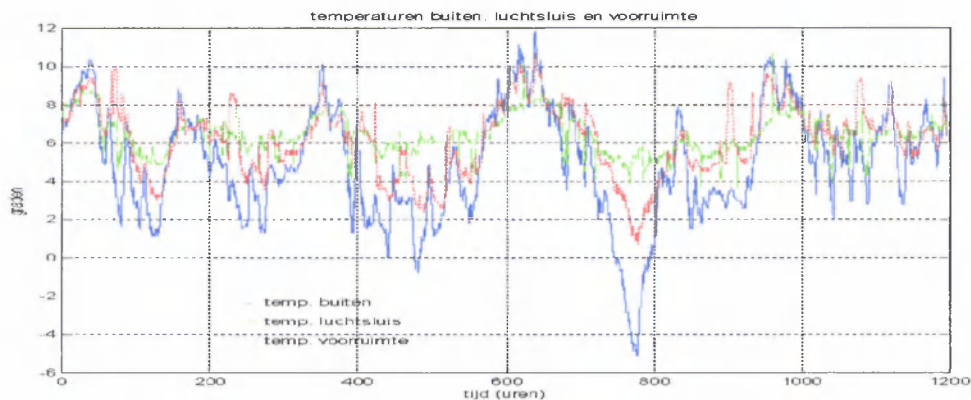
De stand van de luiken is weergegeven in Figuur 5.2. Voor deze data is gebruik gemaakt van gegevens die door Tolsma B.V. zijn gemeten. Uit de figuur blijkt dat er tijdens het grootste deel van de ventilatieperioden de luiken geheel zijn geopend en er dus sprake is van externe ventilatie.



Figuur 5.2: Stand van de inlaat- en uitlaatluiken

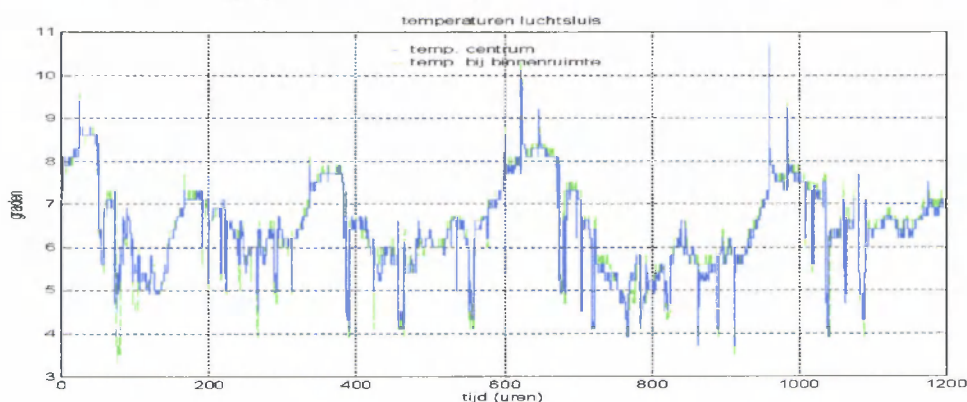
In Figuur 5.3 zijn de luchttemperatuur in de luchtsluis en in de voorruimte uitgezet samen met de buitentemperatuur. De temperatuur in de voorruimte volgt op gedempte wijze de buitentemperatuur. Dit is verwacht en eenvoudig te verklaren door minder isolatie en de luchtuitwisseling met de buitenomgeving door het openen van de deuren in de voorruimte. De temperatuur in de luchtsluis volgt de buitentemperatuur minder sterk juist door de betere isolatie. Tijdens perioden van externe ventilatie gaat de temperatuur in de luchtsluis naar de waarde van de buitentemperatuur toe.





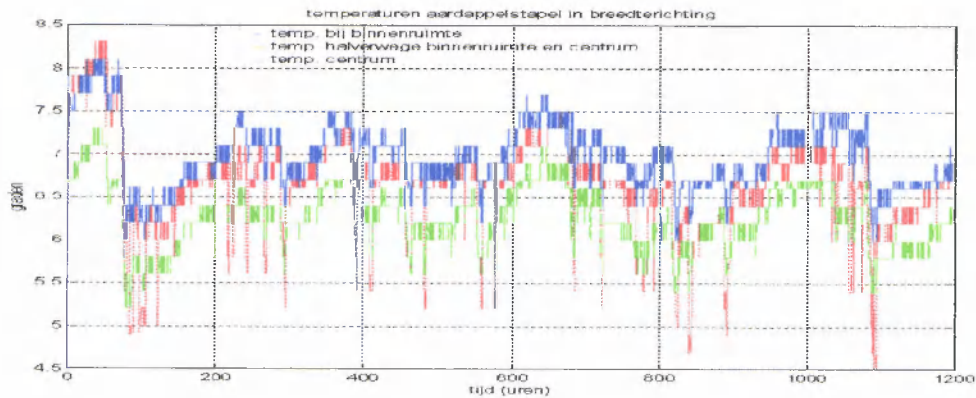
Figuur 5.3: Temperaturen lucht buiten, luchtsluis en in de voorruimte

In Figuur 5.4 zijn de verschillen in de temperatuur binnen de luchtsluis te zien. De temperaturen zijn allen gemeten net boven de ventilatoren en de metingen in het midden van de luchtsluis en bij de binnenruimte komen nagenoeg overeen. Dit is verwacht, omdat door de aanwezigheid van de zijruimte verstoringe invloeden van buiten aan deze zijde van de luchtsluis minder invloed hebben. Ook is op beide punten de te verwachten luchtdoorstroming gelijk. De temperatuurverschillen tussen deze beide locaties treden met name op tijdens perioden van ventilatie. In Figuur 5.24 is de temperatuur in de luchtsluis op meerdere locaties weergegeven en daar zijn de verschillen in temperatuur duidelijk groter.

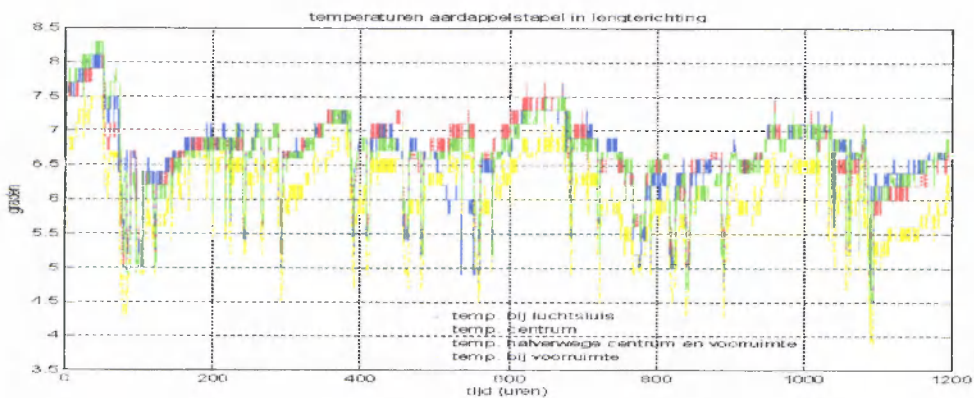


Figuur 5.4: Temperaturen in de luchtsluis

In Figuur 5.5 zijn de temperaturen in de breedterichting van de aardappelstapel weergegeven (dus parallel aan de luchtsluis en dwars op de kanalen). Het maximale temperatuurverschil bedraagt tussen de ventilatieperioden een graad. Tijdens ventilatie worden verschillen geïntroduceerd die worden veroorzaakt door de locaties van de temperatuursensoren net boven of juist tussen de ventilatiekanalen. Vergelijking van de temperatuurverlopen in deze figuur met die in de Figuren 5.38 en 5.43 maakt het effect van houten kanalen of een roostervloer duidelijk zichtbaar.

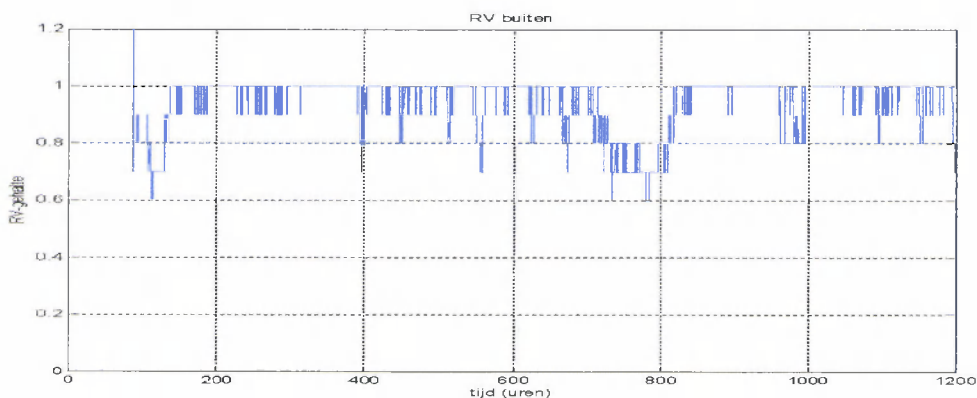


Figuur 5.5: Temperaturen in breedterrichting in de aardappelstapel



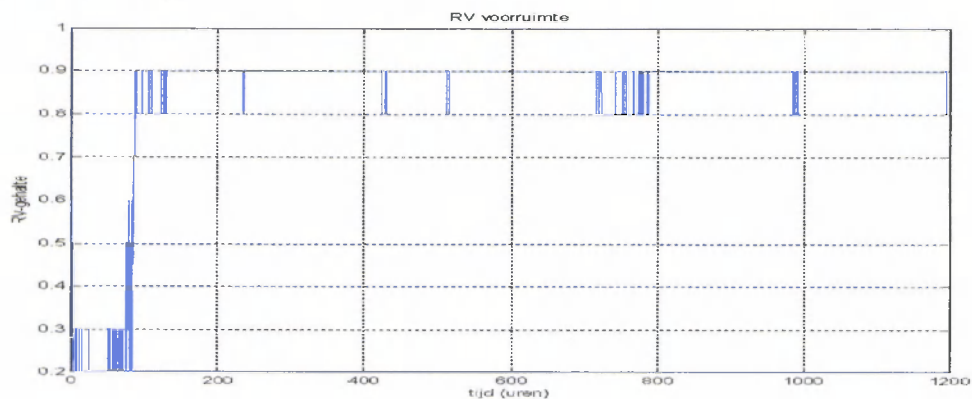
Figuur 5.6: Temperaturen in lengterichting in de aardappelstapel

In Figuur 5.6 zijn de temperaturen weergegeven in de lengterichting (dus dwars op de luchtsluis en parallel aan de kanalen). De temperatuur in de aardappelstapel bij de voorruimte vertoont wat grotere fluctuaties tijdens de bewaring dan de overige locaties. Dit wordt verklaard door de temperatuur in de voorruimte die in Figuur 5.3 is weergegeven en ook grotere fluctuaties vertonen. De overige temperaturen liggen nagenoeg over elkaar heen en alleen bij ventilatie ontstaan er kleine verschillen. Deze worden veroorzaakt door een niet geheel homogene luchtverdeling door de luchtkanalen die het gevolg is van een waarschijnlijk niet ideale drukopbouw in deze kanalen. Het gevolg is een grotere of kleinere luchthoeveelheid tijdens ventilatie die een gelijke hoeveelheid aardappelen meer of minder afkoelt.



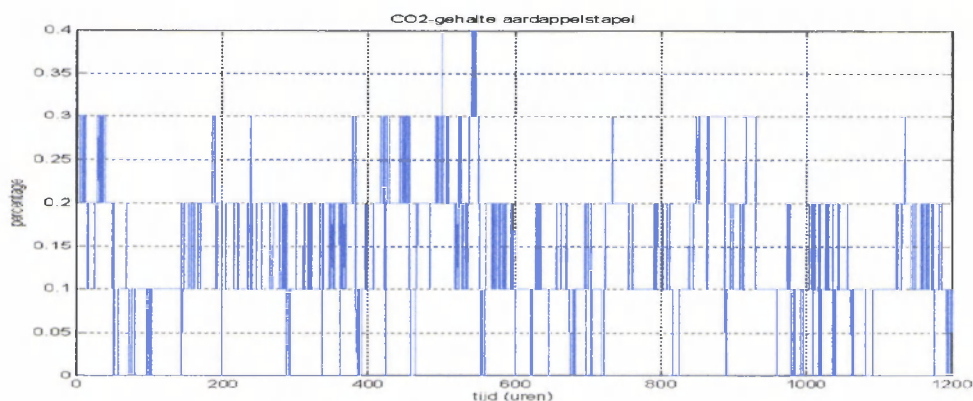
Figuur 5.7: Relatieve luchtvochtigheid in de buitenomgeving

In Figuur 5.7 is de relatieve luchtvochtigheid in de buitenomgeving weergegeven. Om deze meetdata te controleren is deze vergeleken met metingen die door Tolsma B.V. zijn verricht. Daaruit blijkt dat de gemeten RV's redelijk overeenkomen. In deze periode is de RV in de buitenlucht erg hoog. Door het grote aantal uren van externe ventilatie wordt ook een hoge RV in de bewaarplaats verwacht. Dit is aan de RV in de voorruimte, die in Figuur 5.8 is weergegeven, ook duidelijk te zien. De kleine daling in de RV rond uur 800 treedt ook in de voorruimte op.



Figuur 5.8: Relatieve luchtvochtigheid in de voorruimte

In Figuur 5.9 is het globale verloop van de concentratie  $\text{CO}_2$  in de aardappelstapel weergegeven. Hierbij is geen rekening gehouden met het effect van hoogteverschillen in de stapel. Hiervoor wordt verwezen naar de Figures 5.29 en 5.30. Het globale verloop laat duidelijk de verwachte dalingen in concentratie zien die tijdens ventilatie optreden.

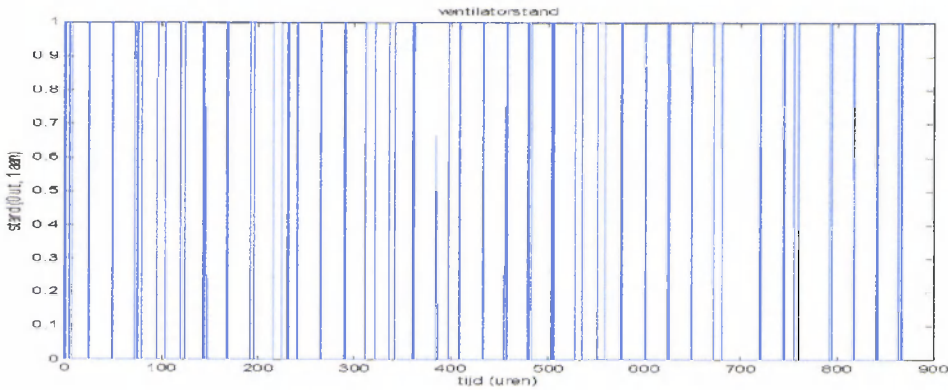


Figuur 5.9: Globaal  $\text{CO}_2$ -verloop in de aardappelstapel

### Periode 2

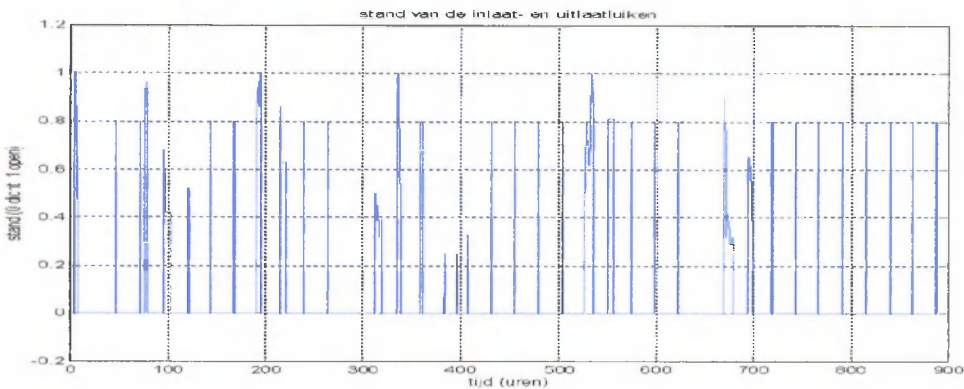
De tijdsperiode die in de plots is uitgezet loopt van 25 februari tot en met 2 april 1998. In Figuur 5.10 is de ventilatorstand weergegeven. Van de 871,25 uur in deze tijdsperiode is er 108,6 uur geventileerd. Dit betekent dat ook in deze periode tijdens meer dan 10 procent van de tijd is geventileerd.





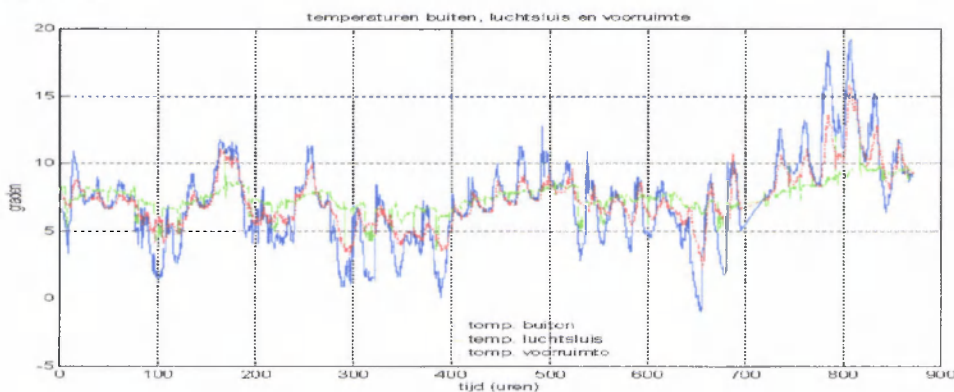
Figuur 5.10: Ventilatorstand

Voor de data van de stand van de luiken in deze fase van de bewaring is voor deze schuur gebruik gemaakt van de gegevens van Tolsma B.V. en deze is weergegeven in Figuur 5.11. Als de luiken zijn geopend is dat meestal voor tenminste 80 %. Uit simulatieresultaten in een eerder stadium van dit onderzoek is gebleken dat dit als volledig externe ventilatie beschouwd kan worden.



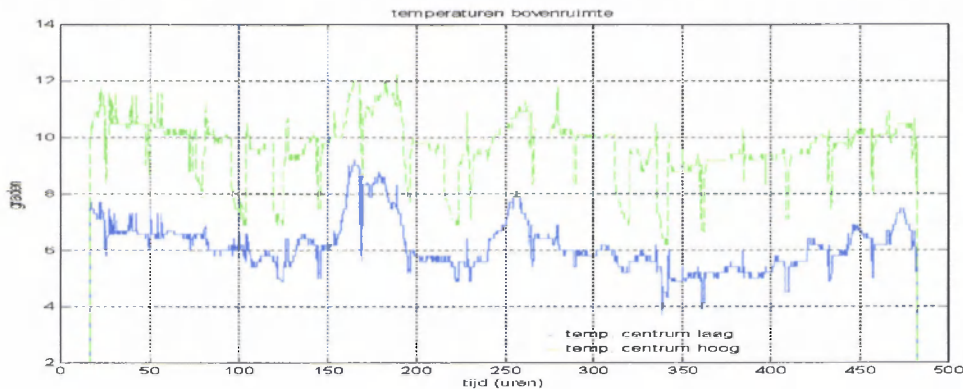
Figuur 5.11: Stand van de inlaat- en uitlaatluiken

In Figuur 5.12 zijn de luchttemperaturen van de voorruimte, luchtsluis en luchtkanaal vergeleken met de buitentemperatuur. Het is duidelijk te zien dat de luchttemperatuur op gedempte wijze de buitentemperatuur volgt. De temperatuur van de luchtsluis neemt op tijden van ventilatie met buitenlucht deze temperatuur aan. Door het grote aantal uren van ventilatie zijn er veel (kleine) fluctuaties in de temperatuur van de luchtsluis. Deze fluctuaties moeten door de ventilatie tevens optreden in de aardappelstapel. Dit moet blijken uit de Figuren 5.14, 5.15 en 5.16 waar de temperaturen in de aardappelstapel zijn weergegeven.



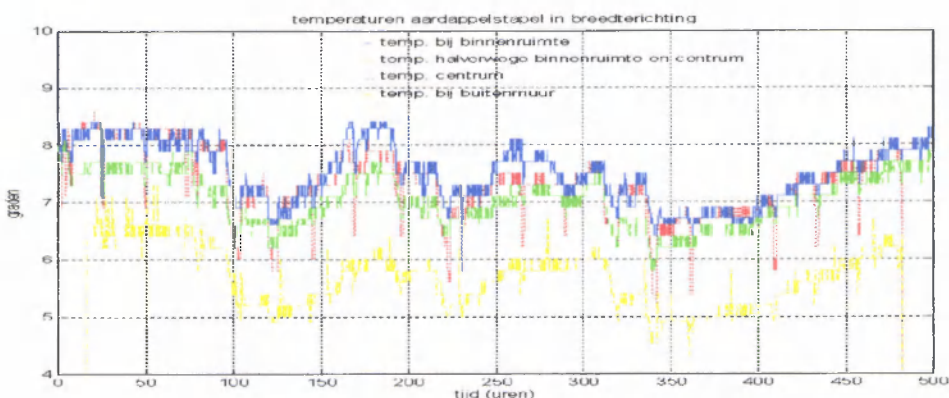
Figuur 5.12: Temperaturen lucht buiten, luchtsluis en in de voorruimte

In Figuur 5.13 zijn twee gemeten temperaturen in de bovenruimte van de eerste 500 uur in deze fase weergegeven. Na deze tijdsperiode is een gedeelte van de meetsensoren (tijdelijk) uitgevallen. Zoals verwacht is de temperatuur in de nok van de bovenruimte hoger dan vlak boven de aardappelstapel. Dit wordt veroorzaakt doordat warmere lucht lichter is en opstijgt en daarnaast door de afwezigheid van condensventilatoren in deze schuur die voor extra luchtcirculatie zorgen in de bovenruimte. Dit komt overeen met de verwachting naar aanleiding van eerder uitgevoerde simulaties binnen dit project zoals besproken in Voortgangsrapportage januari-juni 1997 waar het verschil tussen simulatieresultaten en beschikbare meetresultaten enkel kon worden verklaard indien er een temperatuurverschil in de bovenruimte aanwezig was. Deze figuur toont het gelijk van de redenering aan.



Figuur 5.13: Temperaturen bovenruimte

In Figuur 5.14 zijn de temperaturen in de breedterichting in de aardappelstapel weergegeven. Direct valt op dat de temperatuur bij de buitenmuur in de aardappelstapel duidelijk onder de andere temperatuurverlopen ligt. Aan de buitenmuur is de storthoogte van de aardappelen in deze schuur minder hoog. Dit heeft als gevolg dat een gelijke hoeveelheid lucht minder aardappelen hoeft af te koelen en dit dus in sterkere mate kan doen. Doordat ook in deze periode veel extern wordt geventileerd wordt het temperatuurverschil in de stapel gehandhaafd. Het maximale temperatuurverschil bedraagt zo'n 1 graad. De onderlinge verschillen blijven constant, behalve bij ventilatie. Dit afwijkend gedrag tijdens ventilatie wordt verklaard door de positie van de sensor boven of tussen de kanalen waardoor er geen gelijke luchtstroming is. In schuur 2, waar een roostervloer aanwezig is, moet dit effect kleiner zijn. Opvallend is ook in deze figuur, dat op weliswaar gedempte wijze, de trends in de buitentemperatuur vrij sterk door de gehele bewaarplaats worden gevolgd.

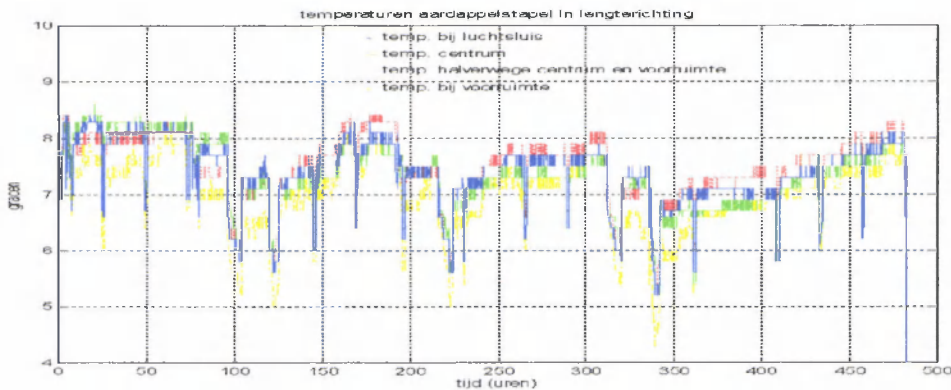


Figuur 5.14: Temperaturen in breedterichting in de aardappelstapel

In Figuur 5.15 zijn de temperaturen in de aardappelstapel in lengterichting weergegeven van luchtsluis naar voorruimte op een hoogte van 2,0 meter. Ondanks de sterke verschillen in buitentemperatuur in deze periode overlappen de temperaturen in lengterichting

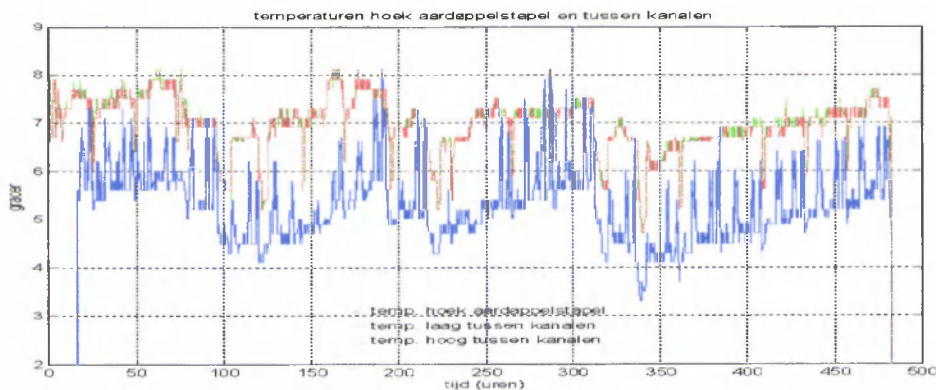


grotendeels, met uitzondering van de ventilatieperioden. Dit wijst erop dat de luchtverdeling in lengterichting niet gelijkmatig is, tijdens de ventilatie, zoals reeds is geconstateerd naar aanleiding van Figuur 5.6.



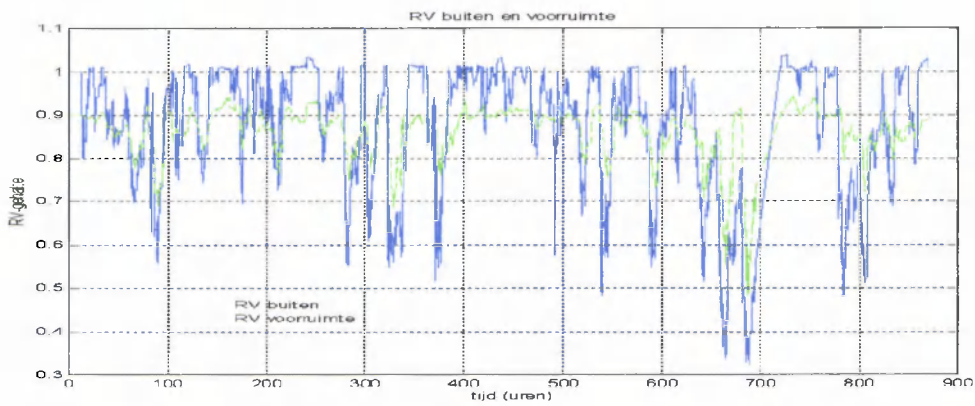
Figuur 5.15: Temperaturen in lengterichting in de aardappelstapel

In Figuur 5.16 zijn de temperaturen weergegeven in de hoek van de aardappelstapel met de luchtsluis en de buitenmuur op een hoogte van 2,0 meter en tussen de middelste kanalen op een hoogte van 0,5 meter en 2,0 meter vanaf de luchtsluis. De invloed van de buitentemperatuur op de temperatuur in de hoek van de aardappelstapel is in deze figuur duidelijk te zien. Niet alleen de trends in de buitentemperatuur worden door de aardappelstapel gevolgd, maar ook de dag-nacht fluctuaties. De temperatuur ligt rond dezelfde waarden als de gemeten temperatuur bij de buitenmuur in Figuur 5.14. De temperaturen tussen de kanalen overlappen grotendeels en liggen wat lager dan de temperaturen die op iets grote hoogten in de aardappelstapel zijn gemeten. Dit komt overeen met de algemene verwachting dat de aardappelen met de hoogte oplopen in temperatuur.

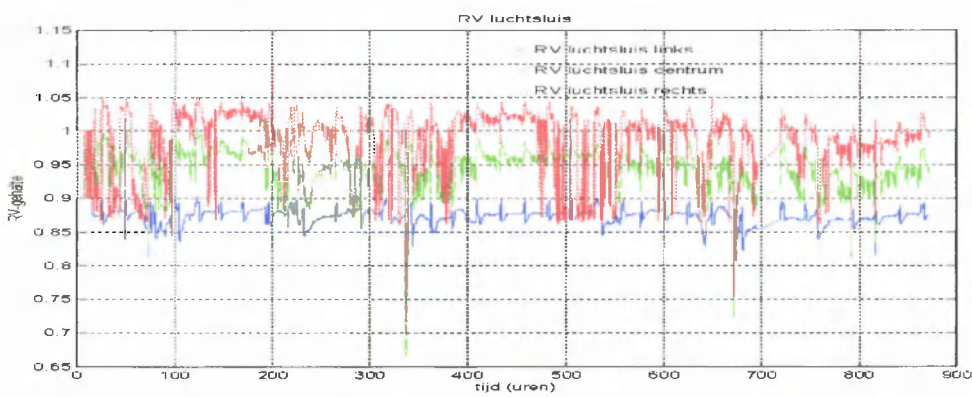


Figuur 5.16: Temperaturen in de hoek en tussen de kanalen in de aardappelstapel

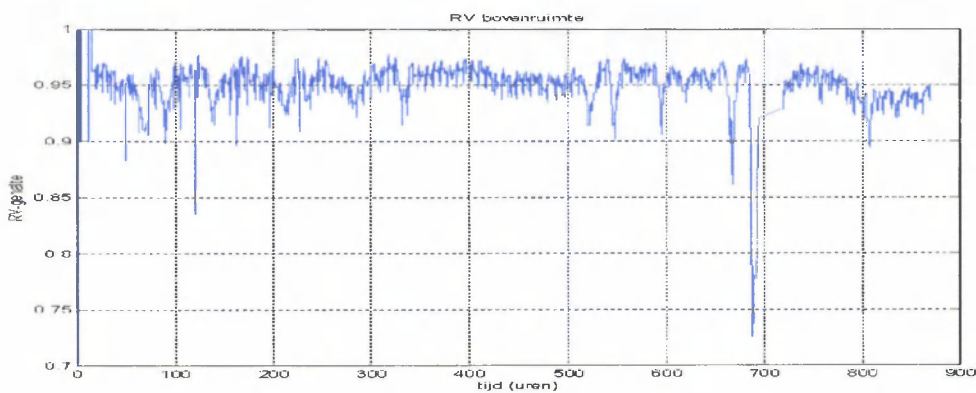
In Figuur 5.17 zijn de RV's buiten en in de voorruimte weergegeven. De fluctuaties zijn in deze periode aanzienlijk groter dan in periode 1. De RV in de voorruimte volgt die van de buitenomgeving, zoals dit ook met de temperatuur gebeurt. De RV's in de luchtsluis, die in Figuur 5.18 zijn weergegeven, vertonen duidelijke verschillen. Dit kan niet met temperatuurverschillen alleen worden verklaard en dit wijst op afwijkingen tussen de verschillende meetsensoren in de luchtsluis of verschillen in de luchtsluis. De RV in de bovenruimte vertoont nauwelijks grote fluctuaties, behalve rond uur 700 waar erg lang is geventileerd. Dit constante hoge RV-gehalte komt door de verdamping van vocht uit de aardappelen naar de lucht die tijdens ventilatie optreedt. De buitenlucht wordt tijdens ventilatie door de aardappelen bevochtigd waardoor lagere vochtgehalten buiten niet in de bovenruimte terug zijn te vinden, tenzij erg lang wordt geventileerd.



Figuur 5.17: Relatieve luchtvochtigheid in de buitenomgeving en in de voorruimte

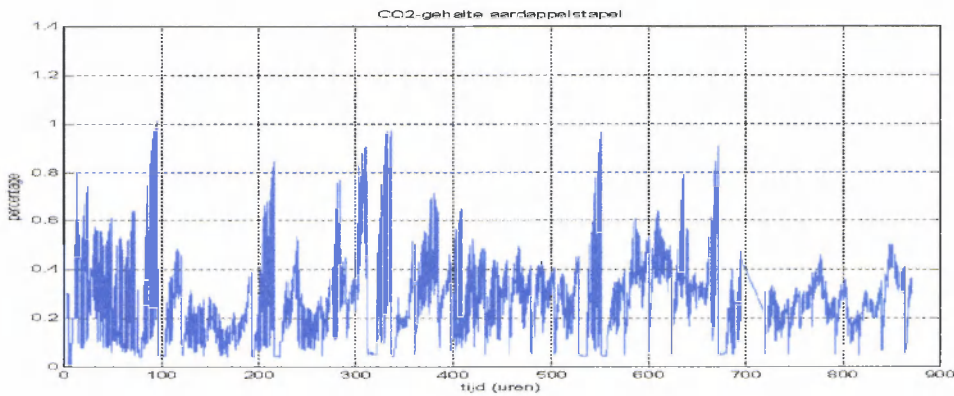


Figuur 5.18: Relatieve luchtvochtigheden in de luchtsluis



Figuur 5.19: Relatieve luchtvochtigheid in de bovenruimte

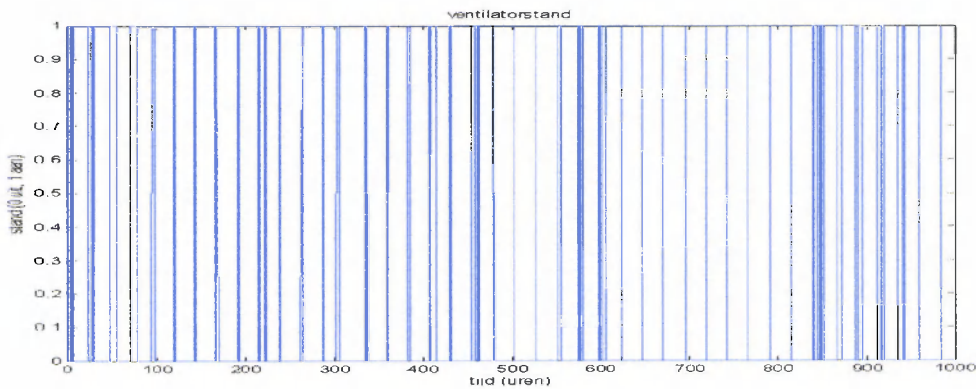
In Figuur 5.20 is het globale CO<sub>2</sub> –verloop in de aardappelstapel weergegeven. Vergelijken met Figuur 5.9 is de gemeten concentratie CO<sub>2</sub> in deze periode aanzienlijk groter. Doordat er in deze periode veel geventileerd is, kan deze stijging alleen worden verklaard door een probleem met de meetsensor. Vergelijking met Figuur 5.46, waar de gemeten CO<sub>2</sub> in de bovenruimte met het Tolsma-systeem is weergegeven, versterkt deze veronderstelling.



Figuur 5.20: Globaal CO<sub>2</sub>-verloop in de aardappelstapel

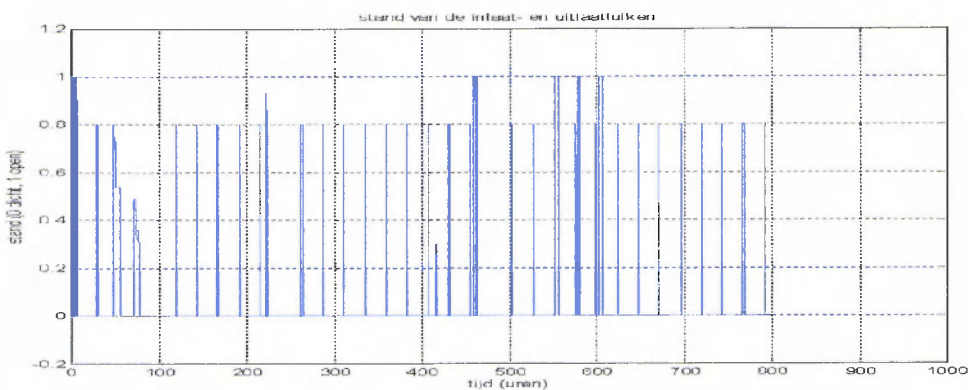
### Periode 3

De tijdsperiode die in de plots is uitgezet loopt van 10 april 1998 tot en met 21 mei 1998. In Figuur 5.21 zijn de momenten van ventilatie weergegeven. Op een totaal aantal uren van 1004,1 is gedurende 86,1 uur sprake van ventilatie.



Figuur 5.21: Ventilatorstand

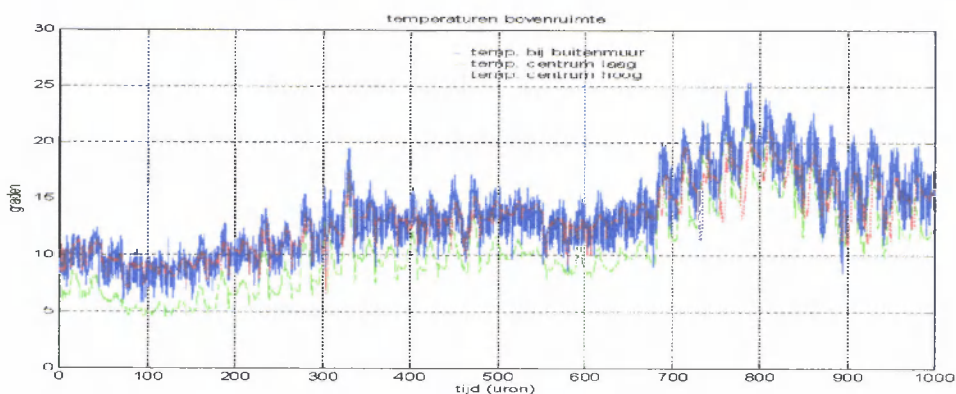
In Figuur 5.22 is de stand van de luiken weergegeven met behulp van meetdata van Tolsma B.V. Deze data is beschikbaar tot en met 13 mei 1998, dus van de laatste 200 uur zijn in deze tijdperiode (nog) geen gegevens over de luikstanden beschikbaar. Tijdens ventilatie met buitenlucht zijn ook in deze fase de luiken voor tenminste 80 % geopend, wat beschouwd kan worden als volledig externe ventilatie.



Figuur 5.22: Stand van de inlaat- en uitlaatluiken

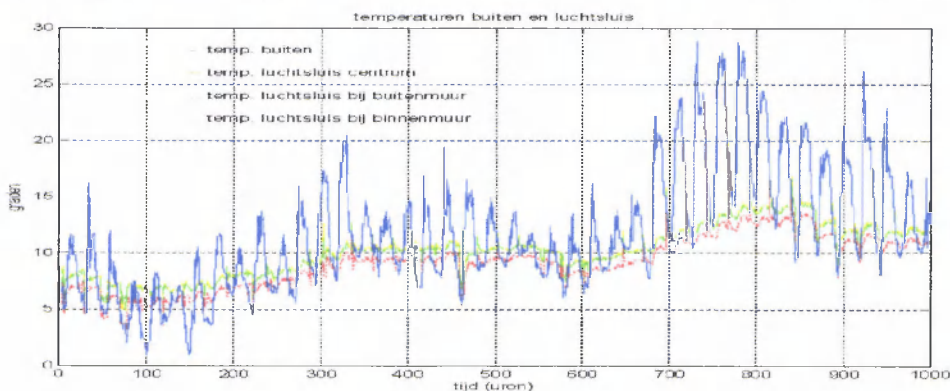


In Figuur 5.23 zijn de gemeten temperaturen in de bovenruimte weergegeven. Het is duidelijk dat bij ventilatie de temperaturen in het centrum van de bovenruimte naar elkaar toe gaan. Tussen de ventilatieperioden door is er weer het grote temperatuurverschil tussen de beiden hoogten in het centrum van de bewaarplaats, zoals reeds naar aanleiding van Figuur 5.13. is geconstateerd. De temperatuur aan de buitenmuur vertoont aanzienlijke ruis rond de meetwaarden. Verder ligt de temperatuur rond dezelfde waarden als de temperatuur hoog in het centrum van de bovenruimte. Tijdens ventilatieperioden daalt de temperatuur bij de buitenmuur sneller dan in het centrum. Dit heeft twee oorzaken. Allereerst is de hoogte van de aardappelstapel kleiner bij de buitenmuur. Dit heeft als gevolg dat tijdens ventilatie met buitenlucht deze lucht minder aardappelen hoeft af te koelen. Dit gaat sneller en er wordt een lagere temperatuur bereikt. Dit is dan ook in de bovenruimte merkbaar. Daarnaast wordt er tijdens externe ventilatie lucht afgevoerd door de uitlaatluiken, waardoor direct contact met de koudere buitenomgeving aanwezig is. Dit veroorzaakt extra afkoeling van de lucht aan de buitenzijde van de bovenruimte.



Figuur 5.23: Temperaturen bovenruimte

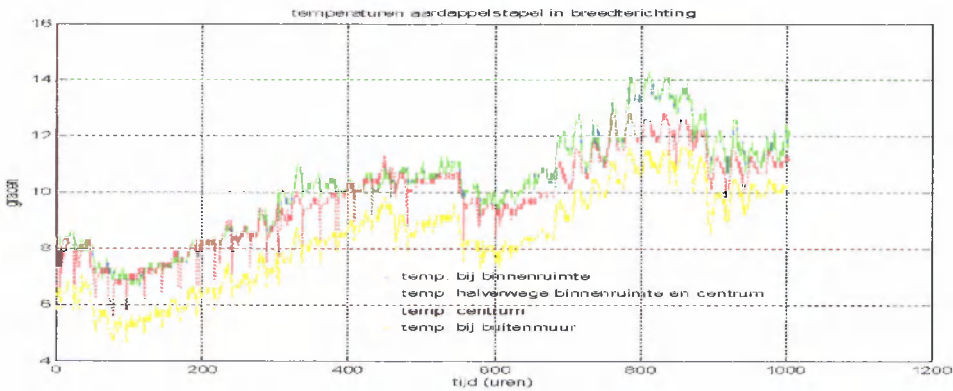
Naast temperatuurverschillen in de bovenruimte is er tevens sprake van temperatuurverschillen in de luchtsluis. Dit is weergegeven in Figuur 5.24. Het meetpunt in de luchtsluis bij de zijruimte vertoont een gelijk verloop als het midden van de luchtsluis, maar bij de buitenmuur heerst een lagere temperatuur. Dit betekent dat de temperatuurverdeling in de luchtsluis niet homogeen is. Dit wordt veroorzaakt door de geometrie van de luchtsluis en de invloed van de buitenomgeving. De geometrie van de luchtsluis bemoeilijkt de luchtcirculatie bij de buitenmuur in de luchtsluis. Het temperatuurverschil in de luchtsluis verklaart tevens de temperatuurverschillen in breedterichting in de aardappelstapel, die in de Figuren 5.14 en 5.25 zichtbaar zijn.



Figuur 5.24: Temperaturen buiten en in de luchtsluis

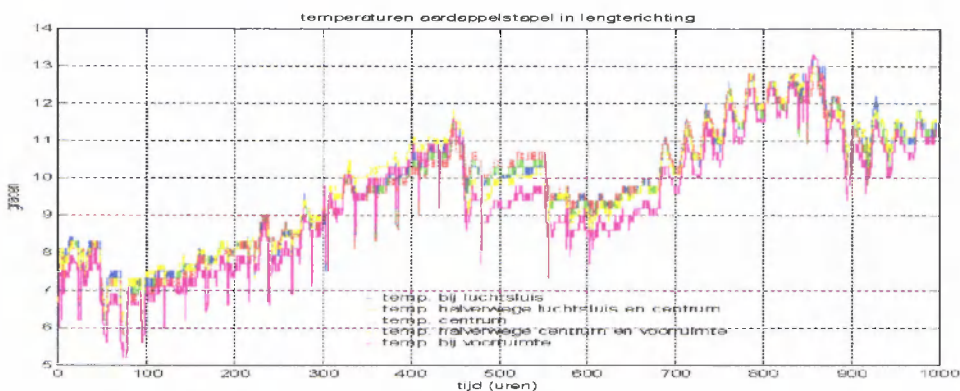
In Figuur 5.25 zijn de temperaturen weergegeven zoals gemeten in de breedterichting van de aardappelstapel. De aardappelen aan de buitenmuur warmen het meeste op, door de lagere storthoogte, zoals bij Figuur 5.14 is besproken. Bij de binnenruimte is het effect van

de buitentemperatuur niet groter dan in het centrum van de aardappelstapel. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van de binnenruimte die werkt als een goede isolatie.



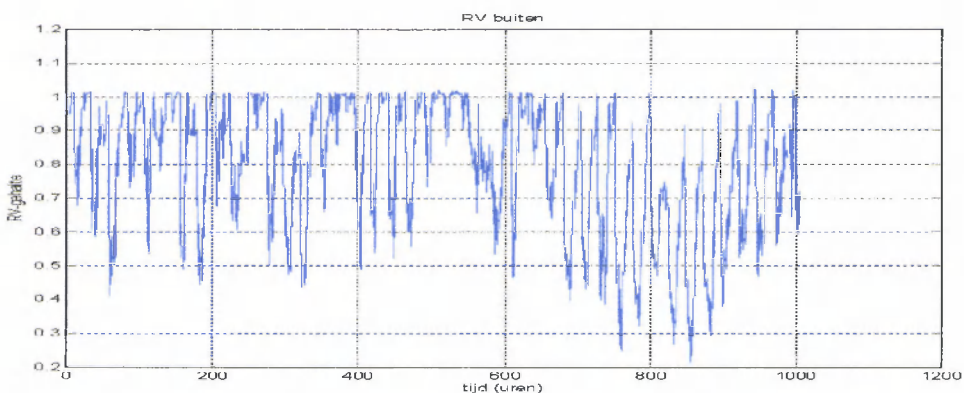
Figuur 5.25: Temperaturen in breedterichting in de aardappelstapel

Ook in Figuur 5.26, waar de temperaturen in lengterichting in de aardappelstapel zijn weergegeven, is het opwarmen van de aardappelen terug te vinden. De aardappelen in lengterichting vertonen in deze fase nauwelijks verschillen in temperatuur al is het effect van de voorruimte wel zichtbaar.



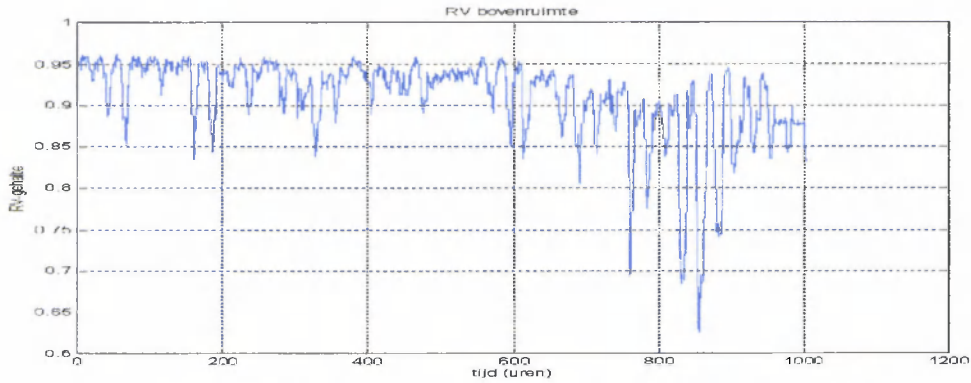
Figuur 5.26: Temperaturen in lengterichting in de aardappelstapel

In de Figuren 5.27 en 5.28 zijn de RV's van buiten en in de bovenruimte weergegeven. De fluctuaties zijn in deze periode duidelijk groter. Ondanks deze grote verschillen is de RV tijdens grote delen van deze periode hoog, zoals naar aanleiding van Figuur 5.19 is besproken. De grotere dalingen aan het einde van deze periode worden veroorzaakt door de langere perioden van ventilatie, zoals blijkt uit Figuur 5.21.



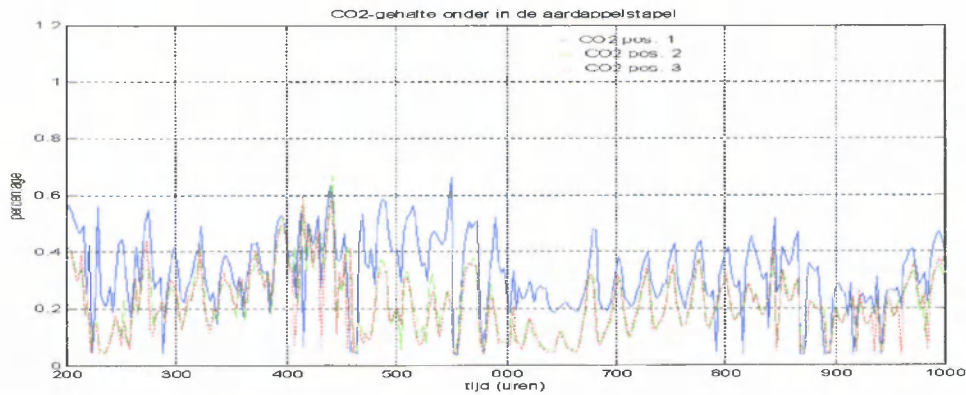
Figuur 5.27: Relatief luchtvochtigheid in de buitenomgeving



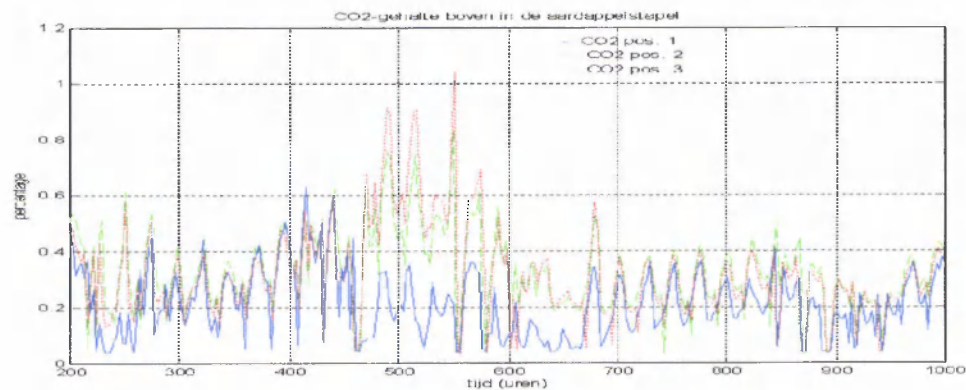


Figuur 5.28: Relatief luchtvochtigheid in de bovenruimte

In Figuur 5.29 is het CO<sub>2</sub> gehalte op de onderste drie posities in de aardappelstapel weergegeven. De waarden corresponderen met de verwachtingen. De momenten van ventilatie zijn duidelijk te zien aan de sterke dalingen in de concentratie CO<sub>2</sub>. In Figuur 5.30 zijn de bovenste drie posities in de aardappelstapel weergegeven. Rond uur 500 zijn op dit moment nog niet goed te verklaren stijgingen op twee posities te zien. Vergeleken met de metingen met het Tolsma-systeem, die in Figuur 5.46 zijn weergegeven en die net boven de aardappelstapel zijn gemeten, zijn de concentraties in de stapel duidelijk hoger. Naast eventuele meetfouten wordt dit verklaard door het uitzakken van CO<sub>2</sub>. De pieken rond uur 500, die ook in Figuur 5.46 rond het corresponderende uur 4300 optreden, verklaard kunnen worden als er rond die periode is geventileerd met kiemremmingsmiddel.



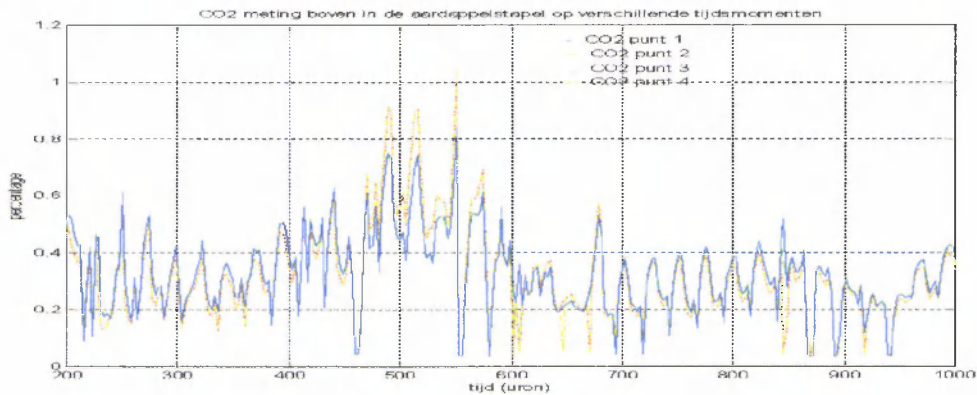
Figuur 5.29: Verloop CO<sub>2</sub> onder in de aardappelstapel



Figuur 5.30: Verloop CO<sub>2</sub> boven in de aardappelstapel

Een CO<sub>2</sub>-meting op een positie wordt viervoudig uitgevoerd om een betere garantie te verkrijgen dat de verschillende samplenmomenten weergegeven. Uit Figuur 5.31 blijkt duidelijk dat de eerste twee metingen nog hinder ondervinden van de vorige metingen op

een andere hoogt. In de Figuren 5.29 en 5.30 is daarom steeds de meetwaarde op het derde sample moment weergegeven.

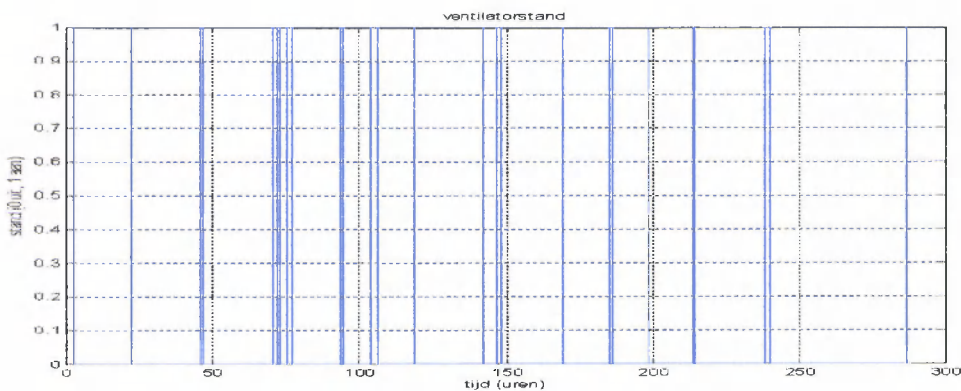


Figuur 5.31: Verschillen CO<sub>2</sub>-metingen op verschillende samplomenten

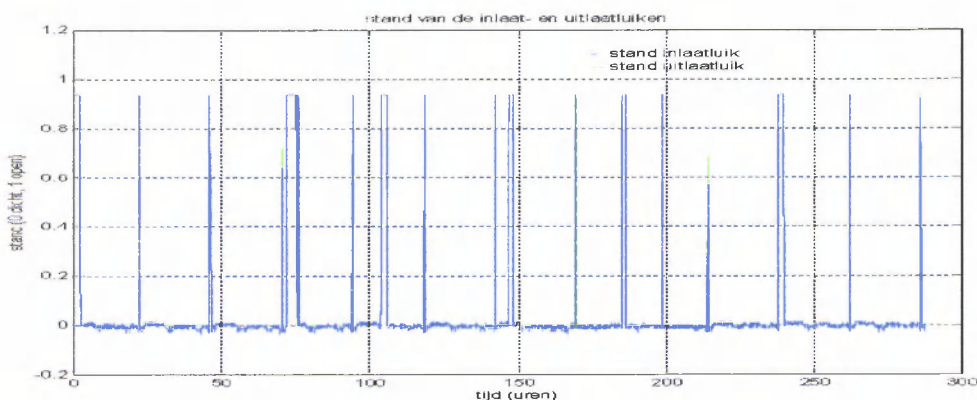
### 5.3.2 Metingen Schuur 2

#### Periode 1

De tijdsperiode die in de plots is uitgezet loopt van 28 november tot en met 9 december 1997. In Figuur 5.32 is de ventilatorstand in deze periode weergegeven, waarbij de data met betrekking tot de ventilatorstand afkomstig is van Tolsma B.V. Van de 288,25 uren in deze tijdsperiode is gedurende 14,5 uur sprake van ventilatie.

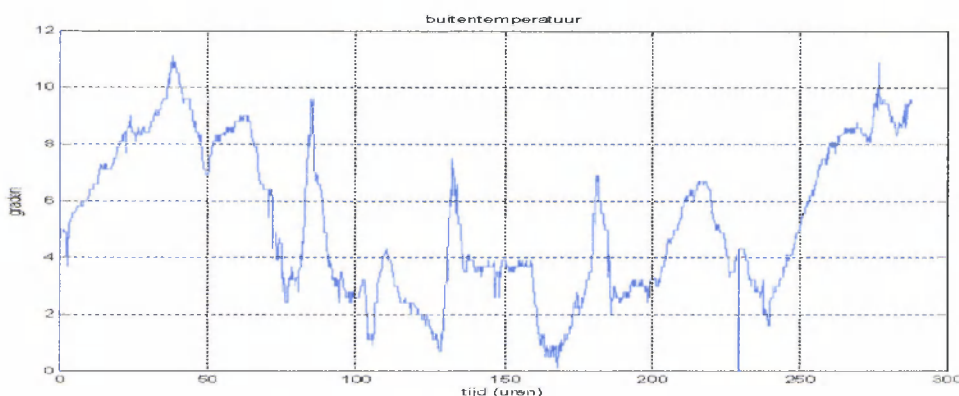


Figuur 5.32: Ventilatorstand

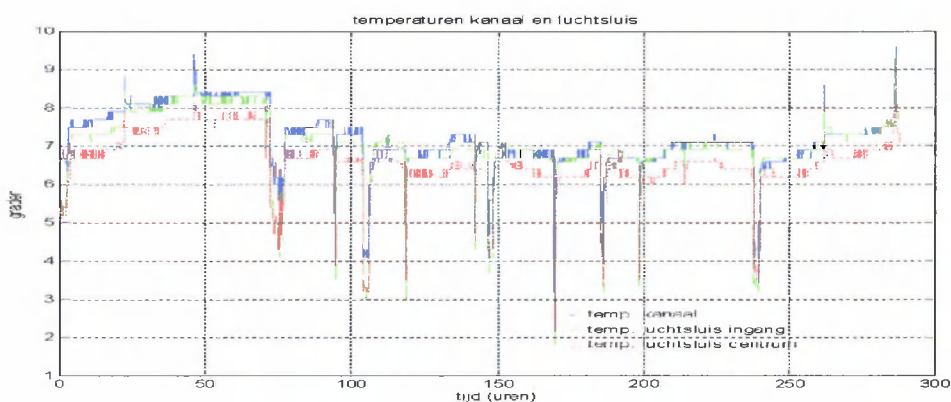


Figuur 5.33: Stand van de luiken

In Figuur 5.33 zijn de standen van de inlaat- en uitlaatluiken weergegeven. Het is duidelijk dat deze standen met elkaar zijn gekoppeld. Bij ventilatie met buitenlucht komt er extra lucht in de bewaarplaats en zal er dus ook lucht worden afgevoerd. De ruis die optreedt bij het meten van de stand van de inlaatluik wordt waarschijnlijk veroorzaakt door storingen afkomstig van de radiozender die in de buurt van deze bewaarplaats is geplaatst. Vergelijking van Figuur 5.33 en 5.32 maakt duidelijk dat gedurende perioden van ventilatie dit eigenlijk altijd met buitenlucht gebeurde en er dus nagenoeg geen interne ventilatie heeft plaatsgevonden. Gezien de constructie van deze schuur kunnen er dan ook problemen met betrekking tot het CO<sub>2</sub>-gehalte optreden. Dit wordt verder besproken bij Figuur 5.49. In Figuur 5.34 is de buitentemperatuur in deze tijdsperiode weergegeven. De fluctuaties in deze periode zullen terug te vinden zijn in de metingen van de temperaturen in de bewaarplaats. De invloed van de buitentemperatuur op de temperaturen in de luchtsluis en ook in het luchtkanaal is dan ook duidelijk te zien in Figuur 5.35. De stijging in temperatuur in de begin- en eindperiode in deze periode van de buitenlucht is terug te vinden in de temperaturen in het kanaal en in de luchtsluis. Er is sprake van een temperatuurverschil in de luchtsluis. Bij de buitenmuur van de luchtsluis is de temperatuur een 0,5 graden lager tussen de ventilatieperioden in. Dit temperatuurverschil moet ook in andere plaatsen in de bewaarplaats zijn terug te vinden, zoals in de bovenruimte in Figuur 5.36.



Figuur 5.34: Temperatuur buitenlucht

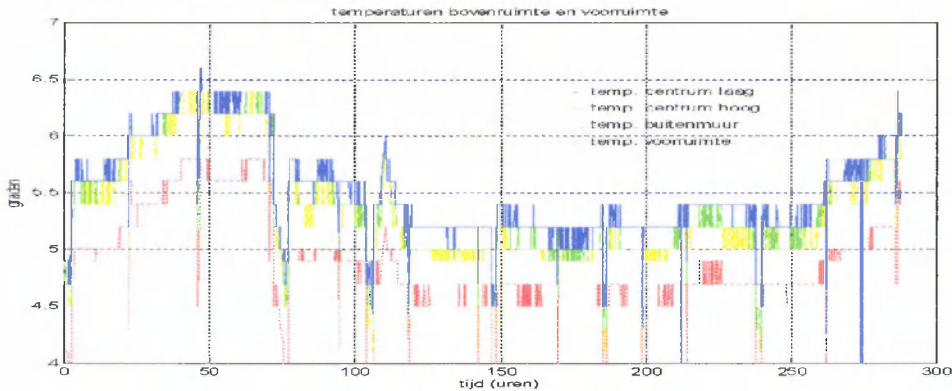


Figuur 5.35: Temperaturen in het kanaal en in de luchtsluis

Het temperatuurverschil in de luchtsluis is tevens zichtbaar in de bovenruimte, waarvan de temperaturen in Figuur 5.36 zijn uitgezet samen met de temperatuur van de voorruimte. De temperatuur bij de buitenmuur is aan de andere zijde van de bewaarplaats gemeten dan de temperatuur bij de buitenmuur in de luchtsluis. Dit wijst op een temperatuurverdeling in de breedte van de bovenruimte. De sensor van de temperatuurmeting in de bovenruimte bij de buitenmuur is geplaatst in de circulatiestroom die door de condensventilatoren kan worden

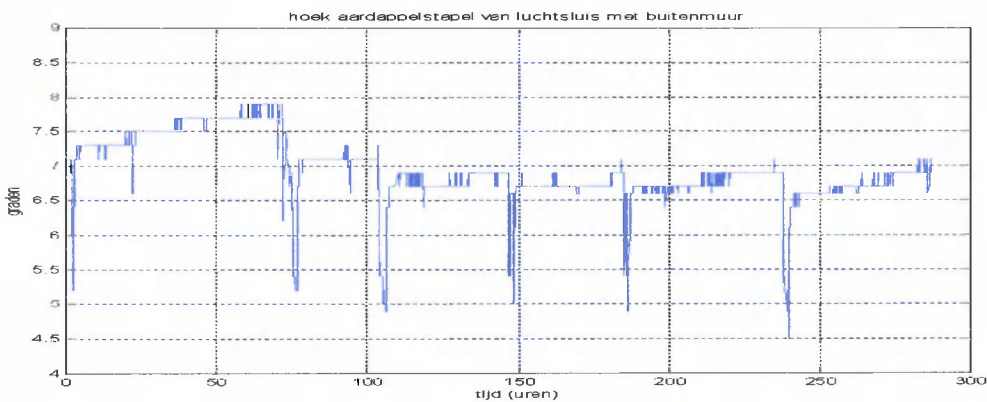


aangebracht. De voorruimte van deze bewaarplaats is verwaarloosbaar klein en de sensor is geplaatst op een hoogte net boven de aardappelen bij de inschuurdeur in het midden van deze deur. De temperaturen in het midden van de bovenruimte en de voorruimte komen goed met elkaar overeen. De algehele temperatuurverschillen in de bovenruimte zijn door de geometrie van de bewaarplaats en de aanwezigheid van condensventilatoren duidelijk kleiner dan in schuur 1, zoals onder meer in Figuur 5.13 is te zien.



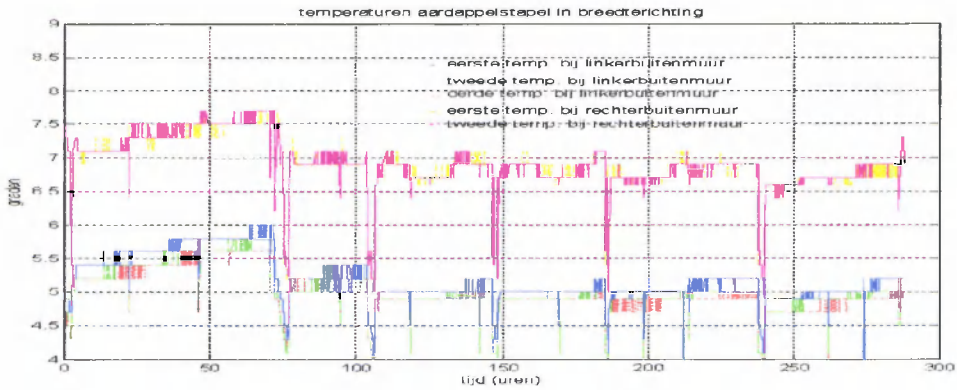
Figuur 5.36: Temperaturen in de bovenruimte en in de voorruimte

In Figuur 5.37 is de temperatuur in de hoek van de aardappelstapel uitgezet. De invloed van de temperatuurstijging van de buitenlucht in de beginperiode in deze periode is duidelijk te zien in de figuur. Opvallend is verder dat ventilatie zorgt voor een snelle afkoeling met zo'n 2 graden, maar dat na ventilatie ook weer sprake is van een snelle opwarming. De temperatuur komt goed overeen met een aantal temperaturen in de breedterichting van de aardappelstapel.



Figuur 5.37: Temperatuur hoek aardappelstapel van de luchtsluis met de buitenmuur

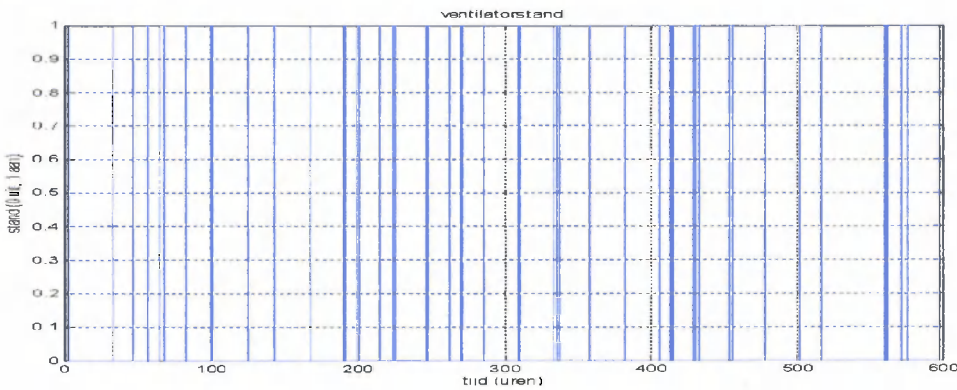
In Figuur 5.38 zijn de temperaturen in de aardappelstapel in de breedterichting, parallel aan de luchtsluis, weergegeven. Uit de metingen blijkt een duidelijk temperatuurverschil tussen de beide zijden van de bewaarplaats. Het temperatuurverschil bedraagt zo'n 2 graden en bij ventilatie koelt de warmere zijde aanzienlijk sneller af. Dit kan echter eenvoudig worden verklaard met het hogere temperatuurverschil. Dit grote temperatuurverschil kan enkel worden verklaard door een meetfout, omdat de temperatuur in de luchtsluis en in de bovenruimte in de breedterichting niet groot genoeg zijn om als oorzaak voor dit verschil te dienen. Verder blijkt duidelijk uit deze figuur dat het effect van de buitenmuur op de temperatuur niet erg groot is, daarvoor komen de temperaturen te veel overeen. De verschillen in de temperatuur bij de linkerbuitenmuur zijn duidelijk kleiner dan in schuur 1 het geval is, zoals is te zien in Figuur 5.5. Dit is het gevolg van de aanwezigheid van een roostervloer in schuur 2 die een beter luchtverdeling garandeert tijdens perioden van ventilatie.



Figuur 5.38: Temperaturen in de breedterichting van de aardappelstapel

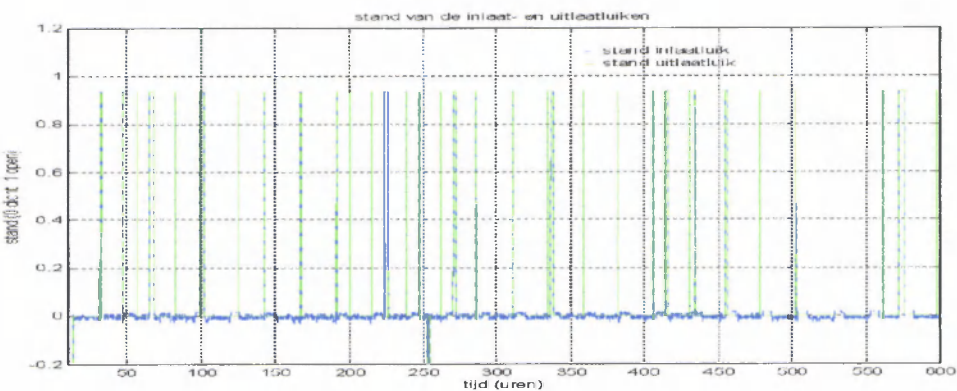
### Periode 2

De tijdsperiode in deze periode loopt van 18 december 1997 tot en met 11 januari 1998. In Figuur 5.39 is met behulp van meetdata van Tolsma B.V. de stand van de ventilator weergegeven. Van het totaal aantal uren in deze periode 599,75 is er gedurende 26,75 uur sprake van ventilatie.



Figuur 5.39: Ventilatorstand

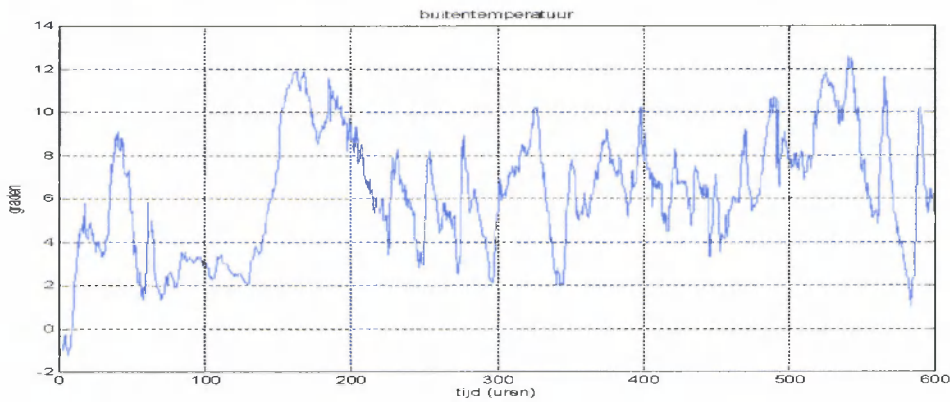
In Figuur 5.40 zijn de standen van de inlaat- en uitlaatluiken weergegeven. Ook in deze periode komen de standen, zoals verwacht, met elkaar overeen. Vergelijking van Figuur 5.39 met Figuur 5.40 maakt duidelijk dat ook in deze periode nauwelijks intern geventileerd is. Bij ventilatie zijn de luiken nagenoeg geheel geopend. Net als in Figuur 5.33 is er ruis zichtbaar op het signaal voor het inlaatluik.



Figuur 5.40: Stand van de inlaat- en uitlaatluiken

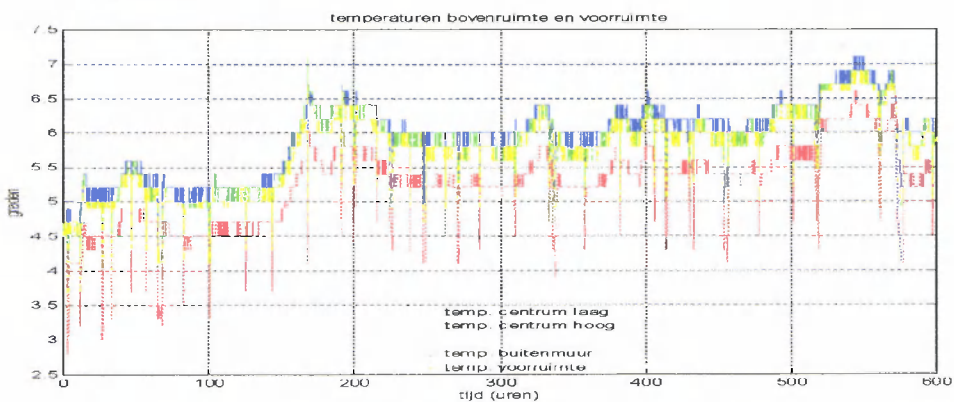


In Figuur 5.41 is de buitentemperatuur in deze periode weergegeven met behulp van gegevens van Tolsma B.V. De grote fluctuaties in de buitentemperatuur zullen zeker invloed hebben op de gemeten temperaturen in de bewaarplaats.



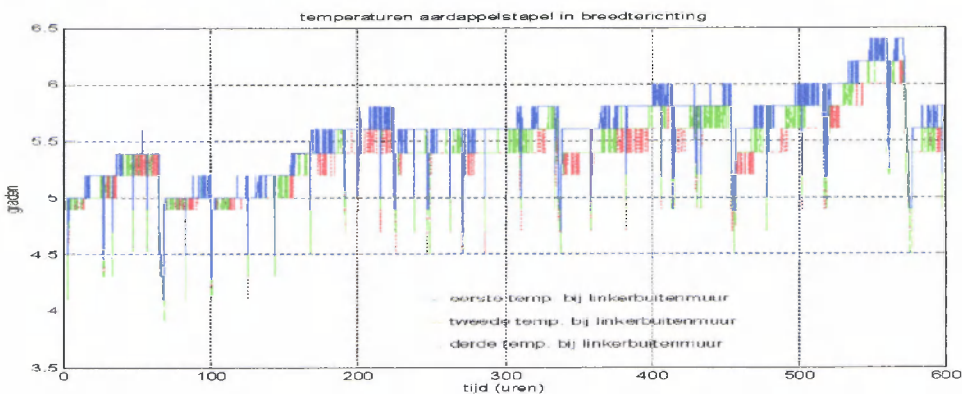
Figuur 5.41: Buitentemperatuur

In Figuur 5.42 zijn de temperaturen in de bovenruimte en de voorruimte uitgezet. Net zoals in een eerdere fase in de bewaring, Figuur 5.36, is er sprake van een temperatuurverschil in de bovenruimte in breedterichting van de bewaarplaats en niet in hoogterichting. De temperatuurstijging rond het tijdstip van 150 uur volgt de buitentemperatuur, zoals duidelijk is te zien in Figuur 5.41.



Figuur 5.42: Temperaturen in de bovenruimte en in de voorruimte

In Figuur 5.43 zijn de temperaturen in breedterichting van de aardappelstapel weergegeven. Uit deze figuur blijkt nogmaals dat het effect van de buitenmuur slechts beperkt doordringt in de bewaarplaats en dat de roostervloer een goede luchtverdeling verzorgt waardoor de temperatuurverschillen in de aardappelstapel klein zijn.



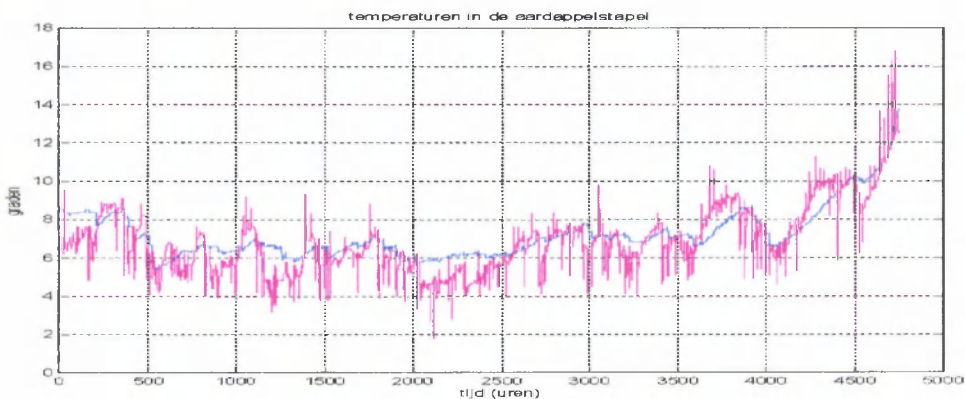
Figuur 5.43: Temperaturen in de breedterichting van de aardappelstapel



## 5.4 Vergelijk metingen ATO-DLO en Tolsma B.V.

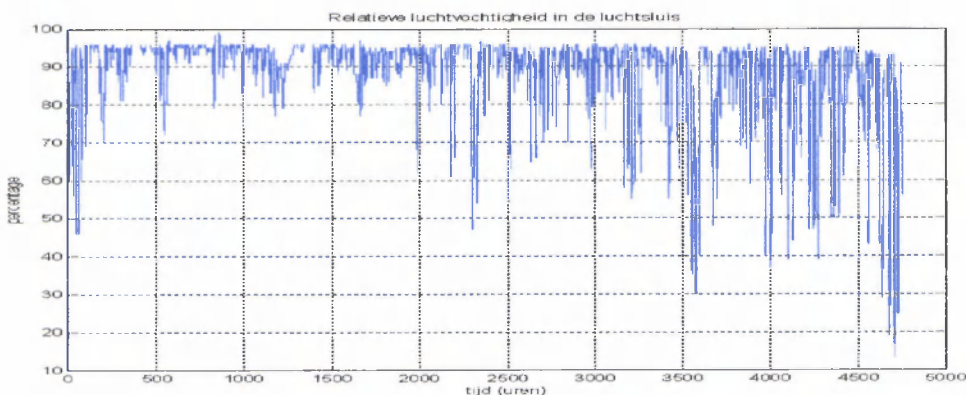
Voor schuur 1 zijn in Figuur 5.44 een aantal temperatuurverlopen in de aardappelstapel weergegeven, zoals gemeten door Tolsma B.V. Deze temperatuurverlopen vertonen de maximale temperatuurverschillen in de beschikbare dataset. Opgemerkt dient te worden dat de metingen die hiervoor zijn uitgevoerd hebben plaatsgevonden allen ver van de buitenwanden en de wanden van de luchtsluis, voorruimte en eventuele zijruimte. Ditzelfde is uitgevoerd voor schuur 2 en die resultaten zijn weergegeven in Figuur 5.47. Vergelijking van beide figuren versterkt de conclusie dat een roostervloer de temperatuurverschillen in de aardappelstapel sterk vermindert.

De tijdperiode voor schuur 1 van fase 1 komt overeen met de periode tussen de uren 440 en 1640 in Figuur 1. Voor de tweede fase is dit tussen de uren 2900 en 3800. Voor de derde fase tenslotte komt de periode overeen met de tijd tussen de vanaf 3950 tot het einde van de beschikbare data.



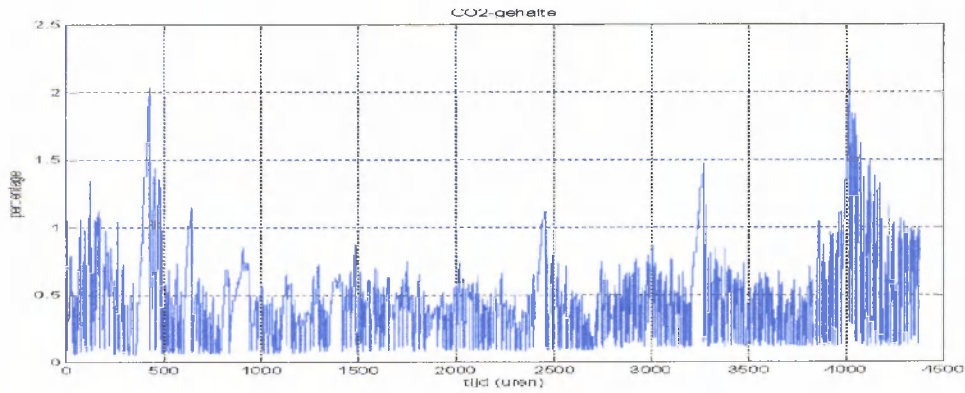
Figuur 5.44: Temperaturen in de aardappelstapel van schuur 1

De gemeten temperatuur in Figuur 5.44 komt goed overeen met de temperatuur in corresponderende tijdperioden in de Figuren 5.5, 5.6, 5.14, 5.15, 5.25 en 5.26. De RV is weergegeven in Figuur 5.45 en heeft vergelijkbare waarden als in Figuur 5.18.



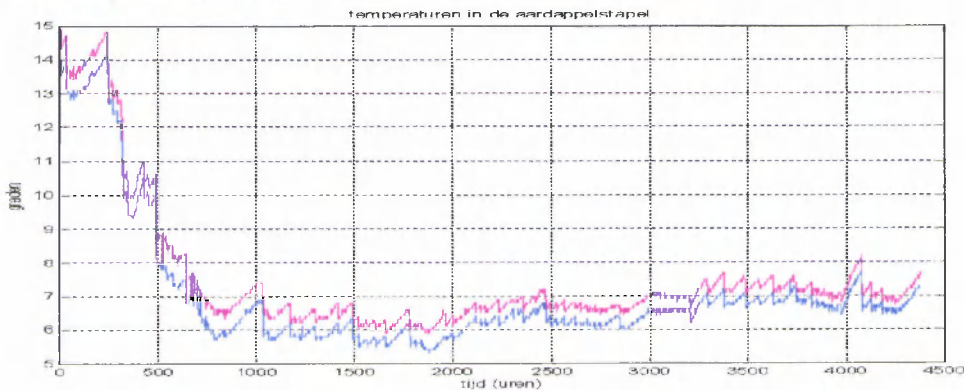
Figuur 5.45: Relatieve luchtvochtigheid in de luchtsluis van schuur 1

In Figuur 5.46 is de concentratie  $\text{CO}_2$  weergegeven zoals net boven de aardappelen is gemeten. Het valt op dat de meetwaarden duidelijk lager liggen dan de meetwaarden in de aardappelstapel in de Figuren 5.9, 5.20, 5.29 en 5.30. Dit wordt verklaard door het uitzakken van  $\text{CO}_2$ . Opvallend is nog de piek rond uur 4300 die ook in Figuur 5.29 en 5.30 optreedt.



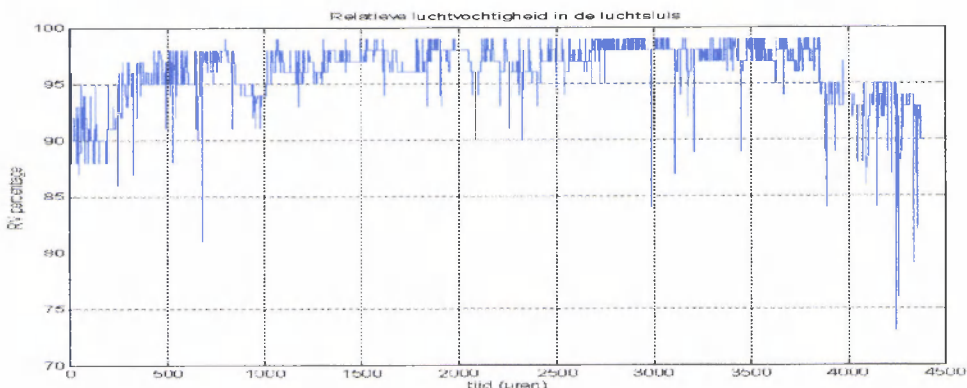
Figuur 5.46: CO<sub>2</sub>-gehalte in schuur 1

De tijdsperiode van de eerste fase voor schuur 2 komt overeen met de tijdsperiode van 1400 uur tot 1700 uur in Figuur 2. De tijdsperiode van de tweede fase van schuur 2 komt overeen met de periode van 1900 uur tot 2500 uur. In Figuur 5.47 zijn twee uiteenlopende temperatuurverschillen weergegeven. De waarden liggen tot 0.5 graden boven de met het ATO-systeem gemeten waarden in de Figuren 5.38 en 5.43.



Figuur 5.47: Temperaturen in de aardappelstapel van schuur 2

In Figuur 5.48 is de relatieve luchtvochtigheid in de luchtsluis weergegeven. Deze vertoont dezelfde hoge waarden als in schuur 1 is gemeten, zoals blijkt vergelijking met Figuur 5.45. Doordat in schuur 2 aanzienlijk minder momenten van ventilatie aanwezig zijn geweest, zijn er ook minder pieken omlaag zichtbaar die in het geval op van ventilatie met drogere buitenlucht optreden.

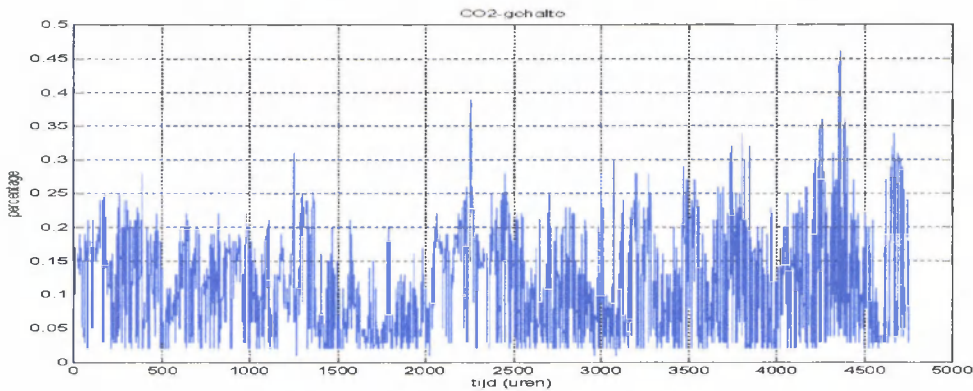


Figuur 5.48: Relatieve luchtvochtigheid in de luchtsluis van schuur 2

In Figuur 5.49 is het CO<sub>2</sub>-gehalte weergegeven dat boven de aardappelstapel is gemeten. Het is duidelijk dat dit gedurende de bewaring erg hoog is. Zo'n hoge concentratie kan zelfs zeer negatieve invloed hebben op de kwaliteit van de aardappelen die zich in de bewaring



bevinden. Doordat het aantal uren van ventilatie niet erg hoog is geweest, treedt ophoping van CO<sub>2</sub> op. Schuur 2 is extra gevoelig voor een dergelijke ophoping door de gedegen constructie van deze schuur. Er is geen of nauwelijks natuurlijke ventilatie door gaten en keiren in de schuur. Verder wordt ook de deur in deze schuur niet geopend voor opslag van werktuigen, zoals in schuur 1 het geval is. Het verdient daarom de aanbeveling om de concentratie CO<sub>2</sub> in deze schuur extra scherp in de gaten te houden.



Figuur 5.49: CO<sub>2</sub>-gehalte in schuur 2

## 5.5 Conclusies

Algemeen kan worden geconcludeerd dat de verschillen in met name de temperatuur in ruimtelijke zin niet zo groot zijn als vooraf verwacht. Het effect van de snelle fluctuaties in de buitentemperatuur blijven beperkt tot een klein gebied bij de buitenmuren, zie Figuur 5.16, dit betekent ook dat de warmtegeleiding van de aardappelen in horizontale richting niet erg groot is. De invloed van de geometrie van de bewaarplaats is aanzienlijk groter. Het effect van ongelijke storthoogten blijkt onder meer uit de analyse naar aanleiding van Figuur 5.14. Een lagere storthoogte betekent dat een gelijke hoeveelheid ventilatielucht minder aardappelen hoeft af te koelen en hierdoor worden temperatuurverschillen in de aardappelstapel geïntroduceerd. Dit effect kan dan ook temperatuurverschillen in de bovenruimte veroorzaken. In de bovenruimte treden naast deze verschillen in breedterichting, zeker bij afwezigheid van condensventilatoren verschillen in hoogterichting op, die onder meer in Figuur 5.13 zichtbaar zijn. Dit komt overeen met de verwachtingen naar aanleiding van de verkregen simulatieresultaten in een eerder stadium van dit onderzoek. Ook in de luchtsluis kan de geometrie van de ruimte temperatuurverschillen versterken of zelfs veroorzaken. Naar aanleiding van Figuur 5.24 is reeds geconstateerd dat de constructie een goede luchtcirculatie in de weg kan staan. Het gunstige effect van een roostervloer blijkt duidelijk uit de homogenere temperatuur die door de roostervloer wordt gegarandeerd en in schuur 2 optreedt. Dit is onder andere zichtbaar in de Figuren 5.14 en 5.38. De houten luchtkanalen in schuur 1 hebben geen optimale drukopbouw, zodat er in de lengterichting van de schuur geen homogene luchtverdeling aanwezig is. Dit resulteert dus ook in temperatuurverschillen in de lengterichting, zoals in onder meer Figuur 5.6 zichtbaar is.

Bij de analyse van Figuur 5.19 blijkt dat ventilatie met relatief droge lucht betekent dat vocht uit de aardappelen verdampt en het vocht in de lucht aanvult. Dit resulteert in hoge RV-gehalten in de bovenruimte die alleen bij langdurige ventilatie lagere waarden bereikt. De verdeling van de concentratie CO<sub>2</sub> in hoogterichting in de aardappelstapel is kleiner dan vooraf verwacht, zoals is te zien in de Figuren 5.29 en 5.30. Opgemerkt wordt dat vooral bij dichte schuren, dus zonder gaten en kieren, bij weinig uren van ventilatie, de concentratie CO<sub>2</sub> gevaarlijk hoge waarden kan bereiken en de kwaliteit van de aardappelen in de bewaring bedreigt. In bewaarplaatsen van een dergelijk type verdient de concentratie CO<sub>2</sub> dan ook extra aandacht.

## 6 Schuurmodel

In een eerder stadium van dit onderzoek is een schuurmodel ontwikkeld dat de thermodynamica van de aardappelbewaring beschrijft. Dit model is afgeleid van de behoudswetten. Deze wetten zijn opgesteld voor de verschillende delen van de bewaarplaats:

- aardappelstapel,
- bovenruimte,
- luchtsluis,
- luchtkanaal

Het resulterende model is beschreven in Voortgangsrapportage juni-december 1997. Aan de hand van de uitgevoerde metingen in het bewaar seizoen 1997-1998 kan dit model verder worden gevalideerd. Simulaties met de verkegen meetwaarden worden in de komende perioden uitgevoerd. Op dit moment kunnen wel de verschillende aannamen worden gecontroleerd en kunnen de seizoensafhankelijke productinvloeden door veranderingen in

- stortgewicht,
- warmteproductie,
- warmtegeleiding,
- vochtgehalte,
- kieming,

en de invloed van schuur specifieke gegevens zoals

- constructie
- afmetingen
- isolatie

op de bewaring van aardappelen worden bepaald.

### 6.1 Controle van de aannamen bij de modellering

Wat betreft de aardappelstapel is tijdens de modellering aangenomen dat het volume van de aardappels constant is, soortelijke warmten constant en niet temperatuurafhankelijk zijn, verdampingsenergie door de aardappelen wordt geleverd, de aanwezigheid van een uniforme luchtstroom en dat het verdampte water met de aardappeltemperatuur door de lucht wordt opgenomen. De uitgevoerde metingen in het bewaar seizoen 1997-1998 geven geen aanleiding om deze aannamen te herzien. Dit in tegenstelling tot de aanname dat de verdeling van de aardappelen over de ruimte uniform is. De hoogte van de aardappelen hoeft niet gelijk te zijn over de gehele schuur en daardoor hoeft dezelfde hoeveelheid ventilatielucht bij een lagere storthoogte minder aardappelen te koelen zodat dit sneller gebeurt. Hierdoor worden temperatuurverschillen in de aardappelstapel geïntroduceerd. Dit is bijvoorbeeld te zien in Figuur 5.14.

Voor de bovenruimte is aangenomen dat deze ideaal gemengd is. De mate waarin dit in werkelijkheid het geval is verschilt per bewaarplaats. Indien er een uniforme storthoogte voor de aardappelen aanwezig is, de circulatie met condensventilatoren wordt vergroot en indien de afstand van de aardappelen tot het dak vrijwel constant is zal er sprake zijn van ideale menging. Afwijkingen van deze situatie zullen leiden tot een minder ideale menging, waardoor temperatuurverschillen in de bovenruimte worden geïntroduceerd. Modellering van deze effecten is voor een specifieke bewaarplaats goed mogelijk, maar wordt gecompliceerder voor de algemene bewaarplaats. Een generiek model voor de bovenruimte dat de temperatuurverschillen exact kan beschrijven is niet eenvoudig. Indien er in de

luchtsluis een homogene temperatuur kan worden gecreëerd, is het exact beschrijven van temperatuurverschillen in de bovenruimte minder noodzakelijk.

Bij de modellering van de luchtsluis is aangenomen dat de luchtsluis ideaal gemengd is. Uit Figuur 5.24 blijkt dat dit niet het geval hoeft te zijn. Deze temperatuurverschillen kunnen door een gewijzigde constructie van de luchtsluis en/of door verbeterde circulatie in de luchtsluis worden voorkomen. Indien dit niet gebeurt kan het model van de luchtsluis desgewenst verder worden verfijnd. Voor het luchtkanaal gelden dezelfde aannamen als voor de luchtsluis. Indien in de luchtsluis sprake is van een homogene temperatuur zal dit in de luchtkanalen ook het geval zijn.

## **6.2 Bepaling van de invloed van het product en de schuur**

### *6.2.1 Product*

De natuurlijke opwarming van de aardappelen vertoont het verwachte gedrag. De aardappelen warmen per dag, onder meer afhankelijk van de buitencondities en de toestand van de aardappelen, 0,2-0,25 graden op, bij afwezigheid van ventilatie. De warmtegeleiding van aardappelen is niet erg groot. Indien het wel het geval zou zijn dan zouden temperatuurverschillen in de aardappelstapel vereffend worden en het effect om snelle veranderingen in de buitentemperatuur niet beperkt blijven tot een klein gebied bij de buitenmuren. Uit de data blijkt echter dat dit niet optreedt tussen de ventilatieperioden in. Door verschillen in storthoogte hoeft de ventilatielucht minder aardappelen af te koelen, zoals in de vorige sectie reeds is geconstateerd. Dit betekent dat het afkoelen op een plek in de aardappelstapel met een lagere storthoogte sneller gaat en een lagere temperatuur wordt bereikt dan op plaatsen met een grotere storthoogte.

### *6.2.2 Schuurspecifieke invloeden*

In schuur 1 is sprake van temperatuurverschillen. Dit wordt vooral veroorzaakt door de geometrie van de luchtsluis. Een niet-homogene temperatuurverdeling in de luchtsluis veroorzaakt temperatuurverschillen in de aardappelstapel en in de bovenruimte. In schuur 1 is dit dan ook te zien en voor deze schuur (schuur 1) worden deze verschillen nog vergroot door de verschillen in storthoogte. De verschillen in de bovenruimte worden veroorzaakt, naast een eventuele niet-homogene temperatuur in de luchtsluis, door uitlaatluiken waardoor ventilatielucht op een plaats de bovenruimte kan verlaten en door de hoogteverschillen tot het dak. Het effect van deze hoogteverschillen wordt verkleind door aanwezigheid van condensventilatoren die voor extra luchtcirculatie zorgen. Het directe effect van een temperatuurverschil in de bovenruimte op de aardappelen is gering, maar bij interne ventilatie worden deze temperatuurverschillen door de aardappelstapel getransporteerd en kunnen daar extra temperatuurverschillen creëren. Het meetbare effect van isolatie van buitenmuren op het temperatuurverloop van de aardappelstapel blijft beperkt tot een gebied rond deze buitenmuren. In ordegrootte blijft dit grofweg beperkt tot een meter vanaf de buitenmuur. Door de aanwezigheid van een voorruimte en/of een zijruimte wordt dit effect verder verkleind. Echter, het is duidelijk in de figuren te zien dat de gehele aardappelstapel op gedempte wijze de buitentemperatuur volgt. Dit wordt behalve door natuurlijke warmte-overdracht veroorzaakt door geforceerde warmte-overdracht door externe ventilatie. Uit het ventilatiegedrag blijkt dat in koude perioden meer met externe lucht wordt geventileerd dan in warmere perioden. Dit heeft als doel om wat "reserve" koude in de aardappelstapel te krijgen. Dit betekent dat de temperatuur in de aardappelstapel de

trends in de buitentemperatuur sterk volgt. Een groter effect blijkt uit de Figuren 5.5 en 5.43 waar de temperaturen in de aardappelstapel in breedterichting voor respectievelijk schuur 1 en schuur 2 is weergegeven. In schuur 1 worden houten kanalen gebruikt die bij het inschuren worden geplaatst. In schuur 2 is een roostervloer aanwezig. Een roostervloer zorgt voor een betere luchtverdeling tijdens ventilatie en veroorzaakt hierdoor minder temperatuurverschillen in de aardappelstapel. Tijdens ventilatie koelen de aardappelen bij de verschillende meetpunten dan ook op ongeveer dezelfde wijze af. Bij houten luchtkanalen is de luchtverdeling tijdens ventilatie aanzienlijk minder optimaal, waardoor extra temperatuurverschillen in de aardappelstapel worden geïntroduceerd. De mate van afkoeling van de aardappelen bij de verschillende meetpunten is dan ook niet gelijk.

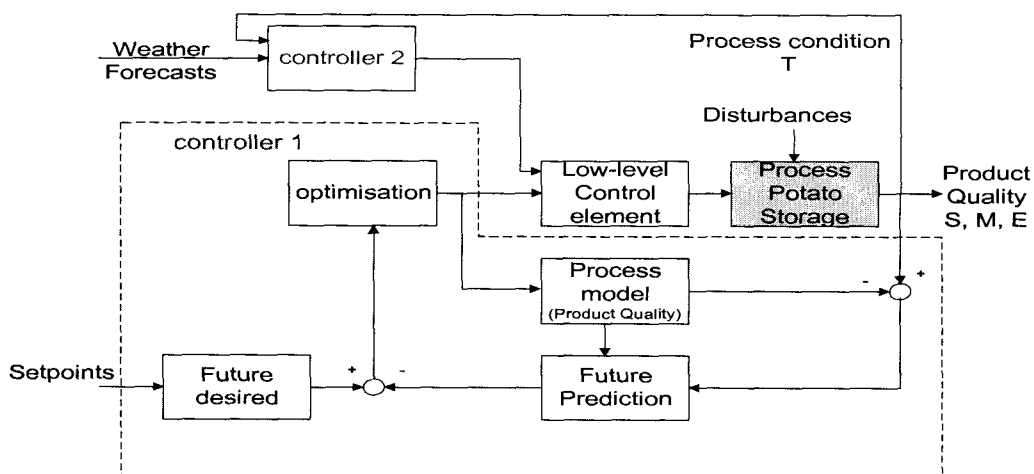
## 7 Regeling

Regeling van een proces heeft als doel om de doelstelling van het proces te bereiken ook bij aanwezigheid van verstoringen op het proces. Bij het proces van de bewaring van aardappelen is het doel dit zo optimaal mogelijk uit te voeren. De bewaring is optimaal met betrekking tot:

- suikergehalte (bakkleurindex),
- gewichtsverliezen,
- energiegebruik.

De MPC-regeling bepaalt de optimale temperatuurinstellingen voor de bewaarplaats door optimalisatie van deze criteria. Naast de MPC-regeling is er een weermodule die aan de hand van weersvoorspellingen instellingen voor de bewaarcomputer bepaalt om daarmee het energiegebruik te verminderen en de kosten van de bewaring omlaag te brengen.

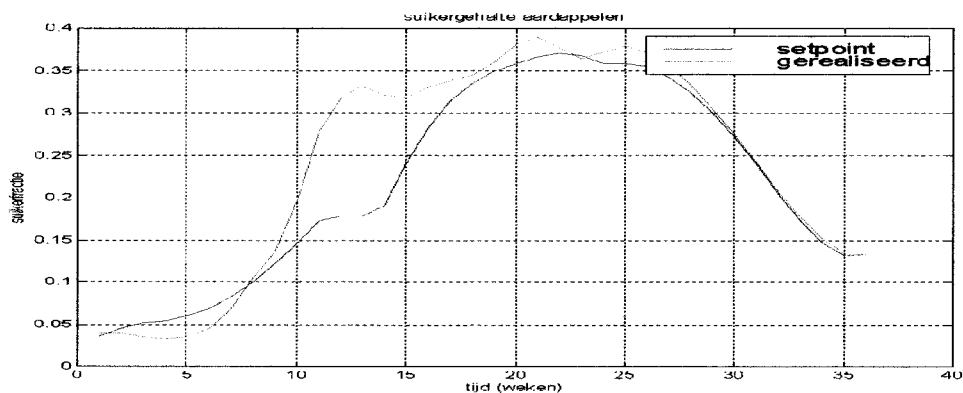
De werking van Model Predictive Control, zoals toegepast in de ontwikkelde MPC-regeling, is besproken in de Voortgangsrapportage juni-december 1997. In Figuur 7.1 is de MPC-regeling schematisch weergegeven als controller 1. Het proces model voorspelt de uitgangen van de bewaring, deze worden vergeleken met de metingen en vergeleken met de gewenste waarden. Een optimalisieroutine bepaalt de optimale bewaar temperatuur en stuurt deze naar de bewaarcomputer. De weermodule is in Figuur 7.1 weergegeven als controller 2. Weersvoorspellingen worden ingelezen en instellingen van de bewaarcomputer worden zodanig aangepast dat het energiegebruik wordt gereduceerd.



Figuur 7.1: Schematische weergave van de gehele regeling

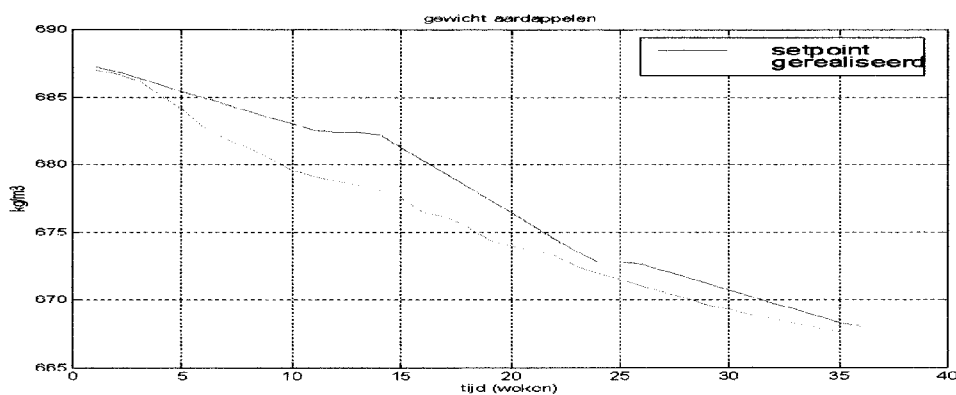
### 7.1 Resultaten

De ontwikkelde regeling uit Figuur 7.1 is in simulatievorm getest, waarbij het in een eerder stadium van dit onderzoek ontwikkelde thermodynamische schuurmodel en het productmodel zijn gebruikt. Voor het testen van de weermodule zijn actuele weersvoorspellingen gebruikt voor de periode tussen 27 oktober 1997 en 13 maart 1998. In Figuur 7.2 zijn het setpoint, dus de gewenste waarden, voor het suikerverloop tijdens de bewaring samen met de gerealiseerde waarden weergegeven. Op het einde van de bewaring zijn de verschillen tussen deze beide verlopen minimaal en is het gewenste suikergehalte en daarmee ook de gewenste bakkleur gerealiseerd.



Figuur 7.2: Gerealiseerd en gewenst suikerverloop

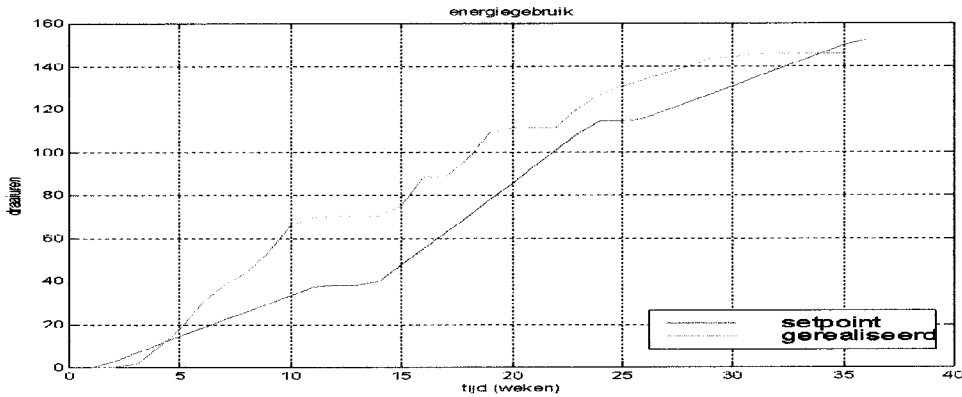
In Figuur 7.3 zijn het setpoint en de gerealiseerde waarden voor het gewichtsverloop van de aardappelen in de bewaring weergegeven. De gerealiseerde waarden liggen net onder het gewenste setpoint. Tijdens de bewaring is het gewichtsverlies steeds iets groter dan is gewenst. Door het aanpassen, dus verhogen, van de weegfactor voor het gewichtsverlies in de bewaring wordt het belang van het gewicht vergroot ten opzichte van de andere kwaliteitsaspecten. Dit resulteert in een andere optimale temperatuur die door de MPC-regeling wordt bepaald, waarbij het gewichtsverlies beter de gewenste waarden volgt, maar waarbij dit ten koste kan gaan van de andere kwaliteitsaspecten die dan verder van hun gewenste waarden af komen te liggen.



Figuur 7.3: Gerealiseerd en gewenst gewichtsverloop

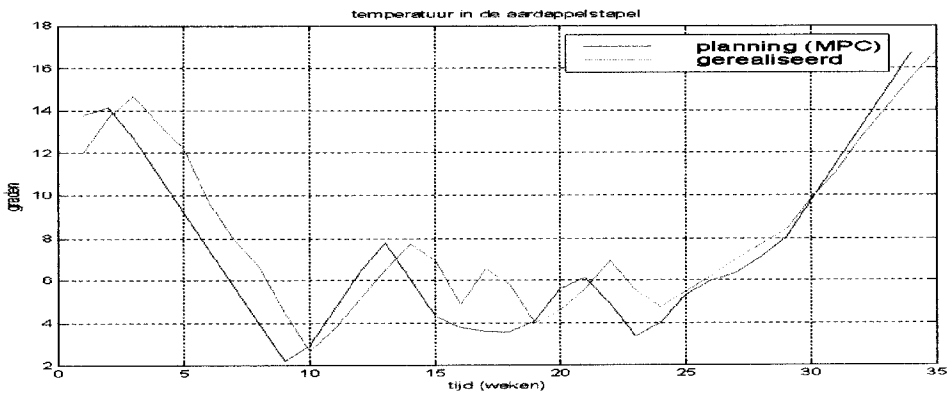
In Figuur 7.4 zijn het setpoint en het gerealiseerde aantal uren van ventilatie weergegeven als maat voor het energiegebruik tijdens de bewaring. Na de beginfase met weinig ventilatie is er meer ventilatie nodig dan is gewenst, maar blijkbaar is dit noodzakelijk om de gewenste, optimale temperaturen in de bewaring te verkrijgen en te handhaven. Op het einde is er echter minder ventilatie nodig en uiteindelijk ligt het gerealiseerde totaal aantal uren van ventilatie dicht bij het vooraf gewenste aantal.





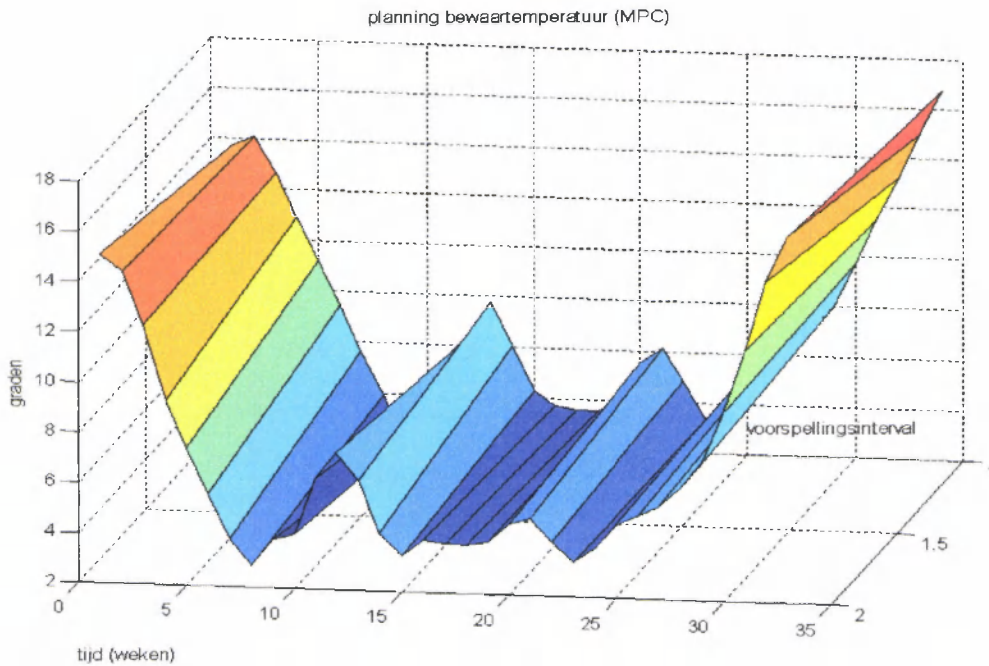
Figuur 7.4: Gerealiseerd en gewenst energiegebruik

Het door de MPC-regeling geplande en het uiteindelijk gerealiseerde temperatuurverloop in de bewaring is weergegeven in Figuur 7.5. De gerealiseerde temperatuur volgt redelijk de opgelegde planning. Exact volgen is nagenoeg onmogelijk door de fluctuerende buitentemperatuur. Het dal en de erop volgende piek in de geplande bewaar temperatuur wordt veroorzaakt door het optredende verschil tussen het gewenste en het gerealiseerde suikergehalte in deze periode van de bewaring. De reactie van de MPC-regeling om de bewaar temperatuur te verlagen is te sterk, zoals in Figuur 7.2 is te zien, zodat het suikergehalte te hoge waarden aanneemt. Verfijning van de bepaling van het setpoint kan de benodigde verbetering opleveren en eventueel kan controller 1 met de MPC-regeling worden opgelegd in zo'n situatie niet te sterk te reageren. Deze actie wordt momenteel uitgevoerd.



Figuur 7.5: Gepland en gerealiseerd temperatuurverloop

In de simulatie waarvan in deze sectie de resultaten zijn weergegeven kijkt de MPC-regeling 2 weken vooruit en probeert bij verschillen tussen de gewenste en gerealiseerde waarden deze na deze 2 weken naar nul terug te brengen. In Figuur 7.6 is de geplande temperatuur die ook in Figuur 7.5 is weergegeven op de as met het voorspellingsinterval terug te vinden op moment 1. Deze waarde wordt naar de bewaarcomputer gestuurd. De planning voor de tweede week is op deze as terug te vinden op moment 2. Deze vertoont duidelijk dezelfde trend als de planning voor de eerste week.



Figuur 7.6: Planning (MPC-regelaar) voor de bewaartemperatuur voor komende week en daarna

De weermodule, controller 2 in Figuur 7.1 is reeds geïmplementeerd in de simulatie. Deze controller vereist nog enige aandacht, mede omdat tot nu toe voor een beperkte periode weersvoorspelling beschikbaar waren. De verwachting is dat het energiegebruik door het verfijnen van deze controller verder terug kan worden gebracht.

## 8 Prototype

Het doel van het project Modem is de ontwikkeling van een prototype van een procesapplicatie die het klimaat in een aardappelbewaarschuur optimaal kan aansturen met betrekking tot de kwaliteit van de aardappelen (uitgedrukt in suikergehalte (bakkleurindex), gewichtsverliezen en energiegebruik). Om dit te bereiken worden een drietal fasen in de productontwikkeling doorlopen. De fase waarin alleen gebruik wordt gemaakt van simulaties, de fase voor de ontwikkeling van een test-applicatie en de fase waarin het uiteindelijke prototype wordt ontwikkeld en in de bewaring wordt geïmplementeerd.

### Fase 0 Simulatieversie.

Het gedrag van de bewaarplaats (inclusief bewaarcomputer) wordt gesimuleerd en alle "metingen" worden door deze simulatie gegenereerd. In Figuur 8.1 is de structuur van deze versie weergegeven.

### Fase 1 Testapplicatie.

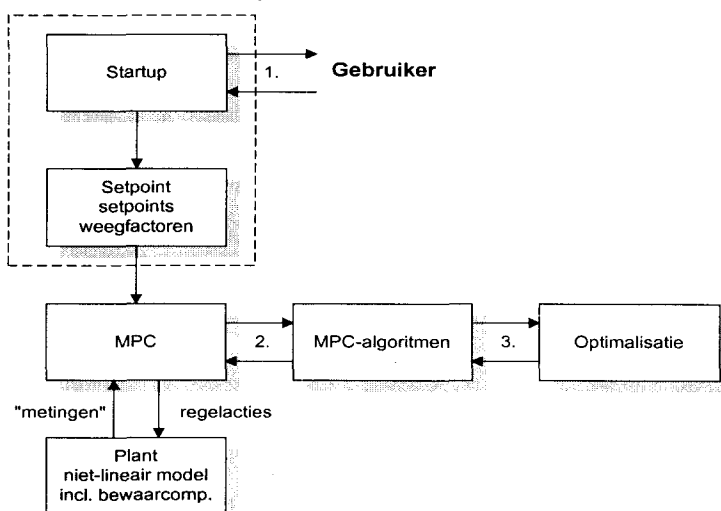
De communicatie met de bewaarcomputer, de user en de externe databases wordt door Labview verzorgd. Het rekenwerk wordt in deze fase uitgevoerd door Matlab. De Matlab-files kunnen vanuit Labview worden opgestart (evenals Matlab) en parameters kunnen worden meegegeven. De Matlab-files lezen daarnaast data in vanuit data-files die zowel door andere Matlab-files als door Labview zijn gegenereerd. De uitvoer van de Matlab-files wordt weggeschreven naar data-files die, indien nodig/gewenst, door Labview worden ingelezen. De structuur van deze versie is in Figuur 8.2 weergegeven.

### Fase 2 Prototype.

Het eindproduct is een Labview-executable. Het gebruik van Matlab-routines is hierin niet mogelijk/toegestaan dus alle routines/berekeningen moeten in Labview worden overgezet. Eenvoudige Matlab m-files zijn om te zetten en de datastructuur is in fase 1 reeds ontwikkeld.

## 8.1 Simulatieversie

In Figuur 8.1 is schematisch de structuur weergegeven van de simulatie van regelaar met een simulatiemodel van het bewaarproces.



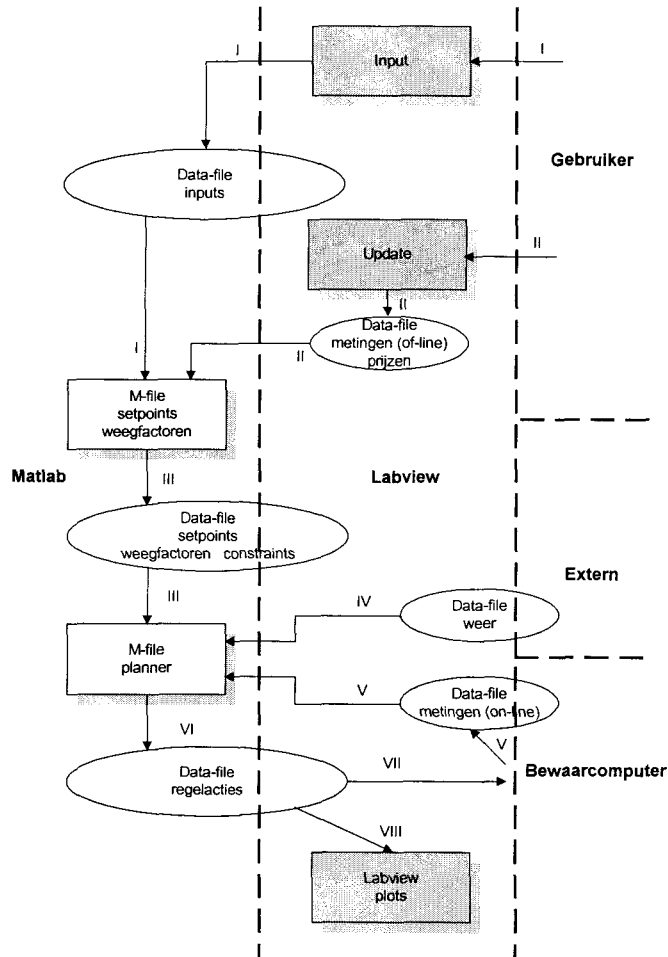
Figuur 8.1: Simulatieversie

De interacties tussen files onderling en met de gebruiker zijn symbolisch weergegeven. De met de getallen overeenkomende gegevens zijn:

1.	<p><b>Schuurdimensies:</b>          lengte, breedte, wandhoogte, nokhoogte</p> <p><b>Aardappelen:</b>          ras (indien anders dan bintje, waarden verschillende eigenschappen),          gemiddelde diameter, storthoogte</p> <p><b>Bewaring:</b>          bewaartijd, minimale dagventilatie (i.v.m. CO<sub>2</sub>), initiele waarden (suiker,          enzymen, temperaturen en vochtgehalten), meetonnauwkeurigheden,          reconditioneringstijd, aflevert temperatuur, aantal ventilatoren,          ventilatorvermogen</p> <p><b>Prijzen:</b>          energieprijis, kiloprijs bij aflevering (als functie van bakkleur dus per klasse)</p>
2.	<p><b>MPC-algoritmen</b>          Weegfactoren, setpoints, actuele toestanden (temperaturen, vochtgehalten en          concentraties), predictie- en manipulatie-intervallen, constraints</p>
3.	<p><b>Optimalisatie</b>          matrices ten behoeve van optimalisatieroutines, optimaal verloop voor          manipulatie-interval van regelactie</p>

## 8.2 Testversie

In Figuur 8.2 is de structuur van de testversie weergegeven. De interactie tussen en binnen de verschillende componenten (Matlab, Labview, Gebruiker, Extern en Bewaarcomputer) is aangeduid met Romeinse cijfers.



Figuur 8.2: Testapplicatie

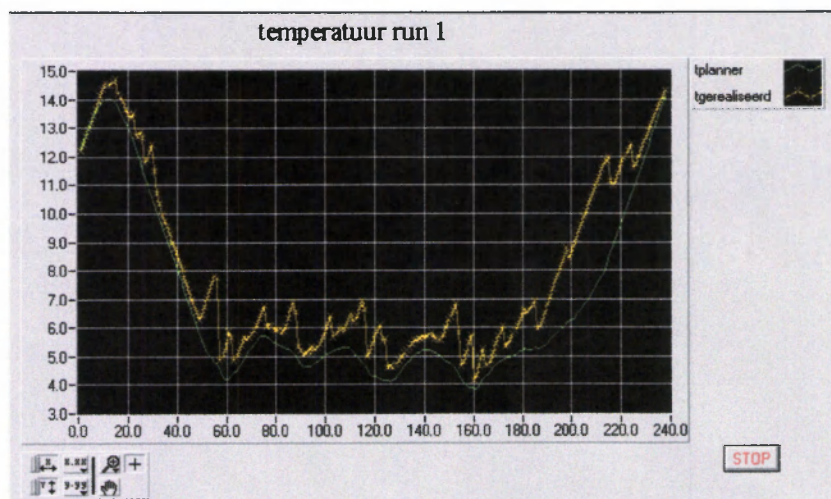
I	lengte, breedte, wandhoogte, nokhoogte van de bewaarplaats, ras (indien anders dan bintje dan de bijbehorende waarden voor de verschillende eigenschappen), gemiddelde diameter, storthoogte bewaartijd, minimale dagventilatie (CO <sub>2</sub> ), initiele waarden (suiker, enzymen, temperatuur en vochtgehalte), meetonnauwkeurigheden, reconditioneringstijd, aflevert temperatuur, aantal ventilatoren, ventilatorvermogen energieprijs, kiloprijs bij aflevering (als functie van bakkleur dus per klasse)
II	Update van prijzen (prijs bij eindsuikergehalte, eindgewicht) en parameters in het product-model
III	Setpoints (suiker, massa, energie) Weegfactoren (suiker, massa, energie en regelactie) Constraints (boven- en onderlimieten realiseerbare temperatuur (2 vectoren), maximale verandering temperatuur (getal), boven- en onderlimieten uitgangen (6 getallen))
IV	Weersvoorspelling (temperatuur en vochtgehalte)
V	Temperatuurmetingen (product, buiten, kanaal, bovenruimte en luchtsluis) Vochtmetingen (buiten, product en bovenruimte)
VI	Regelacties (bewaartemperatuur en temperatuursverschil) Voorspellingen (suiker, massa en energie)
VII	Regelacties (bewaartemperatuur en temperatuursverschil)
VIII	Voorspellingen (suiker, massa en energie)

### 8.3 Prototype

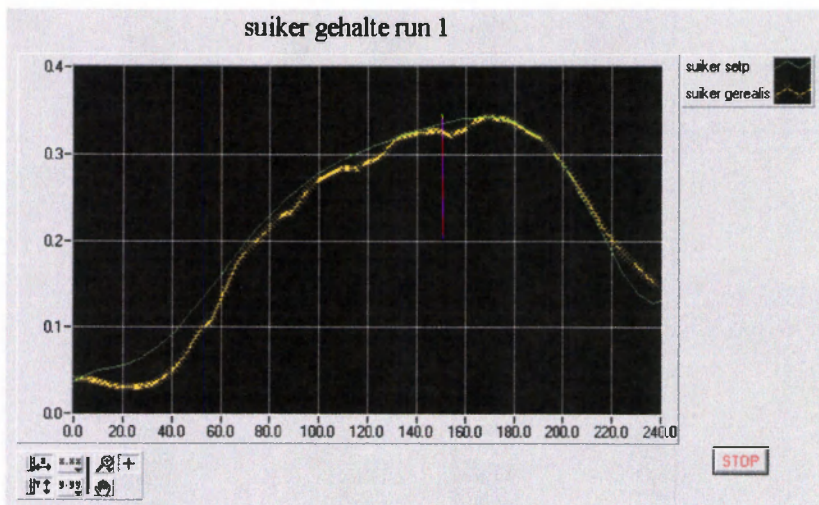
In de komende fase wordt de testapplicatie verder uitgebouwd in op 2 locaties in de bewaring geïmplementeerd, op een proefboerderij waar 6 bewaarcellen onder verschillende condities worden uitgerust met het ontwikkelde systeem en een praktiserende bewaarplaats. Dit moet resulteren in een getest en gevalideerd systeem, waarmee de bewaring van aardappelen verder wordt geoptimaliseerd. In de Figuren 8.3, 8.4 en 8.5 zijn een aantal schermen van het prototype weergegeven die een indruk geven van de user-interface.

Schoor							
	1	2	3	4	5	6	sim
Lengte (m)	18	18	18	18	18	18	18
Breedte (m)	18	18	18	18	18	18	18
Hoogte wanden (m)	5	5	5	5	5	5	5
Hoogte nok (m)	8	8	8	8	8	8	8
Storhoogte (m)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Isolatiewaarden muren (W/mK)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Isolatiewaarden vloer (W/mK)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Isolatiewaarden dak (W/mK)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Figuur 8.3: P-watch prototype setup schoorgegevens



Figuur 8.4: P-watch prototype simulatieresultaat van de temperatuur



Figuur 8.5 P-watch prototype simulatieresultaat van het suikergehalte

De status van de het prototype is dat de gebruiker de gegevens op eenvoudige wijze kan invoeren en de structuur van het prototype is inmiddels opgezet. Op korte termijn wordt de regeling in simulatievorm in het prototype geïmplementeerd, de interactie tussen de het prototype en de bewaarcomputer verzorgt en de communicatie met de databases voor de weersvoorspellingen gereed gemaakt. Daarna wordt het prototype op twee locaties ingebouwd. Dit moet uiteraard voor het nieuwe bewaar seizoen, dat start in september 1998, gereed zijn.

## 9 Verdere planning

Het project wordt voorsnog uitgevoerd uitgaande van de originele planning zoals gepresenteerd in hoofdstuk 2. Tijdens het vierde halfjaar van **MODEM** (juli-december 1998) worden de activiteiten t.a.v. het ontwikkelen van het prototype gecontinueerd. Er zal worden gewerkt aan een verdere verfijning en validatie van het produkt- en schuurmodel. Tenslotte gaat de ontwikkelde regeling getest worden op één praktijklocatie en in zes cellen op proefboerderij 'De Eest' van ATO-DLO.