A 426

Energiebesparing bij de bewaring van aardappelen; ontwerp van een kunstmatige intelligentiesysteem

Studie uitgevoerd voor NOVEM
Eindrapport 1994

Ing. P.S. Hak
Ir. K. Pleijsier
Drs. S. te Winkel

Nederlandse onderneming voor energie en milieu bv
Novem

ato-dlo

Rapport 455 / Mei 1995

2239951

Energiebesparing bij de bewaring van aardappelen en ontwerp van een kunstmatige intelligentiesysteem

Inhoudsopgave

pagina

1 Inleiding 3

2 Doelstelling 5
2.1 Beknopte formulering doelstelling 5
2.2 Uitgebreide doelstelling 5

A. Pootaardappelen 6

1 Inleiding 6

2 Kennisverzameling en kennissysteem 6
2.1 Functionaliteit van het kennissysteem 6
2.2 Opbouw van het kennissysteem 9

3 Samenwerking 12
3.1 Inleiding 12
3.2 Materiaal en methode 12
3.3 Resultaten produktzijdig 12
3.4 Resultaten energetisch 16

4 Proefmateriaal 16

5 Bewaaronderzoek 17
5.1 Schaalproeven 17
5.2 Pootgoed en kiemrustbreking 17
5.3 Tijdelijke kiemremming bij pootaardappelen met etherische oliën 18

6 Sensoren 18

7 Kwaliteit 18

8 Voorlopige conclusies en aanbevelingen 21

B. Consumptieaardappelen 23

1 Inleiding 23

2 Kennisverzameling en kennissysteem 23

3 Samenwerking 23
3.1 Inleiding 23
3.2 Materiaal en methode 24
3.3 Resultaten produktzijdig 24
3.4 Resultaten energetisch 27

4 Proefmateriaal 28

5 Bewaaronderzoek 28
5.1 Schaalproeven m.b.t. een energetisch voordeliger bewaarbeleid met behoud van kwaliteit 28
5.2 Intrinsieke parameters t.b.v. de kwaliteitsbewaking . . 29
5.3 Effecten van verhoogde CO_2 concentraties op de kwaliteit 30
5.4 Kiemremming met etherische oliën bij consumptie-aardappelen 31

6 Sensoren 31
6.1 Stijging sucrose gehalte 31
6.2 Sucrosepolariteit tussen top en basis 32

7 Kwaliteit 32

8 Voorlopige conclusies en aanbevelingen 36

Conclusies en aanbevelingen 37

Bijlage 1: Het kwaliteitsverloopmodel 38

Energiebesparing bij de bewaring van aardappelen en ontwerp van een kennissysteem

1 Inleiding

De aardappel is één van de weinige akkerbouwgewassen die op basis van vraag en aanbod, dus via een gewoon marktmechanisme, verbouwd worden. Ruim 4,5 miljoen ton aardappelen worden ieder jaar gedurende een groot aantal maanden bewaard voor consumptie- en pootgoed-doeleinden. Deze bewaring kost ca. 450 TJ energie als gevolg van lage temperatuurtrajecten, geregeld met behulp van klimaatinstallaties. De kwaliteit neemt tijdens bewaring dikwijls sterk af om vaak onbekende redenen. De kennis rond aardappelbewaring is sterk empirisch van aard. Dit heeft onder andere tot gevolg dat in een groot aantal nieuw opgezette aardappelbewaarplaatsen problemen zijn ontstaan die niet kunnen worden verklaard.

Dit onderzoek beoogt via gericht, verklarend fundamenteel en daaraan gekoppeld toegepast onderzoek ideale energiezuinige temperatuurtrajecten en -systemen voor de aardappelbewaring te vinden, waarbij de eindkwaliteit van de aardappel van vitaal belang is. Ook de relatie met andere omgevingsfactoren als Controlled Atmosphere en natuurlijke kiemremmers wordt hierbij onderzocht. De door dit onderzoek gegenereerde kennis zal condenseren rond een te ontwikkelen kennissysteem voor de aardappelbewaring.

ATO-DLO, met ruim 300 medewerkers, voert dit onderzoek uit met een unieke combinatie van kennis, techniek en outillage, waarbij voor aardappelonderzoek de volgende gebieden van belang zijn:
- kwaliteit en fysiologie van de aardappel
- meet- en regelsystemen
- koel- en klimaattechniek en andere omgevingsfactoren
- beslissingsondersteunende systemen, waaronder kennissystemen

Het onderzoek duurt vier jaar en wordt uitgevoerd door de hoofdafdeling Systeemkunde, met als startdatum 1 januari 1992, en een inzet van 4 manjaren per jaar. Het onderzoek kost over een periode van 4 jaar ca. *f* 2.600.000,-, waarvan ATO-DLO ruim *f* 1.000.000,- voor haar rekening neemt en het bedrijfsleven *f* 850.000,-. NOVEM levert voor het jaar 1994 een bijdrage van *f* 100.000,-.

De onderzoeksgroepen, betaald door ATO-DLO en bedrijfsleven, zullen worden ingezet voor bestudering van de kwaliteitsparameters en de andere bewaarfactoren. Verschillende onderzoeksgroepen werken nauw samen in een programmagroep zoals aangegeven in het onderzoekvoorstel van november 1992 (blz. 29).

Het project dient in deze vier jaar te resulteren in een implementatie van een optimaal en energiezuinig bewaarsysteem in de praktijk.

De fasering van het project is:

Jaar 1	Fundamenteel onderzoek op laboratoriumschaal en semipraktijkschaal.
tot 4 jaar	Afronding en implementatie in de praktijk van fundamenteel en toegepast onderzoek inclusief de energiezuinige temperatuurregime meet- en regelsystemen en -algoritmes en het kunstmatige intelligentiesysteem.

Voor een verdere uitsplitsing van de fasering wordt verwezen naar het onderzoekvoorstel van november 1992.

Na elk jaar wordt op grond van de ATO-DLO rapportage en mondeling overleg met NOVEM de voortgang geëvalueerd en wel of niet tot voortzetting besloten.
De verwachte energiebesparing per jaar wordt geschat op minimaal 0,072 GJ en kan in het gunstigste geval oplopen tot 0,144 GJ.

Het project maakt gebruik van oriënterend vóóronderzoek en op het ATO-DLO aanwezige kennis ten aanzien van:
- verwerkings-/kwaliteitseigenschappen van aardappelen
- Controlled Atmosphere bewaring bij vooral groente en fruit en in beperkte mate bij (poot-)aardappelen
- werkingsmechanismen van etherische oliën als karvon
- lage temperatuureffecten op verzoeting en enzymactiviteiten (PFP/PFK) bij aardappelen
- koelsystemen/meet- en regelsystemen bij groente, fruit en aardappelen.

Het project maakt waar relevant gebruik van binnen het programma ontwikkelde kennis.

2 Doelstelling

2.1 Beknopte formulering doelstelling

Het project beoogt via bestudering van interacties van temperatuur, Controlled Atmosphere en karvon/etherische oliën op kwaliteitsparameters van aardappelen, energiezuinige bewaarsystemen voor aardappelen te ontwikkelen, alsmede daar waar nodig de ontwikkeling van nieuwe sensoren. De resultaten van het onderzoek worden verwerkt in een kennissysteem, dat wordt gekoppeld aan een meet- en regelsysteem dat optimaal gebruik maakt van buitenluchtkoeling en interactieve sensoren.

2.2 Uitgebreide doelstelling

Het onderzoekprogramma bestaat uit 2 deelprogramma's, die voor een deel veel verwantschap vertonen en parallel worden uitgevoerd, en voor een deel zodanig verschillen dat ze gescheiden worden uitgevoerd. Het betreft de energiebesparing tijdens bewaring van ***pootaardappelen*** **(A)** en energiebesparing tijdens de bewaring van ***consumptieaardappelen*** **(B)**. Beide deelprogramma's bestaan uit de volgende onderdelen en doelstellingen:

1) optimalisering van koeling, koelsystemen meet- en regeltechniek en gebruikmaking van koude buitenlucht;
2) toepassing van plantaardige oliën als karvon voor inductie van kiemrust, zodat bij pootaardappelen het opwarmen en afkoelen voor tussentijds afkiemen achterwege kan blijven en bij consumptieaardappelen de kieming en verhoogde ademhalingsactiviteit laat in het seizoen kan worden beperkt;
3) tijdelijke toepassing van Controlled Atmosphere (CA) met gewijzigde O_2/CO_2 verhoudingen voor kiemrustbreking van vroeg te leveren pootgoedpartijen, zodat opwarming achterwege kan blijven en er gebruik van buitenluchttemperaturen kan worden gemaakt;
4) interactie van temperatuur en tijd op kwaliteitsparameters;
5) ontwikkeling van sensoren waarmee de kwaliteit gericht en dus energiezuinig kan worden gestuurd;
6) ontwikkeling van een kunstmatige intelligentiesysteem voor energiezuinige bewaring van aardappelen bij een optimale beheersing van de kwaliteit;
7) implementatie van de onderzoeksresultaten in praktijk-bewaarplaatsen.

Dit programma van 4 jaar zal resulteren in direct toepasbare resultaten in de praktijk, een energiebesparing van 20 tot 40 miljoen kWh en een betere kwaliteit van de aardappelen.

A. Pootaardappelen

1 Inleiding

In Nederland vindt de oogst van pootaardappelen plaats vanaf augustus. Na de oogst worden de pootaardappelen opgeslagen tot ongeveer het tijdstip waarop ze weer worden uitgepoot. De lengte van de opslagperiode kan sterk variëren afhankelijk van de mate van export en exportbestemming. Voor het binnenlandse areaal aan consumptie- en fabrieksaardappelen en voor export naar Oost Europa moet ca. 400.000 ton pootgoed 7 à 8 maanden worden bewaard. De resterende 600.000 à 700.000 ton voor export naar diverse andere bestemmingen moet van enige maanden tot ca. 6 maanden worden bewaard.
De bewaring moet zodanig zijn dat de groeikracht (vermogen om onder gunstige groei-omstandigheden snel te kiemen en een plant te vormen) van de knollen op het tijdstip van poten zo optimaal mogelijk is.
De groeikracht van pootaardappelen vertoont een duidelijk karakteristiek verloop in afhankelijkheid van de fysiologische leeftijd, oftewel fysiologische ouderdom, van de pootaardappel. De fysiologische ouderdom (leeftijd) hoeft niet gelijk te lopen met de werkelijke leeftijd of chronologische ouderdom. De ene mens blijft ook langer vitaal dan de andere. In de kromme die de relatie tussen fysiologische ouderdom en groeikracht aangeeft kan een fase worden onderscheiden waarin de groeikracht een stijgende lijn vertoont. Dan volgt een fase waarin de groeikracht optimaal blijft en tenslotte volgt een fase met afnemende groeikracht. De belangrijkste factor die de fysiologische veroudering en daarmee de groeikracht kromme bepaalt, is de bewaartemperatuur. Daarnaast is er een rasinvloed (gevolg van genetische variatie). Bij een gelijke bewaartemperatuur kan de fysiologische veroudering en dus de groeikracht van rassen zeer verschillend verlopen in de tijd.
Voor een energiezuinige bewaring van pootaardappelen en een goede beheersing van de groeikracht is het dan ook noodzakelijk om meer inzicht te krijgen in het verloop van de groeikracht van verschillende typen rassen bij uiteenlopende bewaartemperaturen. Dit onderzoek werd volgens de planning van het onderzoekvoorstel in seizoen 1993/1994 voortgezet met een groter aantal rassen en bij wat hogere bewaartemperaturen.

2 Kennisverzameling en kennissysteem

In dit hoofdstuk worden de vorderingen op het gebied van kennisverzameling en de ontwikkeling van het kennissysteem beschreven. Achtereenvolgens worden de functionaliteit en de opbouw van het kennissysteem toegelicht.

2.1 Functionaliteit van het kennissysteem

In grote lijnen zijn er vier onderscheidelijke functies in het kennissysteem, te weten:

- Invoeren van vaste gegevens;
- Het plannen van de bewaring;
- Het genereren van setpoints voor de bewaarcomputer;
- Het bewaken van de bewaring.

Invoeren van vaste gegevens

Om de drie overige functies uit te kunnen voeren moet het kennissysteem voorzien worden van informatie. In het kennissysteem bestaan twee soorten informatie, statische en dynamische informatie.
Statische informatie is die informatie die gedurende een bewaarseizoen niet of nauwelijks zal veranderen, de zogenaamde vaste gegevens. Bijvoorbeeld de afmetingen van de bewaarplaats. De volgende vaste gegevens moeten bekend zijn voordat het kennissysteem de overige functies kan uitvoeren:

- Thermofysische informatie over de bewaarplaats;
- Technische informatie over de conditioneringsapparatuur in de bewaarplaats;
- Gegevens van het bewaarde produkt;
- Initiële condities van bewaring en produkt.

Dynamische informatie is die informatie die gedurende een bewaarseizoen juist verandert. De initiële waarde van de informatie wordt afgeleid van de statische informatie waarna de volgende waarden met behulp van de verschillende modellen uitgerekend worden.
Op termijn is het denkbaar dat het kennissysteem een deel van de statische informatie zelf afleidt. Het is bijvoorbeeld mogelijk om de warmtecapaciteit van de gehele bewaarplaats, met inhoud, te bepalen aan de hand van de hoeveelheid aan/afgevoerde warmte en de gemeten temperatuursverandering.

Het plannen van de bewaring

Het plannen van de bewaring is in eerste instantie het evalueren van een plan voor de bewaaromstandigheden voor een aantal kenmerken. Op dit moment zijn dat de kenmerken energieverbruik en aardappelkwaliteit. Afhankelijk van de kennis die met behulp van modellen in het kennissysteem ingebracht wordt, kunnen er meerdere kenmerken geëvalueerd worden. Op dit moment zijn er modellen die de bakkleur en het gewichtsverlies beschrijven. Aan een model dat de kiemkracht beschrijft wordt gewerkt.
Het plan voor de bewaaromstandigheden bestaat uit een temperatuur-tijd grafiek en uit een luchtvochtigheid-tijd grafiek, die door de gebruiker ingegeven kunnen worden. Deze informatie, gecombineerd met de vaste gegevens en de modellen, wordt gebruikt om uit te rekenen of deze bewaaromstandigheden realiseerbaar zijn in deze bewaarplaats tijdens een erg koude winter, een erg warme winter en een gemiddelde winter. Als dit plan voor de bewaaromstandigheden realiseerbaar is in deze bewaarplaats wordt uitgerekend hoeveel energie er benodigd is om dit plan te realiseren. Vervolgens wordt het effect van deze bewaaromstandigheden is op de aardappelkwaliteit uitgerekend. Door verschillende plannen voor de bewaaromstandigheden met elkaar te vergelijken kan de gebruiker komen tot een optimaal plan.
Het maken van een plan voor de bewaaromstandigheden is noodzakelijk voor de functies *setpoint generatie* en *bewaken van de bewaring*. De functie *setpoint generatie* heeft het plan voor de bewaaromstandigheden nodig om het energieverbruik te kunnen minimaliseren. De functie *bewaken van de bewaring* heeft het plan voor de bewaaromstandigheden nodig om de geplande kwaliteit van de bewaring te kunnen vergelijken

met de gerealiseerde en verwachte kwaliteit van de bewaring.
Naar onze mening is er op dit moment geen behoefte aan een kennissysteem dat het plan voor de bewaring optimaliseert. Eerst zullen de potentiële gebruikers overtuigd moeten raken van de juistheid van de uitkomsten van dit kennissysteem.

Het genereren van setpoints voor de bewaarcomputer

Met de vaste gegevens, het plan voor de bewaaromstandigheden en de verschillende modellen is het mogelijk zodanige setpoints voor de bewaarcomputer te genereren dat het plan voor de bewaaromstandigheden gerealiseerd wordt met gebruikmaking van zo weinig mogelijk energie. Daartoe worden, met behulp van de huidige uitgangssituatie, de weersvoorspelling en de verschillende modellen, de autonome veranderingen van de bewaaromstandigheden voor de komende drie dagen uitgerekend. Dit autonome gedrag van de bewaaromstandigheden wordt vergeleken met het geplande verloop van de bewaaromstandigheden. Verschillen in autonoom gedrag en plan zijn aanleiding om te corrigeren. Binnen de afbakening van dit kennissysteem worden de bewaaromstandigheden beschreven door de bewaartemperatuur en heeft het gebruik van buitenlucht de prioriteit. Als het autonome gedrag afwijkt van het geplande gedrag wordt uitgerekend hoeveel warmte-energie er aan- of afgevoerd moet worden. Vervolgens wordt er, binnen bepaalde randvoorwaarden, gezocht naar de kwartieren met het grootste absolute enthalpieverschil in de komende drie dagen, voor respectievelijk opwarmen en afkoelen. Er wordt uitgerekend wat het effect van ventilatie met dit kwartier zou zijn op het autonome gedrag. Dit proces wordt herhaald met steeds kleinere absolute enthalpieverschillen totdat het uitgerekende autonome gedrag en het geplande gedrag met elkaar in overeenstemming zijn. Tijdens dit proces zijn de drempelwaardes voor ventilatie bijgehouden, deze bepalen immers hoeveel kwartieren er geventileerd kan worden. Deze drempelwaardes plus een veiligheidsmarge vormen het setpoint voor de bewaarcomputer.

Het bewaken van de bewaring

Traditioneel wordt de bewaring bewaakt op grond van afwijkingen van de gerealiseerde bewaaromstandigheden ten opzichte van de geplande bewaaromstandigheden. Uit onderzoek is echter gebleken dat beperkte en geleidelijke afwijkingen van bewaaromstandigheden vrijwel geen invloed hebben op de kwaliteit van de bewaring. Daarom wordt in het kennissysteem de bewaking gebaseerd op afwijkingen in kwaliteit van bewaring.
Tijdens het plannen van de bewaring is het plan voor de bewaring geëvalueerd voor de kenmerken energieverbruik en bakkwaliteit. Daarmee is tevens een plan ontstaan voor het verloop van deze kenmerken. Gedurende de bewaring wordt het effect van de gerealiseerde en het verwachte autonome verloop van de bewaaromstandigheden op deze kenmerken uitgerekend en vergeleken met het geplande verloop van deze kenmerken. Hierdoor kunnen er bijvoorbeeld alarmen gegeven worden voor afwijkingen in bakkleur of gewichtsverliezen. Er bestaat dan de mogelijkheid het plan voor de bewaring aan te passen of de technische uitrusting van de bewaarplaats aan te passen. In beide gevallen moeten een

aantal functies van het kennissysteem opnieuw doorlopen worden.

2.2 Opbouw van het kennissysteem

Zoals aangegeven in het eindrapport 1993, is gekozen voor het ontwikkelen van een kennissysteem dat gebaseerd is op modellen die de verschillende aspecten van de aardappelbewaring beschrijven.
Een aantal modellen zijn gebonden aan de concrete invulling in de praktijk. Om zonder grote aanpassingen aan het kennissysteem de invulling van de modellen te kunnen wijzigen zijn bij die modellen vaak meer inputs aangegeven dan dat er nu daadwerkelijk gebruikt worden.
Het aantal modellen dat benodigd is voor het kennissysteem is aanzienlijk uitgebreid. Hieronder volgt een korte omschrijving van het doel en de interface van de verschillende modellen. Begonnen is met de modellen die een produktkenmerk beschrijven (bakkleur, gewichtsverlies en warmteproduktie). Daarna volgen modellen voor het binnenklimaat in de aardappelschuur. Als laatste zijn modellen voor de regeling gegeven. De modellen voor de regeling gebruiken de (aktuele of verwachte) gegevens van het klimaat buiten de schuur. Deze kunnen verkregen worden uit metingen of uit weersvoorspellingen. De voorspellingen kunnen door het KNMI verstrekt worden.

Model voor de bakkleur

Dit produktmodel beschrijft het verband tussen de bewaaromstandigheden en de bakkleur van de bewaarde aardappelen. In het model worden een aantal interne grootheden bijgehouden die de bewaargeschiedenis en de fysiologische leeftijd van de aardappelen representeren. Dit model wordt in bijlage 1 uitgebreid beschreven.

Input:
- de bewaartemperatuur

Output:
- de bakkleur

Intern:
- zetmeel concentratie
- suiker concentratie
- enzym concentratie verantwoordelijk voor koudeverzoeting
- enzym concentratie verantwoordelijk voor ouderdomsverzoeting

Parameters:
- reactiesnelheden, Arrhenius afhankelijk van de bewaartemperatuur

Model voor het gewichtsverlies

Dit model berekent hoeveel gewicht de bewaarde aardappelen verliezen door indrogen en ademhaling samen. Er kan alleen uitgerekend worden hoeveel vocht er in totaal afgevoerd wordt bij gebruikmaking van buitenlucht koeling.

Input:
- luchtsamenstelling in de bewaarplaats
- luchtsamenstelling van de intrede lucht
- hoeveelheid ventilatielucht

Output:
- gewichtsverlies

Model voor de warmteproduktie

Dit model beschrijft de warmte die door de bewaarde aardappelen zelf wordt geproduceerd.

Input:
- produkttemperatuur
- produktmassa

Output:
- warmteproduktie

Model voor de binnentemperatuur

Dit model beschrijft het verloop van de binnentemperatuur in een aardappelschuur onder invloed van zowel de ventilatie als de warmte die door de bewaarde aardappelen wordt geproduceerd.

Input:
- binnentemperatuur
- warmteproduktie
- instralingswarmte
- ventilatorwarmte
- ventilatie effect
- ontdooiwarmte
- effect mechanische koeling

Output:
- binnentemperatuur

Parameters:
- massa
- warmtecapaciteit

Model voor de instralingswarmte

Dit model beschrijft de hoeveelheid energie dit de bewaarplaats binnenkomt of verlaat als gevolg van straling.

Input:
- binnentempetuur
- buitentempetuur
- zonnestraling
- windsnelheid

Output:
- instralingswarmte

Parameters:
- bestraalde oppervlak
- isolatiewaarde bestraalde oppervlak

Model voor het energieverbruik

Dit model berekent voor alle elektrische energieverbruikers in de aardappelschuur het energieverbruik.

Input:
- verbruiker aan/uit
- opstarten

Output:
- energieverbruik

Parameters:
specifiek vermogen
aanloop vermogen

Model voor de klepstand

Dit model simuleert het gedrag van de regelaar voor de klepstand. De hier gesimuleerde regelaar heeft de mogelijkheid de kanaaltemperatuur constant te houden ten opzichte van de produkttemperatuur. Of een handinstelling vast te houden.

Input:
kanaaltemperatuur
produkttemperatuur
produktvochtigheid
buitenluchttemperatuur
buitenvochtigheid
setpoint kanaaltemperatuur
handinstelling

Output:
klepstand

Model voor het ventilatie-effect

Dit model wordt gebruikt om uit te rekenen hoeveel energie er aan- of afgevoerd wordt als er geventileerd wordt met behulp van buitenlucht.

Input:
luchtsamenstelling in de bewaarplaats
luchtsamenstelling van de intrede lucht
ventilatie hoeveelheid
aktiviteit van de ventilatoren

Output:
ventilatie-effect

Model voor de hoeveelheid ventilatielucht

Met dit model wordt uitgerekend hoeveel lucht er uitgewisseld wordt tussen bewaarplaats en buitenlucht. Dit in verband met de mogelijkheid van intern ventileren.

Input:
klepstand
aktiviteit van de ventilatoren

Output:
hoeveelheid ventilatielucht

Model voor de ventilatorstand

Dit model simuleert de regeling van de ventilatoren. Op basis van de huidige aktiviteit en het verschil in produkt- en buitentemperatuur wordt de aktiviteit van de ventilatoren bijgesteld.

Input:
warmtebalans
aktiviteit van de ventilatoren
produkttemperatuur

buitentemperatuur
setpoint produkttemperatuur
nadraai tijd
verversings tijd
Output:
aktiviteit van de ventilatoren

3 Samenwerking

3.1 Inleiding

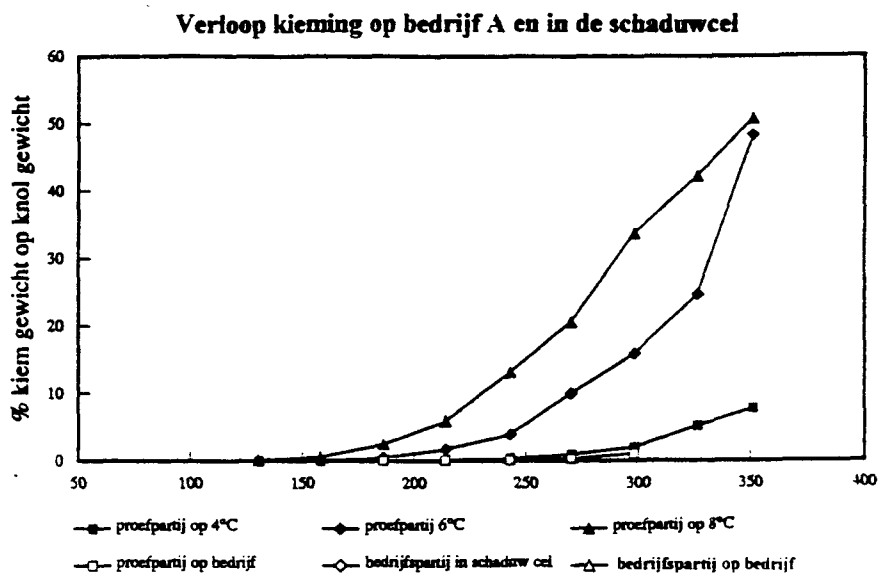
Bij het onderzoek van seizoen 1993/1994 waren drie praktijkbedrijven betrokken. Daarnaast werd ook gebruik gemaakt van een zgn. schaduwcel op het ATO. In deze cel werd een constante temperatuur van 4°C gehandhaafd. De bewaring onder standaardcondities was bedoeld om vast te kunnen stellen of verschillen in groeikracht voornamelijk worden veroorzaakt door de bewaring of door de grondstof (partij verschillen).

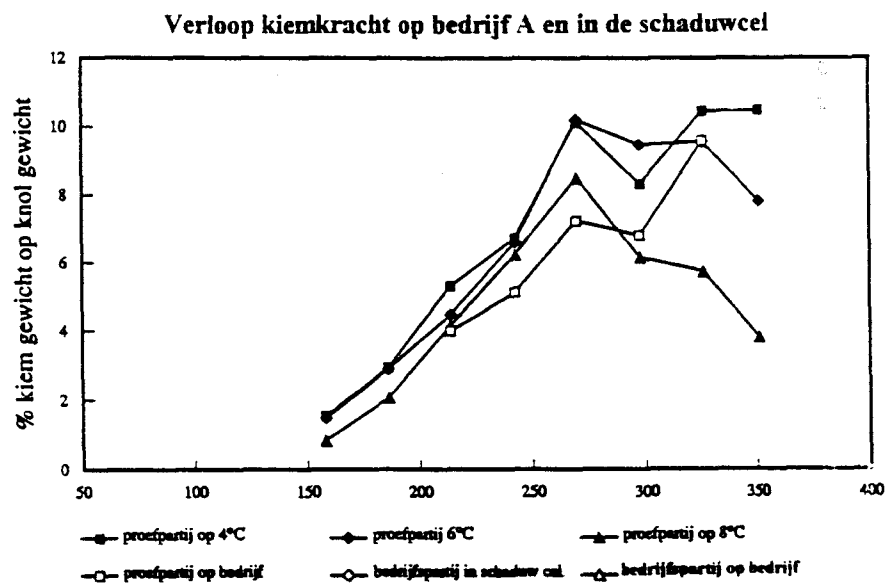
3.2 Materiaal en methode

In de nazomer van 1993 zijn van een partij pootgoed van het ras Désirée een aantal proefmonsters samengesteld. Een deel van deze proefmonsters werd opgeslagen in de schaduwcel op het ATO. De overige proefmonsters werden opgeslagen op de drie pootgoedbedrijven. Van het pootgoed van ieder deelnemend praktijkbedrijf werden ook een aantal monsters samengesteld. Deze monsters werden deels opgeslagen in de schaduwcel op het ATO en deels, samen met de aangevoerde proefmonsters van het ATO, opgeslagen in de bedrijfspartij op het betreffende bedrijf.
Op de deelnemende bedrijven was apparatuur geïnstalleerd voor het meten van het temperatuurverloop van de buitenlucht en op verschillende plaatsen in de produktstapel. Ook was meetapparatuur aangebracht om het energieverbruik te kunnen registreren.
Vanaf begin januari 1994 werden maandelijks op de bedrijven monsters opgehaald van de proefpartij en de bedrijfspartij en werden eveneens uit de schaduwcel praktijk- en proefmonsters gehaald. Per controletijdstip werden van deze monsters het knol- en kiemgewicht bepaald direct na bemonstering en wederom na een aansluitende bewaring van vier weken bij 18°C. De vierweekse periode bij 18°C diende om per tijdstip (per maand) de potentie tot kiemvorming (groeikracht) vast te kunnen stellen. Uit het verloop van het gemiddeld kiemgewicht per knol kan de groeikracht worden afgeleid.

3.3 Resultaten produktzijdig

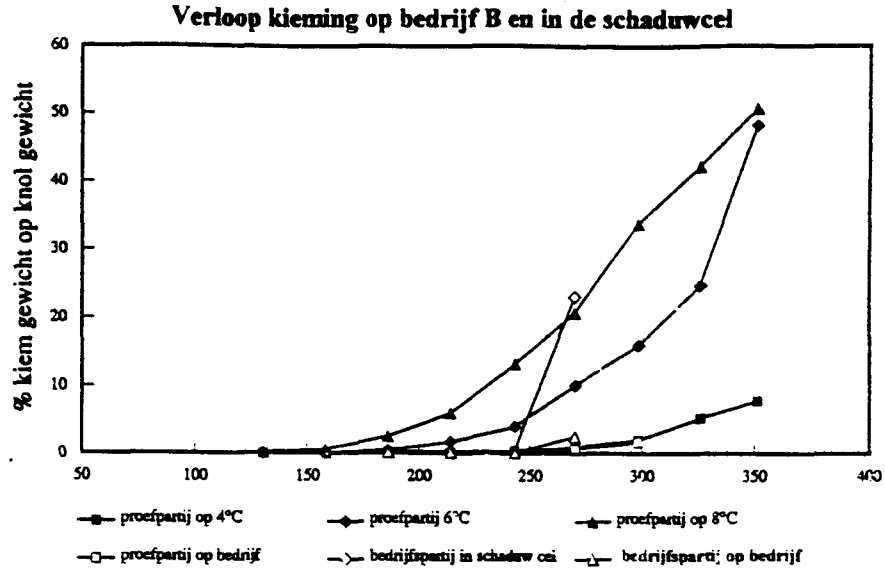
Ondanks de geleidelijke afkoeling en de in de regel hogere en wisselendere bewaartemperaturen op de bedrijven was de mate van kieming identiek aan die bij bewaring in de schaduwcel (zie ter illustratie Afbeelding 1 t/m Afbeelding 4).
De groeikracht verliep trager bij de partijen die op de bedrijven werden bewaard. Ook de toppen van de groeikrachtkurven reikten minder hoog dan van de partijen bewaard in de schaduwcel (zie Afbeelding 1 en Afbeelding 2). Eén en ander kan mogelijk worden toegeschreven aan een fluctuerend temperatuurverloop tijdens afkoelen en bewaren (zie

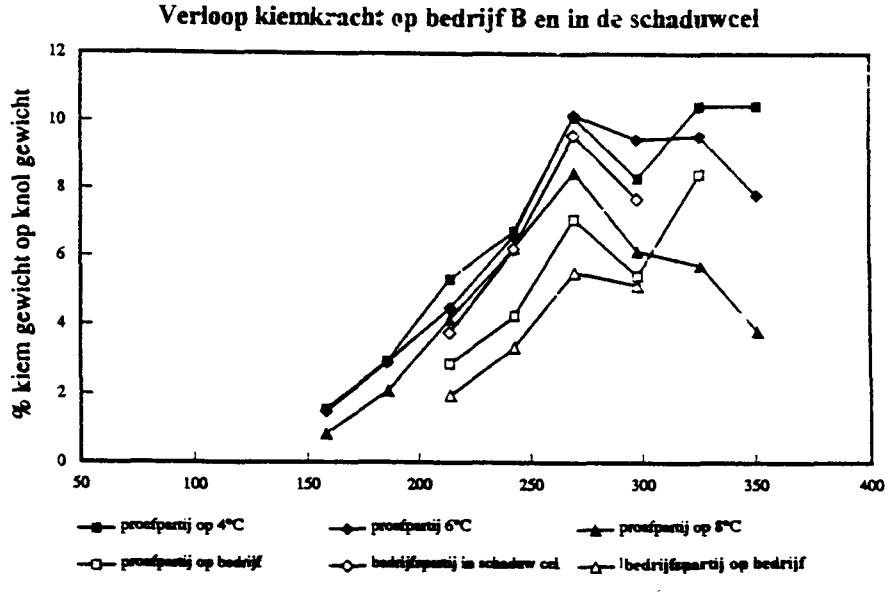




Afbeelding 1 Verloop kieming en kiemkracht van pootgoed bewaard op bedrijf A en in de schaduwcel bij ATO-DLO in seizoen 1993/1994.

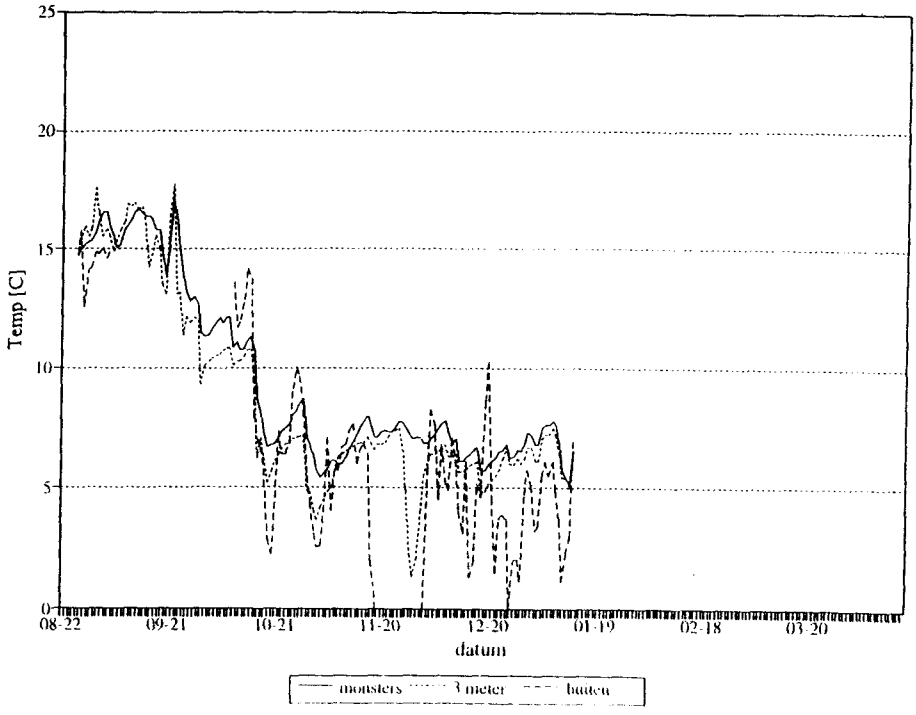
Afbeelding 3 en Afbeelding 4). Dit vergt waarschijnlijk meer energie van de knollen dan een rustig temperatuurverloop.
Uit de resultaten van seizoen 1992/1993 en 1993/1994 kunnen perspectieven worden afgeleid voor bewaring van pootgoed met behoud van een goede groeikracht met alleen buitenluchtkoeling. Met een slim meet- en regelsysteem zal dan planmatig (geleidelijk) moeten worden afgekoeld, waarna een zo vlak mogelijk temperatuurniveau moet worden gehandhaafd. Om een optimum groeikracht te kunnen realiseren op het poottijdstip zal de streeftemperatuur waarbij moet worden bewaard afhankelijk zijn van het ras (zie schaalproef). Vanuit een oogpunt van



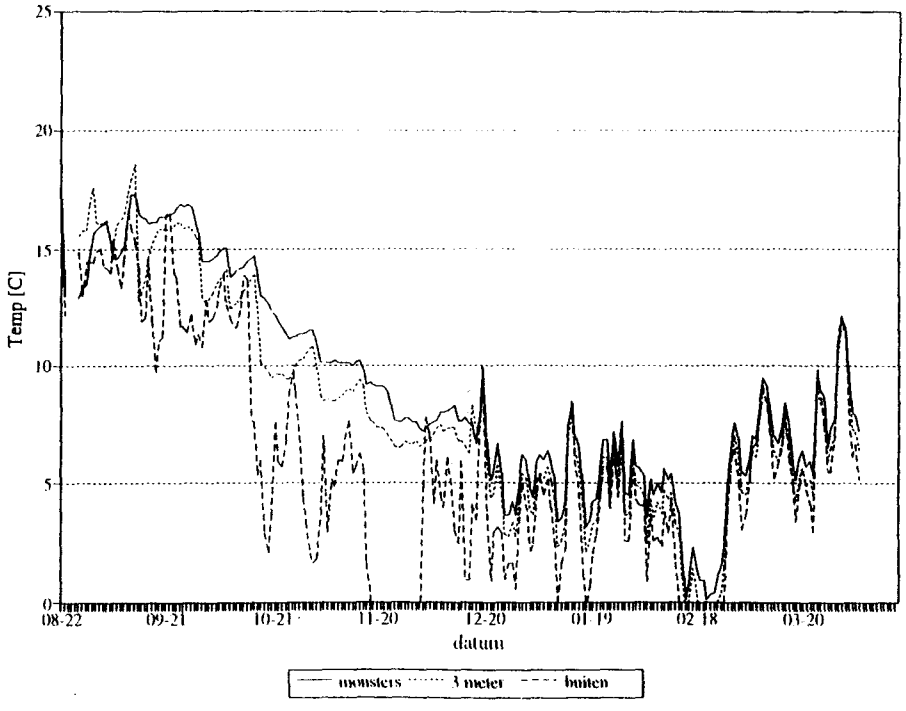


Afbeelding 2 Verloop kieming en kiemkracht van pootgoed bewaard op bedrijf B en in de schaduwcel bij ATO-DLO in seizoen 1993/1994.

energieverbruik en waarschijnlijk ook van gewichtsverlies dient dit nader te worden beproefd en bevestigd.



Afbeelding 3 Temperatuurverloop op pootgoedbedrijf A in 1993/1994.



Afbeelding 4 Temperatuurverloop op pootgoedbedrijf B in 1993/1994.

3.4 Resultaten energetisch

Gedurende het seizoen 1993/1994 zijn metingen verricht bij drie bewaarplaatsen voor pootaardappelen. In die bewaarplaatsen zijn de temperatuur, de luchtvochtigheid, de ventilatieacties en de koelmachineactiviteit gemeten. Bij één bedrijf zijn door technische storingen geen activiteiten van ventilatoren en koelmachine vastgelegd. Daardoor is het bij dit bedrijf niet mogelijk het energieverbruik te bepalen. Bij een ander bedrijf werden de ventilatoren overwegend gebruikt voor het conditioneren van een partij uien die in dezelfde bewaarplaats waren opgeslagen. Hierdoor is niet te achterhalen welk deel van het energieverbruik aan de bewaring van de uien en welk deel aan de bewaring van de pootaardappelen moet worden toegeschreven. Rest nog één bedrijf waar de metingen wel goed gelukt zijn, in deze bewaarplaats werden gedurende de bewaarperiode wisselende hoeveelheden pootaardappelen bewaard. De gepresenteerde gegevens zijn derhalve gemiddelden over de gehele bewaarperiode.

Tabel 1: Overzicht van de energieverbruiken bij de bewaring van pootaardappelen. (BL = buitenlucht koeling, MK = mechanische koeling)

Bedrijf nr.	kWh totaal (kWh)	tonnage (ton)	duur (mnd)	energieverbruik (kWh/ton/mnd)
3 BL&MK	6114,2	228	6,5	4,1256

4 Proefmateriaal

Het onderzoek op ATO-DLO werd dit seizoen uitgevoerd met de volgende acht rassen: Eersteling, Jaerla, Bintje, Désirée, Alpha, Agria, Saturna en Van Gogh.
Van Eersteling is bekend dat dit ras snel veroudert en van Alpha dat het langzaam veroudert, de overige rassen zitten daartussen in.
De teelt van de rassen voor dit onderzoek heeft plaatsgevonden van april tot augustus 1993 op proefboerderij "De Eest" te Nagele (NOP). Van alle rassen is getracht zoveel mogelijk gebruik te maken van sortering 40 - 45 mm.

5 Bewaaronderzoek

Zoals in de planning is aangegeven is onderzoek gedaan naar de invloed van temperatuur op de snelheid van fysiologische veroudering en dus het verloop van de groeikracht. Meer inzicht hierin is van belang voor het ontwikkelen van goede bewaarregimes voor buitenluchtkoeling voor pootaardappelen. Daarnaast is aandacht besteed aan CA-bewaring t.b.v. kiemrustbreking en is het onderzoek naar de mogelijkheden van regulering van de kieming bij pootaardappelen door toepassing van etherische oliën voortgezet. Van ieder van deze onderwerpen volgt hier een korte beschrijving van de aktiviteiten en eventuele achtergronden.

5.1 Schaalproeven

Voor het bepalen van de invloed van temperatuur en bewaarduur op de groeikracht werden acht verschillende rassen opgeslagen bij 4, 6, 8, en 14°C. De bewaring vond plaats van 6 augustus 1993 tot 27 juni 1994. Vanaf 15 november 1993 werden maandelijks monsters per ras en bewaartemperatuur gewogen en het kiemgewicht ervan bepaald. Daarna werden deze monsters per controletijdstip vier weken bij 18°C geplaatst, waarna wederom het gewicht en het kiemgewicht werden bepaald alvorens ze af te voeren. Deze vierweekse periode bij 18°C diende om per tijdstip de potentie tot kiemvorming (groeikracht) te kunnen vaststellen. De laatste bepaling hiervoor (monsters van juni) vond plaats rond 22 juli 1994.
Naast genoemde bepalingen m.b.t. de groeikracht werd oriënterenderwijs bij een viertal rassen op ieder monstertijdstip ook het gehalte aan fructose, glucose en sucrose bepaald om meer inzicht te krijgen in het suikerverloop tijdens de bewaring van pootgoed. Op het ATO wordt namelijk gewerkt aan een kwaliteitsverloopmodel voor consumptie-aardappelen bestemd voor de verwerkende industrie op basis van de suikerhuishouding in de knollen. Suikers en kieming (veroudering) zijn onlosmakend met elkaar verbonden. Vanuit die optiek zijn de suikerbepalingen dit seizoen in het pootgoedonderzoek meegenomen bij dezelfde rassen die ook bij het consumptie-aardappelonderzoek waren betrokken (Bintje, Agria, Van Gogh en Saturna) en werd voor een volledige gelijkschakeling met de schaalproef consumptie-aardappelen een bewaartemperatuur van 14°C aan het pootgoedonderzoek toegevoegd. Het uitgangspunt was aanknopingspunten te vinden voor de opzet van een kwaliteitsverloopmodel voor pootaardappelen waarmee op termijn via een relatie tussen suikervorming en kiemkracht het kiemgedrag kan worden voorspeld.
De resultaten van het schaalonderzoek zijn vermeld in hoofdstuk 6 (kwaliteit).

5.2 Pootgoed en kiemrustbreking

Vroeg in het seizoen (meteen na de oogst) hebben aardappelen een natuurlijke kiemrustperiode die per ras verschillend is. In verband met export naar o.a. landen met teeltseizoenen in herfst of winter, is het tot nu toe zo dat er slechts rassen geëxporteerd kunnen worden die een zeer korte kiemrustperiode hebben. De natuurlijke kiemrustperiode kan slechts door dure (ook qua energie) en bovendien niet altijd effectieve methoden worden bekort. Bij een gegarandeerde kiemrustdoorbreking zou de export in herfst en vroege winterperiode met meerdere rassen kunnen worden

uitgebreid.
Uit voortgezet onderzoek op het ATO komt naar voren dat een korte periode van CA-bewaring (lage O_2 concentraties) na de oogst bij alle beproefde rassen voor een snelle kiemrustbreking en spruitgroei zorgde. Dit effect werd versterkt door tijdens de zeer kortdurende CA-bewaring de O_2 concentratie te laten verlopen van zeer laag tot iets hoger.
Het is dus mogelijk om de kiemrust te doorbreken en op het gewenste moment kiemkrachtige aardappelen te verkrijgen. In de periode na de oogst dat dit zou spelen kan naar alle waarschijnlijkheid gebruik worden gemaakt van bestaande CA-bewaarfaciliteiten.
Van de zijde van het bedrijfsleven is hiervoor inmiddels belangstelling getoond. Afhankelijk van de bereidheid tot mede-financiering zal het onderzoek worden voortgezet op semi-praktijkschaal/praktijkschaal.

5.3 Tijdelijke kiemremming bij pootaardappelen met etherische oliën

Met de etherische olie karvon, gewonnen uit karwijzaad, kan de kieming bij consumptie-aardappelen goed worden onderdrukt. Onder de handelsnaam "Talent" heeft dit nieuwe kiemremmingsmiddel sinds juli 1994 een officiële toelating gekregen voor gebruik bij consumptie-aardappelen op praktijkschaal. Aan de ontwikkeling en het onderzoek dat aan deze toelating voorafging heeft het ATO een belangrijke bijdrage geleverd.
Karvon moet in bepaalde concentraties in de bewaaratmosfeer aanwezig zijn om een kiemremmend effect te hebben. Vandaar dat op laboratoriumschaal ook is onderzocht of karvon mogelijkheden biedt voor het tijdelijk onderdrukken van de kiemgroei bij pootaardappelen. De resultaten van dit onderzoek waren, niet alleen t.a.v. de regulering van de kieming, maar ook t.a.v. de nevenwerking van karvon op schimmels die Zilverschurft, Fusarium sulphureum, Phoma, Pukkelschurft en Roodrot veroorzaken, zeer perspektiefvol. Inmiddels lopen proeven op semi-praktijkschaal met meerdere rassen waarbij ook het effect van dosering op de nateelt (gewasontwikkeling, opbrengst en sortering op zowel pootgoed- als consumptieoogstdatum) wordt bestudeerd. Tot nu toe blijkt dat uit onder karvon bewaarde poters een gewas groeit dat bij oogsten op pootgoeddatum niet achterblijft in opbrengst. Wel verschuift de sortering naar iets kleinere maten, maar dat hoeft voor de pootgoedteelt geen nadeel te zijn. Bij oogsten op consumptiedatum lijkt de opbrengst iets (ca. 3%) achter te blijven. Het onderzoek m.b.t. karvon als tijdelijke kiemremmer voor pootgoed, dat perspektief biedt voor energiebesparing en voor een milieuvriendelijke bescherming tegen een aantal schimmelziekten tijdens de bewaring, wordt voortgezet. Het pootgoedbedrijfsleven toont grote interesse hiervoor en heeft inmiddels zijn medewerking toegezegd.

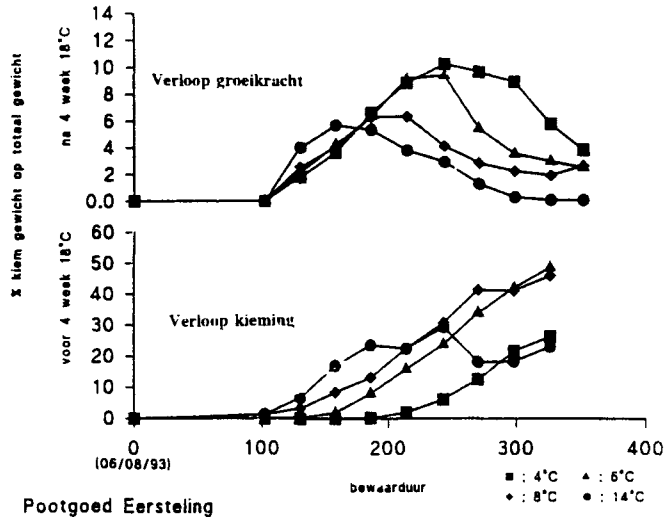
6 Sensoren

Zie consumptieaardappelen.

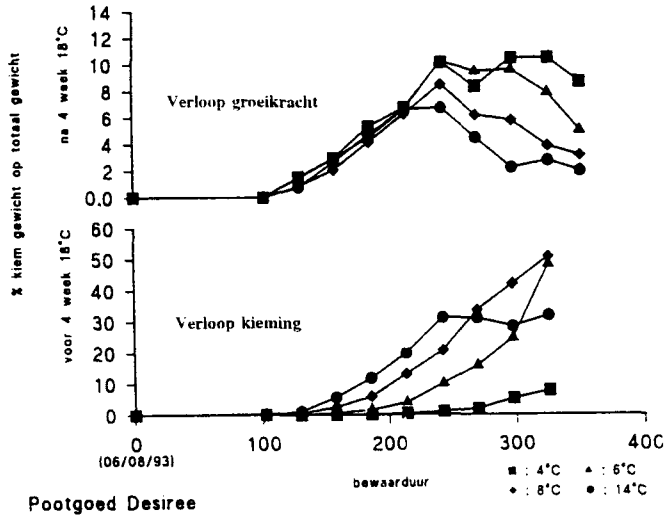
7 Kwaliteit

Voor wat betreft de invloed van de bewaartemperatuur op de kiemkracht worden de resultaten van de voorgaande seizoenen bevestigd. Naarmate de bewaartemperatuur hoger is valt het tijdstip waarop de groeikracht een

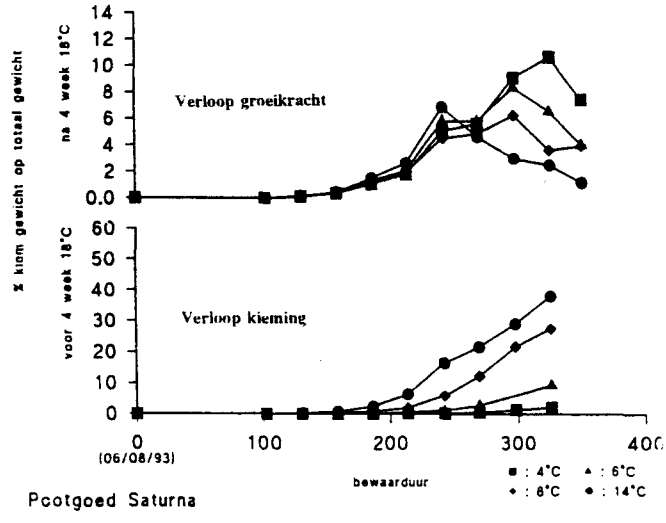
optimum bereikt per ras vroeger in het seizoen.
Wanneer voor Nederlandse omstandigheden bewaring tot ca. half maart, poten begin april, als uitgangspunt wordt genomen zou het optimum van de groeikracht in seizoen 1993/1994 rond de 250e dag na aanvang van de bewaring moeten liggen.
Voor de rassen Eersteling en Jaerla (vroege rassen) wordt dit gerealiseerd bij een bewaartemperatuur van rond 4°C. Voor de rassen Bintje, Désirée en Van Gogh kan hiervoor een bewaartemperatuur van rond 6°C worden aangehouden en voor de rassen Alpha, Agria en Saturna van ca. 8°C. Zie Afbeelding 5. Dit bevestigt dat waneer wordt uitgegaan van een optimale groeikracht op het poottijdstip er een redelijke bandbreedte zit in bewaartemperaturen om dit te bereiken. De tot nu toe geadviseerde lage bewaartemperaturen voor pootaardappelen zouden, bij handhaving van constante temperatuurniveaus, voor meerdere rassen kunnen worden verhoogd. In de praktijk wordt echter in veel gevallen pas na het sorteren op een lage, zo constant mogelijke, bewaartemperatuur overgegaan.
Daarom zal in het onderzoek van seizoen 1994/1995 worden nagegaan wat de invloed is van verschillende sorteerperioden (dus van het tijdstip van aanvang waarop met bewaren met een lagere, constantere temperatuur wordt begonnen) op de ontwikkeling van de groeikracht. Uit de gegevens die hieruit komen kunnen samen met de reeds verkregen resultaten mogelijk glijdende temperatuurregimes worden afgeleid die met alleen buitenluchtkoeling, in combinatie met een slim meet- en regelsysteem, zijn te realiseren.
Ten aanzien van het oriënterende onderzoek naar de relatie suikervorming en groeikracht kan worden opgemerkt, dat er een duidelijke relatie is tussen sucrose en kiemvorming, zie figuren Afbeelding 6 en Afbeelding 7). Vanaf het tijdstip dat kieming van enige omvang gaat optreden gaat ook het sucrose gehalte stijgen. Stijging van het sucrose gehalte valt dus samen met de aanvang van kiemvorming, zodat sucrose niet als voorspellende parameter kan worden gebruikt.
Wel opvallend aan de sucrose cijfers is dat rond het tijdstip dat het optimum van de groeikrachtcurve wordt bereikt sucrose negatief gaat reageren op een vierweekse temperatuurverhoging bij 18°C (negatief reconditioneer effect). Meer naar het eind van de bewaring worden soms weer positieve effecten van reconditioneren op het sucrose gehalte zichtbaar. Dit moet waarschijnlijk worden toegeschreven aan de staat van de aardappels in deze laatste fase (volledig verschrompeld en afgeleefd.).
Zoals het zich thans laat aanzien lijkt het niet zinvol om bij het pootaardappelonderzoek verdere aandacht aan het verloop van de suikers te besteden omdat hieraan geen voorspellende meerwaarde kan worden ontleend.



Pootgoed Eersteling

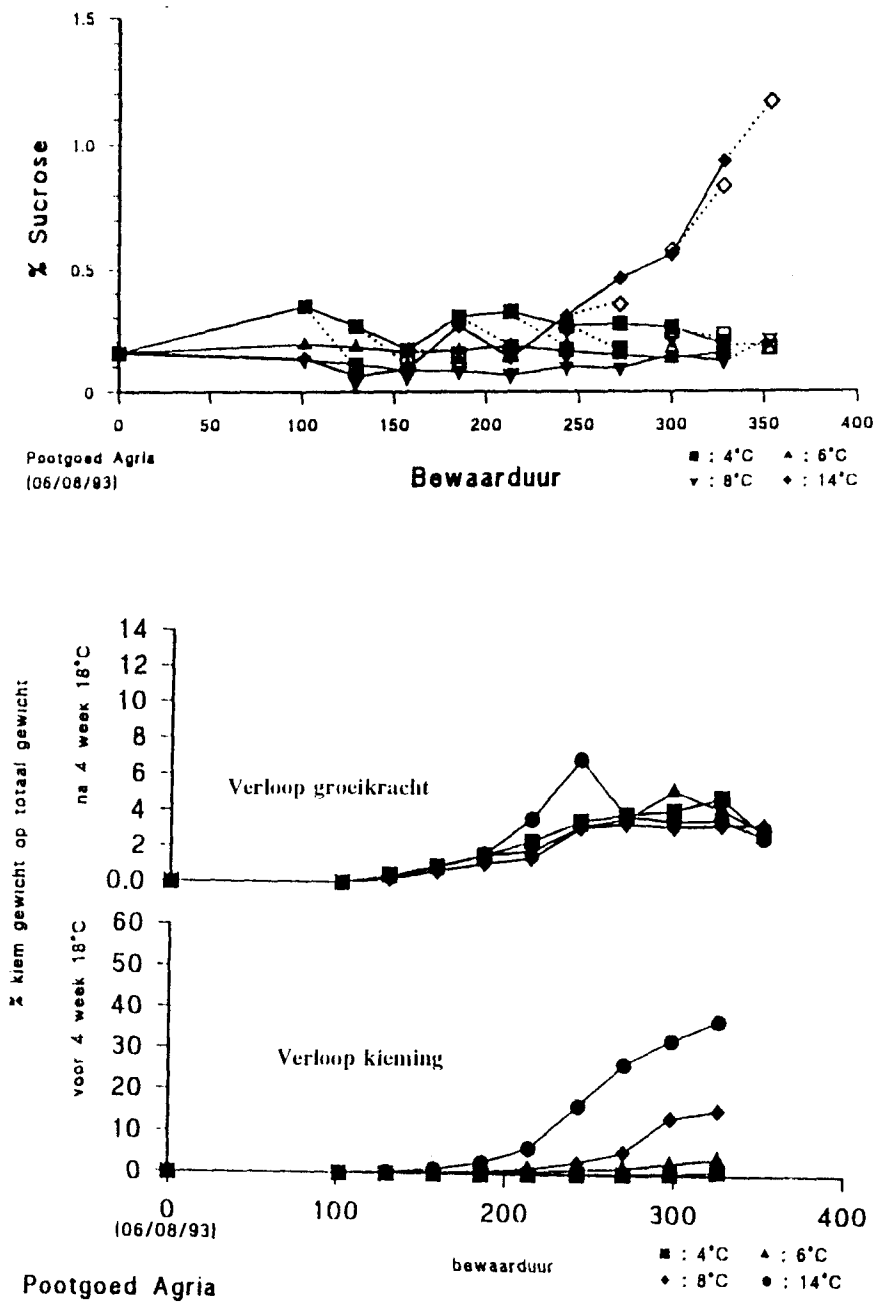


Pootgoed Desiree



Pootgoed Saturna

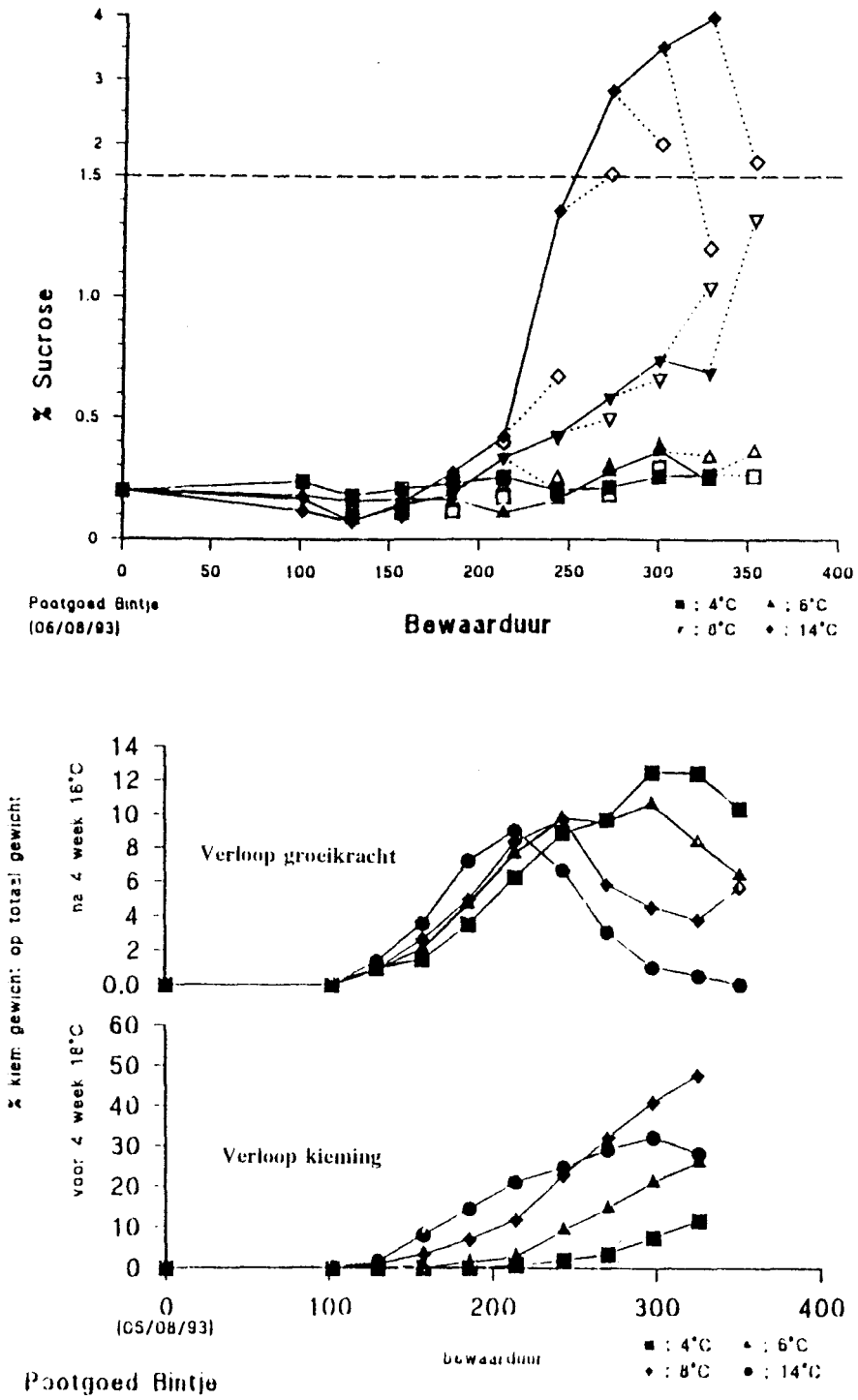
Afbeelding 5 Verloop kieming en groeikracht bij pootgoed van de rassen Eersteling, Désirée en Saturna bewaard bij verschillende temperaturen in seizoen 1993/1994.



Afbeelding 6 Verloop sucrosegehalte, kieming en groeikracht bij pootgoed van het ras Agria bewaard bij 4, 6, 8 en 14°C in seizoen 1993/1994.

8 Voorlopige conclusies en aanbevelingen

De perspektieven voor energiezuinige bewaring van pootaardappelen met behulp van buitenlucht zijn niet veranderd ten opzichte van 1992/1993, dat is, nog steeds zeer goed. Doordat de kennis over het bewaarde produkt en de bewaarplaats is toegenomen is de inpasbaarheid in een kennissysteem verbeterd.
Het lijkt vooralsnog zinvol om de bewaarplaatsen met mechanische



Afbeelding 7 Verloop sucrosegehalte, kieming en groeikracht bij pootgoed van het ras Bintje bewaard bij 4, 6, 8 en 14°C in seizoen 1993/1994.

koeling niet uitvoerig te bemeten en te modelleren. Door de grote variatie in dat soort bewaarplaatsen en de wisselende beladingen lijkt het efficiënter eerst te concentreren op het modelleren van de bewaarplaatsen die uitsluitend met buitenlucht en kachels geconditioneerd kunnen worden.

B. Consumptieaardappelen

1 Inleiding

Consumptie-aardappelen worden deels gebruikt als tafelaardappelen en deels aangewend voor industriële verwerking. Thans wordt al meer dan 2.2 miljoen ton consumptie-aardappelen verwerkt tot frites, chips en gedroogde produkten. De verwerking tot frites neemt verreweg de belangrijkste plaats in. Van aardappelen die bestemd zijn voor verwerking tot frites en chips dient het reducerende suikergehalte niet te hoog te zijn daar anders de uitwendige kwaliteit, met name de kleur van het gebakken produkt, en de smaak nadelig beïnvloed worden.
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 op het ATO-DLO met een viertal rassen gedetailleerd onderzoek uitgevoerd naar:

- De effecten van verhoogde CO_2 concentraties op de verwerkingskwaliteit.
- 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 voordoen m.b.t. de verwerkingskwaliteit. Dit om te bezien of de daaruit verkregen resultaten kunnen worden verklaard met de gegevens uit het achtergrond onderzoek (schaalproeven).
Het uiteindelijke doel van het geheel aan onderzoekinspanningen is zodanige besturingen van het bewaarproces te kunnen aangeven, ontwikkelen en realiseren dat de verwerkingskwaliteit volledig beheersbaar wordt bij een zo minimaal gebruik aan energie.

2 Kennisverzameling en kennissysteem

Zie pootaardappelen.

3 Samenwerking

3.1 Inleiding

In seizoen 1993/1994 werden, evenals in het voorgaande seizoen, zes praktijkbedrijven gevolgd. Naast deze praktijkbedrijven was ook een zgn. schaduwcel, op ATO-DLO proefbedrijf "De Eest", bij dit onderzoek

betrokken (bedrijf 7). In deze cel werd een constante bewaartemperatuur van 6.5°C gehandhaafd. De bewaring onder vaste condities in deze cel was bedoeld om vast te kunnen stellen of ontstane problemen met de bakkwaliteit worden veroorzaakt door de bewaring of door de grondstof (partij verschillen).
Het uitgangspunt was dat de aardappelen (voornamelijk van het ras Bintje) op alle deelnemende bedrijven tot mei 1994 of langer bewaard zouden worden. De herfst van 1993 was echter zeer extreem, met name de maanden augustus, september en oktober waren zeer wisselvallig en regenrijk. Rond half oktober, toen er nog veel aardappelen in de grond zaten, trad er ook nog een korte periode met vorst aan de grond op. Het rooien en inschuren ondervond door al deze omstandigheden grote vertraging en verliep hierdoor vaak schoksgewijs, terwijl onder druk van de steeds slechter wordende bodemomstandigheden en het voortschrijdende seizoen soms ook wel werd gerooid bij te lage knoltemperaturen. Er waren deelnemende bedrijven bij waar, als gevolg van de geschetste omstandigheden, het vullen van de bewaarplaats ca. een maand in beslag nam. Het zal duidelijk zijn dat dit tot complicaties kan leiden bij de uitvoering van een goede droog- en wondheelperiode voor de verschillende charges binnen zo'n bewaarplaats. Ondanks de beslist niet ideale startpositie zijn, op één uitzondering na, alle partijen toch nog tot ca. half mei of langer bewaard. Slechts op één bedrijf werd om bedrijfseconomische redenen verladen rond half februari 1994.

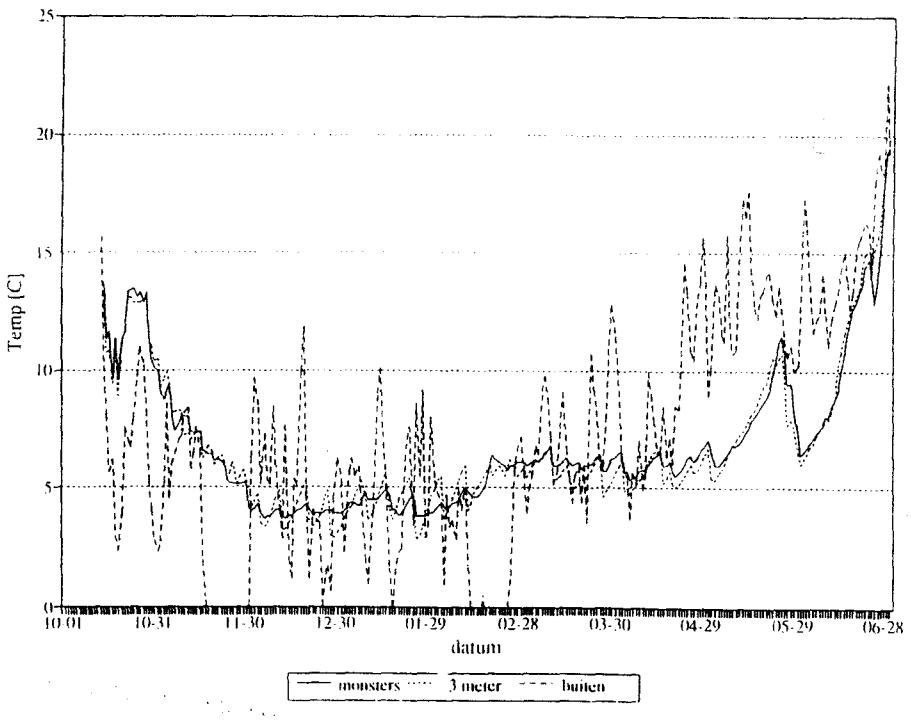
3.2 Materiaal en methode

Op 1 oktober 1993 zijn van een partij aardappelen van het ras Bintje, verbouwd op "De Eest", na homogenisering een groot aantal bewaarmonsters samengesteld. Een deel van deze proefmonsters werd tijdens 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.
Door de geschetste omstandigheden in herfst 1993 was de periode waarover het inbrengen van de monsters op de bedrijven plaats vond wat langer dan gebruikelijk. Dit vond namelijk plaats in de periode van 7 tot 22 oktober 1993. Bij het inleggen van de proefmonsters werd rekening gehouden met de reeds genomen maatregelen m.b.t. kiemremming per bedrijf.
Tijdens de bewaarperiode werd het verloop van de bakkleur-index en het gewicht gevolgd. Voorts werd het temperatuurverloop gemeten in de onmiddellijke omgeving van de monsters, op drie meter onder het bovenoppervlak en van de buitenlucht. Ook werd het aantal ventilatie-uren en het energieverbruik gemeten. Op twee bedrijven was apparatuur geïnstalleerd om het verloop van de CO_2 concentratie te meten en registreren.

3.3 Resultaten produktzijdig

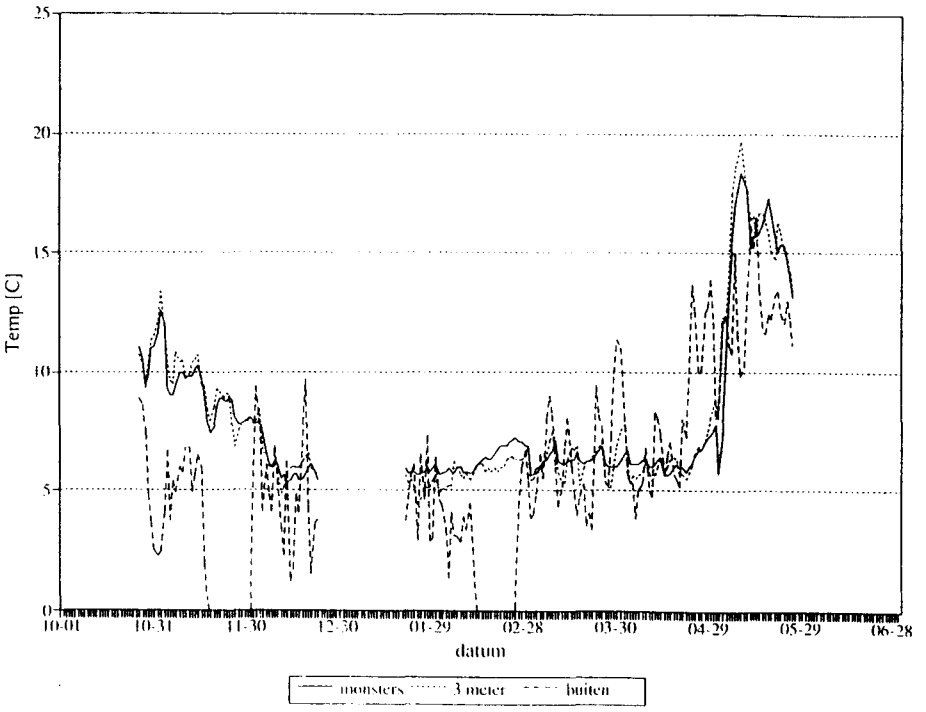
Tussen de gemeten temperatuurverlopen op de verschillende bedrijven kwamen verschillen voor ten aanzien van de wijze van afkoelen na

drogen/wondhelen, de diepte van afkoelen en in temperatuurbeheer gedurende het bewaarseizoen.
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 de herkomst van de partijen. Bij afleveren, tussen eind februari en eind juni 1994, was de gemiddelde bakkleur-index op vier bedrijven nog acceptabel. De onacceptabele bakkleur-index bij afleveren van de overige twee bedrijven kan op het ene bedrijf worden toegeschreven aan een te grote mate van koudeverzoeting en op het andere bedrijf aan veroudering (ouderdomsverzoeting). Dit wordt geïllustreerd in Afbeelding 8 t/m Afbeelding 11. Afbeelding 8 en Afbeelding 9 geven het temperatuurverloop op respectievelijk bedrijf 3 en 6 weer. Op bedrijf 3 was te veel koudeverzoeting opgetreden waardoor de bakkleur bij afleveren op een onacceptabel niveau lag. Op bedrijf 6 was de bakkleur bij afleveren onacceptabel als gevolg van ouderdomsverzoeting.

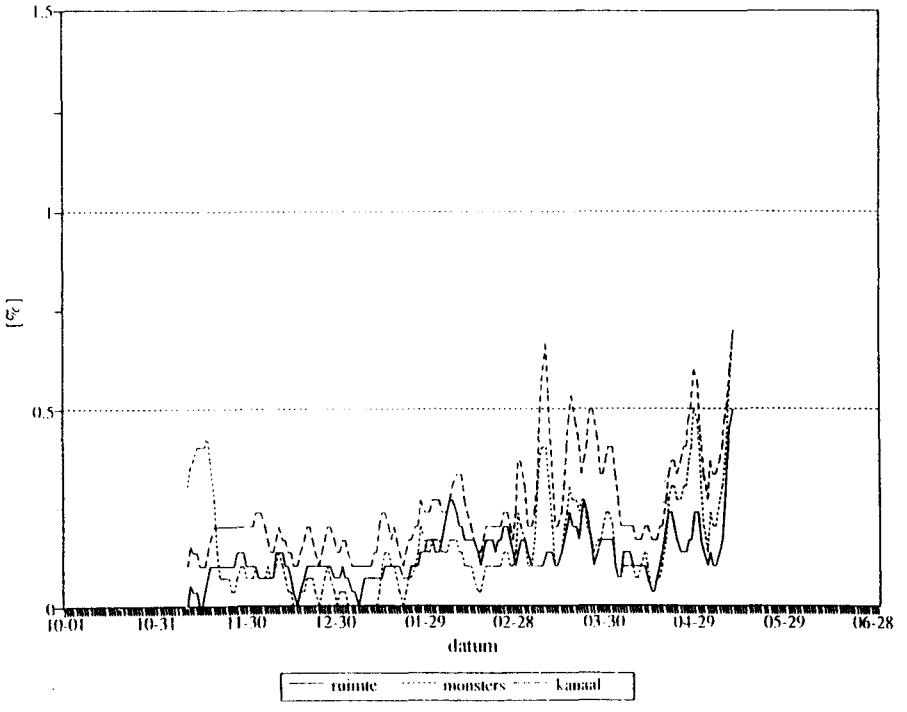


Afbeelding 8 Temperatuurverloop op bedrijf 3 in 1993/1994.

CO_2 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 vóór het 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 op dit bedrijf zijn mogelijk veroorzaakt door een gewijzigd ventilatiepatroon (andere bewaarder dan vorig seizoen) en door het ras (Agria i.p.v. Bintje). Afbeelding 10 en

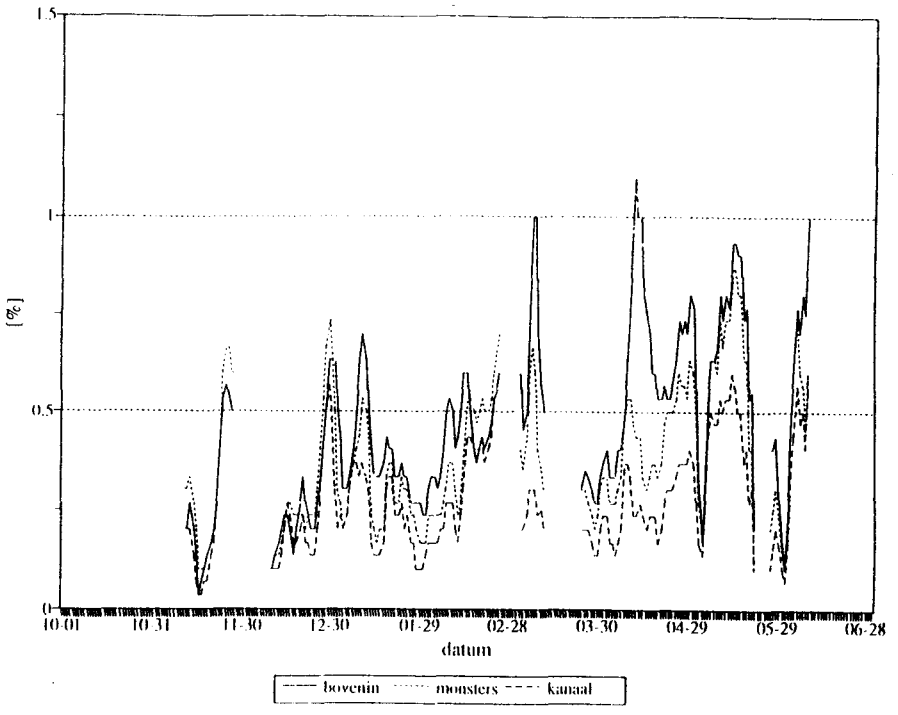


Afbeelding 9 Temperatuurverloop op bedrijf 6 in 1993/1994.



Afbeelding 10 Verloop CO_2 concentratie op bedrijf 2 in 1993/1994.

Afbeelding 11 geven het verloop van de CO_2 concentratie op respectievelijk bedrijf 2 en 4 weer.
Ten aanzien van de gewichtsverliezen kunnen dit seizoen slechts tendenzen worden afgeleid en geen absolute niveaus. In herfst 1993, toen het inschuren per bedrijf over het algemeen over een langere periode



Afbeelding 11 Verloop CO_2 concentratie op bedrijf 4 in 1993/1994.

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 en bedrijven waar de bewaarplaats nog niet half vol was. Uit de gegevens kon worden afgeleid 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. Uit de bewaring in de mechanisch gekoelde schaduwcel kon duidelijk worden afgeleid dat bewaring onder drogere omstandigheden de vochtafgifte en dus het ontstaan van gewichtsverliezen bevordert.

3.4 Resultaten energetisch

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.
Op basis van de metingen zijn per bedrijf het gemiddeld aantal draaiuren per ventilator per dag en het energieverbruik in kWh/ton.maand berekend en samengevat in Tabel 2.

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 zeer natte oogstomstandigheden die goed drogen noodzakelijk maakten, de over het algemeen lange inschuurperiode

Tabel 2: Overzicht van de energieverbruiken bij de bewaring van consumptie-aardappelen. Tussen haakjes staan de waarden van seizoen 1992/1993 voor dezelfde bedrijven.

Bed nr.	Tonnage (tonnen)	Bewaarduur (maanden)	Gem. aantal ventilator/dag	Energieverbruik/t (kWh/ton.maand)
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)

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 van bedrijven met lagere als hogere energieverbruiken werden partijen met nog acceptabele en onacceptabele bakkleur-indices afgeleverd.

4 Proefmateriaal

Het onderzoek werd met dezelfde rassen uitgevoerd als in de voorgaande twee seizoenen, namelijk met: Bintje, Agria, Saturna en Van Gogh. De aardappelen van deze rassen werden verbouwd op het ATO-DLO proefbedrijf "De Eest" te Nagele (NOP). De bemesting is uitgevoerd overeenkomstig het advies na grondmonstername.
Het poten vond plaats op 1 april en het doodspuiten van het loof in september. Op de doodspuitdata was het loof van alle rassen reeds voor een groot deel afgestorven langs natuurlijke weg. Door het zeer wisselvallige en regenrijke weer in september/oktober 1993 kon niet vroeg worden geoogst. Bovendien trad er rond half oktober nog een korte periode (ca. 5 dagen) met vorst aan de grond op tot - 4°C. Op 25/26 oktober 1993 kon 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.
Tijdens de bewaring werd voor alle temperatuurvarianten een zelfde dampspanningsverschil nagestreefd en karvon toegepast als kiemremmingsmiddel.

5 Bewaaronderzoek

5.1 Schaalproeven m.b.t. een energetisch voordeliger bewaarbeleid met behoud van kwaliteit

Het bewaaronderzoek werd uitgevoerd van 11 november 1993 tot 12 augustus 1994 in zeven proefcellen op ATO-DLO. In één van de proefcellen werd een glijdend temperatuurverloop gerealiseerd. Door

verplaatsen van de monsterkisten werden de volgende temperatuurvarianten verkregen:

- Direct afkoelen naar 4, 5*, 6, 8 en 14°C** en deze temperatuur 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 beg. 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 toegevoegd om meer inzicht te krijgen in het kritische temperatuurgebied tussen 4 en 6°C.

** 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 constant 14°C is hiervoor een optie. Een andere optie is vermoedelijk het introduceren van temperatuurschommelingen.

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 werden het verloop van de bakkleurindex, het gewichtsverlies en de spruiting gevolgd.

Voor een ander deel van het onderzoek (vergroting van het inzicht in de suikerhuishouding, intrinsieke parameters t.b.v. de kwaliteitsbewaking en modelontwikkeling voor beschrijving van verzoeting tijdens de bewaring) werden maandelijks van alle monsters van de temperatuurvarianten van de schaalproef ook de gehalten aan reducerende suikers en sucrose bepaald.

5.2 Intrinsieke parameters t.b.v. de kwaliteitsbewaking

Extra experimenten werden uitgevoerd met de rassen Bintje en Saturna om een indruk te krijgen van het effect van een instabiel temperatuurbeleid in relatie tot veroudering, tijdens de verschillende fasen van de bewaring.
Bij één van deze experimenten (de zgn. stootproef) werden de aardappelen bewaard bij constant 8°C en zijn hieruit maandelijks monsters genomen die bij resp. 4 en 18°C werden gebracht. Van deze monsters werden steeds

gedurende een maand periodiek suikerbepalingen gedaan aan verschillende delen van de knollen (van basis tot apex) om de reactie op koude- en warmtestoten over het bewaarseizoen te volgen.
In een ander experiment (de zgn. schommelproef) werd gekeken naar het effect van herhaalde temperatuurschommelingen. Deze aardappelen werden eveneens bewaard bij 8°C en tijdens het eerste deel van het bewaarseizoen drie keer blootgesteld aan een koudestoot van steeds één week bij 4°C. Tijdens het laatste deel van het bewaarseizoen werden deze aardappelen blootgesteld aan drie warmtestoten van steeds één week bij 12°C. Ook bij dit experiment werd de verdeling van de suikers door de knol gevolgd.
Tot slot werd nog een simulatieproef uitgevoerd n.a.v. de metingen op praktijkbedrijven in seizoen 1992/1993. In genoemd seizoen was er op één bedrijf sprake van een vrij sterk fluctuerende bewaartemperatuur en verhoogde CO_2 concentraties. De verwerkingskwaliteit van deze aardappelen bleef achter bij die van de andere bedrijven. Deze simulatieproef werd opgezet om te zien of het slechtere verloop van de bakkleur veroorzaakt kan zijn door temperatuur of CO_2 effecten of combinaties hiervan. Het bleek dat een sterk fluctuerende bewaartemperatuur, met name in het voorjaar, veroudering duidelijk bevorderde. Ook sterk fluctuerende CO_2 concentraties bespoedigde de veroudering. De combinatie van sterk fluctuerende bewaartemperaturen en CO_2 concentraties had duidelijk de snelste veroudering tot gevolg.

5.3 Effecten van verhoogde CO_2 concentraties op de kwaliteit

In verband met de kwaliteitsbewaking is ook onderzoek gedaan naar de invloed van (tijdelijk) verhoogde CO_2 concentraties op de kwaliteit. Vastgesteld is dat CO_2 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 wondheelperiode is de invloed van een verhoogde CO_2 concentratie op de bakkleur gering tot verwaarloosbaar, maar kan wel een vrij sterke stimulering van de kieming optreden.
Tijdens de bewaring bij ca. 6°C hebben verhoogde CO_2 concentraties een duidelijk negatieve invloed op de bakkleur, terwijl de invloed op de kieming varieert. Tot ca. 3% CO_2 kan de kieming worden gestimuleerd, daarboven wordt de kieming vaak afgeremd. Vooral het effect van CO_2 op de kieming blijkt nogal afhankelijk te zijn van de fase van de bewaring: in de vroege fase bleek de stimulering door CO_2 veel groter dan in de latere fase.
In het onderzoek van seizoen 1993/1994 werden voornoemde effecten bevestigd. In dit seizoen is ook gekeken naar de minimale CO_2 concentratie die een verschuiving van de bakkleur veroorzaakt.
Als aanvulling op de reeds genoemde resultaten kan hierover worden vermeld dat geringe verhogingen tot 0.5 à 1% CO_2 geen nadelige invloed op de bakkleur lijken te hebben. Een negatieve invloed werd waargenomen vanaf ca. 1% CO_2 en hoger bij een verblijfsduur van enkele weken.
De slotconclusie uit dit onderzoek is dat bij bewaring van consumptie-aardappelen verhoging van het CO_2 gehalte in de bewaaratmosfeer vermeden dient te worden.

5.4 Kiemremming met etherische oliën bij consumptie-aardappelen

Door een toenemende kritische opstelling van grootwinkelbedrijven, verwerkers, milieugroeperingen en consumenten neemt de behoefte toe om de chemische kiemremmers te vervangen door natuurlijke alternatieven. Om deze reden heeft LUXAN in samenwerking met het ATO een natuurlijke kiemremmer ontwikkeld onder de naam "Talent". De werkzame stof in Talent is karvon die na bewerking verkregen wordt uit karwijzaad. Sinds juli 1994 mag Talent door LUXAN in het handelsverkeer worden gebracht als kiemremmingsmiddel voor consumptie-aardappelen. Inmiddels wordt het op bescheiden schaal toegepast in praktijkbewaarplaatsen met buitenluchtkoeling. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat de werking van karvon (Talent) minstens zo goed is als van de bestaande chemische kiemremmers en dat het met bestaande apparatuur kan worden toegepast.
Om zo min mogelijk spruitremmingsmiddel te hoeven toepassen, van belang voor zowel chemische als niet chemische kiemremmers, is een zo regelmatig mogelijk temperatuurverloop tijdens de bewaring van belang. Door een planmatige bewaring via slimme meet- en regelsystemen kunnen grote temperatuurfluctuaties worden voorkomen. Dit is zeer belangrijk om de spruitdruk te verminderen. Uit het onderzoek komen namelijk duidelijke aanwijzingen dat regelmatige temperatuurschommelingen, met name in het voorjaar, een stimulerende invloed hebben op de kieming.

6 Sensoren

Voor de kwaliteitsbewaking is het van groot belang dat kan worden vastgesteld of partijen aan het verouderen zijn en hoeveel tijd er nog beschikbaar is om ze af te kunnen leveren met een acceptabele bakkwaliteit.
Uit het onderzoek tot nu toe blijkt dat ouderdomsverzoeting steeds vooraf wordt gegaan door achtereenvolgens:

1. een negatief reconditioneereffect op sucrose;
2. een stijging van het sucrose gehalte;
3. sucrosepolariteit tussen top en basis van de knollen.

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. De verouderingsgegevens waar we nu over beschikken zijn die van twee seizoenen bij Bintje en een seizoen bij Saturna. Bij de andere rassen die bij het onderzoek waren betrokken hebben we geen ouderdomsverzoeting kunnen induceren. Bintje, een nog steeds belangrijk ras voor de verwerking, lijkt de meeste problemen te hebben met ouderdomsverzoeting. Als bruikbare systemen voor het vroegtijdig kunnen signaleren van ouderdomsverzoeting zijn de volgende mogelijkheden in onderzoek:

6.1 Stijging sucrose gehalte

Ouderdomsverzoeting wordt steeds voorafgegaan door een stijging van het sucrose gehalte. De stijging van sucrose op zich geeft echter nog geen garantie dat zich binnen een bepaalde termijn ook reducerende suikers zullen gaan ophopen. Het monitoring systeem zoals dit vorig jaar is

opgesteld ondervangt dit probleem door de beslissing tot ruimen 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. Het monitoringssysteem kan verfijnd worden door vanaf ca. 150 dagen bewaren vaker dan eens per maand te gaan bemonsteren. Het monitoringssysteem kan worden toegepast 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% (is nog niet zichtbaar aan bakkleur)

Met het tweede criterium wordt voorkomen dat het systeem alarm slaat bij een toevallige meetonnauwkeurigheid. Er moet sprake zijn van een reeds ingezette trend.
Wanneer vaker dan eens per maand wordt bemonsterd is het mogelijk ook voor de reducerende suikers de accumulatie in de vorige periode erbij te betrekken. Hierdoor kunnen (loze) alarmmeldingen worden geëlimineerd.

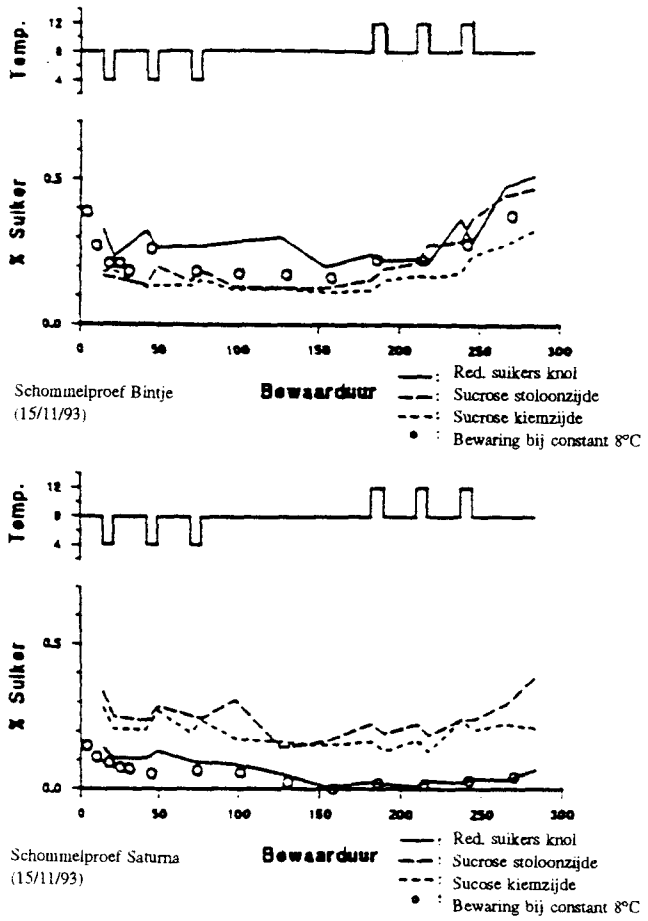
6.2 Sucrosepolariteit tussen top en basis

Uit de verzamelde gegevens tot nu toe lijkt de sucrosepolariteit het meest direct gekoppeld te zijn met de aanvang van ouderdomsverzoeting. Bij Bintje zien we o.a. duidelijk het tijdstip dat sucrosepolariteit aanvangt samenvallen met een beginnende stijging van de reducerende suikers. Dit is geïllustreerd in Afbeelding 12 waarin de sucrosepolariteit is uitgezet tegen het percentage reducerende suikers in de knol. Om dit fenomeen goed te kunnen kwalificeren zijn echter meer gegevens noodzakelijk. Bovendien is het van belang te weten in hoeverre dit ook voor andere rassen toepasbaar is.
In verband hiermee zijn in bewaarseizoen 1994/1995 experimenten in uitvoering met sterk fluctuerende temperaturen om een uitspraak te kunnen doen over hoe relevant het probleem van veroudering voor de verschillende rassen is en welk van de genoemde methoden (sucrose monitoring of sucrose polariteit) het meest geschikt is voor het voortijdig signaleren van verouderingsverzoeting.

7 Kwaliteit

Na drie proefseizoenen kunnen de volgende voorlopige conclusies worden getrokken:

* Gedurende het bewaarseizoen kan het verloop van de bakkleur in sterke mate worden beïnvloed door het temperatuurbeleid in de bewaarplaats. De mate van invloed verschilt van jaar tot jaar. Er is dus sprake van een jaar of seizoen effect dat zich het sterkst manifesteert bij lagere bewaartemperaturen.
* Een snelle afbouw van de temperatuur na de wondheelperiode tot een niveau van ≤ 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,



Afbeelding 12 Sucrosepolariteit tijdens de schommelproef als indicatie voor ouderdomsverzoeting met reducerende suikers. Ter referentie is de accumulatie van reducerende suikers bij constant 8°C weergegeven.

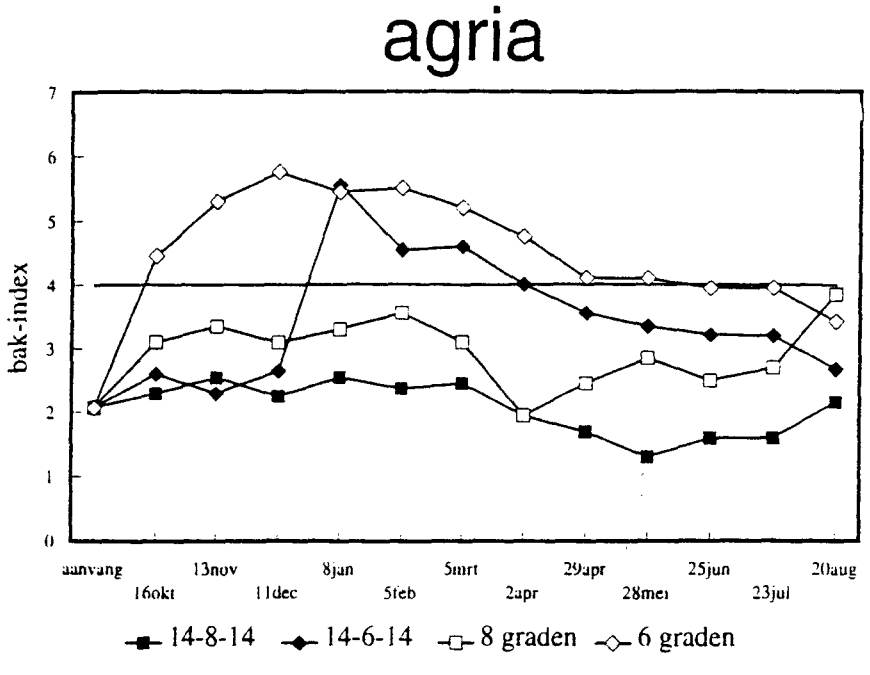
geen acceptabele bakkleur meer worden bereikt. Bij Agria en met name Saturna leidden deze handelingen vrijwel altijd wel tot een acceptabel resultaat.

* 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, ook hier glijdende regimes een goed alternatief vormen. Alleen bij Bintje, een ras dat gevoelig is voor ouderdomsverzoeting moet men hier voorzichtig mee zijn.
* Bij glijdende temperatuurverlopen (regimes) komen tot dusverre de resultaten qua bakkleur, spruiting en gewichtsverliezen van een geleidelijke temperatuurverhoging naar 10 t.o.v. 14°C en van 12 t.o.v. 14°C goed met elkaar overeen. Dit is gunstig vanuit de optiek van buitenluchtkoeling omdat bij langdurige bewaring een geleidelijke verhoging naar 14°C in de voorzomer de realiteit meer benadert dan naar 10°C.
* De zeer geleidelijke temperatuurverhoging in het voorjaar/voorzomer

functioneert als een ingebouwde vorm van reconditioneren. Met deze planmatige, geleidelijke temperatuurverhoging kunnen grotere temperatuurschommelingen in het voorjaar worden voorkomen. Dit is belangrijk want er zijn duidelijke aanwijzingen dat grote temperatuurfluctuaties in het voorjaar bij met name Bintje tot een eerder optredende ouderdomsverzoeting kan leiden.

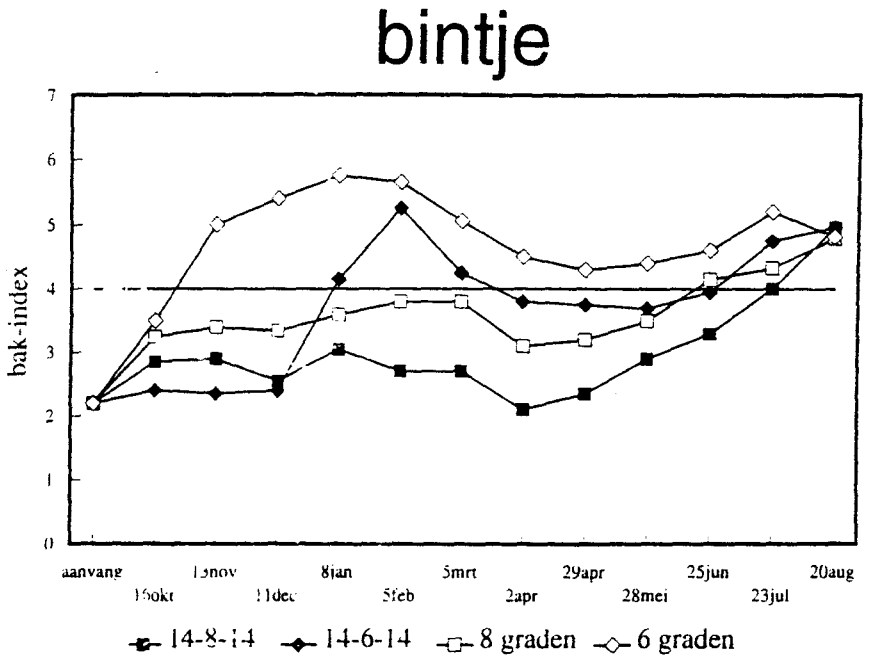
* Voor korter durende opslag (tot eind maart) worden, met het oog op een goede bakkleur, met de bij het onderzoek betrokken rassen tot dusverre de beste resultaten geboekt met bewaren bij 8 à 10°C constant en/of na de wondheelperiode geleidelijk afkoelen naar deze temperaturen en dan daarop handhaven. Een adequate spruitremming is hierbij uiteraard noodzakelijk.
* Voor langdurige bewaring, vanaf de 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 het glijdende regime 14 ▸ 8 ▸ 14°C, maar ook perspektief biedt het glijdende regime 14 ▸ 6 ▸ 14°C.
  - Bintje een glijdend regime 14 ▸ 8 ▸ 14°C tot ca. eind juni.

Afbeelding 13 en Afbeelding 14 tonen het verloop van de bakkleur-index voor Agria en Bintje bij bovengenoemde bewaarregimes.



Afbeelding 13 Verloop van de bakkleur-index bij Agria, bewaard bij 6 en 8°C constant en bij glijdende bewaaregimes 14°C ▸ 6°C ▸ 14°C en 14°C ▸ 8°C ▸ 14°C.

Tot slot kan nog worden opgemerkt dat uit de verzamelde gegevens van het onderzoek tot dusverre duidelijke ras- en seizoen effecten naar voren kwamen. Het globale verloop van de resultaten was steeds overeenkomstig maar de absolute niveaus waren per ras en jaar verschillend. Hierdoor zal nooit op het scherpst van de snede bewaard kunnen worden maar zullen



Afbeelding 14 Verloop van de bakkleur-index bij Bintje, bewaard bij 6 en 8°C constant en bij glijdende bewaaregimes 14°C ▸ 6°C ▸ 14°C en 14°C ▸ 8°C ▸ 14°C.

altijd veiligheidsmarges moeten worden aangehouden.
Om meer inzicht te krijgen in de suikerhuishouding van aardappelen en de factoren die hierop van invloed zijn is tijdens het onderzoek een wiskundig beschrijvend model ontwikkeld, FAVIM (Fysiologie Aardappel Verzoeting In Model) genoemd. Dit model is geformuleerd uitgaande van een aantal fysiologische veronderstellingen. De processen van koude- en ouderdomsverzoeting kunnen met dit model worden beschreven. De meetgegevens van onze proeven in de periode 1991 t/m 1994 kunnen met dit model voor meer dan 95% worden verklaard.
Om het model voorspellend te maken moeten er verbanden worden gelegd tussen de waarden van de diverse parameters in het model en specifieke parameters van de aardappel op het tijdstip van inschuren. Hiervoor is echter verder uitgebreid onderzoek noodzakelijk.
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 en jaarsafhankelijke condities voor verschillende temperatuurverlopen uit te rekenen (voorspellen) hoe het suikerverloop tijdens de bewaring zal zijn en hierbij het energetisch zuinigste en met buitenlucht meest realiseerbare regime te kiezen. Dit biedt geweldige perspectieven voor partijgerichte bewaring en voor de logistieke afstemming (afname planning) van zowel handel als verwerkende industrie.
In het onderzoek van seizoen 1994/1995 wordt veel aandacht besteed aan de verdere uitbouw van het beschrijvende model, i.v.m. perspektieven voor de langere termijn, en aan een praktisch bruikbaar systeem voor een tijdige signalering van ouderdomsverzoeting (korte termijn).
In bijlage 1 zijn nadere bijzonderheden over de ontwikkeling van het FAVIM model gegeven.

8 Voorlopige conclusies en aanbevelingen

Door de uitgevoerde onderzoeken zijn de perspectieven voor kwalitatief goede en energetisch zuinige bewaring van aardappelen met behulp van buitenluchtkoeling toegenomen.
Voor de ontwikkelde modellen bestaat bij de deelnemers aan de praktijkproeven een open oor. Doordat de landbouwvoorlichting steeds intensiever bezig is met het bepalen van de bakkleur gedurende de bewaring begint ook daar het besef te komen dat de bakkleur reconditioneerbaar is. Deze reconditioneerbaarheid is één van de belangrijkste pijlers voor het energiezuiniger bewaren van aardappelen met behulp van buitenluchtkoeling.

Conclusies en aanbevelingen

Onderzoeksresultaten gaan originele planning te boven en worden ook door de toekomstige gebruikers als zeer waardevol gezien.
Om tot een goed eindresultaat te komen lijkt het wenselijk het onderzoek te concentreren op modelvorming van bewaarplaatsen, setpointgeneratie en modelvorming van bewaarde produkt. Voor het bewaarde produkt moet speciaal aandacht besteed worden aan het voorspellend maken van het produktmodel. Om ook de langere bewaringen goed te kunnen begeleiden is het verder ontwikkelen van sensoren voor het detecteren van ouderdomsverzoeting noodzakelijk.

Bijlage 1: Het kwaliteitsverloopmodel

FAVIM: Fysiologie Aardappel Verzoeting In Model

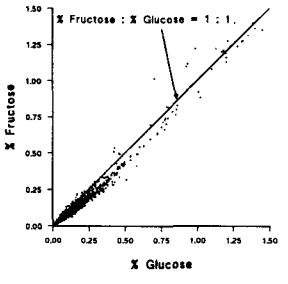
M.L.A.T.M. Hertog en L.M.M. Tijskens

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 wiskundige 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 tezamen 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.

Modelformulering

FAVIM is geformuleerd uitgaande van een aantal fysiologische veronderstellingen. In verband met het belang voor de verwerking is ervoor gekozen het gedrag van de reducerende suikers te modelleren. Hierbij is ervan uitgegaan dat de reducerende suikers glucose en fructose zich doorgaans verhouden in de verhouding 1:1 (zie Afbeelding 1). Sucrose is vooralsnog buiten het model gehouden. Er wordt vanuit gegaan dat alle suikers vrijkomen door de afbraak van zetmeel (1).



Afbeelding 1: Verhouding glucose:fructose zoals gemeten in de schaalproef voor de diverse rassen bij de diverse bewaartemperaturen in vergelijking tot de verondersteld verhouding 1:1.

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

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)). Eén enzym is verantwoordelijk voor de koudeverzoeting (E_{koud}) en één enzym is 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 koudeverzoetingsenzym 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 van de temperatuur afhankelijk. 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)).
Deze ademhaling wordt tijdonafhankelijk verondersteld, met een positieve temperatuurafhankelijkheid. De reacties uit (2), (3) en (4) kunnen we

$$S \xrightarrow{k_{resp}} CO_2 + H_2O \tag{4}$$

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.

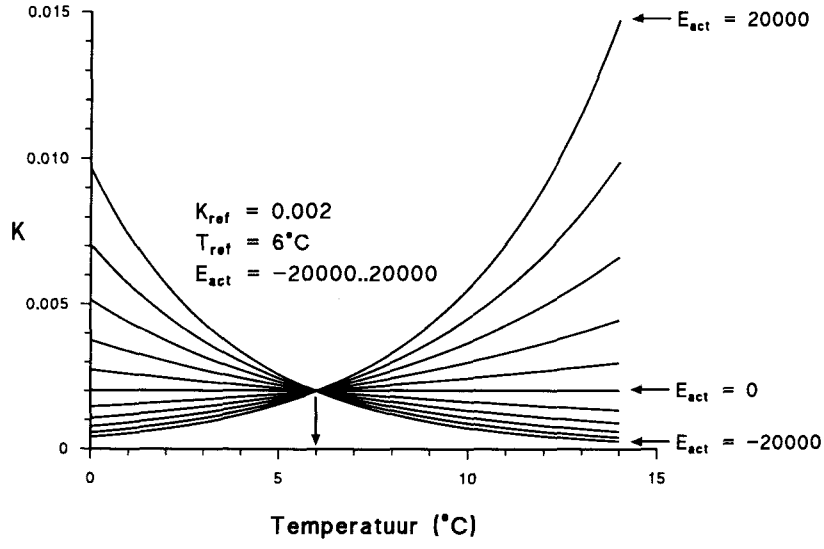
Modelvalidatie

Zoals is aangegeven zijn alle snelheidsconstanten in het model temperatuurafhankelijk volgens Arrhenius. Deze afhankelijkheid wordt beschreven door vergelijking (6).

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

De snelheidsconstante (k) voor een bepaalde temperatuur (T) wordt bepaald door de grootte van de snelheidsconstante bij een bepaalde standaard gekozen referentie-temperatuur (k_{ref} bij een T_{ref}) en de zogenaamde activeringsenergie (E_{act}). De activeringsenergie bepaalt of een snelheidsconstante een positieve of een negatieve temperatuurafhankelijkheid heeft, en hoe sterk dit effect is. In Afbeelding 2 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.

Wanneer we proberen het model te toetsen op de meetgegevens van afgelopen jaren moet voor elk van de snelheidsconstanten 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 waarde van 100 % betekent dat de gegevens exact



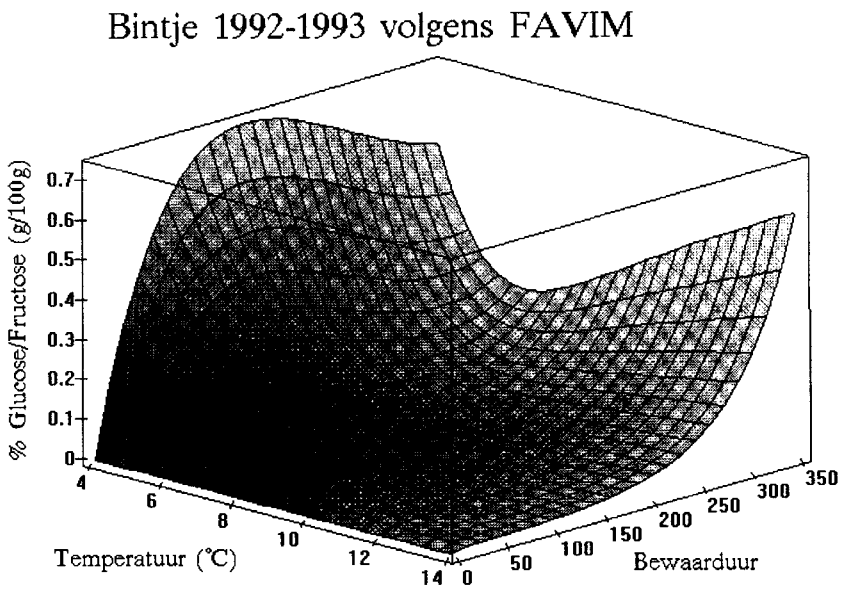
Afbeelding 2 Temperatuurafhankelijkheid van een fictieve snelheidsconstante k (met k_{ref} = 0.002 bij een T_{ref} = 6°C) voor waarden van E_{act} = -20000..20000 volgens Arrhenius.

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



Afbeelding 3 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.

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 Afbeelding 3 het resultaat van FAVIM weergegeven voor Bintje 1992-1993. Het resultaat van de statistische analyse van het model is een set parameters voor de verschillende 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.