

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




**Voortgangsrapportage juni-
december 1998**

**Optimalisatie van de kwaliteit
van aardappelen door de
ontwikkeling van een
voorspellend model voor de
accumulatie van suikers**

M.P. van Hoof
M.L.A.T.M. Hertog
J. Oosterhaven
W. van kleef
H. Sewtahal
P.S. Hak

VERTROUWELIJK

1998-12-184



ato-dlo

2252369



ato-dlo

Voortgangsrapportage juni-december 1998

**Optimalisatie van de kwaliteit van
aardappelen door de ontwikkeling van een
voorspellend model voor de accumulatie
van suikers**

VERTROUWELIJK

**Instituut voor
Agrotechnologisch
Onderzoek (ato-dlo)**

Bornsesteeg 59
Postbus 17
6700 AA
Wageningen
tel. 0317.475000
fax. 0317.475347

M.P. van Hoof
M.L.A.T.M. Hertog
J. Oosterhaven
W. van Kleef
H. Sewtahal
P.S. Hak

Eigendom van ato-dlo. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ato-dlo

Inhoud	pagina
Voorwoord.....	2
1 Inleiding	3
2 Doelstelling	5
3 Bewaarperiode 1997-1998	6
4 Beschrijving van het verzoetingsmodel	10
5 Temperatuurstootproef 1997-1998.....	13
6 Seizoen 1998-1999.....	17
7 Conclusies en perspectieven.....	21
8 Referenties.....	22

Voorwoord

Deze rapportage geeft een overzicht over de lopende onderzoeksactiviteiten, de behaalde resultaten en de perspectieven naar de toekomst. Dit verslag rapporteert de onderzoeksinspanningen van het afgelopen halfjaar (juli 1998 tot december 1998). Waar dit relevant is worden ook oudere onderzoeksresultaten gepresenteerd.

In dit verslag ligt de nadruk op het ontwikkelde verzoetingsmodel. Het model wordt beschreven en de mogelijkheden van het model om de koude- en ouderdoms-verzoeting in aardappelen te beschrijven en te voorspellen worden gepresenteerd. Daarnaast wordt een deel van de bewaargegevens van de lange bewaring van seizoen 1997-1998 gepresenteerd.

Vanaf 1991 loopt er op het ATO-DLO een bewaaronderzoeksprogramma voor de lange bewaring van aardappelen. Van al deze jaren zijn aardappelen van verschillende rassen met verschillende oogsttijdstippen jaarrond bewaard onder uiteenlopende temperaturen of temperatuurregimes. Gedurende de lange bewaring is altijd de bakkleurindex, het gehalte glucose, hexose en sucrose alsmede het gewichtsverlies op gezette tijden bepaald. Al deze gegevens zijn nu samengevoegd in één database om de toegang tot de gegevens eenvoudiger te maken. Ook zijn alle gegevens uit de database van 1991 tot nu toe opnieuw gemodelleerd.

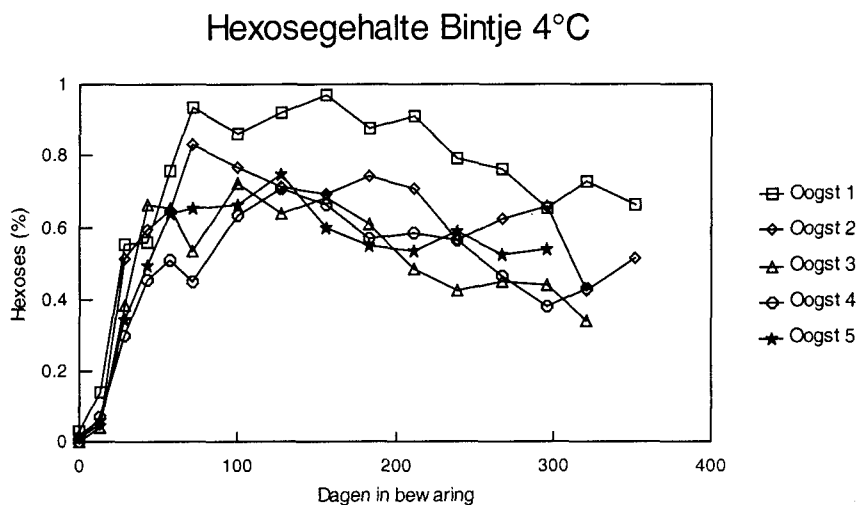
1 Inleiding

Koudeverzoeting

Koudeverzoeting is een verschijnsel dat in verschillende delen van hogere planten kan optreden als gevolg van blootstelling aan lage temperaturen. Ook in aardappelen is het een bekend verschijnsel. Door aardappelen na de oogst te bewaren bij lage temperaturen (lager dan 8°C) ontstaan in de knol, als reactie op de kou, vrije suikers. De bron van deze suikers is zetmeel dat wordt afgebroken tot glucose en fructose. Deze twee suikers, ook wel hexoses of reducerende suikers genoemd, zijn verantwoordelijk voor de ongewenste bruinverkleuring van de aardappel tijdens het bakken. De ontwikkeling van een bruine kleur tijdens het bakken is het gevolg van reacties tussen vrije aminozuren en reducerende suikers (Maillard-reactie). De mate van bruinkleuring hangt af van de in de aardappel aanwezige hoeveelheid hexoses en niet van de hoeveelheid aminozuren. De mechanismen verantwoordelijk voor de koudeverzoeting zijn nog niet verklaard op een moleculair niveau. De productie van suikers als gevolg van kou is zeker niet het gevolg van één enkele factor, maar het gevolg van verschillende op elkaar inwerkende metabole gebeurtenissen.

Rijpheid

Uit ATO -DLO onderzoek van de afgelopen jaren is naar voren gekomen dat er grote verschillen bestaan in koudeverzoeting tijdens de bewaring tussen de verschillende jaren. Er zijn duidelijk aanwijzingen verkregen dat deze verschillen in suikeroophoping tijdens de bewaring bepaald worden door de mate van afrijping van de knollen. Dit is goed te zien in figuur 1. Alle aardappelen komen van hetzelfde perceel. De gevormde hoeveelheid hexoses tijdens de bewaring bij 4°C is afhankelijk van het oogstmoment. Vroeg geoogst materiaal kan tot twee keer zo veel hexoses bevatten dan latere oogsten bij 4°C bewaring.



Figuur 1. Accumulatie van reducerende suikers gedurende de bewaring van Bintje bij 4°C, seizoen '95-'96. Tussen de oogsten zat telkens een periode van 14 dagen.

FAVIM-model

Bij ATO-DLO is een mathematisch model ontwikkeld (FAVIM, Fysiologie Aardappel Verzoeting In Model) dat in staat is de verzoeting van aardappelen tijdens de bewaring te beschrijven. Het model gaat uit van het concept dat de staat van rijpheid op het oogsttijdstip het bewaargedrag van aardappelen bepaald. Deze rijpheid of fysiologische leeftijd van aardappelknollen wordt bepaald door omgevingsfactoren (zoals weer en bemesting) en het oogstmoment. Er is een rijpheidsfactor, En_{cold} , gepostuleerd, die alle factoren betrokken bij de fysiologische rijpheid van de aardappelknol (groeiseizoen, oogstmoment) terugbrengt tot één factor. Als deze seizoens-afhankelijke factor gemeten wordt aan het begin van het bewaarstadium, dan kan de verzoeting en daarmee de bakkleur van de aardappelen bij iedere temperatuur gedurende het hele bewaarstadium voorspeld worden.

2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het vaststellen van een rijpheidsparameter in aardappel, waarmee een voorspellend model voor de suikervorming in aardappelen tijdens de bewaring ontwikkeld kan worden.

Er wordt op drie verschillende niveaus gezocht naar meetbare parameters, waarmee $E_{n_{cold}}$ beschreven kan worden. Er wordt fysiologisch onderzoek verricht, bijvoorbeeld de temperatuurstootproef of de mate van schilzetting meten. Op biochemisch niveau wordt gekeken naar verschillende enzymen betrokken bij het koolhydraatmetabolisme. Ook wordt er moleculair biologisch onderzoek verricht naar moleculaire markers voor rijpheid van de aardappelen.

3 Bewaarseizoen 1997-1998

Opzet oogsttijdenproef

Seizoen 1997-1998 zijn de rassen Bintje en Asterix verbouwd op proefboerderij 'De Eest'. De pootdatum was 10 april 1997 voor beide rassen. Van ieder ras zijn op 7 verschillende tijdstippen gedeelten geoogst. tussen iedere oogst zit telkens een periode van 1 of 2 weken. Twee weken voor het rooien is het loof doodgespoten. Na het rooien is een wondheelperiode (curing) in acht genomen van twee weken bij 14°C (Tabel 1).

Tabel 1. Overzicht data oogsttijdenproef.

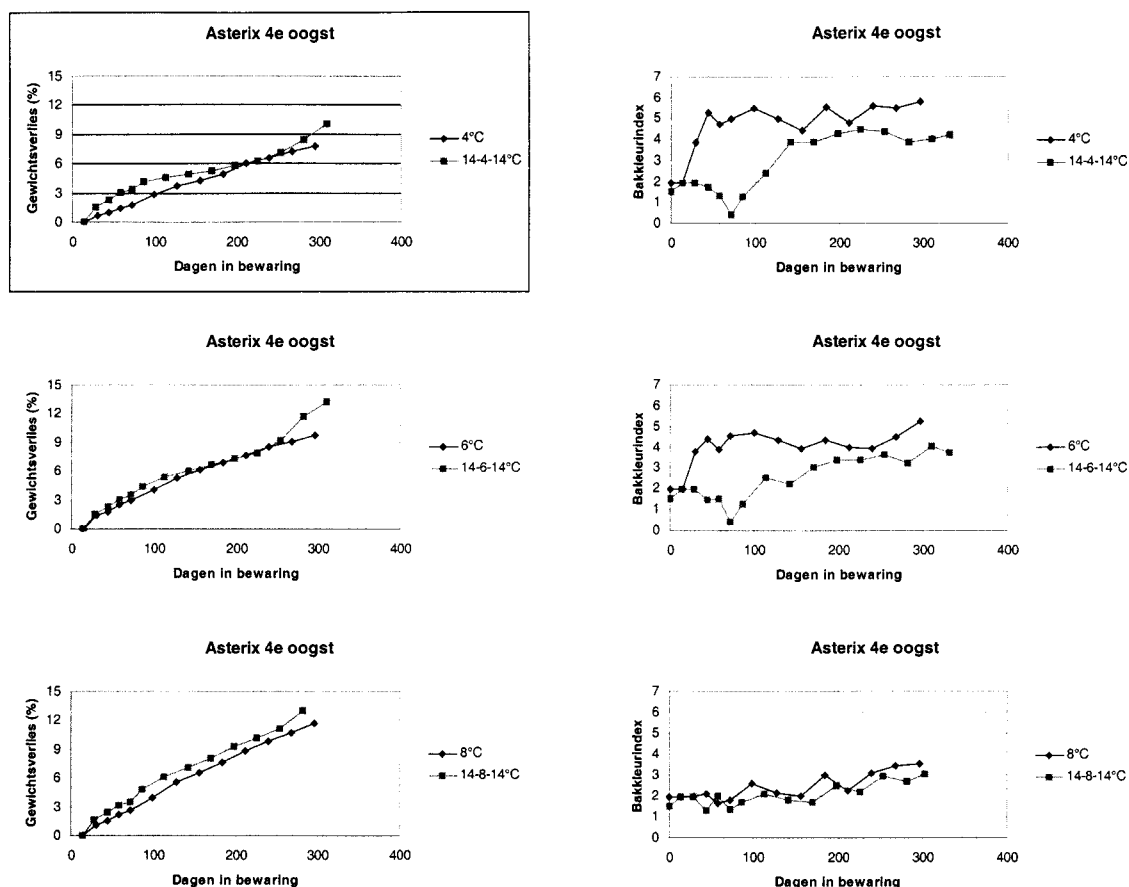
Ras	Oogst	Doodspuiten	Roaien	Einde curing
Bintje	1	28-7-97	11-8-97	26-8-97
	2	11-8-97	25-8-97	9-9-97
	3	25-8-97	8-9-97	23-9-97
	4	1-9-97	15-9-97	30-9-97
	5	8-9-97	22-9-97	7-10-97
	6	22-9-97	6-10-97	21-10-97
	7	6-10-97	20-10-97	4-11-97
Asterix	1	18-8-97	1-9-97	16-9-97
	2	1-9-97	15-9-97	30-9-97
	3	15-9-97	29-9-97	14-10-97
	4	22-9-97	6-10-97	21-10-97
	5	29-9-97	13-10-97	28-10-97
	6	13-10-97	27-10-97	11-11-97
	7	27-10-97	10-11-97	25-11-97

Lange bewaring

Na de wondheelperiode zijn de oogsten jaarrond bewaard bij de constante temperaturen 4, 6, 8 en 14°C en bij de temperatuurregimes 14-4-14, 14-6-14 en 14-8-14°C. Van alle oogsten bij iedere bewaartemperatuur is maandelijks de bakkleurindex bepaald door middel van Computer Beeld Analyse (CBA) apparatuur. Het gehalte aan glucose, fructose en sucrose is gemeten in het laboratorium door middel van een enzymatische bepaling. Ook zijn de gewichtsverliezen bepaald.

Glijdende temperatuurregimes

Met een glijdend temperatuurregime worden de aardappelen na de wondheelperiode langzaam afgekoeld van 14°C tot de gewenste bewaartemperatuur met ongeveer 1°C per week. Gedurende de winter wordt de temperatuur constant gehouden om in het voorjaar weer te beginnen met langzaam opwarmen van de aardappelen. Met deze bewaarmethode worden grote schommelingen in temperatuur voorkomen, terwijl door de geleidelijke afkoeling koudeverzoeting beperkt blijft. In het voorjaar gaat de temperatuur weer omhoog, een soort geleidelijke vorm van reconditioneren. Groot voordeel van de glijdende temperatuurregimes is dat ze met buitenluchtcooling realiseerbaar zijn. Ook geeft een glijdend temperatuurregime gemiddeld een betere bakkleurindex dan een constante bewaartemperatuur.



Figuur 2. Vergelijking van gewichtsverliezen en bakkleurindex van 4e oogst Asterix seizoen 1997-1998 bewaard bij verschillende constante temperaturen en temperatuurregimes.

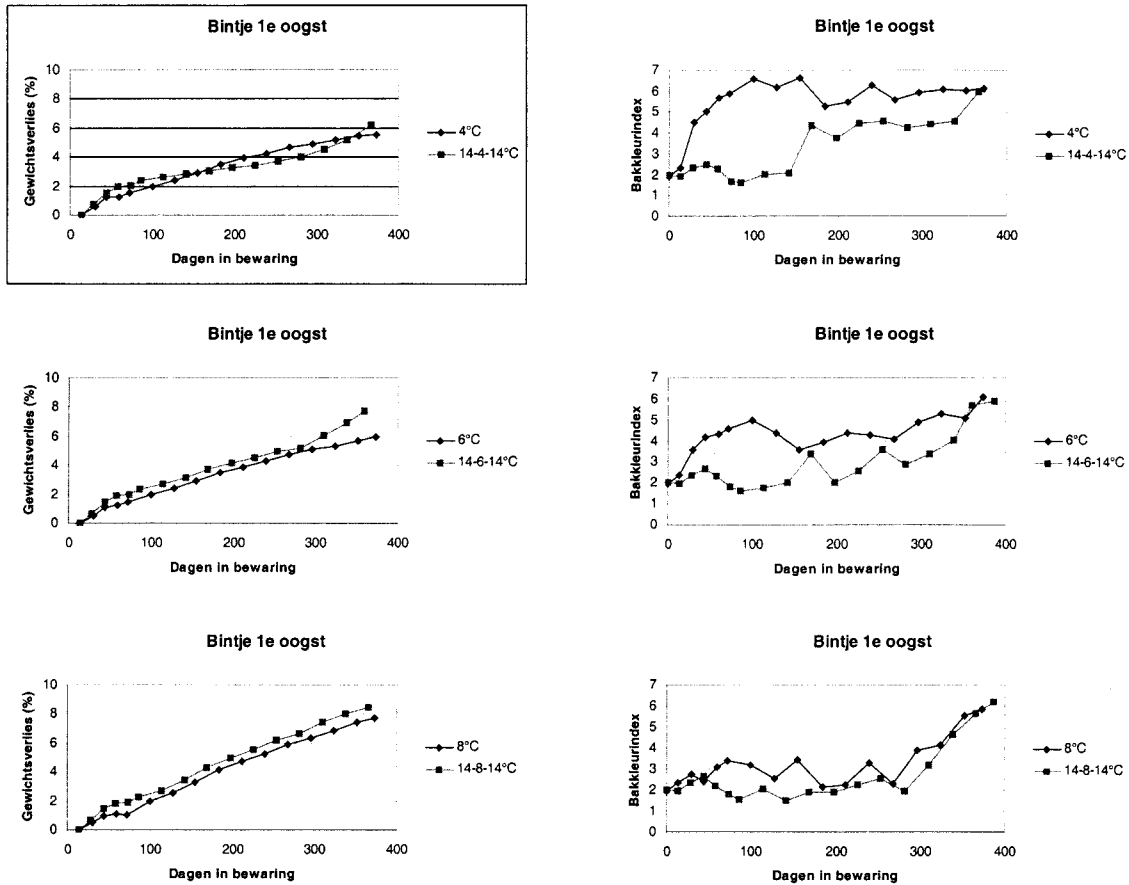
Resutaat

De bakkleuren van de regimes 14-4-14°C en 14-6-14°C van Asterix en Bintje zijn gemiddeld beter dan de constante temperaturen 4°C en 6°C (figuur 2 en 3). Voor 14-8-14°C ten opzichte van 8°C zijn de gevonden verschillen niet zo groot. De verschillen in gewichtsverlies tussen bewaring bij een constante temperatuur ten opzichte van een regime zijn in het algemeen niet zo groot. Alleen aan het einde van de lange bewaring (na 300 bewaardagen) kunnen de verschillen oplopen tot enkele procenten. Met het ras Bintje moet bovendien rekening worden gehouden met ouderdomsverzoeting. Dit verschijnsel treedt vooral op bij hogere bewaartemperaturen (zie figuur 3, Bintje 8°C en 14-8-14°C).

De gewichtsverliezen van het ras Asterix zijn gemiddeld hoger dan van het ras Bintje. Een mogelijke oorzaak hiervan is dat Asterix over het algemeen een spruitlustiger ras is dan Bintje. Door de vorming van (beginnende) spruiten neemt het vochtverlies van de aardappelen toe.

Conclusie

Glijdende temperatuurregimes zijn een goed alternatief voor de bewaring met een constante temperatuur. De bakkleurindex blijft lager, het extra gewichtsverlies blijft beperkt. Bovendien zijn de regimes met buitenluchtcooling realiseerbaar. Met regimes is de meeste winst te halen bij partijen die niet volledig zijn afgerijpt en daarmee gevoelig zijn voor koudeverzoeting. Voor het ras Bintje moet de ouderdomsverzoeting aan het eind van het bewaarseizoen wel in de gaten worden gehouden.



Figuur 3. Vergelijking van gewichtsverliezen en bakkleurindex van 4e oogst Bintje seizoen 1997-1998 bewaard bij verschillende constante temperaturen en temperatuurregimes. De stijging van de bakkleurindex bij 6 en 8°C en de regimes 14-6-14 en 14-8-14°C is het gevolg van ouderdomsverzoeting.

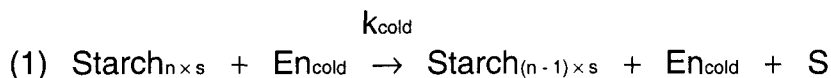
4 Beschrijving van het verzoetingsmodel

Inleiding

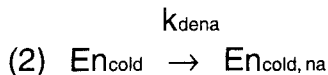
De afgelopen jaren is bij ATO-DLO veel bewaaronderzoek aan aardappelen voor de verwerkende industrie verricht. Hierbij is met name gekeken naar de bakkleurindex, de hoeveelheid geaccumuleerde suikers en de gewichtsverliezen. In verband met het grote belang voor de verwerkende industrie, is een kwaliteitsverloopmodel ontwikkeld dat de accumulatie van reducerende suikers tijdens de bewaring kan beschrijven. Koudeverzoeting en ouderdomsverzoeting en hun temperatuursafhankelijkheid kunnen voor verschillende rassen over de verschillende seizoenen worden verklaard.

Beschrijving van het model

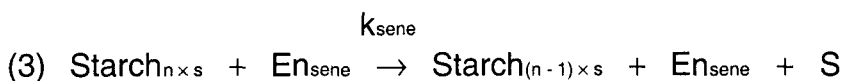
Het verzoetingsmodel dat is ontwikkeld is een simplificatie van het mechanisme dat verantwoordelijk is voor de koudeverzoeting. Een enzymstelsel verantwoordelijk voor de koudeverzoeting (En_{cold}) splitst suikereenheden af van de zetmeelketens. Deze reactie (1) verloopt met een snelheid k_{cold} .



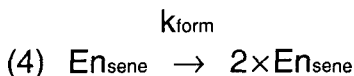
Uit onderzoek is naar voren gekomen dat de mate van koudeverzoeting afhankelijk is van het oogstmoment. Later in het seizoen geoogste aardappelen zijn minder gevoelig voor verzoeting dan vroeg geoogste aardappelen. Dit is in het model ondervangen door het enzymstelsel gevoelig te maken voor veroudering. In de loop van de bewaring wordt het koudeverzoetingsenzym En_{cold} dan ook afgebroken met de snelheid k_{dena} (2).



Equivalent aan de koudeverzoeting vindt ouderdomsverzoeting plaats. Deze wordt verwezenlijkt door een tweede hypothetisch enzymstelsel En_{sene} (3) met een snelheid k_{sene} .

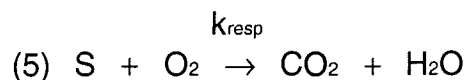


Dit enzymstelsel wordt pas in de loop van de bewaring actief. Er wordt dan ook van uitgegaan dat dit systeem nog moet worden gevormd tijdens de bewaring (4) met een snelheid k_{form} .



En_{sene} neemt exponentieel toe mogelijk als gevolg van membraandesintegratie. Hierdoor kan de substraat-enzym interactie toenemen, resulterend in een netto toegenomen enzymactiviteit.

De geaccumuleerde suikers kunnen tenslotte nog via de ademhaling worden verwijderd met een snelheid k_{resp} (5)



Elk van de hierboven beschreven reacties is temperatuurafhankelijk. Op grond van de geschetste reaktiemechanismen is een stelsel differentiaalvergelijkingen opgesteld die beschrijft hoe het niveau aan enzymen (En_{cold} en En_{sene}) en suikers (S) verandert als functie van tijd en temperatuur (6). Dit is de kern van het hele verzoetingsmodel.

$$(6) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dEn_{cold}}{dt} = -k_{dena} \times En_{cold} \\ \frac{dEn_{sene}}{dt} = k_{form} \times En_{sene} \\ \frac{dS}{dt} = k_{cold} \times En_{cold} \times Starch + k_{sene} \times En_{sene} \times Starch - k_{resp} \times S \times O_2 \end{array} \right.$$

Deze formulering is gebruikt om de bewaring bij constante temperaturen te beschrijven.

Om de verschillen tussen seizoenen te verklaren is gesteld dat tijdens de normale ontwikkeling van de aardappels op het veld, de hoeveelheid van bepaalde bij het suikermetabolisme betrokken enzymen afneemt. Analoog hieraan is gesteld dat later geoogst product minder enzym (En_{cold}) bevat.

Resultaat

Van alle verschillende partijen en oogsten van seizoen 1991/1992 tot en met 1997/1998 zijn de En_{cold} -waarden opnieuw bepaald. Per ras is in tabel 2 aangegeven over hoeveel partijen/ oogsten de En_{cold} waarden bepaald is en wat de bijbehorende variantie is.

Tabel 2. Modelleren van alle En_{cold} waarden en bijbehorende variantie over in totaal 79 verschillende partijen/oogsten van seizoen 1991-1992 tot en met 1997-1998.

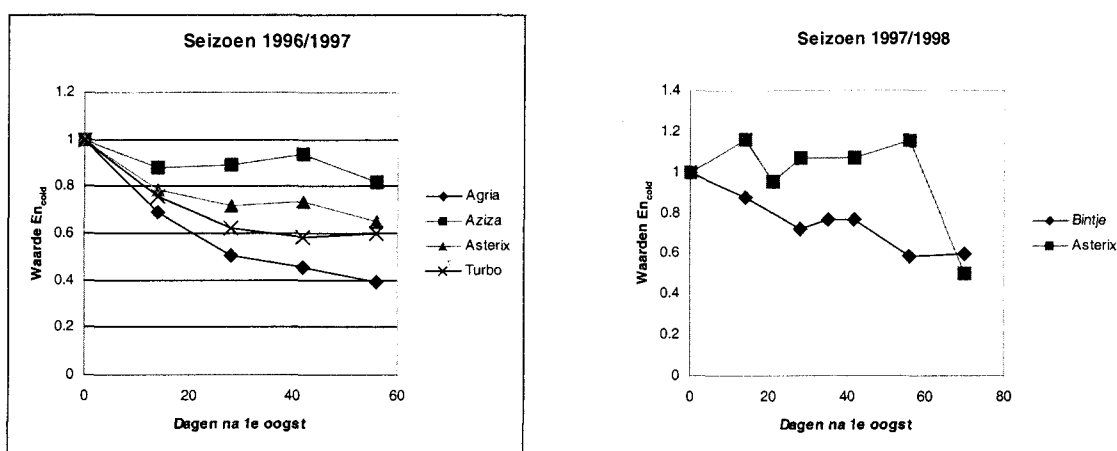
Ras	Aantal partijen/oogsten	Percentage variantie
Agria	12	89.9
Bintje	35	88.2
Van Gogh	1	95.9
Saturna	1	94.6
Aziza	6	87.3
Turbo	6	83.4
Asterix	18	84.6

Met een variantie percentage tussen 83 en 95% (tabel 2) is het mogelijk om seizoens-verschillen op deze manier terug te voeren op initiële verschillen in En_{cold} . Alle andere model parameters zijn voor de opeenvolgende seizoenen gelijk gehouden. De factor En_{cold} kan dus de waargenomen verschillen tussen partijen verklaren ervan uitgaande dat deze verschillen gerelateerd zijn aan een verschil in rijpheid. Hierbij maakt het niet uit of de verschillen in

fysiologische rijpheid ontstaan zijn door omgevingsfactoren tijdens de teelt (o.a. weer en bemesting) of door het oogsttijdstip.

En_{cold} bepaling na bewaring

Na een bewaarseizoen van een partij aardappelen bewaard bij verschillende temperaturen, kan aan de hand van de gerealiseerde hexosegehalten, de bijbehorende En_{cold} waarde van die partij bepaald worden. Hiervoor worden in het model alle parameters vastgezet en alle variatie wordt opgevangen door de waarde van En_{cold} . De waarde van En_{cold} wordt bepaald door factoren als oogstmoment en rijpheid van de aardappelen alsmede seizoensinvloeden. Figuur 4 laat het verloop zien van de En_{cold} waarde van verschillende oogsten. Duidelijk is te zien dat over het algemeen En_{cold} afneemt naarmate later wordt geoogst. Een afname van En_{cold} duidt op een meer afgerijpt gewas.



Figuur 4. Gerealiseerde En_{cold} waarden van twee verschillende seizoenen. De En_{cold} waarden zijn genormaliseerd naar oogst 1 ($En_{cold} = 1,00$).

Voorspellingen

Er wordt verondersteld dat de staat van de aardappel op het moment van oogst het bewaargedrag van die aardappel tijdens de bewaring bepaald door een initieel enzym of enzymstelsel. Deze parameter is En_{cold} en is afhankelijk van de staat van rijpheid van de aardappels. Als het mogelijk wordt om En_{cold} te schatten voor het bewaarseizoen als biochemische of fysiologische parameter, dan kan op grond van een geschatte waarde van En_{cold} een voorspelling worden gedaan over het bewaargedrag van verschillende partijen voor een willekeurige bewaartemperatuur.

En_{cold} voorspelling aan de hand van de temperatuurstoetproef

Doel van de temperatuurstoetproef is een snelle accumulatie van hexose te realiseren. Voor dit experiment worden de aardappelen na de oogst direct (dus zonder wondheelperiode) bewaard bij 2°C. De suikergehalten in de aardappel worden wekelijks bepaald gedurende een aantal weken. De gedachte hierachter is dat de mate van stijging van de hexoses maatgevend is voor de staat (rijpheid) van de aardappel. Naarmate een aardappel onrijper is zal de hexoseophoping sneller verlopen. Aan de hand van de stijging van het hexosegehalte gedurende deze periode, kan een schatting gemaakt worden van de parameter En_{cold} . Met een bekende En_{cold} wordt het verzoetingsmodel voorspellend voor die partij aardappelen en kan het bewaargedrag in termen van hexoseophoping voor iedere bewaartemperatuur berekend worden (zie Hoofdstuk 5).

En_{cold} voorspelling aan de hand van biochemische en moleculair biologische analyses

Er is van een aantal enzymen betrokken bij het koolhydraatmetabolisme onderzocht of ze mogelijk kunnen dienen als rijpheidsindicator. Van één enzym, sucrose synthase, is inmiddels uit onderzoek gebleken dat de activiteit afhankelijk is van de fysiologische leeftijd van de knol. Een probleem is dat sucrose synthase activiteit alleen in knollen te meten is die nog aan de groene plant zitten. Het zou dus potentieel gebruikt kunnen worden als indicator om het juiste oogsttijdstip te bepalen.

Een andere wijze om potentiële parameters voor rijpheid te vinden is het gebruik van moleculair biologische technieken. De fysiologische rijpheid van de aardappelknollen reflecteert zich in het genexpressie patroon op RNA niveau. Met recent ontwikkelde technieken is het mogelijk vingerafdrukken te maken van de tot expressie komende RNA's. Door vergelijking van deze vingerafdrukken van aardappelen met verschillende oogstdata, is het mogelijk die RNA's te vinden die de staat van rijpheid van de aardappelknol karakteriseren en daarmee En_{cold} kunnen voorspellen.

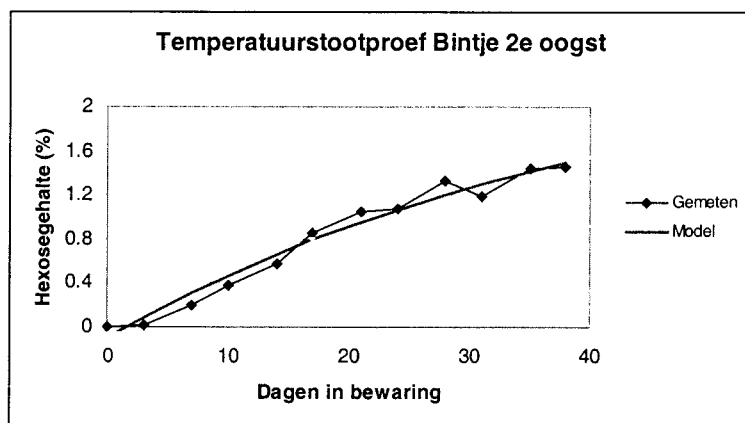
Naar de mogelijkheden van het bepalen van een meetbare parameter waarmee de rijpheid kan worden beschreven via biochemische en/of moleculair biologische methoden is het onderzoek nog in volle gang en zal nader worden toegelicht in een volgende rapportage.

5 Temperatuurstootproef 1997-1998

Stootproef en En_{cold}

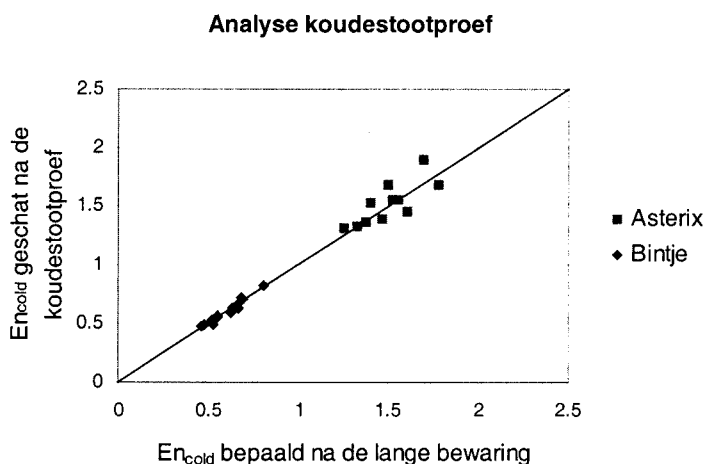
Er is een schatting gemaakt van En_{cold} aan de hand van de resultaten van de temperatuurstootproef van seizoen 1997-1998. Deze waarden worden nu vergeleken met de gerealiseerde En_{cold} waarden zoals die komen uit het resultaat van de lange jaarronde bewaring bij verschillende temperaturen. Hiermee kan worden aangegeven of de stootproef een voorspellende waarde heeft op de mate van koudeverzoeting tijdens de bewaring.

Resultaat



Figuur 5. Voorbeeld van de gemeten hexoseophoping van de temperatuurstootproef en de schatting gebruikt voor de bepaling van En_{cold} .

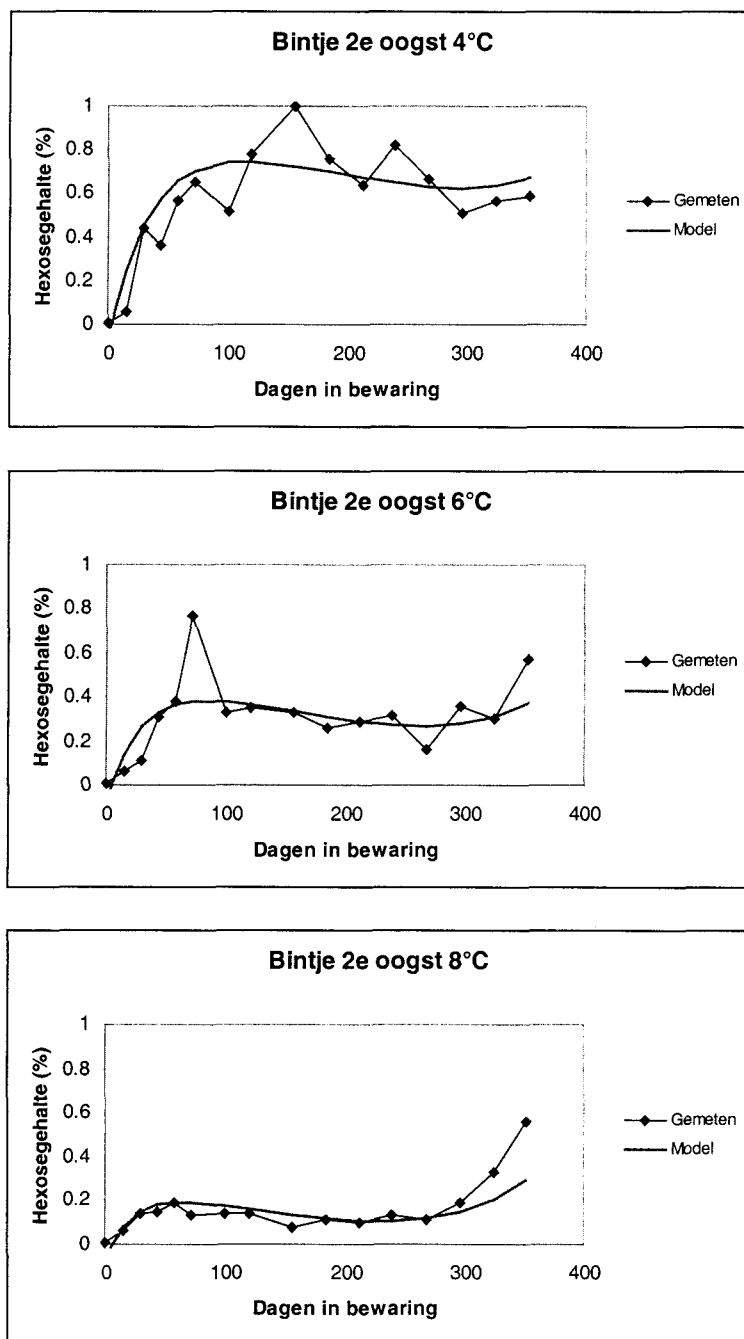
Figuur 5 laat een voorbeeld zien van de gemeten hexosegehalten van de temperatuurstootproef en de gefitte waarden waaruit En_{cold} geschat kan worden. Deze schatting van En_{cold} aan de hand van de stootproef is gedaan voor alle oogsten Bintje en Asterix van de oogsttijdenproef. Aan het einde van het bewaar seizoen zijn ook de En_{cold} waarden bepaald met de bewaar gegevens. Vergelijking van beide En_{cold} waarden staan in figuur 6.



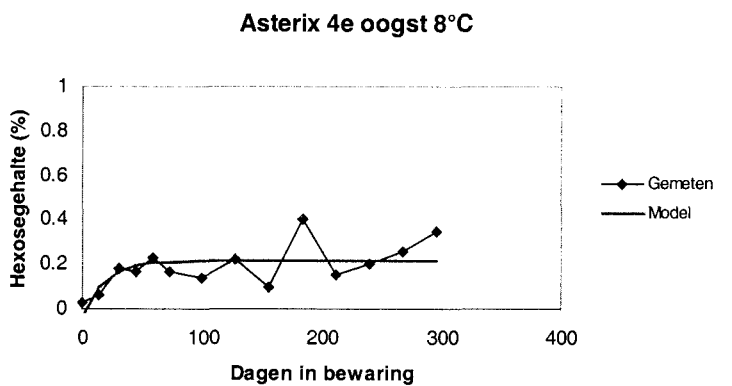
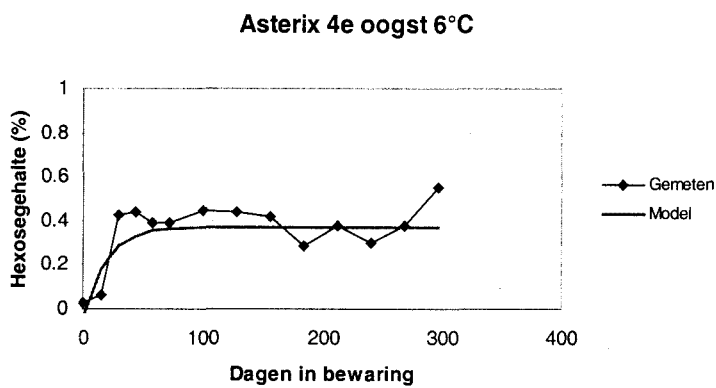
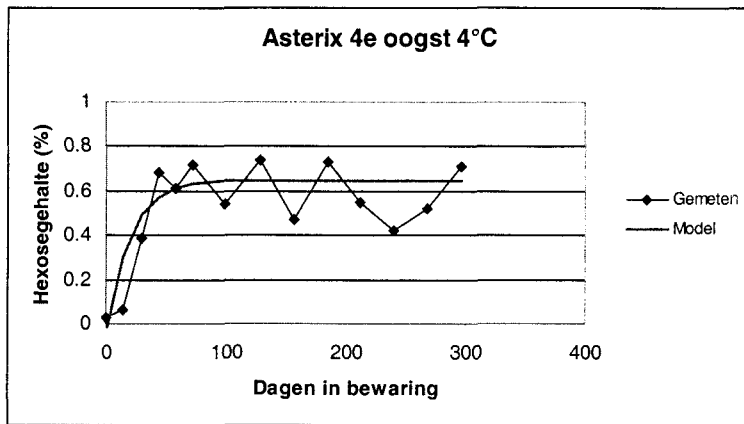
Figuur 6. Vergelijking van de geschatte En_{cold} uit de koudestootproef en de En_{cold} bepaald uit de bewaar gegevens na een bewaar seizoen. Gebruikte En_{cold} gegevens van 7 oogsten Bintje + 5 praktijkpartijen en 6 oogsten Asterix + 5 praktijkpartijen.

De schattingen van En_{cold} voor het ras Bintje zijn beter dan die voor het ras Asterix. Dit kan mogelijk komen omdat voor Bintje de modelparameters al beter gedefinieerd zijn door meer data (tabel 2, Hoofdstuk 4).

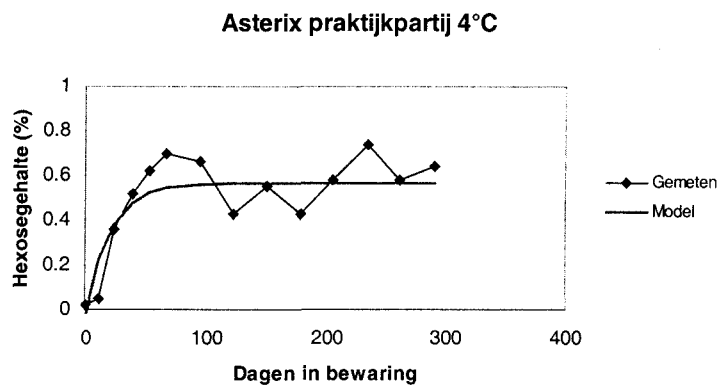
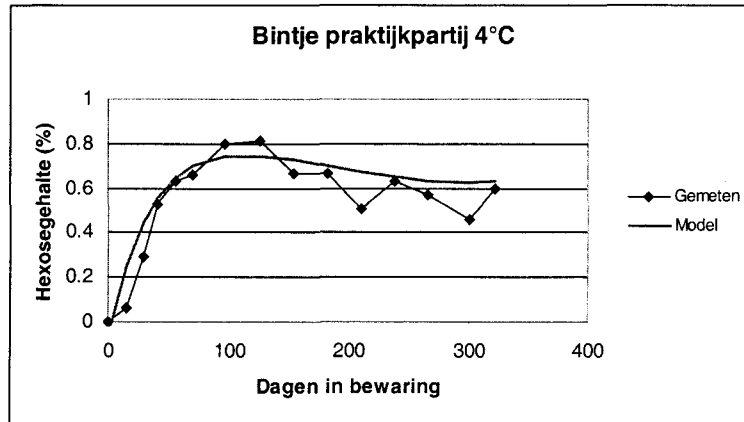
Met de uit de koudestootproef geschatte En_{cold} waarden, is een voorspelling gemaakt van het hexoseverloop gedurende de lange bewaring van de verschillende oogsten. Een voorbeeld van deze voorspelling staat in de figuren 7, 8 en 9. Deze voorspelling kan voor iedere oogst en voor iedere bewaar temperatuur gemaakt worden, zolang En_{cold} uit de koudestootproef is bepaald.



Figuur 7. Voorbeeld van de gemeten hexosegehalten gedurende de lange bewaring ten opzichte van de voorspelling aan de hand van En_{cold} uit de temperatuurstootproef van Bintje 1e oogst.



Figuur 8. Voorbeeld van de gemeten hexosegehalten gedurende de lange bewaring ten opzichte van de voorspelling aan de hand van En_{cold} uit de temperatuurstootproef van Asterix 4e oogst.



Figuur 9. Voorbeeld van de gemeten hexosegehalten gedurende de lange bewaring ten opzichte van de voorspelling aan de hand van En_{cold} uit de temperatuurstootproef van twee praktijkpartijen bewaard bij 4°C.

Conclusie

De vergelijking van de geschatte En_{cold} waarden met gerealiseerde En_{cold} waarden bepaald aan het einde van het bewaar seizoen (figuur 6) toont aan dat met de temperatuurstootproef het mogelijk is om En_{cold} in een vroegtijdig stadium van de lange bewaring te bepalen. Deze geschatte En_{cold} waarden kunnen gebruikt worden om het model voorspellend te maken. Met de geschatte En_{cold} waarden en het model kan de verzoeting op partijniveau voorspeld worden voor verschillende rassen bij verschillende bewaartemperaturen (figuren 7, 8 en 9).

6 Seizoen 1998-1999

Opzet oogsttijdenproef

Dit seizoen zijn 9 verschillende rassen meegenomen in het bewaaronderzoek. Drie rassen zijn eerder betrokken geweest in bewaaronderzoek, zodat er vergelijkingen gemaakt kunnen worden met voorgaande jaren. Ook kan van deze rassen met het model een schatting van En_{cold} gemaakt worden aan de hand van de resultaten van de temperatuurstootproef. Dit seizoen zijn er ook 6 nieuwe rassen meegenomen in het onderzoek. Het betreft hier rassen, waarvan verwacht wordt dat ze belangrijk kunnen worden als fritesgeschikte aardappelen. Van deze rassen kan aan de hand van de temperatuurstootproef en de lange bewaring bij verschillende temperaturen tot nu toe een uitspraak gedaan worden over het bewaargedrag.

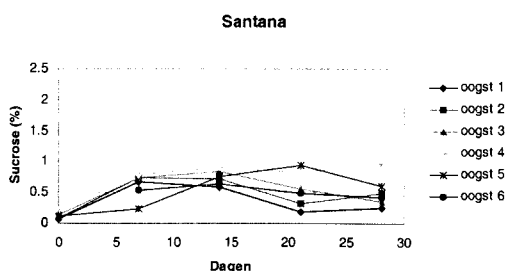
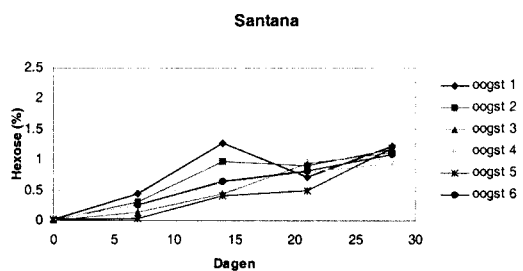
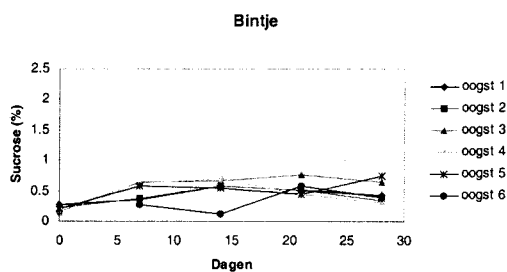
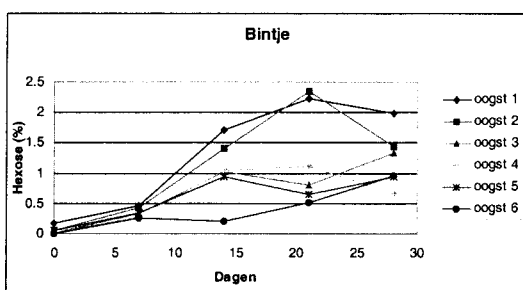
Bewaarprogramma

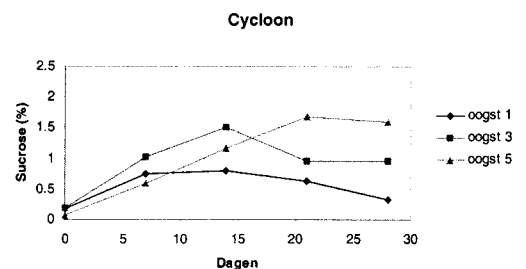
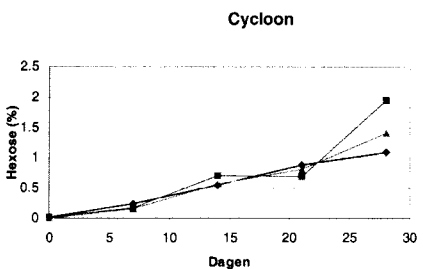
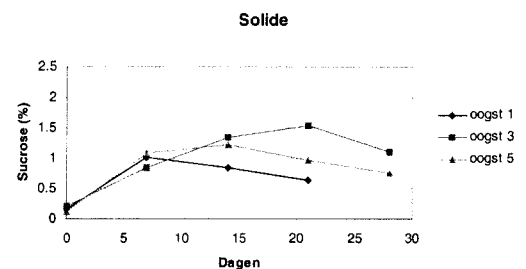
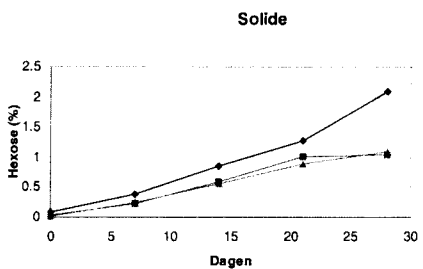
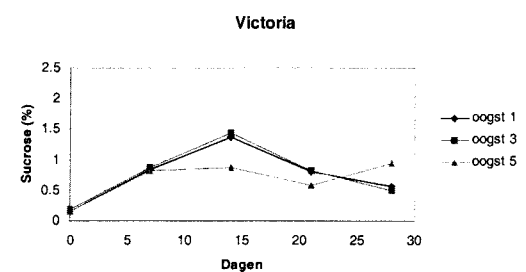
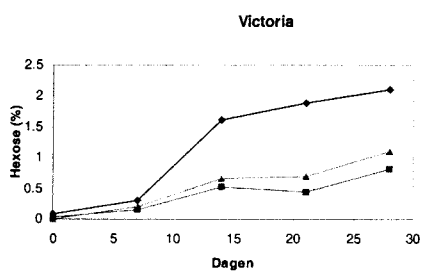
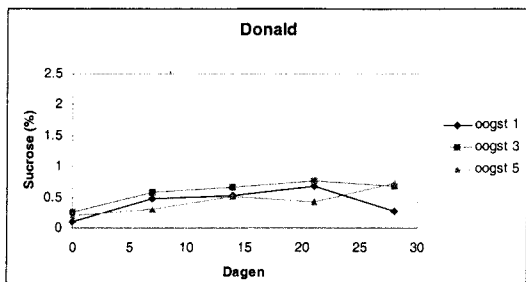
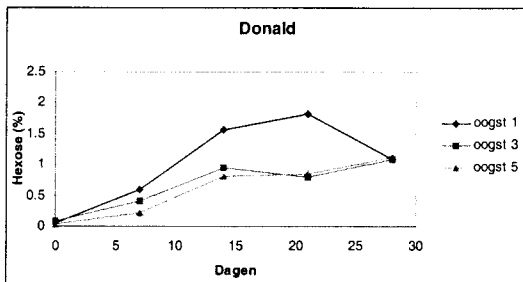
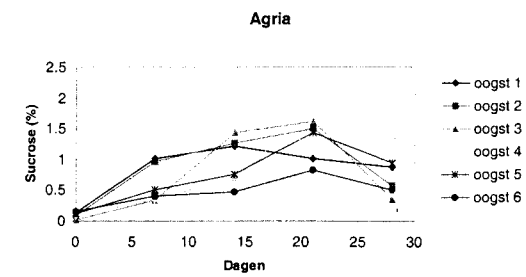
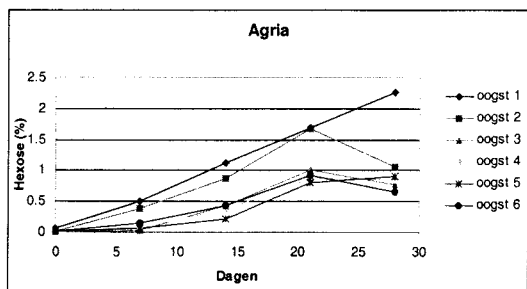
Van drie rassen wordt een uitgebreid bewaarprogramma gevolgd. Dit zijn de rassen Bintje, Santana en Agria. Deze rassen zouden op 7 verschillende tijdstippen worden geoogst. Door de weersomstandigheden is het bij 6 oogsttijdstippen gebleven. Van de andere rassen (Donald, Victoria, Solide, Cycloon, Remarka en Asterix) is op 3 tijdstippen materiaal geoogst. De nummering van de oogsten loopt echter parallel aan het uitgebreide bewaar- en oogstprogramma. De aardappelen worden jaarrond bewaard bij de constante temperaturen 4, 6 en 8°C en bij de regimes 14-4-14 en 14-6-14°C. Gedurende de bewaring wordt eens per maand de bakkleurindex en de suikergehaltes bepaald.

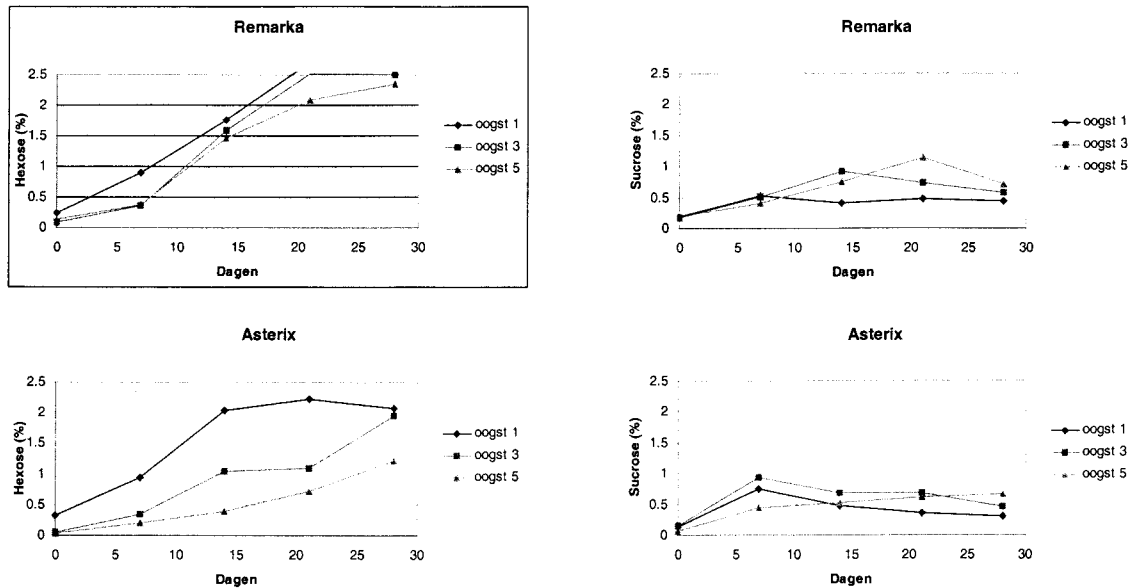
Temperatuurstootproef

Van iedere oogst aardappelen wordt direct na de oogst een gedeelte bewaard bij 2°C gedurende 4 weken. Iedere week wordt het hexose en sucrosegehalte van de aardappelen gemeten. De resultaten van deze koudestootproef worden gebruikt om een schatting te maken van En_{cold} . Met een waarde van En_{cold} kan het bewaargedrag in termen van hexoseaccumulatie gedurende de lange bewaring beschreven worden.

Resultaten temperatuurstootproef.







Figuur 10. Resultaten koudstootproef seizoen 1998-1999.

Bintje

De eerste twee oogsten Bintje zijn hoog, hoe later het materiaal geoogst wordt, hoe minder hexoseaccumulatie er optreedt. De sucrosegehalten van Bintje zijn laag en er zijn geen duidelijk aanwijsbare verschillen tussen de oogsten.

Santana

De hexosegehalten van Santana liggen voor de verschillende oogsten dicht bij elkaar. Ook zijn de hexosegehalten niet erg hoog. Dit kan duiden op een ras, dat niet erg gevoelig is voor koudeverzoeting en dat de rijpheid van de knollen een geringe invloed heeft op het bewaargedrag.

Agria

Bij Agria zien we net als bij Bintje dat de eerste twee oogsten behoorlijk suiker accumuleren. De latere oogsten komen niet verder dan 1% hexose na een maand bij 2°C. Wel zijn de sucrosegehalten van Agria hoger dan die van Bintje of Santana. Dit is voorgaande jaren ook al geconstateerd.

Donald

De eerste oogst van Donald ligt hoger dan de derde en vijfde oogst. Sucrosegehalten zijn laag.

Victoria

Ook bij Victoria hetzelfde beeld als bij Donald. Lage hexosegehalten bij oogst 3 en 5. Sucrosegehalten iets hoger.

Solide

Ook voor Solide geeft de eerste oogst een hogere hexoseaccumulatie dan de latere oogsten. Sucrosegehalten zijn aan de hoge kant en vergelijkbaar met Agria.

Cycloon

Cycloon laat weinig verschillen zijn in hexoseaccumulatie tussen de verschillende oogsttijdstippen. De absolute waarden voor het hexosegehalte zijn aan de lage kant, alleen het laatste meetpunt, na 28 dagen, geeft een afwijkend beeld. De sucrosegehalten zijn hoog en vergelijkbaar met Agria en Solide.

Remarka

Remarka laat, ongeacht het oogsttijdstip, erg hoge waarden zien in hexoseophoping. De eerste oogst is het hoogst en komt na 28 dagen bij 2°C tot bijna 3% hexose! De sucrosegehalten geven een normaal beeld te zien.

Asterix

Asterix laat een hoge hexoseophoping zien voor oogst 1. Voor latere oogsten is de hexoseophoping minder drastisch. Daarmee lijkt Asterix voor de mate van koudeverzoeting een gevoelig ras voor de rijpheid van de aardappelen. De sucrosegehalten zijn laag.

Conclusies

Afgaande op de resultaten van de temperatuurstootproef en de eerste resultaten van de lange bewaring tot nu toe kunnen enkele conclusies worden getrokken. Van de 6 nieuwe rassen is nog geen vergelijkingsmateriaal van voorgaande jaren beschikbaar.

Meest opvallend is de hoge hexoseophoping bij de koudestootproef van het ras Remarka. Het lijkt erop dat de bewaarbaarheid van Remarka sterk achterblijft bij de andere rassen. De gegevens van de lange bewaring tot nu toe onderschrijven dit beeld. De overige 5 nieuwe rassen laten normale verzoetingspatronen zien. De hexoseophoping van Cycloon, Victoria, Donald, Solide en Santana loopt tot $\pm 1\%$ hexose na 28 dagen bij 2°C voor de 3e en 5e oogst. De eerste oogst ligt gemiddeld iets hoger.

De sucroseophoping van de rassen Cycloon en Solide zijn vergelijkbaar met die van Agria en in het algemeen hoger dan de andere rassen. Het sucrosegehalte heeft geen nadelig effect op de bakkleurindex.

7 Conclusies en perspectieven

Glijdende temperatuurregimes

Uit het onderzoek van de laatste jaren komt duidelijk naar voren dat de bewaarbaarheid, in termen van suikeroophoping, bepaald wordt door de mate van afrijping van de knollen. Met glijdende temperatuurregimes kan een betere bakkleur worden gehandhaafd. Met name bij partijen die niet volledig zijn afgerijpt en daardoor gevoeliger zijn voor koudeverzoeting, komt dit duidelijk naar voren. Glijdende regimes zijn in goed geïsoleerde bewaarplaatsen met buitenluchtkoeling realiseerbaar en leiden tot ca. eind juni nauwelijks tot hogere gewichtsverliezen ten opzichte van bewaring met constante bewaartemperaturen.

Modellering.

Alle gegevens van 1991 tot 1998 zijn opnieuw gemodelleerd. Er is daarbij opnieuw voor iedere partij/oogst de $E_{n_{cold}}$ waarde bepaald. De variantie over alle partijen van een ras over alle jaren ligt tussen 83 en 95%. Dit geeft aan dat met een algemeen geldend model gebaseerd op fysiologische principes voor individuele partijen het bewaargedrag van aardappelen tijdens de lange bewaring beschreven kan worden.

Uit fysiologisch onderzoek (temperatuurstootproef) is inmiddels gebleken dat hiermee een meetbare parameter kan worden verkregen om het verzoetingsmodel voorspelbaar te maken. Met de uit de temperatuurstootproef geschatte $E_{n_{cold}}$ waarden kan het bewaargedrag van de aardappelen op partijniveau tijdens de lange bewaring voor iedere temperatuur goed voorspeld worden.

Perspectieven.

Naar de mogelijkheden voor het bepalen van een meetbare parameter waarmee de rijpheid kan worden beschreven via biochemische en moleculair biologische methoden is het onderzoek nog in volle gang en worden duidelijk vorderingen gemaakt.

Eerder onderzoek heeft al opgeleverd dat het enzym sucrose synthase een oogstafhankelijke activiteit heeft. Nadeel is dat de enzymactiviteit van sucrose synthase alleen gemeten kan worden aan knollen die nog aan de groene plant vastzitten, dus voor het moment van doodspuiten van het loof. Sucrose synthase is daarmee meer een voorspeller van het optimale oogstmoment (of beter doodspuitmoment) dan geschikte voorspeller van het bewaargedrag.

Er wordt verder gezocht door middel van moleculair biologische analyses naar meetbare rijpheid-parameters op, in eerste instantie, RNA niveau. De voorspellende waarde van de temperatuurstootproef is een goede aanwijzing dat de staat van de knol op partijniveau inderdaad alle informatie bevat om het verzoetingsgedrag later in de bewaring te verklaren en te voorspellen.

Bij de huidige stand van het onderzoek tekent zich steeds duidelijker af dat de doelstelling en de perspectieven van het onderzoek gerealiseerd zullen worden; een voorspellend model waarmee de bewaarbaarheid, in termen van suikeroophoping, per partij kan worden voorspeld. Hierdoor wordt een betere beheersing van de verwerkingskwaliteit, op het niveau van bewaring en logistiek, mogelijk.

8 Referenties

1. Bergmeyer (1984) Methods of enzymatic analysis. Third edition, volume 4.
2. Hertog, M.L.A.T.M., B. Putz, L.M.M. Tijskens (1997) The effect of harvest time on the accumulation of reducing sugars during storage of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers: Experimental data described, using a physiological based, mathematical model. Potato Research **40**:69-78
3. Hertog, M.L.A.T.M., L.M.M. Tijskens, P.S. Hak (1997) The effects of temperature and senescence on the accumulation of reducing sugars during storage of potato (*Solanum Tuberosum* L.) tubers: A mathematical model. Postharvest Biology and Technology **10**:67-79
4. Methods of biochemical analysis and food analysis using test combinations (1987) Boehringer Mannheim GmbH, Biochemica
5. Viola, R., H.V. Davies (1992) A microplate reader assay for rapid enzymatic quantification of sugars in potato tubers. Potato Research **35**:55-58