

Variatie in knolkwaliteit tussen en binnen partijen van consumptieaardappelrassen

Arjan Veerman

Promotor: Prof. dr. ir. P.C. Struik
hoogleraar gewasfysiologie

Promotiecommissie: Dr. ir. A.J. Haverkort (Plant Research International)

Prof. dr. Ir. E. Jacobsen (Wageningen Universiteit)

Prof. dr. O. van Kooten (Wageningen Universiteit)

Prof. dr. L.H.W. van der Plas (Wageningen Universiteit)

Prof. dr. C.P. Veerman (Katholieke Universiteit Brabant)

Arjan Veerman

**Variatie in knolkwaliteit tussen en binnen partijen van
consumptieaardappelrassen**

Proefschrift

ter verkrijging van de graad van doctor
op gezag van de rector magnificus
van Wageningen Universiteit,
Prof. dr. ir. L. Speelman,
in het openbaar te verdedigen
op dinsdag 16 oktober 2001
des namiddags om 16.00 uur in de Aula

CIP-DATA KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Veerman, A., 2001

Variatie in knolkwaliteit tussen en binnen partijen van consumptieaardappelrassen.
PhD Thesis Wageningen University, Wageningen, The Netherlands
- With references - With summary in English

ISBN: 90-5808-482-5

Subject headings: Potato cultivars / tuber quality characteristics /
 variation between lots / variation within lots

Typeset: 10 pt Arial
Printed by: Ponsen en Looijen BV, Wageningen

The research described in this thesis (1988-1994) was conducted at Applied Plant Research of the Wageningen University and Research Centre, Lelystad, The Netherlands.



**PRAKTIJKONDERZOEK
PLANT & OMGEVING**

Voor Herman †

Voor mijn ouders

Voor Jannet en Thessa

STELLINGEN

1. In een zak aardappelen is de variatie in kwaliteit enorm.
- Dit proefschrift
2. Telers kunnen de kwaliteit van consumptieaardappelen nauwelijks sturen door bemesting.
- Dit proefschrift
3. In Nederland is het gewas aardappelen op kleigrond niet erg gevoelig voor chloorschade.
- Dit proefschrift
4. De vergoeding voor het kwekersrecht van aardappelen moet aanzienlijk omhoog.
5. Het aanpassingsvermogen van aardappelen wordt vaak verward met stressgevoeligheid.
6. De maatschappelijke kritiek die aanleiding was tot de vorming van Wageningen Universiteits- en Research Centrum, zal zich in de toekomst herhalen.
7. De hoge kosten voor de preventie van BSE tonen aan dat de overheid in haar marktgerichte denken nog grote moeite heeft emotionele overwegingen hun juiste plaats te geven.
8. De overheid kan het rendement van door haar gefinancierde onderzoeksinstituten vaak sterk verhogen door de resultaten van hun onderzoek ter harte te nemen.
9. Onwetenschap escaleert.

Stellingen behorende bij het proefschrift

“Variatie in knolkwaliteit tussen en binnen partijen van consumptieaardappelrassen”

Arjan Veerman, 16 oktober 2001

Abstract

Veerman, A., 2001, Variation of tuber quality between and within lots of ware potato cultivars, in Dutch, PhD Thesis, Wageningen University, The Netherlands, 253 pp.

For potato tubers destined for French fry production, dry matter and nitrate contents, black spot susceptibility and after cooking blackening as well as fry colour after storage are important quality characteristics. The possibilities to manipulate these characteristics and tuber yield with nitrogen fertiliser level and an additional spring application of potassium ($300 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$, as sulphate or chloride) were investigated in a number of cultivars, on various locations and in several years. The choice of cultivar proved to have much more relevant impact on characteristics than the ranges of nitrogen and potassium fertilisation.

It was analysed to what extent variance of quality characteristics was accounted for by the different experimental factors. Depending on characteristic, about 10 to 40 % was accounted for by cultivar. Nitrogen and potassium fertiliser contributed only 0 to 10 %. The major part of variance was caused by environmental influences related to the factors location, year and their interactions with the other experimental factors.

For tuber dry matter and nitrate contents and for black spot susceptibility also variance within lots was investigated. The greater part of the variance was found within rather than between experimental plots. In two experiments for tuber dry matter and nitrate contents variance was analysed down to the level of individual plants, individual stems and individual tubers. Differences between tubers originating from the same stems accounted for 80 to 90 % of total variance found within potato lots.

Since nitrogen reduces some quality characteristics its effect on yield was also analysed in order to gain insight into the need for increased financial return by a higher price for increased tuber quality to compensate the grower for lower yield at lower nitrogen levels. The required absolute price increase is rather small, however it is questionable whether buyers are willing to pay the rise since quality benefits of lower nitrogen dressings were also quite small.

High potassium levels have positive effects on fry colour, after cooking blackening and black spot susceptibility; the latter was especially reduced when applying potassium in the chloride form. Based on presented yield data and on analysis of historical data it is postulated that in present Dutch practice ware potato growers are too reluctant to use potassium chloride on clay soils in spring in fear of yield depression, caused by high salinity levels.

Tuber sucrose, dry matter and nitrate contents as well as ground cover by the crop canopy were determined before and at harvest time and linked to fry colour index after storage, for two cultivars at two locations in three years. None of the parameters at any time of determination correlated well enough with fry colour after storage to allow a prediction of the latter before or at the time of harvest. In many – but not all – cases the fry colour index was increased by increased nitrogen dressing. Effects of nitrogen on fry colour and effects on pre-harvest determined parameters also did not correlate well enough to allow a prediction of the effect of nitrogen on fry colour.

Analysis of the manageable factors (cultivar, nitrogen, potassium and chloride level) and the unmanageable factors (location and year) showed that of the manageable factors cultivar accounted for most of the variation in quality characteristics between lots. Nitrogen, potassium and chloride fertilisation accounted for only small portions of the variation between lots. The major portion of the variation between lots was accounted for by location and year and their interactions with the controllable factors. Apart from choice of cultivar growers appear to have little control over the variation in tuber quality characteristics between and within lots.

Referaat

Veerman, A., 2001, Variatie in knolkwaliteit tussen en binnen partijen van consumptieaardappelplassen, Proefschrift, Wageningen Universiteit, Nederland, 253 pp.

Voor aardappelen voor de productie van pommes frites zijn het drogestofgehalte, het nitraatgehalte, de blauwgevoeligheid, de niet-enzymatische grauwwerking en de bakkleur na korte of langere bewaring belangrijke kwaliteitseigenschappen. De mogelijkheden om deze eigenschappen en de opbrengst te beïnvloeden met stikstofbemesting – in een bereik van 100 kg N·ha⁻¹ - en een aanvullende kaliumbemesting in het voorjaar (300 kg K₂O·ha⁻¹, zowel in de sulfaat- als chloridevorm) werden onderzocht in een aantal rassen op verschillende locaties in verschillende jaren. De rassenkeuze bleek veel meer praktisch relevant effect te hebben op de kwaliteitseigenschappen dan de gehanteerde bemestingstrappen.

Geanalyseerd werd welk deel van de variantie van de kwaliteitseigenschappen werd beschreven door de verschillende experimentele factoren. Afhankelijk van de kwaliteitseigenschap werd 10 tot 40 % verklaard door de factor ras. Stikstof- en kaliumbemesting verklaarden slechts weinig van de totale variantie: 0 tot 10 %. Het grootste deel van de variantie werd verklaard door factoren die gerelateerd zijn aan locatie- en jaarinvloeden en de interacties daarvan met de andere experimentele factoren.

Voor drogestofgehalte, nitraatgehalte en blauwgevoeligheid werd ook de variantie die binnen aardappelpartijen optreedt, onderzocht. Het bleek dat het grootste deel van de variantie niet tussen, maar binnen veldjes werd aangetroffen. In twee experimenten werd voor drogestofgehalte en nitraatgehalte het aandeel van individuele planten, stengels en knollen vastgesteld. Hieruit bleek dat 80 à 90 % van de variantie binnen een veldje wordt veroorzaakt door de verschillen die voorkomen tussen knollen die afkomstig zijn van dezelfde stengel.

Daar een hoge stikstofbemesting een negatief effect heeft op een aantal kwaliteits-eigenschappen, werd ook haar effect op opbrengst onderzocht om inzicht te geven in de benodigde hogere prijs per kilogram product om te compenseren voor de lagere opbrengst bij een lagere stikstofbemesting. In absolute zin is de benodigde prijsverhoging gering, maar of afnemers bereid zijn die te betalen is twijfelachtig, aangezien de door een lagere stikstofbemesting te bereiken kwaliteitsverbetering gering is.

De extra voorjaarskalibemesting verlaagde de blauwgevoeligheid (vooral in de chloride-vorm) en de niet-enzymatische grauwwerking en verbeterde de bakkleur. Na analyse van de bijbehorende opbrengsten en van historische data wordt geconcludeerd dat de huidige Nederlandse praktijk te terughoudend is met de voorjaarstoepassing van chloorkali op kleigrond als gevolg van een onterecht grote angst voor opbrengstderving als gevolg van zoutschade.

Sucrosegehalte en drogestofgehalte van de knollen en de grondbedekking met groen loof werden tijdens en aan het eind van het groeiseizoen vastgesteld en in verband gebracht met de bakkleur na bewaring. Dit werd gedaan met twee rassen, op twee locaties in drie jaren. Geen van de bepaalde parameters correleerde goed genoeg met de latere bakkleur om een voorspelling daarvan voor of op het moment van de oogst mogelijk te maken. In veel - maar niet alle - gevallen werd de bakkleur slechter door een hogere stikstofbemesting. De effecten van stikstof op genoemde parameters en op de bakkleur correleerden eveneens niet goed genoeg om het negatieve effect van stikstof op de bakkleur te kunnen voorspellen.

Na analyse van de in de experimenten aanwezige stuurbare (ras, stikstof-, kalium- en chloorbemesting) en onbeheersbare (locatie en jaar) factoren bleek ras van de stuurbare factoren bij de meeste knoleigenschappen het grootste deel van de variatie tussen partijen te veroorzaken. Stikstof-, kalium- en chloorbemesting veroorzaakten slechts een klein deel van de variatie tussen partijen. Het overgrote deel van de variatie tussen partijen werd echter veroorzaakt door de factoren locatie en jaar en hun interacties met de stuurbare factoren. Naast raskeuze hebben telers dus weinig invloed op de variatie in kwaliteitseigenschappen tussen en binnen partijen.

Inhoud

	Abstract	
	Referaat	
Hoofdstuk 1	Algemene inleiding	1
Hoofdstuk 2	Het effect van stikstof, kalium en chloor op het drogestofgehalte van aardappelknollen van verschillende rassen, geteeld onder uiteenlopende groeiomstandigheden	11
Hoofdstuk 3	Het effect van oogsttijdstip op het drogestofgehalte van aardappelknollen en identificatie van bronnen voor variatie in het gehalte binnen partijen	33
Hoofdstuk 4	Het effect van stikstof en kalium op het nitraatgehalte van aardappelknollen van verschillende rassen, geteeld onder uiteenlopende groeiomstandigheden	77
Hoofdstuk 5	Het effect van oogsttijdstip op het nitraatgehalte van aardappelknollen en identificatie van bronnen voor variatie in het gehalte binnen partijen	91
Hoofdstuk 6	Het effect van stikstof, kalium en chloor op de blauwgevoeligheid van aardappelknollen van verschillende rassen, geteeld onder uiteenlopende groeiomstandigheden	105
Hoofdstuk 7	Identificatie van bronnen voor variatie in de blauwgevoeligheid van aardappelknollen binnen partijen	127

Hoofdstuk 8	Het effect van stikstof, kalium en chloor op de niet-enzymatische grauwwerking van aardappelknollen van verschillende rassen, geteeld onder uiteenlopende groeiomstandigheden	135
Hoofdstuk 9	Het effect van stikstof, kalium en chloor op de bakkleur van frites geproduceerd van aardappelknollen van verschillende rassen, geteeld onder uiteenlopende groeiomstandigheden	149
Hoofdstuk 10	De relatie tussen knol- en gewaseigenschappen tijdens de groei van aardappelknollen en de bakkleur van frites die daarvan na bewaring worden geproduceerd	171
Hoofdstuk 11	Algemene discussie	199
	Samenvatting	221
	Summary	233
	Nawoord	244
	Curriculum vitae	247
	Lijst van publicaties	249

Hoofdstuk 1

Algemene inleiding

Ontwikkeling van de teelt van consumptieaardappelen en de verwerking daarvan in Nederland na 1960

Aardappelen van het ras Bintje voldoen in hoge mate aan de intrinsieke eisen voor verwerking tot voorgebakken en gedroogde producten. Bovendien is bij dit ras de stabiliteit van de eigenschappen over jaren en teeltlocaties heen relatief groot en kan het ras bij relatief lage temperaturen gedurende lange tijd worden bewaard. De toenemende vraag naar grondstof voor verwerking heeft er voor gezorgd dat het areaal consumptieaardappelen is gegroeid en dat het aandeel van het ras Bintje daarin sterk is toegenomen. In de periode 1964-1984 is het areaal Bintje ruim verdrievoudigd. In 1989 was het aandeel van het ras nog altijd bijna 80 %. De combinatie van de raseigenschappen en een zich professionaliserende teelt en bewaring hebben er voor gezorgd dat de aardappelverwerkende industrie een groot deel van het jaar over Nederlandse grondstof van relatief hoge, homogene en stabiele kwaliteit kan beschikken. Vanuit het oogpunt van grondstofvoorziening heeft zij zich dan ook vrijwel onbelemmerd kunnen ontwikkelen tot een industrie met een hoge exportwaarde (Tabel 1.1).

In de verwerking van aardappelen neemt de productie van voorgebakken producten verreweg de grootste plaats in. Het onderzoek dat in dit proefschrift wordt beschreven, heeft zich dan ook in hoge mate gericht op de invloed van teeltmaatregelen en omstandigheden op knoleigenschappen die van belang zijn voor met name deze categorie van producten.

Tabel 1.1 Ontwikkeling van het areaal consumptieaardappelen, het aandeel daarin van het ras Bintje, bruto opbrengst van consumptieaardappelen per hectare, het verwerkte volume consumptieaardappelen en de exportwaarde van aardappelproducten in de periode 1964 – 1999.

	1964	1969	1974	1979	1984	1989	1994	1999
Areaal consumptieaardappelen (1000 ha)	46,3	62,1	56,1	63,8	69,9	71,3	73,8	86,2
Aandeel Bintje (%)	40	59	86	79	80	78	57	-
Bruto opbrengst consumptieaardappelen (ton/ha)	33,7	35,0	39,0	40,5	47,0	47,0	45,7	53,8
Verwerkt volume aardappelen (1000 ton)	110	220	500	707	1128	1903	2562	2729*
Exportwaarde aardappelproducten (miljoenen gulden)	9	35	126	272	658	1057	1430	2034

Bronnen:

Landbouwcijfers van het Landbouw Economisch Instituut (LEI) en het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS).

Jaarverslagen Productschap voor Aardappelen

Vereniging voor de Aardappelverwerkende Industrie (VAVI).

- informatie niet beschikbaar

* Verlaagd door waterschade oogst 1998, waarde 1998 = 2976

Intrinsieke eisen aan aardappelen voor verwerking tot voorgebakken producten

Willen aardappelen geschikt zijn voor verwerking tot voorgebakken producten, dan moet een aantal intrinsieke eigenschappen aan bepaalde eisen voldoen. De belangrijkste zijn weergegeven in Tabel 1.2.

Tabel 1.2. Overzicht van de belangrijkste intrinsieke eigenschappen van aardappelen voor verwerking tot voorgebakken producten, de invloed die zij uitoefenen op product en proces en de eisen die aan hen worden gesteld.

Eigenschap	Oefent invloed uit op	Gewenst niveau
Drogestofgehalte	Textuur van het product	20-24 %
	Olieopname van het product	
	Verwerkingsrendement	
Nitraatgehalte	Acceptatie van verse aardappelen door sommige markten	Laag
Blauwgevoeligheid	Het optreden van onderhuidse weefselverkleuringen	Gering
Niet-enzymatische grauwerkleuring	Kleur van voorgebakken product	Minimaal
Gehalte aan reducerende suikers	Kleur van voor- en afgebakken producten	< 0,5 %
	Kleur van chips	< 0,2 %

Voor de verwerking tot voorgebakken producten moet het drogestofgehalte adequaat zijn. Het drogestofgehalte is medebepalend voor de textuur van de producten en naarmate het drogestofgehalte hoger is, nemen de producten tijdens het frituren minder olie op (Smith, 1987b, 1987c). Daarnaast neemt het rendement van de verwerking toe met een hoger drogestofgehalte doordat minder water hoeft te worden verdampt. Als ondergrens voor het drogestofgehalte geldt over het algemeen 20 %, als bovengrens 24 %. Deze gehalten komen ongeveer overeen met een onderwatergewicht van resp. 360 en 440 gram.

De gemiddelde dagelijkse nitraatinname door de Nederlandse bevolking blijft ruim onder de daarvoor gestelde normen en acute overschrijdingen worden niet veroorzaakt door het eten van aardappelen (Van Loon & Van Klaveren, 1990). Wel leveren aardappelen in ons voedingspatroon een relatief grote bijdrage aan de dagelijkse nitraatconsumptie. Tijdens de verwerking van aardappelen tot chips, frites of vlokken wordt het nitraatgehalte met 70-80% gereduceerd (Putz, 1991; Putz & Bergthaller, 1989). Toch kan het nastreven van een laag nitraatgehalte ook relevant zijn voor rassen en partijen die in principe bestemd zijn voor verwerking. Van veel partijen worden namelijk de kleinere knollen niet voor verwerking, maar voor verschillende “verse” toepassingen gebruikt. Voor sommige van deze bestemmingen (bijvoorbeeld babyvoedsel) wordt een laag nitraatgehalte wenselijk geacht. Van kleinere knollen is bekend dat ze een hoger nitraatgehalte bevatten dan de grotere maten. Bovendien dalen de gehalten tijdens koken minder dan bij verwerking (Putz, 1991; Putz & Bergthaller, 1989).

De huidige mechanisatie van oogst, in- en uitschuren en sorteren maakt een zekere mechanische belasting onvermijdelijk. Deze belasting kan verschillende vormen van beschadiging veroorzaken. Eén van de belangrijkste vormen is het zogenaamde stootblauw; een onderhuidse verkleuring die kan optreden na beschadiging van weefsel door vallen, stoten of door zware druk (Peters, 1996). Beperking van het optreden van stootblauw kan worden bereikt door de mechanische belasting zoveel mogelijk te beperken. Daar mechanische belasting niet in zijn geheel is te voorkomen, is een geringe gevoeligheid voor stootblauw een noodzakelijke verzekering tegen het optreden ervan.

De niet-enzymatische grauwwerking van producten na het voorbakken is ook een belangrijke - negatieve - eigenschap voor verwerking. Er zijn maatregelen die tijdens het verwerkingsproces de verkleuring kunnen tegengaan (Smith, 1987a). Deze maatregelen werken evenwel kostenverhogend en zijn bovendien niet altijd in staat om een sterke neiging tot verkleuring geheel te onderdrukken.

Om na het voor- en afbakken een lichte productkleur te verkrijgen moet het gehalte aan reducerende suikers laag zijn. Tijdens het bakken reageren reducerende suikers met aminozuren in de zgn. Maillard-reactie tot bruine, bitter smakende producten (Shallenberger et al., 1959). Om van aardappelen voorgebakken producten te kunnen maken, mogen ze op basis van het versgewicht niet meer dan 0,5 % reducerende suikers bevatten. Dit is slechts een vuistregel, omdat afgezien van dit gemiddelde gehalte ook eisen worden gesteld aan het zo min mogelijk voorkomen van (delen van) fritesstaafjes met een kleur die veel donkerder is dan het gemiddelde van de partij.

Het gehalte aan reducerende suikers kan tijdens de bewaring sterk stijgen, met name onder invloed van een lage bewaartemperatuur (o.a. Burton, 1989; Van Es & Hartmans, 1987; Hertog et al., 1997; Müller-Thurgau, 1882) en een verhoogd CO₂-gehalte (Veerman, 1996). Daarom moeten aardappelen niet alleen vlak na de oogst een laag gehalte aan reducerende suikers hebben, ook mag het gehalte tijdens bewaring bij relatief lage temperaturen niet te veel oplopen.

Een aantal van de hiervoor genoemde eigenschappen vertoont onderlinge samenhang. De belangrijkste relatie is die tussen het onderwatergewicht en de blauwgevoeligheid. Over het algemeen zal de blauwgevoeligheid groter zijn naarmate een partij een hoger onderwatergewicht heeft bereikt. Daarnaast worden de kwaliteitseigenschappen en opbrengst niet alle in dezelfde richting en/of in dezelfde mate beïnvloed door teeltmaatregelen en -omstandigheden. Zo kan een verlaging van de stikstofgift leiden tot een gewenste verhoging van het drogestofgehalte en een gewenste verlaging van het nitraatgehalte, maar kan zij gepaard gaan met een lagere opbrengst en een wat grotere blauwgevoeligheid. Een chloorbemesting kan een gewenste verlaging van de blauwgevoeligheid bewerkstelligen, maar tegelijk het drogestofgehalte te veel verlagen en de niet-enzymatische grauwwerking versterken. Warme zomers – die veelal gepaard gaan met een benedengemiddelde neerslag en bovengemiddelde instraling – zijn over het algemeen gunstig voor een goede bakkleur en een geringe grauwwerking. Echter, daar waar de geringe neerslag vochttekort veroorzaakt zal daarentegen de opbrengst worden verlaagd, hetgeen gepaard gaat met een geringer aandeel grove knollen. Het verkrijgen van gewassen die maximaal aan alle eisen van

telers voldoen en het tegelijkertijd verkrijgen van aardappelen die voldoen aan alle eisen die telers en afnemers er aan stellen is praktisch gesproken dan ook vrijwel onmogelijk.

Nieuwe rassen wenselijk

Ondanks de goede eigenschappen van en de grote ervaring met het ras Bintje kent het ras een (flink) aantal niet zozeer verwerkingstechnische als wel teeltkundige bezwaren die het gewenst maken naar vervangers te zoeken. In de eerste plaats is de sortering van het ras betrekkelijk fijn. Een relatief groot aandeel van de knollen bereikt de voor fritesproductie gehanteerde ondergrens van 50 mm niet. Dit heeft er voor gezorgd dat relatief veel ondermaatse aardappelen uit partijen die in beginsel voor de verwerking werden geteeld, afgezet werden op de tafelaardappelmarkt. Ondanks relatief veel ondermaat werd in vele jaren gemakkelijk een hoger saldo bereikt met de teelt voor verwerking dan met de teelt voor de tafelaardappelmarkt. Dit heeft er mede voor gezorgd dat de ontwikkeling van een hoogwaardige Nederlandse tafelaardappelmarkt lange tijd geremd is geweest. Nu deze markt zich ontwikkelt en haar specifieke eisen aan de productkwaliteit hoger worden, zal het moeilijker worden daarop de ondermaat van voor verwerking geteelde gewassen af te zetten. Dit wordt mogelijk nog versterkt doordat het ras Bintje in vergelijking met andere rassen een relatief hoog nitraatgehalte heeft. Zoals eerder werd geschetst zijn het juist de kleine knollen die het hoogste gehalte bevatten en is de afname van het gehalte bij verse bereiding geringer dan bij verwerking.

Het relatief hoge nitraatgehalte van Bintje-partijen wordt mede veroorzaakt door de hoge stikstofgiften die aan het ras worden toegediend. De meeste aardappelen moeten na de oogst worden opgeslagen voor latere verwerking. Dit veroorzaakt bij telers de neiging om het groeiseizoen zo goed mogelijk te benutten door de gewassen door te laten groeien zo lang als met het oog op de oogstbaarheid verantwoord is. Voor een dergelijk lang groeiseizoen sterft Bintje van nature eigenlijk te vroeg af. Met behulp van een hoge stikstofgift kan - tot op zekere hoogte - het groeiseizoen worden verlengd, waardoor de opbrengst toeneemt en de sortering grover wordt. In verhouding tot de extra gegeven stikstof is de opbrengstverhoging echter gering waardoor meestal een groot deel van de extra gegeven stikstof onbenut achterblijft in het profiel en in de winter blootstaat aan het risico van uitspoeling (Neeteson, 1989).

Bintje heeft voorts een geringe resistentie tegen een aantal ziekten. Zo moet het ras relatief vaak tegen de schimmelziekte *Phytophthora infestans* worden bespoten. Dit brengt zowel kosten als milieubelasting met zich mee. Het ras is ook gevoelig voor het optreden van gewone schurft en is bovendien zelfonverdraagzaam. Dit laatste komt doordat het ras gevoelig is voor de bodemgebonden schimmel *Verticillium dahliae* (Lamers et al., 1989) die met name in nauwe rotaties leidt tot het vroeger afsterven van gewassen (Hoekstra & Lamers, 1993; Lamers et al., 1989). Telers zijn in de loop van de jaren de vroegere afsterving gaan compenseren door extra stikstof te geven. Vooral in het zuidwesten van Nederland is dit een tweede oorzaak van de hoge stikstofgiften aan het ras Bintje.

Het ras bezit ook geen resistentie tegen aardappelcysten-aaltjes, de veroorzaker van aardappelmoetheid.

Het is ook vastgesteld dat Bintje ten opzichte van een aantal andere rassen een geringere bewortelingsdiepte heeft (Pers. Mededeling, C.D. van Loon). Dit bevestigt en verklaart de ervaring dat het ras droogtegevoeliger is dan veel andere rassen.

Tenslotte: Bintje is erg gevoelig voor doorwas. Met enige regelmaat veroorzaakt dit in warme groeiseizoenen de vorming van secundaire knollen, hetgeen zeer negatief kan uitwerken op de kwaliteit van uiteindelijk geoogste partijen (Veerman & van Loon, 1995a, b en c).

De uitbreiding van aardappelmoetheid is voor de overheid de voornaamste aanleiding geweest om eind jaren tachtig nieuwe wetgeving te formuleren ten aanzien van de bestrijding van aardappelmoetheid. Een belangrijke actie die hiermee gepaard ging, was het door een onderzoeksprogramma stimuleren van de introductie van nieuwe rassen met resistentie tegen aardappelmoetheid. Daar een volwaardige verwerkingskwaliteit een voorwaarde is voor acceptatie als grondstof voor verwerking werd in dit programma onderzocht welke aanpassingen voor een aantal nieuwe rassen in zowel de teelt als de verwerking nodig waren ten opzichte van de gangbare teelt en verwerking van Bintje om met deze nieuwe rassen een optimaal resultaat te bereiken. Voor wat betreft de teelt ging het hierbij vooral om de invloed van stikstof-, kalium- en chloorbemesting op kwaliteitseigenschappen en de effecten van en interacties met jaar- en locatie-effecten.

Heterogeniteit van grondstof

Voor de verwerking van aardappelen is homogeniteit van de grondstof een belangrijke eis. Verschillen tussen partijen leiden tot verschillen in het eindproduct of tot noodzakelijke aanpassingen in het productieproces om tot een vergelijkbaar eindproduct te komen. Vanzelfsprekend is tevens voldoende homogeniteit binnen een partij aardappelen noodzakelijk voor het verkrijgen van een homogeen eindproduct.

De aardappelen die door de verwerkende industrie worden afgenomen, kennen evenwel een aanzienlijke heterogeniteit, zelfs al zijn ze van hetzelfde ras. In de eerste plaats is er verschil tussen partijen van verschillende herkomsten. Deze verschillen worden enerzijds veroorzaakt door teeltmaatregelen waar stikstof-, kalium- en chloorbemesting deel van uitmaken en anderzijds door jaar- en locatiegebonden factoren (weer en bodem) die zich grotendeels buiten de sturingsmogelijkheden van de teler bevinden. Daarnaast is er sprake van heterogeniteit binnen partijen. Met name van het drogestofgehalte is dit gegeven reeds lang bekend (Cole, 1975; Heinze & Craft, 1952). Van andere eigenschappen zoals de bakkleur is hierover in de literatuur weinig beschreven, hoewel uit de praktijk bekend is dat ook zij binnen partijen heterogeniteit vertonen.

Probleemdefiniëring en doelstellingen

Het introduceren van een nieuw ras in de aardappelteelt verloopt meestal moeizaam. Zolang er niet veel ervaringskennis over de meest optimale teelt- en bewaringsmaatregelen is, is er een neiging het beschikbaar komen van die informatie af te wachten, hetgeen inhoudt dat het beschikbaar komen van de informatie wordt vertraagd. Het doorbreken van dit probleem was een overkoepelende doelstelling van het onderzoek beschreven in dit proefschrift.

De onzekerheid van telers bij de introductie van een nieuw aardappelras spitst zich toe op de stikstof- en kaliumbemesting. Deze twee kunnen een aantal kwaliteitsparameters sterk beïnvloeden en met name de stikstofbemesting speelt een belangrijke rol in de opbrengstvorming. Het eerste doel van het onderzoek was daarom te onderzoeken in hoeverre bij een aantal andere rassen dan Bintje stikstof-, kalium- en chloorbemesting moeten worden aangepast voor het verkrijgen van de voor dat ras optimale eigenschappen voor verwerking. Onderzocht werd tevens in hoeverre de rassen verschillen in hun reactie op de genoemde nutriënten en in welke mate jaar- en locatie-effecten invloed hebben op de kwaliteitseigenschappen van de rassen en daarbij interactie vertonen met de verschillende bemestingen.

De heterogeniteit van knoleigenschappen binnen partijen is groot en veroorzaakt aanzienlijke heterogeniteit in de eigenschappen van de producten die van de knollen worden gemaakt. Reductie van de variabiliteit in de grondstof leidt direct tot homogenere eigenschappen van het eindproduct. Het tweede doel was vast te stellen in hoeverre bij het drogestofgehalte en het nitraatgehalte de variatie binnen partijen wordt beïnvloed door ras en stikstofbemesting en door jaar en locatie. Bovendien werd onderzocht wat binnen een perceel de voornaamste bronnen zijn voor de variatie tussen individuele knollen. Dit laatste werd ook voor de blauwgevoeligheid onderzocht.

De bakkleur van aardappelen wordt voornamelijk bepaald door het gehalte aan reducerende suikers en is een eigenschap die tijdens de bewaring aan sterke verandering onderhevig kan zijn. Een lage bewaartemperatuur en een verhoogd CO₂-gehalte kunnen de bakkleur donkerder doen worden. De mate waarin het gehalte tijdens het bewaarseizoen stijgt en de mate waarin dat onder invloed staat van lage temperatuur of verhoogd CO₂-gehalte, wordt in hoge mate bepaald door de groeiomstandigheden tijdens de teelt. De invloed van deze omstandigheden kan echter slecht worden voorspeld. Daarom was het derde doel relaties te zoeken tussen enerzijds parameters van het gewas en/of de knollen die voor of vlak na de oogst worden vastgesteld en anderzijds de (ontwikkeling van) de bakkleur tijdens de bewaring. Wanneer met behulp van dergelijke relaties de ontwikkeling van de bakkleur tot op zekere hoogte zou kunnen worden voorspeld, zou dat behulpzaam zijn bij de te voeren strategie voor wat betreft de planning van de afzet en de meest geëigende bewaarcondities.

Het vierde doel was de resultaten van de onderzoekshoofdstukken met elkaar in verband te brengen en bovendien in een breder kader te plaatsen. De invloed van stikstof, kalium en chloor op de knoleigenschappen wordt hierbij afgewogen tegen hun invloeden op de opbrengst. De invloeden van de onbeheersbare factoren (jaar en locatie), de stuurbare factoren (ras, stikstof, kalium en chloor) en hun interacties werden

geanalyseerd. Tevens werd een analyse gemaakt van de relatieve grootte van de effecten van stuurbare en onbeheersbare factoren om helder te maken waar de grootste en meest bedrijfszekere mogelijkheden liggen om kwaliteit en opbrengst van aardappelen voor fritesproductie te verhogen.

Afbakening

Het onderzoek had tot doel te beschrijven hoe groot de invloeden van ras, bemesting, locatie en jaar op tussen- en binnen-partijvariatie zijn. Het onderzoek had niet als doel de (fysiologische) achtergrond van de invloed van deze factoren te verklaren. Hiervoor zou een andere - intensievere - onderzoeksaanpak nodig zijn geweest met het waarnemen en meten van vele malen meer factoren en parameters dan het project toeliet.

Opzet van dit proefschrift

Na de algemene inleiding in Hoofdstuk 1 wordt het onderzoek naar de invloed van stikstof-, kalium- en chloorbemesting op de kwaliteitseigenschappen van nieuwe rassen in vergelijking met Bintje, beschreven in de Hoofdstukken 2, 4, 6, 8 en 9. Hierin wordt de invloed van jaar- en locatie-effecten en optredende interacties beschreven voor resp. het drogestofgehalte, het nitraatgehalte, de blauwgevoeligheid, de niet-enzymatische grauwwerking en de bakkleur.

Het onderzoek naar de invloed van ras, stikstofbemesting, jaar en locatie op de variatie in drogestofgehalte en nitraatgehalte *binnen* partijen wordt beschreven in de Hoofdstukken 3 en 5. De Hoofdstukken 3 en 5 behandelen tevens het onderzoek naar de voornaamste bronnen voor de variatie tussen individuele knollen voor resp. het drogestofgehalte en het nitraatgehalte. Het onderzoek naar de variatiebronnen van blauwgevoeligheid van individuele knollen binnen een perceel is beschreven in Hoofdstuk 7.

Het onderzoek dat ten doel had relaties te vinden tussen knol- en gewasparameters enerzijds en de (ontwikkeling van) de bakkleur tijdens de bewaring anderzijds, wordt beschreven in Hoofdstuk 10.

In Hoofdstuk 11 worden in een algemene discussie de resultaten van de onderzoekshoofdstukken met elkaar in verband gebracht en bovendien in een breder kader geplaatst.

Literatuur

Burton, W.G., 1989. The Potato 3rd edition, Harlow, Longman Scientific & Technical, 742 pp.

- Cole, C.S., 1975. Variation in dry matter between and within potato tubers, *Potato Research* 18, p. 28-37.
- Es, A. van & K.J. Hartmans, 1987. Starch and sugars during tuberization, storage and sprouting, In: A. Rastovski, A. van Es et al. (eds), *Storage of potatoes, post-harvest behaviour, store design, storage practice, handling*, Pudoc, Wageningen, p. 79-113.
- Heinze, P.H. & C.C. Craft, 1952. Variations in specific gravity of potatoes, *American Potato Journal* 29, p. 31-37.
- 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, p. 67-79.
- Hoekstra, O. & J.G. Lamers, 1993. 28 jaar De Schreef, Publicatie 67, PAGV, Lelystad, 207 pp.
- Lamers, J.G., O.Hoekstra & K. Scholte, 1989, Relative performance of potato cultivars in short rotations, In: J. Vos, C.D. van Loon & G.J. Bollen (eds), *Effects of crop rotation on potato production in the temperate zones*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 57-65.
- Loon, A.J.M. van & J.D. van Klaveren, 1990. Nitraatinname van de Nederlandse bevolking op basis van de voedselconsumptiepeiling, *Rapport 90.18*, RIKILT, Wageningen, 36 pp.
- Müller-Thurgau, H., 1882. Über Zuckerrücklage in Pflanzenteilen in Folge niedriger Temperatur, *Landwirtschaftliche Jahrbücher* 11, p. 751-858.
- Neeteson, J.J., 1989. Effect of reduced fertilizer nitrogen application rates on yield and nitrogen recovery of sugar beet and potatoes, *Netherlands Journal of Agricultural Science* 37, p. 227-236.
- Peters, R., 1996. Damage of potato tubers, a review, *Potato Research* 39, p. 479-484.
- Putz, B., 1991. Nitrat in Kartoffeln, *Agrobiological Research* 44, p. 30-36.
- Putz, N. & W. Bergthaller, 1989. Nitrat in Kartoffeln, *Der Kartoffelbau* 40, p. 287-293.
- Shallenberger, R.S., O. Smith & R.H. Treadway, 1959. Role of the sugars in the browning reaction in potato chips, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 7, p. 274-277.

- Smith, O., 1987a. Effect of Cultural and Environmental Conditions on Potatoes for Processing, In: W.F. Talburt & O. Smith (eds), Potato Processing, 4th edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, p. 73-148.
- Smith, O., 1987b. Potato Chips, In: Potato Processing, W.F. Talburt & O. Smith (eds), 4th edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, p. 371-489.
- Smith, O., 1987c. Frozen French Fries and Other Frozen Potato Products, In: Potato Processing, W.F. Talburt & O. Smith (eds), 4th edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, p. 491-534.
- Veerman, A., 1996. The effect of increased CO₂ levels on fry colour during storage, In: P.C. Struik et al. (eds), Abstracts of Conference Papers, Posters and Demonstrations of the 13th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Veldhoven, 14-19 July 1996, p. 419-420.
- Veerman, A. & C. D. van Loon, 1995a. Doorwas, glazigheid en waterzakken in aardappelen: een overzicht naar aanleiding van doorwasjaar 1994, Jaarboek 1994/1995 Akkerbouw, Publikatie 78A, p. 16-20.
- Veerman, A. & C. D. van Loon, 1995b. Onderzoek naar de ontwikkeling van glazige aardappelknollen tot waterzakken na de oogst, Jaarboek 1994/1995 Akkerbouw, Publikatie 78A, p. 21-28.
- Veerman, A. & C.D. van Loon, 1995c. Post-harvest decay of second growth induced glassy tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Bintje in relation to their specific gravity, Potato Research, 38, p. 391-398.

Hoofdstuk 2

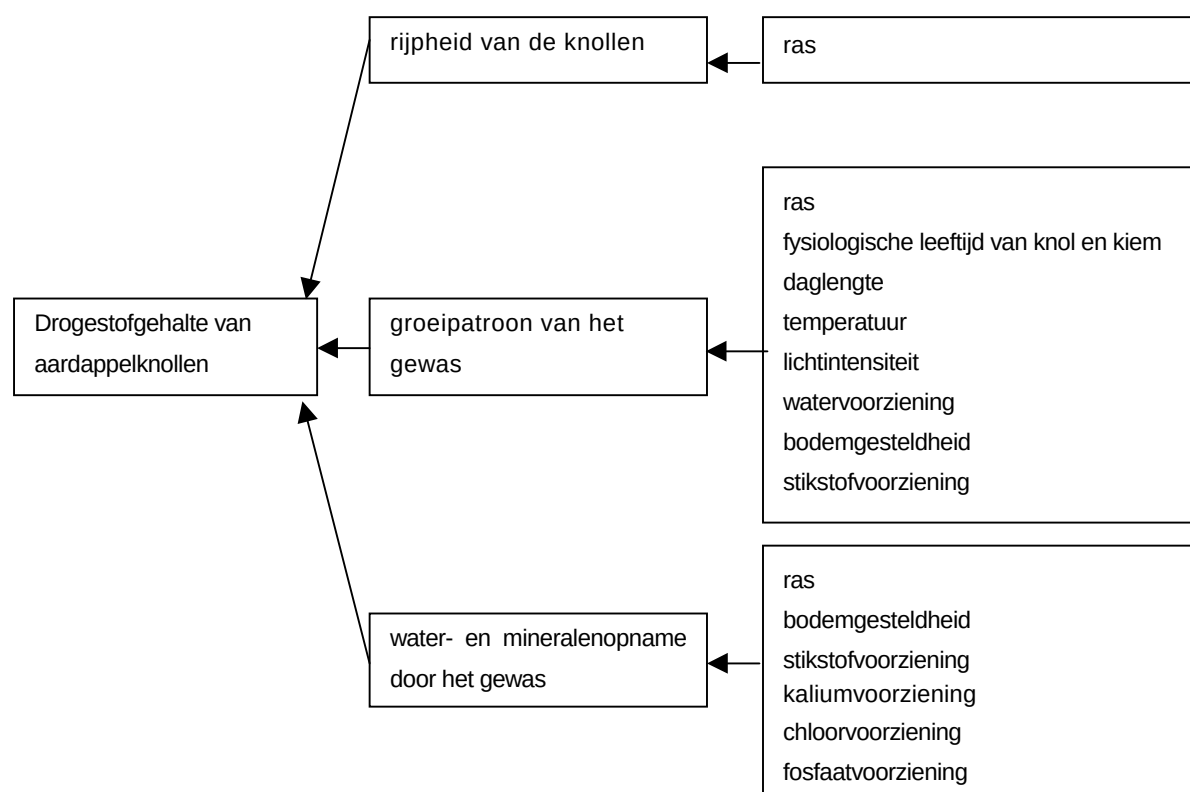
**Het effect van stikstof, kalium en chloor op
het drogestofgehalte van aardappelknollen
van verschillende rassen, geteeld onder
uiteenlopende groeiomstandigheden**

Inleiding

Het drogestofgehalte van een partij consumptieaardappelen bepaalt mede of de partij geschikt is voor een bepaalde bestemming. Zo is het drogestofgehalte één van de factoren die de kookeigenschappen van tafelaardappelen bepalen. Naarmate het drogestofgehalte van een ras hoger is, zijn de knollen meestal losser kokend. Ook voor verschillende partijen van hetzelfde ras geldt dat de knollen in de regel losser koken naarmate het drogestofgehalte hoger is. Aardappelen die tot gedroogde producten of zetmeelproducten worden verwerkt, moeten een hoog drogestofgehalte hebben. Door een hoog gehalte aan drogestof behoeft er minder water te worden verdampt, waardoor het proces minder energie kost.

Voor de verwerking tot voorgebakken producten is ook een hoog drogestofgehalte gewenst. Naast het nadeel van een hoger energieverbruik geeft een te laag drogestofgehalte natte en slappe producten. Bovendien nemen de producten tijdens het bakken meer vet op. In de regel wordt voor productie van patates frites een minimum drogestofgehalte van $\pm 20\%$ gehanteerd, voor de productie van chips is dat meestal $\pm 22\%$. Onder deze grenzen worden partijen geweigerd of vindt korting op de uitbetaling plaats. Alhoewel geen bovengrens wordt gehanteerd kan het drogestofgehalte voor genoemde producten echter ook te hoog worden, de producten worden dan te droog en te hard. Het traject tussen 20 en 24 % wordt voor frites als ideaal gezien, voor chips wordt 22 tot 24 % aangehouden.

Vrijwel alle omgevingsfactoren en teeltmaatregelen hebben effect op het drogestofgehalte. Het volgende overzicht is naar Beukema en Van der Zaag (1990):



Dit - overigens niet uitputtende - schema laat zien dat veel factoren invloed hebben op het uiteindelijke drogestofgehalte. Vele daarvan kan de aardappelteler niet sturen. Met een aantal teeltmaatregelen kan echter het drogestofgehalte wel degelijk worden beïnvloed. De rassenkeuze en de bemesting met kalium en chloor zijn hiervan voorbeelden. Echter ook teeltmaatregelen die niet in eerste instantie zijn bedoeld om het drogestofgehalte te beïnvloeden, hebben daarop toch effect. Zo is de stikstofbemesting in de eerste plaats afgestemd op het verkrijgen van een hoge knolopbrengst, terwijl het grootste deel van de kaliumbemesting in de regel met name is bedoeld om de gevoeligheid voor stootblauw te beperken. Beide nutriënten hebben echter ook effect op het drogestofgehalte. Of deze effecten als positief of negatief worden beoordeeld hangt af van de aan het drogestofgehalte gestelde eisen.

Het drogestofgehalte van rassen verschilt en rassen kunnen bovendien verschillend reageren op de gangbare bemesting en op variatie in condities die in verschillende jaren en op verschillende locaties kunnen heersen. Bij de introductie van nieuwe rassen is er in de praktijk dan ook altijd onzekerheid over deze reacties. Teneinde over het drogestofgehalte en de reactie daarvan op teeltfactoren voor een aantal nieuwe AM-resistente aardappellrassen een indruk te verkrijgen werden deze rassen in de jaren 1988-1992 op verschillende locaties in Nederland, bij verschillende niveaus van stikstof-, kalium- en chloorbemesting, verbouwd.

Materiaal en methoden

Bepaling van het drogestofgehalte met behulp van het onderwatergewicht

Het onderwatergewicht is een goede maat voor het drogestofgehalte. Het onderwatergewicht wordt gedefinieerd als het gewicht in grammen van 5 kg schone aardappelen onder water (Ludwig, 1972). Wanneer in het vervolg van de tekst wordt gesproken over "het onderwatergewicht" wordt het naar 5 kg omgerekende onderwatergewicht bedoeld. Ludwig (1972) beschreef de relatie tussen drogestofgehalte en onderwatergewicht (OWG) op Nederlandse kleigronden als:

$$\text{drogestofgehalte} = 0,0492 \times \text{OWG} + 2,00 \quad (2.1)$$

Deze relatie had een correlatiecoëfficiënt van 0,974 ($n = 150$, $se = 0,57$). Dit betekent dat de bepaling van het onderwatergewicht van knollen een betrouwbare schatter is van het drogestofgehalte van knollen. De bepaling van het onderwatergewicht wordt in de praktijk veel gebruikt vanwege haar eenvoud en vanwege de snelheid waarmee ze kan worden uitgevoerd. Het onderwatergewicht is in Nederland dan ook de meest gebruikte maat voor het drogestofgehalte.

Experimenten

In de jaren 1988 tot en met 1992 werden met de rassen Agria, Asterix, Aziza, Benno Vrizo, Maritiema, Morene, Santé en Van Gogh op verschillende locaties proeven aangelegd. In de meeste proeven werd als standaardras het ras Bintje opgenomen. In

de tabellen is het ras Bintje dan ook op een vaste plaats (onderaan) weergegeven. De locaties betroffen de regionale onderzoekcentra Prof.Dr. J.M. van Bemmelenhoeve (BEM) te Middenmeer, De Kandelaar (KL) te Biddinghuizen, Rusthoeve (RH) te Colijnsplaat, Vredepeel (VP) te Vredepeel, Wijnandsrade (WR) te Wijnandsrade en Westmaas (WS) te Westmaas en het Proefstation voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt (PAGV) te Lelystad (zie Tabel 2.1). Locatie Vredepeel betrof zandgrond, de andere locaties betrof kleigrond van uiteenlopende zwaarte. Niet alle rassen konden ieder jaar op elke locatie worden verbouwd. Tabel 2.1 geeft weer in welke jaren de verschillende rassen op de diverse regionale onderzoekscentra werden geteeld. In deze experimenten bedroeg de hoogste stikstofgift het landelijk advies voor Bintje:

$$LABK = 285\text{kgN} - 1,1(N \text{ min } 0 - 60\text{cm}) \quad (2.2)$$

Hierin is LABK het landelijk advies voor Bintje op kleigrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-60 cm.

Het landelijk advies voor Bintje op zandgrond luidt:

$$LABZ = 300\text{kgN} - 1,8(N \text{ min } 0 - 30\text{cm}) \quad (2.3)$$

Hierin is LABZ het landelijk advies voor Bintje op zandgrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-30 cm.

In proeven met drie stikstofniveaus ontvingen de twee andere varianten resp. 50 en 100 kg N·ha⁻¹ minder dan volgens de Vergelijkingen (2.2) en (2.3). In experimenten met twee stikstofniveaus bedroeg de tweede variant 75 kg N·ha⁻¹ minder dan deze adviezen. De Experimenten 1 tot en met 21 werden in drievoud aangelegd.

In de Experimenten 22 tot en met 27 werd een breder traject van stikstofgiften aangelegd. Op locatie PAGV werd resp. 0, 100, 200, 300 en 400 kg N·ha⁻¹ toegediend, op locatie KL was dat in verband met de grotere stikstofrijksdom van de bodem 0, 50, 150, 250 en 350 kg N·ha⁻¹. Deze experimenten werden in viervoud aangelegd.

In de Experimenten 1 tot en met 7 werd naast de stikstoftrappen een kaliumvariant aangelegd. Naast de gangbare kaliumbemesting werd een variant aangelegd die een extra kaliumgift ontving. Deze gift bedroeg 300 kg K₂O·ha⁻¹, in het voorjaar - voor het poten - toegediend in de vorm van patentkali (K₂SO₄; 305 kg SO₄). In de Experimenten 12 tot en met 15 werd de extra gift niet alleen in de vorm van patentkali, maar ook in de vorm van chloorkali (kali-60; 225 kg Cl) gegeven.

In alle experimenten vonden de teeltmaatregelen - afgezien van de proeffactoren - plaats volgens de regionale praktijk.

Per veldje (netto 15 m²) werd een monster genomen van ± 5 kg knollen in de maat 50/60 mm. Van deze monsters werd volgens de hierboven beschreven procedure het onderwatergewicht bepaald.

Tabel 2.1 Overzicht van jaar en locatie van uitvoering van experimenten (zie sectie Experimenten in Materiaal en methoden voor verklaring van de locatie-codes), de daarin opgenomen rassen, aantal stikstof- en kaliumniveaus, alsmede de samenstelling van datasets uit de experimenten.

Experiment	Jaar	Locatie	Rassen	Aantal niveaus		Dataset				
				Stikstof	Kalium	1	2	3	4	5
1	1988	BEM	Agria, Morene, Bintje	3	2	x			x	
2	1988	RH	Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x			x	
3	1988	WS	Agria, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x			x	
4	1989	KL	Morene, Santé, Van Gogh, Bintje	3	2	x			x	
5	1989	RH	Agria, Benno Vrizo, Santé, Bintje	3	2	x			x	
6	1989	VP	Benno Vrizo, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x			x	
7	1989	WS	Agria, Benno Vrizo, Morene, Bintje	3	2	x			x	
8	1990	BEM	Bintje	3	1	x				
9	1990	KL	Bintje	3	1	x				
10	1990	VP	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x				
11	1990	WR	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x				
12	1990	RH	Asterix, Santé	2	3					x
13	1990	VP	Santé	2	3					x
14	1991	RH	Aziza, Maritiema	2	3					x
15	1991	VP	Asterix, Aziza	2	3					x
16	1991	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
17	1991	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
18	1991	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
19	1992	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
20	1992	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
21	1992	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
22	1989	PAGV	Morene, Bintje	5	1			x		
23	1989	KL	Morene, Bintje	5	1			x		
24	1990	PAGV	Morene, Bintje	5	1			x		
25	1990	KL	Morene, Bintje	5	1			x		
26	1992	PAGV	Morene, Bintje	5	1			x		
27	1992	KL	Morene, Bintje	5	1			x		

Datasets

Uit de Experimenten 1 tot en met 27 zijn vijf datasets samengesteld die zich leenden voor analyse van resp. de effecten van rassen, stikstof, patent- en chloorkali, locaties, jaren en interacties tussen een aantal van deze factoren. Tabel 2.1 geeft weer welke experimenten in de verschillende datasets werden opgenomen. In het navolgende wordt aangegeven met welke datasets de effecten van de verschillende factoren werden geanalyseerd.

Effect van ras

Datasets 1, 2 en 3 zijn gebruikt om raseffecten en de interactie met bemesting vast te stellen. Interacties met locatie en jaar konden alleen in de orthogonale Datasets 2 en 3 worden berekend.

Effect van stikstof

De inorthogonale Dataset 1 leent zich voor het analyseren van stikstofeffecten. Berekening van interacties met andere factoren is als gevolg van de inorthogonaliteit niet mogelijk. In Datasets 2 en 3 konden naast het hoofdeffect van stikstof ook de interacties met andere factoren worden berekend.

Effecten van patent- en chloorkali

De inorthogonale Dataset 4 geeft informatie over het effect van de in het voorjaar toegediende patentkali en de interactie ervan met rassen en het stikstofniveau.

Dataset 5 geeft naast het gecombineerde effect van in het voorjaar toegediende kalium en stikstof ook inzicht in het effect van de vorm waarin de kalium wordt toegediend: patent- dan wel chloorkali. De verschillende vorm betekent in feite de introductie van een extra factor: een bemesting met chloor.

Effecten van locatie en jaar

Effecten van locaties en jaren worden besproken aan de hand van Datasets 2 en 3. Ten aanzien van locatie en jaar geven deze datasets de meest betrouwbare indruk, aangezien de cijfers op gelijke rassen en vergelijkbare stikstofgiften zijn gebaseerd.

Statistische verwerking

De inorthogonale Datasets 1, 4 en 5 zijn verwerkt met behulp van het REML-commando in GENSTAT 5, release 2.1. REML (REstricted Maximum Likelihood) is een algoritme waarmee inorthogonale proeven met meerdere strata kunnen worden verwerkt (Robinson et al., 1982). Met de procedure kunnen inorthogonale datasets worden geanalyseerd. Bij het gebruik van deze procedure kan slechts voor ieder paar van objecten dat in de dataset voorkomt een afzonderlijke LSD (Least Significant Difference; kleinst betrouwbaar verschil) worden berekend. Omwille van de leesbaarheid is in voorkomende gevallen alleen de gemiddelde LSD weergegeven, herkenbaar als "Gem.LSD".

Bij gebruik van de REML-procedure werd in eerste instantie uitgegaan van het volledige model van factoren en hun interacties. Wanneer de bijdrage aan de variantie van factoren of interacties als nul of negatief werd berekend, werd de factor resp. interactie uit het model verwijderd, waarna de berekening opnieuw werd uitgevoerd. Deze procedure werd zo nodig herhaald.

Datasets 2 en 3 werden verwerkt met behulp van een variantieanalyse. De in tabellen weergegeven LSD werd berekend bij een onbetrouwbaarheid van 5 %, tenzij anders vermeld.

Resultaten

Effect van ras

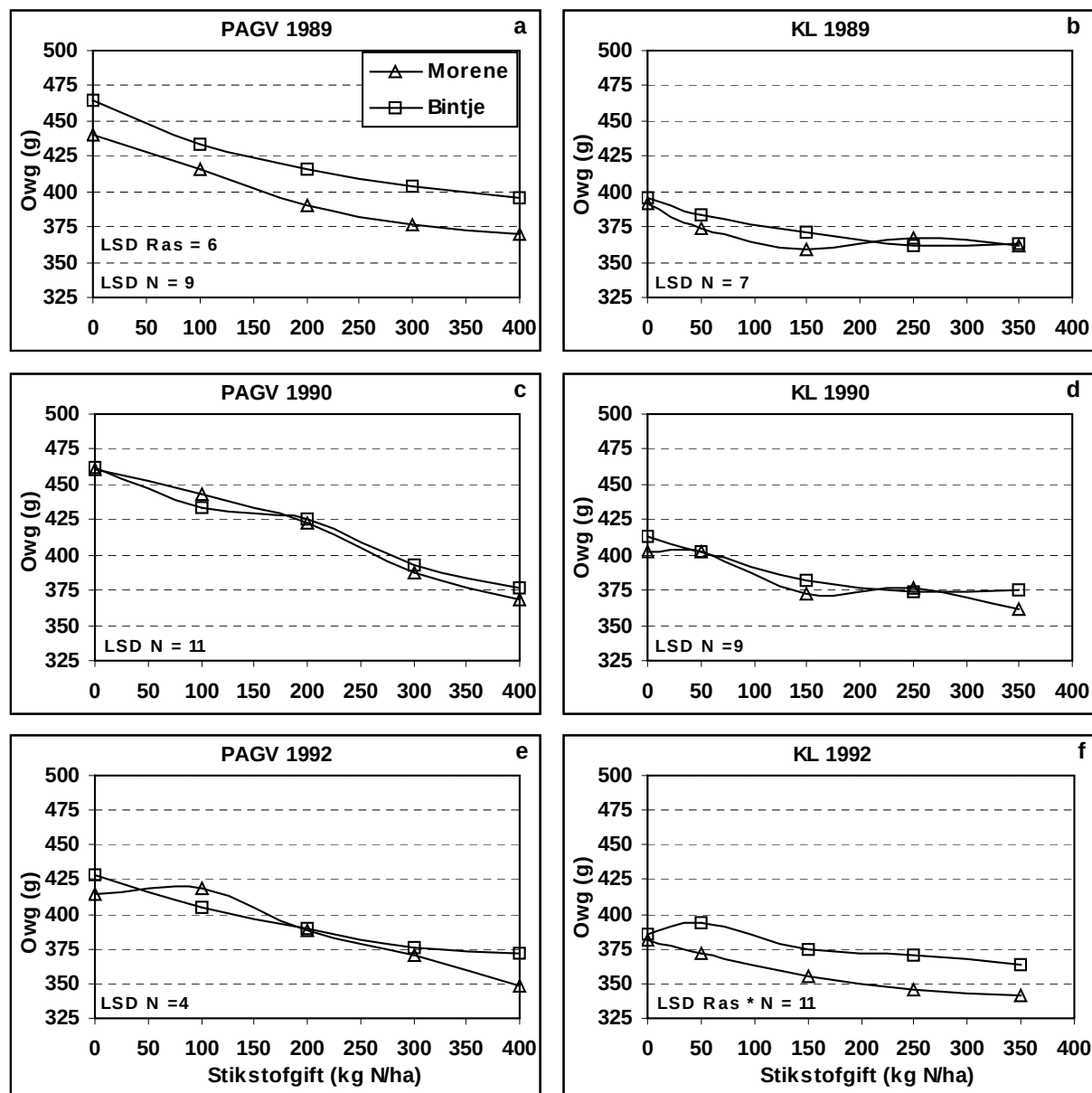
In Dataset 1 hadden de rassen Agria en Bintje gemiddeld het laagste onderwatergewicht, de rassen Morene en Van Gogh het hoogste (Tabel 2.2). In Dataset 2 bleek het ras Bintje het laagste onderwatergewicht te hebben, dat van het ras Asterix was het hoogst (Tabel 2.3). In Dataset 3 was het onderwatergewicht van het ras Morene in vrijwel alle gevallen lager dan dat van het ras Bintje (Figuur 2.1).

Tabel 2.2 Onderwatergewicht (g) van zes rassen bij drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 1.

Ras	Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Advies - 100	Advies – 50	Advies	
Agria	415	405	397	405
Benno Vrizo	432	436	437	435
Morene	447	440	436	441
Santé	433	418	420	423
Van Gogh	455	437	444	445
Bintje	414	411	405	410
Gemiddeld	433	424	423	427
Gem.LSD ras				24
Gem.LSD stikstof		5		
Gem.LSD ras*stikstof		24		

Tabel 2.3 Onderwatergewicht (g) van vier rassen bij drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 2.

Ras	Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Advies - 100	Advies – 50	Advies	
Asterix	457	454	452	454
Aziza	440	429	421	430
Maritiema	439	427	428	431
Bintje	426	420	418	421
Gemiddeld	440	433	430	434
LSD ras				4
LSD stikstof		3		
LSD ras*stikstof		6		



Figuur 2.1 Onderwatergewicht (g) van de rassen Morene en Bintje, geteeld bij vijf stikstofniveaus op twee locaties in drie jaren, Dataset 3.

Het effect van ras op het onderwatergewicht vertoonde interactie met locatie en jaar. Dit wordt geïllustreerd door Figuur 2.1. Het verschil in onderwatergewicht tussen de rassen Bintje en Morene was groter in 1989 dan in 1990 en 1992. In 1989 was het verschil tussen de rassen groter op locatie PAGV dan op locatie KL. De ras-locatie-jaarinteractie bleek ook in Dataset 2 hoogsignificant ($P < 0,001$, niet weergegeven).

Effect van stikstof

Gemiddeld werd in Dataset 1 het onderwatergewicht niet beïnvloed door de gift met 50 kg N·ha⁻¹ te verlagen. Bij een verlaging van de gift met 100 kg N·ha⁻¹ werd het onderwatergewicht met 10 gram significant verhoogd. In Dataset 2 gaf de verlaging van de gift met zowel 50 als 100 kg N·ha⁻¹ gemiddeld over de rassen een betrouwbaar hoger onderwatergewicht. Het bredere traject van stikstofgiften in Dataset 3 (Figuur 2.1) liet eveneens zien dat het onderwatergewicht hoger was bij een lagere stikstofgift. De sterkte van de respons was afhankelijk van met name de locatie (Figuur 2.1). In Dataset 5 (Tabel 2.7) werd in de objecten zonder extra kaliumbemesting het onderwatergewicht met 9 gram significant verhoogd door een verlaging van de stikstofgift met 75 kg N·ha⁻¹.

Er waren kleine verschillen tussen rassen voor wat betreft de mate waarin hun onderwatergewicht reageerde op een verlaging van de stikstofgift. Bij het ras Van Gogh werd de trend onderbroken door een lage waarde bij de stikstofgift advies-50, terwijl bij het ras Benno Vrizo de trend omgekeerd was (Tabel 2.2). Evenals in Dataset 1 reageerde in Dataset 2 (Tabel 2.3) het onderwatergewicht niet van alle rassen even sterk op een verlaging van de gift. Met name het ras Aziza reageerde met een sterkere daling van het onderwatergewicht op een hogere stikstofgift. In Dataset 2 kon de interactie tussen ras en stikstof worden berekend en deze bleek statistisch betrouwbaar ($P < 0,10$) te zijn, ondanks het relatief smalle traject van de stikstofgiften. In Dataset 3 was de respons van het onderwatergewicht op de stikstofgift bij Morene en Bintje meestal gelijk. Alleen in 1992 op locatie KL (Figuur 2.1f) was de respons bij Morene sterker dan bij Bintje.

In Dataset 3 (Figuur 2.1) verschilden de twee locaties niet alleen in niveau, maar ook in respons van onderwatergewicht op de stikstofgift. Locatie KL gaf een lager onderwatergewicht dan locatie PAGV, terwijl op eerstgenoemde locatie de respons geringer was. Dit had tot gevolg dat het verschil in onderwatergewicht tussen de locaties het grootst was bij een lage stikstofgift.

De respons van het onderwatergewicht op de hoogte van de stikstofbemesting verschildte tussen onderzoeksjaren. Een voorbeeld is te zien in figuur 2.1. De respons was in 1990 (Figuur 2.1c en d) sterker dan in beide andere jaren.

Effecten van patent- en chloorkali

Gemiddeld was de daling van het onderwatergewicht door een extra voorjaarspatentkaligift van 300 kg K₂O·ha⁻¹ resp. 8 en 12 gram in Datasets 4 en 5 (Tabellen 2.4 en 2.5). De extra daling als gevolg van het toedienen van een zelfde hoeveelheid kalium in de vorm van chloorkali (Tabel 2.5), bedroeg 9 gram waardoor in Dataset 5 de totale daling door de chloorkaligift gemiddeld 21 gram bedroeg.

Alle beproefde rassen, uitgezonderd Santé in Dataset 4, reageerden met een geringe daling van het onderwatergewicht op een extra patentkaligift in het voorjaar (Tabellen 2.4 en 2.5). Het onderwatergewicht van Asterix werd door de patentkali sterker verlaagd dan dat van de andere rassen.

Hoofdstuk 2

Tabel 2.4 Onderwatergewicht (g) van zes rassen bij twee niveaus van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 4.

Ras	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
	Geen	300 patentkali
Agria	404	393
Benno Vrizo	431	418
Morene	440	431
Santé	421	419
Van Gogh	445	434
Bintje	410	405
Gemiddeld	425	417
Gem.LSD kali		6
Gem.LSD ras*kali		23

Tabel 2.5 Onderwatergewicht (g) van vier rassen bij twee niveaus en twee soorten van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 5.

Ras	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali
Asterix	461	438	435
Aziza	417	408	391
Maritiema	380	369	362
Santé	405	400	392
Gemiddeld	416	404	395
Gem.LSD kali		5	
Gem.LSD ras*kali		13	

Tabel 2.6 Gemiddeld onderwatergewicht (g) bij twee niveaus van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$) en drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 4.

Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
	Geen	300 patentkali
Advies – 100	431	421
Advies – 50	423	416
Advies	421	413
Gemiddeld	425	417
Gem.LSD kali		6
Gem.LSD kali*stikstof		7

Er leek enige interactie op te treden tussen het niveau van de voorjaarskaligift en de stikstofbemesting. In zowel Dataset 4 als 5 (Tabellen 2.6 en 2.7) was de verlaging van het onderwatergewicht door de patentkali het grootst bij de laagste stikstofgift. Nog sterker gold dat voor de chloorkaligift (Tabel 2.7).

Tabel 2.7 Onderwatergewicht (g) bij twee niveaus en twee soorten van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$) en twee niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 5.

Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Extra voorjaars-kaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali	
Advies – 75	420	406	394	407
Advies	411	401	396	403
Gemiddeld	416	404	395	405
Gem.LSD kali		5		
Gem.LSD stikstof				5
Gem.LSD kali*stikstof		8		

Tabel 2.8 Onderwatergewicht van twee rassen op twee locaties bij twee niveaus en twee soorten van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 5 (gemiddelden gebaseerd op verschillende rassen in 1990 en 1991).

Locatie	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali
RH	465	454	447
VP	378	363	354

Tabel 2.8 geeft een aanwijzing dat de voorjaarskaliumgift interactie vertoonde met de factor locatie. Op locatie VP was de verlaging van het onderwatergewicht groter dan op locatie RH. Als gevolg van de inorthogonaliteit en een mogelijke ras-kalium-interactie kan de interactie tussen locatie en kalium echter niet zuiver worden onderscheiden.

Effecten van locatie en jaar

In Tabel 2.9 zijn voor Dataset 2 per locatie de gemiddeld (over dezelfde rassen) bereikte onderwatergewichten weergegeven. In 1991 waren de verschillen gering, in 1992 werd op locatie KL het laagste, op locatie WS het hoogste onderwatergewicht bereikt. Figuur 2.1 illustreert voor Dataset 3 het verschil tussen locaties PAGV en KL. Het onderwatergewicht was in vrijwel alle gevallen op locatie KL lager dan op locatie PAGV. Het gemiddelde onderwatergewicht verschilde tussen onderzoeksjaren. De meest zuivere vergelijking is die van de jaren 1991 en 1992 in Dataset 2 (Tabel 2.9). Het betreft

hier in beide jaren dezelfde rassen. In 1991 werd een hoger onderwatergewicht bereikt dan in 1992.

Tabel 2.9 en Figuur 2.1 illustreren de interactie tussen locaties en jaren ($P < 0,001$). De verschillen tussen locaties zijn jaarlijks anders. Om die reden is het kwantitatief aangeven van LSD's niet zinvol, de verschillen hebben immers geen voorspellende waarde.

Tabel 2.9 Onderwatergewicht (g) in twee jaren op drie locaties, gemiddelden van vier rassen en drie stikstofniveaus, Dataset 2.

Locatie	Jaar	
	1991	1992
BEM	450	417
KL	456	408
WS	450	424

Discussie

Effect van ras

Uitgezonderd het ras Agria bereikten alle rassen in Datasets 1 en 2 een hoger drogestofgehalte (onderwatergewicht) dan het ras Bintje (Tabellen 2.2 en 2.3). De beproefde rassen behaalden in de onderzoeksjaren over het algemeen ruimschoots de voor verwerking tot frites gehanteerde grens van 360 gram onderwatergewicht. In de literatuur worden rasverschillen in drogestofgehalte veelvuldig vermeld (Aeppli & Keller, 1979; Burton, 1989; Vakis, 1978; Maris, 1969; Nelson et al., 1988; Stanley & Jewell, 1989).

Effect van stikstof

De invloed van stikstof op het drogestofgehalte is complex en kent verschillende aangrijpingspunten die - ook experimenteel - moeilijk of niet kunnen worden onderscheiden. In het geval dat stikstof beperkend is voor de dagelijkse drogestofproductie met als gevolg een onvolledige grondbedekking of een beperking van de assimilatiesnelheid, zal een verhoging van de gift leiden tot een hogere drogestofproductie en kan het drogestofgehalte van de knollen toenemen. Daarnaast verlengt stikstof het groeiseizoen en daarmee de totale productie van droge stof; ook hierdoor kan het drogestofgehalte van de knollen toenemen. De hogere stikstofgift verschuift echter ook de productie van de knollen naar later in het seizoen, zodat het van het oogsttijdstip afhangt of inderdaad knollen met een hoger drogestofgehalte worden geoogst (Beukema & Van der Zaag, 1979). Daarnaast verschuift een hogere stikstofgift de verdeling van droge stof tijdelijk in de richting van meer loof en kan daarmee in de richting van een lager drogestofgehalte van de knollen werken. Tot slot veroorzaakt een

hogere opname van nutriënten een hogere osmotische waarde met meer wateropname en een lager drogestofgehalte als gevolg. Het evenwicht tussen deze effecten hangt af van andere productiefactoren zoals de beschikbaarheid van water (Beukema & Van der Zaag, 1979).

Het gemiddelde effect van een verlaging van de adviesstikstofgift met $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ was in zowel Dataset 1 als 2 een zeer geringe verhoging van het onderwatergewicht. Verlaging van de adviesgift met $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ gaf in beide datasets een verhoging van het onderwatergewicht van 10 gram. Vergelijkbaar hiermee is in Dataset 3 het traject 200 tot $300 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (PAGV) resp. 150 tot $250 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (KL) hetgeen een gemiddelde verhoging van het onderwatergewicht van 11 gram gaf. In Dataset 5 gaf een verlaging van de adviesstikstofgift met $75 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ een verhoging van het onderwatergewicht met 9 gram. Ondanks het feit dat de datasets grotendeels andere jaren en/of andere rassen bestrijken, kwam het effect van een verlaging van de stikstofgift op het onderwatergewicht sterk overeen. Hoewel in individuele gevallen (proeven of jaren) het effect wat groter of kleiner was dan gemiddeld, bleek door een verlaging van de adviesstikstofgift met 100 kilo het onderwatergewicht met slechts ± 10 gram toe te nemen, hetgeen overeenkomt met $\pm 0,5 \%$ droge stof. Deze waarde komt overeen met het effect van stikstof dat uit de waarnemingen van sommige andere auteurs in dit bemestingstraject kan worden opgemaakt (Ojala et al., 1990; Van Loon & Houwing, 1989a). Jenkins & Nelson (1992) vonden in één van hun twee proefjaren een stijging van het drogestofgehalte met $0,6 \%$, als gevolg van verlaging van de stikstofgift van 240 naar $160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Het andere jaar was er geen sprake van een verhoging.

Een deel van de spreiding die wordt aangetroffen rond het gemiddelde effect van stikstof op het drogestofgehalte wordt veroorzaakt door verschillen in mineralisatie tussen jaren en locaties, ondanks het feit dat een deel ervan kan worden ondervangen door een correctie voor de bodemvoorraad in het voorjaar zoals die in de advisering is opgenomen. Dit heeft tot gevolg dat een zelfde traject van stikstofbemesting bij verschillend niveau (en verloop van) mineralisatie leidt tot een verschillend niveau van beschikbare stikstof voor het gewas. Met andere woorden: een zelfde stikstofgift kan een verschillende plaats betekenen op de X-as van de stikstofresponscurve. Mits goed meetbaar zou in onderzoek naar de effecten van stikstof op eigenschappen van gewassen de hoeveelheid beschikbare stikstof een betere maat zijn dan de stikstofgift. Een indruk van de jaar- en locatie-effecten op de mineralisatie kan worden verkregen door vergelijking van nul-stikstofobjecten. Ook het verschil tussen nulobjecten is echter moeilijk exclusief aan een verschil in mineralisatie toe te schrijven. Zo beïnvloeden neerslag en temperatuur het gewas niet alleen via de mineralisatie, maar ook via andere wegen.

Een ander deel van de spreiding wordt veroorzaakt door later te bespreken interacties.

Effecten van patent- en chloorkali

Kalium wordt verondersteld het drogestofgehalte van de knollen te beïnvloeden via de waterhuishouding van de plant (Van der Zaag & Meijers, 1970), waarbij een grotere beschikbaarheid van kalium het drogestofgehalte van de knollen verlaagt. In Dataset 4 (Tabel 2.4) bleek een extra voorjaarspatentkaligift (naast in de meeste gevallen een

ruime chloorkaligift in het voorafgaande najaar) een gemiddelde verlaging van het onderwatergewicht van 8 gram te geven. In Dataset 5 (Tabel 2.5) was het gemiddelde effect van de patentkaligift 12 gram. De laatste waarde wordt echter beïnvloed door een grote verlaging bij het ras Asterix. Wordt deze waarde buiten beschouwing gelaten, dan komt de gemiddelde verlaging op 9 gram, deze verlaging is vrijwel dezelfde als die in Dataset 4 werd gevonden.

De chloorkaligift in Dataset 5 (Tabel 2.5) verlaagde het onderwatergewicht met gemiddeld 21 gram. Dit betekent dat de vervanging van 305 kg sulfaat door 225 kg chloor gemiddeld een extra daling van het onderwatergewicht van 9 gram veroorzaakte. Dit komt goed overeen met de verlaging van 11 gram die Van Loon & Houwing (1989b) vonden als gevolg van de toediening van 200 kg chloor $\cdot \text{ha}^{-1}$ en de extra verlaging van 7 gram wanneer de chloorgift werd verhoogd tot 400 kg $\cdot \text{ha}^{-1}$. Ook in andere literatuur – betreffende vele jaren en locaties - wordt in veel gevallen een daling van het drogestofgehalte vermeld als gevolg van de toediening van patent- of chloorkali waarbij in de regel de grootste daling werd aangetroffen bij de toediening van chloorkali (Dickins et al., 1962; Eastwood & Watts, 1956; Lujan & Smith, 1964; Murphy & Goven, 1966). Dit laatste wordt evenwel niet altijd gevonden. Stanley & Jewell (1989) troffen bij bemestingsniveaus die vergelijkbaar waren met die in het hier besproken onderzoek geen verschil tussen chloorkali en kaliumsulfaat, ondanks het feit dat zij de kalium kort voor het poten toedienden.

Effect van locatie

Locatieverschillen vinden hun oorsprong in bodemeigenschappen en klimaats- en weersverschillen (Burton, 1989; Vakis, 1978). Vooral de bodemeigenschappen zijn niet erg veranderlijk en hebben vaak jaar op jaar een vergelijkbaar effect. Zo waren in Dataset 3 de onderwatergewichten op locatie KL in alle drie de onderzoeksjaren lager dan op locatie PAGV (Figuur 2.1). Van de bodem op locatie KL is bekend dat de bodem een hoog gehalte aan organische stof bevat, waardoor in de meeste seizoenen veel stikstofnalevering plaatsvindt en dat het diepe profiel een goede watervoorziening geeft. Deze factoren zijn in sterke mate verantwoordelijk voor het lagere onderwatergewicht op deze locatie.

Met name met behulp van rasverschillen kan worden ingespeeld op consistente locatie-effecten. Wanneer het bereiken van een acceptabel drogestofgehalte met bijvoorbeeld het ras Agria op locatie KL in veel jaren problematisch blijkt te zijn, dan is het telen van een ras met een hoger drogestofgehalte een bedrijfszekere middel om beter verzekerd te zijn van een voldoende hoog drogestofgehalte.

Effect van jaar

Jaarverschillen in drogestofgehalte worden in vrijwel alle onderzoeken die meerdere jaren beslaan aangetroffen (Ifenkwe & Allen, 1978; Murphy & Goven, 1966; Stanley & Jewell, 1989; Wilcockson, 1986). Ze worden voor een groot deel veroorzaakt door de meteorologische verschillen tussen jaren. Met name temperatuur, neerslag en licht spelen een belangrijke rol (Jefferies et al., 1989) door hun invloed op o.a.

stikstofmineralisatie en vochtvoorziening. Jaarverschillen in drogestofgehalte zijn dan ook een grotendeels onbeheersbaar gegeven, vooral als niet kan worden berekend. Slechts voor zover de invloed van het reeds gepasseerde deel van het groeiseizoen kan worden waargenomen of geschat, kan aan de hand hiervan in een enkel geval nog worden besloten teeltmaatregelen toe of aan te passen. Voorbeelden hiervan zijn het toepassen van berekening en het aanpassen van de stikstofgift aan de hand van het nitraatgehalte in bladstelen (van Loon & Houwing, 1989b). Op het omgaan met jaareffecten zal bij de bespreking van de interacties verder worden ingegaan.

Interacties

*Ras * stikstof*

Er was verschil tussen de rassen in reactie van het onderwatergewicht op de hoogte van de stikstofgift in Dataset 1. In Dataset 2 kon de interactie worden berekend en deze bleek statistisch betrouwbaar te zijn ($P < 0,10$). Eastwood & Watts (1956) en Schippers (1968) vonden deze interactie ook.

In Dataset 2 bleek de ras-stikstof-interactie niet door jaar of locatie te worden beïnvloed. Schippers (1968) vond ook dat de rassen op het merendeel van de locaties een zelfde reactie op stikstof vertoonden. Dit betekent dat de stikstofrespons van rassen kan worden geëxtrapoleerd naar andere locaties of jaren.

*Ras * kalium*

In Dataset 4 bleek het onderwatergewicht van de onderzochte rassen niet in gelijke mate door de patentkaligift te worden verlaagd. Er kon echter geen zuivere interactie worden berekend. Daardoor kan niet met zekerheid worden gesteld dat de verschillende reactie van de rassen niet gedeeltelijk het gevolg is van interactie met andere factoren, met name jaar en locatie. Dit is met name het geval voor de rassen Santé en Benno Vrizo, welke in de dataset waren ondervetegenwoordigd. In beide proeven waarin het ras Asterix in Dataset 5 was opgenomen (Tabel 2.1), was bij dit ras de verlaging van het onderwatergewicht door patentkali groter dan bij het andere ras in de betreffende experimenten. Experimenteel toeval valt als oorzaak niet uit te sluiten, daar in de literatuur rasverschillen van een dergelijke grootte niet worden vermeld. Stanley & Jewell (1989) en ook van Loon et al. (1989) vonden geen verschil in reactie op patentkali tussen de door hen onderzochte rassen. Schippers (1968) daarentegen vond wel een verschillende reactie van het onderwatergewicht van rassen, alhoewel de verschillen uitgedrukt in grammen onderwatergewicht klein waren. Zijn experimenten werden echter uitgevoerd op zandgrond met een geringe kaliumvoorraad, waarbij een relatief grote respons op kalium mocht worden verwacht. Naast genoemde referenties zijn er nauwelijks literatuurvermeldingen waarin sprake is van een deugdelijke vergelijking van rassen voor wat betreft verschillen in reactie van hun drogestofgehalte op patentkali.

Het gebrek aan deugdelijke referenties geldt ook de reactie op chloorkali. Eastwood & Watts (1956) vermelden interactie tussen ras en kaliumbemesting, ze vermelden echter ook dat het rasverschil van proef tot proef anders was. Dit duidt op een hogere interactie dan ras*kali: waarschijnlijk was er sprake van een interactie tussen ras, kalium, locatie

en/of jaar. Wel duidelijk zijn de gegevens van Stanley & Jewell (1989). Zij troffen geen rasverschillen aan in reactie op chloorkalibemestingen die qua niveau vergelijkbaar waren met de in Nederland gebruikelijke giften. In dit geval had zelfs een sterker effect mogen worden verwacht dan in de Nederlandse praktijk. De auteurs dienden de hoge chloorkaligiften namelijk bij het poten toe, dit in tegenstelling tot de in Nederland gebruikelijke toediening in het aan de teelt voorafgaande najaar.

*Stikstof * kalium*

Schippers (1968) vermeldt geen eenduidige stikstof-kalium-interactie. De aard van de interactie hing af van het ras. Bovendien vermeldt de auteur dat het beeld in de afzonderlijke experimenten verschillend was, waarmee een vier-factorinteractie met de teeltlocatie is aangegeven. Daar de experimenten in één jaar zijn uitgevoerd, valt niet uit te sluiten dat ook het teeltseizoen een rol speelt waarmee het niveau van de interactie wellicht op vijf gekomen zou zijn. Eastwood & Watts (1956) vermelden ook interactie tussen stikstof en kalium, echter ook met de vermelding dat grootte en zelfs richting van de interactie niet consistent waren. Dit was ook het geval in Datasets 4 en 5. Trends waren in een aantal gevallen inconsistent en soms zelfs logischerwijze onmogelijk, de interactie met rassen is dan ook niet weergegeven. Zeer waarschijnlijk maken veld- en monstervariatie een betrouwbare vaststelling van de interacties voor de verschillende rassen in deze dataset onmogelijk.

*Locatie * jaar*

Tabel 2.9 illustreert dat er interactie tussen locatie en jaar optrad. Het onderwatergewicht bleef op locatie KL in 1992 lager dan op de andere twee locaties, terwijl dat in 1991 niet het geval was. De meest waarschijnlijke oorzaak is de invloed van de hoge potentiële mineralisatie van stikstof op locatie KL. De werkelijke mineralisatie en het verloop ervan hangen af van het verloop van temperatuur en neerslag gedurende het groeiseizoen. Jaren met gunstige omstandigheden voor mineralisatie van stikstof veroorzaken op locatie KL in sterkere mate een lager onderwatergewicht dan op de andere twee locaties. Een hoge beschikbaarheid van stikstof verlaagt immers het onderwatergewicht.

*Ras * locatie * jaar*

In de hier gepresenteerde datasets kwam interactie tussen ras, locatie en teeltjaar voor. Een voorbeeld hiervan is te zien in Dataset 3 (Figuur 2.1). In Dataset 2 bleek de interactie zelfs hoogsignificant ($P < 0,001$) te zijn.

Sommige auteurs vermelden dat de interactie tussen rassen en locaties (Killick & Simmonds, 1974; Vakis, 1978), alsmede tussen rassen en jaren (Vakis, 1978), klein is. Ook Nash (1941) vermeldt dat de rangvolgorde van het drogestofgehalte van rassen weliswaar behoorlijk constant is, maar dat kleine verschuivingen kunnen optreden. Schippers (1968) vermeldt een hoogsignificante interactie tussen locatie en ras. Aeppli & Keller (1979) vonden ook interactie van rassen met locatie en jaar, in dit geval was er sprake van grotere geografische afstanden en dito klimatologische verschillen.

Deze interactie houdt in dat er - zelfs na beproeving van rassen - altijd enige onzekerheid bestaat over de (omvang van) de reactie van het onderwatergewicht van een ras wanneer het in enig jaar op een bepaalde locatie wordt geteeld.

*Locatie * stikstof*

Dat er interactie kan optreden tussen locatie en stikstofgift wordt ook vermeld door Schippers (1968). Hij stelde echter dat de grootte van de interactie niet van praktische betekenis was. De conclusie van Schippers (1968) kan mede gebaseerd zijn op relatief kleine verschillen in bodemeigenschappen tussen de bodems van de experimenten. In Dataset 3 (Figuur 2.1) was er in een aantal gevallen sprake van een verschil tussen de locaties in respons van het onderwatergewicht op de stikstofgift. Locatie KL heeft een hogere mineralisatiepotentie dan locatie PAGV. Een hogere mineralisatiegraad op locatie KL is zeker gedeeltelijk verantwoordelijk voor de veelal geringere respons van het onderwatergewicht op vergelijkbare stikstofgiften.

Locatie en stikstof vertonen echter ook interactie met het teeltseizoen. In Dataset 3 (Figuur 2.1) wordt dit zichtbaar uit het feit dat het verschil tussen locaties in respons op stikstof niet alle jaren even groot was. De experimenten van Schippers (1968) vonden plaats in één teeltseizoen, hetgeen een seizoen geweest kan zijn waarin de interactie tussen stikstof en de betreffende locaties in geringe mate tot uiting kwam.

*Jaar * stikstof*

In het optreden van een interactie tussen jaar en stikstof moet een deel van de verklaring eveneens worden gezocht in de mineralisatiegraad. Op locatie KL kan in potentie veel stikstof mineraliseren. De weersomstandigheden zijn een belangrijke oorzaak voor het optreden van jaarverschillen. De geringere stikstofrespons en de lagere niveaus van het onderwatergewicht in 1989 en 1992 (Figuur 2.1b en f) duiden er op dat er in die jaren meer mineralisatie heeft plaatsgevonden dan in 1990 (Figuur 2.1d). Hoge temperatuur en de beschikbaarheid van water bevorderen de mineralisatie. De gemiddelde temperatuur in de periode juni tot en met augustus was in de jaren 1989, 1990 en 1992 resp. 16,8, 16,2 en 17,2 °C de neerslag in die periode bedroeg resp. 185, 132 en 265 mm. De omstandigheden waren dus in 1990 het ongunstigst voor mineralisatie. Het optreden van jaarverschillen in stikstofrespons werd ook waargenomen door Jenkins & Nelson (1992), zij bieden echter geen verklaring.

Bij de stikstofbemesting kan worden geanticipeerd op de ervaring dat een bepaalde locatie een hogere potentiële mineralisatie heeft. Daarnaast kunnen op sterk mineraliserende gronden stikstofbijmestsystemen helpen bij het aanpassen van de stikstofgift aan de behoefte van het gewas en de nalevering uit de grond. Deze systemen ondervangen echter alleen de variatie die optreedt in het eerste deel van het seizoen. Met genoemde systemen kan gemiddeld tot half juli tot op zekere hoogte worden bijgestuurd, daarna niet meer.

Naast de mineralisatie is er een veelheid van andere factoren die jaarverschillen in stikstofrespons kunnen veroorzaken, zo heeft bijvoorbeeld een slechte bodemstructuur niet alleen invloed op de beschikbaarheid van stikstof, maar ook op die van andere nutriënten en water. Voor het in verband brengen van dit soort potentiële invloeden met

de respons van het onderwatergewicht op stikstof ontbreekt het in deze datasets aan waarnemingen. Dit soort verbanden zou bovendien van geringe praktische betekenis zijn, daar een verband of zelfs een verklaring niet leidt tot een voorspelling, zolang het weerverloop niet voorspelbaar is op een veel langere termijn dan op dit moment het geval is.

Implicaties

Wetenschappelijk

- De factoren ras, stikstof- en kaliumbemesting vertonen niet alleen onderling interactie, maar ook met de factoren teeltlocatie en -seizoen. Het is dan ook onmogelijk om over het kwantitatieve effect van deze factoren op het drogestofgehalte (onderwatergewicht) gedetailleerde betrouwbare uitspraken te doen. Uit een grote hoeveelheid cijfers kan van sommige factoren en interacties een goede indruk worden verkregen van hun gemiddelde effect. Men moet echter rekening houden met een aanzienlijke variatie tussen met name combinaties van jaren en locaties, bovendien worden de effecten van de factoren ras, stikstof- en kaliumbemesting door deze combinaties van jaren en locaties beïnvloed.
- Rasverschillen in reactie van het onderwatergewicht op stikstof, kalium- en chloorbemesting waren klein en hadden geen betrekking op de richting, maar op de omvang van de effecten. Betrouwbare vaststelling met behulp van veldproeven zou door de vele interacties die optreden - onder andere met teeltjaar en locatie - grootschalig onderzoek nodig maken.

Praktisch

- Een hogere stikstofbemesting verlaagt het onderwatergewicht. In het onderzochte traject van adviesgift minus 100 kg N·ha⁻¹ tot de adviesgift bleef de verlaging beperkt tot ± 10 gram onderwatergewicht, hetgeen overeenkomt met 0,5 % droge stof. De respons verschilt echter tussen locaties en jaren.
- Hogere kalium- en chloorbemesting verlagen eveneens het onderwatergewicht. Een extra patentkaligift van 300 kg K₂O·ha⁻¹ in het voorjaar gaf in twee datasets resp. 8 en 12 gram verlaging van het onderwatergewicht. Consistente interactie tussen stikstof en patent- of chloorkali werd niet aangetroffen, consistente rasverschillen in reactie op deze elementen evenmin. Dit onderzoek geeft dan ook geen aanleiding om meer onderzoek te doen naar rasverschillen in de respons van het onderwatergewicht op stikstof, kalium en chloor.
- Jaar- en locatie-effecten en hun interacties met elkaar, met ras en met stikstof gaven wél aanzienlijke effecten op het onderwatergewicht.
- Het wetenschappelijk probleem van jaar- en locatieverschillen en hun interacties met ras en bemesting vormt ook een praktisch probleem. Ondanks het feit dat voor verschillende factoren een redelijke indruk kan worden verkregen van de effecten die ze veroorzaken, is er ieder teeltseizoen onzekerheid over het drogestofgehalte dat zal worden bereikt met een zeker ras op een zekere locatie bij een zeker

niveau van stikstof- en kaliumbemesting. Zolang het weersverloop niet op lange termijn kan worden voorspeld zal de invloed ervan - en daarmee ook de invloed van de factoren die interactie vertonen met dat weersverloop - onzekerheid veroorzaken.

Literatuur

- Aeppli, A. & E.R. Keller, 1979. Einfluß des Standortes auf die Blauempfindlichkeit der Kartoffelknollen, Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 148, p. 115-130.
- Beukema, H.P. & D.E. van der Zaag, 1979. Potato Improvement; some factors and facts, IAC, Wageningen, 224 pp.
- Beukema, H.P. & D.E. van der Zaag, 1990. Introduction to potato production, PUDOC, Wageningen, 208 pp.
- Burton, W.G., 1989. The Potato, 3rd edition, Harlow, Longman Scientific & Technical, 742 pp.
- Dickins, J.C., F.E.G. Harrap & M.R.J. Holmes, 1962. Field experiments comparing the effects of muriate and sulphate of potash on potato yield and quality, Journal of Agricultural Science 59, p. 319-326.
- Eastwood, T. & J. Watts, 1956. The effect of potash fertilization upon potato chipping quality IV. Specific gravity, American Potato Journal 33, p. 265-268.
- Ifenkwe, O.P. & E.J. Allen, 1978. Effects of tuber size on dry matter content of tubers during growth of two main crop varieties, Potato Research 21, p. 105-112.
- Jefferies, R.A., T.D. Heilbronn & D.K.L. MacKerron, 1989. Estimating tuber dry matter concentration from accumulated thermal time and soil moisture, Potato Research 32, p. 411-417.
- Jenkins, P.D. & D.G. Nelson, 1992. Aspects of nitrogen fertilizer rate on tuber dry matter content of potato cv. Record, Potato Research 35, p. 127-132.
- Killick, R.J. & N.W. Simmonds, 1974. Specific gravity of potato tubers as a character showing small genotype-environment interactions, Heredity 32, p. 109-112.
- Loon, C.D. van & J.F. Houwing, 1989a. Optimalisering van de stikstofvoeding van consumptie-aardappelen, Lelystad, PAGV, Publikatie 42, 90 pp.

- Loon, C.D. van & J.F. Houwing, 1989b. Het effect van een chloorbemesting op blauwgevoeligheid, onderwatergewicht, bakkwaliteit en opbrengst van enkele consumptie-aardappelrassen, In: Jaarboek 1988/'89, Lelystad, PAGV, Publicatie 49, p. 17-23.
- Loon, C.D. van, J.W. Ludwig & K.J. Hartmans, 1989. Effect van een overbemesting met kali in combinatie met beregening op de blauwgevoeligheid en de verwerkingskwaliteit van consumptie-aardappelen, In: Jaarboek 1988/'89, Lelystad, PAGV, Publicatie 49, p. 23-31.
- Ludwig, J.W., 1972. Bepaling van het drogestofgehalte van aardappelen via onderwaterweging, Publicatie 247, IBVL, Wageningen, 12 pp.
- Lujan, L. & O. Smith, 1964. Potato quality XXV. Specific gravity and after cooking darkening of Katahdin potatoes as influenced by fertilizers, American Potato Journal 41, p. 274-278.
- Maris, B., 1969. Studies on maturity, yield, under-water weight and some other characteristics of potato progenies, Euphytica 18, p. 197-319.
- Murphy, H.J. & M.J. Goven, 1966. The last decade in 38 years of potash studies for potato fertilizers in Maine, American Potato Journal 43, p. 122-127.
- Nash, L.B., 1941. Potato Quality IV. Relation of variety and environmental conditions to partial composition and cooking quality, American Potato Journal 18, p. 91-99.
- Nelson, D.G., P.D. Jenkins & T.C. Gillison, 1988. Processing potential of potato cultivars at early harvests, Potato Research 31, p. 633-642.
- Ojala, J.C., J.C. Stark & G.E. Kleinkopf, 1990. Influence of irrigation and nitrogen management on potato yield and quality, American Potato Journal 67, p. 29-43.
- Robinson, D.L., R. Thompson & P.G.N. Digby, 1982. REML - a program for the analysis of non-orthogonal data by restricted maximum likelihood, In: Compstat 1982, part II (supplement), Wien, Physica-Verlag, p. 231-232.
- Schippers, P.A., 1968. The influence of rates of nitrogen and potassium application on the yield and specific gravity of four potato varieties, European Potato Journal 11, p. 23-33.
- Stanley, R. & S. Jewell, 1989. The influence of source and rate of potassium fertilizer on the quality of potatoes for french fry production, Potato Research 32, p. 439-446.

Vakis, N.J., 1978. Specific gravity, dry matter content and starch content of 50 potato cultivars grown under Cyprus conditions, Potato Research 21, p. 171-181.

Wilcockson, S.J., 1986. Effects of defoliation and time of harvest on tuber dry matter percentage of Pentland Crown potatoes, Journal of Agricultural Science 107, p. 723-733.

Zaag, D.E. van der & C.P. Meijers, 1970. Black spot - practical aspects, Proceedings of the 4th Triennial Conference of the EAPR, Brest 8-13 Septembre 1969, 298 pp.

Hoofdstuk 3

**Het effect van oogsttijdstip op het
drogestofgehalte van aardappelknollen en
identificatie van bronnen voor variatie in het
gehalte binnen partijen**

met P.C. Struik, P.C.J.M. Timmermans en W. van de Berg

Inleiding

Het drogestofgehalte van een partij aardappelen is een belangrijke eigenschap. Het is één van de factoren die bepalen of een partij consumptieaardappelen geschikt is voor een bepaalde bestemming. In Hoofdstuk 2 werd hierop dieper ingegaan alsmede op de omgevingsfactoren en teeltmaatregelen die het drogestofgehalte van een partij aardappelen beïnvloeden.

Er komen niet alleen grote verschillen in drogestofgehalte tussen partijen voor, ook binnen één en dezelfde partij aardappelen komen knollen voor met zeer verschillende drogestofgehalten (Meijers & van Veldhuisen, 1968; Cole, 1975; Svensson, 1972). Deze verschillen hebben voor het eindproduct dezelfde consequenties als de verschillen tussen partijen. In dit geval komen de verschillen in drogestofgehalte tot uiting in de variatie van het eindproduct binnen die ene partij. Zo kunnen tafelaardappelen uit één zakje verschillende kookeigenschappen hebben. Bij voorgebakken producten kan in één verpakking een zeer uiteenlopende textuur worden aangetroffen. Voor een eindproduct met zo constant mogelijke eigenschappen is het gewenst dat ook de eigenschappen van de aardappelen binnen een partij zo veel mogelijk uniform zijn (Meijers & van Veldhuisen, 1968). Bij de verwerking van zetmeelaardappelen is het met het oog op een hoog rendement gewenst dat alle knollen een hoog drogestofgehalte bezitten.

In veel onderzoeken werd een verband tussen de knolgrootte en het drogestofgehalte vastgesteld: naarmate de knollen groter worden, neemt over het algemeen hun drogestofgehalte toe tot een maximum waarna vaak weer een lichte afname volgt (Meijers & van Veldhuisen, 1970; Wurr & Allen, 1974; Wilcockson, 1986). Voor bepaalde bestemmingen worden vaak knollen van een begrensde sortering gebruikt: bijvoorbeeld de maat 40/50 mm voor tafelaardappelen of knollen groter dan 50 mm voor de productie van patates frites. Binnen deze fracties kan het verband tussen het knolgewicht en drogestofgehalte gering of niet herkenbaar zijn (Craft & Heinze, 1951; Wilcockson, 1986). Toch bestaat er ook in deze gesorteerde partijen dikwijls een grote variatie in het drogestofgehalte van knollen (Heinze & Craft, 1952; Lana et al., 1970). Hieruit volgt dat de relatie tussen knolgrootte en drogestofgehalte slechts verantwoordelijk is voor een deel van de variatie in drogestofgehalte binnen een partij.

Met behulp van zoutbaden is het mogelijk om knollen van een partij te verdelen in fracties met een verschillend drogestofgehalte (Meijers & van Veldhuisen, 1972). Dit wordt in de praktijk soms gedaan bij partijen waarin als gevolg van doorwas (Lugt, 1960, Veerman & Van Loon, 1995 a, b en c) knollen met een zeer laag onderwatergewicht voorkomen. Deze zgn. glazige knollen zijn voor alle bestemmingen onbruikbaar. Met behulp van een zoutbad kunnen de glazige knollen van de rest van de partij worden gescheiden. Hoewel technisch mogelijk, zou het - naast het onderscheiden van partijen en sortering - een kostbare zaak zijn om als standaardprocedure met behulp van zoutbaden partijen te scheiden in fracties van drogestofgehalte, om daarmee een geringere variatie van het drogestofgehalte en daarmee van de gebruikseigenschappen te bewerkstelligen.

Het is bekend dat rassen kunnen verschillen in de mate van variatie die het drogestofgehalte binnen een partij vertoont (Lana et al., 1970; Cole, 1975). Het

gemiddelde drogestofgehalte geeft volgens Lana et al. (1970) geen indicatie voor de mate van variatie. Bij de introductie van nieuwe rassen kan men dus aan de hand van het gemiddelde drogestofgehalte geen voorspelling doen over de grootte van de variatie binnen partijen van een ras. Deze moet voor ieder ras afzonderlijk worden vastgesteld.

In Hoofdstuk 2 werd reeds vastgesteld dat het gemiddelde drogestofgehalte van een partij aardappelen onder andere wordt beïnvloed door het ras, de stikstof- en kalibemesting, het groeiseizoen en de locatie. Het was echter de vraag of ook de variatie die het drogestofgehalte binnen een partij vertoont, door diezelfde factoren wordt beïnvloed. Deze vraag vormde de aanleiding om onderzoek te doen naar de variatie in drogestofgehalte tussen en binnen partijen aardappelen en de invloed van ras, jaar, locatie en stikstofbemesting hierop.

Daarnaast werden experimenten uitgevoerd om meer kennis te verkrijgen over de manier waarop de variatie in drogestofgehalte tijdens de groei van het gewas resp. de plant tot stand komt. Hiertoe werd onderzocht welke bijdrage resp. plaats in het veld, planten en stengels leveren aan de totale variatie en hoe een aantal van deze componenten zich tijdens de groei ontwikkelt.

Materiaal en methoden

Bepaling van het soortelijk gewicht

Het soortelijk gewicht van aardappelen kan men vaststellen in zoutoplossingen van verschillende concentraties. Naarmate de opeenvolgende zoutoplossingen minder van elkaar verschillen kan het soortelijk gewicht nauwkeuriger worden bepaald (Lugt, 1960; Van de Klundert, 1973). Het soortelijk gewicht (SG) vertoont een nauwe relatie met het onderwatergewicht (OWG):

$$SG = \frac{5000}{5000 - OWG} \quad (3.1)$$

Bepaling van het onderwatergewicht

De bepaling van het onderwatergewicht geeft een goede schatting van het drogestofgehalte. Het standaard onderwatergewicht (OWG) is gedefinieerd als het aantal grammen dat 5 kilogram schone aardappelen onder water weegt (Ludwig, 1972). Ludwig (1972) beschreef de relatie tussen drogestofgehalte en onderwatergewicht van knollen van Nederlandse kleigronden als:

$$drogestofgehalte = 0,0492 \times OWG + 2,00 \quad (3.2)$$

Deze relatie had een correlatiecoëfficiënt van 0,974 ($n = 150$, $se = 0,57$). Dit betekent dat een betrouwbare schatting van het drogestofgehalte van knollen kan worden verkregen door er het onderwatergewicht van te bepalen. De bepaling wordt in de praktijk veel gebruikt vanwege haar eenvoud en vanwege de snelheid waarmee ze kan worden

uitgevoerd. Het onderwatergewicht is in Nederland de meest gebruikte maat voor het drogestofgehalte.

Bepaling van het drogestofgehalte

De knollen werden gewassen, afgedroogd en individueel gewogen om het versgewicht te bepalen. De knollen werden vervolgens in plakjes van maximaal enkele millimeters dikte gesneden en 24 uur gedroogd bij 105 °C, waarna per knol het drooggewicht werd bepaald. Het drogestofgehalte van individuele knollen wordt dan als volgt berekend:

$$\frac{\text{drooggewicht}}{\text{versgewicht}} \times 100\% \quad (3.3)$$

Voor het gemiddelde drogestofgehalte van meerdere knollen geldt:

$$\overline{\text{drogestofgehalte}} = \frac{\sum \text{drooggewicht}}{\sum \text{versgewicht}} \times 100\% \quad (3.4)$$

Met Vergelijkingen (3.1 en 3.2) kunnen drogestofgehalte en soortelijk gewicht naar elkaar worden omgerekend.

Experimenten

In Experimenten 1 tot en met 19 waren de rassen Agria, Asterix, Aziza, Benno Vrizo, Maritiema, Morene, Santé, Van Gogh en Bintje opgenomen. Bintje werd als in Nederland meest geteeld ras als standaard in de proeven opgenomen. In de resultaten wordt dit ras dan ook op een vaste plaats onder in de tabellen weergegeven. De experimenten werden in de jaren 1988 tot en met 1992 in drievoud aangelegd op de regionale onderzoekcentra Prof.Dr. J.M. van Bemmelenhoeve (BEM) te Middenmeer, De Kandelaar (KL) te Biddinghuizen, Rusthoeve (RH) te Colijnsplaat, Vredepeel (VP) te Vredepeel, Wijnandsrade (WR) te Wijnandsrade en Westmaas (WS) te Westmaas en het Proefstation voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt (PAGV) te Lelystad. Locatie Vredepeel betrof zandgrond, de andere locaties betrof kleigrond van uiteenlopende zwaarte. Niet alle rassen konden ieder jaar op elke locatie worden verbouwd. Tabel 3.1 geeft weer welke rassen in de verschillende jaren op de diverse regionale onderzoekscentra zijn geteeld.

De stikstofbemesting bedroeg in de Experimenten 1 tot en met 13 235 kg N·ha⁻¹ minus 1,1 maal de minerale bodemvoorraad in het voorjaar.

Per veldje (netto 15 m²) werd bij de oogst van deze experimenten een monster genomen van ± 15 kg knollen groter dan 50 mm, hetgeen correspondeert met een ondergrens voor het knolgewicht van ongeveer 75 gram. De meeste monsters bevatten 100 à 150 knollen. De monsters werden met behulp van zoutbaden gescheiden in fracties van soortelijk gewicht. Het zoutbad met de laagste concentratie kwam overeen met een onderwatergewicht van 320 gram. De volgende baden kwamen overeen met hogere onderwatergewichten oplopend in stappen van 40 gram tot 560 gram. Uit de

gewichtsfracties werd het gemiddelde onderwatergewicht berekend alsmede de variatie die het onderwatergewicht van de knollen binnen het totale monster vertoonde.

Tabel 3.1 Overzicht van jaar en locatie van uitvoering van experimenten (zie sectie Experimenten in Materiaal en methoden voor verklaring van de locatie-codes), de daarin opgenomen rassen, stikstof- en kaliumniveaus, alsmede de samenstelling van datasets uit de experimenten.

Experiment	Jaar	Locatie	Rassen	Aantal niveaus		Dataset				
				Oogsttijd	Stikstof	1	2	3	4	5
1	1988	BEM	Agria, Morene, Bintje	1	1	x				
2	1988	KL	Agria, Van Gogh, Bintje	1	1	x				
3	1988	RH	Morene, Van Gogh, Bintje	1	1	x				
4	1988	WS	Agria, Morene, Van Gogh, Bintje	1	1	x				
5	1989	KL	Morene, Santé, Van Gogh, Bintje	1	1	x				
6	1989	RH	Agria, Benno Vrizo, Santé, Bintje	1	1	x				
7	1989	VP	Benno Vrizo, Morene, Van Gogh, Bintje	1	1	x				
8	1989	WS	Agria, Benno Vrizo, Morene, Bintje	1	1	x				
9	1990	BEM	Bintje	1	1	x				
10	1990	KL	Bintje	1	1	x				
11	1990	RH	Santé	1	1	x				
12	1990	VP	Benno Vrizo, Santé, Bintje	1	1	x				
13	1990	WR	Benno Vrizo, Bintje	1	1	x				
14	1991	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	1	2			x		
15	1991	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	1	2			x		
16	1991	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	1	2			x		
17	1992	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	1	2			x		
18	1992	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	1	2			x		
19	1992	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	1	2			x		
20	1989	PAGV	Morene, Bintje	4	5				x	
21	1989	KL	Morene, Bintje	4	5				x	
22	1990	PAGV	Morene, Bintje	4	5				x	
23	1990	KL	Morene, Bintje	4	5				x	
24	1992	PAGV	Morene, Bintje	5	5				x	
25	1992	KL	Morene, Bintje	5	5				x	
26	1987	AGRO	Prominent	1	1					x
27	1988	AGRO	Prominent	3	1					x
28	1994	FLEVO	Asterix	1	2					x
29	1994	HEELSUM	Karnico	1	1					x

In Experimenten 14 tot en met 19 bedroeg de hoogste stikstofgift de Bintje-adviesgift: 285 kg N·ha⁻¹ minus 1,1 maal de minerale bodemvoorraad in het voorjaar, de lage gift bedroeg 100 kg N·ha⁻¹ minder. Van de monsters uit deze experimenten werd aan 100 knollen van minimaal 75 gram individueel het boven- en onderwatergewicht vastgesteld.

Uit deze gegevens werd het gemiddelde onderwatergewicht berekend en de variatie daarvan binnen de monsters.

In de Experimenten 22 tot en met 27 werd een breder traject van stikstofgiften aangelegd. Op locatie PAGV werd resp. 0, 100, 200, 300 en 400 kg N·ha⁻¹ toegediend, op KL was dat in verband met de grotere stikstofrijksdom van de bodem 0, 50, 150, 250 en 350 kg N·ha⁻¹. In 1989 en 1990 werd op vier tijdstippen het onderwatergewicht en het percentage grondbedekking bepaald: 28 en 14 dagen voor loofdoding, op de dag van loofdoding en 14 dagen daarna. In 1992 gebeurde dat een keer vaker en bovendien eerder: 42 dagen voor loofdoding. De loofdoding vond op locatie PAGV in 1989, 1990 en 1992 resp. plaats 135, 133 en 112 dagen na het planten, op locatie KL was dat resp. 139, 149 en 120 dagen.

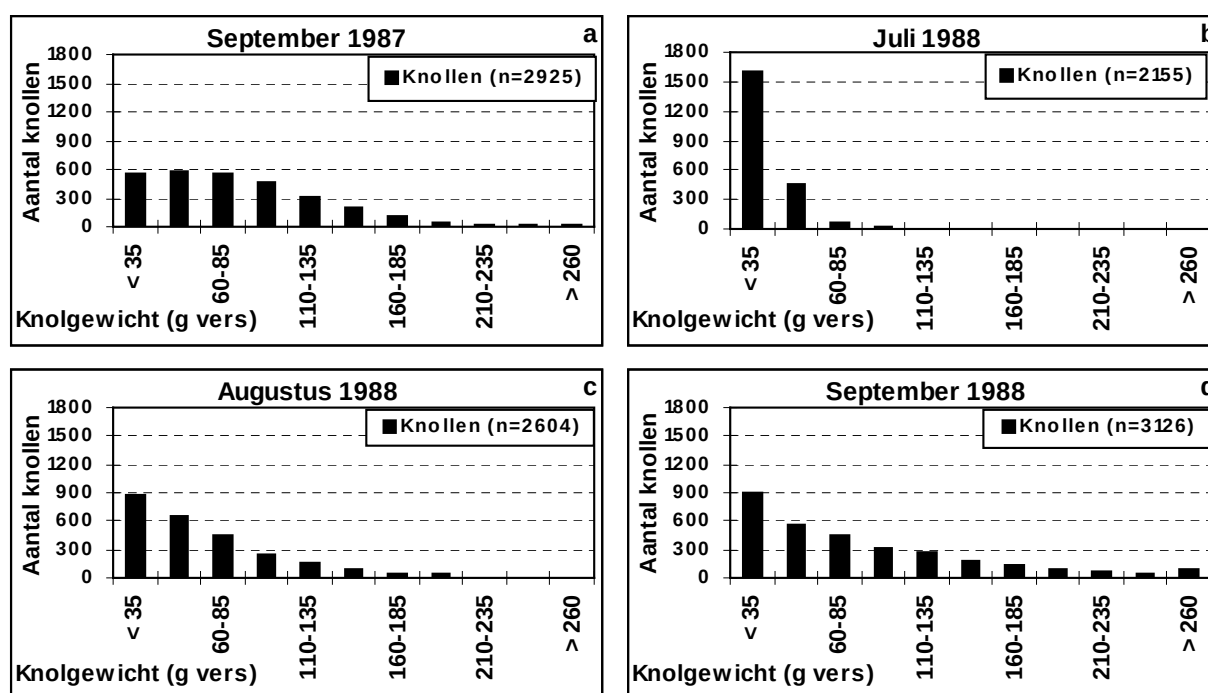
Het percentage grondbedekking met groen loof werd wekelijks vastgesteld omdat zij een goede maat is voor de onderschepping van licht (Burstall & Harris, 1983; Haverkort et al., 1991) en daarmee een goede maat voor de productie(potentie) van het gewas (Allen & Scott, 1980) vóór loofdoding. Deze experimenten werden in viervoud aangelegd.

In de Experimenten 26 en 27 werden uit een praktijkperceel van het ras Prominent van de vakgroep Agronomie van de Landbouw Universiteit Wageningen (locatie AGRO) 26 rijen (blokken) van 10 planten geoogst. Hierbij werden de knollen per plant gescheiden gehouden. Bij onzekerheid over de herkomst van een knol werd de gehele plant terzijde gelegd. Er werd niet in randrijen of rijen naast trekkersporen geoogst. In 1987 werd geoogst in september ($\pm$ 150 dagen na planten), in 1988 in juli, augustus en september (90, 118 en 154 dagen na planten). Van deze oogsten bleven resp. 199, 197, 199 en 195 planten met betrouwbare gegevens over. Tijdens de opslag bij 4 °C gedurende 0 tot 10 en 9 tot 16 dagen in resp. 1987 en 1988 trad een gewichtsafname op van resp. 0 tot 1 en 1 tot 2 %. Deze afname was in hoofdzaak het gevolg van vochtverlies. Knollen met een versgewicht van minder dan 10 gram werden buiten de monsters gehouden. Het drogestofgehalte per knol werd middels droging bepaald volgens de eerder beschreven procedure.

De planten van Experimenten 26 en 27 lieten zich als volgt karakteriseren. De frequentieverdeling van het versgewicht aan knollen per plant kenmerkte zich in september van beide jaren door een piek bij 900 tot 1200 gram versgewicht. De verdeling was in beide jaren even breed, de piek was echter hoger in 1987. In juli, augustus en september 1988 bevond de piek van de verdeling zich resp. bij 0 - 300, 600 - 900 en 900 - 1200 gram, bovendien werd de piek lager in de loop van de tijd. De verdeling had in alle gevallen een positieve scheefheid, dat wil zeggen dat de verdeling een grotere uitloop naar zwaardere dan naar lichtere klassen had.

De verdeling van het aantal knollen over klassen van knolgewicht (Figuur 3.1) liet een veel grotere scheefheid zien dan de hierboven beschreven verdeling van het aantal planten over het versgewicht per plant. Bovendien werd de scheefheid in de loop van 1988 veel sterker. De piek van de verdeling verschoof echter niet. In september 1987 lag het zwaartepunt in de laagste drie klassen (10-35; 35-60; 60-85 gram). In 1988 bevond het zwaartepunt zich op alle drie de oogsttijdstippen in de klasse 10-35 gram. In augustus was de hoogte van het zwaartepunt ten opzichte van juli bijna gehalveerd, in september was ze nog even hoog als in augustus. Het totaal aantal knollen >10 gram

van de planten tezamen nam in 1988 toe van 2155 tot resp. 2604 en 3124 knollen. Dit heeft te maken met de gehanteerde ondergrens van 10 gram die door een deel van de knollen pas bij de latere oogsten werd gepasseerd. Er zijn geen waarnemingen gedaan waaruit kan worden opgemaakt in hoeverre er daarnaast sprake is geweest van laat aangelegde knollen.



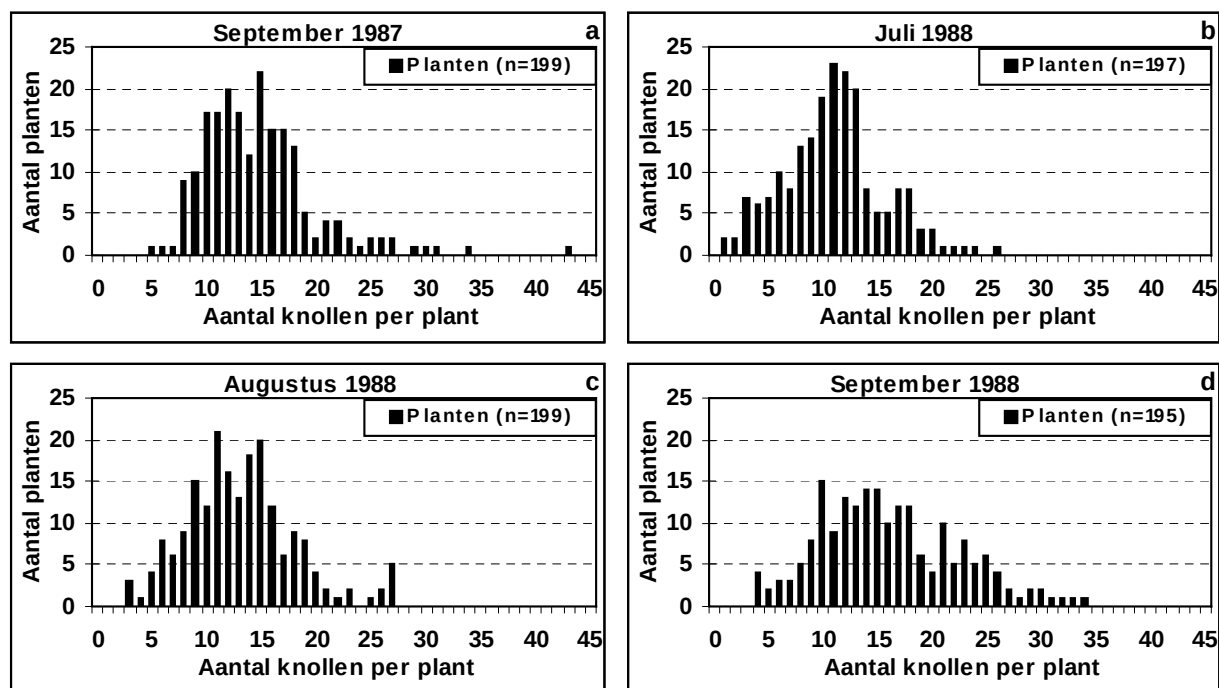
Figuur 3.1 Frequentieverdeling van het aantal knollen over klassen van knolgewicht (g vers) op vier tijdstippen, ras Prominent, Dataset 4.

De frequentieverdelingen van het aantal planten over het aantal knollen per plant zijn weergegeven in Figuur 3.2. Deze verdelingen hadden een positieve scheefheid, die in de loop van 1988 sterker werd. De piek van de verdeling verschoof naar een groter aantal knollen per plant (overeenkomstig de toename van het aantal knollen in de tijd), terwijl ze gelijktijdig minder hoog werd. In deze experimenten werden de drogestofgehaltes per knol en per plant vastgesteld.

In de Experimenten 28 en 29 werden de knollen per plant en per stengel geoogst teneinde een indruk te verkrijgen van de mate waarin de verschillende planten en de stengels van een plant kunnen bijdragen aan de variatie in drogestofgehalte. Het betrof voor het ras Asterix een praktijkperceel op kleigrond in Biddinghuizen (Flevoland) en voor het ras Karnico een praktijkperceel op zandgrond in Heelsum (Gelderland). Bij Asterix werd naast de praktijkstikstofgift een tweede stikstofniveau aangelegd door ± 10 dagen na knolaanleg $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ in de vorm van kalkammonsalpeter bij te strooien. Bij beide stikstofniveaus werden 15 planten geoogst. Bij het ras Karnico ging het alleen om de

praktijkstikstofgift waarvoor 30 planten werden geoogst. Het drogestofgehalte werd vastgesteld volgens de hiervoor beschreven procedure.

In alle experimenten vonden de teeltmaatregelen - afgezien van de proeffactoren - plaats volgens regionale praktijk.



Figuur 3.2 Frequentieverdeling van het aantal planten over het aantal knollen per plant op vier tijdstippen, ras Prominent (Dataset 4).

Datasets

Uit de Experimenten 1 tot en met 29 werden datasets samengesteld waarmee het effect van het oogsttijdstip op het drogestofgehalte en de effecten op variatie in drogestofgehalte van rassen, stikstofbemesting, locaties en jaren konden worden vastgesteld. Daarnaast werd de invloed van individuele planten en stengels op de variatie vastgesteld. Tabel 3.1 geeft weer welke experimenten in de verschillende datasets werden opgenomen. In het navolgende wordt aangegeven met welke datasets de effecten van de verschillende factoren werden geanalyseerd.

Effect van oogsttijdstip

Het verloop van het drogestofgehalte tijdens het laatste deel van het groeiseizoen en de relatie met het verloop van de grondbedekking met groen loof wordt behandeld aan de hand van de experimenten in Dataset 3, waarin 4 of 5 oogsttijdstippen waren opgenomen.

Effect van ras

Voor het vaststellen van raseffecten zijn Datasets 1, 2 en 3 gebruikt. Interacties met locatie en jaar konden alleen in Datasets 2 en 3 worden berekend.

Effect van stikstof

Datasets 2 en 3 zijn gebruikt voor de analyse van stikstofeffecten en de interacties met andere factoren

Effecten van locatie en jaar

Deze effecten worden aan de hand van Datasets 2 en 3 behandeld. Deze Datasets bevatten over de jaren en locaties dezelfde rassen, waardoor de beste indruk ontstaat van locatie- en jaareffecten en interacties daarmee.

Variatiebronnen

Met behulp van Datasets 1 en 2 is berekend in welke mate de spreiding in drogestofgehalte tussen dan wel binnen experimentele eenheden werd aangetroffen. Datasets 4 en 5 zijn gebruikt om het verloop van de variatie tijdens het groeiseizoen vast te stellen en om vast te stellen welke rol afzonderlijke planten en afzonderlijke stengels spelen in de variatie in drogestofgehalte tussen individuele knollen.

Berekeningswijzen

In Datasets 1 en 2 zijn onderstaande berekeningswijzen toegepast.

Het gemiddelde onderwatergewicht van een monster werd berekend als:

$$\overline{OWG} = \frac{\sum_{i=1}^n (OWG_i \times GEWICHT_i)}{\sum_{i=1}^n GEWICHT_i} \quad (3.5)$$

De variantie van het onderwatergewicht werd als volgt berekend:

$$VAR(\overline{OWG}) = \frac{\sum_{i=1}^n (GEWICHT_i \times (OWG_i - \overline{OWG})^2)}{\sum_{i=1}^n GEWICHT_i} \quad (3.6)$$

Hierbij is OWG_i in Vergelijkingen (3.5) en (3.6) bij Dataset 1 het midden van de onderwatergewichtsfractie i . Bij Dataset 2 kan echter uit de boven- en onderwatergewichten van de individuele knollen ook het rekenkundig gemiddelde van de per knol berekende onderwatergewichten worden berekend:

$$OWG_i = \frac{\sum_{k=1}^m \left(\frac{owg_k}{bwg_k} \times 5000 \right)}{m} \quad (3.7)$$

waarin owg en bwg staan voor het aantal grammen dat een knol resp. onder en boven water weegt en k staat voor een individuele knol in de onderwatergewichtsfractie i. Voor Dataset 2 zijn beide berekeningswijzen toegepast.

In Datasets 3 en 4 werd bij het vaststellen van gemiddelden per blok, plant en stengel het gewogen gemiddelde berekend d.w.z. (som drooggewichten/som versgewichten) * 100 %.

Statistische verwerking

De inorthogonale Dataset 1 is verwerkt met behulp van het REML-commando in GENSTAT 5, release 2.1. REML (Restricted Maximum Likelihood) is een algoritme waarmee inorthogonale proeven met meerdere strata kunnen worden verwerkt (Robinson et al., 1982). Met deze procedure konden alle rasverschillen worden getoetst, ook al was niet ieder ras op elke locatie aangelegd. Bij het gebruik van deze procedure kan slechts voor ieder paar van objecten dat in de Dataset voorkomt een afzonderlijke LSD (Least Significant Difference; kleinst betrouwbaar verschil) worden berekend. Omwille van de leesbaarheid wordt in voorkomende gevallen alleen de gemiddelde LSD (Gem.LSD) weergegeven.

Bij gebruik van de REML-procedure werd in eerste instantie uitgegaan van het volledige model van factoren en hun interacties. Wanneer de bijdrage aan de variantie van factoren of interacties als nul of negatief werd berekend, werd de factor resp. interactie uit het model verwijderd, waarna de berekening opnieuw werd uitgevoerd. Deze procedure werd zonodig herhaald.

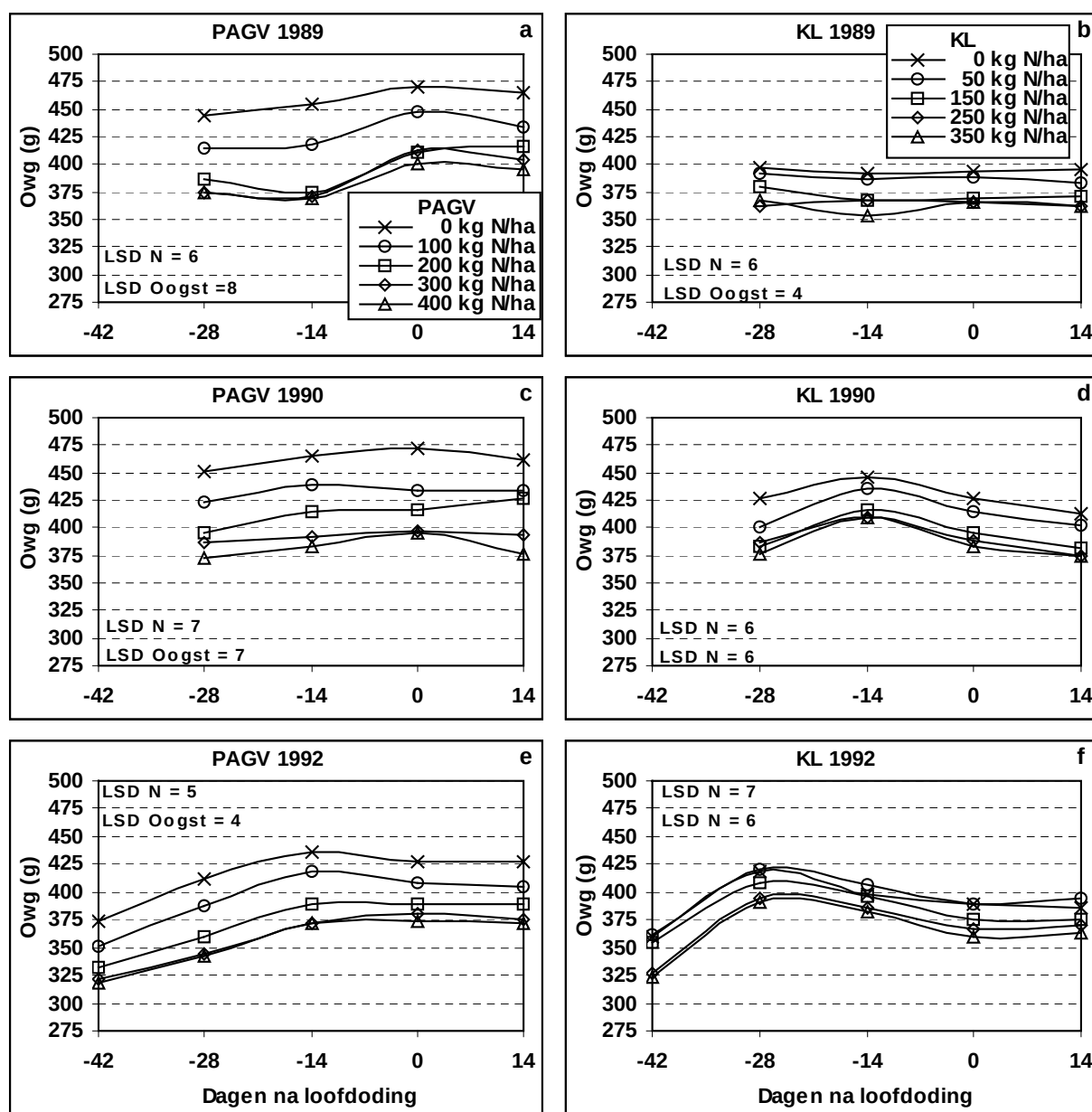
Op Datasets 2 en 3 werd variantie-analyse toegepast voor de berekening van hoofdeffecten en interacties. De REML-procedure werd gebruikt voor de berekening van de grootte van variantiecomponenten in Datasets 2, 3 en 4.

De weergegeven LSD's werden berekend bij een onbetrouwbaarheid van 5 %, tenzij anders vermeld.

Resultaten

Effect van oogsttijdstip

In Dataset 3 nam in de meeste gevallen het onderwatergewicht toe in de loop van de tijd (Figuren 3.3 en 3.4). In sommige gevallen echter daalde het onderwatergewicht tussen twee oogsttijdstippen. Ook na de loofdoding daalde het onderwatergewicht in een aantal gevallen licht.

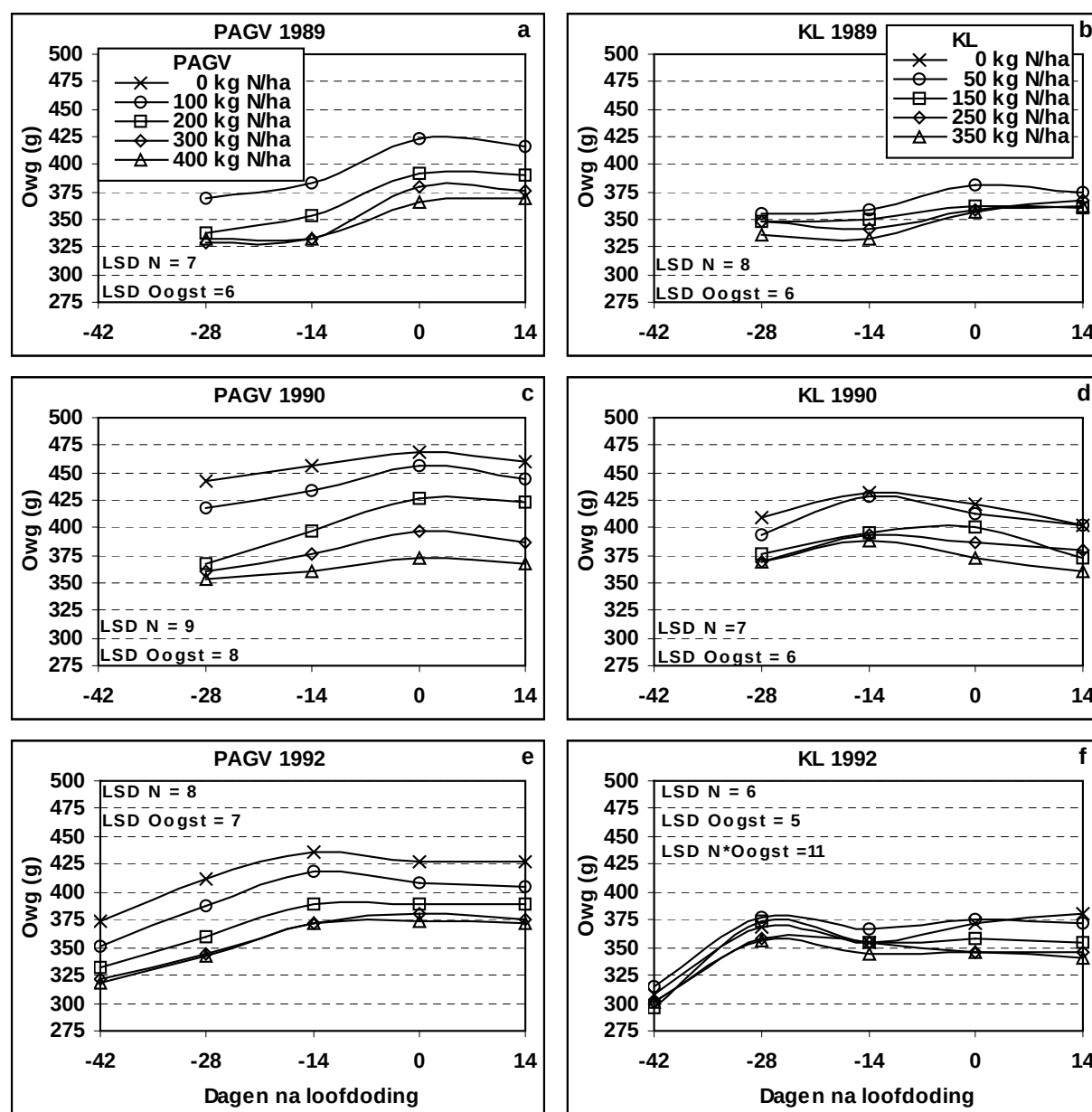


Figuur 3.3 Onderwatergewicht (gram) van het ras Bintje, afhankelijk van oogsttijdstip en stikstofbemesting, geteeld op twee locaties in drie jaren.

Interacties met oogsttijdstip

*Oogsttijdstip * locatie * jaar*

Het verloop van het onderwatergewicht in de tijd vertoonde interactie met het teeltjaar (Figuren 3.3 en 3.4). Zo bleef in 1989 op beide locaties het onderwatergewicht vrijwel gelijk tussen 28 en 14 dagen voor loofdoding, terwijl in 1990 in de vergelijkbare periode een duidelijke toename plaatsvond. De driefactorinteractie blijkt uit het jaar 1992: in de

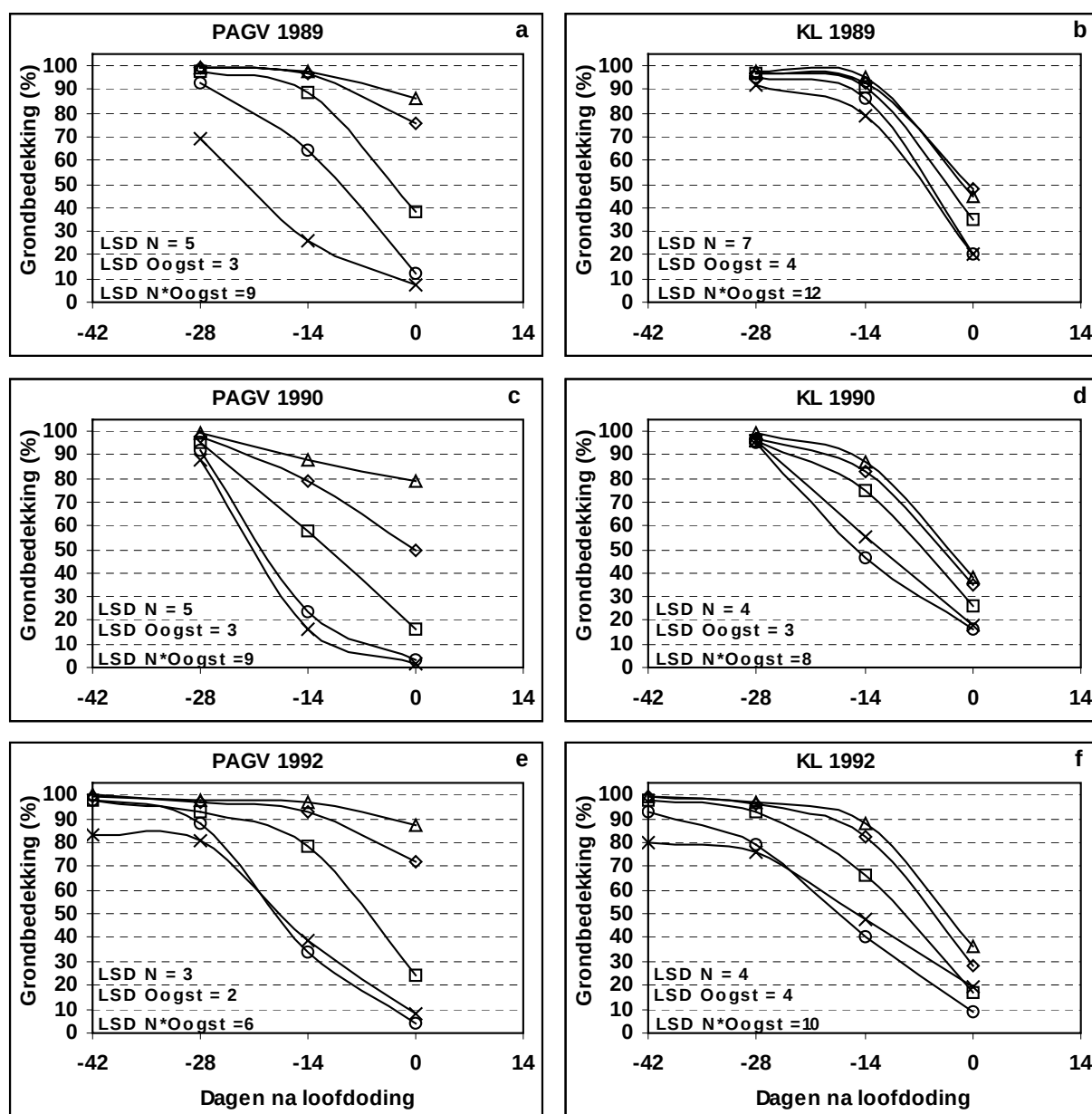


Figuur 3.4 Onderwatergewicht (gram) van het ras Morene, afhankelijk van oogsttijdspit en bemesting, geteeld op twee locaties in 1990.

periode 28 tot 14 dagen voor loofdoding nam het onderwatergewicht toe op locatie PAGV, op locatie KL nam het daarentegen af.

*Oogsttijdspit * ras*

De Figuren 3.3 en 3.4 van Dataset 3 illustreren dat weliswaar het globale verloop van het onderwatergewicht van de rassen Bintje en Morene vergelijkbaar is, maar dat de verandering tussen twee tijdstippen bij beide rassen kan verschillen.

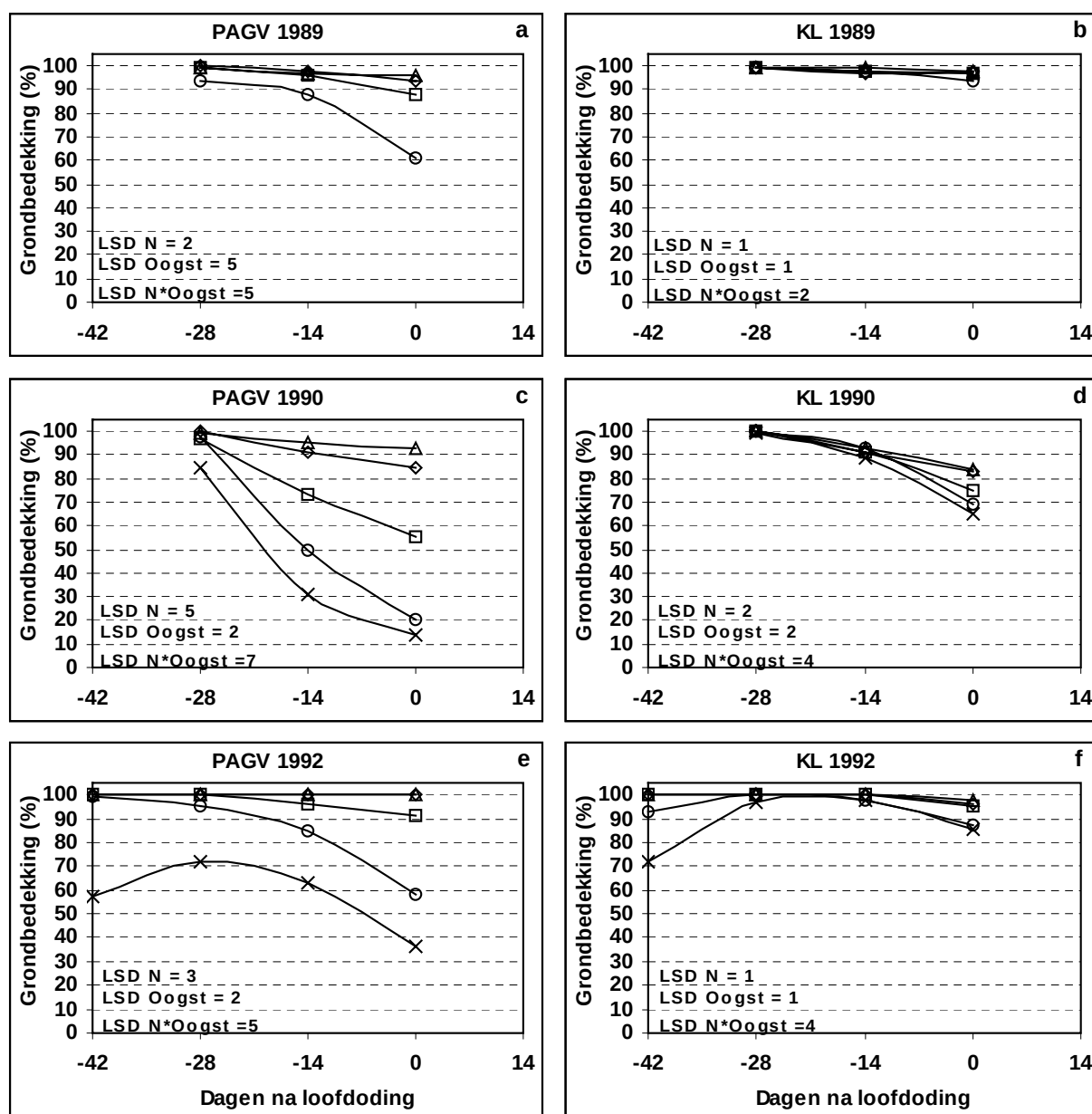


Figuur 3.5 Grondbedekking met groen loof (%) van het ras Bintje, afhankelijk van tijdstip en stikstofbemesting, geteeld op twee locaties in drie jaren, zie Figuur 3.3 voor legenda.

Verloop van de grondbedekking

In de Figures 3.5 en 3.6 is voor de jaren 1989, 1990 en 1992 het verloop in grondbedekking met groen loof aan het eind van het groeiseizoen weergegeven.

In vrijwel alle gevallen bleek bij een hogere stikstofgift het percentage grondbedekking met groen loof hoger te zijn. Dit effect was vooral sterk aan het eind van het groeiseizoen, wanneer de grondbedekking van de lagere stikstofgiften sterk terugliep. In



Figuur 3.6 Grondbedekking met groen loof (%) van het ras Morene, afhankelijk van oogsttijdstip en stikstofbemesting, geteeld op twee locaties in drie jaren, zie Figuur 3.4 voor legenda.

enkele gevallen was bij het ras Bintje de grondbedekking bij een stikstofgift van 100 kg N·ha⁻¹ lager dan bij de nulgift.

Er bleek een groot verschil tussen de rassen: het percentage grondbedekking van Bintje liep vroeger en sneller terug dan dat van Morene. Ook was er verschil tussen de locaties, op locatie PAGV liep de grondbedekking eerder terug dan op locatie KL. Daarnaast verschilde tussen de locaties ook de respons op de aangelegde stikstoftrappen. Bij beide rassen was de stikstofrespons het sterkst op locatie PAGV.

Effect van ras

Tussen de gemiddelde onderwatergewichten die door de verschillende rassen werden bereikt bleken in Dataset 1 significante verschillen te bestaan (Tabel 3.2). Het onderwatergewicht van Agria en Bintje was lager dan dat van de andere rassen. Het onderwatergewicht van Agria was bovendien lager dan dat van Bintje. De rassen Morene en Van Gogh bereikten het hoogste onderwatergewicht.

De spreiding in onderwatergewicht die binnen monsters werd aangetroffen was in Dataset 1 nauwelijks verschillend voor de onderzochte rassen (Tabel 3.2). Alleen die van Morene was significant hoger dan die van alle andere rassen. Er was geen verband tussen het gemiddeld door een ras bereikte onderwatergewicht en de standaardafwijking van het onderwatergewicht binnen monsters van dat ras.

In Dataset 2 (Tabel 3.3) was zowel het onderwatergewicht als de standaardafwijking bij Aziza en Asterix hoger dan bij Maritiema en Bintje.

In Dataset 5 (Tabel 3.9) waren het drogestofgehalte en de variantie daarvan bij het ras Karnico hoger dan bij het ras Asterix.

Tabel 3.2 Gemiddeld onderwatergewicht (OWG; g) en standaardafwijking daarvan (g) binnen monsters van zes rassen, Dataset 1.

	OWG (g)	Standaardafwijking (g)
Ras		
Agria	399	31
Morene	448	37
Van Gogh	451	32
Santé	417	30
Benno Vrizo	436	30
Bintje	407	29
Gem.LSD	14	5

Tabel 3.3 Onderwatergewicht (OWG; g) en standaardafwijking daarvan (Standaardafwijking; g) binnen monsters van vier rassen, geteeld bij twee niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$). Dataset 2.

N-gift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	OWG (g)		Standaardafwijking (g)	
	Advies-100	Advies	Advies-100	Advies
Ras				
Aziza	448	431	38	39
Asterix	461	457	35	35
Maritiema	439	432	33	33
Bintje	433	422	35	33
LSD ras			2	2
LSD ras*stikstof	7		n.s.	

Effect van stikstof

In Dataset 2 was er naast rasverschil in onderwatergewicht een interactie tussen de hoogte van de stikstofgift en het door een ras bereikte onderwatergewicht (Tabel 3.3). Bij Aziza en Bintje daalde het onderwatergewicht sterker bij een hogere stikstofbemesting dan bij Asterix en Maritiema. Bij de standaardafwijking van het onderwatergewicht was er bij geen van de rassen sprake van een stikstofeffect.

Effecten van locatie en jaar

De invloeden van het teeltjaar en de locatie op het gemiddelde onderwatergewicht en de standaardafwijking daarvan binnen monsters zijn voor Dataset 1 weergegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Gemiddeld onderwatergewicht (OWG; g) en standaardafwijking daarvan (St.afw.; g) binnen monsters van zes rassen in drie oogstjaren en op zes locaties, Dataset 1.

Jaar	1988		1989		1990		Gemiddelde	
	OWG (g)	St.afw.(g)	OWG (g)	St.afw.(g)	OWG (g)	St.afw.(g)	OWG (g)	St.afw.(g)
Locatie								
BEM	443	36	-	-	423	32	433	34
KL	414	32	395	29	405	30	405	30
RH	459	26	442	31	427	32	443	30
VP	-	-	435	34	376	30	406	32
WR	-	-	-	-	424	32	424	32
WS	448	25	442	30	-	-	445	28
Gemiddelde	441	30	429	31	411	31	427	31

Er bestond een duidelijke invloed van het teeltjaar op het gemiddeld bereikte onderwatergewicht: in 1988 werd het hoogste onderwatergewicht bereikt, in 1990 het laagste. In de meeste gevallen waren deze jaarverschillen ook herkenbaar op de afzonderlijke locaties. Er waren ook locatieverschillen. De vergelijking van locaties KL en RH is het meest betrouwbaar, doordat deze locaties alle drie de jaren waren opgenomen. Op locatie KL bleek het onderwatergewicht (jaarlijks) lager te zijn dan op locatie RH. Het onderwatergewicht op locatie WS was vergelijkbaar met dat op locatie RH. Het onderwatergewicht op locatie VP was gemiddeld lager dan op de meeste andere locaties. Er bleek hier sprake te zijn van een interactie met het teeltjaar: in 1989 was het onderwatergewicht op locatie VP hoog, in 1990 was het duidelijk lager dan dat van alle andere locaties.

Er was geen jaar of locatie aan te wijzen met een gemiddeld hoge dan wel lage standaardafwijking. De meeste waarden bevonden zich tussen 30 en 35 gram (1,5 à 1,8 % droge stof). Het maximale verschil in standaardafwijking was 11 gram en trad op tussen locaties BEM en WS in 1988.

Tabel 3.5 laat zien dat in tegenstelling tot in Dataset 1 in Dataset 2 de standaardafwijking van het onderwatergewicht door het teeltjaar werd beïnvloed. In 1992 was op alle drie de locaties de standaardafwijking aanmerkelijk lager dan in 1991. Niet bij alle rassen en niet op alle locaties was echter het jaareffect even groot, getuige de significante interacties tussen jaar en ras, resp. tussen jaar en locatie ($P < 0,05$ resp. 0,001, niet weergegeven). De verschillen tussen de locaties waren klein, locatie WS gaf in beide jaren de hoogste standaardafwijking.

Over de combinaties van jaar en locatie was er een slechts geringe correlatie tussen het onderwatergewicht en de standaardafwijking ($r=0,26$).

Tabel 3.5 Onderwatergewicht (OWG; g) en standaardafwijking daarvan (St.afw.; g) binnen monsters in twee jaren op drie locaties, gemiddelde van de rassen Asterix, Aziza, Bintje en Maritiema, Dataset 2.

Jaar	1991		1992		Gemiddelde	
	OWG (g)	St.afw. (g)	OWG (g)	St.afw. (g)	OWG (g)	St.afw. (g)
Locatie						
BEM	454	37	418	30	436	34
KL	469	39	413	28	441	34
WS	455	43	432	33	441	38
Gemiddelde	459	40	421	30	440	35

Variatiebronnen

In Tabel 3.6 is onderscheid gemaakt tussen de variatie die in Dataset 1 werd veroorzaakt door de herhalingen van een object en de variatie die werd veroorzaakt door de knollen binnen een veldje. Het overgrote deel van de berekende variantie werd verklaard door variatie in onderwatergewicht tussen knollen binnen veldjes (79 - 99 %). Er was geen relatie tussen de hoogte van het onderwatergewicht en het percentage variantie veroorzaakt door veldjes of knollen. Dat de onderwatergewichten in Tabel 3.6 afwijken van die in Tabel 3.4 wordt veroorzaakt door het feit dat in Tabel 3.4 de rekenkundige gemiddelden per combinatie van jaar en locatie zijn weergegeven, terwijl de waarden in Tabel 3.6 de uitkomsten zijn van de REML-procedure.

In Tabel 3.7 is voor Dataset 2 weergegeven hoe groot de variantie van het onderwatergewicht was, opgesplitst naar het aandeel dat door variatie tussen veldjes werd veroorzaakt en het aandeel dat werd veroorzaakt door variatie tussen knollen binnen een veldje. Het bleek evenals in Dataset 1 dat in alle proeven het overgrote deel van de berekende variantie van het onderwatergewicht werd veroorzaakt door variatie tussen knollen binnen de veldjes. Slechts een klein deel werd veroorzaakt door variatie tussen veldjes. Evenals in Dataset 1 was er geen relatie tussen de hoogte van het gemiddelde onderwatergewicht en het percentage van de variantie veroorzaakt door veldjes resp. knollen.

Hoofdstuk 3

Tabel 3.6 Onderwatergewicht (OWG; g), variantiecomponenten van het onderwatergewicht (g^2) en het aandeel van componenten (%) in de totale variantie, bepaald aan knollen van drie oogstjaren en zes locaties. Dataset 1.

Jaar	Locatie	OWG (g)	Variantiecomponenten (g^2)			Aandeel in totale variantie (%)	
			Totaal	Veldjes	Knollen	Veldjes	Knollen
1988	BEM	435	1631	140	1491	9	91
	KL	405	1096	76	1020	7	93
	RH	469	876	161	715	18	82
	WS	448	1341	50	1291	4	96
1989	KL	398	921	55	866	6	94
	RH	429	1023	124	899	12	88
	VP	444	1383	119	1264	9	91
	WS	438	1019	96	923	9	91
1990	BEM	412	1060	89	971	8	92
	KL	391	841	176	665	21	79
	RH	447	1089	10	1079	1	99
	VP	377	851	34	817	4	96
	WR	423	1265	48	1217	4	96

Tabel 3.7 Gemiddeld knolgewicht, aantal knollen, gemiddeld onderwatergewicht en resp. grootte (OWG²; g^2) en aandeel (%) van variantiecomponenten in de totale variantie van het onderwatergewicht, bepaald aan knollen van de rassen Asterix, Aziza, Bintje en Maritiema van twee jaren en drie locaties, berekend met en zonder () correctie voor knolgewicht, Dataset 2.

Jaar	1991			1992		
Locatie	BEM	KL	WS	BEM	KL	WS
Gemiddeld knolgewicht (g)	152	147	143	165	137	144
Aantal knollen	2392	2389	2398	2400	2400	2400
Gemiddeld onderwatergewicht	454	469	455	418	413	432
Variantiecomponent; OWG ²						
Totaal (g^2)	1643	1471	2094	1024	906	1208
	(1673)	(1574)	(2063)	(955)	(856)	(1144)
Tussen veldjes (g^2)	249	36	179	47	41	128
	(303)	(45)	(186)	(45)	(48)	(70)
Binnen veldjes (g^2)	1394	1435	1915	977	865	1080
	(1370)	(1529)	(1877)	(910)	(808)	(1074)
Aandeel veldjes (%)	15	2	8	5	4	11
	(18)	(3)	(9)	(5)	(6)	(6)
Aandeel knollen (%)	85	98	92	95	96	89
	(82)	(97)	(91)	(95)	(94)	(94)

De analyse van Dataset 2 werd uitgevoerd zoals in Dataset 1, waarbij de standaardafwijking van een monster werd berekend uit de gewichtsverdeling van de knollen over klassen van onderwatergewicht: Vergelijkingen (3.4) en (3.5). De waarden tussen haakjes zijn van een analyse waarin het onderwatergewicht van een fractie werd berekend volgens Vergelijking (3.6). Dit gaf echter voor de percentages variantie die werden verklaard door tussen- en binnen-veldvariatie geen wezenlijk ander resultaat.

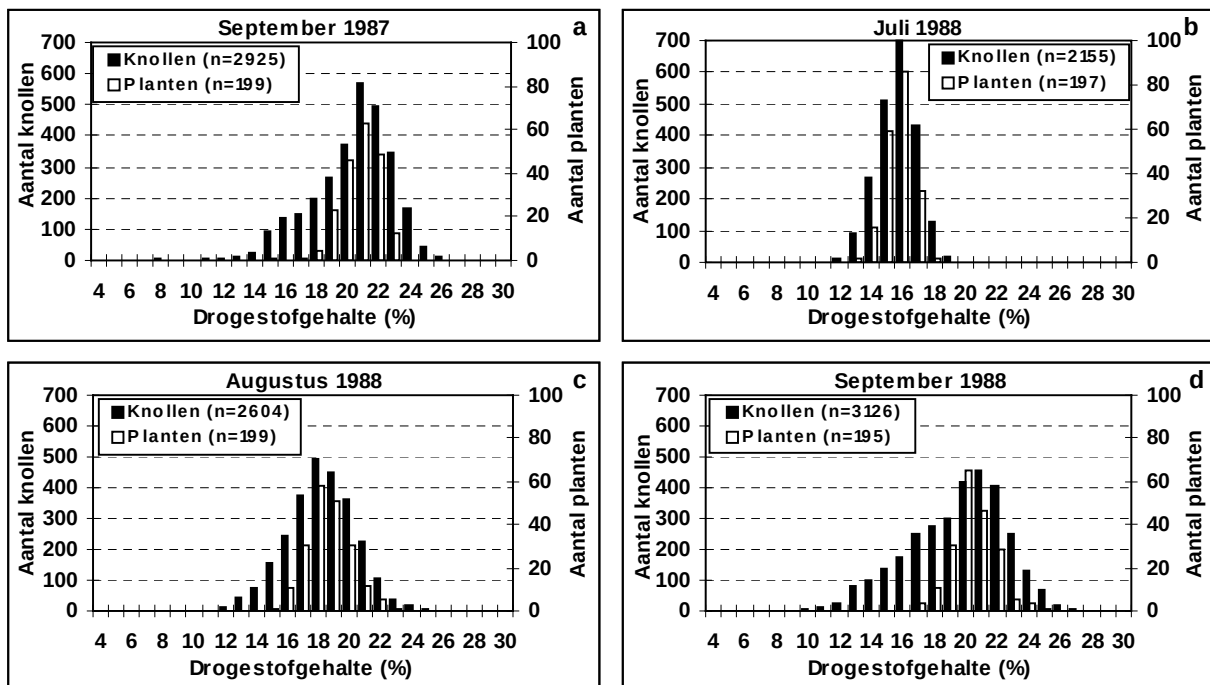
In Tabel 3.8 is voor Dataset 4 vermeld hoe groot de variantie van het drogestofgehalte was, afkomstig van de componenten blok, plant en knol. Tevens is vermeld wat het aandeel van de componenten in het totaal van de variantie was. De variantiecomponent blok geeft de variantie van het drogestofgehalte tussen de herhalingen, variantiecomponent plant staat voor de variantie tussen de planten binnen een blok, de variantiecomponent knol is de variantie tussen de knollen binnen een plant. De totale variantie van het drogestofgehalte is gelijk aan de som van de varianties van blok, plant en knol.

Tabel 3.8 Drogestofgehalte (%), aantal knollen, gemiddeld knolgewicht (gram), grootte (%²) van de variantie en aandeel daarin (%) van variantiecomponenten en de scheefheid van variantiecomponenten van het drogestofgehalte, bepaald aan knollen van het ras Prominent van vier oogsten, Dataset 4.

Jaar Maand	1987		1988					
	September		Juli		Augustus		September	
	Knollen > 10 g	Knollen > 75 g	Knollen > 10 g	Knollen > 75 g	Knollen > 10 g	Knollen > 75 g	Knollen > 10 g	Knollen > 75 g
Gemiddeld								
drogestofgehalte (%)	20,9	21,8	16,3	16,1	18,8	19,4	20,1	21,3
Aantal knollen	2925	1426	2155	26	2604	778	3124	1393
Gemiddeld								
knolgewicht (g)	82,7	124,6	27,7	91,7	62,0	118,3	86,1	147,0
Variantie totaal (% ²)	7,25	2,95	1,64	-	4,93	2,58	9,46	4,59
Variantie blok (% ²)	0,43	0,45	0,45	-	1,21	0,95	0,77	0,85
Variantie plant (% ²)	1,06	0,70	0,23	-	0,77	0,53	0,83	0,63
variantie knol (% ²)	5,76	1,80	0,96	-	2,95	1,10	7,86	3,11
Aandeel blok (%)	6	15	27	-	24	37	8	18
Aandeel plant (%)	15	24	14	-	16	20	9	14
Aandeel knol (%)	79	61	59	-	60	43	83	68
Scheefheid blok	-0,9879	-0,9669	-0,4835	-	0,0386	-0,5577	0,6510	0,4503
Scheefheid plant	-0,4523	-0,6326	-0,3287	-	0,1409	-0,1623	0,3431	0,2136
Scheefheid knol	-1,0167	-0,7631	-0,1458	-	-0,1758	-0,2738	-0,4868	0,3466

Het aandeel van de variantie in het drogestofgehalte als gevolg van de plaats in het veld (de blokken) was in september 1987 6 %, in september 1988 was het 8 %. Het aandeel van de planten was in september 1987 en 1988 resp. 15 en 9 %. In september 1987 werd 79 % van de totale variantie van het drogestofgehalte van knollen veroorzaakt door de variatie tussen knollen, in 1988 was dat 83 %.

Het percentage van de totale variantie van het drogestofgehalte van knollen veroorzaakt door de variatie tussen knollen van een zelfde plant nam in 1988 toe van 59 % in juli tot 83 % in september. Deze procentuele toename werd in hoofdzaak veroorzaakt door de sterke toename van de variantie van de knollen. Ook de variantie van de planten nam iets toe, maar veel minder dan die van de knollen, zodat per saldo het aandeel van de knollen in de variantie sterk toenam.



Figuur 3.7 Frequentieverdeling van het aantal knollen respectievelijk het aantal planten over het drogestofgehalte per knol (%) respectievelijk het drogestofgehalte van de knollen per plant (%) op vier tijdstippen, ras Prominent (Dataset 4).

Figuur 3.7 illustreert de spreiding in het drogestofgehalte van individuele knollen en de spreiding in het drogestofgehalte van de knollen per plant. De spreiding in het drogestofgehalte van individuele knollen is veel groter dan de spreiding in het gemiddelde drogestofgehalte van de knollen per plant. Dit grote verschil ontstond in 1988 echter pas na juli. De piek in de verdeling van de individuele knollen werd in de loop van de tijd lager, daarnaast werd de verdeling veel breder en schever. De uitloop

naar lagere drogestofgehaltes nam sterk toe, hetgeen zich uitte in een toenemende negatieve scheefheid voor de knolcomponent (Tabel 3.8). Ook in Dataset 2 werden de experimentele eenheden getoetst op scheefheid. Bij 69 % van de monsters bleek geen sprake van scheefheid te zijn. Bij de overige 31 % was de scheefheid in de meeste gevallen negatief. Dat wil zeggen dat er in vergelijking met een normale verdeling meer knollen waren met een laag dan knollen met een hoog onderwatergewicht ten opzichte van het gemiddelde.

De verdeling van de waarden voor het drogestofgehalte van de knollen gemiddeld per plant verbreedde zich in de loop van de tijd veel minder en werd bovendien minder scheef dan die van de individuele knollen. In het verloop van 1988 is het opvallend dat het minimum drogestofgehalte van de knollen per plant opliep van 13 naar 17 %, terwijl het minimum in de verdeling van de individuele knollen afnam van 12 naar 6 %.

Wanneer de Dataset werd beperkt tot knollen van meer dan 75 gram - vergelijkbaar met Datasets 1 en 2 - dan bleek de variantie van planten en met name van knollen geringer te zijn. Het aandeel van de knollen in de totale variantie was dan ook geringer, dat van de blokken en planten groter (Tabel 3.8).

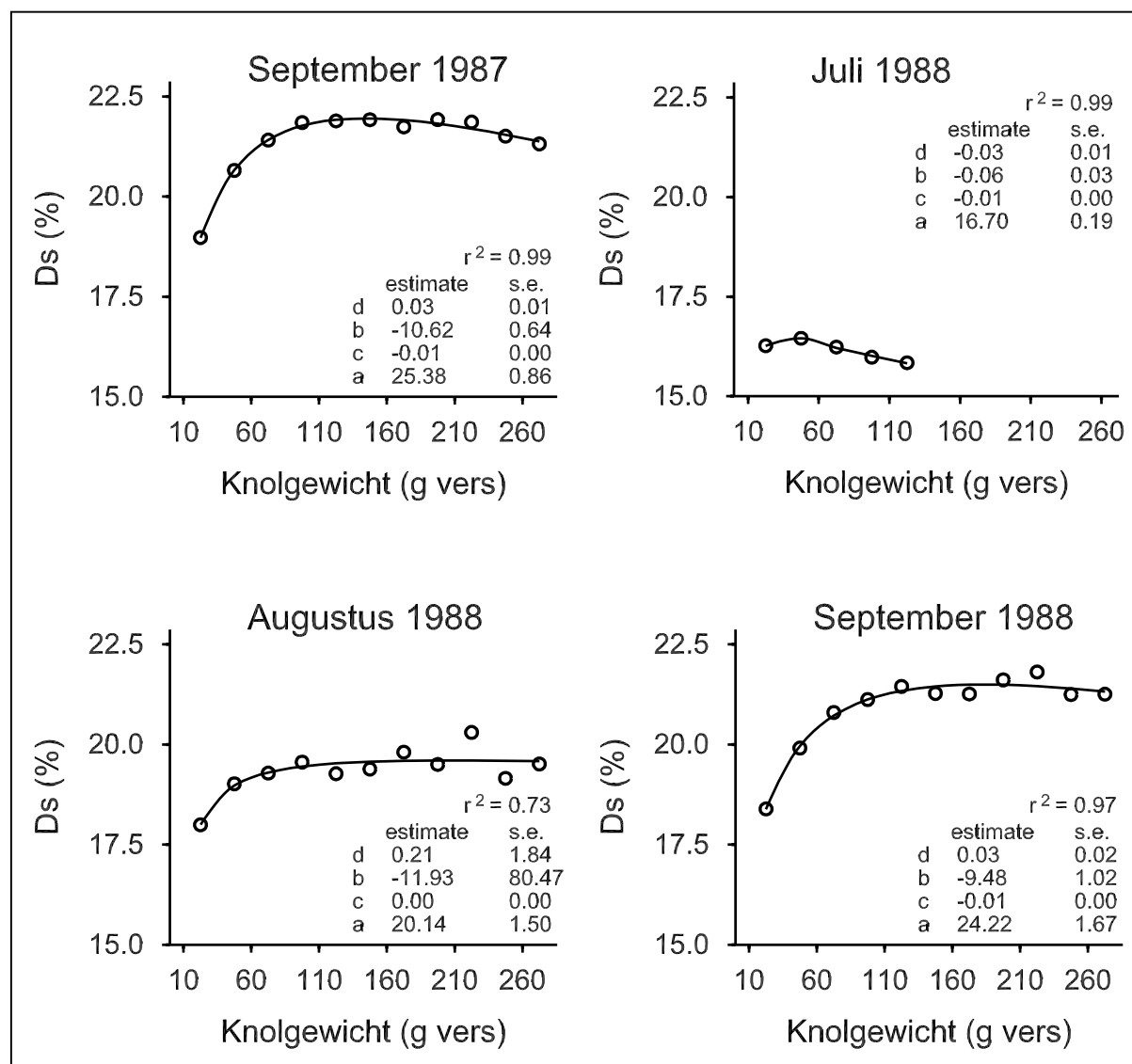
Het afnemende aandeel van de knollen in de variantie heeft in de eerste plaats te maken met de duidelijke relatie tussen het versgewicht van kleinere knollen en hun drogestofgehalte (Figuur 3.8). Deze relatie bleek te kunnen worden beschreven door de volgende regressielijn: $Y = a + b/(1 + dX) + cX$. Bij knollen groter dan ± 85 gram was er vrijwel geen verband. Door de verdeling te beperken tot knollen > 75 gram, nam de variantie dan ook af (Tabel 3.8).

In juli 1988 hadden de grotere knollen een lager drogestofgehalte dan de kleinere. Het aantal knollen > 75 gram was echter zo klein dat een betrouwbare analyse van dit verschil niet mogelijk was.

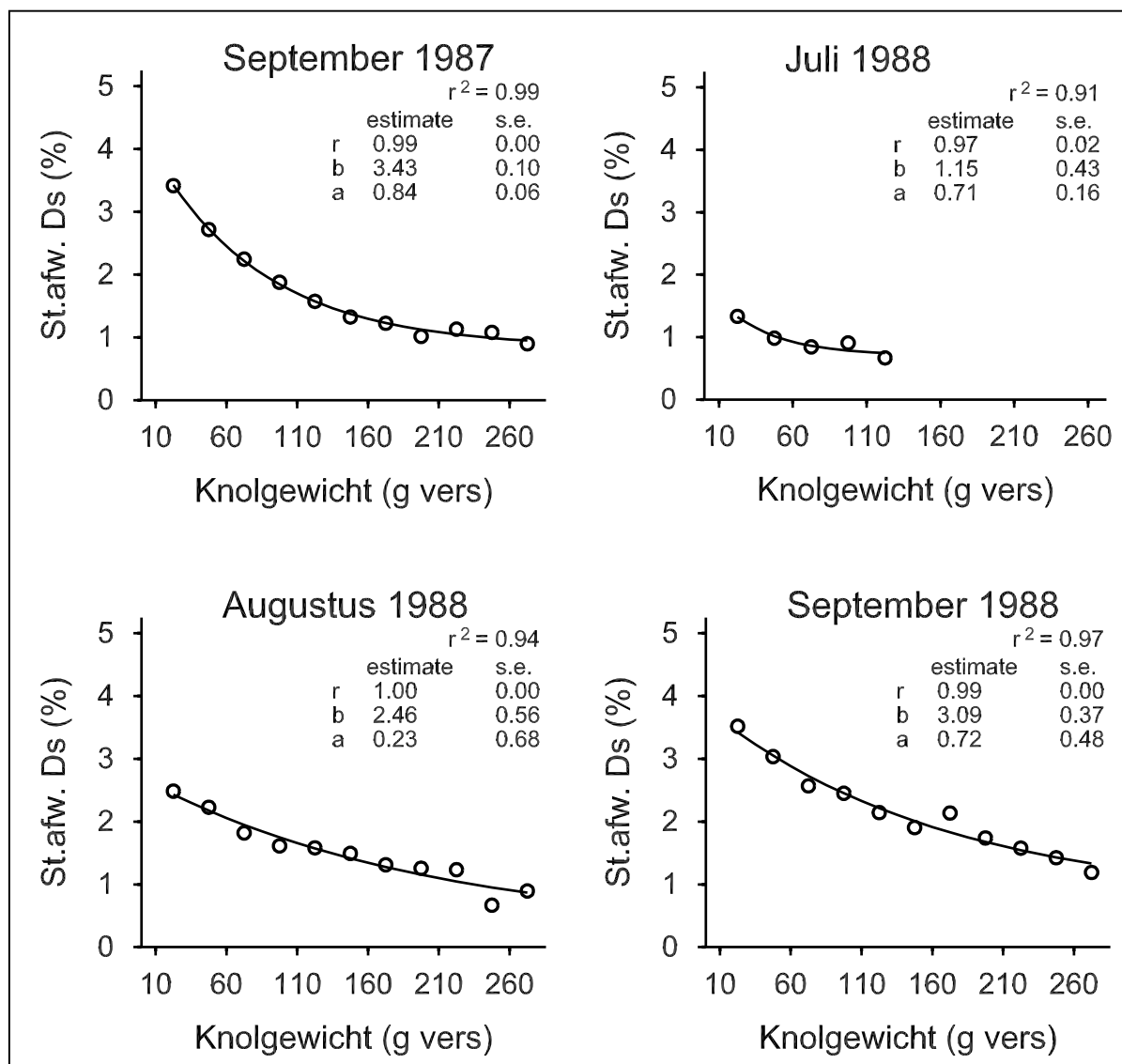
Een andere reden voor een geringere variatie in drogestofgehalte bij beperking van de Dataset tot knollen > 75 gram was het feit dat bij kleinere knollen ook de spreiding in drogestofgehalte groter was. Dit wordt geïllustreerd door Figuur 3.9. De afnemende standaardafwijking met toenemend knolgewicht kon worden beschreven met: $Y = a + b \cdot rx$. In beide jaren was het de laagste gewichtsklasse die bepalend was voor de totale breedte van de frequentieverdeling.

In Dataset 5 was het aandeel van de knollen in de totale variantie bij beide rassen zeer hoog: 85 tot 95 % (Tabel 3.9). Bij het ras Asterix werd een klein deel van de variantie veroorzaakt door verschillen tussen stengels. Verschillen tussen planten waren geen bron van variatie. Bij het ras Karnico was dat omgekeerd: hier werd een klein deel van de variantie verklaard door verschillen tussen planten en was er geen bijdrage van de stengels aan de variantie.

Beperking van de Dataset tot knollen met een gewicht van meer dan 75 gram gaf bij beide rassen een afname van de totale variantie. Bij het ras Asterix daalde het variantieaandeel van de knollen, terwijl het aandeel bij het ras Karnico toenam. Het gemiddelde drogestofgehalte van de knollen boven 75 gram was bij beide rassen 0,5 % hoger dan dat van de selectie boven 10 gram.



Figuur 3.8 Relatie tussen het drogestofgehalte (Ds; %) en klasse van knolgewicht (g vers) ($Y = a + b/(1 + d \cdot X) + c \cdot X$) op vier tijdstippen, ras Prominent (Dataset 4).



Figuur 3.9 Relatie tussen de standaardafwijking van het drogestofgehalte (St.afw. Ds; %-eenheden) en klasse van knolgewicht (g vers) ($Y = a + b \cdot r^x$) op vier tijdstippen, ras Prominent (Dataset 4).

Tabel 3.9 Drogestofgehalte (%), totaal aantal stengels en aantal knollen van 30 planten, gemiddeld knolgewicht (gram), grootte (%²) van de variantie en aandeel (%) daarin van variantiecomponenten van het drogestofgehalte, bepaald aan knollen van de rassen Asterix en Karnico, Dataset 5.

Ras	Asterix		Karnico	
	Knollen > 10 g	Knollen > 75 g	Knollen > 10 g	Knollen > 75 g
Gemiddeld drogestofgehalte (%)	19,6	20,2	24,9	25,4
Aantal stengels	177	174	99	99
Aantal knollen	576	327	400	289
Gemiddeld knolgewicht (g)	94,3	132,1	134,3	167,3
Variantie totaal (% ²)	5,12	1,56	7,89	3,00
Variantie plant (% ²)	0	0,01	1,20	0,22
Variantie stengel (% ²)	0,27	0,23	0	0
Variantie knol (% ²)	4,85	1,32	6,69	2,78
Aandeel plant (%)	0	0	15	7
Aandeel stengel (%)	5	15	0	0
Aandeel knol (%)	95	85	85	93

Verloop van de variantie tijdens het groeiseizoen

Het aandeel van de variantie in het drogestofgehalte als gevolg van de plaats in het veld (de blokken) nam in Dataset 4 in 1988 af van 27 % in juli tot 25 en 8 % in respectievelijk augustus en september. Het aandeel van de planten in de variantie was resp. 14, 16 en 9 % in juli, augustus en september (Tabel 3.8).

In de loop van 1988 vond in alle gewichtsklassen een verbreding van de verdeling plaats. De verbreding was echter het meest uitgesproken in de laagste gewichtsklasse. Het is met name opvallend dat er in augustus en september knollen voorkwamen met veel lagere drogestofgehaltes dan in juli (Figuren 3.7 en 3.10).

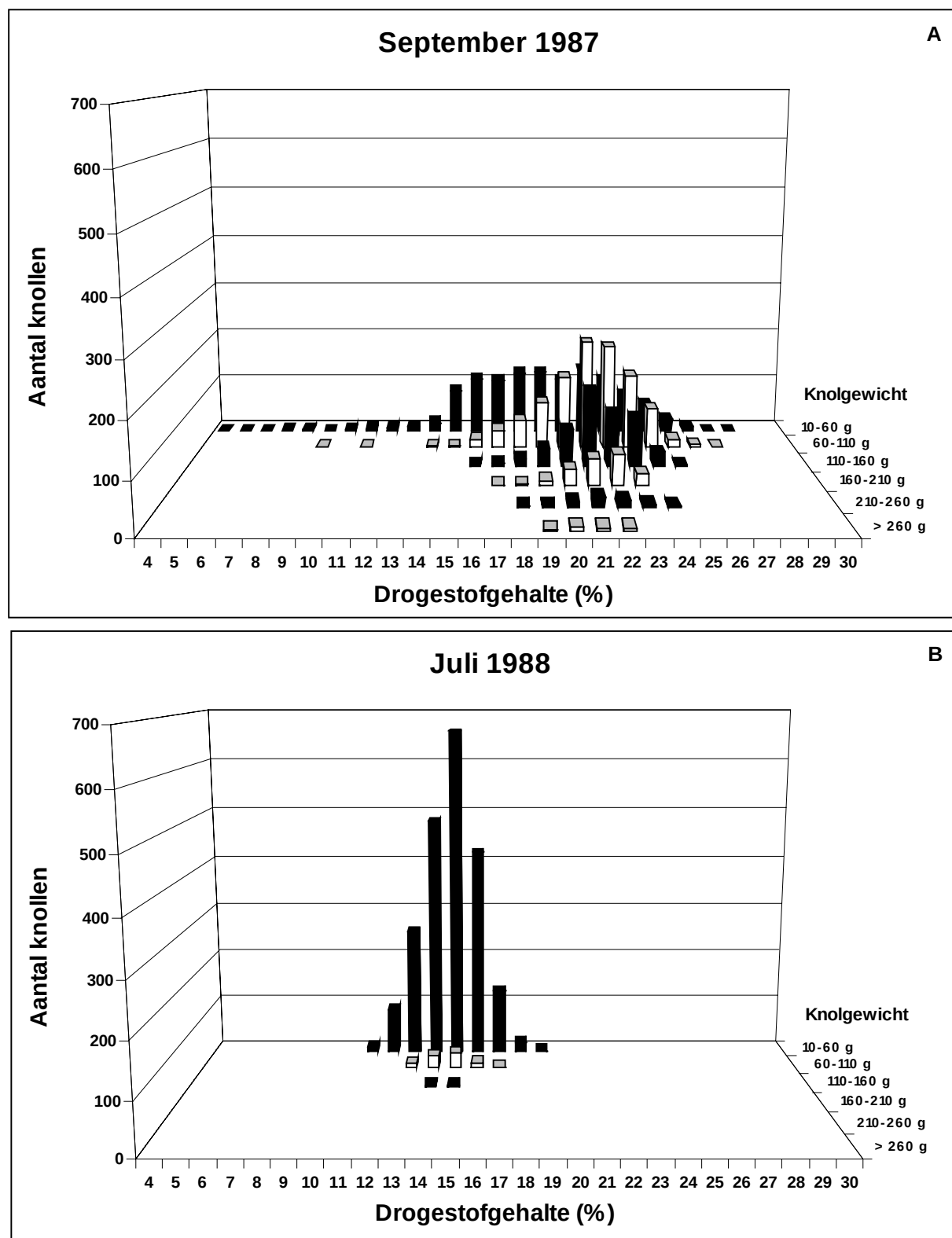
Relatie tussen variatie in drogestofgehalte en andere parameters

In Dataset 4 bleek de absolute waarde van het drogestofgehalte van de knollen gemiddeld per plant geen relatie te vertonen met het aantal knollen per plant (Figuur 3.11) of het versgewicht van de knollen per plant (Figuur 3.12). Ook de standaardafwijking van het drogestofgehalte per plant - berekend uit de drogestofgehaltes van de individuele knollen van die plant - vertoonde geen relatie met deze twee eigenschappen (Figuren 3.11 en 3.12).

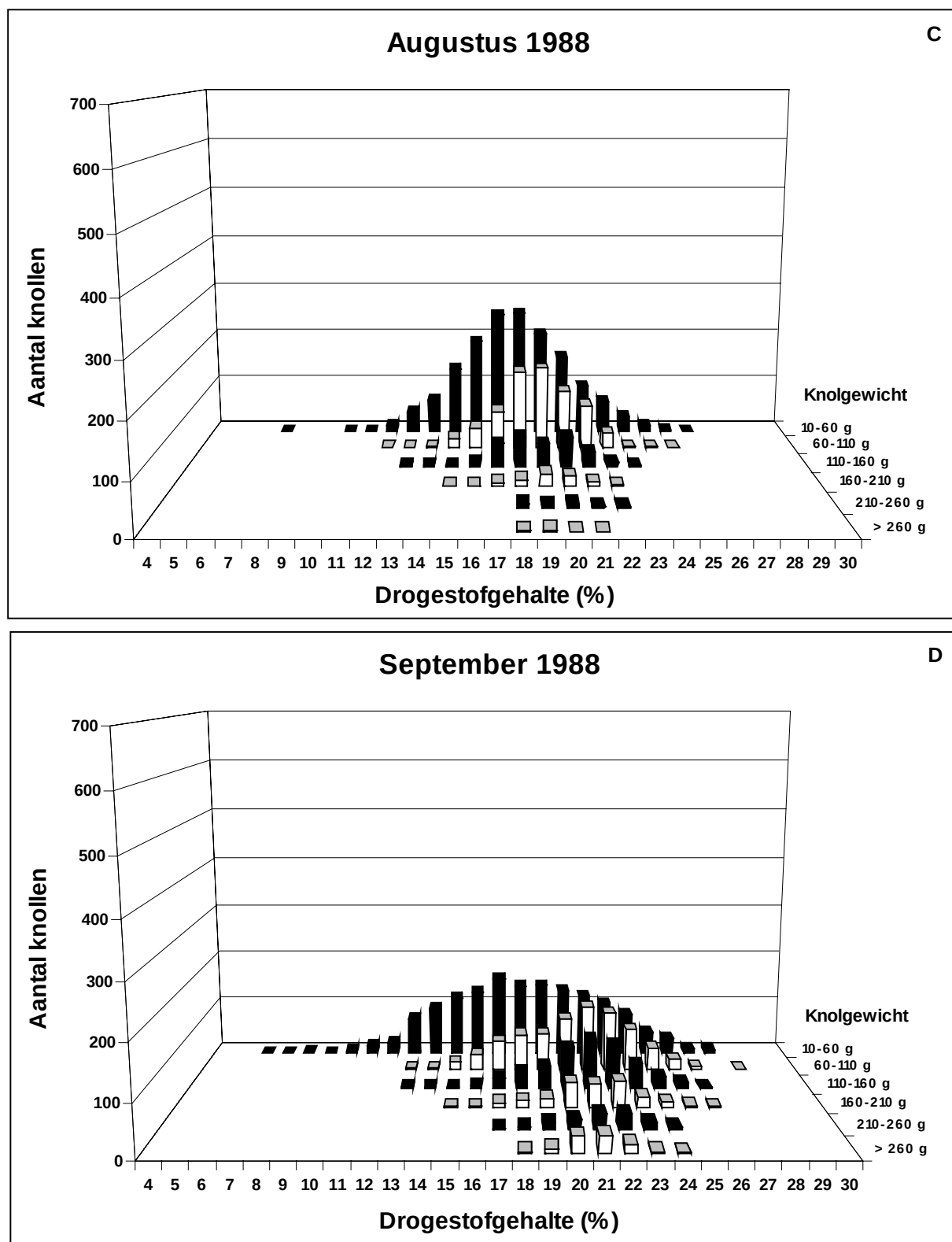
Er bleek in Dataset 5 geen sprake te zijn van significante lineaire correlaties tussen het drogestofgehalte van de knollen per plant resp. per stengel en het aantal stengels per plant. Ook tussen de standaardafwijkingen van deze parameters en het aantal stengels per plant bestond geen correlatie (Tabel 3.10).

Tabel 3.10 Coëfficiënten voor lineaire correlatie (r^2 , $n = 30$) voor de relaties van drogestofgehalte van de knollen per plant en per stengel en de standaardafwijkingen daarvan met het aantal stengels per plant, bepaald aan knollen van de rassen Asterix en Karnico, Dataset 5.

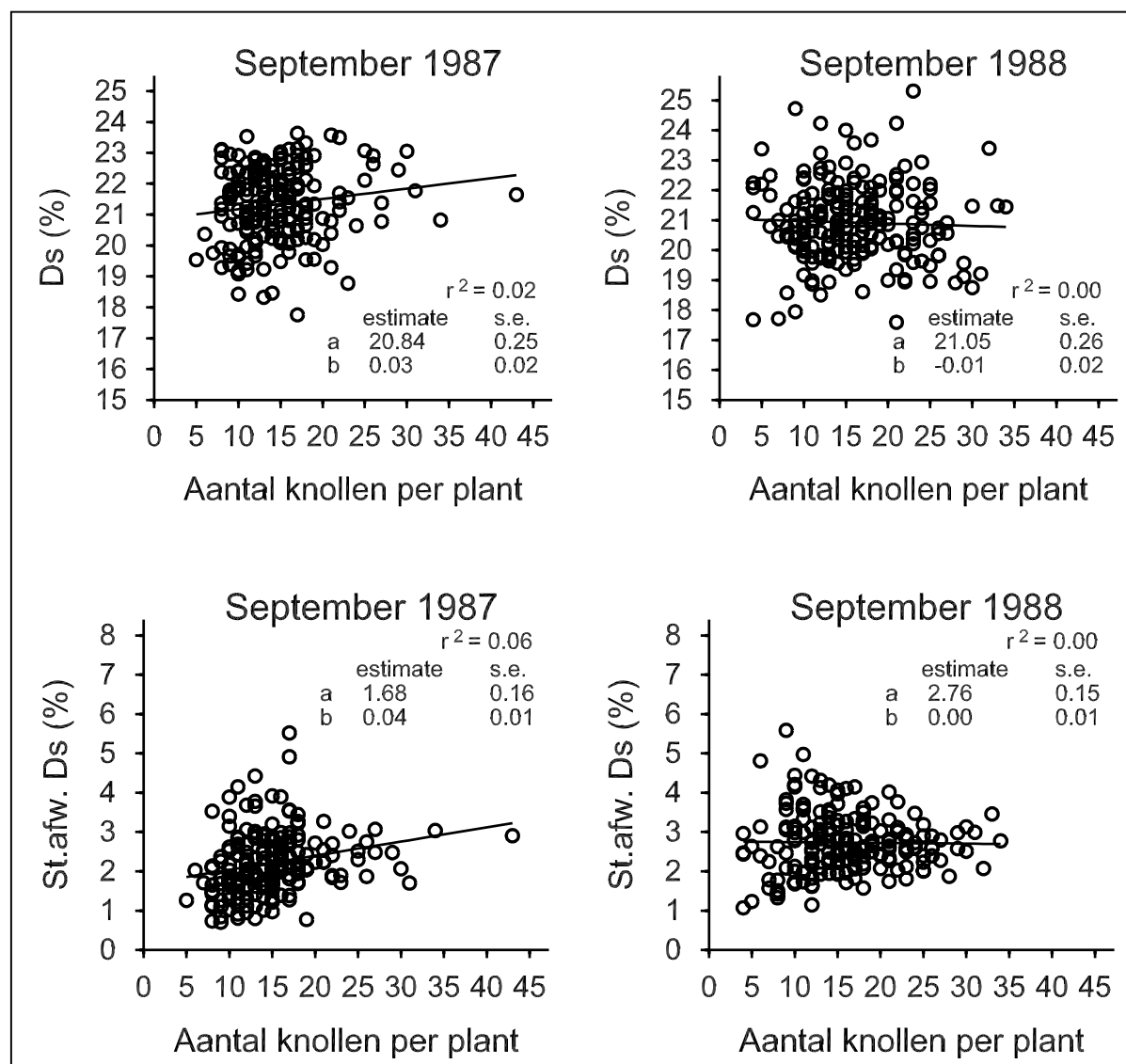
Ras	Asterix		Karnico	
	Knollen > 10 g	Knollen > 75 g	Knollen > 10 g	Knollen > 75 g
Drogestofgehalte knollen per plant	0,03	0,04	0,01	0,00
St. afw. drogestofgehalte knollen per plant	0,03	0,00	0,06	0,01
Drogestofgehalte knollen per stengel	0,01	0,00	0,00	0,00
St. afw. drogestofgehalte knollen per stengel	0,00	0,00	0,01	0,00



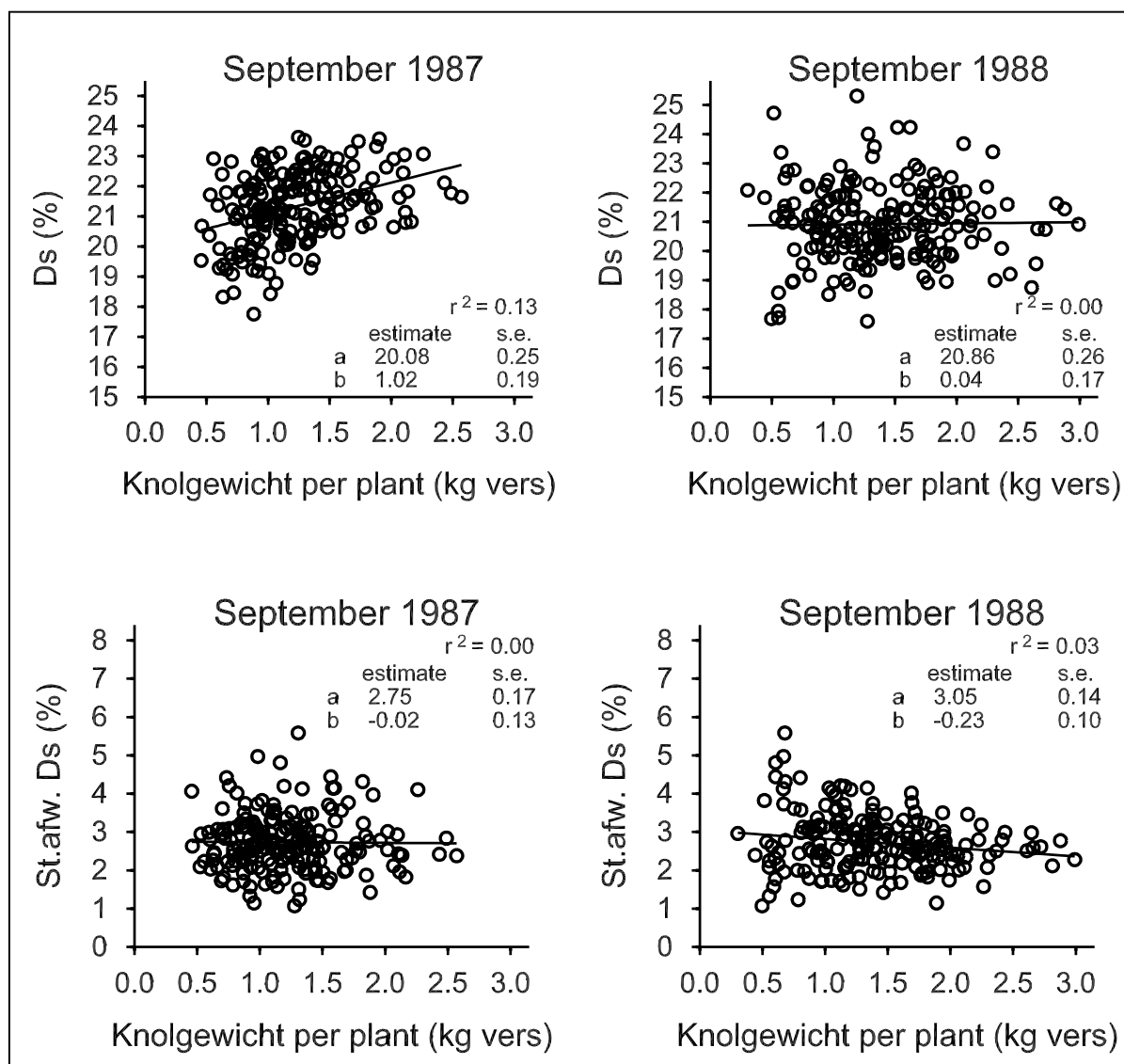
Figuur 3.10 Frequentieverdeling van het aantal knollen per klasse van knolgewicht (g vers) over het drogestofgehalte per knol (%) op vier tijdstippen, ras Prominent (Dataset 4).



Figuur 3.10 (vervolg) Frequentieverdeling van het aantal knollen per klasse van knolgewicht (g vers) over het drogestofgehalte per knol (%) op vier tijdstippen, ras Prominent (Dataset 4).



Figuur 3.11 Relatie tussen het drogestofgehalte van de knollen per plant (Ds; %), resp. de standaardafwijking daarvan (St.afw.Ds; %-eenheden) en het aantal knollen per plant ($Y = a + b \cdot X$) bij eind oogst in twee jaren, ras Prominent (Dataset 4).



Figuur 3.12 Relatie tussen het drogestofgehalte van de knollen per plant (Ds; %), respectievelijk de standaardafwijking daarvan (St.afw. Ds; %-eenheden) en het versgewicht (g) van de knollen per plant ($Y = a + b \cdot X$) bij eindooft in twee jaren, ras Prominent (Dataset 4).

Discussie

Effect van oogsttijdstip

In de regel neemt het drogestofgehalte in de loop van het groeiseizoen toe (Appleman & Miller, 1926; Burton, 1989; Nelson et al., 1988). De trend kan echter in een deel van het seizoen omgekeerd zijn, met name wanneer een periode van droogte wordt gevolgd door regen. Dit verschijnsel is ook in de data van andere auteurs te herkennen (Appleman & Miller, 1926; Wilcockson, 1986; Ifenkwe & Allen, 1978; Wurr et al., 1978). Het werkelijke verloop van het drogestofgehalte wordt door veel factoren beïnvloed. Dit blijkt uit hun interacties met het oogsttijdstip. Deze interacties worden later besproken.

Een lichte daling van het drogestofgehalte na loofdoding zoals die in een aantal gevallen optrad (Figuren 3.3, 3.4 en 3.5), wordt door andere auteurs bevestigd. Wilcockson (1986) en MacKerron & Jefferies (1985) melden zelfs aanzienlijk grotere dalingen van het drogestofgehalte na loofdoding. De daling wordt onder droge omstandigheden veroorzaakt door wateropname via de wortels die na loofdoding nog enige tijd blijven functioneren (MacKerron & Jefferies, 1985).

Interacties met oogsttijdstip

*Oogsttijdstip * locatie * jaar*

Net als de factor ras vertoonde het oogsttijdstip interactie met de factoren jaar en locatie (Figuren 3.3 en 3.4). Eerder werd besproken dat het gemiddelde drogestofgehalte van de knollen in de regel toeneemt in de loop van het groeiseizoen. De mate waarin dit in - een deel van - het seizoen het geval is, wordt bepaald door het verloop van meteorologische factoren en hun interactie met bodemeigenschappen en het groeipatroon van het gewas. Dit leidt in de praktijk bijvoorbeeld tot het uitstellen van het moment van loofdoding, omdat het minimum vereiste onderwatergewicht nog niet is bereikt. Wanneer het oogsttijdstip betrokken wordt op kalendertijd, zoals in de praktijk gedeeltelijk het geval is, is hier sprake van interactie met de factor ras. Immers, het wachten op een zeker onderwatergewicht kan voor het ene ras wel, voor het andere ras niet nodig zijn.

*Oogsttijdstip * ras*

Morene bereikte in Dataset 1 (Tabel 3.2) een hoger onderwatergewicht dan Bintje, terwijl in Dataset 3 (Figuur 3.4) het omgekeerde het geval was. De verklaring voor dit verschil is dat de gewassen in de proeven van Datasets 1 en 2 in de regel - min of meer volgens regionale praktijk - mochten uitgroeien, terwijl het loof van de proeven voor Dataset 3 niet later dan $\pm$ half september werd vernietigd. Morene kan weliswaar een hoger onderwatergewicht bereiken dan Bintje, maar Morene is ook een ras dat aanzienlijk later rijp is. Hierdoor wordt het potentieel hogere onderwatergewicht pas laat in het groeiseizoen bereikt. Hierdoor verschilt het moment waarop een zeker onderwatergewicht wordt bereikt tussen rassen (zie ook: Nelson et al., 1988; Vakis, 1978; Vertregt, 1968; Wurr et al., 1978). Dit betekent dat bij de rassenkeuze in de

praktijk zowel het potentieel te bereiken onderwatergewicht als het verloop daarvan in de tijd van belang is.

Relatie tussen het verloop in drogestofgehalte en het verloop van de grondbedekking

Veel eigenschappen van een aardappelgewas en het verloop daarvan tijdens het groeiseizoen worden toegeschreven aan het verzamelbegrip "afrijping" waarmee vaak wordt gesuggereerd dat er naar analogie van fruitrijping onvermijdbaar een zeker stadium wordt bereikt. Op een vergelijkbare wijze wordt de afrijping (afsterving) van het loof beschreven met de afname van het percentage grondbedekking met nog functionerend blad. Voor knollen is het begrip afrijping veel minder goed definieerbaar doordat veel van hun eigenschappen niet met zekerheid een zeker stadium bereiken en er vaak nauwelijks correlatie bestaat met de afrijping van het loof. Na het stoppen van de bovengrondse productie bereikt de schil een zekere mate van afharding waardoor de knollen uit een oogpunt van (mechanische) oogstbaarheid als "rijp" aan te merken zijn. Voor de intrinsieke knoleigenschappen geeft het begrip rijp veelal slechts aan dat de knollen voldoen aan de door de gebruiker gewenste eigenschappen en niet dat een zeker fysiologisch stadium in de ontwikkeling van het gewas is bereikt.

In de ontwikkeling van een gewas valt het chronologisch verloop van diverse eigenschappen en parameters - althans kwalitatief - samen. Bij een kwantitatieve beschrijving van het verloop van dezelfde eigenschappen of parameters blijkt vaak dat de correlatie zodanig mank gaat dat er in de eerste plaats geen sprake kan zijn van een oorzakelijk verband en dat in de tweede plaats de kwantitatieve correlatie zodanig gering is dat men zelfs de één niet als indicatie voor de ander kan gebruiken.

Een duidelijk voorbeeld hiervan is het verband tussen het verloop van het onderwatergewicht en dat van de grondbedekking met groen loof. De Figuren 3.3 en 3.4 laten zien dat in de regel het onderwatergewicht gedurende de laatste weken van het groeiseizoen toeneemt. De grondbedekking met groen loof neemt daarentegen af. Vergelijking van Figuren 3.3 en 3.4 met 3.5 en 3.6 leert dat er geen gelijkvormigheid was tussen het verloop van het onderwatergewicht en dat van de grondbedekking met groen loof. Dit betekent dat er aan de hand van het verloop van de grondbedekking geen voorspelling kan worden gedaan over het verloop van het onderwatergewicht. Het gevolg hiervan is dat het verloop van het onderwatergewicht in de tijd dan ook niet kan worden beschreven met het begrip afrijping als daarmee het verloop van de grondbedekking met groen loof wordt bedoeld.

Hetzelfde geldt voor de vergelijking van het effect van de hoogte van de stikstofbemesting op het onderwatergewicht en op de grondbedekking. De invloed van stikstof op het onderwatergewicht was namelijk niet gelijkvormig aan haar invloed op het verloop van de grondbedekking c.q. de vroegrijpheid van het gewas.

Er was aanzienlijk verschil tussen de rassen in het verloop van de grondbedekking met groen loof. Het verschil stemt overeen met het gegeven dat Bintje aanzienlijk vroeger rijp is dan Morene (Bonthuis & Ebskamp, 1994). Echter ook in dit geval stemt het verschil tussen de rassen in verloop van het onderwatergewicht niet overeen met het verschil in

verloop van de grondbedekking. Het verschil in verloop van het onderwatergewicht tussen rassen kan daarom niet worden beschreven met het verschil in het verloop van de grondbedekking.

Effecten op de variatie in drogestofgehalte

Effect van ras

De analyses van Datasets 1 en 2 hebben duidelijk gemaakt dat de standaardafwijking van het onderwatergewicht binnen partijen van verschillende rassen 30 à 40 gram bedroeg. In praktische termen betekent dit dat het traject van onderwatergewicht waarbinnen 95 gewichtsprocent van de knollen kon worden aangetroffen 120 à 160 gram was (vier maal de standaardafwijking). In Dataset 1 had Morene het langste traject. In Dataset 2 hadden de rassen Asterix en Aziza een langer traject dan de andere rassen. Gezien de betrekkelijk geringe verschillen tussen rassen en een zwaartepunt van de waarnemingen rond een standaardafwijking van 30 à 35 gram, moet op basis van de hier getoetste rassen het perspectief van veredeling op een wezenlijk geringere variatie in onderwatergewicht als gering worden beschouwd.

In het geval dat veredelaars toch zouden willen selecteren op een geringe spreiding in onderwatergewicht binnen partijen, dan is het een belangrijk gegeven dat de standaardafwijking van de rassen geen correlatie vertoonde met het gemiddelde onderwatergewicht (Tabellen 3.2 en 3.3). Dit stemt overeen met de bevindingen van Lana et al. (1970) en Werner et al. (1998). Het betekent dat voor een selectie op een kleine standaardafwijking van het onderwatergewicht niet het onderwatergewicht zelf als indicatie kan worden gebruikt. Bij selectie zal de standaardafwijking dan ook als zodanig moeten worden vastgesteld. Betrouwbaar selecteren op relatief geringe verschillen kan bovendien pas plaatsvinden wanneer voldoende monsters van voldoende grootte van verschillende jaren en locaties kunnen worden genomen. Deze hoeveelheden zijn zeker in de eerste jaren van veredelingsprogramma's niet voorhanden. Voor het drogestofgehalte (maar niet de standaardafwijking ervan) zijn door Freyre en Douches (1994) genetische merkers gevonden die behulpzaam kunnen zijn bij de selectie in verdelingsprogramma's. Merkers voor de standaardafwijking van het drogestofgehalte zijn waarschijnlijk veel moeilijker te vinden.

Effect van stikstof

Bij het optreden van doorwas kunnen primaire en secundaire knollen sterk in onderwatergewicht verschillen door onttrekking van assimilaten aan de primaire knollen door de secundaire (Lugt, 1960). In die situatie kan dan ook een abnormaal grote variatie in onderwatergewicht optreden. Veerman & Van Loon (1995b en c) toonden aan dat in partijen Bintje met ernstige doorwas het onderwatergewicht van alleen al de primaire knollen zich uitstrekt van minder dan 50 gram tot 300 gram. Bekend is dat een hoge stikstofgift het optreden van doorwas kan versterken (Bodlaender, 1964; van Loon, 1989). Een hoge stikstofgift kan dus op indirecte wijze een hogere standaardafwijking van het onderwatergewicht veroorzaken.

Analyse van Dataset 2 heeft laten zien (Tabel 3.3) dat de stikstofbemesting - afhankelijk van het ras - weliswaar de hoogte van het onderwatergewicht beïnvloedde, maar niet de standaardafwijking. In de proeven zijn geen bijzondere verschijnselen zoals doorwas opgetreden, zodat kan worden geconcludeerd dat er onder normale omstandigheden in het praktijktraject van stikstofbemesting geen effect van stikstof op de standaardafwijking van het onderwatergewicht is.

Effecten van locatie en jaar

Er bleken uit de Datasets 1 en 2 geen consistente locatie-effecten op de variatie binnen partijen, zoals wél het geval was voor het gemiddelde onderwatergewicht. Er waren dus geen locaties die jaar op jaar een duidelijk hogere dan wel lagere standaardafwijking lieten zien dan andere locaties (Tabellen 3.4 en 3.5). Dit houdt in dat aan de hand van de regionale herkomst van de partij geen voorspelling te doen valt over de standaardafwijking van haar onderwatergewicht. In Dataset 2 was wel een consistent jaareffect aanwezig: op alle locaties was de standaardafwijking in 1992 aanzienlijk lager dan in 1991.

Ondanks de afwezigheid van consistente locatie-effecten moet de oorzaak van de aangetroffen verschillen tussen proeven ongetwijfeld worden gezocht in het verloop van de weersomstandigheden op de verschillende locaties, in samenhang met de bodemeigenschappen en wellicht teeltmaatregelen.

Door gebrek aan fundamentele kennis over de totstandkoming van de spreiding in onderwatergewicht is het echter speculatief om verbanden te veronderstellen. Niet bekend is bijvoorbeeld of de weersomstandigheden gedurende het gehele groeiseizoen invloed op de standaardafwijking uitoefenen, of dat dit slechts voor een deel van het seizoen het geval is.

Variatiebronnen

In Datasets 1 en 2 werd de procentuele bijdrage van verschillende variatiebronnen aan de totaal in de monsters aangetroffen variantie in onderwatergewicht onderscheiden (Tabellen 3.6 en 3.7). Dit heeft laten zien dat zowel in Dataset 1 als in Dataset 2 het overgrote deel van de variantie (resp. 79 - 99 en 82 - 97 %) binnen de experimentele eenheden werd aangetroffen.

Het resultaat van de analyse van Dataset 4 geeft dezelfde uitkomst als die van Datasets 1 en 2: veldjes op een perceel (Tabel 3.8: blokken) veroorzaakten slechts een klein deel van de variantie in drogestofgehalte tussen knollen. In de fractie knollen groter dan 75 gram bevond in september 1987 en 1988 resp. 85 en 82 % van de totale variantie zich binnen de veldjes. Over alle knollen is dit aandeel nog groter, hetgeen wordt veroorzaakt door het verband tussen knolgrootte en drogestofgehalte in de fractie kleiner dan 75 gram (Figuur 3.8).

De veldvariatie (hier: blokken) kan in de praktijk iets groter zijn dan in de hier beschreven experimenten. Afwijkende delen van een perceel zoals kopakkers en spuitsporen maken immers geen deel uit van proefvelden, de blokcomponent valt hierdoor ten opzichte van praktijkpercelen mogelijk te laag uit. In zijn algemeenheid geldt dat de veldvariatie groter

zal zijn naarmate binnen een perceel de verschillen in structuur, vocht- en stikstofvoorziening etc. groter zijn.

De absolute grootte van de aangetroffen variantie is gezien over de experimenten en over de objecten daarin behoorlijk consistent. Daarnaast wordt consequent minimaal 80 % van de variantie binnen de experimentele eenheden aangetroffen. Dit doet vermoeden dat de variatie in drogestofgehalte tussen aardappelknollen een zeer gewaseigen verschijnsel is. Uit Datasets 1 en 2 konden echter de bronnen van variatie slechts tot op het niveau van een veldje worden berekend. Analyse van Datasets 3 en 4 heeft daarentegen ook het aandeel van variatiebronnen binnen een veldje en binnen planten zichtbaar gemaakt (Tabellen 3.8 en 3.9). Van de variantie die in Dataset 4 binnen de blokken werd aangetroffen werd 80 à 90 % veroorzaakt door variatie tussen knollen binnen planten, de rest werd veroorzaakt door variatie tussen planten. In de fractie groter dan 75 gram was het aandeel van de knollen iets lager als gevolg van het verband tussen knolgrootte en drogestofgehalte in de kleinere fractie (Figuur 3.8).

Dataset 5 (Tabel 3.9) heeft duidelijk gemaakt dat het grootste deel van de variatie tussen knollen niet alleen binnen planten voorkomt, maar zelfs binnen de stengels. De grootte van de varianties en het effect van beperking van de Dataset tot knollen van meer dan 75 gram zijn sterk overeenkomstig die bij de gegevens van september in Dataset 4, ondanks het feit dat het zowel andere rassen, andere locaties als een ander jaar betreft. Het laatste sluit, voor wat betreft de grootte van de variantie, aan bij de indruk die reeds uit Datasets 1 en 2 werd verkregen, namelijk dat de variatie in drogestofgehalte een gewaseigen en zeer consistent optredend verschijnsel is.

Dat het grootste deel van de variatie wordt aangetroffen tussen de knollen van een plant en zelfs tussen de knollen van dezelfde stengel betekent dat de variatie in drogestofgehalte niet alleen een gewas- en planteigen, maar zelfs een stengeleigen verschijnsel is. Daarnaast heeft analyse van Dataset 5 (Tabel 3.10) duidelijk gemaakt dat het aantal stengels dat een plant heeft, geen invloed heeft op het drogestofgehalte van de knollen per plant en per stengel en de standaardafwijkingen daarvan. Dit alles bevestigt de visie dat stengels zelfstandig functionerende eenheden zijn (Oparka & Davies, 1985).

De Figuren 3.11 en 3.12 laten zien dat er in het aantal knollen per plant of het bereikte versgewicht van de knollen per plant geen aanknopingspunten te vinden zijn voor een verklaring van tussen-plantverschillen in het drogestofgehalte en de variatie daarvan.

Figuur 3.8 illustreert dat er op het moment van de eind oogst bij knolgewichten tot ± 100 gram een duidelijk verband was tussen het knolgewicht en het gemiddelde drogestofgehalte. Bij grote knolgewichten leek het drogestofgehalte weer iets af te nemen, hetgeen overeenkomt met meldingen van andere auteurs (Meijers & Van Veldhuisen, 1970; Wurr & Allen, 1974; Wilcockson, 1986). Deze afname is echter gering en in de fractie 50-opwaarts ($> \pm 75$ gram, Beukema & Van der Zaag, 1990) was nauwelijks nog variatie aanwezig als gevolg van een verband tussen knolgrootte en drogestofgehalte. Ook andere auteurs melden dit (Craft & Heinze, 1951; Wilcockson, 1986).

Het drogestofgehalte van kleine knollen is lager, de standaardafwijking van hun drogestofgehalte is echter hoger (Figuur 3.9). Dit werd ook door Cole (1975)

waargenomen. Het betekent dat het respectievelijk hoogste en laagste drogestofgehalte dat bij knollen van vergelijkbaar gewicht kan worden aangetroffen, hoger respectievelijk lager wordt naarmate het knolgewicht geringer is. Dit wordt ook geïllustreerd door Figuur 3.10. Dit heeft tot gevolg dat de variatie in drogestofgehalte kan worden beperkt door op knolgewicht of -maat te sorteren. Met het hanteren van de grens van 50 mm voor de fritesproductie is al een belangrijk deel van de variatie in drogestofgehalte uitgesorteerd. Het nog verder optrekken van de grens van 50 millimeter levert weinig extra beperking van variatie op. Wil men binnen een fractie van knolgewicht de variatie in drogestofgehalte verder beperken dan is men aangewezen op scheiding op soortelijk gewicht, bijv. met behulp van een zout- of kleibad. Dit zal sneller de moeite waard zijn naarmate de variatie in drogestofgehalte groter is, dus naarmate de knollen kleiner zijn.

Verloop van de variatie tijdens het groeiseizoen

Figuur 3.7 laat zien dat er aanzienlijke verschillen waren in het gemiddeld drogestofgehalte van de knollen per plant. De breedte van deze verdeling nam in de loop van het seizoen toe. Het minimum van deze verdeling verschoof naar hogere gehalten. Het gemiddelde drogestofgehalte van de knollen per plant nam blijkbaar niet af. Opmerkelijk is dat er in tegenstelling hiermee steeds meer individuele knollen werden aangetroffen met drogestofgehaltenes die hoger, maar ook met name veel lager waren dan het gemiddelde. Het laatste veroorzaakte in hoofdzaak de scheefheid van de verdeling. Dat het aantreffen van knollen met lage drogestofgehaltenes het gevolg is van (late) aanleg van knollen met een laag drogestofgehalte, is onwaarschijnlijk. In juli werden nog geen knollen aangetroffen met zeer lage drogestofgehaltenes zoals in augustus en september. De knollen worden echter tijdens een beperkte periode gevormd (Burstall et al., 1987; Struik et al., 1988) en zijn hoogstwaarschijnlijk in juli alle (ook de knollen die na juli de grens van 10 gram passeerden) reeds aanwezig geweest. Daarnaast kan uit de literatuur worden opgemaakt dat knollen vlak na aanleg geen lage drogestofgehaltenes hebben. Lommen (1993) vermeldt dat pas aangelegde, zeer kleine knollen (< 0,5 g) drogestofgehaltenes hebben van meer dan 15 %. Ook Helder (1994) vond dat knollen op het moment dat ze beginnen te groeien een drogestofgehalte hebben van 15 %. Dit betekent dat bij een deel van de knollen het drogestofgehalte vanaf een zeker moment moet zijn afgenomen. Dit kan voor een klein deel het gevolg zijn van ademhaling zonder dat er aanvoer van assimilaten plaatsvindt, maar er kan ook sprake zijn van resorptie, d.w.z. actieve afvoer van droge stof uit de knollen (Oparka & Davies, 1985).

De ontwikkeling van de frequentieverdelingen van planten resp. knollen over het drogestofgehalte (Figuur 3.7) suggereert dat het ontstaan van variatie in drogestofgehalte tussen knollen en die tussen de knollen per plant verschillende oorzaken kent. Figuur 3.7 en Tabel 3.8 laten namelijk zien dat weliswaar de variantie van zowel planten als knollen toeneemt, maar dat de scheefheid van de frequentieverdeling van het drogestofgehalte van de knollen per plant in de loop van de tijd positiever wordt terwijl de scheefheid van de frequentieverdeling van de individuele knollen zich sterk negatief ontwikkelt. Daarnaast schuift het minimum van de plantverdeling naar hogere drogestofgehaltenes, terwijl het minimum van de knolverdeling sterk verschuift naar lagere

gehalten. Dit duidt er op dat er met name binnen planten een belangrijk deel van de variatie in drogestofgehalte tussen knollen wordt veroorzaakt door mechanismen die niet of nauwelijks een belangrijke oorzaak vormen voor de variatie in gemiddeld drogestofgehalte van de knollen per plant.

Figuur 3.10 laat zien dat het gemiddelde drogestofgehalte in de loop van het groeiseizoen in alle klassen van knolgewicht toenam. Daarnaast is te zien dat in de klasse van kleinste knollen de laagste en hoogste drogestofgehalten voorkwamen. De verbreding van de verdeling met een negatieve scheefheid vond echter ook plaats in de klassen van grotere knollen. Dit kan er op duiden dat stagnatie van aanvoer van assimilaten en wellicht zelfs afvoer van droge stof uit de knollen op alle momenten in het groeiseizoen en bij alle knolgrootten kan voorkomen.

Oparka & Davies (1985) vonden een relatie tussen de positie van het blad waaraan radioactief gelabelde koolstof werd toegediend en de positie van de knollen waarin het grootste deel van deze koolstof werd teruggevonden. De stolonen van knollen waarin de meeste gelabelde koolstof werd aangetroffen bevonden zich aan dezelfde zijde van de stengel als het behandelde blad. De mate waarin individuele bladeren productief zijn en blijven (beschaduwning, voorziening met en reallocatie van nutriënten) kan dan ook als één van de oorzaken worden vermoed voor het ontstaan van verschillen in drogestofgehalte. Hiermee wordt het aannemelijk dat de zich in de loop van het seizoen wijzigende gewasstructuur ook een oorzaak kan zijn voor een toenemende variatie in de aanvoer van koolhydraten naar individuele knollen. Doordat stengels gaan "strijken" gaan stengels en bladeren van verschillende, maar ook van dezelfde planten, elkaar beschaduwen.

Naast verschillen in aan- en afvoer van assimilaten varieert ook de aan- en afvoer van water, hetgeen ook een variatiebron voor het drogestofgehalte van een knol kan zijn (Baker & Moorby, 1969; Plodowska et al., 1989a en b).

De wetenschap dat sommige verbindingen en ionen exclusief door het floëem of xyleem (bijvoorbeeld calcium, Krauss & Marschner, 1975) worden vervoerd en het bepalen van correlaties van deze componenten met te onderzoeken eigenschappen zoals het drogestofgehalte kunnen aanwijzingen geven over de rol die floëem- en xyleemaanvoer spelen in het ontstaan van die eigenschappen.

Relatie tussen variatie in drogestofgehalte en de variatie van andere knoleigenschappen

Voor de verklaring van het optreden van variatie in drogestofgehalte ligt het voor de hand parallellen te zoeken met de variabiliteit van andere eigenschappen van het aardappelgewas of de aardappelplant.

Over de variatie in knolgrootte is door diverse auteurs gerapporteerd: o.a. door Sands & Regel (1983), Marshall & Thompson (1986), MacKerron et al. (1988), Struik et al. (1990 en 1991). Vergelijking van de figuren 3.1 en 3.7 leert echter dat de frequentieverdeling van de knolgrootte en de verschuiving daarvan tijdens het groeiseizoen een heel andere is dan die van het drogestofgehalte. Hieruit blijkt dat de variabiliteit in drogestofgehalte - in ieder geval gedeeltelijk - andere oorzaken kent dan de variabiliteit in knolgrootte.

Wellicht speelt de hormoonhuishouding een rol in het ontstaan van de variatie in drogestofgehalte. Literatuur hierover is zeer beperkt. Bialek & Bielinska-Czarnecka (1975) vonden in oudere knollen een positief verband tussen groeisnelheid van knollen en hun gehalte aan gibberellinezuur. Hun gegevens werden echter niet op knolniveau verzameld. Krauss (1981) deed dat wel en vond geen verband tussen de groeisnelheid van knollen en hun gehalte aan abscisinezuur (ABA) of gibberellinezuur (GA).

Naast hormonen kunnen ook enzymactiviteiten een rol spelen. Krauss & Marschner (1984) melden dat de groei van knollen die aan een temperatuur van 30 °C werden blootgesteld stopte en dat hun zetmeelgehalte werd verlaagd. Gelijktijdig werd een verlaagde activiteit van enkele enzymen in de zetmeelsynthese waargenomen. Engels & Marschner (1986) vonden dat de verschillen in groeisnelheid van individuele knollen na de knolaanleg toenamen in de tijd. De verschillen in groeisnelheid waren gecorreleerd met de in vitro activiteit van bij de zetmeelsynthese betrokken enzymen.

Er is mogelijk ook overeenkomst tussen de variatie in drogestofgehalte en de variatie in kiemrustduur. Van Ittersum (1992) vermeldt dat in drie experimenten met twee rassen het overgrote deel van de variatie in kiemrust werd verklaard door verschillen tussen knollen van dezelfde plant. Het is echter niet duidelijk of de variatie in drogestofgehalte op knolniveau samenvalt met de variatie in kiemrust; m.a.w. of de twee eigenschappen op knolniveau gecorreleerd zijn.

In Hoofdstuk 5 wordt aangetoond dat er een negatieve correlatie bestaat tussen het drogestofgehalte van knollen en hun nitraatgehalte. Deze correlatie werd niet alleen op partijniveau vastgesteld, maar ook op het niveau van planten en stengels. Er werd een negatief verband aangetroffen tussen drogestofgehalte en nitraatgehalte van de knollen van individuele stengels bij 70 à 80 % van de stengels.

Er wordt in de literatuur weinig vermeld over de correlatie tussen drogestofgehalte en bakkleur op knolniveau bij knollen van een vergelijkbaar gewicht. Meijers & Van Veldhuisen (1968) scheidden monsters knollen van de maat 45/55 mm in fracties van onderwatergewicht. Zij vonden een positief verband tussen onderwatergewicht en chipskleur. Er lijkt dus bij vergelijkbaar knolgewicht verband te bestaan tussen drogestofgehalte en reducerend-suikergehalte. In de literatuur wordt er wel melding van gemaakt dat kleinere knollen naast een lager drogestofgehalte over het algemeen een hoger gehalte aan reducerende suikers hebben en als gevolg daarvan een donkerder bakkleur (Wiese et al., 1975). Ook Nelson & Shaw (1976) vermeldden dat kleine knollen een hoger gehalte aan reducerende suikers hadden dan grotere knollen. Aangezien de gehalten aan droge stof en reducerende suikers niet gelijktijdig op knolniveau werden waargenomen kan niet worden geconcludeerd dat er op knolniveau een (oorzakelijk) verband is tussen het gehalte aan droge stof en het gehalte aan reducerende suikers. Zowel het lager gehalte aan droge stof als het hoger gehalte aan reducerende suikers is in de meeste onderzoeken vastgesteld aan monsters van meerdere knollen per experimentele eenheid en wordt vaak toegeschreven aan het feit dat kleinere knollen fysiologisch jonger ofwel onrijper zijn. Wil deze redenatie fysiologisch juist kunnen zijn dan moet het verband echter ook aanwezig zijn op het niveau van de afzonderlijke knollen van een individuele stengel.

Daar er weinig gegevens op plant- en knolniveau beschikbaar zijn, is het aan te bevelen dergelijke gegevens te verzamelen. Ze zouden duidelijker kunnen maken of het begrip afrijping en de daarmee gepaard gaande verschijnselen niet alleen op het niveau van een gewas, maar ook op het niveau van plant en individuele knollen van toepassing zijn en dus niet alleen een gewasfysiologische, maar ook een plantenfysiologische basis hebben.

IMPLICATIES

Wetenschappelijk

- Het overgrote deel van variatie in drogestofgehalte binnen een partij aardappelen is afkomstig van de verschillen in drogestofgehalte die optreden tussen de knollen van individuele stengels. Verschillen tussen planten en verschillen veroorzaakt door heterogeniteit in het veld leveren bij redelijk uniforme percelen slechts een geringe bijdrage aan de totale variatie in drogestofgehalte zoals die binnen een partij aardappelen voorkomt.
- Daar het drogestofgehalte de resultante is van het gewicht aan droge stof en het gewicht aan water, kan zowel de floëem- (water en assimilaten) als de xyleemaanvoer (water en nutriënten) hierop invloed uitoefenen. In onderzoek naar de mechanismen die de uiteindelijke variatie in drogestofgehalte tussen knollen van een stengel veroorzaken zullen deze beide stromen dan ook afzonderlijk moeten worden beschouwd. Een zinvol hulpmiddel daarbij is de kennis dat sommige ionen en verbindingen vrijwel uitsluitend door ofwel het floëem dan wel het xyleem worden vervoerd. Zo worden koolhydraten uitsluitend naar de knollen getransporteerd door het floëem. Sommige ionen, bijvoorbeeld calcium (Krauss & Marschner, 1975), komen daarentegen vrijwel alleen in het xyleem voor. De aanvoer van dit soort componenten, hun correlaties met te onderzoeken gehalten en eigenschappen en de invloed van omgevingsfactoren daarop kunnen aanwijzingen geven over het belang van floëem- en xyleemaanvoer in de totstandkoming van deze gehalten en eigenschappen waar het drogestofgehalte er één van is.
- Naast het drogestofgehalte is er ook grote variatie in kiemrust tussen individuele knollen van een partij (Van Ittersum, 1992). Ook bij deze eigenschap bleek een deel van de variatie te worden verklaard door de knolgrootte.
- In Hoofdstuk 5 wordt aangetoond dat de variatiebronnen voor het nitraatgehalte van knollen in hoge mate overeenkomen met die voor het drogestofgehalte. In onderzoek van Van Ittersum (1992) bleek ook bij de kiemrust het grootste deel van de variatie voor te komen tussen knollen van afzonderlijke planten. Het verdient daarom aanbeveling verder te onderzoeken in welke mate de variatiebronnen voor verschillende eigenschappen en gehalten dezelfde zijn en in welke mate de onderzochte eigenschappen en gehalten op knolniveau correlatie vertonen.

Praktisch

- Het perspectief voor veredeling op weinig variatie binnen partijen in drogestofgehalte is gering. Enerzijds zijn de verschillen tussen rassen betrekkelijk klein, anderzijds is een betrouwbare vaststelling van rasverschillen zo bewerkelijk dat ze nauwelijks inpasbaar is in veredelingsprogramma's, tenzij voor deze eigenschap een merker kan worden gevonden.
- Er bestaan op basis van de in dit onderzoek gevonden resultaten voor een teler geen mogelijkheden om de variatie in drogestofgehalte binnen een partij wezenlijk te verminderen. De bestaande rasverschillen in variatie zijn daarnaast van te geringe betekenis om er de keuze voor een ras op te baseren.
- Er kunnen verschillen in variatie in drogestofgehalte optreden tussen jaren en locaties. De verschillen tussen locaties zijn echter niet consistent over de jaren heen, de verschillen tussen jaren zijn door de onvoorspelbaarheid van het weersverloop per definitie onvoorspelbaar. Wellicht kan enige tijd voor de oogst reeds onderscheid tussen partijen worden gemaakt door aan monsters de variatie in drogestofgehalte te bepalen. Het hier beschreven onderzoek heeft laten zien dat de variatie in drogestofgehalte in de loop van het groeiseizoen toeneemt. Hoe ver voor de oogst een verantwoord onderscheid mogelijk is, is echter niet duidelijk. Hiervoor moet het eerst duidelijk zijn of de variatie zich binnen verschillende partijen in hetzelfde tempo en in dezelfde periode van het groeiseizoen ontwikkelt. Analooq aan de inpasbaarheid in veredelingsprogramma's is het vervolgens de vraag of de benodigde inspanning voor een betrouwbaar onderscheid tussen partijen opweegt tegen de voordelen ervan.
- Het gebruik van de maat 50-op door de fritesindustrie met het oog op de minimale lengte van de patates-frites, omvat reeds een groot deel van de beperking van variatie in drogestofgehalte die mogelijk is met behulp van sorteren op maat. Het optrekken van de grens van 50 mm levert slechts een geringe extra beperking van variatie op, terwijl de volumes die als gevolg hiervan op een andere dan de fritesmarkt moeten worden afgezet sterk toenemen. Indien een sterke beperking van de variatie in drogestofgehalte gewenst is, lijkt scheiding op soortelijk gewicht (met behulp van zout- of kleibaden) de enige oplossing.
- De maat 40/50 mm die in de regel op de tafelmarkt wordt afgezet, maar vooral de nog kleinere maten die bijvoorbeeld voor inblikken of vorgebakken producten worden gebruikt, kennen een onvermijdelijk grotere variatie in drogestofgehalte. Scheiding op soortelijk gewicht is ook in dit geval de enige mogelijkheid om de variatie te beperken.

Literatuur

Allen E.J. & R.K. Scott, 1980. An analysis of growth of the potato crop, Journal of Agricultural Science 94, p. 583-606.

- Appleman, C.O. & E.V. Miller, 1926. A chemical and physiological study of maturity in potatoes, *Journal of Agricultural Research* 33, p. 569-577.
- Baker, D.A. & J. Moorby, 1969. The transport of sugar, water and ions into developing potato tubers, *Annals of Botany* 33, p. 729-741.
- Beukema, H.P. & D.E. van der Zaag, 1990. *Introduction to Potato Production*, PUDOC, Wageningen, 208 pp.
- Bialek, K. & M. Bielinska-Czarnecka, 1975. Gibberellin-like substances in potato during their growth and dormancy, *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences* 23, p. 213-218.
- Bodlaender, K.B.A., 1964. The induction of second growth in potato tubers, *European Potato Journal* 7, p. 57-71.
- Bonthuis, H. & A.G.M. Ebskamp (eds), 1994. *Beschrijvende Rassenlijst voor Landbouwgewassen 1994*, CPRO-DLO, Wageningen, 342 pp.
- Burstall, L. & P.M. Harris, 1983. The estimation of percentage light interception from leaf area index and percentage ground cover in potatoes, *Journal of Agricultural Science* 100, p. 241-244.
- Burstall, L., M.N. Thomas & E.J. Allen, 1987. The relationship between total yield, number of tubers and yield of large tubers in potato crops, *Journal of Agricultural Science* 108, p. 403-406.
- Burton, W.G., 1989. *The Potato*, 3rd edition, Harlow, Longman Scientific & Technical, 742 pp.
- Cole, C.S., 1975. Variation in dry matter between and within potato tubers, *Potato Research* 18, p. 28-37.
- Craft, C.C. & P.H. Heinze, 1951. Association of specific gravity with weight of individual tubers in late crop potatoes, *American Potato Journal* 28, p. 580-582.
- Engels, Ch. & H. Marschner, 1986. Allocation of photosynthate to individual tubers of *Solanum tuberosum* L. I. Relationship between tuber growth rate and enzyme activities of the starch metabolism, *Journal of Experimental Botany* 37, no. 185, p. 1795-1803.
- Freyre, R. & D.S. Douches, 1994. Development of a model for marker-assisted selection of specific gravity in diploid potato across environments, *Crop Science* 34, p. 1361-1368.

- Haverkort, A.J., D. Uenk, H. Veroude & M. van de Waart, 1991. Relationship between ground cover, leaf area index and infrared reflectance of potato crops, *Potato Research* 34, p. 113-121.
- Heinze, P.H. & C.C. Craft, 1952. Variations in specific gravity of potatoes, *American Potato Journal* 29, p. 31-37.
- Helder, J., 1994. Tuber formation in the wild potato species *Solanum demissum* Lindl., PhD Thesis, Agricultural University, Wageningen, 114 pp.
- Ifenkwe, O.P. & E.J. Allen, 1978. Effects of tuber size on dry matter content of tubers during growth of two main crop varieties, *Potato Research* 21, p. 105-112.
- Ittersum, M.K. van, 1992. Variation in the duration of tuber dormancy within a seed potato lot, *Potato Research* 35, p. 261-269.
- Klundert, C.J.A. van de, 1973. Het scheiden van aardappelen op soortelijk gewicht in een zoutwaterbad, *Mededeling* 419, IBVL, Wageningen, 11 pp.
- Krauss, A., 1981. Absciscic and gibberellic acids in growing potato tubers, *Potato Research* 24, p. 435-439.
- Krauss, A. & H. Marschner, 1975. Langstreckentransport von Calcium in Stolonen von Kartoffelpflanzen, *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 136, p. 228-240.
- Krauss, A. & H. Marschner, 1984. Growth rate and carbohydrate metabolism of potato tubers exposed to high temperatures, *Potato Research* 27, p. 297-303.
- Lana, E.P., R.H. Johansen & D.C. Nelson, 1970. Variation in specific gravity of potato tubers, *American Potato Journal* 47, p. 9-12.
- Lommen, W.J.M., 1993. Post-harvest characteristics of potato minitubers with different fresh weights and from different harvests. I. Dry-matter concentration and dormancy, *Potato Research* 36, p. 265-272.
- Loon, C.D. van, 1989. Enkele kwaliteitseigenschappen van consumptie-aardappelen in relatie tot de bemesting, *Aardappelwereld* 42, nr. 9, p. 18-20.
- Ludwig, J.W., 1972. Bepaling van het drogestofgehalte van aardappelen via onderwaterweging, *Publikatie* 247, IBVL, Wageningen, 12 pp.
- Lugt, C., 1960. Second growth phenomena, *European Potato Journal* 3, p. 307-324.

- Mackerron, D.K.A. & R.A. Jefferies, 1985. Observations on the effects of relief of late water stress in potato, *Potato Research* 28, p. 349-359.
- Mackerron, D.K.L., B. Marshall & R.A. Jefferies, 1988. The distributions of tuber sizes in droughted and irrigated crops of potato, *Potato Research* 31, p. 279-288.
- Marshall, B. & R. Thompson, 1986. Tuber size distribution, *Potato Research* 29, p. 261-262.
- Meijers, C.P. & G. van Veldhuisen, 1968 *Onderwatergewichten en soortelijke gewichten van aardappelen*, Publikatie 2, Stichting Aardappelstudiecentrum, p. 29-41.
- Meijers, C.P. & G. van Veldhuisen, 1970. Onderzoek naar de invloed van landbouwkundige factoren op de chipskwaliteit van aardappelen, Mededeling 353, IBVL, Wageningen, 23 pp.
- Meijers, C.P. & G. van Veldhuisen, 1972. De spreiding van de soortelijke gewichten van aardappelen, *Bedrijfsontwikkeling* 3, p. 813-818.
- Nelson, D.G., P.D. Jenkins & T.C. Gillison, 1988. Processing potential of potato cultivars at early harvests, *Potato Research* 31, p. 633-642.
- Nelson, D.C. & R. Shaw, 1976 Effect of planting and harvest dates, location in the hill and tuber size on sugar content of Kennebec potatoes, *American Potato Journal* 53, p. 15-21.
- Oparka, K.J. & H.V. Davies, 1985. Translocation of assimilates within and between potato stems, *Annals of Botany* 56, p. 45-54.
- Plodowska, J.W., P.H.J. Jongebloed, P.A.C.M. van de Sanden & P.C. Struik, 1989a. Effects of a short period of drought on changes in tuber volume and specific leaf weight. I. Long-term changes, *Potato Research* 32, p. 245-253.
- Plodowska, J.W., P.H.J. Jongebloed, P.A.C.M. van de Sanden & P.C. Struik, 1989b. Effects of a short period of drought on changes in tuber volume and specific leaf weight. I. Diurnal changes, *Potato Research* 32, p. 255-266.
- Robinson, D.L., R. Thompson & P.G.N. Digby, 1982. REML - a program for the analysis of non-orthogonal data by restricted maximum likelihood, In: *Compstat 1982, part II (supplement)*, Wien, Physica-Verlag, p. 231-232.

- Sands P.J. & P.A. Regel, 1983. A model of the development and bulking of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). V. A simple model for predicting graded yields, *Field Crops Research* 6, p. 25-40.
- Struik, P.C., A.J. Haverkort, D. Vreugdenhil, C.B. Bus & R. Dankert, 1990. Manipulation of tuber-size distribution of a potato crop, *Potato Research* 33, p. 417-432.
- Struik, P.C., E. van Heusden & K. Burger-Meijer, 1988. Effects of short periods of long days on the development, yield and size distribution of potato tubers, *Netherlands Journal of Agricultural Science* 36, p. 11-22.
- Struik, P.C., D. Vreugdenhil, A.J. Haverkort, C.B. Bus & R. Dankert, 1991. Possible mechanisms of size hierarchy among tubers on one stem of a potato (*Solanum tuberosum* L.) plant, *Potato Research* 34, p. 187-203.
- Svensson, B., 1972. Influence of the place of a stem in the hill on the weight and dry matter content of its tubers, *Potato Research* 15, p. 346-353.
- Vakis, N.J., 1978. Specific gravity, dry matter content and starch content of 50 potato cultivars grown under Cyprus conditions, *Potato Research* 21, p. 171-181.
- Veerman, A. & C. D. van Loon, 1995a Doorwas, glazigheid en waterzakken in aardappelen: een overzicht naar aanleiding van doorwasjaar 1994, *Jaarboek 1994/1995 Akkerbouw, Publikatie 78A*, p. 16-20.
- Veerman, A. & C. D. van Loon, 1995b. Onderzoek naar de ontwikkeling van glazige aardappelknollen tot waterzakken na de oogst, *Jaarboek 1994/1995 Akkerbouw, Publikatie 78A*, p. 21-28.
- Veerman, A. & C.D. van Loon, 1995c. Post-harvest decay of second growth induced glassy tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Bintje in relation to their specific gravity, *Potato Research* 38, p. 391-398.
- Vertregt, N. 1968. Relation between black spot and composition of the potato tuber, *European Potato Journal* 11, p. 34-44.
- Werner, B.K., S.L. Love & B. Shaffi, 1998. Comparison of seasonal development of tuber specific gravity among seven potato clones, *American Journal of Potato Research* 75, p. 121-127.
- Wiese, W., D. Bommer & C. Pätzold, 1975. Einfluß differenzierter Wasserversorgung auf Ertragsbildung und Knollenqualität der Kartoffelpflanze (*Solanum tuberosum* L.), *Potato Research* 18, p. 618-631.

- Wilcockson, S.J., 1986. Effects of defoliation and time of harvest on tuber dry matter content of Pentland Crown potatoes, *Journal of Agricultural Science* 107, 723-733.
- Wurr, D.C.E. & E.J. Allen, 1974. Some effects of planting density and variety on the relationship between tuber size and tuber dry-matter percentage in potatoes, *Journal of Agricultural Science* 82, p. 277-282.
- Wurr, D.C.E., J.N. Bean & E.J. Allen, 1978. Effects of variety and date of harvest on the tuber dry-matter percentage of potatoes, *Journal of Agricultural Science* 90, p. 597-604.

Hoofdstuk 4

**Het effect van stikstof en kalium op het
nitraatgehalte van aardappelknollen van
verschillende rassen, geteeld onder
uiteenlopende groeiomstandigheden**

Inleiding

Het nitraatgehalte van aardappelknollen is laag in verhouding tot veel andere verse plantaardige producten (Putz & Bergthaller, 1989; Kolbe, 1987). Acute overschrijdingen van de maximale acceptabele dagelijkse dosis nitraat worden dan ook in hoofdzaak veroorzaakt door de consumptie van nitratrijke (blad)groenten (Van Loon & Van Klaveren, 1990) en niet door die van aardappelen. Doordat aardappelen een relatief groot onderdeel zijn van onze voeding leveren ze toch een substantiële bijdrage aan de gemiddelde dagelijkse nitraatinname. Dit maakt het relevant te onderzoeken welke mogelijkheden zijn er om het nitraatgehalte van aardappelknollen en daarmee hun bijdrage aan de nitraatinname te verlagen.

In de literatuur wordt ten aanzien van het nitraatgehalte van aardappelknollen melding gemaakt van (aanzienlijke) rasverschillen (Gislason et al., 1984; Grassert & Bartel, 1987; Grassert et al., 1990; Kolbe, 1987; Vencken et al., 1989) en verschillen tussen jaren en locaties (Augustin et al., 1977; Gislason et al., 1984; Grassert & Bartel, 1987; Grassert et al., 1990; Munzert & Lepschy, 1983; Winkelmann, 1989). Het nitraatgehalte wordt door stikstofbemesting verhoogd (Augustin et al., 1977; Carter & Bosma, 1974; Gislason et al., 1984; McDole & McMaster, 1978; Nitsch & Klein, 1983). Droogte is een oorzaak voor een sterk verhoogd nitraatgehalte, bovendien is onder droge omstandigheden de verhoging van het nitraatgehalte door stikstof veel sterker (Augustin et al., 1977; Carter & Bosma, 1974; McDole & McMaster, 1978). Naast deze interactie melden Gislason et al. (1984) interacties tussen ras en locatie en tussen ras en stikstof. Dit literatuuroverzicht geeft aan dat het nitraatgehalte van aardappelknollen onder invloed staat van vele interacterende factoren.

Om een indruk te verkrijgen van het bereik van de gehalten die in Nederlandse aardappelen kunnen worden aangetroffen en van de invloed op het gehalte van rassenkeuze, stikstof- en kalibemesting, de variatie tussen jaren en locaties, van de invloed van knolgrootte en van interacties tussen deze factoren, werd in de jaren 1988 - 1992 in een aantal experimenten het nitraatgehalte van aardappelknollen bepaald. De gegevens dienden uiteindelijk duidelijk te maken wat het relatieve belang van stikstof- en kalibemesting, jaar- en locatie-invloeden en interacties is en in hoeverre het nitraatgehalte van aardappelknollen door aanpassing van de stikstof- en kalibemesting is te verlagen.

Materiaal en methoden

Bepaling van het nitraatgehalte

Voor zover monsters niet onmiddellijk na de oogst werden verwerkt, werden ze opgeslagen bij een temperatuur van 4 °C. De monsters werden versneden met behulp van een cutter, waarna een submonster van ± 250 gram vers materiaal 24 uur werd gedroogd bij 105 °C en het drooggewicht werd vastgesteld. Nitraatgehalten werden in

alle experimenten bepaald door middel van cadmiumreductie met behulp van een autoanalyser (Driessen, 1992).

Experimenten

In de jaren 1988 tot en met 1992 werden 12 experimenten uitgevoerd (Tabel 4.1).

De Experimenten 1 en 2, waarin opgenomen de rassen Diamant, Morene, Van Gogh en Bintje, werden in 1988 en 1989 uitgevoerd op het regionaal onderzoekscentrum Rusthoeve (RH) te Colijnsplaat. In deze experimenten was de hoogste stikstofgift het landelijk advies voor Bintje op kleigronden:

$$LABK = 285 \text{ kg N} - 1,1(N \text{ min } 0 - 60 \text{ cm}) \quad (4.1)$$

Dit houdt in: $285 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ minus 1,1 maal de bodemvoorraad (0-60 cm) aan minerale stikstof in het voorjaar. In Experiment 1 bedroeg de laagste gift $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ minder dan dit advies. In Experiment 2 ontvingen de twee lagere varianten resp. 50 en $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ minder dan genoemde adviesgift.

Naast de in de praktijk gangbare kalibemesting werd een variant aangelegd die een extra kaligift ontving. Deze gift bedroeg $300 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$, in het voorjaar - voor het poten - toegediend in de vorm van patentkali (K_2SO_4). Van de vierkantsmaat 40/50 mm werd op het moment van de eindoogst per veldje een monster van 25 knollen genomen.

In de jaren 1991 en 1992 werden met de rassen Asterix, Aziza, Maritiema en Bintje de Experimenten 3 tot en met 8 aangelegd op de regionale onderzoekscentra Prof.Dr.J.M. van Bemmelenhoeve (BEM) te Wieringerwerf, De Kandelaar (KL) te Biddinghuizen en Westmaas (WS) te Westmaas. In deze experimenten was de hoogste stikstofgift het landelijk Bintje-advies volgens Vergelijking (4.1). De twee lagere varianten ontvingen resp. 50 en $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ minder dan dit advies. Van de vierkantsmaat 50/60 mm werden op het moment van de eindoogst monsters van 25 knollen per veldje genomen. Van de rassen Asterix en Bintje werden bij het hoogste en laagste stikstofniveau bovendien monsters verzameld uit de maat 40/50 mm.

De Experimenten 1 tot en met 8 werden in drie herhalingen aangelegd.

In 1990 en 1992 werden op het Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV) te Lelystad en op regionaal onderzoekscentrum De Kandelaar (KL) te Biddinghuizen de Experimenten 9 tot en met 12 aangelegd met de rassen Morene en Bintje. In deze experimenten werd een controle met daarnaast vier stikstofniveaus aangelegd. Op locatie PAGV bedroegen de giften resp. 0, 100, 200, 300 en $400 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, op locatie KL was dat resp. 0, 50, 150, 250 en $350 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Andere teeltmaatregelen vonden plaats volgens regionale praktijk. In de experimenten werden periodiek monsters van de vierkantsmaat 50/60 mm genomen. In dit hoofdstuk wordt alleen de eindoogst besproken, de periodieke oogsten worden in Hoofdstuk 5 besproken. Deze experimenten werden in vier herhalingen aangelegd.

In alle experimenten vonden de teeltmaatregelen - afgezien van de proeffactoren - plaats volgens de regionale praktijk. Alle locaties betrof kleigrond.

Datasets

Uit de resultaten van de experimenten zijn datasets samengesteld die zich leenden voor het vaststellen van rasverschillen, effecten van knolgrootte, stikstof- en kalibemesting, locatie- en jaarverschillen en van een aantal interacties tussen deze factoren. Tabel 4.1 geeft weer door welke experimenten de verschillende datasets worden gevormd.

Tabel 4.1 Overzicht van jaar en locatie van uitvoering van experimenten (zie sectie Experimenten in Materiaal en methoden voor verklaring van de locatie-codes), de daarin opgenomen rassen, aantal stikstof- en kaliumniveaus en knolmaten, alsmede de samenstelling van datasets uit de experimenten.

Experiment	Jaar	Locatie	Rassen	Aantal niveaus			Dataset		
				N	K	Knolmaat	1	2	3
1	1988	RH	Diamant, Morene, Van Gogh, Bintje	2	2	1	x		
2	1989	RH	Bintje	3	2	1	x		
3	1991	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1	2		x	
4	1991	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1	2		x	
5	1991	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1	2		x	
6	1992	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1	2		x	
7	1992	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1	2		x	
8	1992	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1	2		x	
9	1990	PAGV	Morene, Bintje	5	1	1			x
10	1990	KL	Morene, Bintje	5	1	1			x
11	1992	PAGV	Morene, Bintje	5	1	1			x
12	1992	KL	Morene, Bintje	5	1	1			x

Effect van ras

Verschillen tussen rassen kunnen worden vastgesteld in Datasets 1, 2 en 3. Datasets 2 en 3 lenen zich bovendien voor het analyseren van interacties met jaar, locatie en knolgrootte.

Effecten van stikstof- en kalibemesting

De effecten van stikstof en kalibemesting werden geanalyseerd met behulp van de Datasets 1, 2 en 3. Datasets 2 en 3 lenen zich voor berekening van de interacties met ras, jaar en locatie.

Effect van knolgrootte

Het effect van knolgrootte en de interactie daarvan met ras, locatie en jaar werd bepaald met behulp van Dataset 2.

Effecten van locaties en jaren

Datasets 2 en 3 geven door hun orthogonaliteit de beste informatie over de effecten van locaties en jaren en hun interactie met ras, bemesting en knolmaat.

Statistische verwerking

De inorthogonale Dataset 1 is verwerkt met behulp van het REML-commando in GENSTAT 5, release 2.1. REML (REstricted Maximum Likelihood) is een algoritme waarmee inorthogonale proeven met meerdere strata kunnen worden verwerkt (Robinson et al., 1982). Met deze procedure konden rasverschillen worden getoetst, ook al was niet ieder ras op elke locatie aangelegd. Bij het gebruik van deze procedure kan slechts voor ieder paar van objecten dat in de dataset voorkomt een afzonderlijke LSD (Least Significant Difference; kleinst betrouwbaar verschil) worden berekend. Omwille van de leesbaarheid wordt in voorkomende gevallen alleen de gemiddelde LSD (Gem. LSD) weergegeven.

Bij gebruik van de REML-procedure werd in eerste instantie uitgegaan van het volledige model van factoren en hun interacties. Wanneer de bijdrage aan de variantie van factoren of interacties als nul of negatief werd berekend, werd de factor resp. interactie uit het model verwijderd, waarna de berekening opnieuw werd uitgevoerd. Deze procedure werd zo nodig herhaald.

Op de Datasets 2 en 3 werd variatieanalyse toegepast voor de berekening van hoofdeffekten en interacties. De in tabellen weergegeven LSD werd berekend bij een onbetrouwbaarheid van 5 %, tenzij anders vermeld.

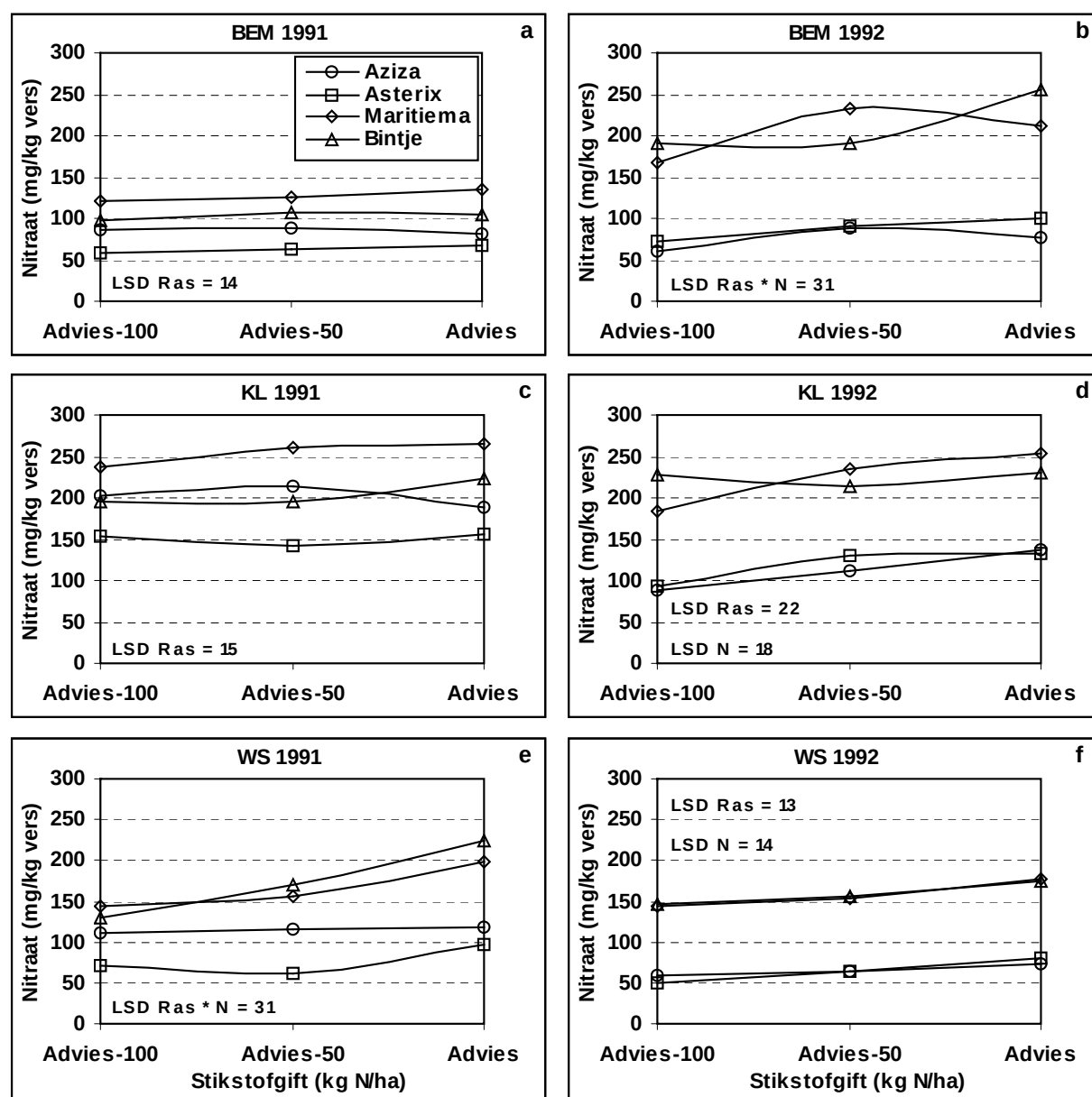
Resultaten

Effect van ras

Op locatie RH bleek in 1988 het nitraatgehalte van de knollen van verschillende rassen significant te verschillen (Tabel 4.2). Knollen van het ras Bintje bevatten een hoger gehalte dan die van de andere drie rassen. Het gehalte van knollen van het ras Van Gogh was hoger dan bij Diamant en Morene.

Tabel 4.2 Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) van knollen in de maat 40/50 van vier rassen (gemiddelden van twee stikstofgiften), in 1988 geteeld op locatie RH (zie Tabel 4.1).

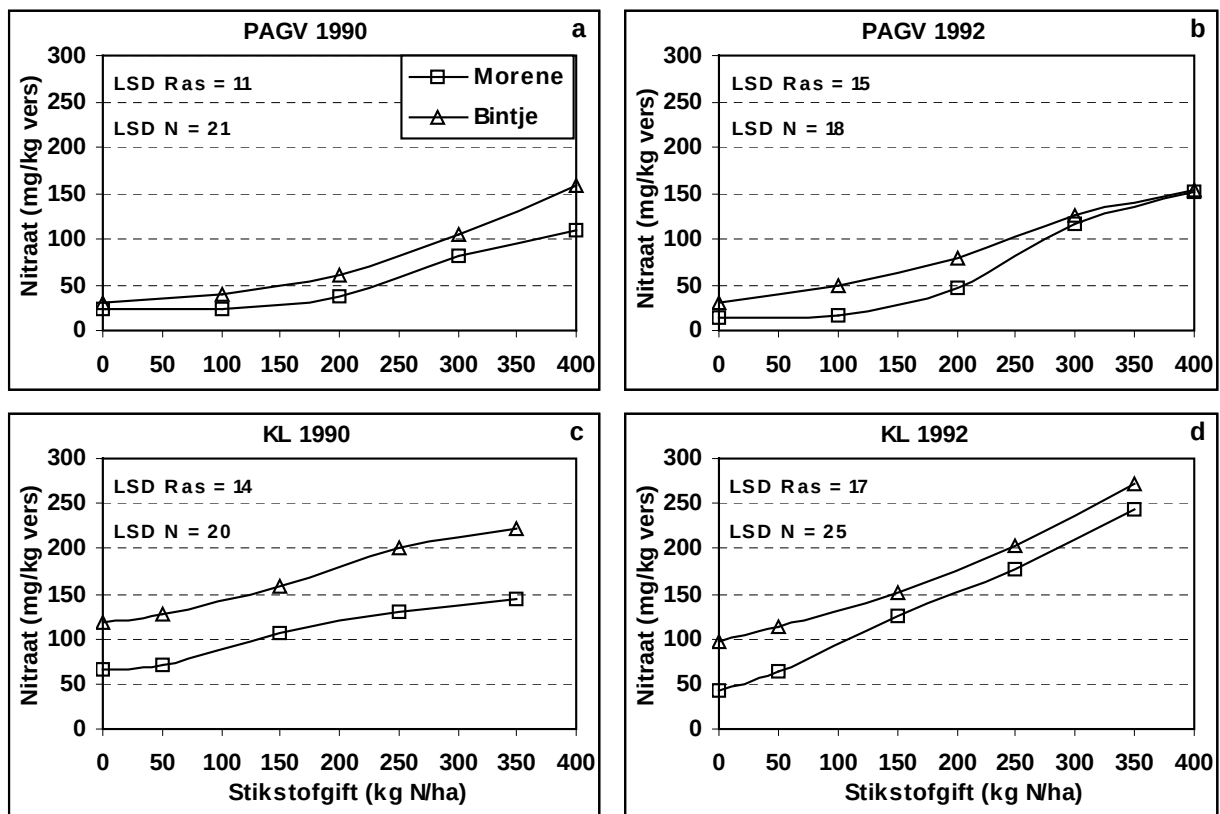
Ras	Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers)
Diamant	141
Morene	131
Van Gogh	163
Bintje	192
LSD	24



Figuur 4.1 Nitraatgehalte ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ vers) van knollen (maat 50/60 mm) bij drie stikstofniveaus van vier rassen en drie locaties in twee jaren, Dataset 2.

Ook in Dataset 2 was een raseffect aanwezig (Figuur 4.1). De rassen Aziza en Asterix vertoonden in de regel een lager gehalte dan de rassen Maritiema en Bintje. Vooral in 1992 was deze tweedeling sterk. De rasverschillen vertoonden interactie met stikstofbemesting, locatie en jaar.

In Dataset 3 (Figuur 4.2) hadden de knollen van het ras Bintje bij een zelfde niveau van stikstofbemesting een hoger nitraatgehalte dan die van het ras Morene. Ook hier was er significante interactie met locatie en jaar.



Figuur 4.2 Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) van knollen van twee rassen geteeld bij vijf niveaus van stikstofbemesting op twee locaties in twee jaren, Dataset 3.

Effect van stikstof

Een verhoging van de stikstofgift van $185 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ naar $285 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ leidde in Experiment 1 tot een hoger nitraatgehalte (Tabel 4.3). De rassen in Experiment 1 reageerden niet verschillend op de stikstoftrappen. Ook in Experiment 2 werd het gehalte van de knollen van het ras Bintje verhoogd door een hogere stikstofgift. De grootte van het effect was vergelijkbaar met die van 1988 (Tabel 4.4). In Dataset 2 nam het nitraatgehalte van de knollen minder sterk toe met een hogere stikstofbemesting (Figuur 4.1). De mate waarin het gehalte werd verhoogd hing af van de combinatie van de factoren: ras, jaar en locatie. Deze vier-factorinteractie was significant ($P < 0,05$). In Dataset 3 had het ras Bintje een hoger nitraatgehalte dan het ras Morene. De interactie tussen ras en stikstof was niet significant. Het nitraatgehalte van Bintje leek in 1990 iets sterker te stijgen onder invloed van stikstof dan dat van Morene, in 1992 leek de trend omgekeerd (Figuur 4.2). De respons van het nitraatgehalte op een hogere stikstofbemesting was in 1992 sterker dan in 1990. De stikstof-nitraatgehalterespons (Figuur 4.2) was sigmoïde. De y-waarde van de bovenste asymptoot was afhankelijk van ras, jaar en locatie, bovendien was hun interactie hoogsignificant ($P < 0,01$).

Tabel 4.3 Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) van knollen in de maat 40/50 mm (gemiddelde van vier rassen), in 1988 geteeld op locatie RH bij twee stikstof- en twee kaliumniveaus (Experiment 1, zie Tabel 4.1).

Stikstofgift ($\text{kg}\cdot\text{N ha}^{-1}$)	Kaliumgift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		Gemiddelde
	Normaal	300 extra als K_2SO_4	
185	104	132	118
285	185	205	195
Gemiddelde	145	168	157
LSD stikstof			32
LSD kali	14		

Tabel 4.4 Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) van knollen van het ras Bintje in maat 40/50, in 1989 geteeld op locatie RH (Experiment 2, zie Tabel 4.1) bij drie stikstof- en twee kaliumniveaus.

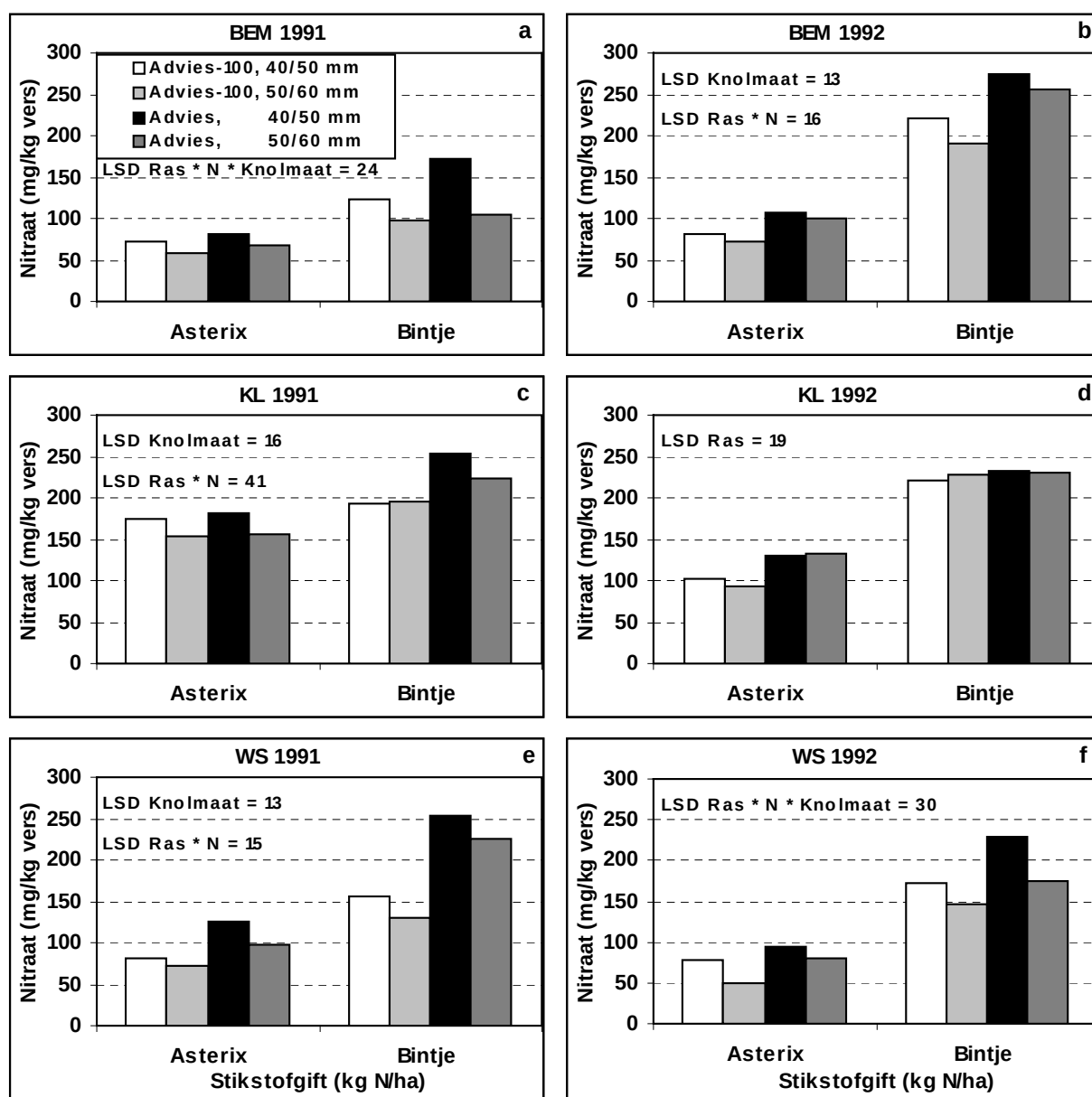
Stikstofgift ($\text{kg}\cdot\text{N ha}^{-1}$)	Kaliumgift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		Gemiddelde
	Normaal	300 extra als K_2SO_4	
150	109	122	115
200	125	152	139
250	201	176	188
Gemiddelde	145	150	147
LSD stikstof			45
LSD kali	n.s.		

Effect van kalium

De extra voorjaarskaligift van $300 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ (patentkali) gaf een lichte verhoging van het nitraatgehalte van de knollen (Tabellen 4.3 en 4.4). Vermoedelijk is in Tabel 4.4 de waarde voor de extra voorjaarskaligift bij het hoge stikstofniveau afwijkend laag. Dit verhinderde dat het effect van de voorjaarskaligift zoals dat bij de twee lagere stikstofgiften en in 1988 optrad, voor 1989 betrouwbaar kon worden aangetoond. Er was in Experiment 1 (Tabel 4.3) geen interactie tussen ras en kaligift en in zowel Experiment 1 als 2 (Tabellen 4.3 en 4.4.) geen interactie tussen stikstof- en kaligift.

Effect van knolgrootte

De grootte van de knollen bleek in Dataset 2 van invloed te zijn op het nitraatgehalte (Figuur 4.3). Knollen van de maat 40/50 mm hadden gemiddeld een hoger ($P < 0,001$) gehalte dan knollen van de maat 50/60 mm. Het gemiddelde verschil tussen de sorteringen was bij het ras Bintje groter dan bij het ras Asterix ($P < 0,05$), er was echter ook interactie met locatie ($P < 0,05$). Ook was het verschil tussen de sorteringen vaak groter bij de hoge stikstofgift, dit verschilde echter tussen de rassen ($P < 0,10$). Tenslotte bleek het effect van de knolgrootte ook significante interactie te vertonen met de factoren jaar en locatie ($P < 0,10$).



Figuur 4.3 Nitraatgehalte ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ vers) van twee rassen en twee maatsorteringen, geteeld bij twee stikstofniveaus in twee jaren op drie locaties, Dataset 2.

Effecten van locatie en jaar

Zowel Dataset 2 (Figuur 4.1) als 3 (Figuur 4.2) laat zien dat er aanzienlijke verschillen in nitraatgehalte kunnen optreden tussen locaties en jaren. In Dataset 2 was het gehalte van alle rassen op locatie KL in beide jaren hoger dan op de andere locaties. Het verschil tussen beide jaren was afhankelijk van de locatie. In Dataset 3 waren de nitraatgehalten op locatie KL hoger dan op locatie PAGV. De gehalten waren in 1992 hoger dan in 1990.

In beide datasets vertoonden de factoren locatie en jaar significante interactie met elkaar, maar ook met de factoren ras en stikstofbemesting.

Discussie

Effect van ras

Rassen bleken te verschillen in nitraatgehalte. De verschillen waren bovendien consistent. Dit was bijvoorbeeld het geval bij de rassen Aziza en Asterix vs. de rassen Maritiema en Bintje in Dataset 2 en bij het ras Morene vs. het ras Bintje in Dataset 3. De omvang van de rasverschillen werd wel in enige mate beïnvloed door andere factoren (zie interacties). Rasverschillen worden ook door andere auteurs vermeld (Gislason et al., 1984; Grassert & Bartel, 1987; Munzert & Lepschy, 1983; Putz & Bergthaller, 1989; Wustman et al., 1995).

De oorzaken van rasverschillen in nitraatgehalte van de knollen zijn niet duidelijk. Tijdens bewaring verandert het nitraatgehalte niet of nauwelijks: slechts kleine toe- (Augustin et al., 1977) en afnames (Gislason et al., 1984) worden vermeld.

Verschillende auteurs meldden dat de knollen van laatrijpende rassen een lager nitraatgehalte hebben dan de knollen van vroegrijpende rassen (Grassert & Bartel, 1987; Munzert & Lepschy, 1983; Nitsch, 1994; Wustman et al., 1995). Het is echter niet waarschijnlijk dat het hogere nitraatgehalte van de knollen van de rassen Maritiema en Bintje het gevolg is van alleen het feit dat ze vroeger rijp zijn dan de rassen Aziza en Asterix. Grassert et al. (1990) en Wustman et al. (1995) vermeldten namelijk dat de verschillen in nitraatgehalte die samenhangen met de rijptijd werden overschaduwd door de verschillen tussen rassen met een vergelijkbare rijptijd. Er kwamen ook rassen voor met zeer verschillende rijptijd en een toch vergelijkbaar nitraatgehalte. Toch kunnen rasverschillen in groeipatroon (waaronder vroegrijpheid) gedeeltelijk verantwoordelijk zijn voor rasverschillen. Immers de groei van knollen van een laat ras beslaat niet dezelfde periode van het groeiseizoen als die van de knollen van vroege rassen. Het gevolg daarvan is dat verschillende (weers)omstandigheden kunnen optreden tijdens vergelijkbare periodes van knolgroei. Een jaarlijks optredend verschil (bij gelijke stikstofgift) kan zijn dat bij later rijpende rassen, doordat ze een grotere loofmassa vormen, minder stikstof in de bodem aanwezig is in de periode dat de knolgroei plaatsvindt.

Kapoor & Li (1982) troffen tijdens de groei van knollen daarin nauwelijks nitraatreductase-activiteit aan, die bovendien niet verschilde tussen rassen, terwijl dat wel het geval was voor de activiteit in bladeren. Verschillen tussen rassen in afbraak van nitraat in knollen lijken daarmee geen oorzaak te kunnen zijn voor verschillen in nitraatgehalte van de knollen.

Von Meltzer (1987) trof in de wortels slechts $\pm 10\%$ van de nitraatreductase-activiteit van die in bladeren aan. Van rasverschil in de activiteit in wortels maakte zij geen melding. De activiteit in het blad van aardappelrassen verschilde wel. Kapoor & Li (1982) troffen in de wortels nitraatreductase-activiteit aan die even laag was als in de knollen. Zij troffen geen rasverschillen aan. Daarmee lijkt ook nitraatreductase-activiteit in wortels geen voor de hand liggende oorzaak te zijn voor rasverschillen in nitraatgehalte van knollen.

Effect van stikstof

Het nitraatgehalte van de knollen steeg in alle experimenten met een hogere stikstofbemesting. De mate van stijging bleek echter door veel andere factoren te worden beïnvloed, hetgeen bij de interacties zal worden besproken. Andere auteurs troffen eveneens een stijging onder invloed van stikstof aan (Augustin et al, 1977; Carter & Bosma, 1974; Gislason et al, 1984; Kolbe, 1987; Neubauer et al, 1991; Nitsch & Klein, 1983).

Effect van kalium

Het nitraatgehalte werd in Dataset 1 licht verhoogd door een extra kaligift van 300 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$ in het voorjaar. Munzert & Lepschy (1983) vonden geen effect van een gift van 200 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$. De in dit onderzoek gevonden verhoging sluit evenwel aan bij de wetenschap dat een verhoogde opname van kalium in planten gepaard gaat met een verhoogde opname van anionen, waarvan nitraat er één is.

Effect van knolgrootte

Alhoewel het verschil meestal gering of soms afwezig was, was in de meeste gevallen het gehalte van knollen in de maat 50-60 mm lager dan dat van knollen in de maat 40/50 mm. Nitsch (1989, 1994) vond een zelfde gering effect.

In Hoofdstuk 5 wordt beschreven dat het verband tussen knolgrootte en nitraatgehalte zwak is op het niveau van de knollen van afzonderlijke planten en zelfs van afzonderlijke stengels. De waarnemingen van Putz & Bergthaller (1989) corresponderen hier (gedeeltelijk) mee. Ook zij vonden een slechts zwak verband tussen de grootte van de knollen van een plant en hun nitraatgehalte. Hieruit blijkt dat de knolgrootte geen directe invloed heeft op het nitraatgehalte.

Effecten van locaties en jaren

De "factoren" locatie en jaar bepalen mede de groeiomstandigheden voor een gewas. Datasets 2 en 3 hebben laten zien dat het nitraatgehalte van knollen door beide factoren relatief sterk wordt beïnvloed. Andere auteurs komen tot dezelfde conclusie (Gislason et al, 1984; Grassert et al. 1990; Munzert & Lepschy, 1983; Neubauer et al., 1991).

De locatie-effecten kunnen enigermate worden verklaard. Terwijl het onderwatergewicht op locatie KL in veel gevallen lager was dan op locaties BEM en WS (Hoofdstuk 2), was het nitraatgehalte juist hoger (Figuur 4.1). Beide hebben te maken met de grote nalevering van stikstof op locatie KL door het hogere gehalte aan organische stof in de bodem op deze locatie (3,5 % tegen 2 en 2,5 % op resp. locaties BEM en WS). Bovendien is het profiel op locatie KL dieper doorwortelbaar en bevindt zich in de ondergrond een laag met 10 % organische stof. Het verhoogde aanbod van stikstof verhoogt het nitraatgehalte.

Interacties met andere factoren zoals jaarlijks wisselende weers- en bodemomstandigheden en het geteelde ras, maken het evenwel onmogelijk om over het uiteindelijke nitraatgehalte een voorspelling te doen. Duidelijke verbanden tussen temperatuur en neerslag en locatie- en jaarverschillen in nitraatgehaltenes waren niet aanwezig. Slechts voor wat betreft het verschil in 1992 tussen het gehalte van de rassen

Bintje en Maritiema enerzijds en Aziza en Asterix anderzijds kan worden verondersteld dat neerslag aan het eind van het seizoen een rol heeft gespeeld. McDole & McMaster (1978) concludeerden dat de combinatie van een hoog stikstofaanbod en een slechte vochtvoorziening leidde tot een hoog nitraatgehalte van de knollen. De late neerslag kan het gehalte van de laatrijpende rassen Aziza en Asterix hebben verlaagd, terwijl de neerslag voor een verlaging bij Bintje en Maritiema te laat kwam. Het ontbreekt echter aan metingen in de loop van de tijd om deze veronderstelling te bevestigen.

Interacties

*Locatie * jaar * ras * stikstof*

In de orthogonale Dataset 2 was de interactie locatie * jaar * ras * stikstof significant. Dit betekent dat het nitraatgehalte weliswaar met behulp van de stuurbare factoren ras en stikstof kan worden beïnvloed, maar dat de uitkomst van het gehalte mede wordt bepaald door locatie- en jaareffecten en de interactie daartussen. Door de interactie met de onvoorspelbare jaar- en locatie-effecten is het vervolgens onmogelijk te voorspellen tot welke exacte nitraatgehalten ras- en stikstofeffecten zullen leiden. De uiteenlopende omvang van de vermelde stijgingen van het nitraatgehalte door stikstofbemesting door andere auteurs (Augustin et al, 1977; Carter & Bosma, 1974; Gislason et al, 1984; Kolbe, 1987; Neubauer et al, 1991; Nitsch & Klein, 1983) duidt ook op deze interactie.

Implicaties

Wetenschappelijk

- De invloeden van de factoren ras, stikstof- en kalibemesting, jaar en locatie oefenen een complexe invloed uit op het nitraatgehalte van aardappelknollen. De factoren vertonen veelvoudige interacties. Uit de grote hoeveelheid data kan een redelijk betrouwbaar beeld van het gemiddelde effect van rassen worden verkregen. Niet de richting, maar wel de omvang van het effect van zowel rassen als stikstofbemesting wordt in hoge mate beïnvloed door interactie met jaar- en locatiegebonden factoren.

Praktisch

- Het nitraatgehalte van aardappelen wordt beïnvloed door een complex van factoren die sterke interactie met elkaar vertonen. Niet-stuurbare factoren (zoals de weersomstandigheden) in de factoren jaar en locatie veroorzaken een groot deel van de variatie die tussen partijen aardappelen optreedt. Doordat de door de teler stuurbare factoren interactie vertonen met niet-stuurbare factoren is het met slechts zeer geringe zekerheid mogelijk om met teeltmaatregelen een bepaald (laag) nitraatgehalte te bereiken. De meest effectieve teeltmaatregelen om aardappelen te verkrijgen met een laag nitraatgehalte zijn vooralsnog enerzijds het telen van

- rassen met een laag nitraatgehalte, anderzijds de stikstofbemesting zo laag mogelijk te laten zijn.
- Alhoewel de omvang van het effect van de knolgrootte op het nitraatgehalte door verschillende andere factoren wordt beïnvloed, is in de meeste partijen het nitraatgehalte van de sortering 40/50 mm hoger dan dat van de sortering 50/60 mm.

Literatuur

- Augustin, J., R.E. McDole & G.C. Painter, 1977. Influence of fertilizer, irrigation and storage treatments on nitrate-N content of potatoes, *American Potato Journal* 54, p. 125 - 136.
- Carter, J.N. & S.M. Bosma, 1974. Effect of fertilizer and irrigation on nitrate-nitrogen and total nitrogen in potato tubers, *Agronomy Journal* 66, p. 263 - 266.
- Driessen, J.J.M., 1992. Vergelijking van vier methoden voor de bepaling van het nitraatgehalte van aardappelen, Rapport 92.13, Rikilt-DLO, Wageningen, 23 pp.
- Gislason, J., H.K. Dahle, R.Baerug, L. Roer & K. Rønsen, 1984. Nitrate in potatoes. 1. The effect of fertilization and storage on nitrate content in 5 genotypes grown in widely separated localities, *Potato Research* 27, p. 331-337.
- Grassert, V. & W. Bartel, 1987. Untersuchungen zum Nitratgehalt von Kartoffelknollen, *Kartoffelforschung - Aktuell* 2, p. 73-82.
- Grassert, V., J. Vogel, W. Neubauer & W. Bartel, 1990. Aspekte des Nitratgehalts von Speisekartoffeln unter Berücksichtigung mehrjähriger Ergebnisse, *Der Kartoffelbau* 41, p. 398-400.
- Kapoor, A.C. & P.H. Li, 1982. Effects of age and variety on nitrate reductase and nitrogen fractions in potato plants, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33, p. 401-406.
- Kolbe, H., 1987. Untersuchungen zur Bedeutung des Nitratgehaltes in Kartoffelknollen, *Der Kartoffelbau* 38, p. 105 - 109.
- Loon, A.J.M. van & J.D. van Klaveren, 1990. Nitraatname van de Nederlandse bevolking op basis van de voedselconsumptiepeiling, Rapport 90.18, RIKILT, Wageningen, 36 pp.
- McDole, R.E. & G.M. McMaster, 1978. Effects of moisture stress and nitrogen fertilization on tuber nitrate-nitrogen content, *American Potato Journal* 55, p. 611 - 619.

- Meltzer, H. von, 1987. Nitratreduktaseaktivität von Kartoffelsorten, Potato Research 30, p. 71-77.
- Munzert, M. & J. Lepschy, 1983. Zur Frage des Nitratgehaltes in Kartoffelknollen, Der Kartoffelbau 34, p. 163-168.
- Neubauer, W., A. Westphal & I. Griess, 1991. Zur Ausprägung des Nitratgehaltes in Kartoffelknollen, Der Kartoffelbau 42, p. 56-59.
- Nitsch, A., 1989. Nitratschnelltest an Kartoffeln, Der Kartoffelbau 40, p. 408 - 411.
- Nitsch, A., 1994. Vom Stäbchentest zur Schlagspezifischen N-Düngung 'N aktuell', Kartoffelbau 45, p.119-126.
- Nitsch, A. & K. Klein, 1983. Erträge und innere Qualitäten der Kartoffel in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung, Der Kartoffelbau 34, p. 30 - 34.
- Putz, B. & W. Bergthaller, 1989. Nitrat in Kartoffeln, Der Kartoffelbau 40, p. 287-293.
- Robinson, D.L., R. Thompson & P.G.N. Digby, 1982 REML - a program for the analysis of non-orthogonal data by restricted maximum likelihood, In: Compstat 1982, part II (supplement), Wien, Physica-Verlag, p. 231-232.
- Vencken, C.M.J., J. Ruisch & J.H. Oude Voshaar, 1989. Het nitraatgehalte van aardappelen en aardappelprodukten, Rapport 739, IBVL, Wageningen, 61.pp.
- Winkelmann, H.-H, 1989. Einfluß der Stickstoffdüngung auf Ertrag und Nitratgehalte in Kartoffelknollen, Der Kartoffelbau 40, p. 110 - 117.
- Wustman, R., J.E. Geersing, O. Hartsema & W. van den Berg, 1995. Nitraatgehalten van aardappelrassen, Interne Mededeling 1179, PAGV, Lelystad, 17 pp.

Hoofdstuk 5

**Het effect van oogsttijdstip op het
nitraatgehalte van aardappelknollen en
identificatie van bronnen voor variatie in het
gehalte binnen partijen**

met P.C. Struik, P.C.J.M. Timmermans en W. van de Berg

Inleiding

In Hoofdstuk 4 is beschreven dat het nitraatgehalte van partijen aardappelen afhankelijk is van het geteelde ras, de knolgrootte, de toegediende bemesting en de groeiomstandigheden die samenhangen met de locatie- en jaargebonden omstandigheden. Bovendien bleken er tussen deze factoren veelvuldig interacties op te treden.

Niet alleen kan het nitraatgehalte tussen partijen sterk verschillen als gevolg van bovengenoemde factoren, het is bekend dat ook tussen individuele knollen binnen een partij het nitraatgehalte sterk varieert (Vencken et al., 1989; Putz & Bergthaller, 1989). Putz & Bergthaller (1989) vonden bovendien aanwijzingen dat ook de variatie tussen knollen van afzonderlijke planten groot was. Afgezien van deze laatste aanwijzing was het echter niet bekend wat de bronnen van de variatie tussen individuele knollen zijn.

Kennis van de bronnen die binnen een perceel variatie in nitraatgehalte veroorzaken kan duidelijk maken in hoeverre het binnen de praktische mogelijkheden ligt om de variatie te verlagen of extreme gehalten in individuele knollen te voorkomen. Het vaststellen van correlaties tussen het nitraatgehalte en andere gehalten en eigenschappen kan aanknopingspunten bieden voor de verklaring van de wijze waarop het nitraatgehalte in individuele knollen tot stand komt.

In 1994 werd onderzocht in welke mate verschillen tussen knollen van verschillende planten en stengels variatie in nitraatgehalte binnen partijen veroorzaken. Daar in deze experimenten ook onderzoek werd verricht naar de variatie in drogestofgehalte van de knollen, boden de data de mogelijkheid te onderzoeken in hoeverre er verband bestaat tussen het nitraatgehalte en het drogestofgehalte van individuele knollen.

Materiaal en methoden

Bepaling van het nitraatgehalte

Voor zover monsters niet onmiddellijk na de oogst werden verwerkt, werden ze opgeslagen bij een temperatuur van 4 °C. De monsters werden versneden met behulp van een cutter, waarna een submonster van ± 250 gram vers materiaal 24 uur werd gedroogd bij 105 °C en het drooggewicht werd vastgesteld. In de Experimenten 13 en 14 werden de gehele knollen versneden en verwerkt. Nitraatgehaltenes werden in alle experimenten bepaald door middel van cadmiumreductie met behulp van een autoanalyser (Driessen, 1992).

Experimenten

In de jaren 1990 tot en met 1994 werden 6 experimenten uitgevoerd (Tabel 5.1). Voor zover er overlap bestaat is de nummering van experimenten en datasets identiek aan die van Hoofdstuk 4.

In 1990 en 1992 werden op het Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (PAGV) te Lelystad en op regionaal onderzoekscentrum De Kandelaar (KL) te Biddinghuizen op kleigrond de Experimenten 9 tot en met 12 aangelegd met de

rassen Morene en Bintje. In deze experimenten werd een controle met daarnaast vier stikstofniveaus aangelegd. Op locatie PAGV bedroegen de giften resp. 0, 100, 200, 300 en 400 kg N·ha⁻¹, op locatie KL was dat resp. 0, 50, 150, 250 en 350 kg N·ha⁻¹. In de experimenten werden periodiek monsters van de vierkantsmaat 50/60 mm genomen: vier en twee weken voor loofdoding, ten tijde van loofdoding en twee weken na loofdoding. In 1992 werd éénmaal vaker geoogst dan in 1990: zes weken voor loofdoding. Deze experimenten werden in vier herhalingen aangelegd.

Tabel 5.1 Overzicht van jaar en locatie van uitvoering van experimenten (zie sectie Experimenten in Materiaal en methoden voor verklaring van de locatie-codes), de daarin opgenomen rassen, aantal stikstof- en kaliumniveaus, alsmede de samenstelling van datasets uit de experimenten.

Experiment	Jaar	Locatie	Rassen	Aantal niveaus				Dataset	
				N	K	Knolmaat	Oogsttijd	3	4
9	1990	PAGV	Morene, Bintje	5	1	1		x	
10	1990	KL	Morene, Bintje	5	1	1		x	
11	1992	PAGV	Morene, Bintje	5	1	1		x	
12	1992	KL	Morene, Bintje	5	1	1		x	
13	1994	FLEVO	Asterix	2	1	-			x
14	1994	HEELSUM	Karnico	1	1	-			x

De Experimenten 13 en 14 werden aangelegd op praktijkpercelen met resp. de rassen Asterix en Karnico. Het betrof voor het ras Asterix een praktijkperceel op kleigrond in Biddinghuizen in de provincie Flevoland (FLEVO) en voor het ras Karnico een praktijkperceel op zandgrond in Heelsum in de provincie Gelderland (HEELSUM). In Experiment 13 bedroeg de stikstofgift 235 kg N·ha⁻¹ minus 1,1 maal de bodemvoorraad (0-60 cm) minerale stikstof in het voorjaar. Er werd een tweede stikstofniveau aangelegd door een week na knolaanleg 50 kg N·ha⁻¹ als overbemesting toe te dienen. Van beide stikstofniveaus werden 15 planten geoogst. Hierbij werden de knollen per stengel geoogst. Van de planten en stengels werden geen kenmerken vastgelegd. Experiment 14 bevatte één stikstofniveau: 300 kg N·ha⁻¹ minus 1,8 maal de bodemvoorraad (0-30 cm) minerale stikstof in het voorjaar. Van 30 planten werden de knollen per stengel geoogst. In alle experimenten vonden de teeltmaatregelen - afgezien van de proeffactoren - plaats volgens de regionale praktijk.

Na bepaling van het nitraatgehalte van de individuele knollen kon de relatieve bijdrage van planten, stengels en knollen aan de variantie van het nitraatgehalte worden berekend. Tevens kon op de verschillende niveaus worden gezocht naar relaties met het drogestofgehalte. Omwille van de vergelijkbaarheid met soortgelijke analyses van andere datasets voor het drogestofgehalte (Hoofdstuk 3) werden knollen met een gewicht van minder dan 10 gram buiten beschouwing gelaten. Bij het ras Karnico waren deze knollen niet aanwezig, bij het ras Asterix waren het er 9. Het buiten beschouwing laten hiervan had geen noemenswaardig effect op de uitkomst van de variantieanalyses.

Datasets

Uit de resultaten van de experimenten zijn datasets samengesteld die zich leenden voor het vaststellen van het verloop van het nitraatgehalte tijdens het groeiseizoen, de interacties hiervan met ras, stikstofbemesting, locatie en jaar en van het optreden van verschillen in gehalte tussen knollen van afzonderlijke planten en stengels. Tabel 5.1 geeft weer welke experimenten in de verschillende datasets waren opgenomen.

Effect van oogsttijdstip

Dataset 3 bevat het effect van oogsttijdstip en de interacties met ras, stikstofbemesting, locatie en jaar.

Planten en stengels als variatiebronnen

Dataset 4 bevat de gegevens waaruit kan worden berekend in welke mate de variatie binnen een partij zich bevindt binnen de knollen van afzonderlijke planten en afzonderlijke stengels.

Statistische verwerking

Op Dataset 3 werd variantieanalyse toegepast voor de berekening van hoofdeffecten en interacties.

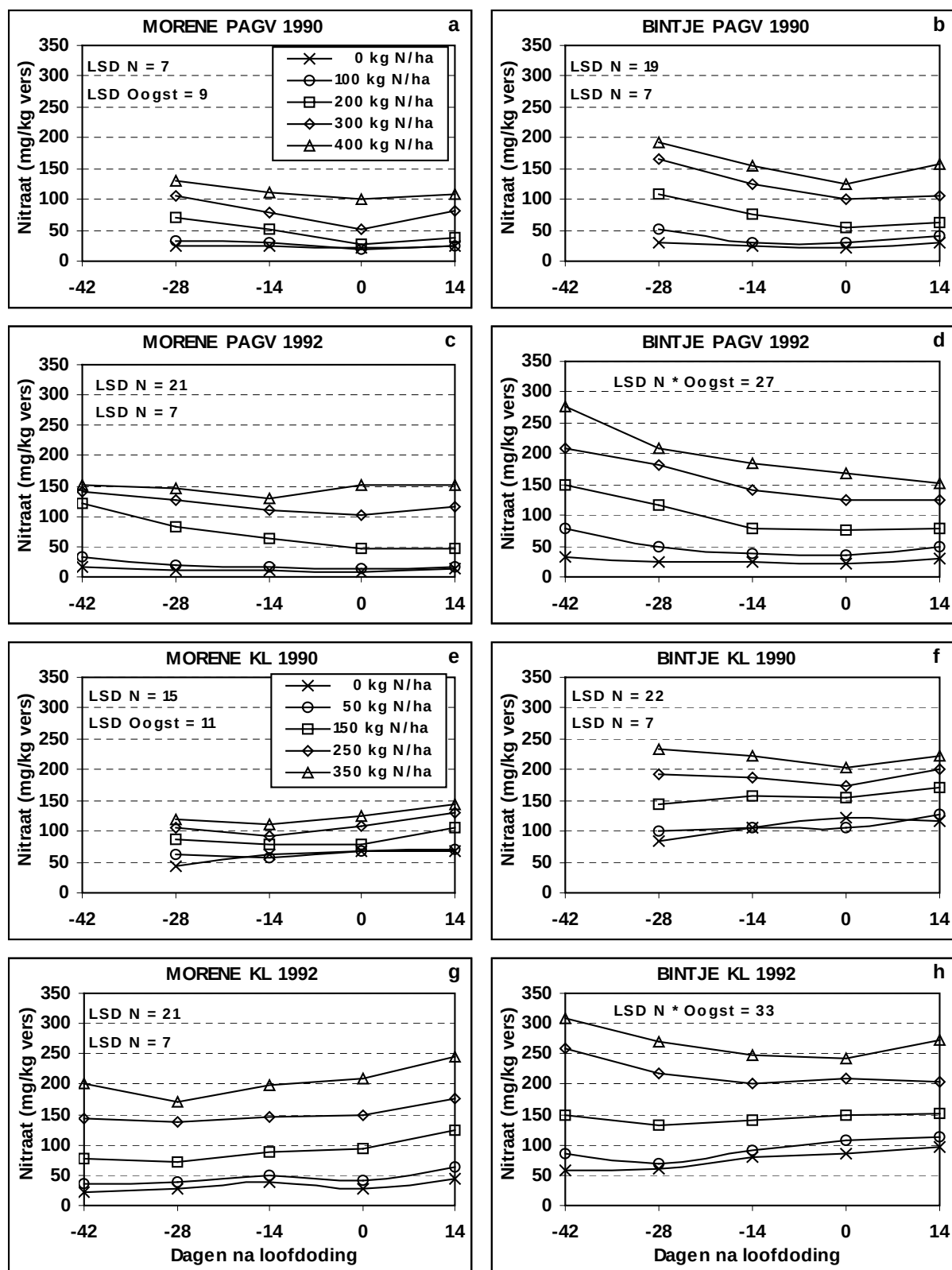
Voor de berekening van de grootte van variantiecomponenten in Dataset 4 werd het REML-commando in GENSTAT 5, release 2.1. REML (Restricted Maximum Likelihood) gebruikt (Robinson et al., 1982). Bij gebruik van de REML-procedure werd in eerste instantie uitgegaan van het volledige model van factoren en hun interacties. Wanneer de bijdrage aan de variantie van factoren of interacties als nul of negatief werd berekend, werd de factor resp. interactie uit het model verwijderd, waarna de berekening opnieuw werd uitgevoerd. Deze procedure werd zo nodig herhaald.

De in tabellen weergegeven LSD (Least Significant Difference; kleinste betrouwbaar verschil) werd berekend bij een onbetrouwbaarheid van 5 %, tenzij anders vermeld.

Resultaten

Effect van oogsttijdstip

Figuur 5.1 laat het verloop van het nitraatgehalte van de knollen zien vanaf vier (1990) of zes weken (1992) voor het moment van loofdoding tot twee weken daarna (oogst). Het verloop tijdens het groeiseizoen verschilde tussen de locaties PAGV en KL ($P < 0,001$). Op locatie PAGV daalde het gehalte in de loop van de tijd tot aan loofdoding. Op locatie KL namen de gehalten veel minder sterk af. De interactie van oogsttijdstip met stikstof en ras was significant ($P < 0,001$). Het gehalte van het ras Bintje vertoonde een sterkere daling in de loop van de tijd, naarmate de stikstofgift hoger was. Bij de berekening van de interacties moest overigens de vroegste oogst van 1992 buiten beschouwing blijven om een orthogonale dataset te verkrijgen.



Figuur 5.1 Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) van knollen van twee rassen op vier oogsttijdstippen, in 1990 en 1992 geteeld bij vijf niveaus van stikstofbemesting op locaties PAGV en KL, Dataset 3.

Tabel 5.2 Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers en droog), totaal aantal stengels en aantal knollen van 30 planten, gemiddeld knolgewicht (gram vers en droog) en resp. grootte ($(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2$) en aandeel (%) in de totale variantie van variantiecomponenten van het nitraatgehalte, bepaald aan knollen van het ras Asterix, Dataset 4.

		Basis vers		Basis droog	
		Knollen > 10 g	Knollen > 75 g	Knollen >10 g	Knollen > 75 g
Gemiddeld nitraatgehalte	($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	32,9	29,2	179,1	145,9
Aantal stengels		177	174	177	174
Aantal knollen		558	315	558	315
Gemiddeld knolgewicht	(g)	94,3	132,1	18,9	26,7
Variantie totaal	$((\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2)$	278	121	18260	3407
Variantie plant	$((\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2)$	22	17	637	481
Variantie stengel	$((\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2)$	0	9	0	228
Variantie knol	$((\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2)$	256	95	17623	2699
Aandeel plant	(%)	8	14	3	14
Aandeel stengel	(%)	0	8	0	7
Aandeel knol	(%)	92	78	97	80

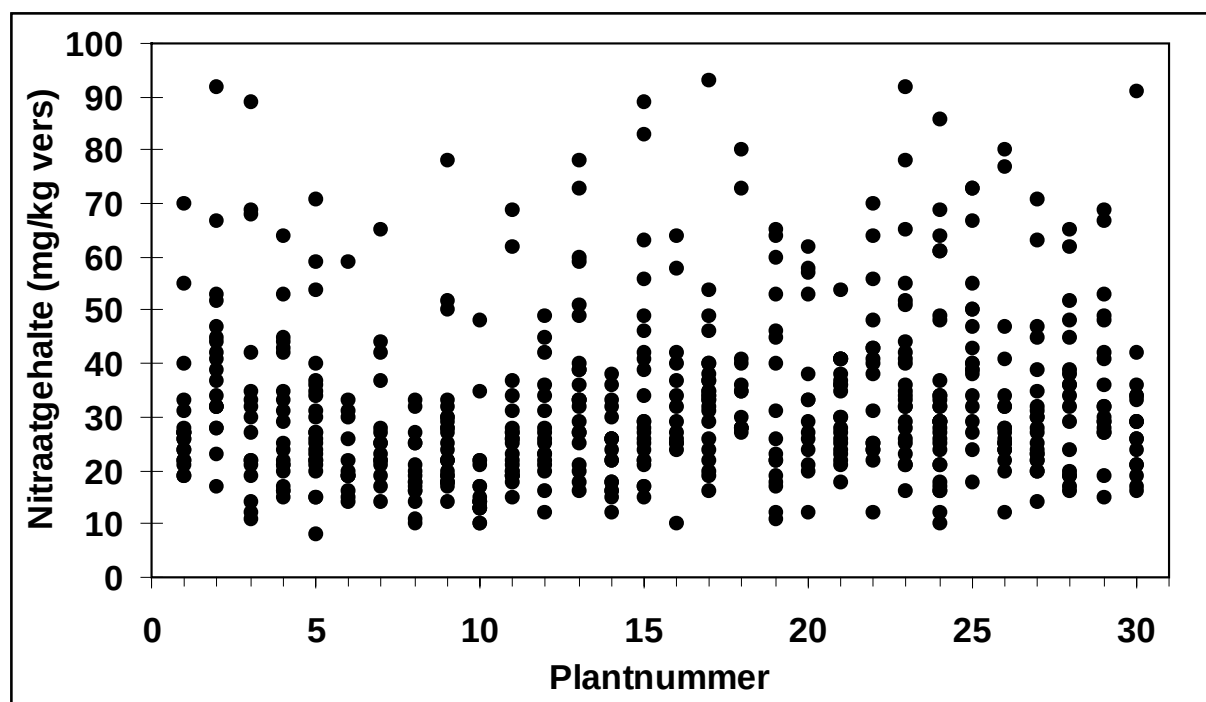
Planten en stengels als variatiebronnen

De knollen van het ras Asterix hadden gemiddeld een laag nitraatgehalte (Tabel 5.2), bij het ras Karnico was dat zelfs zeer laag (Tabel 5.3). Van de variantie van het gehalte werd bij beide rassen het overgrote deel verklaard door de verschillen in nitraatgehalte die optraden tussen de individuele knollen. Slechts een klein deel werd veroorzaakt door verschillen tussen planten en/of stengels. Voor het ras Asterix is aanschouwelijk gemaakt dat verreweg het grootste deel van verschillen in nitraatgehalte voorkomt tussen knollen binnen planten (Figuur 5.2) en zelfs binnen stengels (Figuur 5.3).

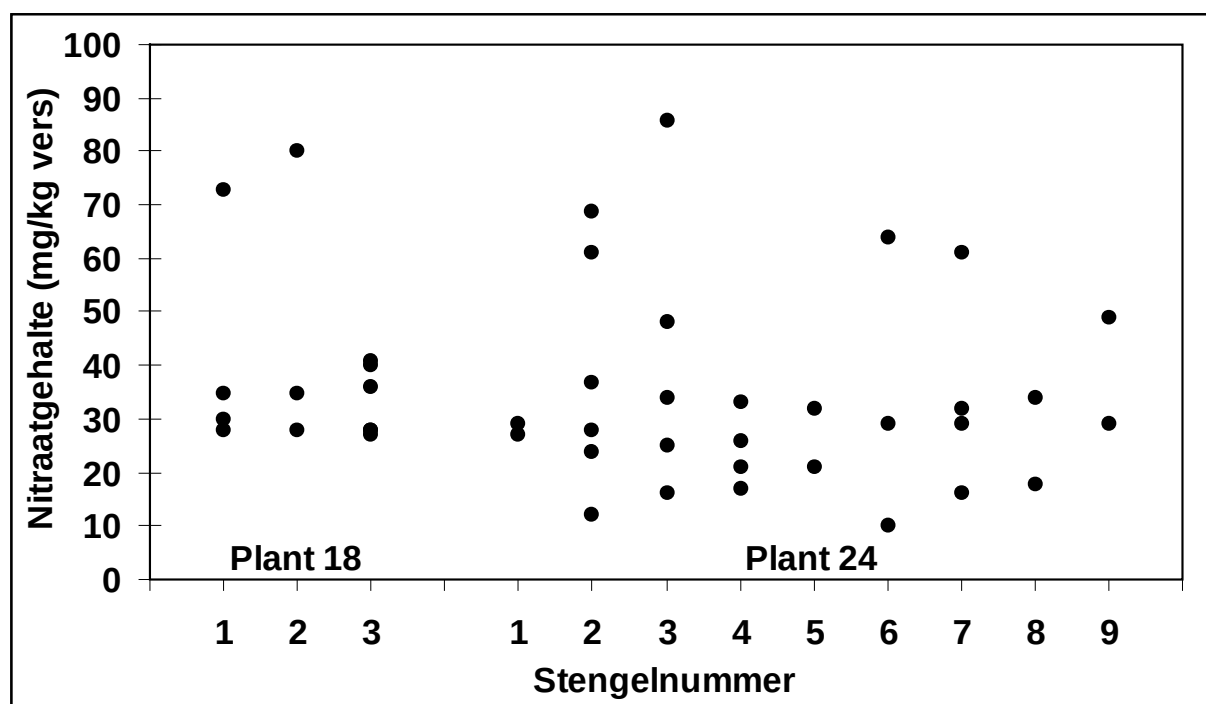
De extra stikstofgift bij het ras Asterix verhoogde het gehalte aan nitraat in de knollen licht, maar had geen invloed op de variantie en de verdeling daarvan over de componenten (data niet weergegeven). De twee maal 15 planten zijn daarom verder als één object bewerkt.

Bij het nitraatgehalte berekend op basis van droge stof was het variantie-aandeel van de knollen nog iets hoger dan bij het gehalte op basis van versgewicht. Bij de fractie knollen met een gewicht van meer dan 75 gram was het variantie-aandeel van de knollen iets lager en dat van stengels en planten wat hoger.

De analyses zijn ook gedaan voor het vers- en drooggewicht van de knollen. Ook hier werd het grootste deel van de variatie tussen knollen binnen planten en stengels veroorzaakt: 72 tot 88 %.



Figuur 5.2 Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) van individuele knollen van 30 planten van het ras Asterix, Dataset 4.



Figuur 5.3 Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) van individuele knollen van stengels van 2 planten van het ras Asterix, Dataset 4.

Hoofdstuk 5

Tabel 5.3 Nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers resp. droog), totaal aantal stengels en aantal knollen van 30 planten, gemiddeld knolgewicht (gram vers en droog) en resp. grootte ($(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2$) en aandeel (%) in de totale variantie van variantiecomponenten van het nitraatgehalte, bepaald aan knollen van het ras Karnico, Dataset 4.

		Basis vers		Basis droog	
		Knollen > 10 g	Knollen > 75 g	Knollen >10 g	Knollen > 75 g
Gemiddeld nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)		3,4	2,7	15,4	10,7
Aantal stengels		99	99	99	99
Aantal knollen		394	286	394	286
Gemiddeld knolgewicht (g)		134,3	167,3	34	42,6
Variantie totaal	$((\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2)$	14,7	8,8	616,9	143,5
Variantie plant	$((\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2)$	2,0	1,0	47,5	19,5
Variantie stengel	$((\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2)$	0,5	0,4	21,9	8,1
Variantie knol	$((\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})^2)$	12,2	7,4	547,5	115,9
Aandeel plant	(%)	14	11	8	14
Aandeel stengel	(%)	3	5	4	6
Aandeel knol	(%)	83	84	89	81

Tabel 5.4 Coëfficiënten voor lineaire correlatie tussen het nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers en droog) en knolgewicht (g vers en droog) resp. drogestofgehalte (%) en tussen de standaardafwijking van het nitraatgehalte binnen stengels en de standaardafwijking van het drogestofgehalte binnen stengels van knollen van de rassen Asterix en Karnico, Dataset 4.

	Asterix Nitraatgehalte vers (n = 569)	Asterix Nitraatgehalte droog (n = 569)	Karnico Nitraatgehalte vers (n = 394)	Karnico Nitraatgehalte droog (n = 394)
Knolgewicht vers	- 0,259 ***	- 0,324 ***	- 0,293 ***	- 0,272 ***
Knolgewicht droog	- 0,283 ***	- 0,358 ***	- 0,318 ***	- 0,305 ***
Drogestofgehalte	- 0,345 ***	- 0,620 ***	- 0,523 ***	- 0,668 ***
	Standaardafwijking nitraatgehalte vers per stengel (n =177)	Standaardafwijking nitraatgehalte droog per stengel (n =177)	Standaardafwijking nitraatgehalte vers per stengel (n = 99)	Standaardafwijking nitraatgehalte droog per stengel (n = 99)
St.afw. drogestofgehalte	0,428 ***	0,601 ***	0,449 ***	0,668 ***

*** = significant ($P < 0,001$)

In Tabel 5.4 zijn de coëfficiënten voor lineaire correlatie weergegeven tussen het nitraatgehalte en knolgewicht en drogestofgehalte alsmede tussen de standaardafwijking van het nitraatgehalte en de standaardafwijking van het drogestofgehalte binnen stengels. Verreweg de hoogste correlatie werd gevonden tussen het nitraatgehalte op basis van droge stof en het drogestofgehalte. De correlatie tussen de standaardafwijkingen van deze eigenschappen binnen stengels had dezelfde grootte als die tussen de eigenschappen zelf.

In Tabel 5.5 is weergegeven dat binnen het grootste deel van de stengels een negatieve correlatie tussen het nitraatgehalte en drogestofgehalte werd aangetroffen. Door het lage aantal knollen per stengel moet de correlatie evenwel zeer hoog zijn om significant te worden aangetoond. Significante positieve correlatie werd slechts bij één stengel van Asterix aangetroffen.

Tabel 5.5 Aantal en percentage van de stengels van de rassen Asterix en Karnico waarbinnen de knollen een (significant) lineair verband vertoonden tussen het nitraatgehalte ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ droog) en het drogestofgehalte (%), Dataset 4.

	Asterix Aantal	Asterix Percentage	Karnico Aantal	Karnico Percentage
Aantal stengels	116	100	77	100
Negatief verband	101	87	56	73
Significant ($P < 0.05$) negatief verband	31	27	11	14
Positief verband	15	13	21	27
Significant ($P < 0.05$) positief verband	1	1	0	0

Discussie

Effect van oogsttijdstip

Dataset 3 laat zien dat het verloop van het nitraatgehalte in de tijd niet uniform kan worden beschreven, maar afhankelijk is van jaar, locatie en stikstofbemesting. Het verloop in de tijd wordt verder besproken onder de interacties.

Interacties met oogsttijdstip

Het oogsttijdstip vertoonde in Dataset 3 interactie met zowel ras, stikstof, locatie, jaar alsook met ras*stikstof (Figuur 5.1). Hierdoor wordt de in Hoofdstuk 4 genoemde onmogelijkheid tot het doen van een voorspelling van het nitraatgehalte nog groter. Een nauwkeurige voorspelling is niet mogelijk voor enig oogsttijdstip. In grote lijnen is wel een verschil tussen de locaties PAGV en KL waar te nemen. Op locatie PAGV nam het nitraatgehalte in de loop van de tijd af. De afname was meestal groter naarmate de stikstofgift hoger was. Op locatie Kandelaar nam het gehalte bij lage stikstofgiften toe, terwijl bij hoge stikstofniveaus geen of een kleine afname werd waargenomen. Dit heeft

te maken met het hogere niveau van stikstofnalevering op locatie KL zoals dat reeds in Hoofdstuk 4 werd besproken.

Vergelijking van Figuur 5.1 met Figuren 2.4 en 2.5 in Hoofdstuk 2 laat zien dat op ieder oogsttijdstip het nitraatgehalte hoger was naarmate de stikstofgift hoger was, het onderwatergewicht werd door stikstof daarentegen verlaagd. Verschillen tussen de experimenten in nitraatgehalte corresponderen niet consistent met verschillen in onderwatergewicht. Daarnaast verschilt het verloop van het nitraatgehalte in de tijd aanzienlijk van het verloop van het onderwatergewicht. Er kan daarom geen oorzakelijk verband zijn tussen het onderwatergewicht en het gemiddelde nitraatgehalte van een partij. Dit lijkt in tegenspraak met de door Putz en Bergthaller (1989) op plantniveau gevonden correlatie tussen drogestofgehalte en nitraatgehalte van knollen. Correlaties kunnen echter hoog zijn, terwijl de absolute niveaus van de parameters tussen experimenten sterk kunnen verschillen.

Het nitraatgehalte van knollen vertoont eveneens geen verband met het verloop van het afsterven van het loof. Dit wordt duidelijk bij vergelijking van Figuur 5.1 met de Figuren 3.5 en 3.6 uit Hoofdstuk 3. De respons van de grondbedekking met groen loof en de respons van het nitraatgehalte van de knollen op de hoogte van de stikstofbemesting verlopen in de tijd immers sterk verschillend.

Planten en stengels als variatiebronnen

De variatie in nitraatgehalte tussen knollen van één partij is groot. Dit wordt ook door andere auteurs vermeld (Heisler et al, 1973; Kolbe, 1987; Putz & Bergthaller, 1989; Vencken et al., 1989). Verschillende auteurs komen tot een vergelijkbaar benodigd aantal knollen om een redelijk betrouwbare schatting van het werkelijke gemiddelde nitraatgehalte van een partij te verkrijgen. Dit doet vermoeden dat de variatie in nitraatgehalte een betrekkelijk vast gegeven is, wellicht even vast als in Hoofdstuk 3 voor het drogestofgehalte werd geconcludeerd. Nitsch (1994) stelt dat grote variatie in nitraatgehalte binnen een partij niet het gevolg is van een planteigen verschijnsel, maar het gevolg is van onregelmatigheden in de teelt (onnauwkeurige of te hoge bemesting e.d.) en verwerking van partijen (mengten).

De 30 planten per ras in Dataset 4 waren afkomstig van een kleine oppervlakte (circa 10 m²) homogene grond. Toch werd een grote variatie in nitraatgehalte tussen knollen van afzonderlijke planten en zelfs van afzonderlijke stengels aangetroffen. De binnen planten aangetroffen variatie stemt overeen met de waarnemingen van Putz & Bergthaller (1989). Daarnaast corresponderen de procentuele aandelen van planten en stengels in de variantie van het nitraatgehalte sterk met die van het drogestofgehalte (Hoofdstuk 3, Tabel 3.9). Deze waarnemingen geven aan dat de variatie in nitraatgehalte tussen knollen een gewas-, plant- en zelfs stengeleigen verschijnsel is. Laerke & Christiansen (1996) troffen in het ras Bintje eveneens grote verschillen in gehalte tussen knollen van afzonderlijke planten aan. Alhoewel de door Nitsch (1994) genoemde onregelmatigheden de variatie in nitraatgehalte verder kunnen verhogen, is zijn stelling dat grote variatie in nitraatgehalte binnen een partij niet karakteristiek voor het gewas aardappelen is, onjuist.

Relatie tussen het nitraatgehalte en het drogestofgehalte van knollen binnen stengels

Planten en stengels leveren in vergelijking met knollen een geringe bijdrage aan de variatie in nitraatgehalte en in drogestofgehalte van de knollen. Relaties tussen eigenschappen van knollen van één stengel, zullen zich daarom ook op partijniveau manifesteren. Daardoor kan in eerste instantie op partijniveau worden gezocht naar relaties tussen knoleigenschappen. Op deze wijze kan gebruik worden gemaakt van het op partijniveau veel grotere aantal waarnemingen vergeleken met dat op het niveau van planten en stengels.

De sterkste correlatie werd gevonden tussen het nitraatgehalte op basis van droge stof en het drogestofgehalte. Laerke & Christiansen (1996) vonden eveneens een goede correlatie tussen het nitraat- en drogestofgehalte van individuele knollen. In de hier besproken data bleek ook binnen de knollen van een stengel correlatie te bestaan tussen het drogestofgehalte het nitraatgehalte. Dat bij het ras Karnico de correlatie binnen de stengels minder duidelijk en minder vaak significant was kan veroorzaakt zijn door het geringe bereik van de nitraatgehaltenes bij dit ras en het geringe aantal knollen per stengel in vergelijking met het ras Asterix.

Dat de correlatie het hoogst was voor het nitraatgehalte op basis van droge stof doet vermoeden dat - ondanks het feit dat het nitraat door het xyleem in de knollen wordt aangevoerd - het nitraatgehalte vooral wordt beïnvloed door het aanvoerpatroon van droge stof naar de individuele knol. Bekend is dat er door de verdamping die er overdag plaatsvindt, water aan de knollen wordt onttrokken door het xyleem en dat er 's nachts xyleemvocht naar de knollen wordt aangevoerd (Baker & Moorby, 1969; Krauss & Marschner, 1974; Schnieders et al., 1988). Overdag vindt er evenwel ook aanvoer van water plaats door het floëem, met daarin hoofdzakelijk sucrose als droge stof. De mate waarin overdag de vochtafvoer door het xyleem wordt gecompenseerd door aanvoer uit het floëem kan van invloed zijn op de mate waarin er 's nacht xyleemaanvoer plaatsvindt om de turgor te herstellen. Dit betekent concreet dat een knol die overdag een grote floëemaanvoer heeft enerzijds veel sucrose krijgt aangevoerd, hetgeen leidt tot een hoog gehalte aan droge stof. Anderzijds krijgt deze knol overdag door het floëem ook relatief veel vocht aangevoerd, waardoor 's nachts minder vocht door het xyleem behoeft te worden aangevoerd om te compenseren voor het vochtverlies dat overdag via het xyleem is opgetreden.

Deze hypothese staat toe dat er aan het eind van het seizoen geen zeer hoge correlatie tussen het drogestofgehalte en het nitraatgehalte bestaat. Het is namelijk bekend dat de verhouding waarin de afzonderlijke knollen van een stengel droge stof krijgen aangevoerd varieert in de loop van de tijd (Schnieders et al., 1988). De condities die naast een geringe aanvoer van droge stof bijdragen aan een grote nitraataanvoer tijdens de nacht kunnen in de loop van de tijd verschillend zijn. Te denken valt daarbij aan de nitraatconcentratie in het bodemvocht en de verdampingssnelheid, resp. mate van vochtonttrekking aan de knol overdag.

De hypothese kan getoetst worden in onderzoek (aan planten met één stengel) naar het exacte mechanisme dat verantwoordelijk is voor verschillen in nitraatgehalte tussen knollen. Kennis over dit mechanisme zal ongetwijfeld ook bijdragen aan de kennis die

nodig is om te verklaren hoe het gehalte op perceelsniveau - beïnvloed door jaar, locatie, ras en bemesting - tot stand komt.

Implicaties

Wetenschappelijk

- Het onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat de grote variatie in gehalte tussen individuele knollen in hoge mate tot stand komt door de verschillen tussen knollen die aan dezelfde stengel groeien. Op basis van de correlatie tussen het nitraatgehalte en het drogestofgehalte en literatuurgegevens is een hypothese geformuleerd voor het mechanisme waardoor het nitraatgehalte tot stand komt. De hypothese zegt dat naarmate overdag de afvoer via het xyleem van vocht uit de knollen minder wordt gecompenseerd door gelijktijdige aanvoer van vocht door het floëem, er 's nachts meer aanvoer van nitraatbevattend water door het xyleem nodig is om de turgor van de knollen te herstellen. Aan de hand van deze hypothese kan onderzoek worden geformuleerd waardoor de kennis over het tot stand komen van het nitraatgehalte en andere eigenschappen van aardappelknollen kan worden vergroot alsmede de kennis over het ontstaan van grote verschillen in deze eigenschappen tussen knollen aan één en dezelfde stengel. Deze kennis zal ongetwijfeld ook licht werpen op het tot stand komen van het nitraatgehalte op perceelsniveau.

Praktisch

- De veranderingen van het gehalte vanaf vier weken voor doodspuiten tot aan het moment van oogsten waren meestal relatief gering. Vier weken voor loofdoding lijkt dus al een goede indicatie van het uiteindelijk nitraatgehalte verkrijgbaar te zijn. In hoeverre echter er in de periode na bemonstering van het perceel het nitraatgehalte nog kan wijzigen door bijvoorbeeld extreme (weers)omstandigheden laat zich niet uit de gegevens van dit onderzoek afleiden. Wel is uit de literatuur bekend dat het optreden van droogte aan het eind van het groeiseizoen in korte tijd een stijging van het nitraatgehalte kan veroorzaken.
- De variatie in nitraatgehalte tussen knollen van een partij wordt grotendeels veroorzaakt door de verschillen die optreden tussen de knollen van dezelfde stengel. In de praktijk valt deze variatie middels teeltmaatregelen niet te verminderen.

Literatuur

Baker, D.A. & J. Moorby, 1969. The transport of sugar, water and ions into developing potato tubers, *Annals of Botany* 33, p. 729-741.

- Driessen, J.J.M., 1992. Vergelijking van vier methoden voor de bepaling van het nitraatgehalte van aardappelen, Rapport 92.13, Rikilt-DLO, Wageningen, 23 pp.
- Heisler, E.G., J. Siciliano, S. Krulick, W. L. Porter and J.W. White, 1973 Nitrate and nitrite content of market potatoes, Journal of Agricultural and Food Chemistry 21, p. 970 - 973.
- Kolbe, H., 1987. Untersuchungen zur Bedeutung des Nitratgehaltes in Kartoffelknollen, Der Kartoffelbau 38, p. 105 - 109.
- Krauss, A. & H. Marschner, 1974. Einfluß der Tag/Nacht-Periodik auf Knollengewicht und CA-Verlagerung in Stolonen von Kartoffelpflanzen, Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 137, p. 116 - 123.
- Laerke, P.E. & J. Christiansen, 1996. Cause of variation in nitrate content in potato tubers, In: P.C. Struik et al. (eds), Abstract of Conference Papers, Posters and Demonstrations of the 13th Triennial Conference of the European Association for Potato Research 14-19 July, Veldhoven, p. 226-227.
- Nitsch, A., 1994. Vom Stäbchentest zur Schlagspezifischen N-Düngung 'N aktuell', Kartoffelbau 45, p.119-126.
- Putz, B. & W. Bergthaller, 1989. Nitrat in Kartoffeln, Der Kartoffelbau 40, p. 287-293.
- Robinson, D.L., R. Thompson & P.G.N. Digby, 1982. REML - a program for the analysis of non-orthogonal data by restricted maximum likelihood, In: Compstat 1982, part II (supplement), Wien, Physica-Verlag, p. 231-232.
- Schnieders, B.J., L.H.J. Kerckhoffs & P.C. Struik, 1988. Diel changes in tuber volume, Potato Research 31, p. 129 - 135.
- Vencken, C.M.J., J. Ruisch & J.H. Oude Voshaar, 1989. Het nitraatgehalte van aardappelen en aardappelprodukten, Rapport 739, IBVL, Wageningen, 61.pp.

Hoofdstuk 6

**Het effect van stikstof, kalium en chloor op de
blauwgevoeligheid van aardappelknollen van
verschillende rassen, geteeld onder
uiteenlopende groeiomstandigheden**

Inleiding

Stootblauw, kortweg blauw, vormt een belangrijk kwaliteitsgebrek in consumptieaardappelen. Deze beschadigingsvorm is sinds vele jaren verantwoordelijk voor aanzienlijke verliezen aan grondstof en financiële opbrengst in de aardappelketens (Peters, 1996). Blauw wordt bovendien door de kopers van tafelaardappelen als één van de belangrijkste kwaliteitsgebreken genoemd (Anon, 1989; Anon, 1995).

Stootblauw wordt gekenmerkt door onderhuidse blauwgrijs verkleurde plekken, die vaak het sterkst optreden rond de vaatbundel en bovendien sterker optreden aan het naveleind dan aan het topeind (Meijers, 1987). Deze plekken ontstaan als gevolg van mechanische belasting door bijvoorbeeld stoten of vallen. Een algemeen geaccepteerde hypothese is dat door deze belasting cellen worden beschadigd, waardoor fenolen - waaronder het aminozuur tyrosine - worden omgezet, waarna de rode verbinding dopachroom wordt aangetroffen. Deze omzetting wordt gekatalyseerd door het enzym polyfenoloxydase waarbij moleculaire zuurstof (O_2) nodig is. Aangenomen wordt dat fenolen en polyfenoloxydase in onbeschadigde cellen van elkaar gescheiden zijn en dat mechanische beschadiging deze compartimentalisatie opheft. De gevormde rode verbinding wordt in aanwezigheid van zuurstof omgezet in een blauwzwarte stof: melanine. Deze reacties werden al lang geleden beschreven (Raper & Wormald, 1923; Raper, 1927). Stevens & Davelaar (1996) hebben aanwijzingen gevonden dat niet de vorming van melanine, maar reactieproducten van eiwitten en quinonen verantwoordelijk zijn voor de verkleuring. Hun resultaten blijven echter wel de hypothese ondersteunen dat de verkleuring plaatsvindt in beschadigde cellen. De blauwzwarte kleur wordt na enkele uren tot enkele dagen na de beschadiging zichtbaar. De vorming van het pigment wordt versneld door een hoge temperatuur en een goede zuurstofvoorziening na het optreden van de beschadiging (McRae & Fleming, 1981).

De temperatuur is ook van belang op het moment dat de mechanische belasting plaatsvindt. Naarmate de temperatuur van de knollen lager is, is het weefsel gevoeliger voor beschadiging en ontstaat er meer blauw (Ophuis et al., 1958; Meijers, 1987).

De gevoeligheid voor het optreden van blauw bij een zekere mechanische belasting verschilt tussen rassen. Ophuis et al. (1958) meldden een relatie tussen het drogestofgehalte van rassen en hun blauwgevoeligheid. Andere auteurs vonden echter geen consistente correlatie met het drogestofgehalte (o.a. Sawyer & Collin, 1960). Binnen rassen is er wél een verband tussen blauwgevoeligheid en het drogestofgehalte: naarmate het drogestofgehalte hoger is, is in de regel de blauwgevoeligheid hoger (Ophuis et al., 1958; Kunkel & Gardner, 1965). Echter, ook binnen rassen kan de blauwgevoeligheid van partijen met een vergelijkbaar drogestofgehalte zeer verschillend zijn (Meijers & Van Loon, 1978). Blijkbaar wordt de blauwgevoeligheid mede bepaald door andere factoren dan het drogestofgehalte, zoals bodemfactoren (Meijers & Van Loon, 1978). Naast het verband met het drogestofgehalte is er in de regel binnen rassen een verband tussen blauwgevoeligheid en het gehalte aan tyrosine (Mulder, 1955; Vertregt, 1968; Mondy & Munshi, 1993). Het gehalte aan tyrosine kan evenwel de verschillen tussen rassen niet verklaren (Mondy & Munshi, 1993; Mulder, 1949; Vertregt, 1968). Veelvuldig wordt vermeld dat het tyrosinegehalte en de blauwgevoeligheid

afnemen met een hoger kaliumgehalte van de knollen als gevolg van een hogere kaliumvoorziening (o.a. Vertregt, 1968; Effmert, 1992). Stevens et al. (1998) vonden bij de combinatie van een hoge kalium- en stikstofbemesting een lager tyrosinegehalte en een lagere verkleuringscapaciteit van aardappelweefsel. Dit ging echter niet bij alle rassen gepaard met een daadwerkelijk geringere blauwgevoeligheid.

Algemeen wordt verondersteld dat de zwakte van eerder genoemde verbanden komt doordat dat blauwgevoeligheid de resultante is van een aantal chemische en mechanische eigenschappen van het knolweefsel. Rassen met grote cellen (Van Es et al, 1975) en met grote zetmeelkorrels (Hartmans & Van Es, 1974) zijn gevoeliger voor blauw, waarschijnlijk als gevolg van een sterkere compartimentalisatie na mechanische belasting.

In de loop van het groeiseizoen neemt de blauwgevoeligheid toe (Aeppli et al., 1981), dit hangt enerzijds samen met een toenemende verkleuringscapaciteit van het weefsel (Mondy et al., 1960; Mapson et al., 1963), anderzijds met het tijdens het groeiseizoen in de regel stijgende drogestofgehalte, de daarmee gepaard gaande toenemende grootte van de zetmeelkorrels (Sharma & Thompson, 1956) en de toenemende grootte van de cellen (Hughes, 1974).

Ook de mate van turgescentie van de knollen op het moment van de mechanische belasting is mede van invloed op de blauwgevoeligheid (Hughes, 1974; Kunkel & Gardner, 1965; Smittle et al., 1974; Thornton & Timm, 1990). Naast verlaging van het tyrosinegehalte verlaagt kalium ook de gevoeligheid van het weefsel voor mechanische schade (Mulder, 1955). Meldingen van een grotere reductie van de blauwgevoeligheid bij het gebruik van kaliumchloride in plaats van kaliumsulfaat zijn consistent (Jacob, 1959; Van Loon & Houwing, 1989; Maier et al., 1986). Mondy & Munshi (1993) stelden bij het gebruik van kaliumchloride in plaats van kaliumsulfaat een lager gehalte aan fenolen en een lagere verkleuringscapaciteit van het knolweefsel vast.

In de literatuur worden zowel toe- als afnames van de blauwgevoeligheid bij een stijgende stikstofbemesting vermeld. In oudere literatuur gaat de toename van de blauwgevoeligheid als gevolg van een hogere stikstofbemesting meestal gepaard met de melding van gelijktijdige stijging van het drogestofgehalte van de knollen (De Bruyn, 1929; Jacob, 1959; Merckenschlager, 1929). Hieruit kan worden afgeleid dat het niveau van stikstofbemesting beperkend was voor de drogestofproductie. Bij hogere stikstofbemestingsniveaus (zoals in de huidige Nederlandse praktijk) wordt echter veelal een afname van de blauwgevoeligheid vastgesteld, gepaard gaande met een verlaging van het drogestofgehalte (Van der Zaag en Meijers, 1970). Kunkel et al. (1973) vermelden een toename van de blauwgevoeligheid als gevolg van een hogere stikstofbemesting ondanks een afname van het drogestofgehalte. Deze auteurs veronderstellen dat in dit geval de invloed van stikstof via de turgor van de knollen heeft gewerkt en niet via het drogestofgehalte. Een derde weg waarlangs stikstof de blauwgevoeligheid kan beïnvloeden is beïnvloeding van de verkleuringscapaciteit van het weefsel. In de meeste gevallen wordt een verhoging van de verkleuringscapaciteit vermeld als gevolg van een hogere stikstofbemesting (Mulder, 1955; Rinno et al, 1972; Tähtinen, 1978).

De gezamenlijke invloed van factoren op de blauwgevoeligheid is complex, doordat vele niet alleen gehalten aan verschillende componenten beïnvloeden, maar ook mechanische eigenschappen. Daar deze effecten gedeeltelijk samengaan en veel factoren interacteren, is het vrijwel onmogelijk om de invloed van deze factoren op de verschillende eigenschappen onafhankelijk te onderzoeken. Ondanks dat veel van de factoren via de vochtstatus van de knollen (een deel van) hun invloed lijken uit te oefenen, is fundamentele kennis van factoren met betrekking tot blauwgevoeligheid nog altijd beperkt (Storey & Davies, 1992).

De huidige Nederlandse praktijk gaat er in de teeltmaatregelen vanuit dat de blauwgevoeligheid van de knollen meestal wordt verlaagd door factoren die het drogestofgehalte van de knollen verlagen en/of het kaliumgehalte van de knollen laten stijgen. De bemesting met kalium, chloor en stikstof en de toepassing van beregening zijn in dit opzicht de belangrijkste door de teler stuurbare factoren.

Het hier gepresenteerde onderzoek was gericht op het bepalen van de blauwgevoeligheid van een aantal nieuw te introduceren rassen, gedurende meerdere jaren geteeld op verschillende locaties in Nederland. In de tweede plaats werd onderzocht of de richting en mate waarin de blauwgevoeligheid van deze rassen reageert op kali-, stikstof- en chloorbemesting overeenkomt met de reacties van het ras Bintje, waarop de huidige teeltmaatregelen om de blauwgevoeligheid te beperken, grotendeels zijn gebaseerd.

Het vaststellen van interacties was het derde doel van het onderzoek. Bekend is dat zowel in onderzoek als in de praktijk de invloed van veel factoren interactie heeft met andere stuurbare (bemesting) en niet beheersbare factoren (locatie, jaarinvloed). Voor een betrouwbare indruk van de effecten van enkelvoudige teeltmaatregelen is het dan ook van belang te weten in welke mate ze interactie hebben met zowel teeltmaatregelen als omgevingsfactoren.

Materiaal en methoden

Bepaling van de blauwgevoeligheid

Voor de vaststelling van de blauwgevoeligheid werd een monster van 100 knollen van de maat 50/60 mm gedurende 30 seconden geschud op een daarvoor ontwikkeld schudapparaat (Meijers & Kleijburg, 1973). De knoltemperatuur bedroeg bij het schudden 12 °C. Na minimaal 48 uur opslag bij een temperatuur tussen 12 en 15 °C werden de knollen machinaal geschild. De individuele knollen werden volgens de schaal in Tabel 6.1 beoordeeld.

Blauwe plekjes met een diameter kleiner dan 2 mm werden buiten beschouwing gelaten. Niet de intensiteit van de verkleuring, maar de oppervlakte was bepalend voor de beoordeling. Ook lichte verkleuringen werden dus meegerekend. De blauwindex werd vervolgens op onderstaande wijze berekend:

$$index = \frac{\%licht + 2 * \%matig + 3 * \%zwaar}{6} \quad (6.1)$$

Tabel 6.1 Schaal voor de beoordeling van blauwverkleurd oppervlak van aardappelknollen

Aanduiding blauw	% verkleurd oppervlak
Geen	0
Licht	0 – 2
Matig	2 – 10
Zwaar	> 10

Het minimum van de index, wanneer geen van de knollen stootblauw vertoont, is 0. Het maximum is 50, dit wordt bereikt wanneer alle knollen als zwaar verkleurd worden beoordeeld.

Voor een zuivere vergelijking van de blauwgevoeligheid is het van belang dat de monsters op het moment van de schudbehandeling nog onbeschadigd zijn. De monsters zijn daarom met de hand gerooid en tot aan het schudden voorzichtig behandeld om ze tot op dat moment vrij te houden van stootblauw.

Experimenten

In de jaren 1988 tot en met 1992 werden met de rassen Agria, Asterix, Aziza, Benno Vrizo, Maritiema, Morene, Santé en Van Gogh op verschillende locaties veldproeven aangelegd. In de meeste proeven werd als standaardras Bintje opgenomen. In de tabellen is het ras Bintje dan ook op een vaste plaats (onderaan) weergegeven. De locaties betroffen de regionale onderzoekscentra Prof.Dr. J.M. van Bemmelenhoeve (BEM) te Middenmeer, De Kandelaar (KL) te Biddinghuizen, Rusthoeve (RH) te Colijnsplaat, Vredepeel (VP) te Vredepeel, Wijnandsrade (WR) te Wijnandsrade en Westmaas (WS) te Westmaas (zie Tabel 6.2). Locatie Vredepeel betrof zandgrond, de andere locaties betrof kleigrond van uiteenlopende zwaarte. Niet alle rassen konden ieder jaar op elke locatie worden verbouwd. Tabel 6.2 geeft weer in welke jaren de verschillende rassen op de diverse regionale onderzoekscentra werden verbouwd.

In deze experimenten bedroeg de hoogste stikstofgift het landelijk advies voor Bintje:

$$LABK = 285kgN - 1,1(N \text{ min } 0 - 60cm) \quad (6.2)$$

Hierin is LABK het landelijk advies voor Bintje op kleigrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-60 cm.

Het landelijk advies voor Bintje op zandgrond luidt:

$$LABZ = 300kgN - 1,8(N \text{ min } 0 - 30cm) \quad (6.3)$$

Hierin is LABZ het landelijk advies voor Bintje op zandgrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-30 cm.

In de proeven met drie stikstofniveaus ontvingen de twee andere varianten resp. 50 en 100 kg N·ha⁻¹ minder dan de landelijke adviezen voor Bintje. In de experimenten met

twee stikstofniveaus bedroeg de tweede variant $75 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ minder dan genoemde adviezen. De experimenten werden in drie herhalingen aangelegd.

Tabel 6.2 Overzicht van jaar en locatie van uitvoering van experimenten (zie sectie Experimenten in Materiaal en methoden voor verklaring van de locatie-codes), de daarin opgenomen rassen, aantal stikstof- en kaliumniveaus, alsmede de samenstelling van datasets uit de experimenten.

Experiment	Jaar	Locatie	Rassen	Aantal niveaus		Dataset			
				Stikstof	Kalium	1	2	4	5
1	1988	BEM	Agria, Morene, Bintje	3	2	x		x	
2	1988	RH	Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x		x	
3	1988	WS	Agria, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x		x	
4	1989	KL	Morene, Santé, Van Gogh, Bintje	3	2	x		x	
5	1989	RH	Agria, Benno Vrizo, Santé, Bintje	3	2	x		x	
6	1989	VP	Benno Vrizo, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x		x	
7	1989	WS	Agria, Benno Vrizo, Morene, Bintje	3	2	x		x	
8	1990	BEM	Bintje	3	1	x			
9	1990	KL	Bintje	3	1	x			
10	1990	VP	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x			
11	1990	WR	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x			
12	1990	RH	Asterix, Santé	2	3				x
13	1990	VP	Santé	2	3				x
14	1991	RH	Aziza, Maritiema	2	3				x
15	1991	VP	Asterix, Aziza	2	3				x
16	1991	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
17	1991	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
18	1991	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
19	1992	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
20	1992	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
21	1992	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		

In de Experimenten 1 tot en met 7 werd bovendien naast de gangbare kalibemesting een variant aangelegd die een extra kaligift ontving. Deze gift bedroeg $300 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$, in het voorjaar - voor het poten - toegediend in de vorm van patentkali (K_2SO_4 ; 305 kg SO_4). In de Experimenten 12 tot en met 15 werd de extra gift niet alleen in de vorm van patentkali, maar ook in de vorm van chloorkali (Kali-60; 225 kg Cl) toegediend.

Per veldje (netto 15 m^2) werd bij de oogst een monster genomen van 100 knollen in de maat 50/60 mm. Van deze monsters werd - naast het onderwatergewicht - de blauwgevoeligheid bepaald.

In alle experimenten vonden de teeltmaatregelen - afgezien van de proeffactoren - plaats volgens de regionale praktijk.

Datasets

Uit de Experimenten 1 tot en met 21 zijn vier datasets geselecteerd die zich leenden voor analyse van resp. de effecten van rassen, locaties, jaren, stikstof, patent- en chloorkali en interacties tussen een aantal van deze factoren. Tabel 6.2 geeft weer welke experimenten deel uitmaakten van de verschillende datasets.

Vanwege de rol die het onderwatergewicht kan spelen in de blauwgevoeligheid is er omwille van de leesbaarheid voor gekozen de nummering van de datasets overeen te laten komen met die in Hoofdstuk 2 waarin het onderwatergewicht werd besproken. Dit heeft als gevolg dat Dataset 3 in het huidige hoofdstuk niet voorkomt. In het navolgende wordt aangegeven welke factoren met behulp van de verschillende datasets werden geanalyseerd.

Effect van ras

Datasets 1 en 2 zijn gebruikt om raseffecten vast te stellen. Daar Dataset 2 orthogonaal is, leent deze zich voor berekening van interacties met stikstof, locatie en jaar.

Effect van stikstof

De inorthogonale Dataset 1 leent zich voor het analyseren van het effect van stikstof. Berekening van interacties met andere factoren is als gevolg van de inorthogonaliteit niet mogelijk. Dataset 2 was orthogonaal, waardoor naast het hoofdeffect van stikstof ook de interacties met ras, locatie en jaar konden worden berekend.

Effecten van patent- en chloorkali

De inorthogonale Dataset 4 geeft informatie over het effect van de in het voorjaar toegediende patentkali en de interactie ervan met het stikstofniveau.

Dataset 5 geeft naast het gecombineerde effect van in het voorjaar toegediende kalium en stikstof ook inzicht in het effect van de vorm waarin de kali wordt toegediend: patent- of chloorkali. De verschillende vorm houdt de introductie van een extra factor in: een bemesting met chloor.

Effecten van locatie en jaar

Effecten van locaties en jaren worden besproken aan de hand van Dataset 2. Deze dataset is hiervoor het meest geëigend, aangezien de cijfers op gelijke rassen en stikstofgiftten zijn gebaseerd.

Statistische verwerking

De inorthogonale Datasets 1, 4 en 5 zijn verwerkt met behulp van het REML-commando in GENSTAT 5, release 2.1. REML (REstricted Maximum Likelihood) is een algoritme waarmee inorthogonale proeven met meerdere strata kunnen worden verwerkt (Robinson et al., 1982). Met de procedure kunnen inorthogonale datasets worden geanalyseerd. Bij het gebruik van deze procedure kan slechts voor ieder paar van objecten dat in de dataset voorkomt een afzonderlijke LSD (Least Significant Difference; kleinst betrouwbaar verschil) worden berekend. Omwille van de leesbaarheid is in

voorkomende gevallen alleen de gemiddelde LSD weergegeven, herkenbaar als "Gem.LSD".

Bij gebruik van de REML-procedure werd in eerste instantie uitgegaan van het volledige model van factoren en hun interacties. Wanneer de bijdrage aan de variantie van factoren of interacties als nul of negatief werd berekend, werd de factor resp. interactie uit het model verwijderd, waarna de berekening opnieuw werd uitgevoerd. Deze procedure werd zo nodig herhaald.

Dataset 2 werd verwerkt met behulp van een variantieanalyse.

Bij de verwerking van Datasets 1, 4 en 5 werden door de correcties die de REML-procedure voor jaar- en locatie-effecten toepast enkele waarden voor de blauwgevoeligheid negatief. Aangezien negatieve waarden voor blauwgevoeligheid praktisch gesproken onmogelijk zijn, zijn omwille van de leesbaarheid de waarden van Dataset 1 en 4 met 1 eenheid verhoogd, die van Dataset 5 met 2 eenheden. Deze transformaties zijn uitgevoerd na de analyses.

De in tabellen weergegeven LSD werd berekend bij een onbetrouwbaarheid van 5 %, tenzij anders vermeld.

Resultaten

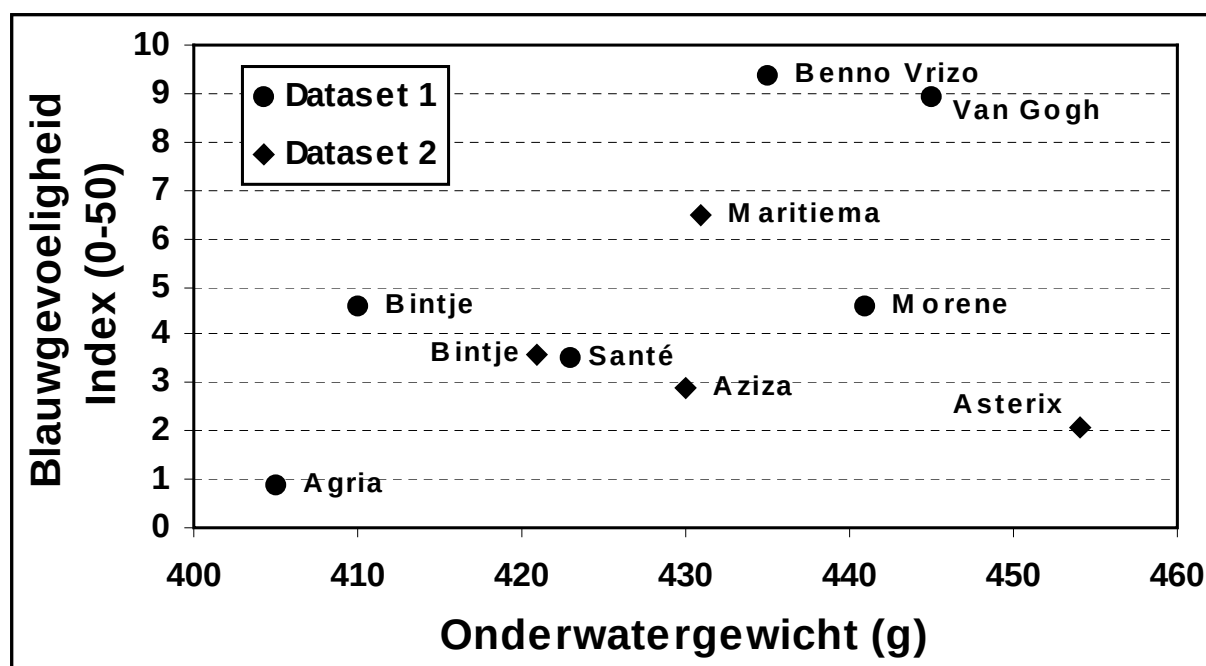
Effect van ras

Er waren in Dataset 1 rasverschillen in de gemiddelde blauwgevoeligheid (Tabel 6.3). De gevoeligheid van Agria was gering, die van de rassen Benno Vrizo en Van Gogh het hoogst. Ook in Dataset 2 verschilden rassen in blauwgevoeligheid: Maritiema was gevoeliger dan de andere rassen (Tabel 6.4).

Figuur 6.1 illustreert dat er geen eenduidig verband was tussen het onderwatergewicht van de rassen en hun blauwgevoeligheid.

Tabel 6.3 Blauwgevoeligheid (index 0-50) van zes rassen bij drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 1.

Ras	Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Advies - 100	Advies - 50	Advies	
Agria	1,4	0,5	0,8	0,9
Benno Vrizo	10,1	9,2	8,8	9,4
Morene	5,7	3,8	4,1	4,6
Santé	4,2	3,1	3,4	3,5
Van Gogh	10,5	8,5	7,7	8,9
Bintje	5,2	4,1	4,7	4,6
Gemiddeld	6,2	4,8	4,9	5,3
Gem.LSD ras				5,6
Gem.LSD stikstof		1,2		
Gem.LSD ras*stikstof		5,6		



Figuur 6.1 Relatie tussen het onderwatergewicht (g) en de blauwgevoeligheid (index 0-50) van negen rassen.

Effect van stikstof

Verlaging van de gift met 50 kg N·ha⁻¹ had in Dataset 1 (Tabel 6.3) gemiddeld geen effect op de blauwgevoeligheid. De verhoging van de blauwgevoeligheid als gevolg van een gift die 100 kg N·ha⁻¹ lager was, was statistisch betrouwbaar, maar gering. In Datasets 2 (Tabel 6.4) en 5 (Tabel 6.8) bleek geen betrouwbaar effect van de verlaging van de stikstofgift met resp. 100 en 75 kg N·ha⁻¹ op de blauwgevoeligheid.

Het ras Van Gogh leek in Dataset 1 (Tabel 6.3) een iets grotere verhoging van de blauwgevoeligheid te laten zien bij verlaging van de stikstofgift dan de andere rassen. In Dataset 2 (Tabel 6.4) was er bij geen van de rassen sprake van een betrouwbare verhoging van de blauwgevoeligheid als gevolg van een lagere stikstofbemesting.

Effecten van patent- en chloorkali

Een extra patentkaligift in het voorjaar verlaagde de blauwgevoeligheid gemiddeld met ruim een punt in Dataset 4 (Tabel 6.5). In Dataset 5 was het effect groter (Tabel 6.6). Bovendien werd een sterkere verlaging van de blauwgevoeligheid bereikt wanneer de kalium in de vorm van chloorkali werd gegeven (Tabel 6.6).

Het effect van een extra voorjaarspatentkaligift was niet bij alle rassen gelijk. Bij de rassen Santé en Bintje bleek gemiddeld geen of weinig effect op te treden (Tabel 6.5). Wanneer de kalium in de vorm van chloorkali werd gegeven, werd een sterkere verlaging van de blauwgevoeligheid bereikt (Tabel 6.6), behalve bij het ras Santé. Uit de datasets kon geen verband tussen de (zowel absolute als procentuele) respons van de blauwgevoeligheid op kalium en de vroegrijpheid van de rassen worden afgeleid.

Hoofdstuk 6

Tabel 6.4 Blauwgevoeligheid (index 0-50) van vier rassen bij drie niveaus van stikstofbemesting (kg N·ha⁻¹), Dataset 2.

Ras	Stikstofgift (kg N·ha ⁻¹)			Gemiddeld
	Advies - 100	Advies - 50	Advies	
Asterix	1,9	2,3	2,2	2,1
Aziza	3,1	2,4	3,4	2,9
Maritiema	6,5	6,5	6,6	6,5
Bintje	3,0	3,1	2,3	2,8
Gemiddeld	3,6	3,6	3,6	3,6
LSD ras				0,7
LSD stikstof		0,6		
LSD ras*stikstof		1,3		

Tabel 6.5 Blauwgevoeligheid (index 0-50) van zes rassen bij twee niveaus van kalibemesting (kg K₂O·ha⁻¹), Dataset 4.

Ras	Extra voorjaarskaligift (kg K ₂ O·ha ⁻¹)	
	Geen	300 patentkali
Agria	1,4	0,6
Benno Vrizo	12,8	11,1
Morene	5,2	4,3
Santé	4,1	4,1
Van Gogh	9,6	6,1
Bintje	5,4	5,2
Gemiddeld	6,4	5,2
Gem.LSD kali		0,8
Gem.LSD ras*kali		5,1

Tabel 6.6 Blauwgevoeligheid (index 0-50) van vier rassen bij twee niveaus en twee soorten van kalibemesting (kg K₂O·ha⁻¹), Dataset 5.

Ras	Extra voorjaarskaligift (kg K ₂ O·ha ⁻¹)		
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali
Asterix	19,6	14,4	11,7
Aziza	16,1	13,8	12,1
Maritiema	12,6	10,3	8,1
Santé	1,6	0,8	0,8
Gemiddeld	12,5	9,8	8,2
Gem.LSD kali		1,9	
Gem.LSD kali*ras		3,9	

De verlaging van de blauwgevoeligheid door patentkali was in Dataset 4 bij alle stikstofniveaus significant (Tabel 6.7). Bij het laagste stikstofniveau was de verlaging het grootst. In Dataset 5 was de verlaging van de blauwgevoeligheid door zowel patent- als chloorkali bij beide stikstofniveaus significant (Tabel 6.8). De verlaging door de patentkaligift was bij beide stikstofniveaus gelijk, de verlaging door de chloorkaligift was het grootst bij het lage stikstofniveau.

In absolute zin verlaagden de voorjaarskalibemestingen de blauwgevoeligheid op locatie RH meer dan op locatie VP. De procentuele verlaging was echter groter op locatie VP (Tabel 6.9).

Tabel 6.7 Blauwgevoeligheid (index 0-50) bij twee niveaus van kalibemesting (kg $K_2O \cdot ha^{-1}$) en drie niveaus van stikstofbemesting (kg $N \cdot ha^{-1}$), Dataset 4.

Stikstofgift (kg $N \cdot ha^{-1}$)	Extra voorjaarskaligift (kg $K_2O \cdot ha^{-1}$)		
	Geen	300 patentkali	Gemiddeld
Advies – 100	7,5	6,1	6,8
Advies – 50	5,9	4,8	5,3
Advies	5,9	4,8	5,4
Gemiddeld	6,4	5,2	5,8
Gem.LSD kali		0,8	
Gem.LSD stikstof			1,1
Gem.LSD kali*stikstof		1,3	

Tabel 6.8 Blauwgevoeligheid (index 0-50) bij twee niveaus en twee soorten van kalibemesting (kg $K_2O \cdot ha^{-1}$) en twee niveaus van stikstofbemesting (kg $N \cdot ha^{-1}$), Dataset 5.

Stikstofgift (kg $N \cdot ha^{-1}$)	Extra voorjaarskaligift (kg $K_2O \cdot ha^{-1}$)			Gemiddeld
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali	
Advies – 75	13,1	10,5	8,3	10,7
Advies	11,8	9,1	8,1	9,7
Gemiddeld	12,5	9,9	8,2	10,2
Gem.LSD kali		1,9		
Gem.LSD stikstof				1,3
Gem.LSD kali*stikstof		2,4		

Effecten van locatie en jaar

In Tabel 6.10 is voor Dataset 2 per locatie de (over dezelfde rassen gemiddelde) blauwgevoeligheid weergegeven. Er waren duidelijke locatieverschillen. In 1991 werd de grootste blauwgevoeligheid geconstateerd op locatie WS, in 1992 op locatie KL.

Tabel 6.10 laat tevens zien dat de blauwgevoeligheid tussen teeltjaren verschilde. Het jaarverschil was echter niet gelijk op de verschillende locaties, dit illustreert de interactie

tussen de effecten van het teeltjaar en de teeltlocatie. Op locatie BEM was de gemiddelde blauwgevoeligheid in beide jaren zeer gering, op locatie KL was de gevoeligheid in 1992 groter dan in 1991, terwijl dat op locatie WS omgekeerd was. Daar het jaareffect onvoorspelbaar is en daarmee ook de interactie tussen jaar en locatie, is de LSD niet relevant: zonder een lange(re) reeks van onderzoeksjaren hebben immers ook de locatieverschillen nauwelijks voorspellende waarde.

Tabel 6.9 Blauwgevoeligheid (index 0-50) op twee locaties bij twee niveaus en twee soorten van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 5 (gemiddelden gebaseerd op gedeeltelijk verschillende rassen in 1990 en 1991).

Locatie	Jaar	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
		Geen	300 patentkali	300 chloorkali
RH	1990	15,8	12,3	10,2
VP	1990	3,0	1,4	0,9

Tabel 6.10 Blauwgevoeligheid (index 0-50) in twee jaren op drie locaties, Dataset 2.

Locatie	Jaar	
	1991	1992
BEM	1,5	1,0
KL	1,5	5,3
WS	9,5	2,8

Discussie

Effect van ras

De blauwgevoeligheid verschilde tussen de rassen (Tabellen 6.3 en 6.4), zoals in vrijwel alle onderzoeken met verschillende rassen wordt vermeld. Alleen het ras Agria bleek wezenlijk minder blauwgevoelig dan het veel geteelde ras Bintje. Dit geeft aan dat veredeling nog altijd een belangrijk middel is om de blauwgevoeligheid van aardappelen en daarmee de kans op het optreden van blauw te verminderen.

Vergelijking van de blauwindex met het onderwatergewicht (Figuur 6.1) leert dat er geen verband was tussen het onderwatergewicht van de rassen en hun respectievelijke blauwgevoeligheid. Dit bevestigt de waarnemingen van andere auteurs (o.a. Massey et al., 1952; Sawyer & Collin, 1960; Stricker, 1981). Het onderwatergewicht van een ras is dus geen selectie criterium voor zijn potentiële blauwgevoeligheid.

Effect van stikstof

In Dataset 1 kon van een verlaging van de stikstofgift met $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ een betrouwbare, maar gemiddeld kleine verhoging van de blauwgevoeligheid worden

vastgesteld. In Dataset 2 was in het geheel geen sprake van een effect van stikstof op de blauwgevoeligheid. In onderzoek van Reust (1986, 1987) kwamen - bij met het hier beschreven onderzoek vergelijkbare stikstofgiften - afhankelijk van het ras zowel kleine toe- als afnamen van de blauwgevoeligheid voor. In de inleiding werd reeds besproken dat stikstof via verschillende mechanismen invloed op de blauwgevoeligheid kan uitoefenen. Dat het effect van stikstof niet bij alle rassen gelijk is en het effect van stikstof ook verschilt wanneer een ras onder verschillende omstandigheden wordt geteeld, wijst er op dat de rol van de diverse mechanismen kan verschillen tussen rassen en omstandigheden. Zoals later te bespreken kunnen ook interacties met kalium en andere factoren oorzaak zijn van de verschillen in aangetroffen effecten van stikstof.

Effecten van patent- en chloorkali

Het gemiddelde effect van de 300 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$ als patentkali in het voorjaar was niet groot, maar wel betrouwbaar (Tabellen 6.5 en 6.6). Bedacht moet worden dat deze gift in de meeste gevallen vooraf werd gegaan door een zware bemesting met chloorkali in het voorafgaande najaar (± 600 kg K_2O). Het effect van de voorjaarsbemesting van gemiddeld ruim een punt op de blauwindex stemt overeen met de bevindingen van Prummel (1986) die in het vergelijkbaar traject 600 - 900 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$ een overeenkomend geringe respons aantrof. Voor deze geringe respons zijn er ook aanwijzingen in ouder onderzoek: Van Middeltem et al. (1953) vonden dat meer dan 670 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$ de verkleuringsintensiteit van beschadigd weefsel niet verder verlaagde. Mulder (1949) vond dat het tyrosinegehalte van het weefsel slechts weinig meer daalde bij kaligiften boven 600 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$. De methodiek van deze auteurs had evenwel alleen betrekking op de verkleuringscapaciteit van het weefsel en niet op de invloed van kalium op de mate van mechanische beschadiging bij een zekere belasting.

Het chloor dat met een chloorkaligift werd toegediend heeft de blauwgevoeligheid meer verlaagd dan het sulfaat van de patentkaligift (Tabel 6.6). De meeste andere auteurs die ook de vergelijking tussen chloor- en patentkali hebben gemaakt melden hetzelfde (o.a. Jacob, 1959; Van Loon & Houwing, 1989; Maier et al., 1986).

Effecten van locatie en jaar

Tabel 6.10 laat zien dat er jaar- en locatieverschillen optreden, maar dat er bovendien sterke interactie kan optreden tussen de effecten van jaar en locatie. Deze factoren worden dan ook verder bij de interacties besproken.

Interacties

*Ras * Stikstof*

De iets sterkere reactie van de blauwgevoeligheid van het ras Van Gogh in Dataset 1 (Tabel 6.3) op een verlaging van de stikstofgift is niet voldoende om te concluderen dat er een interactie tussen ras en stikstof aanwezig was. Reust (1986, 1987) maakt wel melding van een ras-stikstofinteractie. Daarnaast kan het zo zijn dat (het zichtbaar worden van) het effect van de stikstoftrappen afhankelijk is van het niveau waarop de blauwindex zich bevindt. Het absolute effect was namelijk het grootst bij het ras Van

Gogh, de procentuele reductie van de blauwindex was echter het grootst bij het ras Agria.

*Ras * kali*

Net als voor stikstof en rassen geldt voor kalium en rassen dat de interactie in de hier gerefereerde onderzoeken meestal geen degelijk onderwerp van studie is geweest. Daar waar dat (gedeeltelijk) wel het geval was, wordt geen melding gemaakt van duidelijke interactie tussen ras en kalibemesting. In de veelheid aan literatuur over vermindering van blauwgevoeligheid bij stijgende kalibemesting met daarin een grote verscheidenheid aan rassen is de gelijkvormigheid van de gevonden effecten groot. Het hier gepresenteerde onderzoek geeft evenwel aan dat de mate van respons op kalium tussen rassen verschillend kan zijn. De rassen die op de extra voorjaarskaligift in mindere mate reageren met een lagere blauwgevoeligheid bereiken hun maximale respons wellicht bij een lagere kaliumgift. Immers, de hier toegepaste voorjaarsgift was in de meeste gevallen een extra gift, naast de bouwplanbemesting. Om hierover zekerheid te verkrijgen zou de respons van de blauwgevoeligheid van de verschillende rassen over een breder traject van kalibemesting, beginnend bij lagere giften, moeten worden vastgesteld.

De mogelijke veronderstelling dat later rijpende rassen gedurende langere tijd dan vroegrijpende rassen in staat zijn om nutriënten en dus ook kalium op te nemen en daardoor een sterkere respons vertonen op de extra kalibemestingen werd niet ondersteund door een duidelijke relatie tussen rijptijd en blauwgevoeligheid.

Een probleem bij het onder veldomstandigheden betrouwbaar vaststellen van rasverschillen zijn de mogelijke interacties die optreden tussen de groei en het groeipatroon van rassen en verschillen in groeiomstandigheden tussen locaties en jaren. Deze interacties kunnen invloed hebben op de respons van de blauwgevoeligheid op kalium en daarmee op de aan te treffen rasverschillen.

*Kalium * stikstof*

Onder de huidige Nederlandse omstandigheden met over het algemeen hoge (stikstof - en kali)bemestingsniveaus wordt veelal een geringe verlaging van de blauwgevoeligheid aangetroffen bij een verhoging van de stikstofbemesting. Dit hangt samen met een verlaging van het drogestofgehalte (Ophuis et al., 1958; Kunkel & Gardner, 1965; Van der Zaag & Meijers, 1970). Het hier beschreven onderzoek bevestigt dit. De geringste blauwgevoeligheid werd evenals in ander onderzoek (Mulder 1949, 1955) bereikt bij de combinatie van hoge stikstof- en kalibemesting. De verschillen waren echter in absolute zin - op de schaal van 0 tot 50 - gering.

Een toename van de blauwgevoeligheid als gevolg van een hogere stikstofbemesting wordt enkele malen vermeld, met name in literatuur tot ± 1970. In deze referenties is veelal sprake van een aanzienlijk geringere kalivoorziening dan tegenwoordig in Nederland het geval is. Zo vermeldt Mulder (1949, 1955) dat het effect van stikstof afhing van de kalibemesting. Een toename van blauwgevoeligheid als gevolg van meer stikstof werd door hem echter alleen aangetroffen bij een lage tot matige kalivoorziening. De

geringste blauwgevoeligheid trof ook hij aan bij een hoog niveau van zowel stikstof als kalium.

De resultaten van dit onderzoek geven aan dat met de combinatie van een lagere stikstofgift en een hogere (chloor)kaligift een blauwgevoeligheid kan worden bereikt die vergelijkbaar is met of geringer is dan bij de gangbare combinatie van najaarsbouwplanbemesting en de adviesstikstofgift. Het is dus mogelijk om (meer dan) te compenseren voor een eventuele lichte toename van de blauwgevoeligheid door een verlaging van de stikstofgift. Wel moet hierbij worden bedacht dat in het onderzoek is gewerkt met een extra kaligift in het voorjaar. Om naast de stikstof de kalium zo goed mogelijk te benutten verdient het aanbeveling te onderzoeken in hoeverre hetzelfde effect kan worden bereikt door niet uit te gaan van een extra kaligift, maar van een gedeeltelijke of gehele verplaatsing van de bouwplankaligift naar het voorjaar.

Zoals in het navolgende wordt besproken zijn er echter aanwijzingen om te veronderstellen dat niet bij alle rassen de combinatie van een hoge stikstofbemesting en een hoge kalibemesting tot de geringste blauwgevoeligheid leidt, m.a.w. dat er een ras-kali-stikstofinteractie bestaat.

Ras kali* stikstof*

Reust (1986 en 1987) vermeldt van een aantal rassen die niet in het hier beschreven onderzoek waren opgenomen dat ze met een toename in blauwgevoeligheid op stikstof reageerden. Ook Stevens et al. (1998) vermelden dat niet alle door hen onderzochte rassen op een combinatie van hoge stikstof- en kalibemesting reageren met een geringere blauwgevoeligheid. Uit hun gegevens zijn echter geen zuivere interacties op te maken. In het hier beschreven onderzoek is gedurende één jaar in twee experimenten het ras Diamant opgenomen geweest. Dit ras vertoonde in beide experimenten een ongebruikelijke stikstof-kali-interactie. Bij een verlaagd stikstofniveau (advies - 100kg) werd de blauwgevoeligheid door de extra voorjaarskalibemesting verlaagd, bij hoog stikstofniveau (adviesgift) werd ze verhoogd. Dit leidde ertoe dat bij de combinatie van hoge stikstof- en kalibemesting de grootste blauwgevoeligheid werd bereikt. Deze meldingen maken duidelijk dat er mogelijk sprake is van ras-stikstof-kali-interactie en dat er rassen kunnen zijn die met een geringere vermindering of zelfs een toename in blauwgevoeligheid kunnen reageren op de gebruikelijke combinatie van hoge stikstof- en kalibemesting. Deze rassen lenen zich wellicht voor verder verklarend onderzoek naar de achterliggende mechanismen waardoor de blauwgevoeligheid tot stand komt. Het valt daarnaast aan te bevelen bij het rassenonderzoek resp. de introductie van nieuwe rassen rekening te houden met de mogelijkheid van een afwijkende reactie van de blauwgevoeligheid op de gebruikelijke combinatie van hoge stikstof- en kalibemesting.

*Kalium * locatie*

Door de mogelijkheid van interactie tussen ras en kalibemesting en daarnaast ook tussen locatie, jaar en ras kan het verschil in blauwgevoeligheid tussen locaties VP en RH niet als representatief worden beschouwd voor het verschil tussen deze locaties en ook niet als representatief voor het verschil tussen klei- en zandgrond. Als gevolg van de inorthogonaliteit en een mogelijke ras-kali-interactie kan de interactie tussen locatie en

kalium niet zuiver worden onderscheiden. Gemiddeld was er echter in absolute zin een sterkere reductie van de blauwgevoeligheid door kalium op locatie RH dan op locatie VP. Het kan echter zijn dat de geringere reactie op locatie VP verband houdt met het lagere niveau van de blauwgevoeligheid op die locatie. Hoewel voor de praktijk de absolute reductie van de blauwgevoeligheid belangrijker is dan de relatieve afname, kan men echter niet zonder meer concluderen dat de reactie op locatie RH sterker was. Immers, op locatie VP werd de blauwgevoeligheid met een hoger percentage verminderd dan op locatie RH.

Dat er zelfs interactie kan optreden tussen kaligift en locatie wanneer het om sterk vergelijkbare kleilocaties gaat, kan uit de cijfers van Prummel (1973, 1986) worden opgemaakt. Deze auteur liet zien dat de sterkte van de reactie van de blauwgevoeligheid op de kaligift sterk samenhangt met de kalitoestand van de bodem. De respons van de blauwgevoeligheid op een zelfde kalibemesting was geringer naarmate de kalitoestand van de bodem hoger was.

*Locatie * jaar*

Dezelfde set rassen, verbouwd in hetzelfde jaar gaf op verschillende locaties een gemiddeld verschillende blauwgevoeligheid (Tabel 6.10). Daarnaast was de blauwgevoeligheid op gelijke locatie verschillend tussen jaren. De interactie tussen locatie en jaar maakt het geheel nog complexer. De vergelijking met de effecten van deze factoren op het onderwatergewicht (Hoofdstuk 2, Tabel 2.9) maakt duidelijk dat - net als bij rassen - er geen verband is tussen het effect van deze factoren op blauwgevoeligheid en hun effect op het onderwatergewicht. Terwijl het onderwatergewicht in 1991 tussen locaties nauwelijks verschilde was de blauwgevoeligheid op locatie WS veel hoger dan op de andere locaties. In 1992 was op locatie KL het onderwatergewicht het laagst, terwijl de blauwgevoeligheid er het hoogst was. Ook Stricker (1981) concludeerde dat genoemde relatie er niet is.

Locatie- en jaarverschillen en interactie daartussen worden in de literatuur vaak vermeld (Aeppli & Keller, 1979; Massey et al., 1952; Stricker, 1981). Waargenomen verschillen zoals die tussen locaties aanwezig zijn (bijv. in bodemeigenschappen) of tussen jaren (temperatuur, neerslag) blijken echter onvoldoende verklaring te geven voor verschillen in blauwgevoeligheid op die locaties. Hieruit blijkt dat het voornaamste probleem op dit moment wordt gevormd door het nog altijd ontbreken van voldoende fundamentele kennis over de combinatie van knoeigenschappen die de feitelijke gevoeligheid voor stootblauw veroorzaakt en de invloed van groeiomstandigheden daarop. Dit gebrek heeft tot gevolg dat het ook niet duidelijk is welke variabelen gemeten moeten worden voor het verklaren van de blauwgevoeligheid. De vooruitgang van het fundamentele onderzoek op dit punt is sinds lange tijd gering geweest. Zo is sinds de beschrijving van Hughes (1974) de kennis van de invloed van omgevingsfactoren op de factoren die de blauwgevoeligheid van aardappelen veroorzaken onvoldoende toegenomen om het praktijkonderzoek resp. de teler te voorzien van nieuwe aangrijpingspunten om de blauwgevoeligheid wezenlijk en structureel terug te dringen.

IMPLICATIES

Wetenschappelijk

- In het traject waarin de stikstof- en kalivoorziening van de Nederlandse teelt van consumptieaardappelen zich bevinden zijn de effecten van deze elementen op de blauwgevoeligheid klein. De richting en omvang van de gevonden effecten sloten in hoge mate aan bij in de literatuur beschreven onderzoek met Bintje en andere rassen. Deze literatuur kent een grote bodemkundige en geografische spreiding.
- De literatuur geeft weinig informatie over de interactie tussen ras en stikstof, resp. tussen ras en kalium. In de in dit onderzoek beschreven datasets bleek geen interactie tussen ras en stikstof te bestaan.
- Voor wat betreft kalium was niet de richting maar wel de mate van respons van de rassen verschillend. Kleine verschillen in de mate van reactie kunnen te maken hebben met het feit dat de absolute reactie (op de schaal van 0 - 50) vaak kleiner was naarmate een ras minder blauwgevoelig was. Om hierover zekerheid te verkrijgen zou de respons over een breder traject - beginnend bij een laag bemestingsniveau - moeten worden vastgesteld en zou de kalitoestand van de bodem als factor moeten worden opgenomen. Het is echter de vraag of de verschillen groot genoeg zijn om hieraan in het rassenonderzoek structureel aandacht aan te geven op een schaal die (in verband met interacties) groot genoeg is om betrouwbare uitspraken te doen.
- Er zijn aanwijzingen dat er rassen zijn die zich onttrekken aan de regel dat een combinatie van zowel hoge stikstof- als kalibemesting tot de geringste blauwgevoeligheid leidt. Het verdient aanbeveling te onderzoeken hoe consistent dit verschijnsel is bij de rassen waarvoor dit lijkt te gelden en in hoeverre het door de groeiomstandigheden wordt beïnvloed. Zou deze ras-kali-stikstofinteractie worden bevestigd, dan heeft dat ten aanzien van blauwgevoeligheid gevolgen voor het rassenonderzoek en teeltonderzoek ten behoeve van de introductie van nieuwe rassen.
- Het hier beschreven onderzoek heeft laten zien dat er op het punt van beperking van de blauwgevoeligheid mogelijkheden lijken te zijn om efficiënter gebruik te maken van de toegediende stikstof, kalium en chloor. Het verdient aanbeveling onderzoek te doen naar het perspectief van voorjaarstoepassing van (een gedeelte van) de gebruikelijke bouwplanbemesting chloorkali. Hierin moeten de kwaliteit(verbetering) van de aardappelen, het wellicht verhoogde rendement van de toegediende stikstof, kalium en chloor en het financieel resultaat worden betrokken.

Praktisch

- De in dit onderzoek onderzochte rassen bleken niet sterk te verschillen in hun reactie met blauwgevoeligheid op de onderzochte kali- en stikstofniveaus. Bij de interpretatie van rassenonderzoek en onderzoek waarin alleen stikstof- dan wel kalibemesting is opgenomen, moet rekening worden gehouden met de

- mogelijkheid dat enkele rassen hun geringste blauwgevoeligheid niet bereiken bij de gebruikelijke combinatie van een hoge stikstof- en een hoge kalibemesting.
- De laatste jaren is in de bedrijfsvoering de benutting van de toegediende mineralen steeds belangrijker geworden. Uit een oogpunt van benutting kunnen er vraagtekens worden geplaatst bij de strategie van de in het najaar toegediende bouwplankalibemesting aan aardappelen. Door (een deel van) de chloorkali in het voorjaar toe te dienen kan wellicht het rendement van de toegediende chloorkali en haar effect op blauwgevoeligheid worden vergroot. Op deze wijze zou ook gedeeltelijk op stikstof kunnen worden bespaard, voor zover men geneigd is hoge stikstofgiften toe te dienen met het oog op het beperken van de blauwgevoeligheid. Deze voordelen moeten worden afgewogen tegen een kans op een kleine opbrengstderving op met name lichtere gronden als gevolg van voorjaarstoepassing van chloorkali.

LITERATUUR

- Aeppli, A. & E.R. Keller, 1979. Einfluß des Standortes auf die Blauempfindlichkeit der Kartoffelknollen, Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 148, p. 115-130.
- Aeppli, A., E.R. Keller & F. Schwendimann, 1981. Einfluß des Erntetermins auf die Blauempfindlichkeit von Kartoffelknollen, Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 150, p. 372-381.
- Anon, 1989. Aardappels voldoen vaak niet aan gestelde eisen, Koopkracht 19, nr. 2, p. 13-15.
- Anon, 1995. Bij elk aardappelras problemen gevonden, Consumentengids 4, nr. 4, p.220-224.
- Bruyn H.L.G. de, 1929. Het blauw worden van aardappelen, Tijdschrift over Plantenziekten 35, p. 186-222.
- Effmert, B., 1992. Die Stoßempfindlichkeit von Kartoffelknollen und ihre Gehalt an Kalium und Calcium, Kartoffelbau 43, p. 78-81.
- Es, A. Van, K.J. Hartmans & M.H. van Calker, 1975. Onderzoek naar de dieper gelegen oorzaken van de blauwgevoeligheid van aardappelen III. De invloed van de celgrootte, IBVL-publikatie 288, IBVL, Wageningen, 13 pp.
- Hartmans, K.J. & A. Van Es, 1974. Onderzoek naar de dieper gelegen oorzaken van de blauwgevoeligheid van aardappelen I, IBVL-publikatie 272, IBVL, Wageningen, 12 pp.

- Hughes, J.C., 1974. Factors influencing the quality of ware potatoes. 2. Environmental factors, *Potato Research* 17, p. 512-547.
- Jacob, W.C., 1959 Studies on internal black spot of potatoes, Memoir 368, Agricultural Experiment Station Cornell University, Ithaca, New York, 86 pp.
- Kunkel, R. & W.H. Gardner, 1965. Potato tuber dehydration and its effect on black spot of Russet Burbank potatoes in the Columbia Basin of Washington, *American Potato Journal* 42, p. 109-124.
- Kunkel, R., N. Holstad & H. Butala, 1973. Fertilization and the blackspot problem in Washington's Columbia Basin (Abstract of paper given at the 57th meeting of the Potato Association of America), *American Potato Journal* 50, p. 339.
- Loon, C.D. van & J.F. Houwing, 1989. Het effect van een chloorbemesting op blauwgevoeligheid, onderwatergewicht, bakkwaliteit en opbrengst van enkele consumptie-aardappellrassen, In: P. de Jonge (ed.), *Jaarboek 1988/89*, Lelystad, PAGV, Publikatie 49, 241 pp.
- Maier, N.A., A.P. Hahlenburg & A.B. Frensham, 1986. Potassium nutrition of irrigated potatoes in South Australia. 3. Effect on specific gravity, size and internal bruising of tubers, *Australian Journal of Experimental Agriculture* 26, p. 737-744.
- Mapson, L.W., T. Swain & A.W. Tomalin, 1963. Influence of variety, cultural conditions and temperature of storage on enzymic browning of potato tubers, *Journal of Science of Food and Agriculture* 14, p. 673-684.
- Massey, P.H., H.C. Thompson & O. Smith, 1952. Varietal susceptibility of potatoes to internal blackspot, *American Potato Journal* 29, p. 127-135.
- McRae, D.C. & J. Fleming, 1981. Rapid development of black pigmentation in batches of bruised potatoes by means of a heated pressurized oxygen tank, In: *Abstracts of the Conference Papers of the 8th Triennial Conference of the EAPR*, München, p. 116-117.
- Meijers, C.P., 1987. Diseases and defects liable to affect potatoes during storage, In: A. Rastovski, A. van Es et al. (eds), *Storage of potatoes, post-harvest behaviour, store design, storage practice, handling*, Pudoc, Wageningen, p. 148-174.
- Meijers, C.P. & P. Kleijburg, 1973. Het bepalen van de blauwgevoeligheid van aardappelen, de nauwkeurigheid van de bepaling en de invloed van de knoltemperatuur, *Bedrijfsontwikkeling* 4, p. 579-584.

- Meijers, C.P. & C.D. van Loon, 1978. De blauwaktie van 1972-1976, *Bedrijfsontwikkeling* 9, p. 898-902.
- Merkenschlager, F., 1929. Über das Schwarzwerden der Kartoffeln, *Nachrichtenblatt für den Deutschen Pflanzenschutzdienst* 9, p. 20-21.
- Middelem, C.H. van, W.C. Jacob & H.C. Thompson, 1953. Potassium fertilization effect on some soluble nitrogen constituents of the potato tuber in relation to the black spot problem, *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* 61, p. 10-15.
- Mondy, N.I., B.P. Klein & L.I. Smith, 1960. The effect of maturity and storage on phenolic content, enzymatic activity and discoloration of potatoes, *Food Research* 25, p. 693-705.
- Mondy, N.I. & C.B. Munshi, 1993. Effect of maturity and storage on ascorbic acid and tyrosine concentrations and enzymic discoloration of potatoes, *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 41, p. 1868-1871.
- Mulder, E.G., 1949 Mineral nutrition in relation to the biochemistry and physiology of potatoes, *Plant and Soil* 2, p. 59-121.
- Mulder, E.G., 1955. Stem-end blackening and respiration rate of potato tubers in relation to the mineral nutrition, *Stikstof* 8, p. 25-36.
- Ophuis, B.G., Hesen, J.C. & E. Kroesbergen, 1958. The influence of temperature during handling on the occurrence of blue discolourations inside potato tubers, *European Potato Journal* 1, p. 48-65.
- Peters, R, 1996. Damage of potato tubers, a review, *Potato Research* 39, pp. 479-484.
- Prummel, J., 1973. Kalibemesting en blauwgevoeligheid van aardappelen, *Bedrijfsontwikkeling* 4, p. 595-599.
- Prummel, J., 1986. Invloed van kalium op de blauwgevoeligheid van aardappelen, *Rapport 12-86*, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, 29 pp.
- Raper, H.S., 1927. The tyrosinase-tyrosine reaction V. Production from tyrosine of 5:6-dihydroxy indole and 5:6-dihydroxyindolecarboxylic acid - the precursors of melanin, *Biochemical Journal* 21, p. 89-96.
- Raper, H.S. & A. Wormall, 1923. The tyrosinase-tyrosine reaction, *Biochemical Journal* 17, p. 454-469.

- Reust, W., 1986. Essais de fumure azotée sur différentes nouvelles variétés de pommes de terre de consommation, industrielles et fourragères, *Revue Suisse d'Agriculture* 18, p. 81-85.
- Reust, W., 1987. Effet de la fumure azotée sur la qualité culinaire et technologique de nouvelles variétés de pommes de terre, *Revue Suisse d'Agriculture* 19, p. 281-290.
- Rinno, G, G.Görlitz, H. Wahl & K. Ebert, 1972. Untersuchungen über den Einfluß der Mineraldüngung auf die Verfärbung der roh verarbeiteten Kartoffeln, *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 16, p. 515-520.
- Robinson, D.L., R. Thompson & P.G.N. Digby, 1982. REML - a program for the analysis of non-orthogonal data by restricted maximum likelihood, In: *Compstat 1982, part II (supplement)*, Wien, Physica-Verlag, p. 231-232.
- Sawyer, R.L. & G.H. Collin, 1960. Black spot of potatoes, *American Potato Journal* 37, p. 115-126.
- Sharma, K.N. & N.R. Thompson, 1956. Relationship of starchgrain size to specific gravity of potato tubers, *Michigan Agr. Experimental Station Quarterly Bulletin* 38, p. 559.
- Smittle, D.A., R.E. Thornton, C.L. Peterson & B.B. Dean, 1974. Harvesting potatoes with minimum damage, *American Potato Journal* 51, p. 152-164.
- Stevens, L.H. & E.Davelaar, 1996. Isolation and characterization of blackspot pigments from potato tubers, *Phytochemistry* 42, p. 941-947.
- Stevens, L.H., E. Davelaar, A.J. Haverkort, J.P.F.G. Helsper & D. Uenk, 1998. Fysiologische en biochemische regulatie van de vorming van stootblauw bij aardappel, *Nota 122, AB-DLO, Wageningen*, 38 pp.
- Storey, R.M.J. & H.V. Davies, 1992. Tuber quality, In: P.M. Harris (ed.), *The Potato Crop*, Chapman & Hall, London, p. 507-569.
- Stricker, H.W., 1981. Das Auftreten von Schwarzfleckigkeit bei der Kartoffel in Abhängigkeit von Lagerungsmaßnahmen, vom Anbauort und vom Anbaujahr, *Der Kartoffelbau* 32, p. 12-17.
- Tähtinen, H., 1978. Nitrogen and potassium fertilization of potato, *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 50, p. 67-77.
- Thornton, R.E. & H. Timm, 1990. Influence of fertilizer and irrigation management on tuber bruising, *American Potato Journal* 67, p. 45-54.

Vertregt, N., 1968. Relation between black spot and composition of the potato tuber, European Potato Journal 11, p. 34-44.

Zaag, D.E. van der & C.P. Meijers, 1970. Black spot - practical aspects, Proceedings of the 4th Triennial Conference of the EAPR, Brest 8-13 septembre 1969, p. 93-103.

Hoofdstuk 7

Identificatie van bronnen voor variatie in de blauwgevoeligheid van aardappelknollen binnen partijen

met G.J. Molema en B.R. Verwijs

Inleiding

In Hoofdstuk 6 werd beschreven hoe de blauwgevoeligheid van partijen aardappelen kan afhangen van het geteelde ras, de toegediende bemesting en de groeiomstandigheden die samenhangen met de locatie- en jaargebonden omstandigheden. Tussen deze factoren bleken veelvuldig interacties op te kunnen treden, waardoor grote verschillen in de blauwgevoeligheid tussen partijen kunnen ontstaan.

De blauwgevoeligheid verschilt echter niet alleen tussen partijen, maar ook de knollen van één perceel kunnen sterk verschillen in blauwgevoeligheid. De grote variatie in blauwgevoeligheid binnen partijen - zelfs binnen een vrij nauwe maatsortering - komt tot uiting in het relatief grote aantal knollen (100) dat per monster nodig is voor een betrouwbare bepaling van de blauwgevoeligheid van een partij aardappelen (Kunkel et al., 1986; Schippers, 1971; Meijers & Kleijburg, 1973).

In de Hoofdstukken 3 en 5 werd voor resp. het drogestofgehalte en het nitraatgehalte aangetoond dat een veel groter deel van de variatie binnen een perceel wordt veroorzaakt door variatie binnen perceelsgedeelten dan door variatie tussen perceelsgedeelten. Tevens werd aangetoond dat binnen perceelsgedeelten het grootste deel van de variatie wordt veroorzaakt door verschillen tussen knollen die afkomstig zijn van een zelfde plant en zelfs van een zelfde stengel.

Door middel van berekeningen aan enkele datasets werd onderzocht in welke mate de variatie van blauwgevoeligheid van aardappelknollen van een perceel tussen, resp. binnen perceelsgedeelten kan worden aangetroffen. Daarnaast werden relaties gelegd tussen de variatie in blauwgevoeligheid en die in andere knoleigenschappen.

Materiaal en methoden

Data werden beschikbaar gesteld door het IMAG-DLO, zij vormen een selectie uit het werk beschreven door Molema et al. (1997).

Teelt en bewaring

De knollen voor de experimenten werden in 1995 geproduceerd op lichte grond (10 % afslibbaar) te Slootdorp in de Wieringermeerpolder (Molema et al., 1997). Het ras Bintje werd geteeld op zes velden bij twee kaliumniveaus (K1 en K2, resp. laag en hoog) om verschil in blauwgevoeligheid te verkrijgen. De velden waren bruto 12 * 25 meter, netto 9 * 20 meter. De veldproef werd in drie herhalingen uitgevoerd. Voor het overige werden de aardappelen volgens de gangbare praktijk bemest en verzorgd.

Het poten vond plaats op 27 april en de oogst na 160 dagen op 3 en 4 oktober, nadat het loof drie weken tevoren was doodgespoten. Om ongecontroleerde beschadiging tot een minimum te beperken werden de aardappelen met de hand geoogst. De knollen werden in twee weken gekoeld van 15 naar 4,5 °C en vervolgens bij deze temperatuur in het donker bewaard bij een RV van 93 %.

Na 3, 5 en 7 maanden werden monsters van 15 knollen genomen voor de bepaling van de blauwgevoeligheid.

Bepaling van de blauwgevoeligheid

Voor het op een gestandaardiseerde manier aanbrengen van beschadiging werd een pendulum gebruikt. Voor de werking hiervan en de preparatie van de knollen voor de behandeling wordt verwezen naar Molema et al. (1997). Na het toedienen van de mechanische belasting bij een knoltemperatuur van 10 °C werden de knollen bij 20 °C in het donker bewaard (Molema et al., 1995). Na 4 dagen werd met grote nauwkeurigheid de grootste diepte en het volume van het beschadigde weefsel bepaald, waarbij al het blauw tot grijs verkleurde weefsel werd inbegrepen. Voor een gedetailleerde beschrijving van de waarnemingen wordt verwezen naar Molema et al. (1997).

Datasets

Uit experimenten van Molema et al. (1997) werd een dataset samengesteld. Uit Experimenten 1 en 3 (Molema et al., 1997) werden de twee kaliumbemestingsniveaus (K1 en K2), de drie tijdstippen van behandeling (na 3, 5 en 7 maanden bewaring) en een enkelvoudige pendulumimpact van 0,6 J opgenomen. Experiment 2 (Molema et al., 1997) bevatte bovendien twee energieniveaus van 0,3 en 0,6 J. Het individueel knolgewicht had in Experimenten 1, 2 en 3 een bereik van resp. 70 - 236, 68 - 237 en 74 - 207 gram. Het aantal knollen in de datasets was resp. 270, 540 en 270, het aantal knollen van meer dan 200 gram resp. 7, 10 en 3.

Statistische verwerking

Voor de berekening van de grootte van variantiecomponenten werd het REML-commando in GENSTAT 5, release 2.1. REML (Restricted Maximum Likelihood) gebruikt (Robinson et al., 1982). De in tabellen weergegeven LSD (Least Significant Difference; kleinst betrouwbaar verschil) werd berekend bij een onbetrouwbaarheid van 5 %, tenzij anders vermeld.

Resultaten

Variatiebronnen voor blauwgevoeligheid

In de REML-analyse werden de factoren experiment, kali, tijd en energieniveau gezien als behandeling en daarom werden deze factoren en hun onderlinge interacties “fixed” opgenomen in het gemengde model. De factoren veld en knollen werden “random” opgenomen om de variantie van de experimentele eenheden te beschrijven. De totale variantie tussen knollen binnen de dataset is gelijk aan de som van de variantiecomponent tussen veldjes en de variantiecomponent van knollen binnen velden. Voor zowel diepte als volume van de beschadiging gold dat de variantiecomponent knollen binnen velden veel groter was dan die tussen velden (Tabel 7.1). De componenten tussen velden en binnen velden werden geschat met resp. 4 en 1062 vrijheidsgraden. De component tussen velden was voor beide kenmerken niet significant groter dan 0, de component binnen velden was wel significant groter dan 0 ($P < 0,05$).

Tabel 7.1 Geschatte variantiecomponenten (veldjes en knollen), hun aandeel (%) in de totale variantie en de standaardafwijking (%) van het aandeel van diepte en volume van beschadigd weefsel.

Kenmerk	Variantie			Aandeel in totale variantie (%)		Standaardafwijking van aandeel (%)
	Totaal	Veldjes	Knollen	Veldjes	Knollen	
Diepte (mm)	6,491	0,033	6,458	0,5	99,5	0,74
Volume (cm ³)	0,189	0,003	0,186	1,7	98,3	1,54

Tabel 7.2 Gemiddelde, geschatte variantiecomponenten (veldjes en knollen) en hun aandeel (%) in de totale variantie van diepte en volume van beschadigd weefsel bij laag (K1) en hoog (K2) kaliumniveau.

		Gemiddelde		Variantie		Aandeel in totale variantie (%)		Standaard-afwijking van aandeel (%)
Kenmerk	Kalium-niveau		Totaal	Veldjes	Knollen	Veldjes	Knollen	
Diepte (mm)	K1	7,61	4,847	0,000	4,847	0,00	100,00	0,00
	K2	6,20	8,121	0,083	8,038	1,03	98,97	1,56
Volume (cm ³)	K1	0,83	0,212	0,000	0,212	0,00	100,00	0,00
	K2	0,52	0,164	0,007	0,157	4,09	95,91	4,44

De “fixed” opgenomen factoren experiment, tijd en energieniveau en interacties hadden geen invloed op de grootte van de variantiecomponenten binnen en tussen velden. Extra kalium verlaagde weliswaar het niveau van diepte en het volume van de beschadiging, maar had geen significante invloed op de grootte van de variantiecomponenten tussen en binnen veldjes (Tabel 7.2). Ook de afzonderlijke kaliumniveaus werden geanalyseerd. Hierbij werden de componenten tussen velden en binnen velden geschat met resp. 2 en 530 vrijheidsgraden. Ook nu was in alle gevallen de component tussen velden niet significant groter dan 0 en de component binnen velden wél significant groter dan 0 ($P < 0,05$).

Correlatie blauwgevoeligheid en knolgewicht

Er waren 72 monsters van 15 knollen voor alle combinaties van veld, experiment, analysetijdstip en energieniveau. Bij regressieanalyse werden intercepten geschat voor al deze combinaties. Er was een significant effect van het knolgewicht op het volume en de diepte van beschadiging (Tabel 7.3). Het effect was echter erg klein, hetgeen blijkt uit de geringe stijging van het percentage verklaarde variantie (R_{adj}^2) als gevolg van het opnemen van het knolgewicht als verklarende variabele. Het opnemen van het knolgewicht als verklarende variabele liet het percentage verklaarde variantie voor het

volume van de beschadiging stijgen van 45,2 naar 45,6 en voor de diepte van de beschadiging van 27,4 naar 28,1.

Er was in de dataset slechts een zwak verband tussen enerzijds de diepte en het volume van de beschadiging en anderzijds het individueel knolgewicht (Tabel 7.3). In alle gevallen was echter wel de richtingscoëfficiënt significant ($P < 0,05$) groter dan 0. Bij beperking van de dataset tot knollen zwaarder dan 100 gram werden de richtingscoëfficiënten kleiner, evenals de significantie van de correlatie tussen beschadiging en knolgewicht.

Tabel 7.3. De invloed van het opnemen van het knolgewicht als verklarende variabele op het percentage verklaarde variantie voor het volume en de diepte van de beschadiging.

Kenmerk	Verklarende variabele	Alle knollen				Knollen > 100 gram			
		R.c.	St.afw.	P	R_{adj}^2	R.c.	St.afw.	P	R_{adj}^2
Diepte (mm)	Geen	-	-	-	45,2	-	-	-	44,7
	Knolgewicht	0,0012	0,0004	0,007	45,6	0,0010	0,0005	0,065	44,9
Volume (cm ³)	Geen	-	-	-	27,4	-	-	-	29,0
	Knolgewicht	0,0091	0,0027	< 0,001	28,1	0,0081	0,0033	0,012	29,5

R.c. = Richtingscoëfficiënt; St.Afw. = Standaardafwijking

P = waarschijnlijkheidsniveau; R_{adj}^2 = percentage verklaarde variantie

Discussie

Variatiebronnen voor blauwgevoeligheid

Het aandeel van de variatie in de diepte en het volume van beschadigd weefsel dat werd veroorzaakt door de verschillen tussen de knollen binnen veldjes varieerde van 95 tot 100 %. Deze waarden komen sterk overeen met de waarden die in soortgelijke experimenten voor het drogestofgehalte en het nitraatgehalte werden gevonden (Hoofdstukken 3 en 5). De variatiebronnen konden niet tot op het niveau van individuele knollen van planten en stengels worden berekend zoals in Hoofdstukken 3 en 5 voor resp. het drogestofgehalte en het nitraatgehalte werd gedaan. Op basis van de hierna te bespreken relatie met het drogestofgehalte is er echter reden te veronderstellen dat de variatiebronnen voor de blauwgevoeligheid dezelfde zijn als voor het drogestofgehalte en het nitraatgehalte.

Relatie tussen variatie in blauwgevoeligheid en die van andere knoleigenschappen

Bovengenoemde aanname dat knollen van afzonderlijke stengels de voornaamste variatiebron voor blauwgevoeligheid binnen een partij zijn, wordt ondersteund door de relatie die er binnen partijen op knolniveau bestaat tussen blauwgevoeligheid en het

drogestofgehalte. Een correlatie kon uit de hier besproken dataset niet worden berekend, maar suggesties voor een verband komen al uit vroege literatuur naar voren (De Bruyn, 1929).

Dat er in de datasets een slechts geringe correlatie tussen het knolgewicht en beschadiging werd aangetroffen, kan worden verklaard uit de aard van de relatie tussen knolgewicht en beschadiging en uit de methodiek. In de praktijk wordt een positieve correlatie tussen knolgewicht en beschadiging aangetroffen, doordat grotere knollen bij een vergelijkbare valhoogte een grotere kinetische energie krijgen. In de hier gebruikte methodiek wordt de mate van beschadiging niet beïnvloed door het knolgewicht, slechts de intrinsieke gevoeligheid voor beschadiging en verkleuring van het weefsel komt tot uiting. Dat er toch een licht positief verband was tussen knolgrootte en blauwgevoeligheid, kan worden verklaard uit een combinatie van het eerder genoemde positieve verband tussen het drogestofgehalte en blauwgevoeligheid en een positief verband tussen knolgrootte en drogestofgehalte. In Hoofdstuk 3 bleek immers dat er op het moment van de eindoogst bij knolgewichten tot ± 100 gram een duidelijk verband was tussen het knolgewicht en het drogestofgehalte. Boven knolgewichten van 100 gram was het verband zeer zwak. Ook andere auteurs meldden dit (Beukema & Van der Zaag, 1990; Craft & Heinze, 1951; Wilcockson, 1986). Resultaten na beperking van de dataset tot knollen zwaarder dan 100 gram ondersteunen deze gedachte. Zowel de richtingscoëfficiënt als de significantie van de correlatie tussen beschadiging en knolgewicht namen af, evenals de toename van de verklaarde variantie door het knolgewicht als verklarende variabele in het model op te nemen.

Implicaties

Wetenschappelijk

- Aangetoond werd dat ook voor de blauwgevoeligheid geldt dat het grootste deel van de variatie op knolniveau binnen een perceel hoofdzakelijk optreedt binnen veldjes en niet tussen veldjes. De op knolniveau bestaande correlatie tussen blauwgevoeligheid en drogestofgehalte maakt het waarschijnlijk dat ook voor de blauwgevoeligheid geldt dat de grootste variatiebron voor verschillen tussen knollen wordt gevormd door de verschillen tussen knollen van afzonderlijke stengels.

Praktisch

- Sortering op blauwgevoeligheid is alleen goed mogelijk door sortering op drogestofgehalte met behulp van klei- of zoutbaden. Beneden knolgewichten van 100 gram (± 50 mm) neemt het drogestofgehalte toe met het knolgewicht. Als gevolg van het positieve verband tussen drogestofgehalte en blauwgevoeligheid neemt bij lagere knolgewichten ook de blauwgevoeligheid af. Dit betekent dat sortering op maat bij knollen van minder dan 100 gram ook enige sortering op blauwgevoeligheid plaatsvindt. Echter, ook binnen maatsorteringen bevindt zich nog veel variatie in drogestofgehalte en blauwgevoeligheid. Binnen een zekere

maatsortering is scheiding op drogestofgehalte de enige mogelijkheid om te selecteren op blauwgevoeligheid.

Literatuur

- Beukema, H.P. & D.E. van der Zaag, 1990. Introduction to Potato Production, PUDOC, Wageningen, 208 pp.
- Bruyn H.L.G. de, 1929. Het blauw worden van aardappelen, Tijdschrift over Plantenziekten 35, p. 186-222.
- Craft, C.C. & P.H. Heinze, 1951. Association of specific gravity with weight of individual tubers in late crop potatoes, American Potato Journal 28, p. 580-582.
- Kunkel, R., W.H. Gardner & N.M. Holstad, 1986. Improvement of techniques for potato blackspot evaluation and some errors associated with measurements, American Potato Journal 63, p. 13-23.
- Meijers, C.P. & P. Kleijburg, 1973. Het bepalen van de blauwgevoeligheid van aardappelen, de nauwkeurigheid van de bepaling en de invloed van de knoltemperatuur, Bedrijfsontwikkeling 4, p. 579-584.
- Molema, G.J., J.V. van den Berg, A. Bouman, J.J. Klooster & B.R. Verwijs, 1995. Blackspot in the chain of handling operations of table potatoes (In Dutch), Report 95-25, IMAG-DLO, Wageningen, 43 pp.
- Molema, G.J., B.R. Verwijs, J.V. van den Berg & H. Breteler, 1997. Effect of repetitive impacts on subcutaneous tissue discolouration in potato tubers, Netherlands Journal of Agricultural Science 45, p. 187 - 200.
- Robinson, D.L., R. Thompson & P.G.N. Digby, 1982. REML - a program for the analysis of non-orthogonal data by restricted maximum likelihood, In: Compstat 1982, part II (supplement), Wien, Physica-Verlag, p. 231-232.
- Schippers, P.A., 1971. Measurement of black spot susceptibility of potatoes, American Potato Journal 48, p. 71-81.
- Wilcockson, S.J., 1986. Effects of defoliation and time of harvest on tuber dry matter content of Pentland Crown potatoes, Journal of Agricultural Science 107, p. 723-733.

Hoofdstuk 8

**Het effect van stikstof, kalium en chloor op de
niet-enzymatische grauwwerking van
aardappelknollen van verschillende rassen,
geteeld onder uiteenlopende
groeiomstandigheden**

Inleiding

Nadat aardappelen zijn gekookt, gedroogd of voorgebakken kan er aan het oppervlak van de knollen of producten een blauwgrijze verkleuring ontstaan, hetgeen als een negatieve kwaliteitseigenschap wordt beoordeeld. Deze zogenaamde niet-enzymatische grauwwerking wordt veroorzaakt door vorming van een verbinding uit ijzer en chlorogeenzuur. Het ijzer kan ook een binding met citroenzuur aangaan, hetgeen een kleurloos reactieproduct oplevert. Het is dan ook met name de verhouding tussen de concentraties chlorogeenzuur en citroenzuur die de mate van grauwwerking bepaalt (Hughes & Evans, 1967; Hughes & Swain, 1962a en b).

Rassen verschillen sterk in de mate waarin ze grauwwerking vertonen (Hughes & Evans, 1967; Schippers, 1961, 1968; Varis, 1970; Vertregt, 1968; Vogel & Möller, 1963). Veel rassen vertonen een sterkere grauwwerking dan het ras Bintje dat in de regel geen of weinig verkleuring vertoont (Vogel & Möller, 1963).

De mate waarin aardappelen deze verkleuring vertonen wordt ook beïnvloed door de groeiomstandigheden. Op zand- en veengrond treedt een sterkere grauwwerking op dan op kleigrond (Hughes & Evans, 1967; Pizer et al., 1961; Varis, 1970). Daarnaast oefenen de weersomstandigheden invloed uit op de mate van grauwwerking: na koele jaren met veel neerslag vertonen aardappelen de sterkste neiging tot grauwwerking (Hughes & Evans, 1969). De voorziening met nutriënten maakt deel uit van de groeiomstandigheden en heeft invloed op de mate van grauwwerking. Een hoge stikstofvoorziening versterkt de grauwwerking (Schippers, 1961 en 1968; Varis, 1970), terwijl een hoge kaliumvoorziening de grauwwerking vermindert (Schippers, 1961, 1968; Pizer et al., 1961; Varis, 1970). Schippers (1961 en 1968) vond bovendien interactie tussen stikstof en kalium: het positieve effect van kalium was het grootst bij een hoge stikstofgift, het negatieve effect van stikstof was het grootst bij een lage kaliumgift.

Bij de bemesting met kalium is het van belang of de (kunst)meststof chloor bevat. Chloor versterkt de grauwwerking (Lujan & Smith, 1964; Varis, 1970), waardoor het positieve effect van kalium geheel of gedeeltelijk teniet wordt gedaan.

Het doel van het hier beschreven onderzoek was de mate van grauwwerking van voorgebakken frites van een aantal rassen te vergelijken met die van het ras Bintje. Tweede doel was te onderzoeken in hoeverre bij deze nieuwe rassen grauwwerking kan worden verminderd middels een verlaging van de stikstofgift, resp. een verhoging van de kaliumgift. Tevens is in een aantal proeven onderzocht in welke mate het element chloor de grauwwerking beïnvloedt.

Het derde doel was vast te stellen in hoeverre de grauwwerking tijdens de bewaring verandert. Er zijn meldingen van een toename van de grauwwerking tijdens donkere bewaring (Amberger & Schaller, 1974; Smith, 1958; Stricker, 1979). Onderzocht werd in hoeverre de verandering in grauwwerking in de loop van de bewaring verschilde tussen de rassen en of de bemesting invloed uitoefende op deze verandering.

Materiaal en methoden

Bepaling van de niet-enzymatische grauwwerking

Van 20 knollen werden fritesstaafjes gesneden. De fritesstaafjes werden na het snijden gemengd. Hiervan werd 1 kilo afgewogen en gedurende 2 minuten gespoeld in koud stromend leidingwater. Het monster werd vervolgens in een netje gedaan en na even uitlekken 3 minuten geblancheerd in leidingwater met een temperatuur van 80 °C.

Na afschudden van het aanhangend water werden de staafjes gedurende 4 minuten gefrituurd bij een temperatuur van 140 °C in gehard 100 % plantaardig vet. Na het frituren werd het aanhangende vet door schudden verwijderd. Vervolgens werd het monster uitgespreid op een roestvrijstalen plaat en gedurende 15 minuten gekoeld bij 4 °C. Na het koelen werd het monster beoordeeld op verkleuring van het voorgebakken product op een schaal van 0 (geen verkleuring) tot 6 (zwarte verkleuring).

Het eerste proefjaar (oogst 1988) werd het blancheren achterwege gelaten. De bepalingen werden uitgevoerd door ATO-DLO.

Experimenten

In de jaren 1988 tot en met 1991 werden met de rassen Agria, Asterix, Aziza, Benno Vriza, Maritiema, Morene, Santé en Van Gogh op verschillende locaties proeven aangelegd. In de meeste proeven werd als standaardras ook het ras Bintje opgenomen. In de tabellen is het ras Bintje dan ook op een vaste plaats (onderaan) weergegeven. De locaties betroffen de regionale onderzoekscentra Prof.Dr. J.M. van Bemmelenhoeve (BEM) te Middenmeer, De Kandelaar (KL) te Biddinghuizen, Rusthoeve (RH) te Colijnsplaat, Vredepeel (VP) te Vredepeel, Wijnandsrade (WR) te Wijnandsrade en Westmaas (WS) te Westmaas (zie Tabel 8.1). Locatie Vredepeel betrof zandgrond, de andere locaties betrof kleigrond van uiteenlopende zwaarte. Niet alle rassen werden ieder jaar op elke locatie verbouwd. Tabel 8.1 geeft weer in welke jaren de verschillende rassen op de diverse regionale onderzoekscentra werden verbouwd.

In deze experimenten bedroeg de hoogste stikstofgift het landelijk advies voor Bintje:

$$LABK = 285kgN - 11(N \text{ min } 0 - 60cm) \quad (8.1)$$

Hierin is LABK het landelijk advies voor Bintje op kleigrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-60 cm.

Het landelijk advies voor Bintje op zandgrond luidt:

$$LABZ = 300kgN - 18(N \text{ min } 0 - 30cm) \quad (8.2)$$

Hierin is LABZ het landelijk advies voor Bintje op zandgrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-30 cm.

In de proeven met drie stikstofniveaus ontvingen de twee andere varianten resp. 50 en 100 kg N·ha⁻¹ minder dan de landelijke adviezen voor Bintje. In de experimenten met twee stikstofniveaus bedroeg de tweede variant 75 kg N·ha⁻¹ minder dan genoemde adviezen.

Hoofdstuk 8

In de Experimenten 1 tot en met 7 werd bovendien naast de gangbare kalibemesting een variant aangelegd die een extra kaligift ontving. Deze gift bedroeg $300 \text{ kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$, in het voorjaar - voor het poten - toegediend in de vorm van patentkali (K_2SO_4 ; 305 kg SO_4). In de Experimenten 12 tot en met 15 werd de extra gift niet alleen in de vorm van patentkali, maar ook in de vorm van chloorkali (Kali-60; 225 kg Cl) toegediend.

Tabel 8.1 Overzicht van jaar en locatie van uitvoering van experimenten (zie sectie Experimenten in Materiaal en methoden voor verklaring van de locatie-codes), de daarin opgenomen rassen, aantal stikstof- en kaliumniveaus, alsmede de samenstelling van datasets uit de experimenten.

Experiment	Jaar	Locatie	Rassen	Aantal niveaus		Dataset		
				Stikstof	Kalium	1	4	5
1	1988	BEM	Agria, Morene, Bintje	3	2	x	x	
2	1988	RH	Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x	x	
3	1988	WS	Agria, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x	x	
4	1989	KL	Morene, Santé, Van Gogh, Bintje	3	2	x	x	
5	1989	RH	Agria, Benno Vrizo, Santé, Bintje	3	2	x	x	
6	1989	VP	Benno Vrizo, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x	x	
7	1989	WS	Agria, Benno Vrizo, Morene, Bintje	3	2	x	x	
8	1990	BEM	Bintje	3	1	x		
9	1990	KL	Bintje	3	1	x		
10	1990	VP	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x		
11	1990	WR	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x		
12	1990	RH	Asterix, Santé	2	3			x
13	1990	VP	Santé	2	3			x
14	1991	RH	Aziza, Maritiema	2	3			x
15	1991	VP	Asterix, Aziza	2	3			x
16	1991	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1	x		
17	1991	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1	x		
18	1991	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1	x		

De experimenten werden in drie herhalingen aangelegd. In alle experimenten vonden de teeltmaatregelen - afgezien van de proeffactoren - plaats volgens de regionale praktijk. Per veldje (netto 15 m^2) werden bij de oogst monsters genomen van 25 knollen in de maat 50/70 mm. Van deze monsters werd volgens de hierboven beschreven procedure in december en april de grauwwerfkleuring bepaald. De monsters werden opgeslagen bij een temperatuur van 7°C .

Datasets

Uit de Experimenten 1 tot en met 18 (Tabel 8.1) zijn drie datasets geselecteerd die zich leenden voor analyse van resp. de effecten van rassen, stikstof, patent- en chloorkali en interacties tussen een aantal van deze factoren. Tabel 8.1 geeft weer door welke

experimenten de verschillende datasets worden gevormd.

Vanwege de leesbaarheid is er voor gekozen de nummering van de datasets overeen te laten komen met die van de hoofdstukken waarin het onderwatergewicht en bakkleur worden besproken. In het navolgende wordt aangegeven welke factoren met behulp van de verschillende datasets werden geanalyseerd.

Effect van ras

De inorthogonale Dataset 1 werd gebruikt om raseffecten vast te stellen. Interacties kunnen als gevolg van de inorthogonaliteit niet worden berekend.

Effect van stikstof

Dataset 1 leent zich voor het analyseren van stikstofeffecten. Berekening van interacties met andere factoren is als gevolg van de inorthogonaliteit niet mogelijk.

Effecten van patent- en chloorkali

De inorthogonale Dataset 4 geeft informatie over het effect van de in het voorjaar toegediende patentkali en de interactie ervan met het stikstofniveau.

Dataset 5 geeft naast het gecombineerde effect van in het voorjaar toegediende kali en stikstof ook inzicht in het effect van de vorm waarin de kali wordt toegediend: patent- of chloorkali. De verschillende vorm betekent in feite de introductie van een extra factor: een bemesting met chloor.

Effecten van locatie en jaar

Geen van de datasets leent zich voor een goede vergelijking van effecten van locaties en jaren.

Effect van bewaarduur

In alle proeven werd de grauwwerking zowel in december als in april daar op volgend bepaald, zodat een indruk werd verkregen van het verloop van de verkleuring in de loop van het bewaar seizoen.

Statistische verwerking

De inorthogonale Datasets 1, 4 en 5 werden verwerkt met behulp van het REML-commando in GENSTAT 5, release 2.1. REML (REstricted Maximum Likelihood) is een algoritme waarmee inorthogonale proeven met meerdere strata kunnen worden verwerkt (Robinson et al., 1982). Met deze procedure kunnen inorthogonale datasets worden geanalyseerd. Bij het gebruik van deze procedure kan slechts voor ieder paar van objecten dat in de dataset voorkomt een afzonderlijke LSD (Least Significant Difference; kleinst betrouwbaar verschil) worden berekend. Omwille van de leesbaarheid is in voorkomende gevallen alleen de gemiddelde LSD weergegeven, herkenbaar als "Gem.LSD".

Bij gebruik van de REML-procedure werd in eerste instantie uitgegaan van het volledige model van factoren en hun interacties. Wanneer de bijdrage aan de variantie van factoren of interacties als nul of negatief werd berekend, werd de factor resp. interactie

uit het model verwijderd, waarna de berekening opnieuw werd uitgevoerd. Deze procedure werd zo nodig herhaald.

De in tabellen weergegeven LSD werd berekend bij een onbetrouwbaarheid van 5 %, tenzij anders vermeld.

Resultaten

Effect van ras

Er waren grote rasverschillen (Tabel 8.2). De rassen Morene en Santé hadden de sterkste grauwwerking. De rassen Agria en Bintje vertoonden de verkleuring het minst.

Tabel 8.2 Grauwwerking in april (index 0-6) van zes rassen bij drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 1.

Ras	Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Advies – 100	Advies – 50	Advies	
Asterix	2,21	2,66	2,49	2,46
Agria	1,67	1,55	1,19	1,47
Aziza	2,37	2,69	3,15	2,74
Benno Vrizo	3,51	3,65	3,61	3,59
Maritiema	2,55	2,85	3,06	2,82
Morene	4,45	4,79	4,63	4,62
Santé	4,73	4,71	4,75	4,73
Van Gogh	2,82	3,07	2,91	2,93
Bintje	1,69	1,84	1,88	1,80
Gemiddeld	2,89	3,09	3,07	3,02
Gem.LSD ras				0,31
Gem.LSD stikstof		0,21		
Gem.LSD ras*stikstof		0,88		

Effect van stikstof

Gemiddeld was de grauwwerking - zij het niet significant - het geringst bij de laagste stikstofbemesting (Tabel 8.2).

Bij alle rassen, uitgezonderd Agria, was er een tendens van een toenemende grauwwerking bij een hogere stikstofgift (Tabel 8.2). Er was echter een grote variabiliteit in het optreden van de grauwwerking, waardoor het effect bij geen van de afzonderlijke rassen statistisch betrouwbaar was.

Effecten van patent- en chloorkali

In Datasets 4 en 5 werd de gemiddelde grauwwerking door de extra patentkaligift niet significant verlaagd (Tabellen 8.3 en 8.4). De gemiddelde verlaging door de chloorkaligift

in Dataset 5 was wel significant (Tabel 8.4).

Tabel 8.3 Grauwwerkleuring in april (index 0-6) van zes rassen bij twee niveaus van kaliumbemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 4.

Ras	Extra voorjaarskaliümgift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
	Geen	300 patentkali
Agria	0,67	0,61
Benno Vrizo	2,70	2,55
Morene	3,86	3,80
Santé	3,94	4,22
Van Gogh	2,18	1,59
Bintje	0,97	0,97
Gemiddeld	2,39	2,29
Gem.LSD kalium		0,17
Gem.LSD kalium* ras		0,84

Tabel 8.4 Grauwwerkleuring in april (index 0-6) van vier rassen bij twee niveaus en twee soorten van kaliumbemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 5.

Ras	Extra voorjaarskaliümgift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali
Asterix	3,73	3,26	3,37
Aziza	2,42	2,17	1,83
Maritiema	1,75	1,50	1,25
Santé	5,34	5,34	5,41
Gemiddeld	3,31	3,07	2,97
Gem.LSD kalium		0,28	
Gem.LSD kalium*ras		1,92	

De tendens in Datasets 4 en 5 (Tabellen 8.3 en 8.4) was dat de grauwwerkleuring van de meeste rassen leek te worden verminderd door de extra patentkaligift. Alleen bij het ras Santé in Dataset 4 was er geen afname. Ook in Dataset 5 nam de grauwwerkleuring van Santé niet af, noch bij patent- noch bij chloorkali (Tabel 8.4). Bij de rassen Aziza en Maritiema was de verlaging door chloorkali groter dan door patentkali. Geen van de effecten binnen rassen in Datasets 4 en 5, evenmin als het verschil tussen patent- en chloorkali was evenwel statistisch betrouwbaar.

In Dataset 4 was het effect van kalium groter bij lage stikstofgift (Tabel 8.5), in Dataset 5 was dat andersom (Tabel 8.6). Wel gaf in beide datasets de combinatie van een lage stikstofgift en een extra (chloor)kaligift de geringste grauwwerkleuring.

Hoofdstuk 8

Tabel 8.5 Grauwverkleuring in april (index 0-6) bij twee niveaus van kaliumbemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$) en drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 4.

Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Extra voorjaarskaliumgift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
	Geen	300 patentkali	Gemiddeld
Advies – 100	2,35	2,12	2,23
Advies – 50	2,46	2,41	2,44
Advies	2,35	2,35	2,35
Gemiddeld	2,39	2,29	2,34
Gem.LSD kalium		0,17	
Gem.LSD stikstof			0,28
Gem.LSD stikstof*kalium		0,34	

Tabel 8.6 Grauwverkleuring in april (index 0-6) bij twee niveaus en twee soorten van kaliumbemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$) en twee niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 5.

Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Extra voorjaarskaliumgift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali	
Advies – 75	3,13	3,04	2,90	3,02
Advies	3,50	3,10	3,03	3,21
Gemiddeld	3,31	3,07	2,97	3,12
Gem.LSD kalium		0,28		
Gem.LSD stikstof				0,23
Gem.LSD stikstof*kalium		0,40		

Tabel 8.7 Toename in grauwverkleuring tussen december en april (index 0-6) van zes rassen, Dataset 1.

Ras	Toename grauwverkleuring
Asterix	1,44
Agria	0,55
Aziza	1,14
Benno Vrizo	2,66
Maritiema	0,68
Morene	0,92
Santé	0,75
Van Gogh	0,38
Bintje	1,02
Gemiddeld	1,05
Gem.LSD ras	0,83

Effect van bewaarduur

Gemiddeld nam de grauwwerpleuring van december (Tabel 8.7) tot april met één eenheid toe. Het ras Benno Vrizo liet een sterkere stijging zien dan de andere rassen, terwijl de toename bij Agria, Maritiema en Van Gogh geringer leek te zijn. De stikstof- en kaliumvarianten en hun interacties met elkaar en met rassen waren niet van invloed op de toename van de grauwwerpleuring.

Discussie

Effect van ras

Dat er grote rasverschillen werden aangetroffen stemt overeen met de waarnemingen van veel andere auteurs (Hughes & Evans, 1967; Schippers, 1961 en 1968; Varis, 1970; Vertregt, 1968). Vogel & Möller (1963) vonden dat van 594 genotypen slechts 7 % even weinig of minder grauwwerpleuring vertoonde dan het ras Bintje. Dat in de hier beschreven proeven slechts één ras (Agria) een even geringe grauwwerpleuring vertoonde als Bintje en de andere rassen minder goed scoorden wekt dan ook geen verbazing, aangezien er tot op heden niet of nauwelijks op een geringe grauwwerpleuring is veredeld. Daar de rasverschillen aanzienlijk zijn en over jaren en over verschillende locaties betrekkelijk consistent zijn (Hughes & Evans, 1967), is veredeling een effectief middel om aardappelen te verkrijgen met een geringe neiging tot grauwwerpleuring. Dat er goede mogelijkheden zijn om op grauwwerpleuring te veredelen is gebleken uit onderzoek naar de overerving ervan (Möller & Vogel, 1961; Dalianis et al., 1966). Gezien het grote belang van de eigenschap voor zowel tafelaardappelen als voor aardappelen voor verwerking tot voorgebakken producten, verdient het aanbeveling in veredelingsprogramma's meer aandacht aan grauwwerpleuring te besteden.

Effect van stikstof

Het gevonden negatieve effect van stikstof op de grauwwerpleuring wordt ook door andere auteurs vermeld (Schippers, 1961 en 1968; Varis, 1970). In het in dit onderzoek gehanteerde traject van stikstofbemesting waren de effecten in absolute zin - net als bij voornoemde auteurs - gering.

Effecten van patent- en chloorkali

Het in dit onderzoek gevonden positieve effect van patentkali op grauwwerpleuring wordt ook door andere auteurs veel vermeld (Rönsen et al., 1980; Schippers, 1961 en 1968; Varis, 1970; Vertregt, 1968). Ook de in dit onderzoek gevonden omvang van het effect stemt overeen met de meldingen van deze auteurs. Vaak wordt gemeld dat toediening van chloorkali minder positief werkt dan van patentkali doordat het element chloor de grauwwerpleuring versterkt (Varis, 1970; Vertregt, 1968). In Dataset 5 bleek dat echter niet, het positieve effect van chloorkali was groter dan van patentkali. Er kunnen echter grote verschillen tussen jaren en locaties en interacties optreden met de effecten van bemesting (o.a. Hughes & Evans, 1967, Schippers, 1961 en 1968). Deze interacties kunnen er verantwoordelijk voor zijn dat de hier beschreven resultaten niet geheel

overeenkomen met hetgeen het meest frequent in de literatuur wordt vermeld. Net als van stikstof zijn de effecten van patent- en chloorkali op de grauwwerpleuring in absolute zin gering.

Effect van bewaarduur

De grauwwerpleuring nam tijdens de bewaring toe. Het ras Benno Vrizo liet een sterkere stijging van de grauwwerpleuring zien dan de andere beproefde rassen. Daar waar andere auteurs een effect van bewaarduur vermelden, spreken ook zij over een toename van de grauwwerpleuring (Amberger & Schaller, 1974; Smith, 1958). Dat rassen tijdens de bewaring kunnen verschillen in toename in grauwwerpleuring wordt ook door Storey & Davies (1992) beschreven.

De stikstof- en kaliumbemesting hadden geen invloed op de toename van de grauwwerpleuring tijdens de bewaring. Bij bewaaronderzoek aan nieuwe rassen behoeven deze factoren met het oog op grauwwerpleuring dan ook niet te worden opgenomen. Kennis over het verloop van de grauwwerpleuring tijdens de bewaring van afzonderlijke rassen kan behulpzaam zijn bij de afzetplanning. Rassen met een sterke toename in grauwwerpleuring kunnen dan vroeger worden afgezet.

Interacties

*Ras * stikstof*

Schippers (1961 en 1968) vond dat door een verhoogde stikstofgift de grauwwerpleuring bij rassen in verschillende mate toenam. De data in Tabel 8.2 lijken deze interactie te bevatten. De dataset laat echter niet toe de significantie van deze interactie te berekenen en bij geen van de individuele rassen was het stikstofeffect significant. Bij geen van de rassen bleek het verlagen van de stikstofgift een effectieve maatregel om de grauwwerpleuring te verminderen.

Ook al is het effect – net als bij de andere rassen – niet significant, de afnemende trend van de grauwwerpleuring van het ras Agria bij een hogere stikstofbemesting wekt bevreesing. In de literatuur wordt hiervan geen melding gemaakt. Meer onderzoek zou duidelijk moeten maken of er toch sprake is van interactie tussen genotype en ras en of tegengestelde effecten inderdaad voorkomen.

*Ras * kalium*

De resultaten wekken de indruk dat er enig verschil is in de mate waarmee de grauwwerpleuring van rassen door kalium wordt verminderd. Geen van de verschillen tussen rassen in reactie op de extra kaliumbemesting was echter statistisch betrouwbaar (Tabellen 8.3 en 8.4). De relatief grote variatie waarmee de eigenschap tussen monsters kan optreden kan hier debet aan zijn. Schippers (1968) vond wel betrouwbare verschillen die echter net als in dit onderzoek in absolute zin gering waren.

De effecten van de kaliumbemesting waren bij alle rassen in absolute zin gering, daarnaast worden leveranciers niet uitbetaald op de mate waarin aardappelen grauwwerpleuring vertonen. Om deze redenen kan een extra kaliumbemesting dan ook op dit moment niet worden aanbevolen als een op zichzelf staande maatregel om de

grauwwerpleuring tegen te gaan.

*Stikstof * kalium*

Schippers (1968) vond dat het positieve effect van patentkali groter was naarmate het stikstofniveau hoger was. De gegevens in Dataset 5 (Tabel 8.6) laten dezelfde trend zien, in Dataset 4 (Tabel 8.5) is echter de omgekeerde trend aanwezig. Daar beide datasets zijn gebaseerd op verschillende locaties en jaren, zijn waarschijnlijk interacties van deze factoren met stikstof- en kaliumbemesting verantwoordelijk voor de verschillende trends. Ondanks het verschil tussen Datasets 4 en 5 bleek in beide datasets de combinatie van een lage stikstofbemesting met een hoge kaliumbemesting de geringste grauwwerpleuring op te leveren.

Eerder werd reeds gesteld dat verlaging van de stikstofgift en verhoging van de kaliumgift geringe effecten op grauwwerpleuring hebben en dat voor deze eigenschap geen gedifferentieerde uitbetaling plaatsvindt. Op zichzelf zijn deze maatregelen dan ook niet aanbevelenswaardig om de grauwwerpleuring te verminderen. Echter, aangezien ook andere eigenschappen positief kunnen worden beïnvloed door een verlaging van de stikstofgift (nitraatgehalte, bakkleur; resp. Hoofdstukken 4 en 9) en een verhoging van de kaliumgift (blauwgevoeligheid, bakkleur; resp. Hoofdstukken 6 en 9), mogen de positieve effecten op grauwwerpleuring wel degelijk meewegen in het vaststellen van de stikstof- en kaliumgift.

Implicaties

Wetenschappelijk

- Aangezien bij de huidige relatief hoge nutriëntenvoorziening de effecten van stikstof- en kaliumbemesting op verschillende rassen vergelijkbaar geringe effecten hebben en dit door buitenlandse literatuur wordt bevestigd, lijkt het weinig zinvol dit onderzoek voor andere resp. nieuwe rassen te herhalen.
- De factoren ras, jaar en locatie veroorzaken de voornaamste variatie in grauwwerpleuring en de bemesting met stikstof en kalium spelen een ondergeschikte rol. Daar rasverschillen over locaties en jaren betrekkelijk consistent zijn, kan het teeltonderzoek zich beperken tot het vaststellen van rasverschillen in grauwwerpleuring en rasverschillen voor wat betreft de toename van grauwwerpleuring tijdens de bewaring.
- Daar een geringe neiging tot grauwwerpleuring als raseigenschap de meest bedrijfszekere maatregel is om aardappelen met weinig grauwwerpleuring te verbouwen, verdient het aanbeveling ten behoeve van veredelingsprogramma's onderzoek te doen naar effectieve inkruising van de eigenschap.

Praktisch

- Rasverschillen zijn groot en consistent over locaties en jaren. De rassenkeuze is daardoor een krachtig middel in het streven naar de productie van aardappelen die weinig grauwwerpleuring vertonen. Ook de toename van grauwwerpleuring tijdens

de bewaring verschilt tussen rassen. Deze wetenschap is voor zowel rassenkeuze als afzetplanning van belang.

- Aanpassing van de stikstof- en kaliumbemesting kan de grauwwerkleuring slechts in geringe mate verminderen. Daar er geen uitbetaling op grauwwerkleuring plaatsvindt, verdient het aanbeveling de stikstof- en kaliumbemesting af te stemmen op andere eisen aan het gewas, zoals opbrengst en blauwgevoeligheid. Voor zover deze andere eisen dat toelaten verdient het met het oog op grauwwerkleuring aanbeveling te streven naar de combinatie van een lage stikstof- en een hoge kaliumvoorziening.
- Daar een geringe grauwwerkleuring als raseigenschap de meest bedrijfszekere factor is om aardappelen met weinig grauwwerkleuring te verkrijgen, verdient het aanbeveling in de veredeling meer aandacht aan deze eigenschap te besteden.

Literatuur

Amberger, A & K. Schaller, 1974. Einfluß von Sorte und Lagertemperatur auf die an der enzymatischen Verfärbung der Kartoffelknollen beteiligten Inhaltsstoffe, Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung 156, p. 231-236.

Dalianis, C.D., R.L. Plaisted & L.C. Peterson, 1966. Selection for freedom from after-cooking darkening in a potato breeding programme, American Potato Journal 43, p. 207-215.

Hughes, J.C. & J.L. Evans, 1967. Studies on after-cooking blackening in potatoes. IV. Field experiments, European Potato Journal 10, p. 16-36.

Hughes, J.C. & J.L. Evans, 1969. Studies on after-cooking blackening. V. Changes in after-cooking blackening and the chemistry of Majestic and Ulster Beacon tubers during the growing season, European Potato Journal 12, p. 26-40.

Hughes, J.C. and T. Swain, 1962a. After-cooking blackening in potatoes. II. Core experiments, Journal of the Science of Food and Agriculture 13, p. 229-236.

Hughes, J.C. and T. Swain, 1962b. After-cooking blackening in potatoes. II. Examination of the interaction of factors by in vitro experiments, Journal of the Science of Food and Agriculture 13, p. 358-363.

Lujan, L. and O. Smith, 1964. Potato quality XXV. Specific gravity and after cooking darkening of Katahdin potatoes as influenced by fertilizers, American Potato Journal 41, p. 274-278.

- Möller, K.-H & J. Vogel, 1961. Selektionsverfahren für die Züchtung von Speisekartoffeln, Züchter 31, p. 265-267.
- Pizer, N.H., H.A. Wright, T.H. Caldwell, J. Hargrave, G.R. Burgess, & V. Cory, 1961. A study of the peat fenlands with particular reference to potato manuring, Journal of Agricultural Science 56, p. 197-211.
- Robinson, D.L., R.Thompson & P.G.N. Digby, 1982. REML - a program for the analysis of non-orthogonal data by restricted maximum likelihood, IN: Compstat 1982, part II (supplement), Wien, Physica-Verlag, p. 231-232.
- Rönsen, K., B. Rognerud & T. Tronstad, 1980. Kvalitetsproduksjon av Mandelpotet, Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole 59, no.30, 31 pp.
- Schippers, P.A., 1961. The influence of nitrogen and potassium fertilization on the cooking quality of potatoes, European Potato Journal 4, p. 224-242.
- Schippers, P.A., 1968. The influence of rates of nitrogen and potassium application on the cooking quality of four potato varieties, European Potato Journal 11, p. 88-99.
- Smith, O, 1958. Potato Quality X. Post harvest treatment to prevent after cooking darkening, American Potato Journal 35, p. 573-584.
- Storey, R.M.J. & H.V. Davies, 1992. Tuber quality, In: P.M. Harris (ed.), The potato crop, 2nd edition, London, Chapman & Hall, p. 507-569.
- Stricker, H.W., 1979. Die Bedeutung der Verfärbungsreaktionen der Kartoffel und ihre Beeinflussung durch Sorte und Umwelt, Der Kartoffelbau 30, no.3, p. 88-90.
- Varis, E., 1970. Variation in the quality of table potato and the factors influencing it in Finland, Thesis, University of Helsinki, Helsinki, 99 pp.
- Vertregt, N., 1968. After-cooking discolouration of potatoes, European Potato Journal 11, p. 226-234.
- Vogel, J. & K.H. Möller, 1963. Untersuchungen über die Verfärbung gekochter Kartoffeln an den Sorten des Kulturkartoffelassortiments des Instituts für Pflanzenzüchtung Groß-Lüsewitz, Zeitschrift für Pflanzenzüchtung 49, p. 181-196.

Hoofdstuk 9

**Het effect van stikstof, kalium en chloor op de
bakkleur van frites geproduceerd van
aardappelknollen van verschillende rassen,
geteeld onder uiteenlopende
groeiomstandigheden**

Inleiding

De bakkleur is een belangrijke eigenschap van aardappelen die worden verwerkt tot voorgebakken producten. De bakkleur wordt in directe zin hoofdzakelijk bepaald door het gehalte aan glucose en fructose. Deze reducerende suikers reageren tijdens het bakken in de Maillardreactie (Shallenberger et al., 1959) met aminozuren, hetgeen leidt tot bruine reactieproducten. De bakkleur wordt donkerder bruin naarmate het gehalte aan reducerende suikers hoger is. Het gehalte aan reducerende suikers is verreweg de belangrijkste factor, ook al spelen bij lage gehalten aan reducerende suikers ook andere componenten, waaronder aminozuren een rol (Hope et al., 1960; Roe et al., 1990; Rodriguez-Saona & Wrolstad, 1997).

Reeds lang is bekend dat het gehalte aan reducerende suikers van de knollen stijgt naarmate de knollen aan een lagere temperatuur worden blootgesteld (Müller-Thurgau, 1882; Van Vliet et al., 1961; Van Vliet & Schriemer, 1960). Deze stijging vindt vooral plaats bij een bewaartemperatuur onder de 10 °C (Burton, 1989; Van Es & Hartmans, 1987; Coffin et al., 1987). Vooral voor aardappelen die langer dan enkele maanden moeten worden bewaard is een bewaartemperatuur onder de 10 °C onvermijdelijk om verliezen door ademhaling en kieming te beperken (Van Es & Hartmans, 1987), terwijl een relatief lage temperatuur ook voor de zeer lange bewaring nodig kan zijn om een slechte bakkleur als gevolg van ouderdomsversuikering te vermijden (Hertog et al., 1997a; Van Es & Hartmans, 1987). Recenter is duidelijk geworden dat de bakkleur in de praktijk tijdens de bewaring ook donkerder kan worden door verhoogde CO₂-gehalten (Schouten, 1992; Veerman, 1996).

De mate waarin het gehalte aan reducerende suikers tijdens de bewaring stijgt onder invloed van een relatief lage bewaartemperatuur (Burton, 1989; Van Es & Hartmans, 1987; Coffin et al., 1987) en daarmee de beïnvloeding van de bakkleur wordt mede bepaald door veel teelt- en omgevingsfactoren. In de eerste plaats kan het gehalte aan reducerende suikers sterk verschillen tussen rassen (Van Es & Hartmans, 1987). De bakkleur wordt echter ook in hoge mate bepaald door factoren die hun invloed uitoefenen tijdens het groeiseizoen van het aardappelgewas. Dit zijn vooral de weersfactoren (temperatuur, neerslag, straling), bodemfactoren (structuur, profiel, afslibbaarheid, nutriëntengehaltes) en teeltmaatregelen (bemesting, beregening, tijdstip van loofdoding) (Van Es & Hartmans, 1987; Burton, 1989). Vele van deze factoren zijn in de praktijk niet onafhankelijk van elkaar. Zo gaat een natte zomer veelal gepaard met lagere temperaturen en minder zonnestraling dan een droge zomer. Daarnaast zijn er tussen de factoren allerlei wisselwerkingen (interacties). Door interacties tussen factoren, maar ook doordat veel factoren niet onafhankelijk van elkaar zijn, is de totale invloed van het groeiseizoen op de bakkleur bijzonder complex.

Een hoge stikstofbemesting heeft een negatieve invloed op het gehalte aan reducerende suikers en op de bakkleur (Hope et al., 1960; Moll, 1967; Voogd, 1963). Echter ook dalingen van het gehalte aan reducerende suikers als gevolg van hogere stikstofbemesting worden gemeld (Hughes, 1986; Swiniarski & Ladenberger, 1970). Deze tegenstrijdige meldingen doen vermoeden dat het effect van stikstof interactie vertoont met dat van andere factoren.

Het effect van meer stikstof op de bakkleur wordt verondersteld vooral te werken via een latere afsterving van het gewas waardoor onrijpere knollen worden geoogst (Beukema & Van der Zaag, 1990). Deze onrijpere knollen laten tijdens bewaring een sterkere stijging van het gehalte aan reducerende suikers zien (Burton, 1989; Samotus et al., 1974).

Van kaliumbemesting wordt vrijwel zonder uitzondering gemeld dat ze zorgt voor een betere bakkleur (Moll, 1967; Voogd, 1963, Welte & Müller, 1966). Ook de meeste meldingen voor wat betreft de toediening van chloor als gevolg van het toedienen van chloorkali in plaats van kaliumsulfaat zijn gelijklopend: chloor heeft een positief effect op de bakkleur (Voogd, 1963). Van Loon & Houwing (1989) vonden in Nederlandse experimenten op kleigrond echter geen effect van chloor op de bakkleur.

Het doel van het hier beschreven onderzoek was de friteskleur van een aantal rassen te vergelijken met die van het ras Bintje. Tweede doel was te onderzoeken in hoeverre bij deze nieuwe rassen de bakkleur kon worden verbeterd middels een verlaging van de stikstofgift, resp. een verhoging van de kaliumgift. Bovendien werd in enkele experimenten onderzocht in welke mate de bakkleur door het element chloor wordt beïnvloed. Het derde doel was een indicatie te verkrijgen in hoeverre bij de onderzochte rassen de bakkleur tijdens de bewaring in de loop van de tijd kon veranderen. Onderzocht werd in hoeverre de bakkleur tussen december en april/mei veranderde en of deze verandering werd beïnvloed door de in de experimenten opgenomen teeltfactoren.

Materiaal en methoden

Bepaling van de bakkleur

Een monster van 20 gezonde knollen werd geschild in een messenschiller, waarna uit het midden van elke knol een fritesstaafjes van de maat 10 x 10 mm werd gesneden. De aldus verkregen 20 staafjes frites werden gedurende 30 seconden in koud stromend water gewassen, waarna het aanhangend water werd afgeschud. Deze staafjes werden gedurende 3 minuten gebakken in gehard 100 % plantaardig vet bij een temperatuur van 180 °C. De temperatuur werd gecontroleerd met een digitale thermometer en mocht niet meer dan 5 °C afwijken.

Na het bakken werd door schudden het vet verwijderd en werd binnen twee minuten de kleur vergeleken met de door de Munsell color Company uitgegeven kleurenkaart (3e editie 1972). De vergelijking vond plaats op een beoordelingstafel met als standaardverlichting TL-buis nr. 47, die 1,5 m boven de tafel was opgehangen. Met behulp van de kleurenkaart werden de staafjes ingedeeld in de klassen 000, 00, 0, 1, 2, 3 of 4, resp. van licht naar donker. Indien van een fritesstaafje 5 mm tot de helft donkerder was gekleurd dan het andere deel dan werd de kleurklasse één hoger aangehouden. Bij een verkleuring van meer dan de helft van het fritesstaafje was de kleur van het grootste deel bepalend voor de indeling.

Aan de hand van de beoordeling werd de bakkleurindex berekend: de som van het aantal staafjes in een bepaalde klasse maal het rangnummer van deze klasse werd

gedeeld door het totaal aantal staafjes (20). De rangnummers liepen van 0 voor de klasse 000 tot 6 voor de klasse 4. Dit betekent dat de index varieerde van 0 tot en met 6. De bepalingen werden voor Experimenten 1 tot en met 21 uitgevoerd door ATO-DLO, voor experimenten 22 tot en met 27 door het Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, toenmalig het Proefstation voor de Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond.

Experimenten

In de jaren 1988 tot en met 1992 werden met de rassen Agria, Asterix, Aziza, Benno Vriza, Maritiema, Morene, Santé en Van Gogh op verschillende locaties proeven aangelegd. In de meeste proeven werd als standaardras ook het ras Bintje opgenomen. In de tabellen is het ras Bintje dan ook op een vaste plaats (onderaan) weergegeven. De locaties betroffen de regionale onderzoekscentra Prof.Dr. J.M. van Bemmelenhoeve (BEM) te Middenmeer, De Kandelaar (KL) te Biddinghuizen, Rusthoeve (RH) te Colijnsplaat, Vredepeel (VP) te Vredepeel, Wijnandsrade (WR) te Wijnandsrade en Westmaas (WS) te Westmaas (zie Tabel 9.1). Locatie Vredepeel betrof zandgrond, de andere locaties betrof kleigrond van uiteenlopende zwaarte. Niet alle rassen werden ieder jaar op elke locatie verbouwd. Tabel 9.1 geeft weer in welke jaren de verschillende rassen op de diverse regionale onderzoekscentra werden verbouwd.

In deze experimenten bedroeg de hoogste stikstofgift het landelijk advies voor Bintje:

$$LABK = 285\text{kgN} - 1,1(N \text{ min } 0 - 60\text{cm}) \quad (9.1)$$

Hierin is LABK het landelijk advies voor Bintje op kleigrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-60 cm.

Het landelijk advies voor Bintje op zandgrond luidt:

$$LABZ = 300\text{kgN} - 1,8(N \text{ min } 0 - 30\text{cm}) \quad (9.2)$$

Hierin is LABZ het landelijk advies voor Bintje op zandgrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-30 cm.

In de proeven met drie stikstofniveaus ontvingen de twee andere varianten resp. 50 en 100 kg N·ha⁻¹ minder dan de landelijke adviezen voor Bintje. In de experimenten met twee stikstofniveaus bedroeg de tweede variant 75 kg N·ha⁻¹ minder dan genoemde adviezen.

In de Experimenten 1 tot en met 7 werd bovendien naast de gangbare kalibemesting een variant aangelegd die een extra kaligift ontving. Deze gift bedroeg 300 kg K₂O·ha⁻¹, in het voorjaar - voor het poten - toegediend in de vorm van patentkali (K₂SO₄; 305 kg SO₄). In de Experimenten 12 tot en met 15 werd de extra gift niet alleen in de vorm van patentkali, maar ook in de vorm van chloorkali (Kali-60; 225 kg Cl) toegediend. De experimenten 1 tot en met 21 werden aangelegd in drie herhalingen.

In de Experimenten 22 tot en met 27 bedroegen de giften op locatie PAGV 0, 100, 200, 300 en 400 kg N·ha⁻¹. Op locatie KL werden de giften in verband met de hogere bodemvoorraad vastgesteld op 0, 50, 150, 250 en 350 kg N·ha⁻¹. Deze experimenten

werden in viervoud aangelegd. In alle experimenten vonden de teeltmaatregelen - afgezien van de proeffactoren - plaats volgens de regionale praktijk.

Per veldje (netto 15 m²) werden bij de oogst twee monsters genomen van 25 knollen in de maat 50/70 mm. Volgens de hiervoor beschreven procedure werd in december en april volgend op de oogst de bakkleur bepaald. De monsters van Experimenten 22 tot en met 27 werden na een geleidelijke afkoeling vanaf begin december bij een temperatuur van 5 à 6 graden opgeslagen. De monsters van Experimenten 1 tot en met 21 werden continu bij een temperatuur van 7 à 8 °C bewaard. Vóór het bepalen van de bakkleur vond geen reconditionering door temperatuursverhoging plaats.

Tabel 9.1 Overzicht van jaar en locatie van uitvoering van experimenten (zie sectie Experimenten in Materiaal en methoden voor verklaring van de locatie-codes), de daarin opgenomen rassen, aantal stikstof- en kaliumniveaus, alsmede de samenstelling van datasets uit de experimenten.

Experiment	Jaar	Locatie	Rassen	Aantal niveaus		Dataset				
				Stikstof	Kalium	1	2	3	4	5
1	1988	BEM	Agria, Morene, Bintje	3	2	x			x	
2	1988	RH	Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x			x	
3	1988	WS	Agria, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x			x	
4	1989	KL	Morene, Santé, Van Gogh, Bintje	3	2	x			x	
5	1989	RH	Agria, Benno Vrizo, Santé, Bintje	3	2	x			x	
6	1989	VP	Benno Vrizo, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x			x	
7	1989	WS	Agria, Benno Vrizo, Morene, Bintje	3	2	x			x	
8	1990	BEM	Bintje	3	1	x				
9	1990	KL	Bintje	3	1	x				
10	1990	VP	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x				
11	1990	WR	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x				
12	1990	RH	Asterix, Santé	2	3					x
13	1990	VP	Santé	2	3					x
14	1991	RH	Aziza, Maritiema	2	3					x
15	1991	VP	Asterix, Aziza	2	3					x
16	1991	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
17	1991	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
18	1991	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
19	1992	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
20	1992	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
21	1992	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x			
22	1989	PAGV	Morene, Bintje	5	1			x		
23	1989	KL	Morene, Bintje	5	1			x		
24	1990	PAGV	Morene, Bintje	5	1			x		
25	1990	KL	Morene, Bintje	5	1			x		
26	1992	PAGV	Morene, Bintje	5	1			x		
27	1992	KL	Morene, Bintje	5	1			x		

Datasets

Uit de Experimenten 1 tot en met 27 zijn vijf datasets samengesteld om achtereenvolgens de effecten van ras, stikstof, patent- en chloorkali, locatie, jaar en interacties tussen een aantal van deze factoren te analyseren.

In het navolgende wordt aangegeven welke datasets werden gebruikt om het effect van de verschillende factoren te analyseren.

Effect van ras

Datasets 1, 2 en 3 zijn gebruikt voor het vaststellen van raseffecten. Datasets 2 en 3 lenen zich door hun orthogonaliteit voor de berekening van interacties van ras met stikstof, locatie en jaar.

Effect van stikstof

Voor de berekening van stikstofeffecten zijn Datasets 1, 2 en 3 gebruikt. Ook voor stikstof lenen alleen Datasets 2 en 3 zich voor berekening van interacties met andere factoren.

Effecten van patent- en chloorkali

De inorthogonale Dataset 4 geeft informatie over het effect van de in het voorjaar toegediende patentkali en de interactie ervan met het stikstofniveau.

Dataset 5 geeft naast het gecombineerde effect van in het voorjaar toegediende kali en stikstof ook inzicht in het effect van de vorm waarin de kali wordt toegediend: patent- of chloorkali. De verschillende vorm betekent in feite de introductie van een extra factor: een bemesting met chloor.

Effecten van locatie en jaar

Datasets 2 en 3 lenen zich voor het berekenen van de significantie van de effecten van locatie en jaar en hun interactie met ras en stikstof.

Effect van bewaarduur

In alle proeven werd de bakkleur zowel in december als in april daar op volgend bepaald, zodat een indruk werd verkregen van het verloop van de verkleuring in de loop van het bewaarseizoen.

Statistische verwerking

De inorthogonale Datasets 1, 4 en 5 zijn verwerkt met behulp van het REML-commando in GENSTAT 5, release 2.1. REML (REstricted Maximum Likelihood) is een algoritme waarmee inorthogonale proeven met meerdere strata kunnen worden verwerkt (Robinson et al., 1982). Met deze procedure kunnen inorthogonale datasets worden geanalyseerd. Bij het gebruik van deze procedure kan slechts voor ieder paar van objecten dat in de dataset voorkomt een afzonderlijke LSD (Least Significant Difference; kleinst betrouwbaar verschil) worden berekend. Omwille van de leesbaarheid is in

voorkomende gevallen alleen de gemiddelde LSD weergegeven, herkenbaar als "Gem.LSD".

Bij gebruik van de REML-procedure werd in eerste instantie uitgegaan van het volledige model van factoren en hun interacties. Wanneer de bijdrage aan de variantie van factoren of interacties als nul of negatief werd berekend, werd de factor resp. interactie uit het model verwijderd, waarna de berekening opnieuw werd uitgevoerd. Deze procedure werd zo nodig herhaald.

Dataset 2 werd verwerkt met behulp van variantieanalyse.

De in tabellen weergegeven LSD werd berekend bij een onbetrouwbaarheid van 5 %, tenzij anders vermeld.

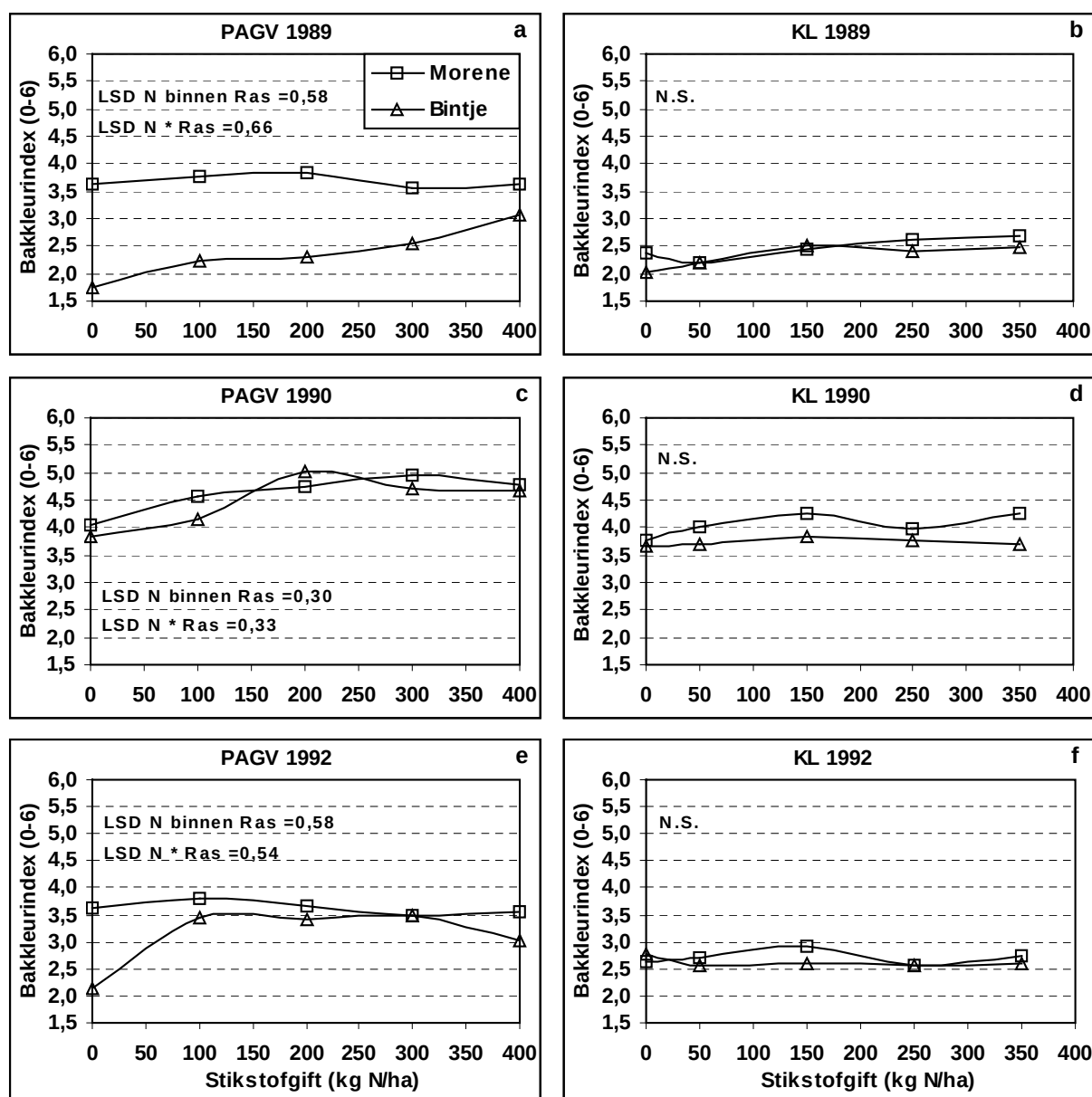
Resultaten

Effect van ras

In Dataset 1 had het ras Agria een betere bakkleur dan de andere rassen (Tabel 9.2), de kleur van de rassen Santé en Van Gogh was het donkerst. In Dataset 2 vertoonde het ras Bintje de beste bakkleur, Asterix had een minder goede kleur dan de andere rassen (Tabel 9.3). In Dataset 3 had Bintje in alle zes experimenten een betere bakkleur dan Morene, Figuur 9.1 illustreert echter interactie van ras, locatie en jaar ($P = 0,034$): de index van beide rassen was in 1990 op locatie PAGV hoger dan op locatie KL, in 1989 was dat alleen bij Morene het geval. De interactie tussen ras, locatie en stikstofgift was hoogsignifcant ($P < 0,001$) en werd vooral veroorzaakt door de sterkere respons van de index van Bintje op locatie PAGV. Deze twee interacties waren ook in Dataset 2 significant, bovendien was er interactie tussen jaar, ras en stikstofgift ($P = 0,044$), hetgeen betekent dat rasverschillen in stikstofrespons niet ieder jaar gelijk waren.

Tabel 9.2 Bakkleurindex in april (index 0-6) van zes rassen bij drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), gemiddelden van drie jaren op diverse locaties, Dataset 1.

Ras	Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Advies – 100	Advies - 50	Advies	
Agria	2,21	2,03	1,92	2,05
Benno Vrizo	2,79	2,71	2,57	2,69
Morene	3,04	2,82	2,73	2,86
Santé	3,28	3,52	3,42	3,41
Van Gogh	3,00	3,18	3,16	3,11
Bintje	2,73	2,81	2,60	2,71
Gemiddeld	2,84	2,84	2,73	2,81
Gem.LSD ras				0,36
Gem.LSD stikstof		0,12		
Gem.LSD ras*stikstof		0,41		



Figuur 9.1 Bakkeur in april (index 0-6) van twee rassen, in drie jaren geteeld op twee locaties bij vijf niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), Dataset 3.

Tabel 9.3 Bakkleur in april (index 0-6) van vier rassen bij drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), gemiddelden van twee jaren en drie locaties, Dataset 2.

Ras	Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Advies – 100	Advies - 50	Advies	
Asterix	2,95	2,97	2,81	2,91
Aziza	2,70	2,73	2,77	2,73
Maritiema	2,84	2,69	2,77	2,77
Bintje	2,69	2,64	2,46	2,59
Gemiddeld	2,79	2,76	2,70	2,75
LSD ras				0,12
LSD stikstof		0,10		
LSD ras*stikstof		0,21		

Effect van stikstof

In Datasets 1 en 2 (Tabellen 9.2 en 9.3) werd gemiddeld over de rassen geen significant effect van de aangelegde stikstofgiften op de bakkleur waargenomen. Er was echter interactie tussen ras en stikstof. In Dataset 1 was bij de rassen Agria, Benno Vrizo en Morene de invloed van stikstof positief, bij Santé en Van Gogh was de trend negatief. In Dataset 2 was het effect van stikstof bij het ras Bintje positief. In Dataset 3 (Figuur 9.1) werd de bakkleurindex door stikstof hoogsignificant ($P < 0,001$) verhoogd. Er was in deze dataset echter interactie tussen ras, locatie en stikstofgift ($P < 0,001$): de sterkere respons van de bakkleurindex bij het ras Bintje trad vooral op locatie PAGV op. Alhoewel de vierfactorinteractie met jaar niet significant was, was het genoemde verschil in respons in 1990 kleiner dan in beide andere jaren.

Tabel 9.4 Bakkleur in april (index 0-6) van zes rassen bij twee niveaus van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$) gemiddelden van twee jaren en verschillende locaties, Dataset 4.

Ras	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)	
	Geen	300 patentkali
Agria	2,21	2,11
Benno Vrizo	2,92	2,80
Morene	3,00	2,89
Santé	3,51	3,44
Van Gogh	3,25	3,14
Bintje	2,89	2,80
Gemiddeld	2,96	2,86
Gem.LSD kali		0,10
Gem.LSD ras*kali		0,38

Tabel 9.5 Bakkleur in april (index 0-6) van vier rassen bij twee niveaus en twee soorten van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$), gemiddelden van twee jaren en twee locaties, Dataset 5.

Ras	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali
Asterix	3,01	2,86	2,66
Aziza	2,73	2,46	2,32
Maritiema	2,93	2,79	2,67
Santé	3,06	2,77	2,51
Gemiddeld	2,93	2,72	2,54
Gem.LSD kali		0,17	
Gem.LSD kali*ras		0,82	

Tabel 9.6 Bakkleur in april (index 0-6) bij twee niveaus van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$) en drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), gemiddelden van twee jaren en verschillende locaties, gemiddelden van twee jaren en twee locaties, Dataset 4.

Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
	Geen	300 patentkali	Gemiddeld
Advies – 100	3,00	2,85	2,93
Advies – 50	2,99	2,88	2,93
Advies	2,89	2,86	2,88
Gemiddeld	2,96	2,86	2,91
Gem.LSD kali		0,10	
Gem.LSD stikstof			0,10
Gem.LSD kali*stikstof		0,13	

Effecten van patent- en chloorkali

In zowel Dataset 4 als 5 (Tabellen 9.4 en 9.5) werd de bakkleur significant verbeterd door de extra voorjaarsgift met patentkali. In Dataset 5 was de bakkleur bovendien betrouwbaar beter wanneer in plaats van patentkali chloorkali werd toegediend (Tabel 9.5).

In zowel Dataset 4 als 5 werd geen interactie tussen rassen en de extra voorjaarskaligiften vastgesteld: de bakkleur van de verschillende rassen reageerde in gelijke mate positief op de voorjaarskalibemesting (Tabellen 9.4 en 9.5).

In Dataset 4 (Tabel 9.6) was het effect van de extra patentkaligift iets groter naarmate de stikstofgift lager was. Hetzelfde leek te gelden voor de chloorkaligift in Dataset 5 (Tabel 9.7). Bij de patentkaligift leek in Dataset 5 het effect daarentegen groter bij de hogere stikstofgift.

In Dataset 5 (Tabel 9.8) bleek het effect op de bakkleur van zowel patent- als chloorkali op locatie VP (zandgrond) sterker positief te zijn dan op locatie RH (kleigrond). De

significantie hiervan is echter niet te berekenen als gevolg van de inorthogonaliteit van de dataset.

Tabel 9.7 Bakkleur in april (index 0-6) bij twee niveaus en twee soorten van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$) en twee niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), gemiddelden van verschillende rassen, twee jaren en twee locaties, Dataset 5.

Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali	
Advies – 75	2,97	2,86	2,53	2,77
Advies	2,89	2,58	2,55	2,68
Gemiddeld	2,93	2,72	2,54	2,73
Gem.LSD kali		0,17		
Gem.LSD stikstof				0,14
Gem.LSD kali*stikstof		0,24		

Tabel 9.8 Bakkleur in april (index 0-6) op twee locaties in 1990 en 1991 bij twee niveaus en twee soorten van kalibemesting ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$), gemiddelden van gedeeltelijk verschillende rassen en twee jaren, Dataset 5.

Locatie	Extra voorjaarskaligift ($\text{kg K}_2\text{O}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
	Geen	300 patentkali	300 chloorkali
RH	2,73	2,55	2,36
VP	3,25	2,97	2,75

Tabel 9.9 Bakkleur in april (index 0-6) in twee jaren en op drie locaties, gemiddelden van vier rassen, Dataset 2.

Locatie	Jaar	
	1991	1992
BEM	2,28	3,03
KL	2,78	3,11
WS	2,35	2,94

Effecten van locatie en jaar

In Dataset 2 was in 1992 de bakkleur minder goed dan in 1991 (Tabel 9.9). De aardappelen van locatie KL bleken in 1991 een minder goede bakkleur te hebben dan die van de andere twee locaties (Dataset 2, Tabel 9.9). In 1992 was er daarentegen tussen de locaties nauwelijks verschil. Dit illustreert de interactie tussen jaren en locaties

Hoofdstuk 9

($P < 0,01$). Eerder werd al beschreven dat zowel de factor jaar als locatie interactie vertoont met ras en stikstof.

Tabel 9.10 Verandering in bakkleur tussen december en april (index 0-6) van zes rassen bij drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), gemiddelden van twee jaren en verschillende locaties, Dataset 1.

Ras	Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Advies – 100	Advies - 50	Advies	
Agria	-0,11	-0,20	-0,10	-0,14
Benno Vrizo	-0,10	-0,23	-0,40	-0,24
Morene	-0,71	-0,79	-0,83	-0,78
Santé	-0,39	-0,42	-0,42	-0,41
Van Gogh	-0,27	-0,23	-0,40	-0,29
Bintje	0,09	0,06	-0,03	0,04
Gemiddeld	-0,24	-0,30	-0,35	-0,30
Gem.LSD ras				0,41
Gem.LSD stikstof		0,18		
Gem.LSD ras*stikstof		0,47		

Tabel 9.11 Verandering in bakkleur tussen december en april (index 0-6) van vier rassen bij drie niveaus van stikstofbemesting ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$), gemiddelden van twee jaren en drie locaties, Dataset 2.

Ras	Stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$)			Gemiddeld
	Advies - 100	Advies - 50	Advies	
Asterix	-0,80	-0,72	-0,65	-0,72
Aziza	-0,26	-0,21	-0,40	-0,29
Maritiema	-0,61	-0,46	-0,40	-0,49
Bintje	-1,01	-0,78	-0,67	-0,82
Gemiddeld	-0,67	-0,54	-0,53	-0,58
LSD ras				0,13
LSD stikstof		0,15		
LSD ras*stikstof		0,24		

Effect van bewaarduur

De bakkleur was in alle datasets in april gemiddeld beter dan in december. De invloed van stikstof op de verandering in bakkleur was bij geen van de rassen in Datasets 1 en 2 significant (Tabellen 9.10 en 9.11), ook in Dataset 3 was er geen effect van stikstof. In Dataset 1 lieten de rassen die in december de slechtste bakkleur hadden de grootste verbetering zien.

In Dataset 2 was er een significante interactie tussen ras, stikstofgift en jaar ($P = 0,002$) en ook tussen ras, stikstofgift en locatie ($P = 0,039$). In deze interacties waren echter geen consistente trends te vinden.

In zowel Dataset 2 als 3 was er interactie tussen locatie en jaar (Tabellen 9.12 en 9.13). Bovendien vertoonden de rassen in beide datasets interactie met locatie en jaarverschillen ($P < 0,001$). De interactie met jaar en locatie maakt dat op voorhand niet te zeggen valt of en in welke mate een verandering in bakkleur tijdens het bewaarperiode tot uiting komt.

Het verschil in bakkleur tussen de twee bepalingstijdstippen werd niet beïnvloed door de voorjaarskalibemestingen in Datasets 4 en 5.

Tabel 9.12 Verandering in bakkleurindex tussen december en april (index 0-6) in twee jaren op drie locaties, gemiddelden van vier rassen, Dataset 2.

Locatie	Jaar	
	1991	1992
BEM	0,04	-1,12
KL	-0,05	-1,15
WS	-0,07	-1,13

Tabel 9.13 Verandering in bakkleurindex tussen december en april (index 0-6) in drie jaren op twee locaties, gemiddelden van twee rassen en vijf stikstofniveaus, Dataset 3.

Locatie	Jaar		
	1989	1990	1992
PAGV	-0,33	-0,21	-0,11
KL	-1,07	-0,36	-0,63

Discussie

Effect van ras

Rasverschillen bleken over jaren en locaties en bij verschillende teeltmaatregelen behoorlijk consistent te zijn. Rasverschillen in bakkleur (c.q. in gehalte aan reducerende suikers) worden veelvuldig vermeld (Burton, 1969; Howard, 1974; Miller et al, 1975). De genetische aanleg voor een goede bakkleur - vooral na korte of langere bewaring - is dan ook de belangrijkste factor voor een goede bakkleur (Van Es & Hartmans, 1987).

Een latere rijpingsklasse (langere groeicyclus) van een ras bleek niet samen te gaan met een hogere bakkleurindex na bewaring. Dit wordt geïllustreerd door de betere bakkleur van het ras Agria in vergelijking met het ras Bintje (Tabel 9.2), ondanks het feit dat het ras Agria later afrijpt (Ebskamp et al., 1995). Het ras Santé had een veel minder goede

bakkleur dan het ras Bintje, terwijl de rijpingsklasse van dit ras vergelijkbaar is met die van Bintje. Een aantal referenties vermeldt een slechtere bakkleur naarmate rassen later afrijpen (Moll, 1966; Effmert et al., 1961). Deze trend kan wellicht worden aangetroffen in grote aantallen rassen, de koppeling is blijkbaar niet sterk genoeg om als stelregel te worden gebruikt.

Effect van stikstof

Van de hier gepresenteerde resultaten blijkt alleen in Dataset 3 met een breed stikstoftraject (Figuur 9.1) een duidelijke negatieve respons van de bakkleur op stikstof. De respons van de bakkleur op stikstof was in deze dataset afhankelijk van zowel ras als van de combinatie van jaar en locatie. Er waren combinaties van ras en omstandigheden waarbij er zelfs in een traject van 400 kilo stikstof geen respons van de bakkleur aanwezig was. Dat de respons van de bakkleur op stikstof wordt beïnvloed door bodem- en weersfactoren, wordt bevestigd door de melding van interactie tussen stikstof en locaties (Teich & Menzies, 1964) en tussen stikstof en jaren (Kunkel & Holstad, 1972). Rasverschillen in respons op stikstof zullen onder de interacties worden besproken.

Gezien de relatief geringe respons over een breed stikstoftraject in Dataset 3, is het niet verwonderlijk dat er in Datasets 1 en 2 over het algemeen geen consistent effect van stikstof op de bakkleur kon worden aangetoond. In deze datasets was het stikstoftraject immers slechts 100 kg, terwijl het traject bovendien voor het grootste deel boven de 200 kg N·ha⁻¹ lag. In Dataset 3 varieerde de respons van de bakkleurindex tussen 150 en 250 kilo (vergelijkbaar met Datasets 1 en 2) van positief tot licht negatief.

Het feit dat de bakkleur in Dataset 3 in het traject van 0 tot 200 kilo per hectare in de meeste gevallen sterker negatief op stikstof reageerde dan in het hogere traject kan een verklaring zijn voor het feit dat in buitenlandse literatuur meer consistent melding wordt gemaakt van een negatief effect van stikstof op de bakkleur (Hope et al., 1960; Rogozinska & Rzekanowski, 1993), aangezien in deze publicaties een stikstofbemesting wordt vermeld die zich in dit lagere traject bevond.

Rasverschillen in respons van de bakkleur op stikstof en de invloed van bodem en weersomstandigheden op de respons zijn ook de verklaring voor het feit dat telers in de praktijk meestal niet de indruk hebben dat een hogere stikstofbemesting een consistent negatief effect op de bakkleur heeft.

Effecten van patent- en chloorkali

De betere bakkleur bij een hogere kaliumbemesting in dit onderzoek sluit aan bij veel referenties met een grote temporele en geografische spreiding (Eastwood & Watts, 1956; Højmark, 1977; Murphy & Goven, 1966; Stanley & Jewell, 1989; Wilcox, 1961). Al deze auteurs melden ook het hier aangetroffen effect dat het gebruik van kaliumchloride in plaats van kaliumsulfaat leidt tot een grotere verbetering van de bakkleur. Stanley & Jewell (1989) meldden dat de effecten van jaar en locatie veel groter zijn dan de effecten van kalium en chloor. Dit stemt overeen met de hier besproken resultaten.

Effecten van locatie en jaar

Alleen Datasets 2 en 3 leenden zich voor een verantwoorde vergelijking van locaties en jaren. Het feit dat verschillen tussen locaties niet in alle jaren gelijk waren geeft aan dat er tussen deze factoren interactie was. Bovendien was er interactie van deze factoren met ras en stikstofniveau. Verdere bespreking van deze factoren vindt dan ook plaats bij de interacties.

Effect van bewaarduur

In de hier besproken datasets werd over het algemeen waargenomen dat de bakkleur bij een bewaartemperatuur van 7 graden in de meeste gevallen in april/mei beter was dan in december. Dit past bij het verloop in de tijd van het gehalte aan reducerende suikers bij bewaartemperaturen die in meer of mindere mate koudeverzoeting veroorzaken (Burton, 1965; Hertog et al., 1997a en b).

De rassen met een minder goede bakkleur vertoonden in december het grootste verschil met de beter bakkende rassen. Na een sterkere verbetering van de bakkleur dan bij de rassen met een goede bakkleur, was het verschil in april/mei kleiner geworden, echter de verschillen waren in de meeste gevallen nog altijd in het nadeel van de rassen die reeds in december de slechtste kleur hadden. Rassen verschillen in snelheid waarmee het gehalte aan reducerende suikers tijdens de eerste fase van bewaring toeneemt (Van Es & Hartmans, 1987; Van Vliet & Schriemer, 1960 en 1961; Rønsen & Frogner, 1969). Naarmate de aanvankelijke toename sterker is, kan ook de afname van het gehalte aan reducerende suikers in absolute zin groter zijn (Hertog et al, 1997a). Dit betekent echter niet dat na een grotere afname ook per saldo een betere bakkleur wordt aangetroffen.

De invloed van stikstof op de verandering in bakkleur was bij geen van de rassen in Datasets 1 en 2 significant (Tabellen 9.10 en 9.11), ook in Dataset 3 was er geen effect van stikstof.

In Dataset 2 was er significante interactie tussen ras, stikstofgift en jaar ($P = 0,002$) en ook tussen ras, stikstofgift en locatie ($P = 0,039$). In deze interacties waren echter geen consistente trends te vinden. Ook het feit dat in Dataset 3 met het veel bredere stikstoftraject noch een effect van stikstof noch enige stikstofinteractie werd aangetroffen, maakt het moeilijk om aan de interacties in Dataset 2 veel betekenis toe te kennen.

Het verschil in bakkleur tussen de twee bepalingstijdstippen werd niet beïnvloed door de voorjaarskalibemestingen in Datasets 4 en 5. Dit betekent dat de in december aangetroffen positieve effecten van patent- en chloorkali in de periode daarna gelijk bleven.

Interacties

*Ras * stikstof*

Datasets 1, 2 en 3 illustreren dat de respons van de bakkleur op stikstof verschilt tussen rassen. In het geval van de betere bakkleur bij hogere stikstofgift bij het ras Benno Vrizo kan er sprake geweest zijn van onrijpere knollen bij lagere stikstofgift. Dit ras stierf namelijk erg vroeg af, hetgeen door een hogere stikstofgift werd vertraagd. Door enkele

auteurs wordt melding gemaakt van een minder goede bakkleur of een hoger gehalte aan reducerende suikers bij lage stikstofbemestingsniveaus nadat het gewas door stikstofgebrek vervroegd was afgestorven (Swinarski & Ladenberger, 1970; Van Es & Hartmans, 1987).

In de meeste gevallen wordt echter een minder goede bakkleur of een stijgend gehalte aan reducerende suikers vermeld als gevolg van een hogere stikstofbemesting (Hope et al., 1960; Moll, 1969; Voogd, 1963), vooral als deze hogere bemesting leidt tot een latere afrijping van het gewas en de knollen (Beukema & Van der Zaag, 1990; Burton, 1989). Volgens dit mechanisme zou vooral de bakkleur van late rassen door hogere stikstofgiften negatief moeten worden beïnvloed. De rassen Agria en met name Morene rijpen aanzienlijk later af dan het ras Bintje en toch lieten ze in Dataset 1 een betere bakkleur bij een hogere stikstofgift zien. De respons van de bakkleur op stikstof wordt blijikbaar - in het stikstoftraject van Datasets 1 en 2 - niet bepaald door de vroegrijpheid van het ras.

De invloed van locatie- en jaarverschillen op de bakkleur was aanzienlijk groter dan de invloed van de stikstofgift. Dit wordt bevestigd door andere auteurs (Eastwood & Watts, 1956; Teich & Menzies, 1964). Bovendien vertoonde de relatie tussen stikstof en bakkleur interactie met zowel locatie als jaar. Teich & Menzies (1964) en Kunkel & Holstad (1972) vermeldde deze interacties ook. De economische betekenis van de invloed van stikstof op de bakkleur is dan ook gering (Kunkel & Holstad, 1972). Met name boven 150 à 200 kg stikstof per ha - waar zich veelal het optimum voor de opbrengst bevindt - is de respons van de bakkleur op stikstof gering. Dit maakt dat er een groot verschil in uitbetaling bij een klein verschil in bakkleur moet plaatsvinden om het voor telers financieel aantrekkelijk te maken om middels een lagere stikstofbemesting te streven naar een (iets) betere bakkleur. Het is daarom – gezien de uitbetalingsverschillen op dit moment - niet opportuun om het geheel van de interacties tussen ras, stikstof, locatie- en jaarinvloeden te ontrafelen om daarmee per ras de respons van de bakkleur op stikstof te kwantificeren.

*Stikstof * patent- en chloorkali*

In Dataset 4 (Tabel 9.6) was de significante trend aanwezig dat een positief effect van kalium meer tot uiting komt bij een lagere dan bij een hogere stikstofvoorziening. In (de kleinere) Dataset 5 (Tabel 9.7) was deze trend ook aanwezig bij chloorkali, maar leek bij patentkali juist tegengesteld. Bij beschouwing van de afzonderlijke experimenten (niet weergegeven) bleek dat het verschil tussen de effecten van patent- en chloorkali in de experimenten ongelijk was. De meest waarschijnlijke verklaring hiervan is interactie met locatie en jaar. Van Loon & Houwing (1989) troffen geen positief effect van chloor op de bakkleur aan. Wellicht is de interactie tussen kalium en stikstof in combinatie met het hoge niveau van de Nederlandse stikstofbemesting hiervoor verantwoordelijk.

*Bewaarduur * ras * locatie * jaar*

Deze interactie was zowel in Dataset 2 als 3 hoogsignificant. De omvang van de verschillen was bovendien zodanig dat het - onder gegeven bewaaramstandigheden - niet verantwoord is om de bakkleur van de rassen op basis van één bepalingstijdstip met

elkaar te vergelijken. Daarnaast moet de rasvergelijking op meerdere locaties en jaren zijn gebaseerd om een verantwoorde vergelijking van de potentiële bakkleur te maken.

Dat de bakkleur van rassen en partijen van verschillende locaties en jaren in de loop van de bewaarperiode - afhankelijk van vooral de bewaartemperatuur - een verschillend verloop vertoont, is veelvuldig beschreven (Burton, 1989; Van Es & Hartmans, 1987).

De invloed van locatie en jaar wordt veelal beschreven onder het moeilijk definieerbare begrip "rijpheid", hetgeen vooral te maken heeft met het aan het eind van het groeiseizoen bereiken van een fysiologische conditie van de knollen die leidt tot een geringe ophoping van reducerende suikers tijdens de bewaarperiode (Burton, 1965 en 1989; Coffin et al., 1987). In Hoofdstuk 10 wordt verder ingegaan op het begrip rijpheid en de invloed van groeiomstandigheden daarop.

In zowel Dataset 2 als 3 was er interactie tussen locatie en jaar (Tabellen 9.12 en 9.13). Bovendien vertoonden de rassen in beide datasets interactie met locatie en jaar ($P < 0,001$). De interactie met jaar en locatie maakt dat op voorhand niet te zeggen valt of en in welke mate een verandering in bakkleur van een ras tijdens het bewaarseizoen tot uiting komt.

*Locatie * jaar*

Dataset 2 illustreert de interactie tussen jaren en locaties: de minder goede bakkleur op locatie KL in 1991 (Tabel 9.9) werd in het jaar daarna niet aangetroffen. Moll (1966) vermeldt eveneens sterke interactie tussen jaren en locaties, terwijl ook in de data van Burton & Wilson (1970) deze interactie herkenbaar is.

Een methodisch probleem in veldproeven is het feit dat de "factoren" locatie en jaar beide zijn samengesteld uit een veelheid van andere factoren die bovendien interactie met elkaar en met teeltfactoren zoals bemesting kunnen vertonen. Bovendien kunnen weerverschillen zich zowel in locatie- als jaareffecten manifesteren.

Locatie-effecten op het gehalte aan reducerende suikers worden voor een deel veroorzaakt door bodemeigenschappen. Deze eigenschappen zijn relatief constant. In de tweede plaats zijn er weerverschillen tussen locaties. Deze kunnen worden verdeeld in structurele en incidentele verschillen. Burton & Wilson (1970) troffen in hun gegevens een structureel verschil aan: naarmate aardappelen noordelijker in Groot-Brittannië werden geteeld, hadden ze een hoger gehalte aan reducerende suikers. Ook de Nederlandse praktijk kent dit verschijnsel: in de meeste jaren is de bakkleur van aardappelen uit Zuidwest-Nederland iets beter dan van aardappelen uit de meer noordelijk gelegen teeltgebieden. Echter, ook in dit geval is het onmogelijk het verschil exclusief aan het weer toe te schrijven, daar immers ook de bodems in de gebieden verschillen, zelfs als men alleen kleigronden in beschouwing neemt. Het feit dat het verschil in bakkleur niet ieder jaar even groot is, illustreert dat het samenspel van weer en bodem jaarlijks tot een groter of kleiner verschil tussen de gebieden kan leiden. In de gegevens van Burton & Wilson (1970) is dit laatste verschijnsel ook herkenbaar: verschillen in suikergehalte tussen locaties waren van jaar tot jaar ongelijk. Dit betekent dat zowel incidentele als structurele verschillen in weersomstandigheden tussen locaties een effect op het gehalte aan reducerende suikers hebben. Verwacht mag worden dat met name de incidentele verschillen, sterke interactie kunnen vertonen met de

bodemfactoren en er de oorzaak van zijn dat verschillen tussen locaties in gehalte aan reducerende suikers in knollen jaarlijks niet gelijk zijn.

Implicaties

Wetenschappelijk

- Aangezien de effecten van ras, locatie en jaar aanzienlijk groter kunnen zijn dan het effect van en interacties met stikstofbemesting, is het uit een oogpunt van het aanscherpen van rasspecifieke adviezen ten aanzien van de bakkleur niet renderend om het stikstofeffect en interacties daarmee tot in meer detail in kaart te brengen dan heden het geval is.
- Slechts in het geval dat de stikstofbemesting op consumptieaardappelen structureel aanzienlijk lager wordt dan het huidige niveau, wordt de interactie tussen ras en stikstof de moeite van het onderzoeken waard. Tot die tijd kan het onderzoek zich beperken tot het vaststellen van rasverschillen en het extrapoleren van de invloed van stikstofbemesting uit het hier beschreven onderzoek.
- Het effect van een extra voorjaarskaligift - met name in de vorm van chloorkali - had een verbetering van de bakkleur tot gevolg. Daar er ten aanzien van de bakkleur geen interactie tussen ras en kaligift was, kan ook de invloed van kali uit dit onderzoek worden geëxtrapoleerd.
- Vanwege het aantreffen van interactie tussen bepalingstijdstip van de bakkleur en ras, locatie en jaar, is het in de eerste plaats van belang dat de vergelijking van rassen plaatsvindt op basis van meerdere locaties en jaren. In de tweede plaats is het belangrijk dat de bepalingstijdstippen jaarlijks gelijk worden gehouden en dat de vergelijking van rassen berust op meerdere bepalingen tijdens het bewaarseizoen.

Praktisch

- De rassenkeuze is de enige door de teler stuurbare factor die qua omvang van effect vergelijkbaar is met de invloed van locatie en jaar. De negatieve invloed van stikstofbemesting is ten opzichte van deze factoren gering en de stikstofbemesting zal door de teler pas dan in het voordeel van de bakkleur worden verlaagd wanneer in verhouding tot de verbetering van de bakkleur een aanzienlijk hogere kilogramprijs wordt verkregen.
- Het effect van een voorjaarsbemesting met chloorkali leverde een betrouwbare en betekenisvolle verbetering van de bakkleur op. Met het oog hierop en op de verminderde blauwgevoeligheid die chloorkali ook veroorzaakt (Hoofdstuk 6), verdient het aanbeveling in meer gevallen dan nu gebeurt (een deel van) de kalium als chloorkali in het voorjaar toe te dienen.
- De combinatie van een matige stikstofbemesting met een ruime kalium- en chloorvoorziening geeft de beste bakkleur. Het verdient aanbeveling deze combinatie na te streven voor zover dit bedrijfseconomisch niet strijdig is met andere aan het gewas te stellen eisen.

Literatuur

- Beukema, H.P. & D.E. van der Zaag, 1990. Introduction to Potato Production, PUDOC, Wageningen, 208 pp.
- Burton, W.G., 1965. The sugar balance in some British potato varieties during storage. I Preliminary observations, European Potato Journal 8 p. 80-91.
- Burton, W.G., 1969. The sugar balance in some British potato varieties during storage. II. The effects of tuber age, previous storage temperature and intermittent refrigeration upon low-temperature sweetening, European Potato Journal 12, p. 81-95.
- Burton, W.G., 1989. The Potato, 3rd edition, Harlow, Longman Scientific & Technical, 742 pp.
- Burton, W.G. & A.R. Wilson, 1970. The apparent effect of the latitude of the place of cultivation upon the sugar content of potatoes grown in Great Britain, Potato Research 13, p. 269-283.
- Coffin, R.H., R.Y. Yada, K.L. Parkin, B. Grodzinski & D.W. Stanley, 1987. Effect of low temperature storage on sugar concentrations and chip color of certain processing potato cultivars and selections, Journal of Food Science 52, p. 639-645.
- Eastwood, T. & J. Watts, 1956. The effect of potash fertilization upon potato chipping quality III. Chip color, American Potato Journal 33, p. 255-257.
- Ebskamp, A.G.M., H. Bonthuis & S.M. van Huet (eds.), 1995. 70e Rassenlijst voor landbouwgewassen 1995, CPRO-DLO, Wageningen, 326 pp.
- Effmert, B., G. Meinl & J. Vogel, 1961. Atmung, Zuckerspiegel und Ascorbinsäure-Gehalt von Kartoffel-knollen, Der Züchter 31, p. 23-32.
- Es, A. van & K.J. Hartmans, 1987. Starch and sugars during tuberization, storage and sprouting, In: A. Rastovski, A. van Es et al. (eds), Storage of potatoes, post-harvest behaviour, store design, storage practice, handling, Pudoc, Wageningen, p. 79-113.
- Hertog, M.L.A.T.M., B. Putz & L.M.M. Tijskens, 1997a. Sugar accumulation during storage as function of harvest time, Potato Research 40, p. 69-78.

- Hertog, M.L.A.T.M., L.M.M. Tijskens & P.S. Hak, 1997b. 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, p. 67-79.
- Højmark, J.V., 1977. Effect of increasing rates of KCl and K₂SO₄ on potato yield, cooking quality and colour of chips, *Tidsskrift for Planteavl* 81, p. 68-80.
- Hope, G.W., D.C. MacKay & L.R. Townsend, 1960. The effect of harvest date and rate of nitrogen fertilization on the maturity, yield and chipping quality of potatoes, *American Potato Journal* 37, p. 28-33.
- Howard, H.W., 1974. Factors influencing the quality of ware potatoes. I. The genotype, *Potato Research* 17, p. 490-511.
- Hughes, J.C., 1986. Factors influencing the quality of ware potatoes. 2. Environmental factors, *Potato Research* 17, p. 512 - 547.
- Kunkel, R & N. Holstad, 1972. Potato chip color, specific gravity and fertilization of potatoes with N-P-K, *American Potato Journal* 49, p. 43-62.
- Loon, C.D. van & J.F. Houwing, 1989. Het effect van een chloorbemesting op blauwgevoeligheid, onderwatergewicht, bakkwaliteit en opbrengst van enkele consumptie-aardappelrassen, *Jaarboek 1988/89, PAGV, Lelystad*, p.17-23.
- Miller, R.A., J.D. Harrington & G.D. Kuhn, 1975. Effect of variety and harvest date on tuber sugars and chip color, *American Potato Journal* 52, p. 379-386.
- Moll, A., 1966. Untersuchungen zum Einfluß von Sorte und Anbauort auf die Eignung von Kartoffelknollen für die Chipsherstellung, *European Potato Journal* 9, p. 226-241.
- Moll, A., 1967. Der Einfluß der N-P-K-Düngung und der Bodenfeuchtigkeit auf den Zuckergehalt von Kartoffelknollen, *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 118, p. 35-43.
- Müller-Thurgau, H., 1882. Über Zuckeranhäufung in Pflanzenteilen in Folge niederer Temperatur, *Landwirtschaftliche Jahrbücher* 11, p. 751-858.
- Murphy, H.J. & M.J. Goven, 1966. The last decade of 38 years of potash studies for potato fertilizers in Maine, *American Potato Journal* 43, p.122-127.

- Robinson, D.L., R. Thompson & P.G.N. Digby, 1982. REML - a program for the analysis of non-orthogonal data by restricted maximum likelihood, In: Compstat 1982, part II (supplement), Wien, Physica-Verlag, p. 231-232.
- Rodriguez-Saona, L.E. & R.E. Wrolstad, 1997. Influence of potato composition on chip colour quality, *American Potato Journal* 74, p. 87-106.
- Roe, M.A., R.M. Faulks & J.L. Belsten, 1990. Role of reducing sugars and amino acids in fry colour of chips from Potatoes grown under different nitrogen regimes, *Journal of the Science for Food and Agriculture* 52, p. 207-214.
- Rogozinska, I & C. Rzekanowski, 1993. Changes in quality and storage ability of potato tubers grown on very light soil as affected by sprinkling and nitrogen fertilizing, *Postepy Nauk Rolniczych* 40, p. 83-90.
- Rønsen, K. & S. Frogner, 1969. The influence of storage and conditioning on the content of reducing sugars in potatoes grown in Norway, *European Potato Journal* 12, p. 122-133.
- Samotus, B., M. Niedzwiedz, Z. Kolodziej, M. Leja & B. Czajkowska, 1974. Storage and reconditioning of tubers of Polish potato varieties and strains. I. Influence of storage temperature on sugar level in potato tubers of different varieties and strains, *Potato Research* 17, p. 64-81.
- Schouten, S.P., 1992. Possibilities for controlled atmosphere storage of ware potatoes, *Aspects of Applied Biology* 33, p. 181-188.
- Shallenberger, R.S., O. Smith & R.H. Treadway, 1959. Role of the sugars in the browning reaction in potato chips, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 7, p. 274-277.
- Stanley, R. & S. Jewell, 1989. The influence of source and rate of potassium fertilizer on the quality of potatoes for french fry production, *Potato Research* 32, p. 439-446.
- Swiniarski, E & D. Ladenberger, 1970. The sugar content of potato tubers grown with different rates of nitrogen application, *Potato Research* 13, p. 114-118.
- Teich, A.H. & J.A. Menzies, 1964. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium on the specific gravity, ascorbic acid content and chipping quality of potato tubers, *American Potato Journal* 41, p. 169-173.
- Veerman, A., 1996. The effect of increased CO₂ levels on fry colour during storage, In: P.C.Struik et al. (eds.), *Abstracts of Conference Papers, Posters and*

Demonstrations of the 13th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Veldhoven, 14-19 July 1996, p. 419-420.

Vliet, W.F. van & W. H. Schriemer, 1960. The sugar accumulation in potatoes kept at a low temperature as studied in a small selection of samples of Dutch varieties, *European Potato Journal* 3, p. 263-271.

Vliet, W.F. van, W.H. Schriemer & H. Buitenweg, 1961. Sugar accumulation in potatoes at low temperatures, studied in crosses between western Europe (Dutch) varieties and South American varieties of *Solanum tuberosum*, *European Potato Journal* 4, p. 87-91.

Voogd, C.D., 1963. De invloed van bodem en bemesting op de chemische samenstelling van de aardappelknol, Centrale voor Landbouwpublikaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen, 13 pp.

Welte, E. & K. Müller, 1966. Über den Einfluß der Kalidüngung auf die Dunkelung von rohen Kartoffelbrei, *European Potato Journal* 9, p. 36-45.

Wilcox, G.E., 1961. Effect of sulfate and chloride sources and rates of potassium on potato growth and tuber quality, *American Potato Journal* 38, p. 215-220.

Hoofdstuk 10

De relatie tussen knol- en gewaseigenschappen tijdens de groei van aardappelknollen en de bakkleur van frites die daarvan na bewaring worden geproduceerd

Inleiding

In Hoofdstuk 9 werd beschreven dat veel factoren en hun interacties een complexe invloed uitoefenen op de (potentiële) bakkleur van een partij aardappelen. Hoe goed de bakkleur van een partij zal zijn en hoe gevoelig hij is voor de vorming van reducerende suikers als gevolg van een bepaalde bewaartemperatuur valt op het moment van het inschuren nauwelijks te voorspellen. Slechts op basis van het weers- en groeiverloop kan globaal worden geanticipeerd. Gemiddeld is de bakkleur beter na een warm, droog groeiseizoen dan na een koel en nat seizoen (Beukema en Van der Zaag, 1990). Echter, voor beide typen condities geldt dat ze de bakkleur negatief beïnvloeden wanneer ze in extreme mate optreden.

In het spraakgebruik van de praktijk wordt gesteld dat knollen rijper zijn naarmate de invloeden van het groeiseizoen en teeltmaatregelen meer leiden tot de verwachting dat de producten die na bewaring van deze knollen worden gemaakt, een lichtere kleur zullen vertonen. Wanneer het begrip rijpheid in verband met de bakkleur wordt gehanteerd, wordt de verwachte rijpheid van de knollen meestal gerelateerd aan de op het oog waarneembare toestand van het loof. Naarmate het loof aan het eind van het groeiseizoen verder is afgestorven, beoordeelt men zowel het gewas als de knollen als rijper.

Het gebruik van de term rijpheid geeft evenwel aanleiding tot verwarring. In zowel de praktijk als in de wetenschappelijke literatuur wordt het begrip rijpheid van de knollen vaak gehanteerd als: de mate waarin de eigenschappen van gewas en knollen – of de daarvan gemaakte producten - voldoen aan de gestelde eisen. Als gevolg van de verschillende eisen die (op verschillende momenten) aan een gewas of knollen worden gesteld kent het begrip rijpheid niet alleen de hiervoor beschreven interpretatie, maar ook vele andere. Het is dan ook beter de term rijpheid zoveel mogelijk te vermijden of die vergezeld te laten gaan van de eis waarop men doelt: wanneer men over rijpheid spreekt met het oog op de mate waarin er bij de oogst ontvelling van de knollen optreedt, kan beter het begrip “schilvastheid” worden gebruikt. Wanneer wordt gesproken over rijpheid in verband met de te verwachten bakkleur kan dit als zodanig worden geformuleerd of bijvoorbeeld als "potentiële bakkleur".

Indien partijen van verschillende herkomst op het moment van oogst - of eerder - kunnen worden onderscheiden naar hun potentiële bakkleur, dan zou een betere planning van de afzet van partijen mogelijk zijn. Goede partijen kunnen dan worden bestemd voor late afzet, terwijl slechte partijen vroeg kunnen worden geruimd. Daarnaast kan de bewaartemperatuur op de potentiële bakkleur worden afgestemd.

Om een voor praktisch gebruik zinvolle beschrijving van de potentiële bakkleur te verkrijgen, moeten de gebruikte parameters bij bepaling voor of op het moment van de oogst op zijn minst een goede correlatie vertonen tussen de partijen van één ras binnen één teeltseizoen. In feite wordt gezocht naar een parameter waarmee de invloed van de groeiomstandigheden op de latere bakkleur wordt voorspeld. Wordt zo een parameter gevonden, dan ligt het voor de hand dat deze zowel de effecten van locatiegebonden factoren (inclusief teeltmaatregelen) als jaargebonden factoren in zich draagt en het verloop van de bakkleur tijdens het bewaarseizoen kan voorspellen.

Ondanks veel onderzoek is er nog altijd geen eenduidige parameter of combinatie van parameters gevonden waarmee een concrete voorspelling kan worden gedaan van de latere bakkleur, vooral niet in relatie tot locatie- en jaarverschillen.

Het effect van oogsttijdstip is beter beschreven. Het is namelijk bekend dat naarmate knollen van een gewas vroeger, dit wil zeggen fysiologisch jonger, worden gerooid, de toename van hun gehalte aan reducerende suikers en de gevoeligheid hiervoor onder invloed van lage temperaturen tijdens de bewaring groter is (Burton, 1989; Hertog et al., 1997a; Samotus et al., 1974). Sowokinos (1978) en Nelson & Sowokinos (1983) bepaalden het sucrosegehalte van knollen van verschillende rassen tijdens het groeiseizoen en vonden dat de bakkleur na bewaring donkerder was naarmate het sucrosegehalte hoger was geweest. Deze resultaten wierpen de vraag op of deze sucrosebepaling wellicht ook onder Nederlandse omstandigheden een voorspellende waarde kan hebben voor het effect van de groeiomstandigheden op de bakkleur van verschillende percelen van hetzelfde ras of zelfs verschillende rassen. Hiermee zou het mogelijk worden om reeds voor de oogst partijen aardappelen aan de hand van hun voorspelde bakkleur al of niet te bestemmen voor bewaring, resp. te bestemmen voor korte dan wel lange bewaring en eventueel het bewaarregime af te stemmen op de verwachte gevoeligheid voor koudeverzoeting (Hertog et al., 1997b).

Naast de invloed van het oogsttijdstip zijn er andere teeltmaatregelen die de potentiële bakkleur beïnvloeden. Van een hoge stikstofbemesting wordt in de literatuur overwegend vermeld dat de bakkleur daarvan donkerder wordt (Hope et al., 1960; Moll, 1967; Voogd, 1963), hoewel soms ook het omgekeerde wordt vermeld (Swinarski & Ladenberger, 1970). Door een hoge stikstofbemesting sterft evenwel ook het gewas later af. Bekend is dat naarmate het loof op het moment van loofdoding minder ver is afgestorven, de kans op een minder goede bakkleur groter is (Van Loon & Hotsma, 1988). Beukema & Van der Zaag (1990) stelden dat een negatief effect van stikstof op de bakkleur alleen aanwezig is wanneer de hogere stikstofbemesting er voor zorgt dat gewas en knollen onrijp zijn op het moment van oogst. Wat zij daarbij exact onder onrijp verstaan vermelden zij echter niet. Het is dus niet geheel duidelijk of het effect van stikstof werkt via effecten op het groeipatroon van het gewas (latere knolaanleg, latere knolgroei en latere afsterving van het loof), met een invloed op de fysiologische leeftijd van de knollen op het moment van loofdoding, of dat er wellicht ook een direct effect van stikstof op de bakkleur is. Daarom werd niet alleen onderzocht of met behulp van eerdergenoemde suikerbepalingen het effect van stikstof op de latere bakkleur kan worden herkend, maar ook in hoeverre de mate van afsterving van het gewas op het moment van loofdoding voorspellend is voor de latere bakkleur.

Vanuit de praktijk is wel gesuggereerd dat er een verband zou bestaan tussen het nitraatgehalte van de knollen en hun bakkleur. Een oorzakelijk verband ligt niet voor de hand, aangezien nitraat geen directe rol speelt in de chemische en enzymatische processen die de bakkleur bepalen. Daar de stikstofbemesting invloed heeft op zowel de bakkleur als het nitraatgehalte, is het wel mogelijk dat er een correlatief verband tussen bakkleur en nitraatgehalte optreedt. In twee jaren werden de nitraatgehalten van de knollen bepaald waardoor het mogelijk was de correlatie met de bakkleur vast te stellen. Ook wordt in de praktijk beweerd dat er een directe relatie bestaat tussen het

drogestofgehalte van partijen en hun bakkleur. Ook voor deze eigenschap is onderzocht in hoeverre ze bruikbaar is voor de voorspelling van de latere bakkleur.

Materiaal en methoden

Experimenten

In de jaren 1989, 1990 en 1992 werden met de rassen Bintje en Morene experimenten gedaan op het Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (locatie PAGV, kleigrond 25 à 35 % afslibbaar) en op regionaal onderzoekscentrum De Kandelaar (locatie KL, kleigrond 45 à 55 % afslibbaar). Het ras Bintje wordt met een vroegrijpheidscijfer 6,5 in de Nederlandse rassenlijst als aanzienlijk vroegrijper aangemerkt dan het ras Morene met een cijfer 4 (Ebskamp & Bonthuis, 1997). De indeling vindt plaats op een schaal van 1 (laat) tot 9 (vroeg). In de proeven werden 5 stikstofgiften toegepast. Op locatie PAGV waren dat resp. 0, 100, 200, 300 en 400 kg N·ha⁻¹. Op locatie Kandelaar waren de niveaus resp. 0, 50, 150, 250 en 350 kg N·ha⁻¹. In 1989 werd de 0 N-gift niet aangelegd voor het ras Morene. De experimenten werden in viervoud aangelegd. De pootdata waren voor resp. de jaren 1989, 1990 en 1992 op locatie PAGV 1 mei, 9 april en 7 mei. Op locatie KL was dat resp. 10 mei, 9 april en 6 mei.

Na opkomst van de aardappelen werd tot het moment van loofdoding wekelijks het percentage grondbedekking met groen loof geschat met behulp van een raster van 75 * 100 centimeter, verdeeld in 100 vakken. In de proeven werden periodiek knollen geoogst. In de jaren 1989 en 1990 gebeurde dat op 4 en 2 weken voor loofdoding, op het moment van loofdoding en twee weken na loofdoding. In 1992 werd eerder gestart met oogsten en vond de eerste oogst plaats 6 weken voor loofdoding. De loofdoding werd chemisch uitgevoerd met het middel Reglone (actieve stof: diquat). De data van loofdoding waren voor resp. de jaren 1989, 1990 en 1992 op locatie PAGV 30 augustus, 21 augustus en 27 augustus. Op locatie KL was dat resp. 21 september, 29 augustus en 3 september. De eindoogst vond op locatie PAGV plaats op resp. 18, 6 en 23 september, op locatie KL op resp. 5 oktober, 18 en 28 september.

Van de knollen werd bepaald: onderwatergewicht, drogestofgehalte, sucrose-, glucose-, fructose- en nitraatgehalte. Op het moment van loofdoding en van de eindoogst werden monsters van de maat 50/70 mm genomen voor bepaling van de bakkleur-index die plaatsvond in de maanden december en april daar op volgend.

De monsters werden na een geleidelijke afkoeling vanaf begin december bij een temperatuur van 5 à 6 °C bewaard in buitenluchtgekoelde proefcellen van proefboerderij De Eest van ATO-DLO te Nagele.

Bepaling van het onderwatergewicht

Het onderwatergewicht werd vastgesteld aan de monsters vlak voordat ze zoals hierboven beschreven werden verwerkt voor de suikerbepalingen. Voor een beschrijving van de bepaling wordt verwezen naar "Materiaal en methoden" in Hoofdstuk 2.

Bepaling van het drogestofgehalte

Na het snijden van het materiaal voor de suikerbepalingen werd het restant van de monsters versneden in een cutter. Hieruit werd een submonster van 350 à 400 gram vers materiaal genomen, hetgeen werd gewogen, 24 uur gedroogd bij 105 °C en teruggewogen, waarna het drogestofgehalte kon worden berekend.

Bepaling van het sucrose-, glucose- en fructosegehalte

Per monster werd van 25 knollen van top naar navel een part van ± 4 gram uitgesneden, zodat per monster ± 100 gram vers materiaal werd verkregen. Dit materiaal werd direct na het snijden bevroren in vloeibare stikstof, gesealed in plastic en diepgevroren opgeslagen (-25 °C). Enkele maanden later werd het materiaal gevriesdroogd. Voor de bepaling van de gehalten aan sucrose, glucose en fructose werden de monsters vermalen tot een homogeen poeder. De suikers werden vervolgens met water uit de monsters geëxtraheerd. Daarna werden de suikers in de monsters vloeistofchromatografisch gescheiden over een aminopropylgemodificeerde silicakolom. De gehalten aan de verschillende suikers werden gekwantificeerd aan de hand van ijklijnen van deze suikers op basis van een standaard erythritol.

Bepaling van het nitraatgehalte

Voor de gevolgde procedure wordt verwezen naar de sectie “Materiaal en methoden” in Hoofdstuk 4.

Bepaling van de bakkleur

Voor de gevolgde procedure wordt verwezen naar de sectie “Materiaal en methoden” in Hoofdstuk 9.

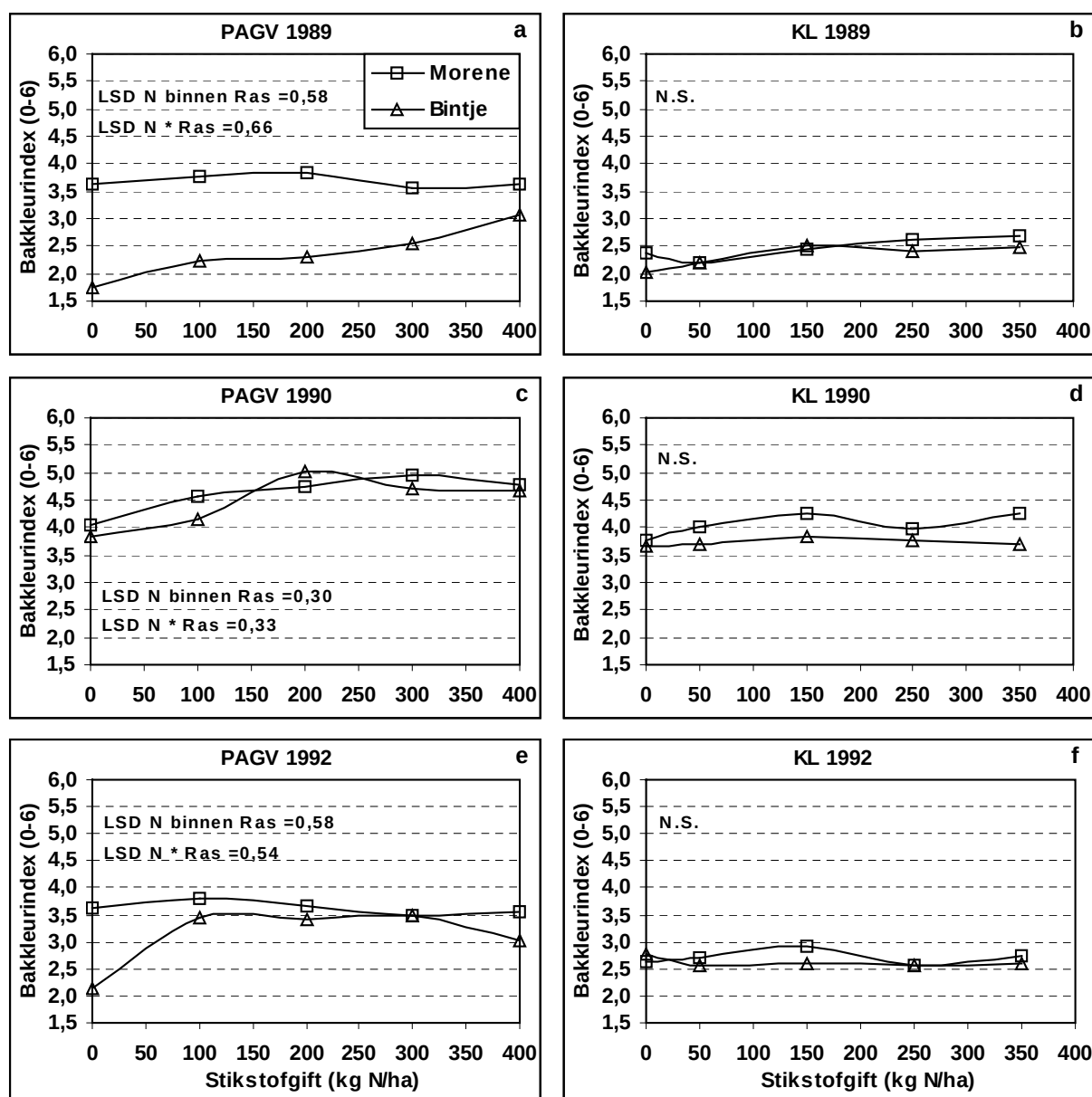
Resultaten

Bakkleur

De bakkleurindex werd in de meerderheid van de gevallen verhoogd door een hogere stikstofgift (Figuur 10.1). De bakkleur vertoonde bij het ras Morene een minder sterke respons op stikstof dan bij het ras Bintje. Dit was echter afhankelijk van de locatie: de sterkere respons van het ras Bintje werd vooral aangetroffen op locatie PAGV.

Interactie tussen ras, locatie en stikstof trad op in 1989; op locatie KL was de bakkleur en de respons ervan op stikstof van de twee rassen vergelijkbaar, terwijl het ras Morene op locatie PAGV weliswaar een hogere index had dan het ras Bintje, maar de index werd bij Morene niet door stikstof beïnvloed.

Interactie tussen jaar, ras en stikstof wordt geïllustreerd door de drie verschillende jaren op locatie PAGV. De bakkleurindex van Morene werd in 1989 en 1992 verlaagd door een hogere stikstofgift, terwijl bij Bintje de index werd verhoogd, in 1990 werd de index bij beide rassen verhoogd. Ook werd de bakkleurindex van Bintje op locatie KL in 1992 licht verlaagd terwijl ze in 1989 werd verhoogd.



Figuur 10.1 Respons van de bakkleurindex in april op de stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) bij de rassen Bintje en Morene op twee locaties in drie jaren.

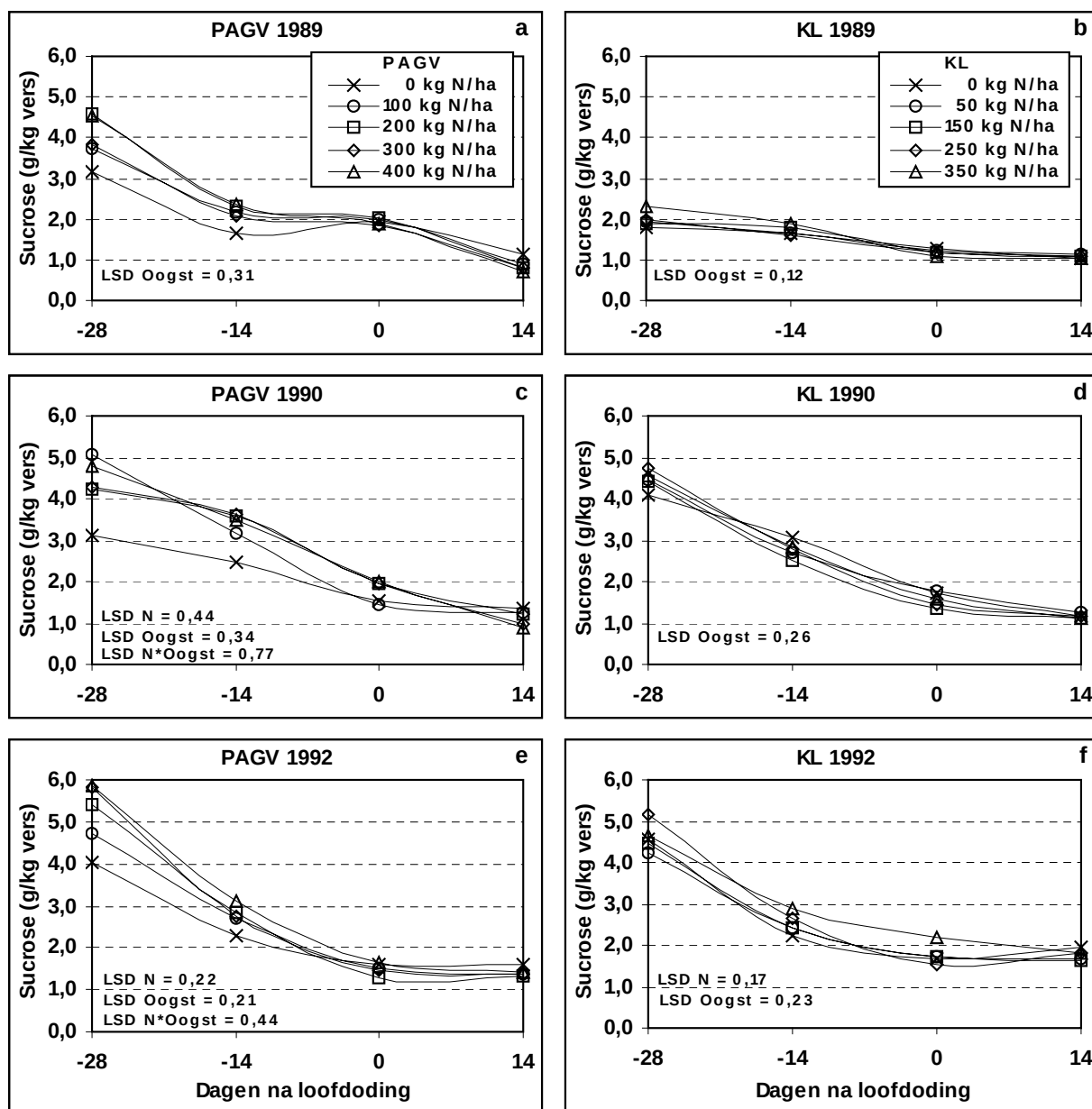
Relatie tussen bakkleur en sucrosegehalte

In vrijwel alle experimenten nam het sucrosegehalte in de laatste vier weken voor loofdoding af. De mate waarin dit plaatsvond, was afhankelijk van ras, stikstofgift, locatie en jaar (Figuren 10.2 en 10.3). De combinatie van deze factoren leidde bij het ras Morene tot andere gehalten en veranderingen dan bij het ras Bintje. Tussen het moment van loofdoding en oogst nam het gehalte meestal af of bleef gelijk, alleen bij Morene op locatie KL in 1989 en in 1992 op locatie PAGV werd een stijging waargenomen. Bij de eind oogst was op locatie PAGV in 1989 en 1992 het sucrosegehalte van Bintje lager dan dat van Morene. De gehalten bij eind oogst waren in 1992 hoger dan in de andere twee jaren.

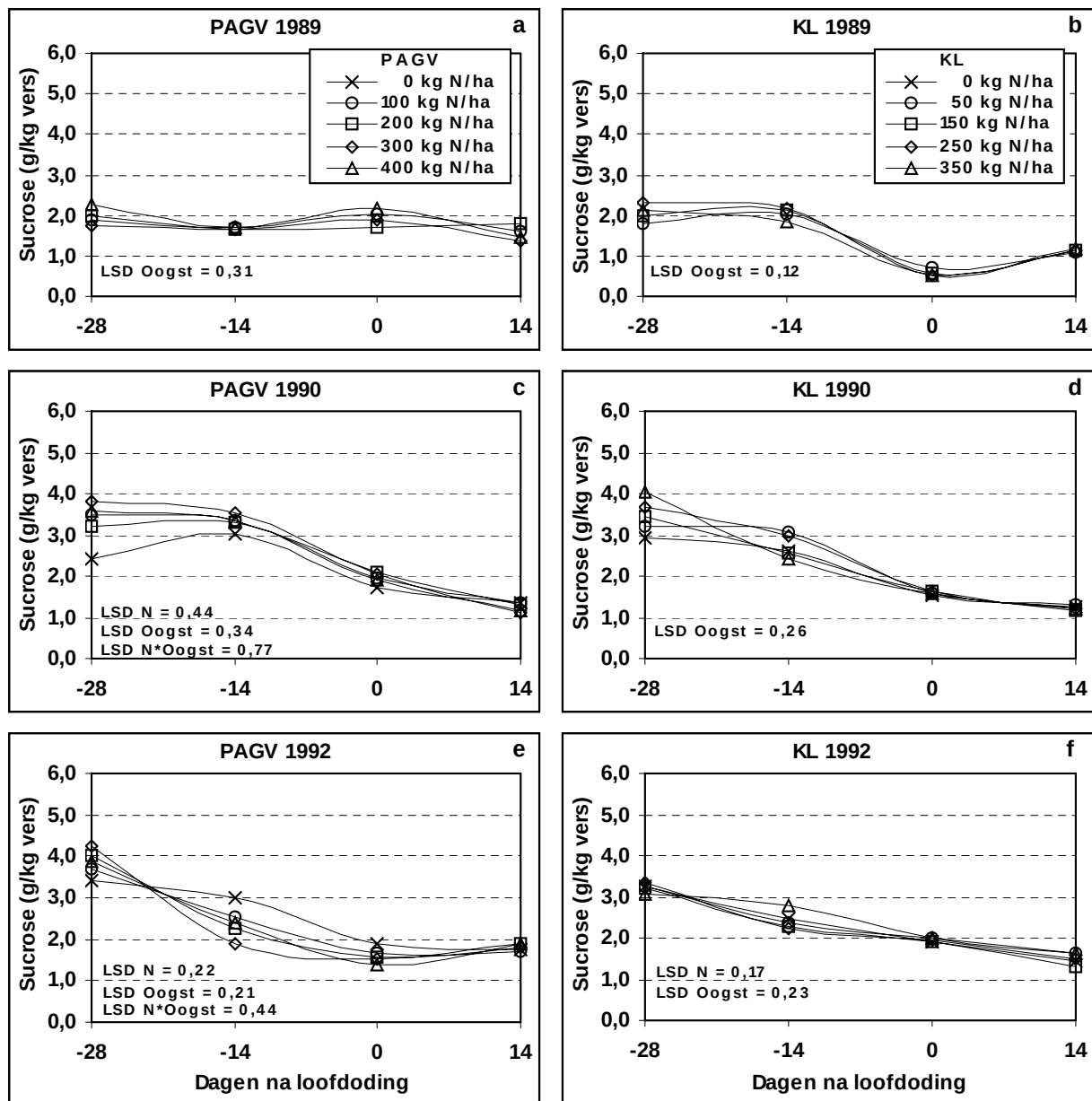
Vier weken voor loofdoding waren duidelijke effecten van ras, jaar, locatie en stikstofbemesting op het sucrosegehalte waarneembaar. Er was interactie tussen rassen, stikstofgift, locatie en jaar. In de meeste proeven was het sucrosegehalte van Morene lager dan dat van Bintje. In alle drie de jaren was het sucrosegehalte op locatie PAGV hoger dan op locatie KL. Bij Bintje werd met name op locatie PAGV het sucrosegehalte verhoogd door een hogere stikstofgift. Deze effecten waren bij de eind oogst grotendeels verdwenen en voor het ras Bintje op locatie PAGV zelfs licht omgekeerd (niet weergegeven). Figuren 10.4 en 10.5 (droog resp. vers) laten zien dat de effecten van ras, jaar, locatie, stikstof (en hun interacties) op het sucrosegehalte vier weken voor loofdoding niet gepaard gingen met vergelijkbare effecten van deze factoren op de latere bakkleur. Hetzelfde was het geval voor de effecten van genoemde factoren op het sucrosegehalte op het moment van de oogst (Figuren 10.6 en 10.7).

Relatie tussen bakkleur en gehalte aan reducerende suikers

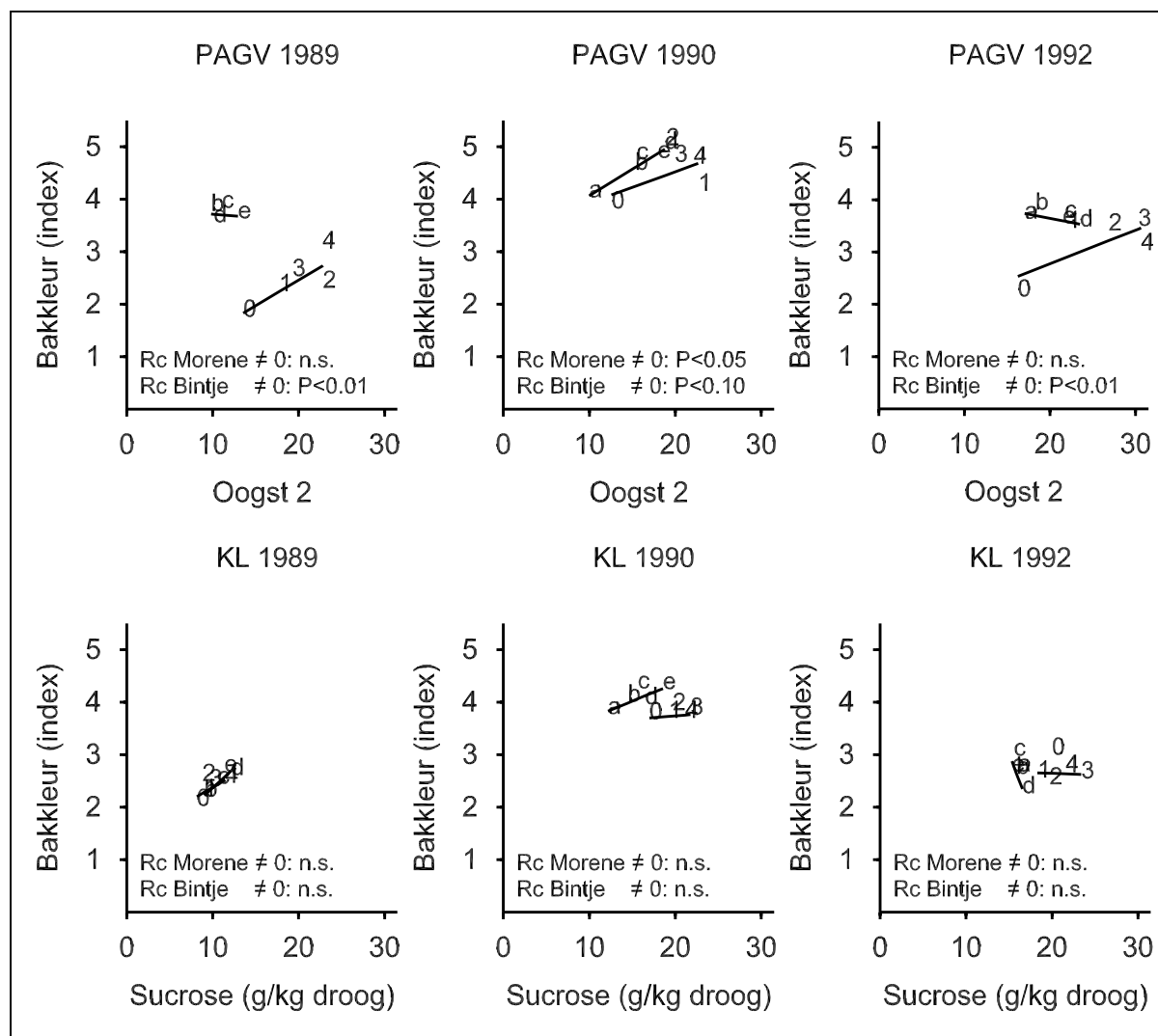
Alleen bij de oogsten vier en twee weken voor loofdoding werden in een aantal gevallen zeer lage gehalten glucose en fructose aangetroffen. De gehalten waren in te veel gevallen niet meetbaar om een relatie tussen glucose of fructose met andere parameters vast te stellen (data niet weergegeven).



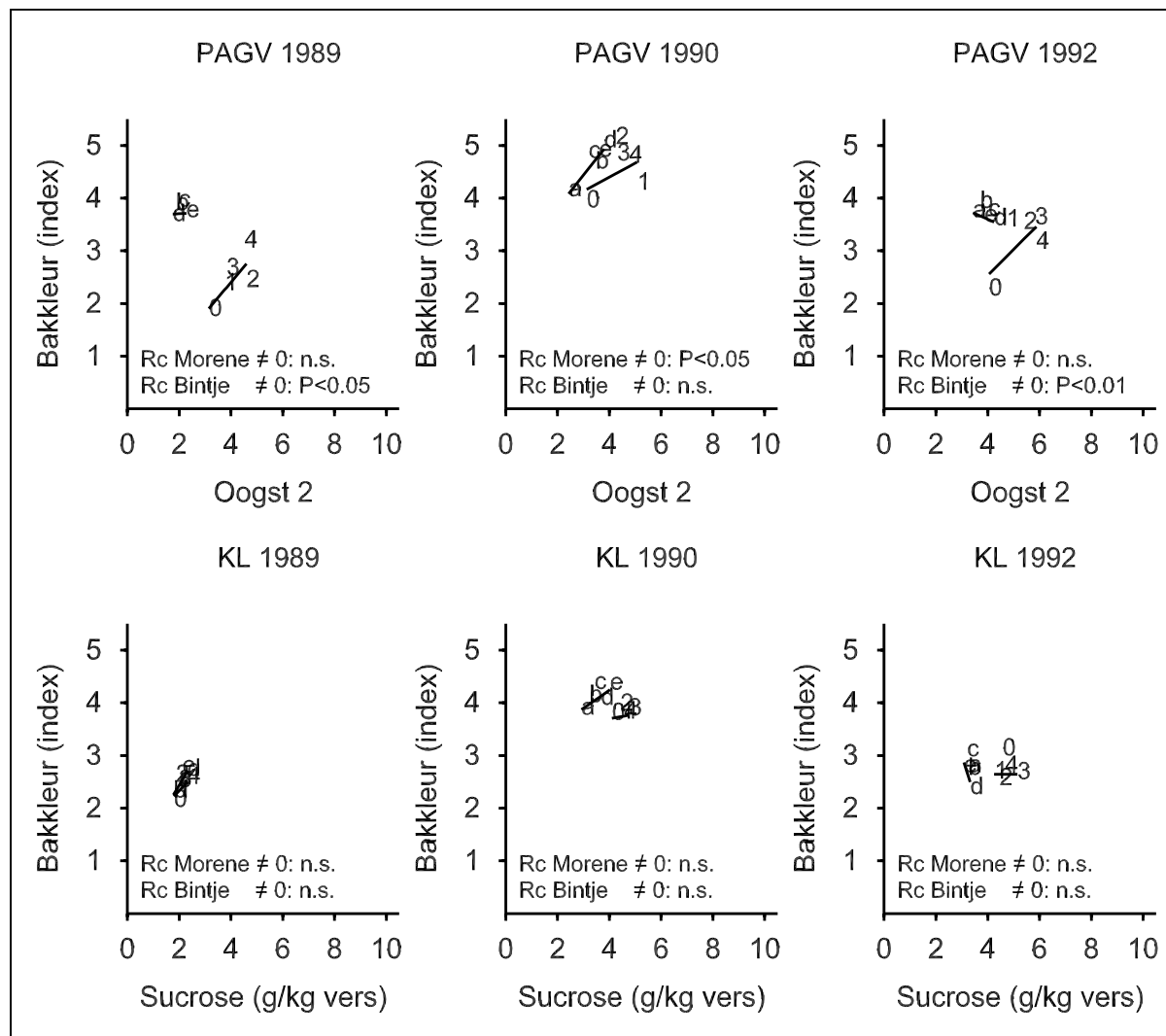
Figuur 10.2 Invloed van de stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) op het verloop van het sucrosegehalte ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) van vier weken voor loofddoding (-28) tot aan de oogst (+14) bij het ras Bintje op twee locaties in drie jaren.



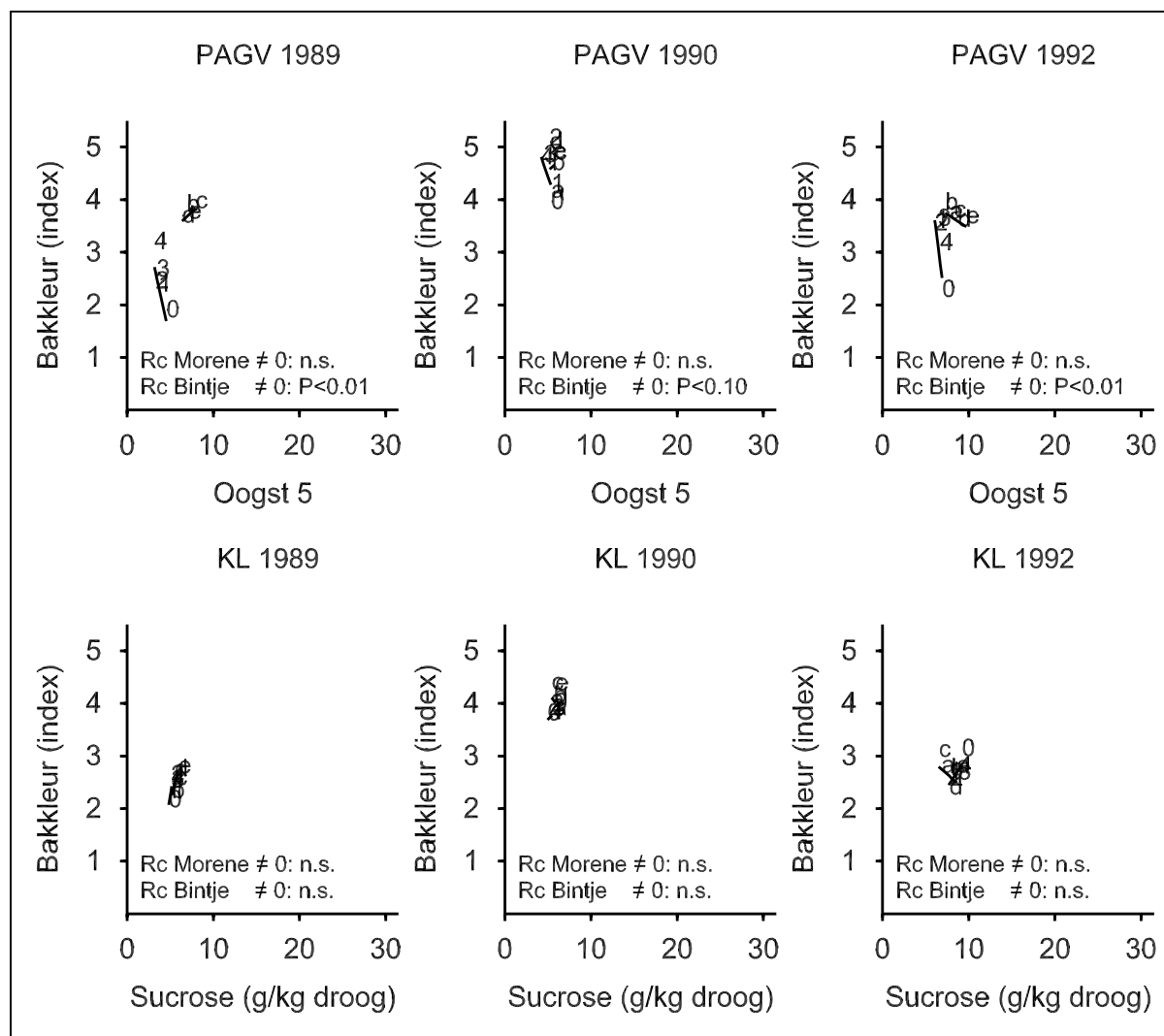
Figuur 10.3 Invloed van de stikstofgift ($\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) op het verloop van het sucrosegehalte ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) van vier weken voor loofddoding (-28) tot aan de oogst (+14) bij het ras Morene op twee locaties in drie jaren.



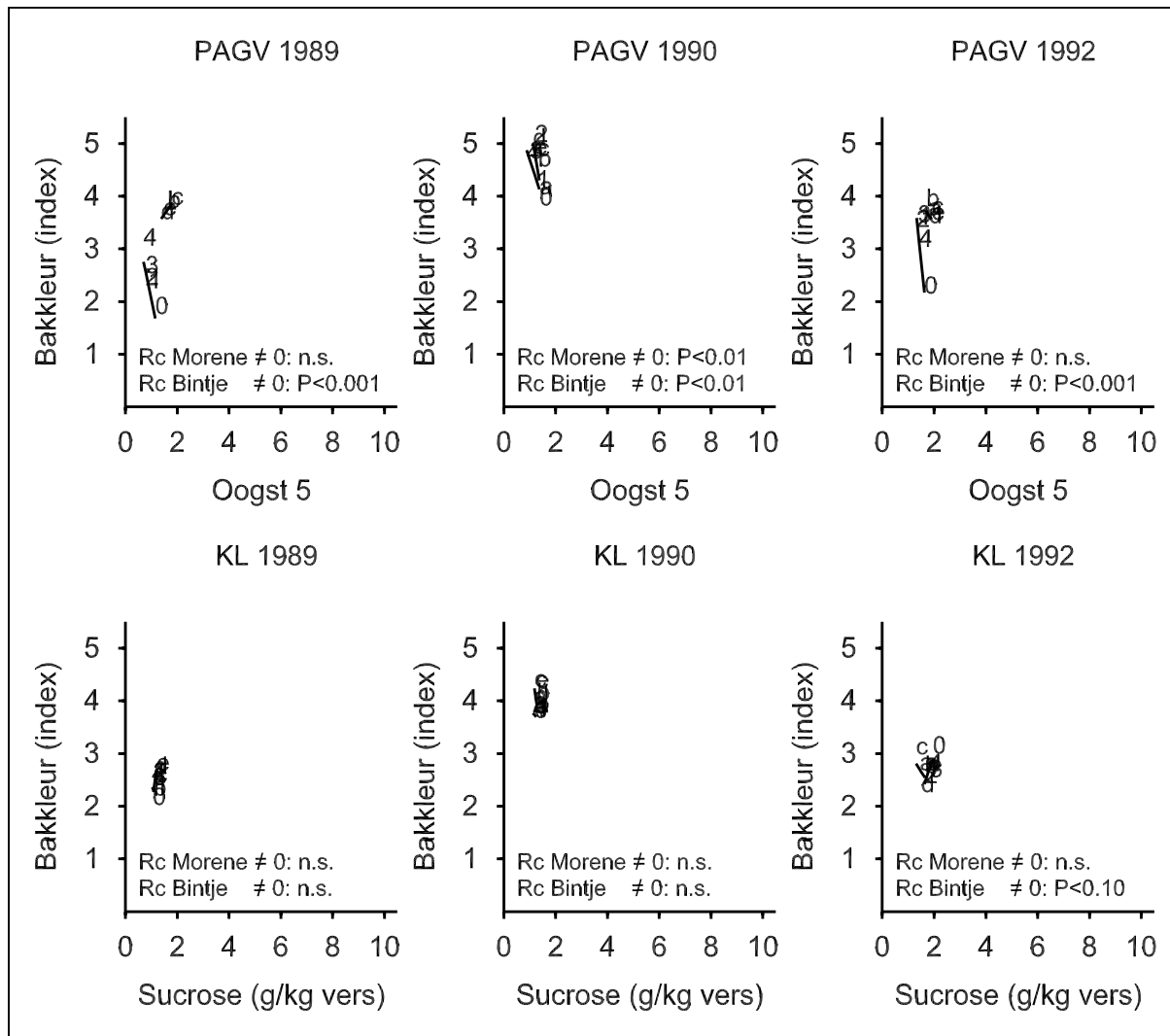
Figuur 10.4 De relatie tussen de bakkleurindex in april en het sucrosegehalte ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ droog) vier weken voor loofdoding, afhankelijk van de stikstofgift bij de rassen Bintje (0-5; 0-400 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) en Morene (a-e; 0-400 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) op twee locaties in drie jaren.



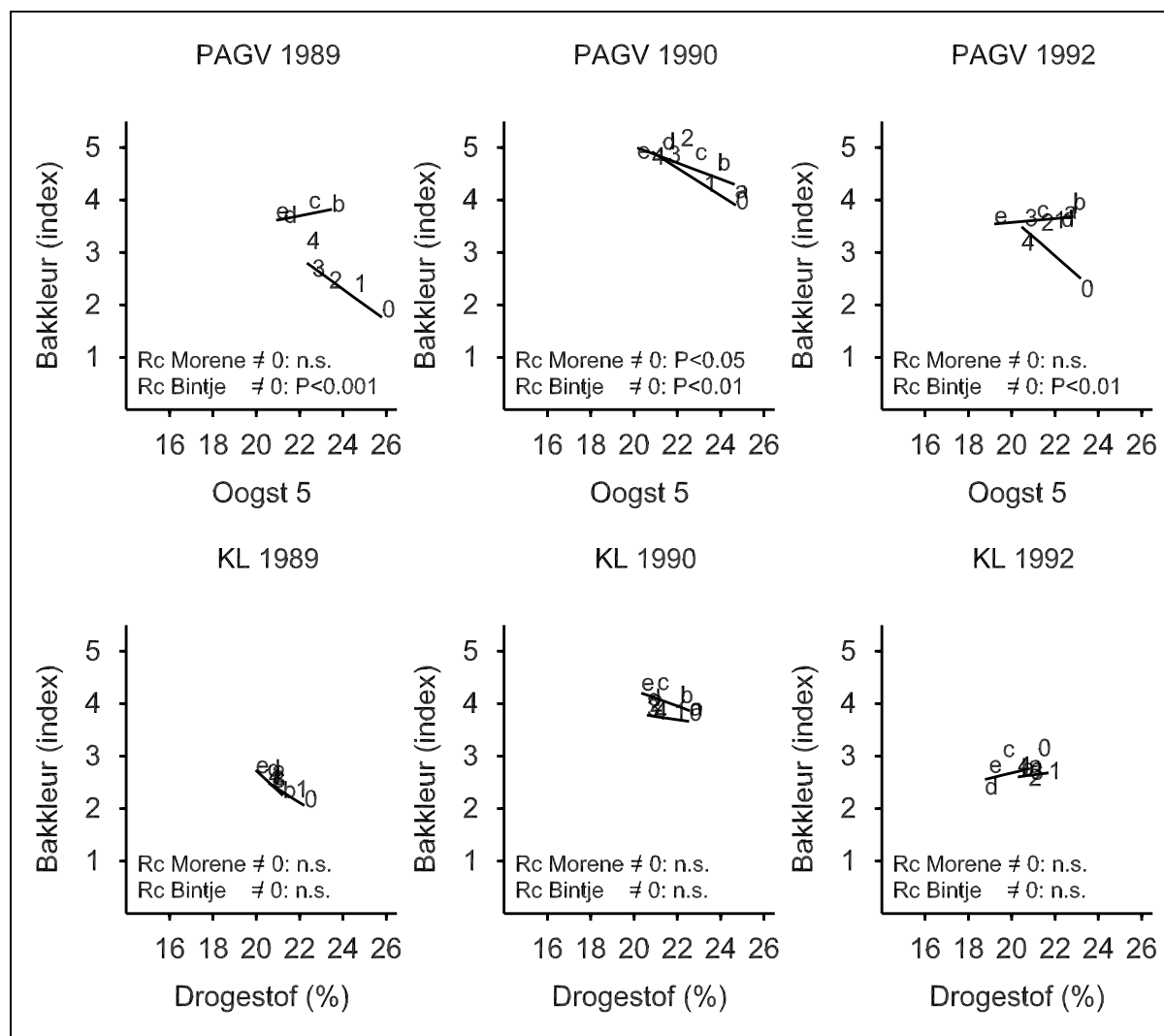
Figuur 10.5 De relatie tussen de bakkleurindex in april en het sucrosegehalte ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ vers) vier weken voor loofddoding, afhankelijk van de stikstofgift bij de rassen Bintje (0-5; 0-400 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) en Morene (a-e; 0-400 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) op twee locaties in drie jaren.



Figuur 10.6 De relatie tussen de bakleurindex in april en het sucrosegehalte ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ droog) op het moment van de eind oogst, afhankelijk van de stikstofgift bij de rassen Bintje (0-5; 0-400 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) en Morene (a-e; 0-400 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) op twee locaties in drie jaren.



Figuur 10.7 De relatie tussen de bakkleurindex in april en het sucrosegehalte ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ vers) op het moment van de eindoogst, afhankelijk van de stikstofgift bij de rassen Bintje (0-5; 0-400 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) en Morene (a-e; 0-400 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) op twee locaties in drie jaren.



Figuur 10.8 De relatie tussen de bakkeurindex in april en het drogestofgehalte (%) op het moment van de eind oogst, afhankelijk van de stikstofgift bij de rassen Bintje (0-5; 0-400 kg N·ha⁻¹) en Morene (a-e; 0-400 kg N·ha⁻¹) op twee locaties in drie jaren.

Relatie tussen bakkleur en drogestofgehalte

Het drogestofgehalte van het ras Morene was zowel vier weken voor loofdoding (niet weergegeven) als op het moment van oogst (Figuur 10.8) in de meeste gevallen lager dan dat van het ras Bintje. Richting en omvang van de respons van het drogestofgehalte op stikstofbemesting waren op beide oogsttijdstippen vergelijkbaar voor beide rassen. Vier weken voor loofdoding waren in 1989 en 1992 de drogestofgehaltes op locatie KL hoger dan op locatie PAGV, twee weken na loofdoding waren de gehalten - vooral bij lage stikstofgiften - hoger op locatie PAGV (Figuur 10.8). De stikstofrespons was groter op locatie PAGV dan op locatie KL, maar veranderde tussen de twee tijdstippen niet qua aard en omvang. Voor een volledig beeld van het verloop van het drogestofgehalte over de oogsttijdstippen wordt verwezen naar Hoofdstuk 3.

Met name bij het ras Bintje ging op locatie PAGV de respons van het drogestofgehalte op stikstof gepaard met een overeenkomstige respons van de bakkleur op stikstof. Bij het ras Morene was dat alleen in 1990 het geval. Op locatie KL was zowel de respons van het drogestofgehalte op stikstof als de respons van de bakkleur op stikstof geringer dan op locatie PAGV.

Er was zowel interactie tussen ras, locatie en stikstofgift, als tussen ras, jaar en stikstofgift. De effecten van ras, jaar, locatie en stikstof (en hun interacties) op enerzijds de bakkleur en anderzijds het drogestofgehalte kwamen zowel ruim voor als op het moment van oogst niet overeen.

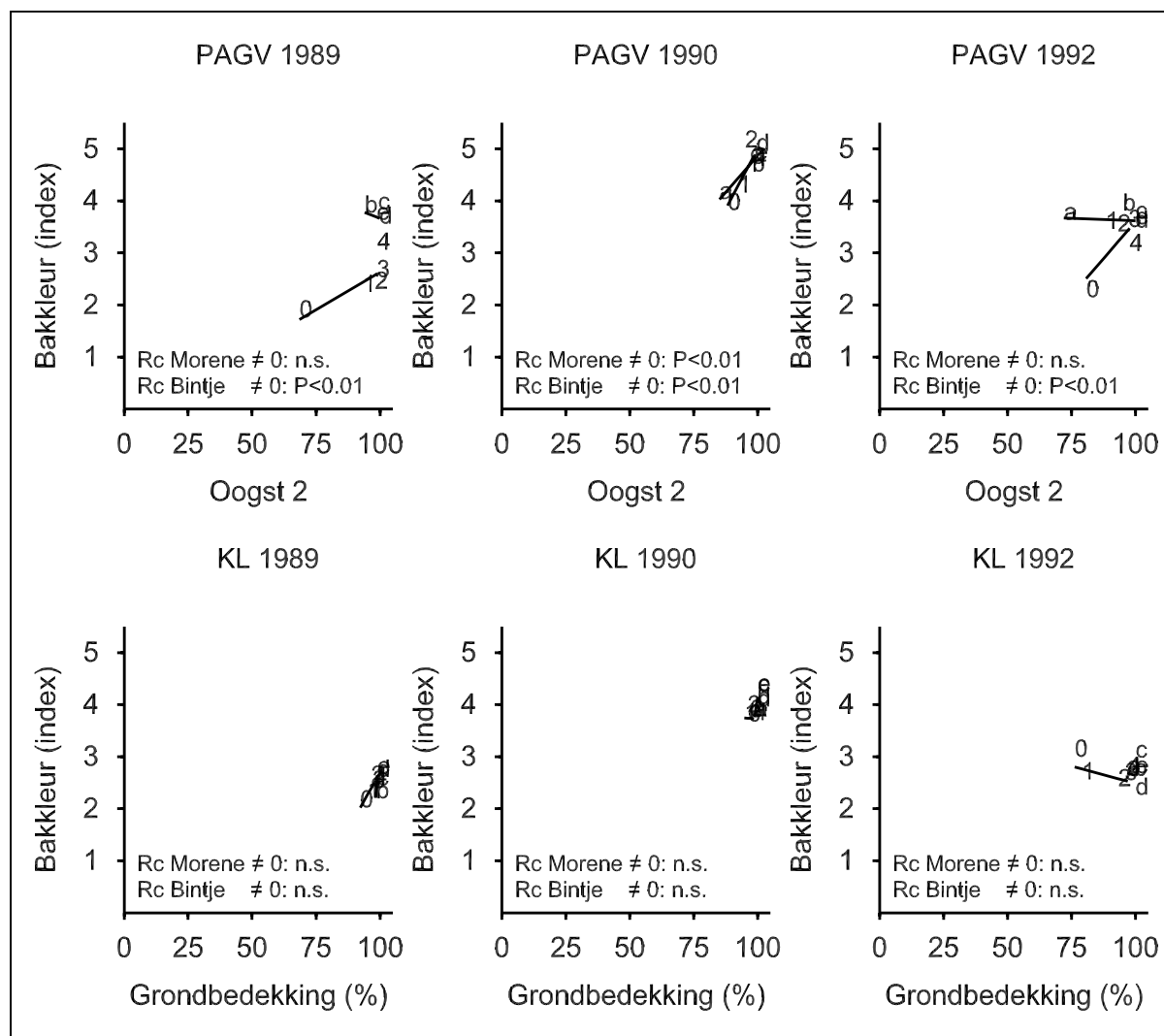
Relatie tussen bakkleur en grondbedekking met groen loof

Vier weken voor het moment van loofdoding hadden alleen de laagste stikstofgiften een grondbedekking die duidelijk lager was dan 100 %. Daar de hogere giften allemaal een bedekking van 90 à 100 % gaven, liet deze bepaling weinig effect zien van ras, locatie, jaar en stikstof (Figuur 10.9).

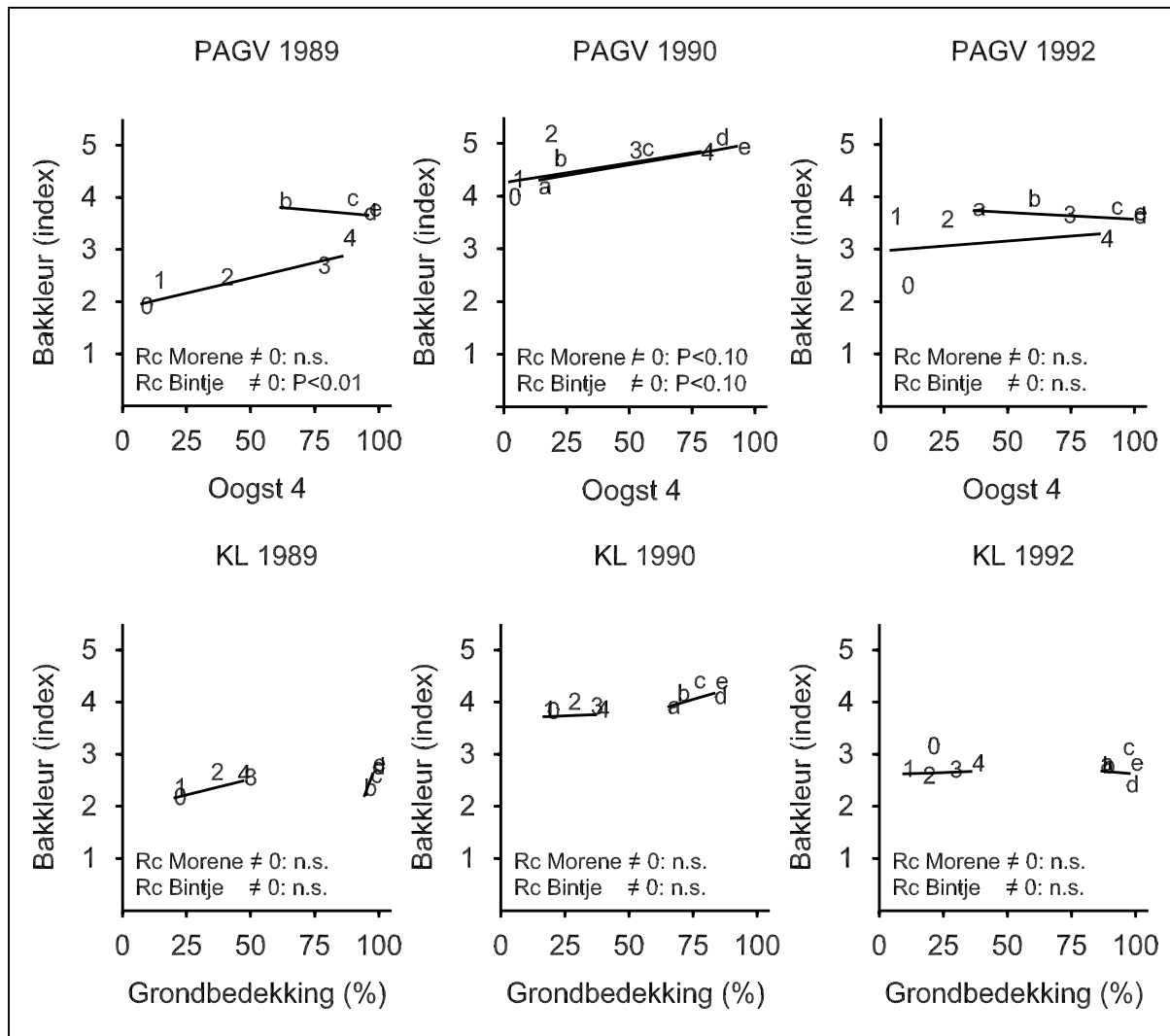
De bepaling op het moment van loofdoding gaf veel duidelijker effecten (Figuur 10.10). In de meeste gevallen ging een hogere stikstofgift gepaard met een hoger percentage grondbedekking op het moment van loofdoding en een minder goede bakkleur. Alleen bij Morene in 1989 en 1992 op locatie PAGV vertoonde de bakkleur geen respons op een toenemende stikstofbemesting. Op locatie PAGV veroorzaakte een hoge stikstofgift in veel sterkere mate een hogere grondbedekking dan op locatie KL.

Het volledige verloop van de grondbedekking over de waarnemingstijdstippen is beschreven in Hoofdstuk 3.

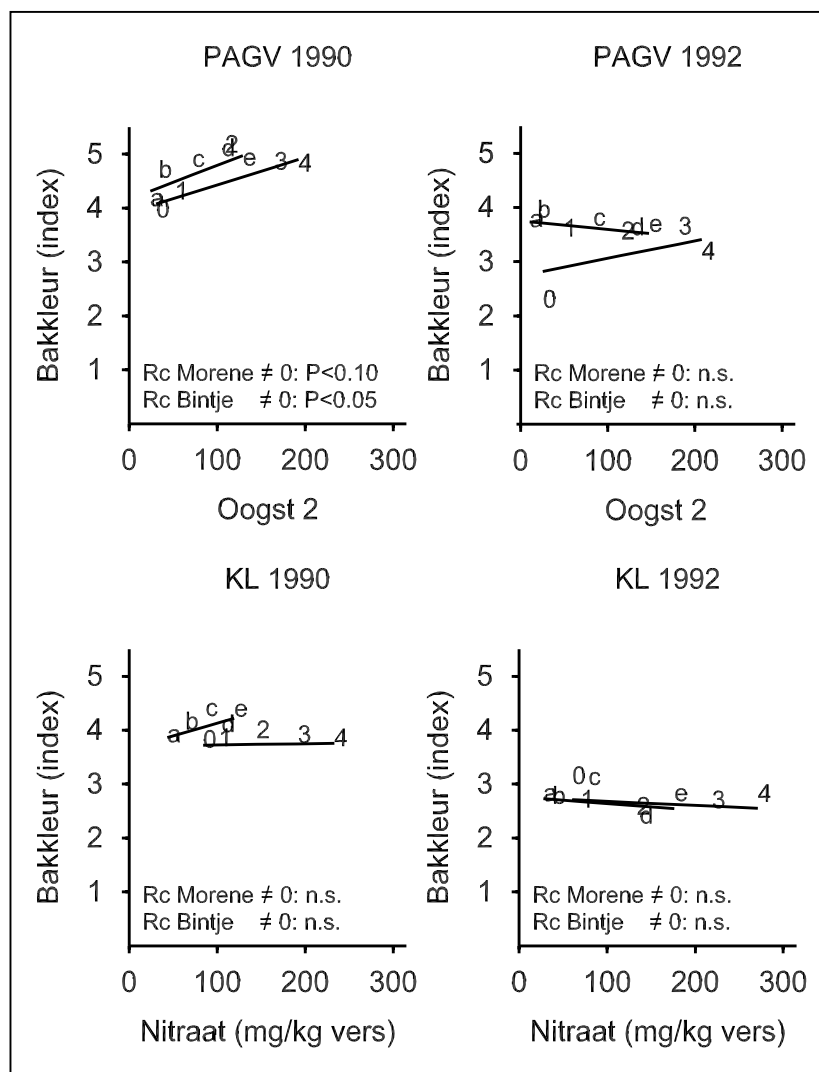
Het verschil in bakkleur tussen de locaties kwam niet consistent overeen met het verschil in grondbedekking op het moment van loofdoding. Zo was de grondbedekking van het ras Morene in 1989 op locatie KL bij loofdoding hoger dan op locatie PAGV, terwijl de bakkleur van locatie KL later beter was dan van locatie PAGV. In 1990 was bij de lage stikstofgiften bij Bintje ondanks lagere grondbedekking de latere bakkleur slechter dan op locatie KL. Op locatie KL was er ondanks een groot verschil in grondbedekking tussen de rassen geen groot verschil in bakkleur.



Figuur 10.9 De relatie tussen de bakkeurindex in april en het percentage grondbedekking met groen loof vier weken voor loofddoding, afhankelijk van de stikstofgift bij de rassen Bintje (0-5; 0-400 kg N·ha⁻¹) en Morene (a-e; 0-400 kg N·ha⁻¹) op twee locaties in drie jaren.



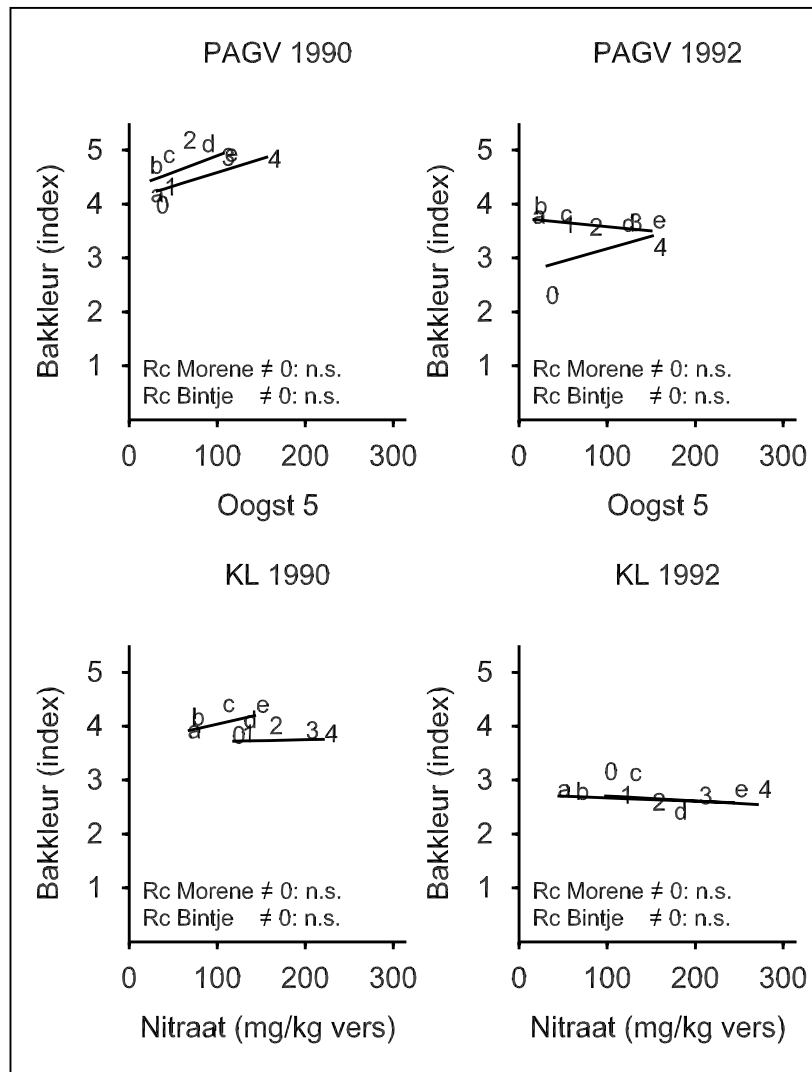
Figuur 10.10 De relatie tussen de bakkleurindex in april en het percentage grondbedekking met groen loof op het moment van loofdoding, afhankelijk van de stikstofgift bij de rassen Bintje (0-5; 0-400 kg N·ha⁻¹) en Morene (a-e; 0-400 kg N·ha⁻¹) op twee locaties in drie jaren.



Figuur 10.11 De relatie tussen de bakkeurindex in april en het nitraatgehalte van de knollen ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ vers) vier weken voor loofdoding, afhankelijk van de stikstofgift bij de rassen Bintje (0-5; 0-400 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) en Morene (a-e; 0-400 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) op twee locaties in twee jaren.

Relatie tussen bakkeur en nitraatgehalte

Het nitraatgehalte van de knollen van het ras Bintje was in het algemeen wat hoger dan van het ras Morene. In 1990 vertoonde het gehalte van Bintje een sterkere respons op stikstof dan van Morene. De effecten van ras, stikstof, locatie en jaar waren twee weken na loofdoding (Figuur 10.12) slechts in geringe mate veranderd ten opzichte van vier weken voor loofdoding (Figuur 10.11). Het verloop van het nitraatgehalte over de oogsttijdstippen is volledig beschreven in Hoofdstuk 5.



Figuur 10.12 De relatie tussen de bakkleurindex in april en het nitraatgehalte van de knollen ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ vers) op het moment van de eind oogst, afhankelijk van de stikstofgift bij de rassen Bintje (0-5; 0-400 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) en Morene (a-e; 0-400 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) op twee locaties in twee jaren.

In alle proeven nam bij beide rassen het nitraatgehalte toe met een hogere stikstofbemesting. Dit effect was veel sterker dan het effect op de bakkleur. De effecten van ras, locatie en jaar op het nitraatgehalte vertoonden geen relatie met de respectievelijke effecten op de bakkleur.

Invloed van bewaarduur op de bakkleur

In de meeste gevallen was de bakkleur in april beter dan in december (Tabel 10.1). De verlaging van de index van het ras Morene van herkomst KL in 1989 is het meest opvallend, naast de verslechtering van Bintje van herkomst PAGV in 1990. De interactie tussen locatie en jaar was significant ($P < 0,01$), evenals interactie van ras met locatie en

jaar ($P < 0,001$). De verandering in bakkleur vertoonde geen duidelijke relatie met de bakkleur in december.

Tabel 10.1 Bakkleurindex in december en de verandering tussen december en april (index 0-6) in drie jaren op twee locaties, gemiddelden van vijf stikstofniveaus.

Ras	Jaar	Locatie	Bakkleurindex december		Verandering bakkleurindex april	
			PAGV	KL	PAGV	KL
Bintje	1989		2,73	2,77	-0,35	-0,45
	1990		3,99	4,06	0,49	-0,32
	1992		3,30	3,27	-0,19	-0,66
Morene	1989		4,02	4,11	-0,37	-1,70
	1990		4,70	4,45	-0,07	-0,40
	1992		3,65	3,31	-0,02	-0,61

Discussie

Relatie tussen bakkleur en sucrosegehalte

De afname van het sucrosegehalte van de knollen in de loop van het groeiseizoen (Figuren 10.2 en 10.3) stemt overeen met waarnemingen van andere auteurs (Appleman & Miller; 1926; Burton, 1989; Iritani & Weller, 1977; Merlo et al., 1993; Miller et al., 1975). Een dergelijk verloop van deze gehalten tijdens het groeiseizoen is - behoudens extreme omstandigheden zoals droogte (Burton, 1989) - kennelijk universeel voor het gewas aardappelen. Sowokinos (1978) noemt een gehalte van minder dan 2,8 gram sucrose per kilogram versgewicht als een indicator voor een goede bakkleur gedurende lange bewaring. In alle experimenten van het hier beschreven onderzoek waren de sucrosegehalten op de momenten van loofdoding en eind oogst gedaald tot waarden onder deze grens. Volgens dit criterium zouden alle objecten geschikt geweest moeten zijn voor lange bewaring. Niet alleen traden er echter grote verschillen in bakkleur op, een deel van de objecten gaf een bakkleur die zeer onvoldoende was.

Het verschil in bakkleur tussen de rassen Bintje en Morene bleek over locaties en jaren niet gepaard te gaan met een consistent verschil in sucrosegehalte van de knollen, (Figuren 10.4 en 10.5). Het door Sowokinos (1978) gehanteerde criterium van 2,8 gram per kilogram vers bleek in dit onderzoek dan ook niet bruikbaar te zijn voor het onderscheid tussen de rassen.

Rasverschillen in bakkleur zijn over locaties en jaren heen behoorlijk consistent en dus op basis van ervaring redelijk voorspelbaar (Van Es & Hartmans, 1987). Het vinden van een voorspellende parameter was belangrijker om de invloed van verschillen in groeiomstandigheden tussen jaren, maar met name ook in één jaar de verschillen tussen herkomsten te kunnen voorspellen, dan om rasverschillen te kunnen voorspellen.

De respons van het sucrosegehalte vier weken voor loofdoding op stikstof (Figuren 10.4 en 10.5) kwam bij het ras Bintje op locatie PAGV qua richting en omvang het meest overeen met de latere respons van de bakkleur op stikstof. Echter, over rassen, locaties en jaren was er te weinig correlatie met de latere bakkleur voor het doen van een voorspelling van laatstgenoemde. Immers, daar waar geen respons van de bakkleurindex op stikstof was (Morene in 1989 en 1992 op locatie PAGV en Bintje in 1992 op locatie KL), bestond er wel degelijk een respons op stikstof van het sucrosegehalte.

Dat het sucrosegehalte niet heeft gewerkt als voorspelling van de bakkleur, ook niet voor wat betreft het rasverschil, kan te maken hebben met andere groei- en bewaaromstandigheden dan in het onderzoek van Nelson & Sowokinos (1983) en Sowokinos (1978). Zo is de in Nederland gangbare en in dit onderzoek gebruikte bewaartemperatuur van 7 °C aanzienlijk lager dan de door Nelson & Sowokinos (1983) en door Sowokinos (1978) gehanteerde bewaartemperatuur van resp. 9-10 °C en 11,7 °C.

Veelvuldig is in onderzoek gebleken dat naarmate knollen van een gewas eerder worden geoogst en onder vergelijkbare condities worden bewaard, ze tijdens de bewaring een hoger gehalte aan reducerende suikers ontwikkelen en een donkerder bakkleur zullen vertonen (Burton, 1989; Coffin et al., 1987; Hertog et al., 1997a; Iritani & Weller, 1977; Pritchard & Adam, 1992; Van Es & Hartmans, 1987). Miller et al. (1975) troffen een optimum aan: bij later oogsten werd de bakkleur in eerste instantie beter, na een optimum werd ze weer slechter. De auteurs schreven dit toe aan het optreden van koel en nat weer aan het eind van het groeiseizoen. Burton (1989) en Iritani & Weller (1977) vonden dat knollen die op het moment van oogst het laagste sucrosegehalte hadden bereikt, de beste bakkleur vertoonden. Het dalen van het sucrosegehalte viel samen met de afsterving van het loof en het tot stilstand komen van de assimilatie. In het hier beschreven onderzoek had de afsterving van het loof geen duidelijke relatie met de latere bakkleur en ook niet met het al of niet bereiken van een laag sucrosegehalte. Vergelijking van de Figuren 10.6 en 10.7 met Figuur 10.10 illustreren dat bij het ras Morene het sucrosegehalte laag kan zijn zonder vergaande afsterving van het loof.

Het bereiken van het laagste sucrosegehalte is volgens Burton (1989) en Iritani & Weller (1977) een maat voor het voor bakkleur optimale oogstmoment. Afgezien van de bewerkelijkheid van sucrosebepalingen geeft dit het praktische probleem dat het minimum pas kan worden waargenomen wanneer het reeds is gepasseerd. Men zou het optimum ook kunnen formuleren als “het moment waarop het sucrosegehalte niet langer daalt”. Ook dit laatste criterium is echter niet bruikbaar, gezien het feit dat het sucrosegehalte ruim voor de oogst enige tijd stabiel kan zijn om vervolgens alsnog weer te dalen (Figuren 10.2 en 10.3).

Of het bereiken van het minimumgehalte aan sucrose ook in dit onderzoek de beste bakkleur heeft opgeleverd kan niet worden geconcludeerd, doordat de bakkleur niet van monsters van verschillende oogsttijdstippen werd bepaald. Uitgaande van de juistheid van de conclusie van voornoemde auteurs kan het hooguit zo zijn dat het bereikte minimum sucrosegehalte een indicatie geeft dat met het betreffende gewas de conditie is bereikt voor de best haalbare bakkleur. Het sucrosegehalte geeft immers noch een

indicatie van het absolute niveau van de latere bakkleur, noch een indicatie van de mate waarin de partij ten opzichte van andere partijen een betere of slechtere bakkleur zal hebben.

Relatie tussen bakkleur en gehalte aan reducerende suikers

Alleen vier en zes weken voor loofdoding werden in een deel van de monsters lage gehalten aan de reducerende suikers glucose en fructose aangetroffen. Echter, ook op de vroege oogsttijdstippen lagen de gehalten in teveel monsters onder de detectiegrens om een relatie te kunnen leggen met de latere bakkleur. Dat het gehalte aan reducerende suikers tijdens het laatste deel van het groeiseizoen daalde tot niet detecteerbare gehalten stemt overeen met de waarnemingen van Iritani & Weller (1977).

Relatie tussen bakkleur en drogestofgehalte

Verschillen in bakkleur tussen de rassen Bintje en Morene bleken over locaties en jaren niet gecorreleerd te zijn met de verschillen in drogestofgehalte (Figuur 10.8).

Alleen bij het ras Bintje op locatie PAGV kwam de respons van het drogestofgehalte op stikstof op het moment van de oogst (Figuur 10.8) qua richting en omvang overeen met de latere respons van de bakkleur op stikstof. Over rassen, locaties en jaren was de correlatie met de latere bakkleur evenwel te zwak voor het doen van een voorspelling van de bakkleur. Immers, net als bij het sucrosegehalte was er in een aantal gevallen geen respons van de bakkleurindex op stikstof (Morene in 1989 en 1992 op locatie PAGV en Bintje in 1992 op locatie KL), maar bestond er wel degelijk een respons op stikstof van het drogestofgehalte.

Relatie tussen bakkleur en grondbedekking met groen loof

Het verschil in bakkleur tussen de rassen Bintje en Morene bleek over locaties en jaren niet gepaard te gaan met een consistent verschil in grondbedekking met groen loof (Figuren 10.9 en 10.10). Een hogere stikstofbemesting gaf in alle experimenten een groener gewas op moment van loofdoding en gaf ook in de meeste gevallen een minder goede bakkleur. De respons van grondbedekking vertoonde echter geen consistente overeenkomst met de respons van de bakkleurindex. De combinatie van een grote respons van de grondbedekking in verhouding tot een geringe respons van de bakkleurindex kwam voor: PAGV 1990, maar ook het omgekeerde: Morene KL 1989 (Figuren 10.9 en 10.10). Deze gegevens bevestigen dat de in de praktijk gehanteerde vuistregel “wanneer het gewas vroeger afsterft door een lagere stikstofbemesting is de kans groot is dat de bakkleur (iets) beter zal zijn dan bij een hogere stikstofbemesting” inderdaad niet meer is dan een vuistregel die niet altijd opgaat. Gezien de geringe respons van de bakkleurindex op stikstofbemesting in het voor de praktijk relevante traject, heeft de vuistregel bovendien weinig praktische relevantie.

Relatie tussen bakkleur en nitraatgehalte

Het verschil in bakkleur tussen de rassen Bintje en Morene bleek over locaties en jaren niet samen te gaan met een consistent verschil in nitraatgehalte (Figuren 10.11 en

10.12), ook jaar- en locatieverschillen in bakkleur waren niet met het nitraatgehalte gecorreleerd.

Voor het doen van een uitspraak van de mate waarin stikstof een negatieve invloed heeft op de bakkleur, is het nitraatgehalte niet bruikbaar. Immers de respons van het nitraatgehalte op de stikstofgift was consistent groot, ook daar waar er van de bakkleur geen enkele respons op stikstof was (Figuren 10.11 en 10.12).

Invloed van bewaarduur op de bakkleur

Het is niet ongewoon dat de bakkleur van aardappelen in april beter is dan in december. Dit past bij het verloop in de tijd van het gehalte aan reducerende suikers bij bewaartemperaturen die in meer of mindere mate koudeverzoeting veroorzaken (Burton, 1965; Hertog et al., 1997a en b). Naarmate de aanvankelijke toename sterker is, kan ook de afname van het gehalte aan reducerende suikers in absolute zin groter zijn (Hertog et al., 1997a). Dit betekent echter niet dat na een grotere afname ook een betere bakkleur wordt aangetroffen. Tabel 10.1 laat zien dat er bij een slechte bakkleur weliswaar meer ruimte is voor een verbetering van de kleur, maar dat die niet noodzakelijk altijd optreedt. In dit geval kan de bewaring daarin een rol gespeeld hebben, daar bewaring op buitenluchtkoeling niet 100 % reproduceerbaar is.

De interactie tussen jaar en locatie voor wat betreft de verandering van de bakkleur stelt een extra eis aan een (combinatie van) parameter(s) die de latere bakkleur moet voorspellen. Ze moet immers ook de dynamiek van de bakkleur onder invloed van de bewaarcondities voorspellen. De interactie van ras met locatie en jaar laat zien dat eventueel te vinden relaties - op zijn minst in kwantitatieve zin - rasspecifiek zullen zijn. De bewerking van de hier gepresenteerde data leverde reeds onvoldoende aangrijpingspunten op voor een voorspelling van de bakkleur in april, laat staan dat de onderzochte relaties tevens in staat zouden zijn om ook de dynamiek tijdens de bewaring te beschrijven.

Inmiddels is door Hertog et al. (1997a en b) een goede aanzet gemaakt voor een beschrijving en voorspelling van de dynamiek van de bakkleur onder invloed van de bewaartemperatuur. Ook hierin ontbreekt het echter nog aan de parameter die in het model op de juiste wijze de invloed van het groeiseizoen op de bakkleur tot uiting laat komen.

Voorspelling

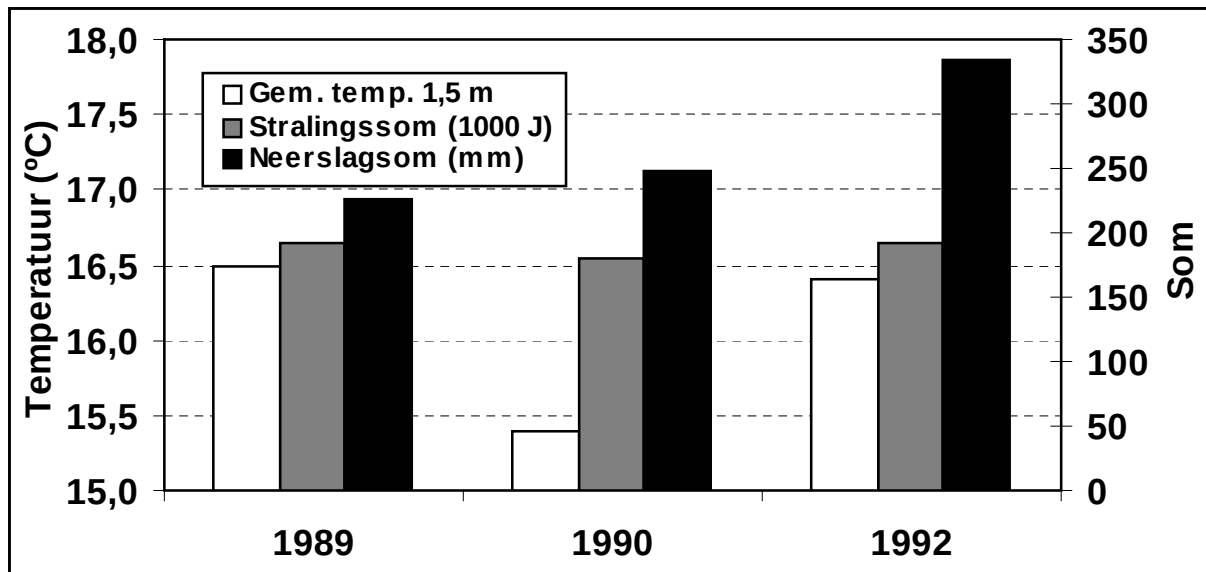
Het belangrijkste onderscheid is het verschil in potentiële bakkleur tussen partijen afkomstig van hetzelfde teeltseizoen. De hoofdeffecten en interacties bij de bakkleur enerzijds en bij sucrosegehalte (Figuren 10.4 t/m 10.7), drogestofgehalte (Figuur 10.8), grondbedekking met groen loof (Figuren 10.9 en 10.10) en nitraatgehalte (Figuren 10.11 en 10.12) anderzijds, waren op alle bepalingstijdstippen verschillend. Geen enkele correlatie bood daardoor voldoende houvast om een voorspellende uitspraak te doen over verschillen in latere bakkleur, zelfs niet tussen de partijen van één ras uit één seizoen afkomstig van de zeer verschillende locaties PAGV en KL.

Ook het verschil in bakkleur tussen jaren kon niet worden beschreven met het verschil in één van de vier onderzochte parameters, ook niet binnen één ras en/of één locatie. De

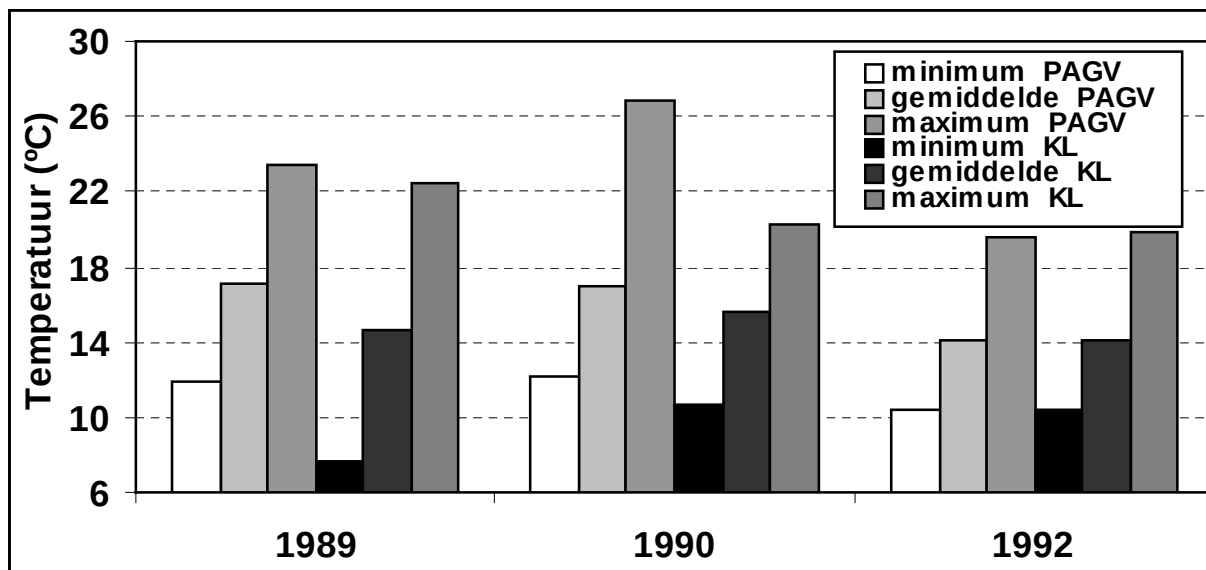
mogelijkheid om met het bewaarregime te anticiperen blijft daarmee beperkt tot de wetenschap dat - afgezien van extreme weersomstandigheden - koele, natte zomers knollen geven met een grotere gevoeligheid voor koudeverzoeting dan warme, droge zomers (Beukema & Van der Zaag, 1990). De bakkleur van 1990 was aanzienlijk slechter dan die van 1989 en 1992. Over de maanden juni tot en met september was in 1990 met name de gemiddelde temperatuur aanzienlijk lager dan in beide andere jaren (Figuur 10.13). De bakkleur van 1992 was ongeveer gelijk aan die van 1989. De gemiddelde temperatuur tijdens het groeiseizoen verschilde tussen deze jaren nauwelijks, terwijl wel de hoeveelheid neerslag in 1992 veel hoger was dan in 1989. De onderzoeksjaren blijken dus vooral voor wat betreft de temperatuur en minder voor wat betreft de neerslag in bovengenoemde stelregel te passen.

Het gehalte aan reducerende suikers van de knollen stijgt naarmate de knollen aan een lagere temperatuur worden blootgesteld (Müller-Thurgau, 1882; Van Vliet et al, 1961; Van Vliet & Schriemer, 1960). Deze stijging vindt vooral plaats bij een bewaar temperatuur onder de 10 °C (Burton, 1989; Van Es & Hartmans, 1987; Coffin et al., 1987; Storey & Briddon, 1992). Daar in fysiologische zin de bewaarfase van de knollen reeds in de grond begint nadat de aanvoer van assimilaten is gestopt, moet er rekening mee worden gehouden dat na de loofdoding ook reeds in het veld lage knoltemperaturen het gehalte aan reducerende suikers kunnen doen stijgen (Findlen, 1964; Isherwood, 1973; Kissmeyer-Nielsen & Weckel, 1967). Iritani & Weller (1976) vonden dat naast lage, ook hoge temperaturen in de eerste fase van bewaring laten het gehalte aan reducerende suikers in latere fasen stijgen.

In dit onderzoek is in slechts één geval de minimum temperatuur na de loofdoding kortdurend onder de 10 °C geweest. De gemiddelde, minimum en maximum temperatuur tussen loofdoding en oogst vertoonden geen verband met de bakkleur (vergelijk Figuren 10.1 en 10.14). De bakkleur van locatie KL was in alle drie de jaren beter, terwijl de temperatuur tussen loofdoding en oogst in vergelijking met locatie PAGV lager of gelijk was. Ook was het jaar met de slechtste bakkleur – 1990 – niet het jaar met de laagste, maar ook niet de hoogste temperaturen tussen loofdoding en oogst. Ook deze gegevens zijn dus geen éénduidige voorspellers van de bakkleur.



Figuur 10.13 Gemiddelde temperatuur, stralingssom en neerslagsom over de periode juni tot en met september op vliegveld Lelystad in de jaren 1989, 1990 en 1992.



Figuur 10.14 Gemiddelde, minimum en maximum van de bodemtemperatuur tussen het moment van loofdoding en de eind oogst, gemeten op -10 cm in kale grond in Lelystad in de jaren 1989, 1990 en 1992.

Implicaties

Wetenschappelijk

- Sucrosegehalte, drogestofgehalte, nitraatgehalte en grondbedekking met groen loof geven geen van alle een goede voorspelling van de bakkleur. Hoogstens kan worden gesteld dat een individueel gewas waarin het sucrosegehalte nog aanmerkelijk daalt, de potentieel beste bakkleur nog niet heeft bereikt.
- Voor zover een laag of niet meer dalend sucrosegehalte een indicator is voor de best haalbare bakkleur, gaat dit niet noodzakelijk gepaard met een bovengronds reeds ver afgestorven gewas.

Praktisch

- Bepaling van het sucrosegehalte, drogestofgehalte, nitraatgehalte en grondbedekking met groen loof tijdens de groei leveren de teler geen informatie op over hoe hij zijn partij qua potentiële bakkleur ten opzichte van die van collegae of ten opzichte van andere jaren moet inschatten.

Literatuur

- Appleman C.O. & E.V. Miller, 1926. A chemical and physiological study of maturity in potatoes, *Journal of Agricultural Research* 33, p. 569-577.
- Beukema, H.P. & D.E. van der Zaag, 1990. *Introduction to Potato Production*, PUDOC, Wageningen, 208 pp.
- Burton, W.G., 1965. The sugar balance in some British potato varieties during storage. I Preliminary observations, *European Potato Journal* 8 p. 80-91.
- Burton, W.G., 1989. *The Potato*, 3rd edition, Harlow, Longman Scientific & Technical, 742 pp.
- Coffin, R.H., R.Y. Yada, K.L. Parkin, B. Grodzinski & D.W. Stanley, 1987. Effect of low temperature storage on sugar concentrations and chip color of certain processing potato cultivars and selections, *Journal of Food Science* 52, p. 639-645.
- Ebskamp, A.G.M. & H. Bonthuis (eds.), 1997. 72^e Rassenlijst voor landbouwgewassen 1997, CPRO-DLO, Wageningen, 305 pp.
- Es, A. van & K.J. Hartmans, 1987. Starch and sugars during tuberization, storage and sprouting, In: A. Rastovski, A. van Es et al. (eds), *Storage of Potatoes, post-harvest behaviour, store design, storage practice, handling*, Pudoc, Wageningen, p. 79-113.

- Findlen, H., 1964. Effect of maturity on the chipping quality of Irish Cobbler and Kennebec potatoes, Marketing Research Report No. 644, United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service Market Quality Research Division, Washington, 12 pp.
- Hertog, M.L.A.T.M., B. Putz & L.M.M. Tijskens, 1997a. 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, p. 69-78.
- Hertog, M.L.A.T.M., L.M.M. Tijskens & P.S. Hak, 1997b. 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, p. 67-79.
- Hope, G.W., D.C. MacKay & L.R. Townsend, 1960. The effect of harvest date and rate of nitrogen fertilization on the maturity, yield and chipping quality of potatoes, *American Potato Journal* 37, p. 28-33.
- Iritani W.M. & L. Weller, 1977. Changes in sucrose and reducing sugar contents of Kennebec and Russet Burbank tubers during growth and post harvest holding temperatures, *American Potato Journal* 54, p. 395-404.
- Isherwood, F., 1973. Starch-sugar interconversion in *Solanum tuberosum*, *Phytochemistry* 12, p. 2579-2591.
- Kissmeijer-Nielsen, E. & K.G. Weckel, 1967. The effects of soil temperature, harvest sequence and storage on french fry processing quality of potatoes, *European Potato Journal* 10, p. 312-326.
- Loon, C.D. van & P.H. Hotsma, 1988. Dierlijke mest beïnvloedt bakkwaliteit nauwelijks, *Boerderij/Akkerbouw* 73, p. 30-31.
- Merlo, L., P. Geigenberger, M. Hajirezaei & M. Stitt, 1993. Changes of carbohydrates, metabolites and enzyme activities in potato tubers during development and within a single tuber along a stolon-apex gradient, *Journal of Plant Physiology* 142, p. 392-402.
- Miller, R.A., J.D. Harrington & G.D. Kuhn, 1975. Effect of variety and harvest date on tuber sugars and chip color, *American Potato Journal* 52, p. 379-386.
- Moll, A., 1967. Der Einfluß der N-P-K-Düngung und der Bodenfeuchtigkeit auf den Zuckergehalt von Kartoffelknollen, *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 118, p. 35-43.

- Müller-Thurgau, 1882. Über Zuckeranhäufung in Pflanzenteilen infolge niederer Temperatur, Landwirtschaftliches Jahrbuch 11, p. 751-828.
- Nelson, D.C. & J.R. Sowokinos, 1983. Yield and relationships among tuber size, sucrose and chip color in six potato cultivars on various harvest dates, American Potato Journal 60, p. 949-958.
- Pritchard, M.K. and L.R. Adam, 1992. Preconditioning and storage of chemically immature Russet Burbank and Shepody potatoes, American Potato Journal 69, p. 805-815.
- Samotus, B., M. Niedzwiedz, Z. Kolodziej, M. Leja & B. Czajkowska, 1974. Storage and reconditioning of tubers of Polish potato varieties and strains. 2. Changes in sugar level in potato tubers of different varieties and strains during reconditioning of cold-stored potatoes, Potato Research 17, p. 82-96.
- Sowokinos, J.R., 1978. Relationship of harvest sucrose content to processing maturity and storage life of potatoes, American Potato Journal 55, p. 333-344.
- Storey, R.M.J. & A. Briddon, 1992. Modified storage temperature regimes to maintain processing quality, Aspects of Applied Biology 33, p. 131-134.
- Swiniarski, E & D. Ladenberger, 1970. The sugar content of potato tubers grown with different rates of nitrogen application, Potato Research 13, p. 114-118
- Vliet, W.F. van & W. H. Schriemer, 1960. The sugar accumulation in potatoes kept at a low temperature as studied in a small selection of samples of Dutch varieties, European Potato Journal 3, p. 263-271.
- Vliet, W.F. van, W.H. Schriemer & H. Buitenweg, 1961. Sugar accumulation in potatoes at low temperatures, studied in crosses between western Europe (Dutch) varieties and South American varieties of *Solanum tuberosum*, European Potato Journal 4, p. 87-91.
- Voogd, C.D., 1963. De invloed van bodem en bemesting op de chemische samenstelling van de aardappelknol. I. Oplosbare koolhydraten, Centrum voor landbouwpublicaties en landbouwdocumentatie, Wageningen, 10 pp.

Hoofdstuk 11

Algemene discussie

Inleiding

Deze algemene discussie bedoelt een aantal van de resultaten en conclusies van de voorgaande hoofdstukken in een breder kader te plaatsen. Daar veel factoren invloed hebben op meerdere van de onderzochte eigenschappen moeten voor het meest optimale resultaat van teelt en bewaring deze invloeden vaak in samenhang worden gezien. Verder wordt een aantal gevonden effecten en aanbevelingen in relatie gebracht met de bijbehorende effecten op de fysieke opbrengst van het gewas en met een aantal aspecten van de huidige praktijk van teelt en onderzoek. Vervolgens worden de belangrijkste implicaties opgesomd zoals die in de afzonderlijke hoofdstukken en de algemene discussie naar voren zijn gebracht. Tot slot worden de oorspronkelijke doelen geëvalueerd zoals die in de algemene inleiding werden geformuleerd.

Invloed van rassen op kwaliteitseigenschappen

Voor alle onderzochte kwaliteitseigenschappen – drogestofgehalte, nitraatgehalte, blauwgevoeligheid, niet-enzymatische grauwwerking en bakkleur – gold dat er significante rasverschillen optraden. Interacties van ras met stikstof, kalium en chloor waren gering of afwezig voor wat betreft het drogestofgehalte, de blauwgevoeligheid, niet-enzymatische grauwwerking en bakkleur. Voor deze eigenschappen is er dan ook weinig risico dat rasvergelijkingen in belangrijke mate worden beïnvloed door de voorziening met deze elementen, zolang deze niet extreem afwijkt van de gangbare adviezen. Bij het nitraatgehalte speelde wel een duidelijke interactie tussen ras en stikstof en deze werd bovendien door zowel locatie als jaar beïnvloed. Dit maakt dat bij deze eigenschap voor een relevante rasvergelijking het stikstofniveau van belang is, maar ook dat vergelijking met voldoende spreiding in teeltomstandigheden (jaren en locaties) moet plaatsvinden.

Interactie van ras met jaar en/of locatie treedt vooral bij de bakkleur op, zodat rasverschillen op basis van voldoende locaties en jaren moeten worden vastgesteld. Bij de bakkleur trad bovendien interactie op met het tijdstip waarop de bakkleur na de oogst wordt bepaald. Daarom is het nodig jaarlijks hetzelfde bepalingstijdstip te hanteren of meerdere bepalingen in de loop van de tijd te uit te voeren.

Invloed van stikstof-, kalium- en chloorbemesting op kwaliteitseigenschappen

De invloed van stikstof, kalium en chloor op de niet-enzymatische grauwwerking en bakkleur was in de onderzochte trajecten gering. Bovendien was er geen of slechts een geringe interactie met ras, locatie en jaar. Dit maakt het verdedigbaar de in dit onderzoek aangetroffen effecten van bemesting te extrapoleren naar andere in Nederland te telen rassen. Ook bij het drogestofgehalte en de blauwgevoeligheid kan de omvang van de

effecten van stikstof- en kalibemesting (als gevolg van geringe interactie met de factor ras) naar andere rassen worden geëxtrapoleerd. De effecten van bemesting op drogestofgehalte en blauwgevoeligheid hebben echter in absolute zin wel degelijk praktische relevantie. Het kan daarom toch zinvol zijn voor deze eigenschappen nieuwe rassen te beproeven bij verschillende bemestingsniveaus. Zo kunnen rassen die voor wat betreft deze eigenschappen op de rand lijken te zitten van wat acceptabel wordt geacht wellicht toch aan de eisen voldoen.

De negatieve invloed van stikstofbemesting op niet-enzymatische grauwwerpleuring en bakkleur was klein. Een groot uitbetalingsverschil voor een klein verschil in deze eigenschappen zal noodzakelijk zijn om voor een teler per saldo een lagere stikstofbemesting aantrekkelijk te laten zijn. Daar waar zich in steeds sterkere mate ketens ontwikkelen van grondstofproducenten en verwerkers is bovendien in eerste instantie de vraag relevant op welke plaats in de keten een probleem het meest effectief en tegen de minste kosten kan worden opgelost. Gezien het geringe positieve effect van een lagere stikstofbemesting op deze eigenschappen ligt de gedachte voor de hand dat een vergelijkbaar effect wellicht beter in het verwerkingsproces kan worden bereikt. Zowel het gehalte aan reducerende suikers als het optreden van niet-enzymatische grauwwerpleuring kan tijdens het verwerkingsproces namelijk tot op zekere hoogte worden verlaagd resp. verminderd.

De invloed van de onderzochte stikstof-, kalium- en chloortrajecten op de verschillende eigenschappen overziend, verdient per saldo het nastreven van een matige stikstofbemesting en een ruime kalium en/of chloorvoorziening de voorkeur. Eén van de bezwaren die in de praktijk tegen een lagere stikstofbemesting wordt aangevoerd, is dat dit een toename van de blauwgevoeligheid veroorzaakt. Dit onderzoek heeft laten zien dat dit slechts in geringe mate het geval is en dat de blauwgevoeligheid aanzienlijk effectiever met kalium of chloor kan worden verlaagd dan met een hoge stikstofbemesting. Bovendien leert vergelijking van datasets en experimenten dat een hoger drogestofgehalte als gevolg van een lagere stikstofbemesting niet per definitie gepaard gaat met een hogere blauwgevoeligheid. Dit bleek af te hangen van het jaar en de locatie. Het bezwaar van een hogere blauwgevoeligheid als argument tegen verlaging van de stikstofgift wordt dan ook in de praktijk te zwaar aangezet. De positieve effecten van een lagere stikstofbemesting op niet-enzymatische grauwwerpleuring en bakkleur gaan op dit moment evenwel niet gepaard met een zodanig hogere uitbetaling dat afweging tegen negatieve effecten van een lagere stikstofbemesting aan de orde is.

Kalium en chloor verminderden de blauwgevoeligheid en verbeterden ook in lichte mate de bakkleur. Kalium verminderde de grauwwerpleuring, versterking van grauwwerpleuring door chloor was zeer beperkt. Het verdient dan ook aanbeveling om (een deel van) de vaak in het voorafgaande najaar toegediende bouwplanbemesting te verplaatsen naar het voorjaar. Naast de positieve effecten op kwaliteitseigenschappen zijn hiervoor nog twee overwegingen: efficiëntie van kaliumgebruik en de huidige onterecht grote angst voor chloorschade, zoals in het navolgende wordt besproken.

Opbrengst versus kwaliteitseigenschappen in de vaststelling van de stikstof-, kalium- en chloorbemesting

Stikstof

In de Hoofdstukken 2, 8 en 9 is duidelijk geworden dat door de stikstofbemesting te matigen het drogestofgehalte kan worden verhoogd, resp. de grauwwerking en de bakkleur in enige mate kunnen worden verbeterd. Om te kunnen bepalen of een matiging van de stikstofgift in financiële zin interessant is moet het voordeel van de betere kwaliteit worden afgewogen tegen het nadeel van een lagere opbrengst. Uit Tabel 11.1 blijkt dat een verlaging van de adviesgift met 50 kilogram tot een reductie van de bruto opbrengst van 1,6 % leidde. Dit is goed vergelijkbaar met de 1,1 % die Neeteson (1989) aantrof tussen 0,9 en 0,75 maal het door hem gebruikte advies van 320 – 1,1*N_{min}. Bij bodemvoorraden van 20 tot 50 kg·ha⁻¹ komt 0,9 maal dit advies vrijwel overeen met 285 – 1,1 *N_{min}, terwijl 0,75 maal leidt tot een 40 à 45 kg lagere gift. Deze verlaging is dus – evenals de opbrengstreductie - iets geringer dan het in dit onderzoek aangebrachte verschil van 50 kilo. Na een verlaging van de adviesgift met 100 kg werd in dit onderzoek een 3,8 % lagere bruto opbrengst bereikt (Tabel 11.1). Deze reductie is iets groter dan de 3,7 % die Neeteson (1989) aantrof bij verlaging van 0,9 tot 0,5 maal het door hem gebruikte advies, hetgeen overeen kwam met een verlaging van de gift met 105 à 120 kg.

Tabel 11.1 laat zien dat de effecten van een lagere stikstofgift op de netto opbrengst boven 40 mm en meer nog boven 50 mm sterker zijn dan op de bruto opbrengst. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door het effect van de groei op de sortering. Daarnaast is het bekend dat hoge stikstofgiften de sortering tevens kunnen beïnvloeden doordat het knolaantal er door afneemt (Van Loon & Houwing, 1989b).

Tabel 11.1 Invloed van een verlaging van de advies-stikstofgift op bruto opbrengst en netto opbrengst boven 40 en 50 mm, Datasets 1 en 2 (zie Tabel 11.4).

Stikstofgift (kg N·ha ⁻¹)	Bruto			Netto > 40 mm			Netto > 50 mm		
	ton·ha ⁻¹	Verschil		ton·ha ⁻¹	Verschil		ton·ha ⁻¹	Verschil	
		ton·ha ⁻¹	%		ton·ha ⁻¹	%		ton·ha ⁻¹	%
Advies	57,2	0	0	52,9	0	0	44,4	0	0
Advies – 50	56,3	-0,9	-1,6	52,0	-0,9	-1,7	43,2	-1,2	-2,7
Advies – 100	55,0	-2,2	-3,8	50,5	-2,4	-4,5	41,1	-3,3	-7,4
LSD	0,9			0,9			1,0		

Significante interacties tussen ras en stikstof werden voor de opbrengst niet gevonden. Wel was er een tendens waarneembaar dat rassen die aanzienlijk later afrijpen dan Bintje (Morene, Aziza, Asterix) bij dalende stikstofgift een geringere opbrengstderving van zowel bruto- als netto opbrengst laten zien.

Uit voorgaande hoofdstukken valt af te leiden welke kwaliteitsverbeteringen globaal mogen worden verwacht door het terugbrengen van de stikstofbemesting met 50 of 100 kg·ha⁻¹. De financiële opbrengst hiervan hangt af van het uitbetalingssysteem.

Bij een aanname van 15 en 20 cent per kilogram voor resp. de maten 40/50 en >50 mm nam de financiële opbrengst volgens Tabel 11.1 met Hfl 195,-- resp. 525,--·ha⁻¹ af bij verlaging van de stikstof gift met resp. 50 of 100 kg N·ha⁻¹.

De besparing op de inzet van stikstof (Hfl 1,25·kg⁻¹, geleverd in big bags incl. BTW, januari 2000) bedraagt bij vermindering van de gift met 50 of 100 kg resp. Hfl 62,50 of 125,00. Het financieel verlies bedraagt aldus Hfl 132,50 resp. 400,--·ha⁻¹. De gemiddelde prijs van de gerealiseerde netto opbrengst > 40 mm in Tabel 11.1 zou dan Hfl 0,25 resp. 0,79 per 100 kg hoger moeten zijn om voor dit verlies te compenseren.

Kalium en chloor

In de Hoofdstukken 6, 8 en 9 werd resp. beschreven dat de blauwgevoeligheid en de niet-enzymatische grauwerkleuring door een extra kaliumgift in het voorjaar kunnen worden verminderd en ook de bakkleur er iets beter door wordt. Ook chloor verlaagde de blauwgevoeligheid en verbeterde de bakkleur in enige mate. Een versterking van de grauwerkleuring door chloor werd in dit onderzoek niet aangetroffen. Of de verlaging van het drogestofgehalte door chloor gunstig of ongunstig is, hangt af van het niveau waarop het drogestofgehalte zich bevindt. Een gewenste verlaging van de blauwgevoeligheid is de voornaamste reden om (extra) chloor in het voorjaar toe te dienen. Wanneer deze wens aanwezig is, is het drogestofgehalte in de regel zodanig hoog dat er vrijwel zeker geen sprake van zal zijn dat de chloor het drogestofgehalte te laag zal doen worden.

De strategie van een najaarsbouwplanbemesting met chloorkali bevat twee elementen. De grote gift aan zuivere kalium is bedoeld om de blauwgevoeligheid te verminderen, het vroege tijdstip heeft als achtergrond om de chloor gedeeltelijk naar diepere grondlagen te laten uitspoelen. Dit laatste gebeurt in verband met de kans op chloorschade.

In het hier beschreven onderzoek werd in Dataset 4 bij een voorjaarskaliumgift in de vorm van patentkali een opbrengstverhoging bereikt. De verhoging in Dataset 5 door zowel patent- als chloorkali was niet significant (Tabel 11.2). De verhoging van de netto opbrengst leek in Dataset 5 iets groter dan die van de bruto opbrengst. Vertraging van de opkomst en loofontwikkeling door chloor werd slechts op enkele veldjes waargenomen. Deze vertraging ging gepaard met een latere afsterving. Tabel 11.3 laat zien dat in zowel Dataset 4 als 5 de hoogste opbrengst werd bereikt bij de combinatie van de hoogste stikstofgift en de patent- en chloorkaligift, hetgeen niet duidt op het optreden van zoutschade. De interactie tussen stikstof en patentkali in Dataset 1 was significant en komt overeen met waarnemingen van Ziegler (1969) bij vergelijkbare stikstof- en kaliumniveaus.

Bij bestudering van de Nederlandse literatuur over chloorkalibemesting op aardappelen (o.a. Ter Horst, 1968, 1969; Van Loon & Houwing, 1989a; Prummel, 1956, 1966, 1986) valt in de eerste plaats op dat chloorschade zich kan manifesteren in een reductie van de totale verse opbrengst die meestal wordt toegeschreven aan het optreden van

Hoofdstuk 11

zoutschade in het voorjaar. Prummel (1956, 1957) stelde desondanks dat chloorkali in de vorm van Kali-40 in giften tot 300 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$ (375 kg ha^{-1} chloor; Kali-40) op zware

Tabel 11.2 Effect van een extra voorjaarsbemesting met patent- of chloorkali (300 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$) op de bruto opbrengst en netto opbrengst boven 40 en 50 mm, Datasets 4 en 5 (zie Tabel 11.4).

Voorjaarskaligift (kg K ₂ O·ha ⁻¹)	Bruto			Netto > 40 mm			Netto > 50 mm		
	ton·ha ⁻¹	Verschil		ton·ha ⁻¹	Verschil		ton·ha ⁻¹	Verschil	
		ton·ha ⁻¹	%		ton·ha ⁻¹	%		ton·ha ⁻¹	%
Dataset 4									
Standaard	54,4	0	0	51,0	0	0	44,0	0	0
300 patentkali	55,5	1,1	2,0	52,0	1,0	2,0	45,1	1,1	2,5
LSD	1,0			1,1			1,6		
Dataset 5									
Standaard	62,1	0	0	56,6	0	0	43,4	0	0
300 patentkali	63,0	0,9	1,5	58,3	1,7	3,0	45,2	1,8	4,2
300 chloorkali	62,9	0,8	1,3	57,8	1,2	2,1	45,0	1,6	3,7
LSD	2,3			2,4			2,6		

Tabel 11.3 Effect van een extra voorjaarsbemesting met patent- of chloorkali (300 kg $K_2O \cdot ha^{-1}$) op de bruto opbrengst bij drie, resp. twee niveaus van stikstofbemesting (kg $N \cdot ha^{-1}$), Datasets 4 en 5 (zie Tabel 11.4).

Stikstofgift (kg N·ha ⁻¹)	Advies-100			Advies-50			Advies		
	Bruto ton·ha ⁻¹	Verschil		Bruto ton·ha ⁻¹	Verschil		Bruto ton·ha ⁻¹	Verschil	
		ton·ha ⁻¹	%		ton·ha ⁻¹	%		ton·ha ⁻¹	%
Dataset 4									
Standaard	53,0	0	0	54,4	0	0	55,7	0	0
300 patentkali	53,7	0,7	1,3	55,1	0,7	1,3	57,7	2,0	3,6
LSD (K.N)	1,9								
				Advies-75			Advies		
				Verschil			Verschil		
				ton/ha	ton/ha	%	ton/ha	ton/ha	%
Dataset 5									
Standaard				62,1	0	0	62,0	0	0
300 patentkali				62,0	-0,1	-0,2	64,0	2,0	3,2
300 chloorkali				61,7	-0,4	-0,6	64,1	2,0	3,2
LSD (K.N)				3,1					

kleigronden zonder gevaar voor opbrengstderving van consumptieaardappelen, in het voorjaar kan worden toegediend. Onderzoek op kleigronden in de jaren '69-'77 (Prummel, 1986) heeft echter geleid tot het huidige advies om chloorkali in de herfst en niet in de winter of het vroege voorjaar toe te dienen, omdat de opbrengst bij wintertoediening lager was dan bij herfsttoediening. In dit onderzoek nam evenwel de schade per kilogram chloor af met een hogere chloorgift. Bovendien was weliswaar de opbrengst lager, toch bleef ook bij de wintertoediening de opbrengst toenemen met een hogere chloorkaligift. Op löss en lichte kleigrond was dat het geval tot 500 en op zware kleigrond zelfs tot 1000 kg-chloor ha⁻¹. Verder beschreef Prummel (1986) dat de gewassen bij hogere chloorgiften eerder afstierven. Deze laatste fenomenen duiden niet op zoutschade als vergiftigingsreactie, maar meer op verdringing van nitraat door chloor (o.a. Harward et al., 1956; James et al., 1970; Saffigna & Keeney, 1977).

Het tweede effect van chloor is een verlaging van het drogestofgehalte. Veel onderzoek naar het effect van chloor op aardappelen heeft plaatsgevonden in zetmeelaardappelen op zand- en dalgrond. De verlaging van het uitbetalingsgewicht van zetmeelaardappelen door chloor als gevolg van verlaging van het drogestofgehalte (Prummel, 1956, 1966) lijkt de voornaamste basis onder de stelling dat het gewas aardappelen gevoelig is voor chloorschade.

Uit het bovenstaande blijkt dat daar waar de termen chloor- en zoutschade door elkaar worden gebruikt, er niet (altijd) hetzelfde mee wordt bedoeld. Alles overziend is het evenwel aannemelijk dat opbrengstverlagingen door chloor op kleigronden in veel gevallen worden veroorzaakt door de verdringing van nitraat en niet door zoutschade. Het verdient aanbeveling de opname-interactie tussen chloor en stikstof en de gevolgen daarvan voor consumptieaardappelen onder Nederlandse omstandigheden te onderzoeken. In de eerste plaats zou een (verdere) verschuiving van de toediening van chloorkali naar het voorjaar een efficiënter gebruik van de meststof veroorzaken. In de tweede plaats wordt wellicht de grotere negatieve respons van de aardappelopbrengst op chloorkali in het zuidwestelijk kleigebied (Prummel, 1986) veroorzaakt door een sterkere verdringing van nitraat door chloor. Het zou één van de verklaringen kunnen zijn waarom in dat gebied hogere stikstofbemestingen worden toegepast dan in de rest van Nederland. Wellicht kan een geïnduceerd stikstofgebrek worden gedetecteerd en gecorrigeerd aan de hand van nitraatbepalingen in de bladsteeltjes (Van Loon & Houwing, 1989b).

Jaar- en locatie-effecten en hun interactie met ras, stikstof, kalium- en chloorbemesting

De in dit onderzoek gehanteerde factoren jaar en locatie zijn verzamelingen voor een veelheid aan factoren. De factor jaar is een optelsom van met name weerfactoren die tussen groeiseizoenen kunnen verschillen: neerslag, temperatuur, straling, alsmede hun interacties en hun verloop in de tijd. De weerfactoren oefenen directe, maar ook indirecte

invloed uit op gewassen: zo beïnvloedt de temperatuur de assimilatie- en dissimilatiesnelheid van planten, maar ook de snelheid van de mineralisatie van stikstof in de bodem. Er zijn veel factoren die op vergelijkbare wijze niet onafhankelijk van elkaar hun invloed uitoefenen en er zijn veel processen die niet onafhankelijk van elkaar verlopen.

Ook de factor locatie is een verzamelnaam voor een veelheid van factoren die met name bestaan uit de verschillende bodemfactoren, zoals structuur, nalevering van stikstof, gehaltes aan andere nutriënten, etc. De effecten van locatiegebonden factoren zijn minder variabel dan die van de jaareffecten, waardoor hun samenspel een constanter gegeven is dan dat van de factor jaar en er beter op kan worden geanticipeerd dan op jaarverschillen.

Dit anticiperen wordt echter toch weer aanzienlijk bemoeilijkt doordat locatie- en jaargebonden factoren met elkaar interacteren. De voorspelbaarheid van bodemeffecten wordt daardoor verminderd. Een voorbeeld hiervan is de jaarlijks wisselende mineralisatie van stikstof die vooral door temperatuur en neerslag wordt beïnvloed.

Het voorgaande geeft aan dat de factor locatie niet onafhankelijk is van het weer. Immers, het weerverloop - met name de neerslag - kan tijdens een groeiseizoen tussen locaties op relatief korte afstanden verschillen. Dit maakt dat locatieverschillen binnen een jaar gedeeltelijk het gevolg kunnen zijn van weersomstandigheden en niet van bodemgebonden factoren. Hierdoor kan het in onderzoek met meerdere jaren en locaties voorkomen dat weersomstandigheden zowel opgenomen zijn in de factor jaar als in de factor locatie.

Door de onvoorspelbaarheid van de weerfactoren die deel uitmaken van de “factoren” jaar en locatie, is het met zekerheid verkrijgen van het meest gewenste eindresultaat voor wat betreft opbrengst en kwaliteitseigenschappen onmogelijk. Door de interactie die deze onbeheersbare factoren vertonen met de stuurbare factoren ras, stikstof-, kalium- en chloorbemesting, wordt ook de omvang van het effect van de stuurbare factoren onzeker. De ervaringskennis van de teler is een belangrijke factor in het verminderen van deze onvoorspelbaarheid. Naarmate de teler meer jaren ervaring heeft op een zekere locatie, zal hij een betere inschatting kunnen maken welke teeltmaatregelen onder gemiddelde resp. extreme omstandigheden zullen leiden tot het gewenste eindresultaat voor verschillende eigenschappen. Ook hiermee zal evenwel een deel van de geproduceerde partijen aardappelen niet maximaal voldoen aan de meest gewenste specificaties. Gezien de onvermijdelijkheid hiervan is het noodzakelijk om te beschikken over mechanismen die leiden tot een maximale benutting van de geproduceerde grondstof. Vaststelling van drogestofgehalte, nitraatgehalte en niet-enzymatische grauwwerking vlak na de oogst maakt het mogelijk om zowel verwerkings- als marktechnisch rekening te houden met de kwaliteitseigenschappen van partijen en de ontwikkeling daarvan tijdens de bewaring. Zo kunnen partijen met niet-enzymatische grauwwerking beter vroegtijdig worden verwerkt, omdat deze verkleuring tijdens de bewaring toeneemt. Ook het drogestofgehalte en de blauwgevoeligheid nemen tijdens de bewaring in de regel licht toe. In het onderzoek werden geen gewas- of knolparameters gevonden die in staat waren de gezamenlijke invloed te beschrijven van de locatie- en jaargebonden factoren op (het verloop van) de bakkleur tijdens de

bewaring. Zolang dergelijke parameters niet beschikbaar zijn is het uit een oogpunt van de beste benutting van partijen ook voor de bakkleur nodig de verschillen tussen partijen in bakkleur reeds kort na de oogst vast te stellen en bovendien het verloop ervan te blijven volgen. Dit laatste is nodig omdat van de hier besproken eigenschappen de bakkleur na de oogst de sterkste verandering laat zien en bovendien sterk door de bewaartemperatuur wordt beïnvloed (Van Es & Hartmans, 1987; Hertog et al., 1997a en b).

Aandeel van stuurbare en onbeheersbare factoren in variatie in kwaliteitseigenschappen tussen en binnen partijen

Tussen partijen

Om een indruk te verkrijgen in welke verhouding opbrengst en kwaliteit van consumptieaardappelen tijdens het groeiseizoen door de onderzochte factoren werden beïnvloed, is een variantiecomponentenanalyse uitgevoerd op Datasets 1 en 2 en Datasets 4 en 5 (Tabel 11.4).

In de jaren 1988 tot en met 1992 werden met de rassen Agria, Asterix, Aziza, Benno Vrizo, Maritiema, Morene, Santé en Van Gogh op verschillende locaties experimenten aangelegd. In de meeste proeven werd als standaardras het ras Bintje opgenomen. De locaties betroffen de regionale onderzoekcentra Prof.Dr. J.M. van Bemmelenhoeve (BEM) te Middenmeer, De Kandelaar (KL) te Biddinghuizen, Rusthoeve (RH) te Colijnsplaat, Vredepeel (VP) te Vredepeel, Wijnandsrade (WR) te Wijnandsrade en Westmaas (WS) te Westmaas (Tabel 11.4). Niet alle rassen konden evenwel ieder jaar op elke locatie worden verbouwd. Tabel 11.4 geeft weer in welke jaren de verschillende rassen op de diverse regionale onderzoekscentra werden verbouwd.

In deze experimenten bedroeg de hoogste stikstofgift het landelijk advies voor Bintje:

$$LABK = 285kgN - 1,1(N \text{ min } 0 - 60cm) \quad (11.1)$$

Hierin is LABK het landelijk advies voor Bintje op kleigrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-60 cm.

Het landelijk advies voor Bintje op zandgrond luidt:

$$LABZ = 300kgN - 1,8(N \text{ min } 0 - 30cm) \quad (11.2)$$

Hierin is LABZ het landelijk advies voor Bintje op zandgrond en is Nmin de minerale bodemvoorraad in het voorjaar in de laag 0-30 cm.

In de proeven met drie stikstofniveaus ontvingen de twee andere varianten resp. 50 en 100 kg N·ha⁻¹ minder dan de landelijke adviezen voor Bintje. In de experimenten met twee stikstofniveaus bedroeg de tweede variant 75 kg N·ha⁻¹ minder dan genoemde adviezen. In een deel van de experimenten werd een (veelal extra) voorjaarskaliumgift toegepast. In de experimenten met twee kaliumvarianten (Tabel 11.4) was dat in de

vorm van patentkali, in de experimenten met drie kaliumvarianten was dat tevens in de vorm van chloorkali. De Experimenten 1 tot en met 21 werden in drievoud aangelegd.

In Tabellen 11.5 en 11.6 is weergegeven door welke factoren en hun onderlinge interacties een significant percentage van de totale variantie werd beschreven.

Van de door de teler stuurbare factoren ras, stikstof en kalium nam ras het grootste deel van de variatie voor zijn rekening voor alle eigenschappen. Alleen bij de bakkleur beschreef de kaliumbemesting in Datasets 4 en 5 evenveel variatie als de factor ras. Opvallend is hoe bij de meeste eigenschappen weinig van de variatie werd beschreven door het in deze experimenten gebruikte bereik van stikstof- en kaliumbemesting. Alleen het aandeel van kalium in de variatie van drogestofgehalte, blauwgevoeligheid en bakkleur was van enige betekenis. Ook het aandeel van de interacties van stikstof en kalium met de andere factoren was zeer gering. Dit bevestigt wat voor diverse eigenschappen in de afzonderlijke hoofdstukken werd geconcludeerd: dat de rassenkeus binnen de sturingsmogelijkheden van de teler het krachtigste middel is om te sturen in zowel opbrengst als kwaliteitseigenschappen. De interacties van ras met andere factoren waren in de meeste gevallen gering, met uitzondering van de interactie tussen ras, jaar en locatie bij de blauwgevoeligheid en bakkleur en in mindere mate bij een aantal van de andere eigenschappen. Bij bakkleur en netto opbrengst was er bovendien een duidelijke interactie tussen jaar en ras. Deze interacties benadrukken het belang van het meerdere jaren uitvoeren en aanbrengen van voldoende regionale spreiding in rassenvergelijkend onderzoek.

Deze analyse geeft weer dat het overgrote deel van de optredende variatie in opbrengst en kwaliteitseigenschappen bij de huidige stand van de teelttechniek wordt veroorzaakt door factoren die zich buiten de sturingsmogelijkheden van de teler bevinden. De meeste variatie werd bij opbrengst en drogestofgehalte veroorzaakt door jaar en locatie en interactie daartussen, het waren effecten waarop de rassen in hoge mate gelijk reageren. Bij de blauwgevoeligheid en de bakkleur speelde de interactie tussen ras, jaar en locatie een opvallend grote rol. Bij de grauwwerking veroorzaakte de factor jaar het grootste deel van de niet-beheersbare variatie, de factor locatie en interacties speelden bij deze eigenschap nauwelijks een rol.

Een deel van de hier als niet-stuurbaar aangemerkte variatie is in potentie om te zetten tot stuurbare variatie. Het betreft dan vooral het opheffen van het vochttekort door middel van beregning.

Weliswaar is er overlap tussen enerzijds Datasets 1 en 2 en anderzijds Datasets 4 en 5, maar ondanks het verschil voor wat betreft de factor kalium en het feit dat de twee analyses voor een deel verschillende experimenten bevatten is de consistentie bij de verschillende eigenschappen groot. De verschillen worden veelal veroorzaakt door verschuivingen van hoofdeffecten naar interacties daarmee of omgekeerd en niet door verschuivingen tussen hoofdeffecten of tussen interacties.

Tabel 11.4 Overzicht van jaar en locatie van uitvoering van experimenten (zie pagina 207 voor verklaring van de locatie-codes), de daarin opgenomen rassen, aantal stikstof- en kaliumniveaus, alsmede de samenstelling van datasets uit de experimenten.

Experiment	Jaar	Locatie	Rassen	Aantal niveaus		Dataset			
				Stikstof	Kalium	1	2	4	5
1	1988	BEM	Agria, Morene, Bintje	3	2	x		x	
2	1988	RH	Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x		x	
3	1988	WS	Agria, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x		x	
4	1989	KL	Morene, Santé, Van Gogh, Bintje	3	2	x		x	
5	1989	RH	Agria, Benno Vrizo, Santé, Bintje	3	2	x		x	
6	1989	VP	Benno Vrizo, Morene, Van Gogh, Bintje	3	2	x		x	
7	1989	WS	Agria, Benno Vrizo, Morene, Bintje	3	2	x		x	
8	1990	BEM	Bintje	3	1	x			
9	1990	KL	Bintje	3	1	x			
10	1990	VP	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x			
11	1990	WR	Benno Vrizo, Bintje	3	1	x			
12	1990	RH	Asterix, Santé	2	3				x
13	1990	VP	Santé	2	3				x
14	1991	RH	Aziza, Maritiema	2	3				x
15	1991	VP	Asterix, Aziza	2	3				x
16	1991	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
17	1991	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
18	1991	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
19	1992	BEM	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
20	1992	KL	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		
21	1992	WS	Asterix, Aziza, Maritiema, Bintje	3	1		x		

Tabel 11.5 Minimum-, gemiddelde en maximumwaarden en percentages variantie verklaard door factoren en interacties voor bruto en netto opbrengst, drogestofgehalte, blauwgevoeligheid, bakkleur en grauwerkverkleuring, Datasets 4 en 5 (zie Tabel 11.4), in lege cellen moet de waarde 0 worden gelezen.

	Bruto opbrengst	Netto opbrengst > 40 mm	Droge- stofgehalte	Blauwge- voeligheid	Bakkleur	Grauw- verkleuring
	(t·ha ⁻¹)	(t·ha ⁻¹)	(owg;gram)	(index;0-50)	(index;0-6)	(index;0-6)
Minimum	33,0	30,2	327	0	1,50	0
Gemiddelde	57,0	52,6	420	5,4	2,80	2,5
Maximum	95,4	89,3	524	39,3	4,40	6,0
Term	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Ras	20,3	19,0	8,6	23,1	10,6	39,9
Stikstof	2,1		1,0	0,5		0,1
Kalium			4,3	5,1	9,7	
Locatie	20,5	12,2	22,6	15,5		5,4
Jaar	8,2			4,4		25,7
Ras.Stikstof	0,1	0,1			1,3	
Ras.Kalium			0,2	1,6		0,3
Ras.Locatie	2,5	3,4	9,1			2,8
Ras.Jaar	1,2	9,1	4,4		24,2	1,9
Stikstof.Kalium	0,4	1,7				
Stikstof.Locatie	0,1	0,4	0,2	0,7		0,8
Stikstof.Jaar					0,6	
Kalium.Locatie	0,2	0,1			0,9	
Kalium.Jaar			0,5		0,5	
Locatie.Jaar	20,1	24,9	40,5	7,9		1,6
Locatie.Jaar.Herhaling	7,3	8,4	0,4	0,4	1,8	0,8
Ras.Stikstof.Kalium			0,3	0,1		
Ras.Stikstof.Locatie			1,3	1,6		
Ras.Stikstof.Jaar			0,2			
Ras.Kalium.Locatie	0,6	0,7		0,9		
Ras.Kalium.Jaar	0,1	0,2				
Ras.Locatie.Jaar	2,9	4,2		21,5	19,7	3,9
Stikstof.Kalium.Locatie	0,1		0,1		0,9	0,4
Stikstof.Kalium.Jaar						
Stikstof.Locatie.Jaar	0,8	0,8			0,1	
Kalium.Locatie.Jaar	0,5	0,6	0,3	0,6		
4- en 5-factor-interacties						
Veldjes binnen experimenten	12,4	14,1	6,2	16,1	29,7	16,4
Totaal	100	100	100	100	100	100

Tabel 11.6 Minimum-, gemiddelde en maximumwaarden en percentages variantie verklaard door factoren en interacties voor bruto en netto opbrengst, drogestofgehalte, blauwgevoeligheid, bakkleur en grauwwerking, Datasets 1 en 2 (zie Tabel 11.4), in lege cellen moet de waarde 0 worden gelezen.

	Bruto opbrengst	Netto opbrengst > 40 mm	Droge- stofgehalte	Blauw- gevoeligheid	Bakkleur	Grauw- verkleuring
	(t·ha ⁻¹)	(t·ha ⁻¹)	(owg;gram)	(index;0-50)	(index;0-6)	(index;0-6)
Minimum	33,0	24,0	310	0	1,65	0
Gemiddelde	57,0	51,3	427	4,1	2,80	2,7
Maximum	85,2	79,9	524	34,7	4,35	6,0
Term	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Ras	28,3	23,5	12,3	17,9	18,0	32,4
Stikstof	1,2	1,4	1,4	0,4		
Locatie	18,4	19,2		13,4		4,0
Jaar			7,7	2,7	27,4	35,2
Ras.Stikstof						
Ras.Locatie	4,3	8,3	5,6			
Ras.Jaar		3,5	0,1		10,9	0,3
Stikstof.Locatie	0,1		0,2	0,1		
Stikstof.Jaar						0,8
Locatie.Jaar	28,7	25,8	55,5	9,2	4,1	7,7
Locatie.Jaar.Herhaling	2,2	1,9	0,7	0,7		0,8
Ras.Locatie.Jaar	1,8	2,0	5,9	34,8	14,3	4,5
Ras.Stikstof.Jaar	0,5	0,3	0,5			
Ras.Stikstof.Locatie			2,1	0,3		
Stikstof.Locatie.Jaar	0,1			0,8		
Ras.Stikstof.Locatie.Jaar						
Veldjes binnen experimenten	14,4	14,2	8,0	19,6	25,4	14,4
Totaal	100	100	100	100	100	100

Binnen partijen

Alleen voor het drogestofgehalte waren er voldoende data om ook een variantiecomponentenanalyse uit te voeren voor de variatie binnen partijen. Tabel 11.7 laat zien dat ras hierin alleen in interactie met jaar en locatie een kleine rol speelde. Stikstofbemesting had in het geheel geen invloed. De factor jaar en haar interactie met locatie hadden de grootste invloed op de variatie in drogestofgehalte tussen partijen (Tabellen 11.5 en 11.6). Ook bij de variatie binnen partijen beschrijft deze interactie een flink deel van de variatie. Anders dan bij het gemiddelde drogestofgehalte werd bij de variatie binnen partijen een groot deel er van beschreven door een zuiver jaareffect. Dit

geeft aan dat beide eigenschappen waarschijnlijk (gedeeltelijk) door verschillende factoren worden beïnvloed.

De meeste variatie in drogestofgehalte werd aangetroffen tussen de knollen die afkomstig zijn van dezelfde stengel en deze variatie nam gedurende het groeiseizoen sterk toe. Voor vermindering van deze variatie moet ingegrepen worden in het groeiverloop van de afzonderlijke knollen van stengels. De fundamentele kennis is op dit moment nog onvoldoende om hiertoe op korte termijn mogelijkheden te verwachten. Gezien de correlaties tussen drogestofgehalte en nitraatgehalte en de overeenkomsten die werden aangetroffen met het gedrag van de variatie binnen partijen van de blauwgevoeligheid en andere knoleigenschappen, mag worden verwacht dat voor deze andere eigenschappen hetzelfde geldt als voor het drogestofgehalte.

Tabel 11.7 Minimum-, gemiddelde en maximumwaarden van de standaardafwijking van het drogestofgehalte (owg;g) en variantiecomponenten van de natuurlijke logaritme van de variantie van het drogestofgehalte en hun aandeel in het totaal binnen objecten, zijnde een combinatie van ras, stikstofgift, locatie en jaar (Dataset 2).

	St.afw. (owg; g)	
Minimum	18,3	
Gemiddelde	34,0	
Maximum	68,2	

Term	Ln(variantie drogestofgehalte)	%
Jaar	0,08503	43,3
Jaar.Locatie	0,05562	28,3
Jaar.Ras	0,01601	8,2
Jaar.Locatie.Ras	0,01765	9,0
Knollen binnen object	0,02221	11,3
Totaal (n=48)	0,19651	100

Belangrijkste implicaties van dit proefschrift

Drogestofgehalte

- De voorspelbaarheid van de effecten van stikstof- en kaliumbemesting op het drogestofgehalte wordt sterk beperkt door interacties met jaar- en locatie-effecten. De kwantitatieve effecten van stikstof en kalium op het drogestofgehalte zijn tussen rassen slechts in geringe mate verschillend.
- De variatie in drogestofgehalte binnen partijen vindt voor het grootste deel zijn oorsprong in de verschillen tussen knollen die van dezelfde stengel afkomstig zijn. Er is op dit niveau een negatieve correlatie tussen drogestofgehalte en nitraatgehalte. De wetenschap dat sommige ionen en verbindingen alleen door het

floëem of xyleem worden getransporteerd kan een hulpmiddel zijn om het totstandkomen van het drogestofgehalte en andere knoleigenschappen te bestuderen.

- De variatie in drogestofgehalte binnen partijen verschilt slechts weinig tussen rassen. De variatie neemt toe in de loop van het groeiseizoen en wordt beïnvloed door jaar- en locatiefactoren. Stikstofbemesting heeft op deze variatie geen invloed. Afgezien van het zorgen voor homogeniteit op percelen zijn er geen maatregelen om haar tijdens de teelt te beïnvloeden. Correlatie tussen knolgrootte en drogestofgehalte biedt de mogelijkheid om middels maatsortering ook te sorteren op drogestofgehalte. Echter, de toename van het drogestofgehalte met de knolgrootte speelt zich vooral af beneden een knolgrootte van 50 mm. Boven deze knolgrootte is er nauwelijks meer een verband en kan slechts scheiding plaatsvinden met behulp van soortelijk gewicht.

Nitraatgehalte

- Veelvuldige interacties tussen ras, stikstof- en kaliumbemesting, jaar en locatie hebben een complexe invloed op het uiteindelijke nitraatgehalte van aardappelknollen. De invloed van ras en stikstofbemesting wordt consistent aangetroffen, maar vertoont interactie met jaar- en locatie.
- De keuze voor een ras met een laag nitraatgehalte en volstaan met een lage stikstofbemesting zijn maatregelen om knollen met een lager gehalte aan nitraat te verkrijgen. De grote invloed van de niet-beheersbare factoren maakt evenwel de zekerheid waarmee een bepaald gehalte niet wordt overschreden zeer gering. De wetenschap dat grote knollen een lager gehalte bevatten dan kleine biedt enige mogelijkheid om door middel van maatsortering te sturen in het nitraatgehalte van een partij.
- In de beschreven experimenten werden in de laatste weken van het groeiseizoen slechts kleine veranderingen in nitraatgehalte waargenomen. De literatuur vermeldt echter de mogelijkheid van een sterke stijging in diezelfde periode onder invloed van droogte. Afgezien van dergelijke omstandigheden lijkt reeds enkele weken voor de oogst een redelijk betrouwbare screening van partijen op hun nitraatgehalte mogelijk te zijn.
- Net als voor het drogestofgehalte geldt dat de grootste variatie in nitraatgehalte binnen een partij zijn oorsprong heeft in het verschil tussen knollen die van dezelfde stengel afkomstig zijn. Mede op basis van de correlatie tussen drogestofgehalte en nitraatgehalte is een hypothese geformuleerd: de mate waarin overdag de vochtafvoer door het xyleem wordt gecompenseerd door aanvoer uit het floëem kan van invloed zijn op de mate waarin er 's nacht xyleemaanvoer direct naar de knollen plaatsvindt om de turgor te herstellen en daarmee op het uiteindelijke nitraatgehalte, gezien de wetenschap dat nitraat alleen door het xyleem wordt getransporteerd. Juist de knollen die overdag veel drogestof krijgen aangevoerd door het floëem behoeven 's nachts minder compensatie voor vochtverlies en krijgen minder nitraat aangevoerd.

Blauwgevoeligheid

- Aard en omvang van in dit onderzoek aangetroffen effecten van stikstof, kalium en chloor op blauwgevoeligheid sloten aan bij datgene wat er in de Nederlandse literatuur wordt vermeld. Die literatuur bevat geen meldingen over stikstof-kaliuminteracties. Ook in dit onderzoek bleek deze interactie afwezig.
- De blauwgevoeligheid wordt in hoge mate medebepaald door jaar- en locatiegebonden factoren. De factor ras is de enige stuurbare factor van grote betekenis. Een extra voorjaarskalibemesting had daarmee vergeleken een beperkte invloed. Aanpassing van de huidige stikstofbemestingsniveaus zoals in de beschreven experimenten heeft nauwelijks invloed.
- Met toediening van chloor in het voorjaar kan ten opzichte van de huidige praktijk een geringere blauwgevoeligheid worden bereikt. Aangetoond werd dat de kans op schade door chloor in consumptieaardappelen op kleigrond zeer beperkt is en dat de benutting van de huidige hoge chloorkaligiften in het najaar waarschijnlijk kan worden verbeterd door gedeeltelijke toediening in het voorjaar.
- Rassen verschillen voor wat betreft blauwgevoeligheid weinig in reactie op stikstof-, kalium- en chloorbemesting. Praktijkonderzoek kan zich dan ook beperken tot rasvergelijking.

Niet-enzymatische grauwwerpleuring

- Voor de grauwwerpleuring is er slechts één stuurbare teeltfactor van betekenis: ras. Rassenkeuze is de enige mogelijkheid om te sturen in grauwwerpleuring. Het feit dat grauwwerpleuring op zandgrond sterker is dan op kleigrond biedt enige mogelijkheid om rekening te houden met de rasgevoeligheid.
- De invloed van stikstofbemesting op niet-enzymatische grauwwerpleuring is marginaal.
- Een hoge kaliumvoorziening vermindert de niet-enzymatische grauwwerpleuring in geringe mate.

Bakkleur

- De effecten van stikstof op bakkleur zijn in het voor de praktijk relevante bemestingstraject gering en worden overschaduwd door de effecten van ras, jaar en locatie. Pas bij een veel lagere stikstofbemesting dan op dit moment gangbaar is in de Nederlandse consumptieaardappelteelt, wordt bij het introduceren van nieuwe rassen de interactie tussen ras en stikstof de moeite van het onderzoeken waard.
- De stikstofbemesting zal slechts dan door telers worden verlaagd in het voordeel van de bakkleur, wanneer in verhouding tot de verbetering van de bakkleur een aanzienlijk hogere kilograprijs wordt verkregen.
- Een voorjaarskaliumgift, met name in de vorm van chloorkali, gaf een verbetering van de bakkleur. Dit effect verschilde niet tussen rassen.
- De bakkleur is een eigenschap die na de oogst nog sterk kan veranderen. Het bepalingstijdstip van de bakkleur vertoonde interactie met ras, locatie en jaar. Bij de vergelijking van rassen is het dan ook niet alleen noodzakelijk dat die plaatsvindt op

- basis van meerdere jaren en locaties, maar ook op basis van meerdere bepalingstijdstippen gedurende het bewaarseizoen.
- Bepaling van het sucrosegehalte, drogestofgehalte, nitraatgehalte en grondbedekking met groen loof tijdens de groei bieden geen mogelijkheid vroegtijdig onderscheid tussen partijen te maken naar hun latere bakkleur.
 - Het gegeven dat het sucrosegehalte van de knollen nog dalend is kan een indicatie zijn dat het gewas zijn potentieel beste bakkleur nog niet heeft bereikt. Het gegeven dat het laagste sucrosegehalte is bereikt gaat niet per definitie gepaard met een afgestorven gewas. Bij late gewassen kan de nog voortdurende verbetering van de (potentiële) bakkleur teniet worden gedaan door ongunstige weersomstandigheden.

Algemene discussie

- De combinatie van een ruime (chloor)kalivoorziening en een matige stikstofbemesting levert de beste combinatie van kwaliteitseigenschappen. Voor zover niet strijdig met het financieel resultaat, verdient het aanbeveling deze combinatie na te streven. De kans op opbrengstderving van een chloorgift in het voorjaar op kleigrond wordt in de praktijk te zwaar ingeschat. Het verdient brede aanbeveling een deel van de chloorkaligift van het najaar naar het voorjaar te verplaatsen ter vermindering van de blauwgevoeligheid.
- Het verdient aanbeveling te onderzoeken in hoeverre de in de literatuur beschreven opname-interactie tussen nitraat en chloor onder Nederlandse omstandigheden een rol van betekenis speelt en wellicht een rol speelt bij de relatief hoge stikstofgiften op consumptieaardappelen in het zuidwesten van Nederland.
- De opbrengstvermindering door de stikstofbemesting met 50 tot 100 kilogram $N\text{-ha}^{-1}$ te verlagen is relatief gering. De positieve invloed ervan op de meeste kwaliteitseigenschappen is echter ook gering, zodat aan een klein verschil in kwaliteit een relatief groot uitbetalingsverschil moet worden gekoppeld om telers via een financiële prikkel tot het verlagen van de stikstofgift te bewegen.
- Van de onderzochte stuurbare factoren ras, stikstof-, kalium- en chloorbemesting heeft ras verreweg het grootste effect op zowel opbrengst als kwaliteitseigenschappen.
- Een groot deel van de variatie in kwaliteitseigenschappen die zowel tussen als binnen partijen optreedt, wordt veroorzaakt door factoren die samenhangen met jaar en locatie en die tijdens de teelt niet kunnen worden gestuurd. De werkelijkheid van deze factoren is nog vele malen complexer dan de analyses doen voorkomen, immers 'jaar' en 'locatie' zijn verzamelbegrippen voor een complex van factoren die afzonderlijk en in interactie met andere factoren hun invloed uitoefenen. Gezien het grote aandeel in de variatie van jaargebonden factoren en van hun interacties met niet-jaargebonden factoren, mag ernstig worden betwijfeld of kwantitatieve modellen kunnen worden ontwikkeld met een groot perceelsspecifiek voorspellingsvermogen.
- Gebrek aan mogelijkheden om jaar- en locatie-effecten op kwaliteitseigenschappen te voorspellen en daarin te sturen maakt het noodzakelijk de

kwaliteitseigenschappen vroegtijdig op partijniveau te inventariseren. Deze informatie is essentieel om zo goed mogelijk rekening te houden met het verwachte verloop van de eigenschap, technische mogelijkheden om de kwaliteit tijdens verwerking te beïnvloeden en verwachtingen ten aanzien van marktontwikkelingen.

Evaluatie van de doelstellingen

De eerste doelstelling om voor de knoleigenschappen drogestofgehalte, nitraatgehalte, blauwgevoeligheid, niet-enzymatische grauwwerking en bakkleur in beeld te brengen in hoeverre deze eigenschappen worden beïnvloed door ras, stikstof-, kalium- en chloorbemesting en door jaar- en locatie-effecten en in hoeverre er sprake is van interacties tussen deze factoren, werd bereikt. Duidelijk is geworden dat van de stuurbare factoren het effect van ras de grootste invloed uitoefent en dat de effecten van stikstof- en kaliumbemesting gering waren. Jaar- en locatie-effecten bleken zowel voor opbrengst als de kwaliteitseigenschappen een aanzienlijk groter deel van de variatie te veroorzaken dan de stuurbare factoren. Er traden veelvuldig interacties op tussen stuurbare en onbeheersbare factoren. Deze interacties waren echter zeer divers over jaren en locaties, waardoor een volledige kwantitatieve en zelfs kwalitatieve beschrijving van al deze interacties welhaast onmogelijk lijkt.

De tweede doelstelling was voor een aantal eigenschappen te onderzoeken hoe groot de variatie tussen knollen binnen partijen is. Deze doelstelling is bereikt met de conclusie dat deze variatie bijzonder groot is. Voor het drogestofgehalte kon worden geconcludeerd dat er nauwelijks teeltmaatregelen zijn om deze variatie te verminderen. Voor zowel het drogestofgehalte als het nitraatgehalte werd vastgesteld dat de grootste variatiebron wordt gevormd door de verschillen tussen knollen die aan dezelfde stengel zijn gegroeid. Een hypothese werd geformuleerd over het tot stand komen van deze variatie: de mate waarin overdag de vochtafvoer door het xyleem wordt gecompenseerd door aanvoer uit het floëem kan van invloed zijn op de mate waarin er 's nachts xyleemaanvoer direct naar de knollen plaatsvindt om de turgor te herstellen en daarmee op het uiteindelijke nitraatgehalte, gezien de wetenschap dat nitraat alleen door het xyleem wordt getransporteerd. Juist de knollen die overdag veel drogestof krijgen aangevoerd door het floëem behoeven 's nachts minder compensatie voor vochtverlies en krijgen minder nitraat aangevoerd.

De derde doelstelling was gewas- en/of knoleigenschappen te vinden die tijdens het groeiseizoen reeds een indicatie kunnen verstrekken over de later te verwachten bakkleur. Deze doelstelling werd niet bereikt. Geen van de tijdens de groei onderzochte eigenschappen was in staat partijen van verschillende herkomst te onderscheiden naar hun latere bakkleur.

Het vierde doel: de resultaten van de onderzoekshoofdstukken met elkaar in verband brengen en in een breder kader plaatsen, werd bereikt. Het bleek dat - in verhouding tot de kwaliteitswinst - een relatief grote stijging van de uitbetaling per kilogram nodig is om telers tot een verlaging van de stikstofgift te bewegen. Het bleek ook dat er in de praktijk teveel angst bestaat voor een opbrengstderving als gevolg van het toepassen van

chloorkali in het voorjaar op kleigrond en dat deze toepassing brede aanbeveling verdient ter bestrijding van blauwgevoeligheid.

Onbeheersbare factoren (jaar en locatie) en hun interacties met stuurbare factoren (ras, stikstof, kalium en chloor) bleken het grootste deel van de variatie tussen partijen te veroorzaken, van de door stuurbare factoren veroorzaakte variatie werd het grootste deel door ras veroorzaakt.

Literatuur

Es, A. van & K.J. Hartmans, 1987. Starch and sugars during tuberization, storage and sprouting, In: A. Rastovski, A. van Es et al. (eds), Storage of potatoes, post-harvest behaviour, store design, storage practice, handling, Pudoc, Wageningen, p. 79-113.

Harward, M.E., W.A. Jackson, L.W. Nielson, J.R. Piland and D.D. Mason, 1956. Effects of soil moisture tension and of chloride and sulfate treatments upon yield, composition and bacterial soft rot of Irish potatoes, Soil Science Society of America Proceedings 20, nr. 1, p. 59-65.

Hertog, M.L.A.T.M., B.Putz & L.M.M. Tijskens, 1997a. Sugar accumulation during storage as function of harvest time, Potato Research 40, p. 69-78.

Hertog, M.L.A.T.M., L.M.M. Tijskens & P.S. Hak, 1997b. 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, p. 67-79.

Horst, K. ter, 1968. Een proef ter bepaling van de werking van het chloride in stalmeest op de zetmeelopbrengst van fabrieksaardappelen, IB-rapport 1, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, 12 pp.

Horst, K. ter, 1969. Vakproef over de invloed van chloride, aangebracht op verschillende diepten in het profiel, op het onderwatergewicht van fabrieksaardappelen, Verslag van VP 875, IB-rapport 5, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, 7 pp.

James, D.W., W.H. Weaver & R.L. Reeder, 1970. Chloride uptake by potatoes and the effects of potassium chloride, nitrogen and phosphorus fertilization, Soil Science 109, nr. 1, p. 48-52.

Loon, C.D. van & J.F. Houwing, 1989a. Het effect van een chloorbemesting op blauwgevoeligheid, onderwatergewicht, bakkwaliteit en opbrengst van enkele consumptie-aardappelrassen, In: P. de Jonge (ed.), Jaarboek 1988/89, Lelystad, PAGV, Publicatie 49, 241 pp.

- Loon, C.D. van & J.F. Houwing, 1989b. Optimalisering van de stikstofvoeding van consumptieaardappelen, PAGV-publicatie 42, Lelystad, 90 pp.
- Neeteson, J.J., 1989. Effect of reduced fertilizer nitrogen application rates on yield and nitrogen recovery of sugar beet and potatoes, Netherlands Journal of Agricultural Science 37, p. 227-236.
- Prummel, J., 1956. Kalibemesting bij aardappelen, Stikstof 11, p. 367-372.
- Prummel, J., 1966. Schade door chloorhoudende meststoffen bij aardappelen, De Buffer 12, nr. 6, p. 128-133
- Prummel, J. 1986. Invloed van kalium op de blauwgevoeligheid van aardappelen, Rapport 12-86, Instituut voor bodemvruchtbaarheid, Haren, 29 pp.
- Saffigna, P.G. & D.R. Keeney, 1977. Nitrogen and chloride uptake by irrigated Russet Burbank potatoes, Agronomy Journal 69, p. 258-264.
- Ziegler, G., 1969. Düngung der Speise und Pflanzkartoffeln, Feldwirtschaft 10, nr. 1, p. 31-32.

Samenvatting

Algemene inleiding

Door de goede knoleigenschappen van het ras Bintje en de stabiliteit ervan heeft de Nederlandse fritesindustrie – en haar exportwaarde - zich in de jaren '60, '70 en '80 in hoge mate ontwikkeld op basis van een ruime voorziening van aardappelen van dit ras. In die periode werd het areaal Bintje sterk uitgebreid.

Aan aardappelen die voor fritesproductie worden gebruikt worden eisen gesteld ten aanzien van het drogestofgehalte, de blauwgevoeligheid, de niet-enzymatische grauwerkleuring, de bakkleur en soms het nitraatgehalte. Teeltmaatregelen zoals stikstof- en kaliumbemesting en teeltomstandigheden zoals neerslag en temperatuur beïnvloeden deze eigenschappen alsook de opbrengst en sortering. Sommige factoren zijn gunstig voor de ene, maar ongunstig voor de andere eigenschap. Het verkrijgen van een hoge opbrengst die bovendien maximaal aan alle kwaliteitseigenschappen voldoet is dan ook een vrijwel onmogelijke opgave.

Ondanks zijn goede eigenschappen voor fritesproductie heeft het ras Bintje echter ook een aantal teeltkundige bezwaren die vervanging door andere rassen gewenst maken. Een relatief fijne sortering, een geringe resistentie tegen een aantal ziekten en plagen, gevoeligheid voor droogte en doorwas zijn hiervan de belangrijkste. Nieuwe wetgeving ten aanzien van de bestrijding van aardappelmoehed maakte de introductie van aardappelmoehedresistente rassen noodzakelijk en was de directe aanleiding tot onderzoek naar de invloed van stikstof-, kalium- en chloorbemesting en jaar- en locatie-effecten op deze nieuwe rassen.

Homogeniteit van de aangeleverde aardappelen is voor de verwerkende industrie belangrijk. Niet alleen heterogeniteit tussen partijen van verschillende herkomst, maar ook die van binnen een partij vertaalt zich in heterogeniteit van de eigenschappen van het eindproduct.

De condities tijdens de bewaring hebben grote invloed op een aantal kwaliteitseigenschappen van aardappelen. Een voorbeeld daarvan is de bewaartemperatuur die een grote invloed op de bakkleur heeft. De bakkleur van aardappelen wordt bovendien sterk bepaald door seizoensinvloeden. Voor de praktijk zou het van grote waarde zijn op het moment van de oogst de invloed van seizoensinvloeden te kunnen voorspellen, zodat daarop met het manipuleren van bewaarfactoren kan worden ingespeeld.

Het onderzoek in dit proefschrift beschrijft de invloed van ras, stikstof, kalium en chloor en jaar- en locatie-invloeden op drogestofgehalte, nitraatgehalte, blauwgevoeligheid, niet-enzymatische grauwerkleuring en bakkleur. Het beschrijft eveneens hoe groot de variatie in drogestofgehalte, nitraatgehalte en blauwgevoeligheid binnen een perceel is, op welk niveau die totstandkomt en in hoeverre ze door ras, locatie, jaar en stikstof wordt beïnvloed. Als derde beschrijft het proefschrift onderzoek waarin gezocht werd naar gewas- en knolparameters tijdens de groei waarmee de latere bakkleur tijdens de bewaring kan worden voorspeld. Tot slot worden de resultaten van de onderzoekshoofdstukken met elkaar in verband gebracht en in een breder kader geplaatst.

Drogestofgehalte

Het drogestofgehalte bepaalt in hoge mate of een partij consumptieaardappelen geschikt is voor een bepaalde bestemming. Van de rassen Agria, Morene, Van Gogh, Santé, Benno Vrizo, Asterix, Aziza en Maritiema had alleen Agria gemiddeld een lager onderwatergewicht (maat voor het drogestofgehalte) dan Bintje. Een verlaging van de Bintje-adviesstikstofgift met 50 kg N·ha⁻¹ verhoogde het drogestofgehalte slechts zeer weinig, een verlaging met 100 kg N·ha⁻¹ verhoogde het onderwatergewicht met gemiddeld 10 gram. Dit effect was bij alle rassen vergelijkbaar en komt overeen met de literatuur. Invloed van jaren en locaties op dit effect moet vooral worden toegeschreven aan de invloed van weersomstandigheden en bodemeigenschappen op de stikstofnalevering uit de bodem.

Een voorjaarskaliumgift met patentkali (in de meeste gevallen voorafgegaan door een ruime chloorkaligift in het voorafgaande najaar) verlaagde het onderwatergewicht met gemiddeld 8 à 12 gram. Wanneer kalium in de vorm van chloorkali werd toegediend was de verlaging bijna 10 gram groter.

Er was sprake van kleine rasverschillen in de respons van het onderwatergewicht op zowel stikstof, kalium als chloor.

Zowel de locatie als het teeltjaar had een duidelijk effect op het drogestofgehalte. Deze twee factoren vertoonden evenwel een onderlinge interactie en beide interacteerden ook met stikstof en kalium. Tevens was de ras-locatie-jaarinteractie significant. Daar de invloed van het jaar en gedeeltelijk ook die van locatie onvoorspelbaar zijn, worden door hun interactie met stikstof en kalium ook de effecten van de stikstof- en kaliumgiften op het onderwatergewicht gedeeltelijk onvoorspelbaar.

Variatie in drogestofgehalte binnen partijen

Het drogestofgehalte van een partij aardappelen hangt sterk samen met het oogsttijdstip. Globaal is er sprake van een toename van het drogestofgehalte, maar door verschil in weersomstandigheden en bodemcondities kan het verloop tussen locaties en seizoenen verschillen en kan er zelfs sprake zijn van dalingen. Het drogestofgehalte en de snelheid waarmee het toeneemt verschillen tussen rassen. Voor een deel hangt dit samen met de vroegrijpheid van de rassen. Het verloop van de grondbedekking met groen loof vertoonde onvoldoende verband met het verloop van het drogestofgehalte van de knollen om de eerste te gebruiken als voorspeller van de tweede. Dat de invloed van stikstof op beide parameters niet gelijkvormig was, droeg hieraan bij.

Niet alleen het gemiddelde drogestofgehalte, maar ook de variatie binnen partijen beïnvloedt de kwaliteit van het eindproduct. De variatie binnen partijen verschilde duidelijk tussen rassen, maar werd niet beïnvloed door de aangelegde stikstoftrappen. Hoewel er verschil was tussen experimenten in variatie binnen partijen, waren er geen locaties met consistent meer of minder variatie dan andere. Dit wordt veroorzaakt door de interactie met het jaar, zijnde o.a. de locale meteorologische en bodemcondities.

In verschillende experimenten werd vastgesteld dat consistent minimaal 80 % van de variantie van het drogestofgehalte binnen de partij werd aangetroffen binnen de experimentele eenheden. In gedetailleerdere experimenten werd vastgesteld dat 80 à 90

% van de variantie binnen experimentele eenheden werd veroorzaakt door knollen afkomstig van dezelfde planten en zelfs van dezelfde stengels.

Het oogsttijdstip van partijen bleek niet alleen het gemiddelde drogestofgehalte te beïnvloeden, ook bleek de variatie binnen partijen in de loop van het groeiseizoen toe te nemen. De extremen in drogestofgehalte namen toe bij alle klassen van knolgewicht. De extremen waren evenwel bij kleine knollen groter dan bij grote knollen, ondanks het feit dat het gemiddelde drogestofgehalte bij alle knolgewichten in de loop van de tijd toenam. Variabiliteit in drogestofgehalte kwam niet overeen met die in knolgrootte. In de literatuur wordt in onderzoek naar variatie in andere knoleigenschappen en correlaties daartussen zelden melding gemaakt van waarnemingen op het niveau van individuele knollen. Het verdient aanbeveling op dit niveau onderzoek te doen naar correlaties tussen knoleigenschappen om meer inzicht te krijgen in de potentiële mechanismen waarmee de variatie tussen individuele knollen totstandkomt. Het drogestofgehalte is de resultante van floëem- en xyleemaanvoer naar de knollen. De wetenschap dat sommige ionen en verbindingen exclusief door ofwel floëem dan wel xyleem worden getransporteerd kan hierbij behulpzaam zijn.

Nitraatgehalte

Het nitraatgehalte van aardappelknollen is laag in vergelijking met dat van veel andere plantaardige producten en is niet verantwoordelijk voor acute overschrijdingen van de maximaal acceptabele dagelijkse inname. Toch kan soms het gehalte onderwerp van aandacht zijn door een groot aandeel van gekookte aardappelen in het menu.

Rassen bleken consistent te verschillen in nitraatgehalte. De oorzaak van rasverschillen is onduidelijk. Zowel een verhoogde stikstof- als een verhoogde patentkalibemesting bleek het nitraatgehalte in de knollen te verhogen. Over het algemeen bevatten knollen van de maat 40/50 mm een hoger gehalte dan knollen van de maat 50/60 mm. Het verschil was echter afhankelijk van ras, stikstof, locatie en jaar.

Het gemiddelde gehalte werd sterk beïnvloed door locatie en jaar. Een locatie waarvan de bodem er om bekend staat veel stikstof te mineraliseren gaf het hoogste nitraatgehalte. De interactie tussen ras, stikstof, locatie en jaar was significant. Afgezien van rasverschil is hierdoor het niveau van het uiteindelijk nitraatgehalte van een partij onvoorspelbaar.

Variatie in nitraatgehalte binnen partijen

Net als voor het drogestofgehalte geldt dat het nitraatgehalte van de knollen in de loop van het groeiseizoen aan verandering onderhevig is. Het effect van het oogsttijdstip vertoonde interactie met resp. ras, locatie, jaar en stikstof. Het verloop van het nitraatgehalte vertoonde geen gelijkvormigheid met dat van het drogestofgehalte of met dat van het afsterven van het loof.

Net als bij het drogestofgehalte werd binnen experimentele eenheden minimaal 80 % van de variantie veroorzaakt door verschillen tussen knollen die afkomstig zijn van dezelfde stengel.

De variatiebronnen voor het nitraatgehalte stemden kwalitatief en kwantitatief in hoge mate overeen met die voor het drogestofgehalte. Bij twee rassen was er bij gemiddeld 80

% van de stengels sprake van een negatief verband tussen het drogestofgehalte en het nitraatgehalte van de knollen, bij 27 % van de stengels was het verband significant. Dit duidt er op dat drogestof- en nitraatgehalte mogelijk worden beïnvloed door soortgelijke processen. Dat de correlatie het hoogst was voor het nitraatgehalte op basis van droge stof doet vermoeden dat - ondanks het feit dat het nitraat door het xyleem in de knollen wordt aangevoerd - het nitraatgehalte vooral wordt beïnvloed door het aanvoerpatroon van drogestof naar de individuele knol. Bekend is dat er door de verdamping die er overdag plaatsvindt, water aan de knollen wordt onttrokken door het xyleem en dat er 's nachts xyleemvocht naar de knollen wordt aangevoerd. Overdag vindt er evenwel ook aanvoer van water plaats door het floëem, met daarin hoofdzakelijk sucrose als droge stof. De mate waarin overdag de vochtafvoer door het xyleem wordt gecompenseerd door aanvoer uit het floëem kan van invloed zijn op de mate waarin er 's nacht xyleemaanvoer plaatsvindt om de turgor te herstellen. Dit betekent concreet dat een knol die overdag een grote floëemaanvoer heeft enerzijds veel sucrose krijgt aangevoerd, hetgeen leidt tot een hoog gehalte aan droge stof. Anderzijds krijgt deze knol overdag door het floëem ook relatief veel vocht aangevoerd, waardoor 's nachts minder vocht door het xyleem hoeft te worden aangevoerd om te compenseren voor het vochtverlies dat overdag via het xyleem is opgetreden.

Blauwgevoeligheid

Stootblauw, onderhuidse blauwgrijs verkleurde plekken in het knolweefsel, worden veroorzaakt door mechanische belasting van dit weefsel. De aanwezigheid ervan vormt voor alle bestemmingen van consumptieaardappelen een ernstig kwaliteitsgebrek.

Rassen verschillen in blauwgevoeligheid. Er was geen verband tussen het drogestofgehalte van rassen en hun blauwgevoeligheid. Een verlaging van de stikstofgift met 100 kg N-ha^{-1} ten opzichte van het advies voor het ras Bintje had slechts een geringe toename van de blauwgevoeligheid tot gevolg. Een extra voorjaarspatentkaligift (in de meeste gevallen bovenop een bouwplankalibemesting) had geen grote verlaging van de blauwgevoeligheid tot gevolg. Wanneer chloorkali in plaats van patentkali werd toegediend was de verlaging groter. Duidelijke rasverschillen in respons op stikstof of kalium werden niet aangetroffen. In dit licht verdient het aanbeveling in de praktijk (een deel van de) chloorkali in het voorjaar toe te dienen. Door beter gebruik te maken van het effect van chloor op de blauwgevoeligheid kan met een lagere gift aan zuivere kali worden volstaan.

De geringste blauwgevoeligheid werd aangetroffen bij de combinatie van een hoog stikstofniveau en een extra voorjaarskaliumgift in de vorm van chloorkali. In één ras werd echter de blauwgevoeligheid door de extra voorjaarskaliumgift alleen verlaagd bij een verlaagde stikstofgift. Bij een hogere stikstofgift nam de blauwgevoeligheid door de voorjaarskaliumgift juist toe. Dit bevestigde enkele literatuurmeldingen van een interactie tussen ras en kalium.

Er was een duidelijke interactie tussen locatie en jaar voor wat betreft de blauwgevoeligheid. Er was in deze geen verband met de effecten van locatie en jaar op het drogestofgehalte.

Variatie in blauwgevoeligheid binnen partijen

In één experiment bleek net als voor drogestofgehalte en nitraatgehalte het overgrote deel (>95%) van de variatie tussen knollen voor te komen binnen en niet tussen veldjes. Uit de literatuur is bekend dat er op knolniveau een relatie bestaat tussen drogestofgehalte en blauwgevoeligheid. Op basis hiervan mag worden verondersteld dat de variatiebronnen zoals die voor het drogestofgehalte en het nitraatgehalte werden vastgesteld, waarschijnlijk ook van toepassing zijn op de blauwgevoeligheid.

Niet-enzymatische grauwwerking

Na het koken of voorbakken van aardappelen kan er als gevolg van een niet-enzymatisch proces een blauwgrijze verkleuring ontstaan die als negatief voor de kwaliteit wordt beschouwd.

Van de beproefde rassen vertoonde alleen het ras Agria even weinig grauwwerking als het ras Bintje. Een hoge stikstofbemesting versterkte de grauwwerking, een extra voorjaarskalibemesting verlaagde haar. Hoewel het effect van de extra kalibemesting het grootst was bij een hoog stikstofniveau leverde de combinatie van een lage stikstofbemesting en een hoge kalibemesting de minste grauwwerking. In absolute zin waren de effecten echter zodanig klein dat de invloed van stikstof en kalium op de niet-enzymatische grauwwerking geen zwaarwegend argument kan zijn in de vaststelling van de gewenste giften van deze elementen.

De grauwwerking nam toe tijdens de bewaring, de toename verschilde evenwel tussen rassen.

De rasverschillen waren veel groter dan de effecten van stikstof- en kalibemesting. Het beschikken over rassen met weinig neiging tot grauwwerking is dan ook verreweg de meest effectieve maatregel om aardappelen te produceren die de verkleuring weinig of niet zullen vertonen.

Bakkleur

De bakkleur van voor- en nagebakken producten is een belangrijke eigenschap, hoe lichter de kleur, hoe beter het product wordt gewaardeerd. De literatuur maakt reeds duidelijk dat de bakkleur en het verloop ervan tijdens de bewaring niet alleen worden beïnvloed door veel factoren tijdens het groeiseizoen, maar ook in belangrijke mate door de bewaartemperatuur.

Rasverschillen in bakkleur vertoonden enige interactie met stikstofbemesting, maar de interactie was consistent over locaties en jaren heen. Bakkleur en rijptijd van rassen vertoonden geen verband.

Er waren aanzienlijke effecten van locatie en jaar op de bakkleur. Bovendien was er niet alleen interactie tussen deze twee factoren, maar ook met bewaarduur en ras. De effecten van locatie en jaar zijn een complex geheel van bodem- en weergeerelateerde factoren. Door de onvoorspelbaarheid van de (lokale) weerfactoren en de interacties zijn de effecten op bakkleur niet voorspelbaar.

In experimenten met een breed bereik van giften bleek een negatief effect van stikstof op de bakkleur. In een smaller bereik van meer met de praktijk overeenkomende giften bleek de invloed van stikstof beperkt. Een relatief groot prijsverschil bij een relatief klein

verschil in bakkleur zou nodig zijn om telers ter verbetering van de bakkleur minder stikstof te laten strooien.

Een extra voorjaarskaligift leidde tot een betere bakkleur. Dit effect was sterker wanneer chloorkali in plaats van patentkali werd gebruikt. Het positieve effect van de kaligiften was sterker bij lage dan bij hoge stikstofniveaus. De mate waarin dit het geval was, verschilde echter tussen afzonderlijke experimenten, hetgeen interactie met locatie en jaar suggereert.

In de meeste gevallen bleek bij een bewaartemperatuur van 7 à 8 °C de bakkleur in april beter te zijn dan in december. Naarmate de bakkleur in december slechter was, was in de regel de verbetering groter. Stikstof- en kalibemesting hadden geen invloed op de verandering in bakkleur tijdens de bewaring. Er was wel sprake van een interactie tussen ras, locatie en jaar, een voorspelling van de verandering in bakkleur op basis van empirische data is hierdoor onmogelijk. Voor goede rasvergelijkingen is het van belang dat een consistent bepalingstijdstip wordt aangehouden en dat de vergelijking is gebaseerd op data van meerdere locaties en jaren.

Bakkleur in relatie tot knol- en gewaseigenschappen tijdens de groei

Aangezien de meeste aardappelen voor verwerking gedurende lange tijd worden bewaard, zou het van grote waarde zijn om van een partij aardappelen vroegtijdig te weten hoe de bakkleur zich bij een zekere bewaartemperatuur zal ontwikkelen. In deze voorspelling moeten dan met name de invloeden van de groeiomstandigheden (als gevolg van locatie- en jaarinvloeden) tot uiting komen. Hierdoor kan het afzettijdstip beter worden gepland en kan op de ontwikkeling worden geanticipeerd door de bewaartemperatuur aan te passen.

Op twee locaties werd in drie jaren onderzocht of de bakkleur, bepaald in december en april volgend op de oogst, correleerde met één of meer van de volgende parameters: drogestofgehalte, reducerend-suikergehalte, sucrosegehalte en nitraatgehalte van de knollen tijdens de groei en op het moment van de oogst en de grondbedekking met groen loof op het moment van loofdoding. Ook werd onderzocht of de invloed van stikstof op de latere bakkleur met behulp van deze parameters kon worden beschreven.

Hoewel er in veel gevallen duidelijke invloeden waren op de latere bakkleur van ras, locatie en jaar, correleerde geen van de parameters voldoende met de latere bakkleur om er voorspellende waarde aan toe te kennen. Ook voor stikstof geldt dat ze zowel op veel van de onderzochte parameters als op de latere bakkleur invloed had, maar de invloed van stikstof was niet met de onderzochte parameters te voorspellen.

Algemene discussie

Voor alle onderzochte kwaliteitseigenschappen gold dat er significante rasverschillen optraden. Interacties van ras met stikstof, kalium en chloor waren gering of afwezig bij het drogestofgehalte, de blauwgevoeligheid, niet-enzymatische grauwwerking en bakkleur. Bij het nitraatgehalte was er een duidelijke interactie tussen ras en stikstof en deze werd bovendien door zowel locatie als jaar beïnvloed. Dit maakt dat bij deze eigenschap voor een relevante rasvergelijking het stikstofniveau van belang is, maar ook dat vergelijking met voldoende spreiding in teeltomstandigheden (jaren en locaties) moet

plaatsvinden. Dit laatste geldt ook voor de bakkleur, waarbij er sterke interactie was van ras met jaar en/of locatie. Bij de bakkleur trad bovendien interactie op met het tijdstip waarop de bakkleur na de oogst wordt bepaald. Daarom is het nodig jaarlijks hetzelfde bepalingstijdstip te hanteren of meerdere bepalingen in de loop van de tijd uit te voeren.

De gevonden effecten van stikstof- kalium- en chloorbemestingen lijken als gevolg van geringe interactie met de factor ras zonder veel risico naar andere rassen te kunnen worden geëxtrapoleerd, al zijn er indicaties dat een enkel ras qua blauwgevoeligheid anders kan reageren op combinaties van stikstof- en kaliumniveaus.

Uit een oogpunt van het nastreven van een per saldo optimale kwaliteit verdient een matige stikstofbemesting en een ruime kalium- en/of chloorvoorziening de voorkeur.

De aangetroffen opbrengstdervingen door een verlaging van de stikstofgift ten opzichte van de huidige adviezen stemden overeen met eerdere Nederlandse onderzoeken. Om telers hiertoe ter verhoging van de kwaliteit te bewegen zijn relatief weinig hogere kilogramprijzen nodig, de erdoor te bereiken kwaliteitsverbeteringen zijn evenwel erg gering, waarschijnlijk te gering om ze in de ogen van de afnemer hun prijs waard te laten zijn.

Extra kaliumgiften in het voorjaar bleken gunstig voor een aantal kwaliteitseigenschappen. Bij de toepassing van chloorkali in plaats van patentkali werd gemiddeld een iets kleinere opbrengstverhoging aangetroffen, maar geen opbrengstverlaging, ook niet in combinatie met hoge stikstofgiften. De literatuur waarop de Nederlandse angst voor de toepassing van chloor in aardappelen is gebaseerd, heeft vooral betrekking op zetmeelaardappelen waar een verlaging van het drogestofgehalte al snel leidt tot een lager financieel resultaat door het gewicht van het drogestofgehalte in de uitbetaling. Echter ook in de literatuur is er zelden sprake van ernstige opbrengstderving. Gesteld wordt dat in het onderzoek waaruit het advies is voortgevloeid om chloorkali in het voorafgaande najaar in plaats van het voorjaar, sprake kan zijn geweest van verdringing van nitraat door chloride. Hierdoor kan er sprake zijn van een geïnduceerd stikstofgebrek, in plaats van werkelijke chloorschade. Het feit dat de opbrengstverhogingen van zowel patent- als chloorkali 2 à 3 % groter waren bij de adviesstikstofgift dan bij 50 à 75 kg N·ha⁻¹ lagere stikstofgiften, ondersteunt deze gedachte. Tevens wordt gesteld dat op veel kleigronden overwogen zou moeten worden (een deel van) de chloorkaligift in het voorjaar toe te passen. Daar chloor net als kalium de blauwgevoeligheid verlaagt, kan dan met een lagere gift aan zuivere kali worden volstaan.

De in dit onderzoek gehanteerde factoren “jaar” en “locatie” zijn complexe factoren, samengesteld uit vele andere factoren en interacties daartussen, die zowel directe als indirecte invloed uitoefenen op de gewasgroei. Daar vele van deze factoren weerfactoren zijn of daardoor worden beïnvloed, staat of valt de voorspelbaarheid van hun werking met de voorspelbaarheid van het weer. De onzekerheid van het verloop van deze factoren maakt de gedeeltelijke onvoorspelbaarheid van opbrengst en kwaliteitseigenschappen inherent. Los daarvan zijn er factoren die gunstig zijn voor de ene, maar ongunstig zijn voor de andere kwaliteitseigenschap. Het is dus een onmogelijkheid te bereiken dat alle partijen maximaal voldoen aan de gewenste specificaties. Om deze reden zullen andere mechanismen nodig blijven om de na de

oogst beschikbare aardappelen maximaal te benutten. Bepaling van drogestofgehalte, nitraatgehalte en niet-enzymatische grauwwerking vlak na de oogst maakt het mogelijk om zowel verwerkings- als marktechnisch rekening te houden met de kwaliteitseigenschappen van partijen en de ontwikkeling daarvan tijdens de bewaring. Door de onvoorspelbaarheid van de verandering van bakkleur na de oogst en de grote invloed van de bewaartemperatuur hierop moet de bakkleur met een zeker interval worden vastgesteld om er verwerkings- en marktechnisch naar te kunnen handelen.

Voor het drogestofgehalte werd de invloed van factoren op variatie binnen partijen vastgesteld. Hier bleken vooral jaar en locatie de grootste invloed te hebben. Bijna 90 % van de invloeden op variatie werd veroorzaakt door jaar en locatie en hun interactie met de factor ras. Stikstofbemesting had geen invloed en rassen hadden alleen invloed in interactie met jaar en locatie.

In het totaal aan variatie tussen partijen in opbrengst en kwaliteitseigenschappen bleek ras - van de stuurbare factoren ras, stikstof, kalium en chloor – het grootste deel te bepalen. In veel gevallen was er weinig interactie van ras met andere – stuurbare en onbeheersbare – factoren, hetgeen ras tot een relatief bedrijfszekere stuurbare factor maakt. Van de totale variatie werd – afhankelijk van de kwaliteitseigenschap – 10 tot 40 % beschreven door de factor ras.

De toegepaste bereiken van stikstof- en kalibemesting beschreven opvallend weinig van de totale variatie, in de meeste gevallen slechts enkele procenten. Hetzelfde gold voor de interacties van stikstof en kali met ras, locatie en jaar.

Bij de eigenschappen bruto en netto opbrengst, drogestofgehalte, blauwgevoeligheid, grauwwerking en bakkleur werd resp. 65, 65, 80, 54, 49 en 43 % van de totale variatie beschreven door de factoren jaar en locatie en hun interacties met elkaar en met de andere factoren.

Geconcludeerd wordt dat in de huidige Nederlandse teeltpraktijk het grootste deel van de variatie tussen partijen wordt veroorzaakt door factoren waar de teler geen of nauwelijks invloed op heeft. De voornaamste potentiële verbetering hierin zou het kunnen opheffen van vochttekort door beregening zijn, hetgeen op het grootste deel van de Nederlandse consumptieaardappelen op kleigrond geen praktijk is.

Opsomming van de belangrijkste implicaties van dit proefschrift

- De voorspelbaarheid van de effecten van stikstof- en kaliumbemesting op het drogestofgehalte wordt sterk beperkt door interacties met jaar- en locatie-effecten. De kwantitatieve effecten van stikstof en kalium op het drogestofgehalte zijn tussen rassen slechts in geringe mate verschillend.
- De variatie in drogestofgehalte binnen partijen vindt voor het grootste deel zijn oorsprong in de verschillen tussen knollen die van dezelfde stengel afkomstig zijn. Er is op dit niveau een negatieve correlatie tussen drogestofgehalte en nitraatgehalte. De wetenschap dat sommige ionen en verbindingen alleen door het floëem of xyleem worden getransporteerd kan een hulpmiddel zijn om het totstandkomen van het drogestofgehalte en andere knoleigenschappen te bestuderen.

- De variatie in drogestofgehalte binnen partijen verschilt slechts weinig tussen rassen. De variatie neemt toe in de loop van het groeiseizoen en wordt beïnvloed door jaar- en locatiefactoren. Stikstofbemesting heeft op deze variatie geen invloed. Afgezien van het zorgen voor homogeniteit op percelen zijn er geen maatregelen om haar tijdens de teelt te beïnvloeden. Correlatie tussen knolgrootte en drogestofgehalte biedt de mogelijkheid om middels maatsortering ook te sorteren op drogestofgehalte. Echter, de toename van het drogestofgehalte met de knolgrootte speelt zich vooral af beneden een knolgrootte van 50 mm. Boven deze knolgrootte is er nauwelijks meer een verband en kan slechts scheiding plaatsvinden met behulp van soortelijk gewicht.
- Veelvuldige interacties tussen ras, stikstof- en kaliumbemesting, jaar en locatie hebben een complexe invloed op het uiteindelijke nitraatgehalte van aardappelknollen. De invloed van ras en stikstofbemesting wordt consistent aangetroffen, maar vertoont interactie met jaar- en locatie.
- De keuze voor een ras met een laag nitraatgehalte en volstaan met een lage stikstofbemesting zijn maatregelen om knollen met een lager gehalte aan nitraat te verkrijgen. De grote invloed van de niet-beheersbare factoren maakt evenwel de zekerheid waarmee een bepaald gehalte niet wordt overschreden zeer gering. De wetenschap dat grote knollen een lager gehalte bevatten dan kleine biedt enige mogelijkheid om door middel van maatsortering te sturen in het nitraatgehalte van een partij.
- In de beschreven experimenten werden in de laatste weken van het groeiseizoen slechts kleine veranderingen in nitraatgehalte waargenomen. De literatuur vermeldt echter de mogelijkheid van een sterke stijging in diezelfde periode onder invloed van droogte. Afgezien van dergelijke omstandigheden lijkt reeds enkele weken voor de oogst een redelijk betrouwbare screening van partijen op hun nitraatgehalte mogelijk te zijn.
- Net als voor het drogestofgehalte geldt dat de grootste variatie in nitraatgehalte binnen een partij zijn oorsprong heeft in het verschil tussen knollen die van dezelfde stengel afkomstig zijn. Mede op basis van de correlatie tussen drogestofgehalte en nitraatgehalte is een hypothese geformuleerd: de mate waarin overdag de vochtafvoer door het xyleem wordt gecompenseerd door aanvoer uit het floëem kan van invloed zijn op de mate waarin er 's nacht xyleemaanvoer direct naar de knollen plaatsvindt om de turgor te herstellen en daarmee op het uiteindelijke nitraatgehalte, gezien de wetenschap dat nitraat alleen door het xyleem wordt getransporteerd. Juist de knollen die overdag veel drogestof krijgen aangevoerd door het floëem behoeven 's nachts minder compensatie voor vochtverlies en krijgen minder nitraat aangevoerd.
- Aard en omvang van in dit onderzoek aangetroffen effecten van stikstof, kalium en chloor op blauwgevoeligheid sloten aan bij datgene wat er in de Nederlandse literatuur wordt vermeld. Die literatuur bevat geen meldingen over stikstof-kaliuminteracties. Ook in dit onderzoek bleek deze interactie afwezig.
- De blauwgevoeligheid wordt in hoge mate medebepaald door jaar- en locatiegebonden factoren. De factor ras is de enige stuurbare factor van grote

- betekenis. Een extra voorjaarskalibemesting had daarmee vergeleken een beperkte invloed. Aanpassing van de huidige stikstofbemestingsniveaus zoals in de beschreven experimenten heeft nauwelijks invloed.
- Met toediening van chloor in het voorjaar kan ten opzichte van de huidige praktijk een geringere blauwgevoeligheid worden bereikt. Aangetoond werd dat de kans op schade door chloor in consumptieaardappelen op kleigrond zeer beperkt is en dat de benutting van de huidige hoge chloorkaligiften in het najaar waarschijnlijk kan worden verbeterd door gedeeltelijke toediening in het voorjaar.
 - Rassen verschillen voor wat betreft blauwgevoeligheid weinig in reactie op stikstof-, kalium- en chloorbemesting. Praktijkonderzoek kan zich dan ook beperken tot rasvergelijking.
 - Voor de grauwwerking is er slechts één stuurbare teeltfactor van betekenis: ras. Rassenkeuze is de enige mogelijkheid om te sturen in grauwwerking. Het feit dat grauwwerking op zandgrond sterker is dan op kleigrond biedt enige mogelijkheid om rekening te houden met de rasgevoeligheid.
 - De invloed van stikstofbemesting op niet-enzymatische grauwwerking is marginaal.
 - Een hoge kaliumvoorziening vermindert de niet-enzymatische grauwwerking in geringe mate.
 - De effecten van stikstof op bakkleur zijn in het voor de praktijk relevante bemestingstraject gering en worden overschaduwd door de effecten van ras, jaar en locatie. Pas bij een veel lagere stikstofbemesting dan op dit moment gangbaar is in de Nederlandse consumptieaardappelteelt, wordt bij het introduceren van nieuwe rassen de interactie tussen ras en stikstof de moeite van het onderzoeken waard.
 - De stikstofbemesting zal slechts dan door telers worden verlaagd in het voordeel van de bakkleur, wanneer in verhouding tot de verbetering van de bakkleur een aanzienlijk hogere kilograprijs wordt verkregen.
 - Een voorjaarskaliumgift, met name in de vorm van chloorkali, gaf een verbetering van de bakkleur. Dit effect verschilde niet tussen rassen.
 - De bakkleur is een eigenschap die na de oogst nog sterk kan veranderen. Het bepalingstijdstip van de bakkleur vertoonde interactie met ras, locatie en jaar. Bij de vergelijking van rassen is het dan ook niet alleen noodzakelijk dat die plaatsvindt op basis van meerdere jaren en locaties, maar ook op basis van meerdere bepalingstijdstippen gedurende het bewaarseizoen.
 - Bepaling van het sucrosegehalte, drogestofgehalte, nitraatgehalte en grondbedekking met groen loof tijdens de groei bieden geen mogelijkheid vroegtijdig onderscheid tussen partijen te maken naar hun latere bakkleur.
 - Het gegeven dat het sucrosegehalte van de knollen nog dalend is kan een indicatie zijn dat het gewas zijn potentieel beste bakkleur nog niet heeft bereikt. Het gegeven dat het laagste sucrosegehalte is bereikt gaat niet per definitie gepaard met een afgestorven gewas. Bij late gewassen kan de nog voortdurende verbetering van de (potentiële) bakkleur teniet worden gedaan door ongunstige weersomstandigheden.

- De combinatie van een ruime (chloor)kalivoorziening en een matige stikstofbemesting levert de beste combinatie van kwaliteitseigenschappen. Voor zover niet strijdig met het financieel resultaat, verdient het aanbeveling deze combinatie na te streven. De kans op opbrengstderving van een chloorgift in het voorjaar op kleigrond wordt in de praktijk te zwaar ingeschat. Het verdient brede aanbeveling een deel van de chloorkaligift van het najaar naar het voorjaar te verplaatsen ter vermindering van de blauwgevoeligheid.
- Het verdient aanbeveling te onderzoeken in hoeverre de in de literatuur beschreven opname-interactie tussen nitraat en chloor onder Nederlandse omstandigheden een rol van betekenis speelt en wellicht een rol speelt bij de relatief hoge stikstofgiften op consumptieaardappelen in het zuidwesten van Nederland.
- De opbrengstvermindering door de stikstofbemesting met 50 tot 100 kilogram N-ha⁻¹ te verlagen is relatief gering. De positieve invloed ervan op de meeste kwaliteitseigenschappen is echter ook gering, zodat aan een klein verschil in kwaliteit een relatief groot uitbetalingsverschil moet worden gekoppeld om telers via een financiële prikkel tot het verlagen van de stikstofgift te bewegen.
- Van de onderzochte stuurbare factoren ras, stikstof-, kalium- en chloorbemesting heeft ras verreweg het grootste effect op zowel opbrengst als kwaliteitseigenschappen.
- Een groot deel van de variatie in kwaliteitseigenschappen die zowel tussen als binnen partijen optreedt, wordt veroorzaakt door factoren die samenhangen met jaar en locatie en die tijdens de teelt niet kunnen worden gestuurd. De werkelijkheid van deze factoren is nog vele malen complexer dan de analyses doen voorkomen, immers 'jaar' en 'locatie' zijn verzamelbegrippen voor een complex van factoren die afzonderlijk en in interactie met andere factoren hun invloed uitoefenen. Gezien het grote aandeel in de variatie van jaargebonden factoren en van hun interacties met niet-jaargebonden factoren, mag ernstig worden betwijfeld of kwantitatieve modellen kunnen worden ontwikkeld met een groot perceelsspecifiek voorspellingsvermogen.
- Gebrek aan mogelijkheden om jaar- en locatie-effecten op kwaliteitseigenschappen te voorspellen en daarin te sturen maakt het noodzakelijk de kwaliteitseigenschappen vroegtijdig op partijniveau te inventariseren. Deze informatie is essentieel om zo goed mogelijk rekening te houden met het verwachte verloop van de eigenschap, technische mogelijkheden om de kwaliteit tijdens verwerking te beïnvloeden en verwachtingen ten aanzien van marktontwikkelingen.

Summary

General introduction

The positive tuber characteristics of potato cultivar Bintje and their stability have induced a strong increase in the Dutch acreage of cv. Bintje, thus enabling the Dutch French fry industry to expand and its export value to increase in the 1960s, 1970s and 1980s.

Potatoes for French fry production have to meet certain standards for dry matter content, black spot susceptibility, non-enzymatic discolouration, fry colour and in some cases nitrate content. Cultural practices such as nitrogen and potassium fertilisation and environmental conditions such as precipitation and temperature influence these tuber characteristics but also affect yield and tuber size distribution. Some of these factors may have positive effects on one characteristic, but detrimental effects on another. This makes producing a high yield of tubers that meet all standards for tuber quality to the maximum virtually a mission impossible.

Despite its good characteristics for production of French fries cultivar Bintje has a number of agronomic disadvantages that make replacement by alternative cultivars desirable. Relatively small tubers, little resistance against several diseases and pests, sensitivity to drought and secondary growth are the most important ones. New legislation concerning the control of potato cyst nematodes (pcn) required the introduction of pcn resistant cultivars. The need to introduce new cultivars was the primary motivation to investigate the influence of nitrogen, potassium and chloride levels on yield and tuber characteristics of these new cultivars.

Homogeneity of the quality of the potato supply is important to the French fry industry. Heterogeneity of tuber characteristics causes heterogeneity in the final produce. This is true for the heterogeneity among tuber lots but also for that within lots.

Conditions during storage strongly influence several tuber characteristics. An example is storage temperature, which strongly affects fry colour. Fry colour is also strongly determined by seasonal influences. It would greatly contribute to the optimisation of production and storage of potatoes to be able to predict seasonal influences at the time of harvest so that storage temperature could be adjusted to this influence.

Firstly, the research in this thesis describes the influences of nitrogen, potassium, chloride, location and year on tuber dry matter content, nitrate content, black spot susceptibility, non-enzymatic discolouration and fry colour. Secondly it describes the variation of dry matter content, nitrate content and black spot susceptibility within single potato fields, at what level the variation arises and the extent to which it is influenced by cultivar, location, year and nitrogen. Thirdly the thesis describes research into crop and tuber parameters during growth, which could predict the influence of seasonal factors on fry colour during storage. Finally, the interrelations between results of the different chapters are discussed and put in a broader perspective.

Dry matter content

Tuber dry matter content determines to a great extent whether ware potatoes are suitable for French fry production. Of the cvs Agria, Morene, Van Gogh, Santé, Benno Vrizo, Asterix, Aziza en Maritiema, only cv. Agria had lower average dry matter content

than cv. Bintje. Lowering the recommended nitrogen rate for cv. Bintje by 50 kg N·ha⁻¹ hardly increased dry matter content, lowering it by 100 kg N·ha⁻¹ increased dry matter content by 0.4 %. The effect was consistent over other cultivars and with literature. Interaction of the nitrogen effect with location and year was attributed to the effect of weather conditions and soil properties on mineralisation of soil nitrogen.

A spring application of potassium sulphate (in most experiments preceded by a large application of potassium chloride in the preceding fall) lowered tuber dry matter content by 0.3 to 0.5 %. When potassium chloride was applied an additional decrease of almost 0.4 % occurred.

Cultivars showed small differences in their response of dry matter content to nitrogen, potassium and chloride.

Both location and year showed clear effects on dry matter content. Location and year interacted and both factors also interacted with nitrogen and potassium. Also the interaction between cultivar, location and year was significant. Year and location have unpredictable effects and since nitrogen and potassium interact with year and location the effects of nitrogen and potassium on dry matter content become partly unpredictable as well.

Variation in dry matter content within lots

Tuber dry matter content is strongly influenced by harvest time. Generally tuber dry matter increases over time, however, weather and soil conditions cause differences in the pattern of dry matter increase, and even decreases are possible. Dry matter content and its rate of increase differ between cultivars. This correlates partly with maturity type of cultivars. The trend in soil cover by foliage did not correlate well enough with the trend in tuber dry matter to be able to use the former as a predictor of the latter. The fact that the influence of nitrogen on both parameters was unequal contributed to this.

Not only the average tuber dry matter content but also its variation within lots influences the quality of products. Variation within lots was different for cultivars, but was not influenced by nitrogen level. There were differences between locations in variation within lots although they were not consistent. The inconsistencies were caused by an interaction between location and year.

In several experiments it was consistently found that at least 80 % of the variance of tuber dry matter content within lots could be attributed to the experimental units. In more detailed experiments it was found that 80 to 90 % of the variance within experimental units was caused by tubers originating from individual plants and even from individual stems.

Not only the average tuber dry matter content was influenced by the time of harvest, also its variation within lots increased over time. The variation in tuber dry matter content increased over time in all classes of tuber weight. Despite the fact that the average dry matter content increased in all tuber classes, the lower the average tuber weight in a class, the more the variation in tuber dry matter increased.

Variation in dry matter content did not coincide with that in tuber size. In literature on variation in tuber characteristics, the observations have very rarely been carried out at the level of individual tubers. It is recommendable to carry out research into the

correlation of tuber parameters at the level of individual tubers. This will provide insight into potential mechanisms that cause variation in characteristics between individual tubers within lots. Changes in tuber dry matter content result from both phloem and xylem flows to the tubers. The knowledge that some ions and substances are exclusively transported by either phloem or xylem may be helpful in this kind of research.

Nitrate content

The nitrate content of potato tubers is low in comparison with many other vegetables and even though it cannot be held responsible for acutely exceeding the acceptable daily intake, the content may be subject to dispute due to the fact that boiled potatoes have a large share in our menu.

Cultivars consistently differed in their tuber nitrate content. Causes of differences are unclear. Both nitrogen and potassium sulphate increased tuber nitrate content. Generally tuber size 40/50 mm had a higher content than tuber size 50/60 mm. The difference, however, depended on cultivar, nitrogen level, location and year.

The average content of tuber lots was strongly influenced by location and year. A location with a soil known for its high capacity of mineralising nitrogen produced the highest tuber nitrate levels. The interaction between cultivar, nitrogen, location and year was significant. In spite of the consistent cultivar differences, this causes the final tuber nitrate content to be unpredictable.

Variation in nitrate content within lots

Similar to the dry matter content, the tuber nitrate content changes during the growing season. The effect of harvest time interacted with cultivar, location, year and nitrogen level. The course of nitrate content over time was neither similar to that of dry matter content nor to the pattern of canopy senescence.

As with dry matter content at least 80 % of the variance within lots was accounted for by tubers originating from individual stems.

The sources of variation in tuber nitrate content coincided largely, both in quality and in quantity, with those in dry matter content. In two cultivars for 80 % of the stems a negative correlation between tuber dry matter content and nitrate content was found. For 27 % of the stems this correlation was significant. This possibly means that dry matter content and nitrate content are influenced by similar processes. Correlations were highest for nitrate content on a dry matter basis which suggests that the nitrate content – in spite of the fact that nitrate is transported to the tubers by the xylem – is mainly determined by the pattern of dry matter transport to the tubers. It is known that transpiration during the day can cause withdrawal of water from the tubers and that at night this water loss is compensated for by xylem flow. During the day tubers receive water containing dry matter mainly in the form of sucrose via the phloem. This could mean that a tuber that receives a large flow of water through the phloem during the day, also receives a large flow of dry matter, leading to a high dry matter content. Since the phloem flow also provides the tuber with water, there will be a smaller need for compensation for day-time water loss in the night by the xylem.

Black spot susceptibility

Black spot, being subcutaneous blue greyish discolouration in the tuber tissue, is caused by mechanical impacts on this tissue. The presence of black spot is a serious quality defect for any purpose of ware potatoes.

Cultivars differed in black spot susceptibility. There was no correlation between tuber dry matter content of cultivars and their black spot susceptibility. Lowering the nitrogen fertilisation rate below the application recommended for Bintje by 100 kg N·ha⁻¹ only caused a minor increase of black spot susceptibility. An additional spring application of potassium (in most of the experiments on top of an application for a complete crop rotation in the preceding fall) moderately reduced black spot susceptibility. The decrease rose when potassium chloride was applied instead of potassium sulphate. No clear differences between cultivars with regard to the response of black spot susceptibility to nitrogen or potassium were found. Thus it is advisable to move (part of) the fall application of potassium chloride to spring to reduce black spot susceptibility. By making better use of the effect of chloride the amount of potassium applied can be reduced.

Lowest black spot susceptibility was found with the combination of a high nitrogen dosis and the additional spring application of potassium chloride. In one cultivar at reduced nitrogen level, the spring application of potassium decreased black spot susceptibility. However, at high nitrogen supply, black spot susceptibility appeared to increase. This confirms some references that indicate interaction between cultivars and potassium supply.

A clear interaction between location and year occurred for black spot susceptibility. This effect did not correlate with the effects of location and year on dry matter content.

Variation in black spot susceptibility within lots

One experiment was analysed in detail and - as found for dry matter content and nitrate content - the major part (>95%) of the variation between tubers occurred within plots, only the minor part occurred between plots. From literature it can be derived that on the level of individual tubers dry matter content and black spot susceptibility are connected. Based on this connection it may be assumed that the sources for variation that were found for dry matter content and nitrate content are likely to be the same as those for black spot susceptibility.

Non enzymatic after cooking blackening

After cooking or par frying a blue greyish discolouration may occur which is caused by a non-enzymatic reaction and which is considered as a negative quality characteristic.

From the cultivars tested, only cv. Agria showed as little after cooking blackening as cv. Bintje. The discolouration was increased by a high nitrogen level and decreased by an additional spring application of potassium. Although the positive effect was larger at a higher nitrogen level, the combination of low nitrogen and high potassium levels resulted in the lowest levels of discolouration. However, the actual effects of nitrogen and potassium on after cooking blackening were rather small; thus this characteristic is not an important factor to consider when determining the optimum levels of nitrogen and potassium fertilisation.

After cooking blackening increased during storage, the increase differed between cultivars.

The effect of differences between cultivars were much larger than the effects of nitrogen and potassium levels. Growing cultivars with a low tendency towards after cooking blackening is by far the most effective cultural practice to grow potatoes that show little or none of this discolouration.

Fry colour

Nowadays fry colour of par-fried and finish-fried products is one of the most important tuber characteristics. The lightest possible colour will be appreciated most highly by potato buyers. Literature shows that the development of fry colour during storage is not only influenced by many factors during the growth season, but also to a large extent by storage temperature.

There was some interaction between cultivars and nitrogen level. The differences between cultivars were consistent over locations and years. Fry colour of cultivars did not correlate with their maturity type.

Considerable effects of location and year on fry colour were found. Not only did these two factors interact, they both also interacted with duration of storage and with cultivars. Location and year are factors that consist of a complex of factors related to soil and weather. Unpredictability of (local) weather conditions and of several interactions cause fry colour to be an unpredictable quality characteristic.

Experiments with a broad range of nitrogen levels showed a negative influence of nitrogen on fry colour. In a more narrow range of nitrogen levels with more practical relevance the effect of nitrogen was rather small. A relatively large increase in price per kilogram for a relatively small improvement of fry colour would be necessary to make growers decide to apply less nitrogen in favour of fry colour.

An additional potassium dressing in spring improved fry colour. The effect of potassium chloride was stronger than of potassium sulphate. The degree of improvement differed between experiments, which suggests interaction with location and year.

In most experiments, at a storage temperature of 7 to 8 °C, fry colour was better in April than in December: the poorer the fry colour in December, the larger the improvement in April. Nitrogen and potassium had no influence on the change in fry colour during storage. There was a significant interaction between cultivar, location and year. This makes a prediction of the change in fry colour on the basis of empirical data impossible. For good comparisons of cultivars it is therefore important that the timing of fry colour determination is consistent and that the comparison is based on data of several locations and years.

Fry colour related to tuber and crop characteristics during growth

Since most ware potatoes for the industry are stored for long periods of time, it would be of great value to be able to predict how fry colour will develop over time at a certain storage temperature. For such a prediction one or more crop parameters would have to be found in which the influence of the growing conditions (affected by location and year)

is reflected. This would enable better planning of emptying stores and anticipating the development of fry colour by adjusting the storage temperature regime.

During three years and at two locations it was investigated whether fry colour, determined in December and April following the harvest, correlated with one or more of the following parameters: tuber dry matter content, reducing sugar content, sucrose content and nitrate content during growth and at the time of harvest and soil cover by the foliage during growth and at the time of haulm killing. It was also investigated whether the influence of nitrogen on fry colour after long storage could be described by these parameters.

Although there were obvious differences in fry colour, caused by cultivar, location and year, none of the investigated parameters correlated well enough with fry colour after storage to make it have any predictive value. Nitrogen had an effect on fry colour after storage as well as on many of the parameters investigated, but the influence of nitrogen on fry colour could not be predicted by any of the parameters.

General discussion

For all parameters investigated, significant differences between cultivars were found. Interactions of cultivar with nitrogen, potassium and chloride were not found for dry matter content, black spot susceptibility, non-enzymatic discolouration and fry colour. For nitrate content there appeared to be a clear interaction between cultivars and nitrogen; however, additionally there was interaction with both location and year. This causes the nitrogen level to influence the comparison of cultivars and so comparisons should be based on varying environmental conditions (locations and years). The latter is also true for fry colour, for which there was a strong interaction between both cultivar and year and cultivar and location. Additional interaction with the timing of fry colour determination necessitates a yearly consistent timing of fry colour determinations or to multiple determinations during storage season.

There was little interaction of cultivar with nitrogen, potassium and chloride levels. Therefore the effects of these nutrients can be extrapolated to other cultivars without any great risk of error, although there are indications that very few cultivars do seem to respond differently to combinations of certain levels of nitrogen and potassium.

The aim of compiling the best combination of quality characteristics is most effectively achieved by a moderate nitrogen level and an ample supply of potassium or (and) chloride.

Yield depressions due to nitrogen levels below the recommended rates agreed with those in earlier Dutch investigations. Relatively small price increases of potatoes are necessary to stimulate growers to reduce their nitrogen input in favour of tuber quality. However, in an absolute sense the improvements of tuber quality were also small, probably too small to bring about greater appreciation of the produce by potato buyers.

Additional potassium application in spring turned out to be beneficial to some of the quality characteristics. Potassium chloride instead of potassium sulphate caused a smaller yield increase. No yield depression compared to the control was found for potassium chloride, not even at high nitrogen levels. The references in literature on which the Dutch reluctance to use potassium chloride in spring is mainly based describe

research on starch potatoes. Since the price for these potatoes is based on tuber dry matter content, the decrease of the latter due to chloride may lower the financial return per hectare. In these references a significant depression of fresh tuber yield is rarely mentioned. It is postulated that in the research that led to the recommendation not to apply potassium chloride in spring but rather in the preceding fall, competition between nitrate and chloride may have occurred. Possibly, potassium chloride induced lack of nitrate, instead of actually causing damage by chloride. This assumption is supported by the fact that yield increases by both potassium chloride and sulphate were 2 to 3 % higher at the recommended nitrogen rate than at nitrogen rates that were 50 to 75 kg N·ha⁻¹ lower. It is recommended that on many soils an (a part of the) application of potassium chloride in spring instead of in the preceding fall should be taken into consideration. In doing this, the amount of potassium can be lowered, since chloride - like potassium - decreases black spot susceptibility.

The factors “year” and “location” in this research are rather complex factors in reality. They consist of many other factors and interactions between them, which influence crop growth both directly and indirectly. Since many of these factors are weather related, their predictability depends on the predictability of the weather itself. The uncertainty in these factors implies the partial unpredictability of both yield and tuber quality characteristics. Another difficulty is that some factors may be beneficial to one characteristic but detrimental to another. Growing potato crops that all maximally fulfil all requirements is therefore impossible. For this reason it will remain necessary to have mechanisms that enable maximum efficiency in the use of different lots of tubers. Determination of dry matter and nitrate content and non-enzymatic discolouration enables one to adjust processing and marketing to the quality characteristics of the available lots and their development during storage. Due to the unpredictability of the change of fry colour after harvest and the great influence of storage temperature in this change, fry colour of tuber lots should be determined regularly after harvest to be able to adjust processing and marketing.

For tuber dry matter content factors influencing variation within lots were determined. Year and location appeared to determine almost 90 % of differences in variation within lots. Nitrogen level had no influence. There were differences between cultivars but they interacted with both year and location.

From the variation between lots concerning yield and quality characteristics caused by the manageable factors cultivar, nitrogen, potassium and chloride, cultivar caused the largest proportion. In many cases little interaction between cultivar and other factors, both manageable and unmanageable, was found. This makes the choice of cultivar a relatively dependable factor. Of the total variation of the different characteristics 10 to 40 % was accounted for by cultivar.

The applied ranges of nitrogen and potassium fertilisation accounted for strikingly little of total variation, in most cases only a few percent. The same was true for the interactions of nitrogen and potassium with cultivar, location and year.

For gross and nett yield, dry matter content, black spot susceptibility, non-enzymatic discolouration and fry colour 65, 65, 80, 54, 49 and 43 % of total variation was accounted for by year and location and their interactions with the other experimental factors.

It can be concluded that in the current Dutch practice of potato growing the major part of variation between lots is caused by factors over which growers have no or very little control. The potentially most important improvement of this situation would be relief of water stress by irrigation, which is not practised in the major part of the Dutch ware potato area on clay soils.

Enumeration of the most important implications of this thesis

- The predictability of the effects of nitrogen and potassium fertilisation on tuber dry matter content is strongly limited by interactions with year and location effects. The quantitative effects of nitrogen and potassium on tuber dry matter content do not differ strongly between cultivars.
- Variation in tuber dry matter content is largely caused by differences between tubers originating from the same stem. At the stem level a negative correlation between dry matter and nitrate content was found. The knowledge that some ions and substances are exclusively transported by either phloem or xylem may be helpful in investigating the mechanisms that determine dry matter content and other tuber characteristics.
- Variation in dry matter content within tuber lots did not differ greatly between cultivars. The variation increased during the growth season and was influenced by year and location. Nitrogen did not influence this type of variation. Apart from maximising homogeneity of fields there seem to be few measures to reduce the variation within lots. Correlation between tuber size and tuber dry matter content enables sorting by dry matter content to a certain degree. The correlation is especially valid for tubers smaller than 50 mm. The correlation for tubers larger than 50 mm is weak, which means that sorting by dry matter is only possible by means of specific gravity.
- Numerous interactions between cultivar, nitrogen and potassium, year and location have a complex influence on the final nitrate content of potato tubers. The influence of cultivar and nitrogen fertilisation was consistently found, but these factors interacted with year and location.
- Choosing a cultivar with low tuber nitrate content and lowering nitrogen levels were effective measures to reduce tuber nitrate content. The large extent to which nitrate content was determined by unmanageable factors, however, increases the chance of exceeding a certain limit. The fact that large tubers have lower nitrate content than smaller tubers offers some possibility to manipulate nitrate content by size grading.
- In the experiments of this thesis only minor changes in tuber nitrate content were found in the last weeks of the growth season. There are however references that suggest strong increases in this period caused by water stress. If the latter does not occur, it seems possible to screen potato lots for their nitrate content already some weeks before harvest.
- As for dry matter content the major part of variation in tuber nitrate content within lots is caused by differences between tubers originating from the same stem. Partly based on the correlation between tuber dry matter and nitrate content on the level

of individual tubers from single stems a hypothesis was formulated: the extent to which water loss of tubers through the xylem is compensated for by the phloem during the day may influence the extent to which compensation for the water loss occurs directly through the xylem to the tubers during the night. The way in which this water loss is compensated for may influence nitrate content, knowing that nitrate is exclusively transported by the xylem. Tubers that are compensated by the phloem during the day also receive a large flow of dry matter, leading to high dry matter content. Less need for compensation during the night leads to less nightly xylem flow and thus less nitrate influx into the tuber.

- Nature and magnitude of the effects of nitrogen, potassium and chloride on black spot susceptibility confirm information in Dutch literature. Interactions of nitrogen and potassium were not found in this research and are also not mentioned in literature.
- Black spot susceptibility is highly determined by factors that are related to year and location. Cultivars are the only manageable factor of practical relevance. Compared to this an additional spring application of potassium had limited influence. The ranges of nitrogen levels in this research hardly influenced levels of black spot susceptibility.
- In contrast to current practice, spring application of potassium chloride is capable of reducing black spot susceptibility significantly. It was demonstrated that the risk of yield depression of ware potatoes by chloride is very small and that efficiency of potassium applications may be improved by shifting (part of) potassium chloride applications from the fall preceding the potato crop to spring.
- Cultivars differed very little in response of black spot susceptibility to nitrogen, potassium and chloride. Research on new cultivars therefore does not need to include different levels of these nutrients.
- Choice of cultivar is the only significant manageable factor to limit non-enzymatic discolouration. With choice of cultivars it is possible to take into account the knowledge that sandy soils are more likely to produce potatoes that are prone to this defect.
- The influence of nitrogen level on non-enzymatic discolouration is marginal.
- High potassium levels somewhat decrease non-enzymatic discolouration.
- In the ranges of nitrogen levels that are relevant to potato growers, the influence of nitrogen on fry colour is small. Its effect is overshadowed by effects of cultivar, year and location. Only at nitrogen rates that are much lower than the current rates in practice, investigation of interaction between nitrogen and newly introduced cultivars would be relevant.
- Growers will only reduce nitrogen fertilisation in favour of fry colour when this is accompanied by a relatively large price increase.
- A spring potassium application, especially potassium chloride, improved fry colour. The effect did not differ between cultivars.
- Fry colour of tubers may change considerably after harvest. The time of fry colour determination interacted with cultivar, location and year. In comparing cultivars, not

- only of several years and locations have to be included, also multiple fry colour determinations during storage are necessary and their timing has to be consistent.
- During growth season determination of tuber contents of sucrose, reducing sugars, dry matter and nitrate content and soil cover by crop canopy did not allow for discrimination between lots of tubers with regard to their fry colour later in storage.
 - A still declining tuber sucrose content may be an indication for a crop not yet having reached its best fry colour potential. Reaching the lowest level of tuber sucrose does not coincide with the senescence of the crop canopy. In late maturing crops an ongoing improvement of the fry colour (or its potential) may be overruled by unfavourable weather conditions.
 - Combining an ample supply of potassium (chloride) and a moderate nitrogen supply renders the best combination of quality characteristics. If not conflicting with financial return, application of this combination is recommended. Growers generally overrate the risk of crop damage by a chloride application in spring. To reduce black spot susceptibility it is widely recommended to shift part of potassium chloride applications from fall to spring preceding the potato crop.
 - It is recommended to investigate whether under Dutch conditions chloride induces lower plant nitrate levels causing yield depression and whether this plays a part in the high nitrogen applications in especially the southwestern part of The Netherlands.
 - Yield decreases by reducing the recommended nitrogen rate by 50 to 100 kg N·ha⁻¹ were small. However, the positive effects on quality characteristics were also small. Therefore a relatively large increase of payment for a small improvement of tuber quality is necessary to make growers reduce their nitrogen applications in potato crops.
 - From the investigated manageable factors cultivar, nitrogen, potassium and chloride, cultivar had by far the largest effect on both yield and quality characteristics.
 - A large part of the variation in quality characteristics between and within lots is caused by unmanageable factors connected with year and location. In reality these factors are far more complex than the analyses show, because 'year' and 'location' are terms that comprise a number of factors that both individually and in interaction with other factors influence yield and quality. Given the large share of year related factors and of their interactions with other factors, it is highly doubtful whether it is possible to develop quantitative models with a high potential for making predictions at the level of individual potato fields.
 - Lack of predictability of the effects of year and location related factors on quality characteristics necessitates an early inventory of these characteristics of potato lots shortly after harvest. With the help of this information it is possible to anticipate changes of characteristics during storage, to adjust storage and processing to the characteristics and to adjust marketing strategy.

Nawoord

Dit proefschrift is de weergave van het werk van velen, niet alleen dat van de auteur. De eerste persoon aan wie ik veel dank ben verschuldigd is mijn promotor Professor Struik. Beste Paul, vanaf het moment dat ik bij jou afstudeerde heb je me gestimuleerd te promoveren op het onderzoek waaraan ik destijds bij het - toen nog - PAGV begon. Dat het uiteindelijk zo lang heeft geduurd heeft niet aan jou gelegen. Toen na het verongelukken van mijn broer de voortgang sterk vertraagde, heb je nooit je geduld verloren en bleef je jouw scherpzinnige commentaar altijd binnen de kortst mogelijke tijd aan mij terugsturen.

De tweede persoon die zowel direct als indirect grote inhoudelijke ondersteuning heeft geleverd is Kees van Loon. Beste Kees, je directe bijdrage was het waardevolle commentaar dat je op alle onderdelen hebt geleverd. Je indirecte bijdrage is er in gelegen dat je zonder twijfel de leermeester bent die mij heeft geleerd als praktijkonderzoeker de wetenschap zó te bedrijven dat het iets oplevert dat praktisch relevant en bruikbaar is. Jouw bijdrage is niet minder geweest dan die van een co-promotor en dat ben je voor mijn gevoel dan ook.

Voor één of enkele hoofdstukken heb ik nuttig commentaar gekregen van Kees Bus, Anton Haverkort, Martin van Ittersum, Jan Vos en Luc Stevens. Ook jullie waardevolle commentaar heb ik dankbaar verwerkt.

Paul Struik en Elline Timmermans van de voormalige vakgroep Agronomie en Geert-Jan Molema en Ben Verwijs van IMAG-DLO bedank ik voor het ter beschikking stellen van enkele van hun datasets en voor het gezamenlijk bewerken ervan.

Een groot deel van dit werk is gebaseerd op een project dat door PAGV en IBVL (later ATO-DLO) samen werd uitgevoerd. Op het PAGV werd daarin veel werk verzet door Jan Houwing, veel scores voor bakkleur en grauwerkleding werden door ATO-DLO bepaald waarvoor mijn hartelijke dank. Klaasje Hartmans heeft voor mij kunnen regelen dat een groot aantal suikerbepalingen op het toenmalige IBVL voor mij werd uitgevoerd, waarvoor ook mijn hartelijke dank.

Zoals gezegd: veel meer werk is verzet dan alleen door mijzelf. Dat geldt zeker ook voor al het praktische werk dat gedaan werd om alle gegevens te produceren. Mijn dank gaat uit naar alle medewerkers van het proefbedrijf en het laboratorium van het PAGV, later PAV en nu PPO in Lelystad en van de proefboerderijen Prof.Dr. J.M van Bemmelenhoeve, De Kandelaar, Rusthoeve, Vredepeel en Westmaas. Zonder jullie inspanning en nauwgezetheid zou ik niet de beschikking hebben gehad over zo'n enorme hoeveelheid gegevens. Zonder Wim van den Berg zou ik verdrongen zijn in datasets, analyses en het maken van figuren. Bedankt Wim voor de grote hoeveelheid hulp bij het meedenken over analyses en het uitvoeren ervan! Sjaak Meyberg wil ik graag bedanken voor het ontwerpen en maken van de omslag van dit boek.

Adri Riemens, directeur PAGV en later PAV en Ben ten Hag, mijn programmaleider in die tijd, wil ik danken voor de ruimte die ze mij hebben gegeven om het werk zo uit te (laten) voeren dat dit het eindresultaat kon worden.

Mijn zus Melanie heeft geholpen de engelstalige onderdelen ook echt engels te laten zijn. Dank je, lieve zus.

Mijn ouders wil ik bedanken voor de nooit aflatende stimulans maximaal gebruik te maken van de mogelijkheden en omstandigheden. Dit is de laatste jaren evenwel niet altijd gemakkelijk geweest. De vertraging van de voltooiing van dit proefschrift is slechts een kleine van de opofferingen die wij ons hebben getroost in de jaren na het verlies van Herman.

Lieve Jannet, zoals dit proefschrift een tijdlang sluitpost is geweest van vele werkzaamheden, zo ben jij dat ook vaak geweest na werk op het PAGV/PAV/PPO in Lelystad, werk op het bedrijf in Espel en werk thuis achter de pc. Ook zonder jouw geduld zou dit werk niet gereed gekomen zijn. Lieve Thessa, jij bent het beste medicijn tegen werkverslaving dat mij tot nu toe werd toegediend, nu maar hopen dat er zich geen resistentie ontwikkelt.

Emmeloord, september 2001

Arjan

Curriculum vitae

Adrianus (Arjan) Veerman werd op 11 juli 1965 als zoon van een akkerbouwer geboren in Creil in de Noordoostpolder. In 1983 behaalde hij het VWO-diploma aan de Christelijke Scholengemeenschap te Emmeloord. In hetzelfde jaar begon hij aan de studierichting Landbouwplantenteelt aan de toenmalige Landbouwhogeschool te Wageningen. Zijn stage liep hij in Italië op het terrein van de aardappelbewaring. Na een gecombineerd afstudeervak Plantenfysiologie en Akkerbouw studeerde hij in juni 1988 aan de Landbouwuniversiteit af bij Prof.Dr.Ir. P.C. Struik. In april 1988 begon hij als tijdelijk aangesteld wetenschappelijk onderzoeker bij het Proefstation voor de Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond PAGV (later Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt, PAV en nu Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, PPO). In 1991 werd hij senior wetenschappelijk onderzoeker aardappelen in vaste dienst. Hij is technisch adviseur van de Vaste Commissie Pootaardappelen van Nederlandse Algemene Keuringsdienst (NAK), de Pootgoed Contact Commissie (PCC) en van het Nederlands Instituut voor Afzetbevordering van Pootaardappelen (NIVAP).

Naast het in dit proefschrift beschreven werk deed hij onderzoek naar de invloed van de kooldioxideconcentratie in aardappelbewaarplaatsen op de bakkleur van frites en chips en maakte hij deel uit van een omvangrijk onderzoeksprogramma ter verhoging van de opbrengst en verbetering van de kwaliteit van zetmeelaardappelen. Ook daarin richtte hij zich met name op de bewaring. Op dit moment is hij betrokken bij een omvangrijk onderzoeksprogramma ter beheersing van zilverscurft.

Met zijn ouders exploiteert hij een akkerbouwbedrijf van 36 ha met pootaardappelen als hoofdgewas.

Lijst van publicaties (chronologisch)

- Veerman, A.**, 1989. AM-rassen vergen andere aanpak dan Bintje, *Boerderij/Akkerbouw* 74, nr. 15, p. 26-27.
- Vencken, C.M.J. & **A. Veerman**, 1989. Het nitraatgehalte van aardappelen en aardappelprodukten, *Aardappelwereld* 42, nr. 10, p. 24-27.
- Veerman, A.**, 1989. Der Einfluß von Anbautechnik auf Qualitätsmerkmale in der Verarbeitung von Nematoden-resistenten Kartoffelsorten, In: G. Geisler & W. Diepenbrock (eds.), *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, Band 2: 33. Jahrestagung vom 2.-4. Oktober 1989 in Wageningen/NL, Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel, p. 37-40.
- Veerman, A.**, 1990. Teelt Agria, Morene en Van Gogh krijgen we in de vingers, *Boerderij/Akkerbouw* 75, nr. 4, p. 44-45.
- Veerman, A.**, 1990. Cultivation techniques of new potato cyst nematode resistant varieties in relation to their processing quality, In: D.K.L. MacKerron et al. (eds.), *EAPR abstracts of the 11th triennial conference of the European Association for Potato Research*, Edinburgh, 8-13 July 1990, p. 396-397.
- Veerman, A.**, 1991. Beperking van besvorming in aardappelen met behulp van groeiregulatoren en het effect daarvan op opbrengst en kwaliteit, In: *Jaarboek 1990/1991, Publikatie 58, PAGV, Lelystad*, p. 20-27.
- Veerman, A.**, 1992. (On)mogelijkheden nitraatgehalte te meten en te verlagen, *Aardappelwereld* 45, nr. 2, p. 33-36.
- Veerman, A.**, 1992. Positie Bintje brokkelt af, *Boerderij/Akkerbouw* 77, nr. 4, p. 36-37.
- Veerman, A.**, 1993. Bintje in de verdrukking, *Boerderij/Akkerbouw* 78, nr. 1, p. 8-10.
- Veerman, A.**, 1993. Beste aanpak van bessen, *Boerderij/Akkerbouw* 78, nr. 12, p. 10.
- Veerman, A.**, 1993. Optimalisering van de teelt en bewaring van nieuwe AM-resistente rassen, *Aardappelwereld* 46, nr. 6, p. 32-37.
- Veerman, A.** & C.D. van Loon, 1993. Prevention of berry formation in potato plants by single foliar applications of herbicides or growth regulators, In: F. Rouselle-Bourgeois et al. (eds.), *Résumés du 12e Conférence Triennale de l'Association Européenne pour la Recherche sur la Pomme de Terre*, Paris, 18-23 Juillet 1993. p. 124-125.

- Veerman, A.** & C.D. van Loon, 1993. Prevention of berry formation in potato plants (*Solanum tuberosum*, L.) by single foliar applications of herbicides or growth regulators, *Potato Research* 36, p. 135-142.
- Loon, C.D. van, **A. Veerman** & C.B. Bus, 1993. Teelt van consumptie-aardappelen, *Teelthandleiding* 57, PAGV, Lelystad, 142 pp.
- Veerman, A.**, C.D. van Loon & P.C.M. van Eijck, 1993. Optimalisering van de teelt, bewaring en verwerking van nieuwe AM-resistente consumptie-aardappelen, In: *Jaarboek Akkerbouw 1992/1993*, Publikatie 70a, PAGV, Lelystad, p. 7-13.
- Veerman, A.**, 1993. Kwaliteits- en milieu-eisen; combinatie van ras en teelt blijft de sleutel, In: C.D. van Loon (ed.), *Themadag aardappelen*, Themaboekje 16, PAGV, Lelystad, p. 63-81.
- Wijnands, F. & **A. Veerman**, 1994. Aardappelteelt kan aan alle eisen voldoen, *Oogst* 10, *Bijlage Oogst-plus* 11 maart 1994, p. 7-11.
- Veerman, A.** & A.H.J. Rops, 1994. Kooldioxide slecht voor bakkleur aardappelen, *Boerderij/Akkerbouw* 79, nr. 11, p. 22-23.
- Veerman, A.** & A.H.J. Rops, 1995. Aardappels snakken naar frisse lucht, *Oogst* 8, nr. 16, p. 44.
- Veerman, A.** & A.H.J. Rops, 1995. Frisse lucht geeft frisse bakkleur, *Aardappelwereld* 49, nr. 7, p. 14-16.
- Veerman, A.** & C.D. van Loon, 1995. Doorwas in aardappelen: een overzicht naar aanleiding van 1994 en een schets van de huidige situatie, *Aardappelwereld* 49, nr. 8, p. 17-19.
- Veerman, A.** & A.H.J. Rops, 1995. Te veel CO₂ funest voor mooie bakkleur, *Boerderij/Akkerbouw* 81, nr. 22, p. 12-13.
- Veerman, A.**, 1995. Ontwikkeling van een methode om de bakkleur van aardappelen te voorspellen, In: *Jaarboek Akkerbouw 1994/1995*, PAGV, Lelystad, p. 11-15.
- Veerman, A.** & C.D. van Loon, 1995. Doorwas, glazigheid en waterzakken in aardappelen: een overzicht naar aanleiding van doorwasjaar 1994. In: *Jaarboek Akkerbouw 1994/1995*, PAGV, Lelystad, p. 16-20.

- Veerman, A.** & C.D. van Loon, 1995. Onderzoek naar de ontwikkeling van glazige aardappelknollen tot waterzakken na de oogst, In: Jaarboek Akkerbouw 1994/1995, PAGV, Lelystad, p. 21-28.
- Veerman, A.** & C.D. van Loon, 1995. Post-harvest decay of second growth induced glassy tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Bintje in relation to their specific gravity, Potato Research 38, p. 391-398.
- Veerman, A.** & C.D. van Loon, 1996. Hoofddoel moet hoofddoel blijven: liever geen dubbeldoelteelt in aardappelen, Boerderij/Akkerbouw 81, nr. 11, p. 24-25.
- Veerman, A.**, Struik, P.C. & P.C.J.M. Timmermans, 1996. Variation in tuber dry matter and nitrate content between and within plants and stems, In: P.C. Struik et al. (eds.), Abstracts of Conference Papers, Posters and Demonstrations of the 13th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Veldhoven, 14-19 July 1996. p. 656-657.
- Veerman, A.**, 1996. The effect of increased CO₂ levels on fry colour during storage, In: P.C. Struik et al. (eds.), Abstracts of Conference Papers, Posters and Demonstrations of the 13th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, Veldhoven, 14-19 July 1996. p. 419-420.
- Veerman, A.** & A.H.J. Rops, 1996. Geef frites- en chipsaardappelen lucht: goed ventileren voorkomt verslechtering bakkleur onder invloed van CO₂, Boerderij/Akkerbouw 81, nr. 15, p. 26-27.
- Veerman, A.** & P.S. Hak, 1996. Bewaarperiode bepaalt temperatuursstrategie: voorkomen van koude- en ouderdomsverzoeting dwingt tot keuze, Oogst 9, nr. 40, bijlage Oogst-plus, p. 22-23.
- Veerman, A.** & C.D. van Loon, 1996. Beperking van de produktie van bessen en zaad in aardappelen met behulp van MCPA en het effect daarvan op opbrengst en kwaliteit, In: Jaarboek Akkerbouw 1995/1996, PAGV, Lelystad, p. 21-28.
- Veerman, A.**, 1997. Niet te vroeg spuiten tegen zaadproductie, Boerderij/Akkerbouw 82, nr.10, p. 14-15.
- Veerman, A.**, 1997. Frisse lucht geeft betere bakkleur, Boerderij/Akkerbouw 82, nr. 17, p. 18-19.
- Veerman, A.** & R. Wustman, 1997. Nieuwe rassen bakken minder bruin, Boerderij/Akkerbouw 82, nr. 17, p. 22-23.

- Veerman, A.** & K.H. Wijnholds, 1998. Ook onzichtbare rooibeschatiging kost geld. Boerderij/Akkerbouw 83, nr. 20, p. 20-21.
- Veerman, A.** & H.H. Slabbekoorn, 1998. Juist gebruik geeft maximaal effect: zo werkt Chloor-IPC in de aardappelbewaring het best, Boerderij/Akkerbouw 84, nr. 21, p. 8-9.
- Veerman, A.**, 1998. Is optimale bewaartemperatuur voor nieuwe rassen anders dan voor Elkana?, Informa 29, nr. 6, p. 6.
- Veerman, A.**, 1998. Optimale loofdoding en loofvastheid van knollen, Informa 29, nr. 6, p. 6.
- Veerman, A.**, 1998. Relatie tussen beschadigingsgevoeligheid en bewaarverliezen, Informa 29, nr. 6, p. 6.
- Veerman, A.** & C.D. van Loon, 1998. Prevention of berry set and true seed production in six potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars by single foliar applications of MCPA, Potato Research 41, p. 127-133.
- Veerman, A.**, 1998. Einfluß der CO₂-Konzentration im Kartoffellager auf die Fritierfarbe, Kartoffelbau 49, nr. 12, p. 440-443.
- Veerman, A.**, 1999. Slechtere bakkleur door verhoogde CO₂-concentratie in aardappelbewaring, PAV- bulletin Akkerbouw 3, nr. 1, p. 2-5.
- Veerman, A.** 1999. The effect of harvest damage on the relation between under-water-weight, starch and dry matter content of potato tubers, Abstracts of conference papers, posters and demonstrations, 14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, 2-7 May, Sorrento, Italy, p. 398-399.
- Veerman, A.**, 1999. Erwinia rotting of submerged potato tubers, Abstracts of conference papers, posters and demonstrations, 14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research, 2-7 May, Sorrento, Italy, p. 541-542.
- Wustman R. & **A. Veerman**, 1999. Pootgoed bewaren voor de zetmeelaardappelteelt. Informa 30, nr. 8, p. 12-13.
- Veerman, A.**, 1999. Beheersing van zilverscurft (1): Teelt en bewaring, Aardappelwereld 53, nr. 6, p. 25-28.
- Veerman, A.**, 1999. Beheersing van zilverscurft (2): Techniek en tijdstip van fungicidetoepassing, Aardappelwereld 53, nr. 7, p. 31-32.

- Paauw, J. & **A. Veerman**, 1999. Poterkist binnen of buiten, drogen in de buitenlucht heeft voor- en nadelen, Boerderij/Akkerbouw 84, nr. 13, p. 25.
- Veerman, A.**, 1999. Aardappelen bewaren zonder kiemen en schilbrand, Oogst Landbouw 12, nr. 40, p. 44-45.
- Veerman, A.** & R. Wustman, 1999. Bewaartemperatuur beïnvloedt bakkleur van nieuwe aardappellassen, PAV-Bulletin Akkerbouw 3, nr. 4, p. 9-11.
- Bos, D. & **A. Veerman**, 2000. Schoon de grond in en schoon er weer uit, Boerderij/Akkerbouw 85, nr. 7, p. 32-33
- Slabbekoorn J.J & **A. Veerman**, 2000. Groene knollen voorkomen met optimale rug, Boerderij/Akkerbouw 85, nr. 10, p. 20-21.
- Wustman, R. & **A. Veerman**, 2000. Meer aandacht voor bewaring geeft beter pootgoed. Boerderij / Akkerbouw 85, nr. 19, p. 20-21.
- Wustman R. & **A. Veerman**, 2000. Bewaring van zetmeelaardappelen, Informa 31, nr. 9, p. 5-6.
- Wustman R. & **A. Veerman**, 2000. Bewaring van zetmeelaardappelen (Rooien en inschuren), Informa 32, nr. 1, p. 11-12.
- Wustman R. & **A. Veerman**, 2000. Bewaring van zetmeelaardappelen – Bewaarperiode. Informa 32, nr. 3, p. 8.
- Bos, D. & **A. Veerman**, 2000. Zilverfleur aan banden, Boerderij/Akkerbouw 85, nr. 18, p. 21.
- Veerman, A.**, 2000. Ernteschäden nicht auf die leichte Schulter nehmen, Kartoffelbau 51, nr. 9/10, p. 438-439.
- Slabbekoorn, H. & **A. Veerman**, 1991. Meer grond boven de poter: minder groen, Boerderij/Akkerbouw 86, nr. 4, p. 12-14.
- Dekking, A. & **A. Veerman**, 2001. Phytophthora in de aardappelteelt, Ekoland 21, nr. 2, p. 20-23.

