

Literatuurstudie ketenproject pootgoedkwaliteit

Johannes Ransijn Onderzoeker NAK

Inhoud

Inleiding.....	3
Een complex systeem.....	3
Pootgoedkwaliteit.....	5
Fysiologische leeftijd.....	5
Groeiseizoen pootgoedteelt.....	7
Gebreksziektes.....	7
Calcium.....	7
Borium.....	8
Overige gebrekziektes.....	8
Loofdoding en rooiomstandigheden.....	9
Groeiseizoen 2015.....	9
Chemische behandelingen.....	11
Bewaaromstandigheden.....	12
Temperatuur en fysiologische veroudering tijdens de opslag.....	13
Rasverschillen.....	14
Atmosfeer.....	15
Fysieke schade en wondheling.....	16
Pathogenen.....	17
Groeiomstandigheden consumptieteelt.....	18
Groeiomstandigheden rond uitplant in 2016.....	19
Vitaliteitstoetsen voor pootgoed.....	21
Kiemproeven en fysiologische leeftijdsbepalingen.....	21
Hot box, versnelde veroudering en stresstesten.....	22
Conclusies en aanbevelingen.....	23
Verwijzingen.....	24

Inleiding

Het voorjaar van 2016 zag een bijzonder slechte opkomst van uitgeplant aardappelpootgoed. Op veel aardappelpercelen bleven plantplaatsen leeg op plekken waar poters niet uitgroeiden tot een plant. Hierdoor waren er uitzonderlijk veel klachten over pootgoed. Klachten kwamen vooral uit Noordwest Europa, uit Nederland en aangrenzende gebieden in Duitsland, België en Frankrijk. In Nederland kwamen de meldingen vooral uit Zuid-Nederland (waar ook de meeste consumptieteelt plaatsvindt).

Een geringe vermindering van de opkomst kan weliswaar in de eindopbrengst gecompenseerd worden door extra groei van buurplanten rond de lege pootplekken. Opkomstverminderingen van 10% of hoger kunnen echter tot substantieel lagere opbrengsten leiden. Daarnaast kan de maatsortering ongunstiger zijn in een onregelmatig gewas waar sommige planten meer, en andere planten minder ruimte hebben. Naast het primaire probleem van opbrengstverlies is het voor de verwerkende industrie ook van belang dat oogsten voorspelbaar en stabiel zijn zodat de productie/verwerkingscapaciteit optimaal benut kan worden. Kortom de gebrekkige opkomst is een probleem voor de sector.

Opkomstproblemen worden na melding vaak onderzocht door zowel pootgoedafnemers als pootgoedleveranciers. In Nederland is het gebruikelijk om de kosten van het pootgoed te compenseren wanneer aannemelijk is dat de kwaliteit van het pootgoed de oorzaak is van grote opkomstproblemen. De gemiste inkomsten door een gebrekkige opkomst en opbrengst kunnen echter snel een veelvoud zijn van de kosten van het aangekochte pootgoed. Dit betekent dat de schade bij consumptietelers veel hoger uit kan vallen dan de prijs die pootgoedverkopers voor hun product krijgen. In Frankrijk schijnt het gebruikelijk te zijn om het opbrengstverlies t.o.v. een oogst op basis van een goede opkomst te compenseren. Dat kan betekenen dat de uit te keren compensatie een veelvoud is van de prijs van het geleverde pootgoed. De asymmetrie tussen de gederfde kosten en de prijs die voor het pootgoed wordt betaald, maakt de afhandeling van klachten een lastige kwestie. Emoties kunnen hoog oplopen bij discussies over de oorzaken van een slechte opkomst. Hierin zijn twee uitersten te identificeren. Is het pootgoed van slechte kwaliteit of gaat men er niet goed mee om? Dit soort vragen kunnen snel omslaan in beschuldigingen en belangenconflicten tussen ketenpartijen (afnemers/consumptietelers en handelshuizen/pootgoedtelers) op scherp zetten.

Uiteraard is het het beste wanneer opkomstproblemen zo min mogelijk voorkomen. Hiervoor is inzicht in de oorzaken nodig. Bij inventarisaties van opkomstproblemen worden meestal een aantal knollen op lege pootplekken opgegraven om mogelijk oorzaken van het niet-opkomen te achterhalen. Vier veel voorkomende gevallen zijn: 1) droogrot/*Fusarium*, 2) natrot/bacterierot, 3) langzaam kiemende knollen/achterblijvende planten en 4) versteende knollen. Dit zijn echter in eerste instantie symptomen en niet direct oorzaken. Wanneer rot wordt aangetroffen, kan bijvoorbeeld niet zonder meer geconcludeerd worden dat het de primaire oorzaak is. Pathogenen kunnen ook een secundair verschijnsel zijn na beschadiging of aantasting door andere organismen.

Een complex systeem

Een beter begrip van de aardappelketen en de relevante biologische achtergronden van het productiesysteem kunnen wellicht helpen bij het voorkomen van opkomstproblemen. Daarnaast kan een waardering voor complexiteit van de aardappelteelt en de veelheid van factoren die een invloed hebben op het product voor meer wederzijds begrip tussen ketenpartners zorgen.

Aardappelpootgoed is een natuurproduct en is het resultaat van processen die deels beïnvloed worden door niet of lastig te sturen factoren. Dit betekent dat er altijd een bepaalde mate van variatie en onzekerheid zal bestaan. Ook zijn er hoogstwaarschijnlijk interacties tussen factoren en

verschillen tussen rassen die de voorspelbaarheid compliceren en het moeilijk maken om algemene conclusies te trekken. Een zelfde soort probleem kan door verschillende oorzaken ontstaan en een bepaalde factor of omstandigheid heeft niet altijd hetzelfde effect of probleem tot gevolg..

Keuringen, selecties en certificatie van pootgoed kunnen wellicht helpen om meer zekerheid over de kwaliteit van een product krijgen. Op basis van het nog veelvuldig voorkomen van opkomstproblemen, lijkt erop dat de huidige keuring in dit opzicht te kort. Wellicht zijn er mogelijkheden voor verbetering en uitbreiding van de keuring.

In dit rapport wordt, op basis van literatuuronderzoek, een overzicht gegeven van de factoren die de kwaliteit van pootgoed (negatief) kunnen beïnvloeden. Eerst zal ik de concepten pootgoedkwaliteit en fysiologische leeftijd introduceren om vervolgens beschrijven wat er in de literatuur bekend is over factoren die de kwaliteit en fysiologie van pootgoed al tijdens het groeiseizoen van het pootgoedgewas beïnvloeden. Vervolgens behandel ik de effecten van chemische middelen waarvan bekend is dat ze opkomstproblemen kunnen veroorzaken. Daarna komen bewaaromstandigheden, rasverschillen en pathogenen aan bod gevolgd door de invloed van groeiomstandigheden tijdens de consumptieteelt. Tenslotte zal ik ook ingaan op de mogelijkheden voor een vitaliteitstoets met voorspellende waarde over de opkomst na uitplant van een pootgoedpartij. Het rapport sluit af met enkele conclusies en aanbevelingen op basis van het literatuuronderzoek.

Pootgoedkwaliteit

De kwaliteit van aardappelpootgoed is een van de belangrijkste factoren die de opbrengst van aardappelteelt beïnvloeden. Van kwalitatief hoogwaardig pootgoed wordt verwacht dat elke knol tot een gezonde plant uitgroeit die uiteindelijk een knolopbrengst levert die aan de verwachtingen voldoet.

Omdat aardappels vegetatief vermeerderd worden, is het gewas gevoelig voor zogenaamde degeneratie, een achteruitgang van de kwaliteit bij een toenemend aantal vermeerderingsgeneraties. Dit hangt meestal samen met een toename van pathogenen als virussen, bacteriën, viroïden en schimmels. Daarnaast kunnen ook andere schadelijke organismen als insecten en nematoden via het pootgoed doorgegeven worden. Kwaliteitsverlies door degeneratie zou minimaal moeten zijn voor hoogwaardig gekeurd pootgoed.

Naast kwaliteitsverlies in opvolgende generaties, varieert de kwaliteit en kiemkracht van pootgoed ook binnen een generatie, los van variatie in besmetting met pathogenen. Dit heeft te maken met de fysiologie van de aardappelplant en knol. Voor de capaciteit van een pootgoedknol om tot een vitale plant met een goede knolopbrengst uit te groeien zijn uiteindelijk de volgende kenmerken van belang (Struik & Wiersema, 1999):

1. Het aantal kiemogenen per knol
2. Het gedrag van de kiemogenen
 - Kans dat een oog kiemt
 - Kans dat een kiem een stam wordt

Deze kenmerken hangen samen met de grootte en de fysiologische leeftijd van knollen. Grotere knollen hebben bijvoorbeeld meer ogen per knol (maar minder per eenheid knolgewicht). De fysiologische leeftijd heeft vervolgens invloed op het gedrag van de ogen. Hier wordt hieronder dieper op ingegaan. Kleinere knollen hebben in het algemeen minder voedingsstoffen beschikbaar voor de kiemen, geven minder opkomst en resulteren in zwakkere planten dan grotere knollen (Struik & Wiersema, 1999). Dit lijkt vooral een rol te spelen bij pootgoed van minder dan 20 gram per knol. Zwaardere milieuomstandigheden (vorst, droogte, hitte etc.) na uitplant en opkomst hebben ernstigere gevolgen bij gebruik van klein formaat pootgoed (Struik & Wiersema, 1999).

Doordat er veel factoren in de hele keten vanaf het begin van de pootgoedteelt tot uitplant bij consumptieteler zijn die een invloed op de uiteindelijke vitaliteit, opkomst en opbrengst kunnen hebben, is het lastig om één-op-één relaties tussen een slechte opkomst en een mogelijke oorzaak aan te wijzen. Zeker ook omdat interacties tussen factoren (zoals bijvoorbeeld kleiner pootgoed en zwaardere milieuomstandigheden) een belangrijke rol spelen. Het is daarom belangrijk om een overzicht te hebben van het hele productiesysteem en factoren en schakels in de keten die van invloed kunnen zijn op de uiteindelijke kwaliteit. Van de intrinsiek aan het pootgoed gebonden eigenschappen is vooral het verloop van de kiempotentie met het ouder worden van het pootgoed relevant. De fysiologische leeftijd wordt hieronder verder toegelicht en de invloed van verschillende factoren op het fysiologisch gedrag wordt in latere hoofdstukken in meer detail behandeld.

Fysiologische leeftijd

Een pootgoedknol wordt fysiologisch onafhankelijk bij het loskomen van de moederplant. Vanaf dat moment volgt de knol een eigen fysiologische ontwikkeling. De kiem- en opbrengstpotentie van pootgoed volgt grofweg het patroon van een optimumcurve. Na loofdoding neemt de mate van kiemrust eerst nog toe en zullen knollen niet kiemen. Vervolgens neemt de kiemrust af en komt pootgoed in een fase van apicale dominantie (topscheutdominantie). Knollen vormen in deze fase

weinig kiemen en stengels en de opbrengst is dan ook relatief laag voor fysiologisch jong pootgoed. Vervolgens is er een periode van optimale kiemkracht en opbrengstpotentie. Daarna neemt de kiemkracht en opbrengstpotentie weer af voor fysiologisch oud pootgoed (Struik & Wiersema, 1999). Bewaaromstandigheden beïnvloeden wanneer het optimum bereikt wordt.

Chronologische leeftijd, omstandigheden in de bewaring na het rooien en genetische eigenschappen van het ras beïnvloeden het precieze verloop van de fysiologische status. Daarnaast kunnen de volgende factoren ook een rol spelen: Knolgrootte, groeiomstandigheden moederplant, chemische en hormonale behandelingen (knol en moederplant), tijdstip en wijze van loofdoding, omstandigheden tussen loofdoding en rooien (Struik P. , 2007). Traditioneel wordt fysiologische leeftijd veelal in temperatuursommen (graaddagen) uitgedrukt. Deze methode houdt echter geen rekening met het gegeven dat het effect van een graad afhankelijk is van zowel temperatuur als bewaarfase. Andere methodes zoals de fysiologische leeftijdsindex (physiological age index, hierna PAI genoemd) nemen dat wel mee (Caldiz, Fernandez, & Struik, 2001). Er zijn veel pogingen geweest om op basis van testen of indicatoren de fysiologische leeftijd van een partij pootgoed te bepalen. Deze onderzoeken hebben voorsnog echter niet tot toepasbare resultaten geleid. In het hoofdstuk over toetsen wordt hier verder op ingegaan.

De snelheid van fysiologische veroudering is afhankelijk van een aantal factoren (Struik & Wiersema, 1999):

- Knolgrootte: Grote knollen hebben een korter kiemrustperiode
- Pootgoedbehandeling: Afkiemen, beschadigen en snijden verkorten de kiemrustperiode
- Groeiomstandigheden moederplant: Bodemstructuur, temperatuur en vochtbeschikbaarheid kunnen de duur van de kiemrustperiode beïnvloeden
- Bewaaromstandigheden: Hogere temperaturen versnellen veroudering. Andere omstandigheden spelen ook een rol en worden later uitgebreider behandeld.
- Ras: Er zijn grote verschillen in fysiologisch gedrag tussen aardappelrassen. Ook reageren rassen verschillend op milieuomstandigheden. Dit maakt het lastiger om algemene conclusies te trekken.

De fysiologische leeftijd is bepalend voor het verloop van verschillende kiemstadia, van kiemrust via de fase van apicale dominantie (topscheutdominantie), maximale kiemkracht tot seniliteit. Daarnaast bepaalt de fysiologische leeftijd van pootgoed ook de gewasontwikkeling en het tijdstip en de duur van knolvorming in de nateelt (Knowles & Botar, 1992; Struik & Wiersema, 1999; Struik P. , 2007).

Groeiseizoen pootgoedteelt

Pootgoed is een natuurproduct waarvan de eigenschappen door de milieuomstandigheden (weer, bodem etc.) in het groeiseizoen van de pootgoedteelt wordt beïnvloed. Bepaalde groeiomstandigheden van de moederplant kunnen een negatief effect hebben op het kwaliteitsbehoud tijdens de bewaring en de vitaliteit van uitgeplant pootgoed in de nateelt. Glazigheid is een duidelijk voorbeeld van een pootgoedgebrek dat door omstandigheden tijdens de pootgoedteelt veroorzaakt kan worden (Bus, Loon, & Veerman, 1996). In sommige gevallen beginnen nieuw gevormde knollen te kiemen (doorwas) en vormen evt. een nieuwe generatie knollen. Hierbij wordt zetmeel aan reeds gevormde knollen onttrokken. Dit gaat ten koste van de energiereserves in de eerder gevormde knollen, wat in ernstige gevallen de kiemkracht negatief beïnvloedt. Het zorgen voor een voldoende vochtvoorziening, een beperkte stikstofvoorziening en een vroeg gesloten bladerdek kan helpen glazigheid en doorwas te voorkomen (Bus, Loon, & Veerman, 1996).

Wanneer het loof onder droge omstandigheden wordt gedood, kan bij knollen naveleindrot ontstaan (Bus, Loon, & Veerman, 1996). Dit schijnt vooral op te treden bij gebruik van snelwerkende chemische doodspuitmiddelen als het loof nog groen is en er veel verdamping is bij onvoldoende aanwezigheid van bodemvocht. De resulterende beschadiging kan vervolgens een toegangspoort vormen voor andere pathogenen als *Fusarium*. Zorgen voor voldoende vochtvoorziening tijdens loofdoding of een langzamere methode van loofdoding kunnen dit gebrek helpen voorkomen.

Er zijn aanwijzingen dat hogere temperaturen tijdens de pootgoedteelt de periode van kiemrust kunnen verkorten (Ittersum & Scholte, 1992; Friesland, 2002). Drogere en warmer omstandigheden rond het begin van de knolvorming kunnen kleinere en kortere poters opleveren met minder kiemogen. Dit pootgoed geeft vervolgens ook minder scheuten en stengels geven (Wurr, Fellows, Akehurst, Hambidge, & Lynn, 2001). Er zijn ook aanwijzingen dat droogte tijdens de pootgoedteelt de duur van de kiemrustperiode verkort (Karafyllidis, Georgakis, Stauropoulos, & Louizakis, 1996; Friesland, 2002). Ook droge stofgehalten van dochterknollen kunnen verminderd worden door droge en/of warme omstandigheden (Friesland, 2002), maar het is niet duidelijk of een laag droge stof gehalte op zichzelf tot opkomstproblemen in de nateelt leidt. Experimenten van Van Ittersum en Scholte (1992) tonen echter aan dat de relatie tussen kiemrust en temperatuur in het groeiseizoen van de moederplant complex en bovendien rasafhankelijk is. Voor Nederlandse omstandigheden lijken de effecten van temperatuurverschillen echter gering.

Gebreksziektes

Aardappelplanten hebben voldoende voedingsstoffen nodig om een gezond product te leveren. Met betrekking tot de invloed van nutriënten tijdens de pootgoedteelt suggereren experimenten van Van Ittersum (1992) dat stikstofbeschikbaarheid geen effect heeft op de duur van de kiemrust (gerekend vanaf het tijdstip van loofdoding). Bij bemesting wordt vaak vooral rekening gehouden met macronutriënten als stikstof fosfor en kalium. Naast deze voedingsstoffen heeft een plant ook kleine hoeveelheden van veel ander voedingsstoffen nodig. Wanneer er hier tekorten van zijn kunnen planten en knollen gebreken krijgen, o.a. problemen met kieming en opkomst van pootgoed. Op deze manier kunnen bodemomstandigheden tijdens de teelt van pootgoed een effect hebben op de opkomst in de nateelt. Hieronder worden een aantal elementen en mogelijke effecten van tekorten op de kieming en opkomst van pootgoed behandeld.

Calcium

Een lokaal calcium tekort in de groeiende en strekkende gedeeltes van aardappelkiemen kan leiden tot het afsterven van kiemscheuten (Dyson & Digby, 1975; Dyson & Digby, 1975; Tzeng, Kelman, Simmons, & Kelling, 1986). Dit is te zien als zwarte punten aan de kiemtoppen en wordt "sub-apicale

necrose" genoemd. In theorie kan calciumgebrek leiden tot problemen met kieming. Dit wordt vaak waargenomen bij knollen die in de lucht of in een calciumarm groeimedium kiemen. Jonge kiemen zijn dan voor hun calciumtoevoer volledig afhankelijk van de moederknol. In een bodem met voldoende calcium kunnen kiemen al snel calcium uit het omliggende groeimedium halen (Davies, 1984; Busse, Ozgen, & Palta, 2008). Om deze reden wordt vaak aangenomen dat calciumtekort geen rol van betekenis speelt bij opkomstproblemen in het veld (Velvis 2001). Er zijn in Nederland enkele onderzoeken geweest naar de rol van calciumgebrek in de zetmeelteelt (Velvis 2001b, Velvis 2001c). Hier werd (op een relatief calciumarm proefperceel) slechts incidenteel een negatieve relatie tussen een laag calciumgehalte in pootgoed en opkomst gevonden. Calciumgehalten van onderzochte bodems (zetmeelaardappelgebied) lagen in 1998 veelal op of boven de streefwaarde van 1600 mg/kg droge grond terwijl ze in 1999 eronder lagen (Velvis H. , 2001). Pootgoed volgde een omgekeerd patroon in 1998 veelal boven een streefwaarde van 450 mg/kg droge stof en in 1999 veelal eronder. Dit patroon viel samen met het vaker voorkomen van observaties van kiemnecrose in de experimenten van 1998 dan in die van 1999.

Naast een direct effect op de groei van kiemen heeft calciumtekort ook invloed op de vatbaarheid voor bepaalde pathogenen. In de eerste plaats kan een vertraagde opkomst door calciumtekort het risico op aantasting door *Rhizoctonia* vergroten (Mulder en Turkensteen 2008). Daarnaast is pootgoed met lage calciumgehalten vatbaarder voor bewaarziekten veroorzaakt door *Fusarium* en *Pectobacterium* (Mulder & Turkensteen, 2008; Bain, Millard, & Perombelon, 1996; Velvis H. , 2001). Of extra calciumbemesting helpt, is niet geheel duidelijk. De effecten van extra calciumgiften lijken in ieder geval rasafhankelijk te zijn (Velema, Van de Griend, & Velvis, 2001) en waarschijnlijk geldt dit ook voor de invloed van calcium op de vatbaarheid voor deze pathogenen. Merk op dat effecten van Calcium niet altijd duidelijk zijn. Ze worden vaker gevonden in gecontroleerde proeven dan in normale veldomstandigheden waar veel andere factoren ook een grote invloed hebben (Velvis H. , 2001). Velvis en Zwart (2001) concluderen dat calciumtekort niet direct tot opkomstproblemen leidt, maar dat de bewaarkwaliteit wel verbeterd kan worden door te zorgen voor een voldoende calciumgehalte van knollen. Mogelijk is er een interactie met het drogestofgehalte. Tzeng *et al.* (1990) vonden bijvoorbeeld een verminderde vatbaarheid voor *Pectobacterium atrosepticum* wanneer zowel calcium- als droge stofgehalte hoog waren. Studies naar een enkelvoudig effect van droge stofgehalte op de vatbaarheid voor rot geven overigens geen eenduidige resultaten (Zimnoch-Guzowska & Lojkowska, 1993), al wordt vaak beweerd dat het een belangrijke factor is.

Borium

Boriumgebrek kan zich uiten in een achterblijvende ontwikkeling van zowel stengels als wortels van de aardappelplant (Mulder & Turkensteen, 2008). Symptomen treden pas op wanneer de spruit bovengronds is gekomen en aan zonlicht wordt blootgesteld. Planten met een tekort blijven vaak relatief laag en ontwikkelen verdikte ondergrondse stengeldelen. In enkele van de onder calcium genoemde onderzoeken is ook gekeken naar mogelijke effecten van boriumtekort (Velvis H. , 2001; Velvis & Zwart, 2001). Bij veel bodems en knollen lag het boriumgehalte onder de streefwaarde en werden in het begin van het seizoen symptomen van boriumgebrek geconstateerd. Deze symptomen verdwenen echter later in het seizoen en was geen effect op de eindopbrengst. De onderzoekers concludeerden dat de aan boriumgebrek gerelateerde problemen gering zijn en geen vervolgonderzoek behoeven.

Overige gebrekziekten

Naast calcium en borium zijn er ook andere micronutriënten waarvan een lage beschikbaarheid een negatief effect op de aardappelplant kan hebben. Een tekort aan zink of zwavel kan ervoor zorgen dat planten trager groeien en kleiner blijven, maar zou in Nederland niet of zelden voorkomen (Mulder &

Turkensteen, 2008). Toch werd bij proefvelden voor onderzoek naar nutriëntentekorten in de zetmeelteelt vaak een te laag zwavelgehalte gevonden (Mulder & Turkensteen, 2001). Een tekort valt dus niet zonder meer uit te sluiten. Lisinska en Leszczynski (1989) verwijzen in hun boek naar enkele studies die een positief effect vonden voor molybdeen behandelingen op pootgoed. De groei na uitplant en het gehalte droge stof en andere eigenschappen van de dochterknollen werden verbeterd door deze behandeling. Het is niet onmogelijk dat deze en andere sporenelementen een invloed hebben op de vitaliteit van pootgoed. Meer onderzoek zou nodig zijn om hier uitsluitsel over te geven.

Loofdoding en rooiomstandigheden

Wanneer het loof van de moederplant afsterft begint een nieuw gevormde aardappelplant zijn eigen onafhankelijke bestaan. De knol wordt fysiologisch onafhankelijk. Vanaf dit moment kunnen milieuomstandigheden een grote invloed hebben op de fysiologie en veroudering van de knol. Hoogleraar Paul Struik vermoedt dat milieuomstandigheden tussen het moment van loofdoden en rooien mogelijk een cruciale invloed kan hebben op de pootgoedkwaliteit (Struik, pers. comm.). Harde bewijzen en data die dit ondersteunen zijn er echter nog niet. Chemische middelen die bij de loofdoding gebruikt worden zouden mogelijk een invloed kunnen hebben op de fysiologie en vitaliteit van pootgoed. Hier is echter weinig over bekend. Chemische middelen worden in een aparte sectie verderop behandeld.

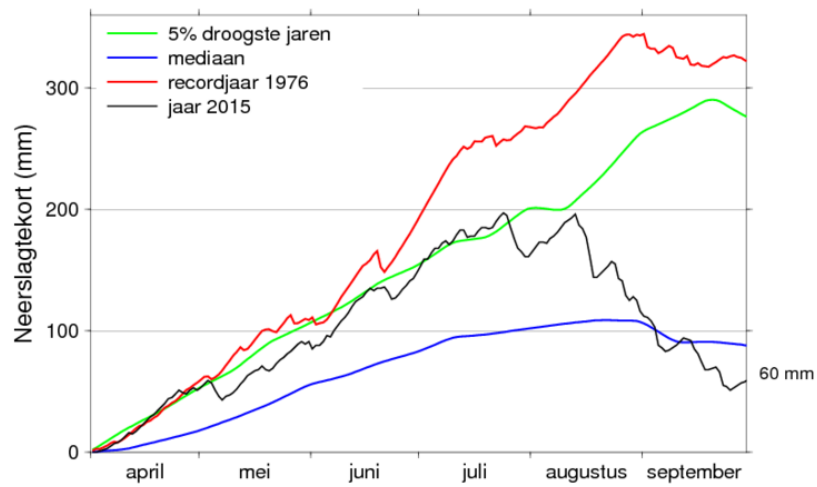
Vochtige omstandigheden rond het rooien kunnen het overleven en versmeren van pathogenen die rot veroorzaken wellicht bevorderen (Boomsma, et al., 2013). Aan de andere kant zouden droge omstandigheden en harde kluiten beschadigingen kunnen veroorzaken en de wondheling vertragen. Dat laatste geldt ook voor koude omstandigheden, zie de sectie over wondheling onder bewaaromstandigheden.

Groeiseizoen 2015

De weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen van het pootgoed zouden de kwaliteit van het pootgoed kunnen beïnvloeden. Het groeiseizoen van 2015 was erg droog (zie Figuur 1). Het voorjaar was overal droog, juli was in het noorden nat en in het zuiden droog. De eerste 12 dagen van Augustus waren ook droog, daarna erg nat. Dit weersverloop heeft er wellicht voor gezorgd dat planten twee generaties knollen hebben aangemaakt. Het zou kunnen dat onvoldoende investering van de moederplant in de knollen de kwaliteit negatief beïnvloed heeft.

Neerslagtekort in Nederland in 2015

Landelijk gemiddelde over 13 stations



(c) KNMI, 2015-11-04

Figuur 1: Neerslagtekort (cumulatieve verdamping-cumulatieve neerslag) in 2015 (bron: KNMI)

Chemische behandelingen

Er zijn verschillende chemische middelen waarvan een negatief effect op de groeikracht en opkomst van pootgoed bekend is. Ook is het mogelijk dat er nog onbekende negatieve effecten zijn van (mogelijk veelgebruikte) middelen. Kiemremmende middelen die in de opslag van consumptieaardappelen gebruikt worden en, per ongeluk, bij pootgoed terecht komen kunnen de opkomst in de nateelt verminderen (Mulder & Turkensteen, Aardappel ziektenboek: ziekten, plagen en beschadigingen, 2008).

De toepassing van verschillende poeders, bijvoorbeeld voor de bestrijding van *Rhizoctonia*, kan bij onregelmatige verdeling en contact met vocht leiden tot het dichtsmere van kiemogen wat een vertraagde en/of onregelmatige opkomst kan geven (Hier wordt bijvoorbeeld voor gewaarschuwd in de gebruiksaanwijzingen van Moncereen en Symphonie).

Chloorprofam (CIPC) is een van de meest gebruikte kiemremmers in de bewaring van consumptieaardappelen. Daarnaast zijn er een groot aantal vluchtige stoffen van organische herkomst die de kieming van pootgoed remmen (Kleinkopf, Oberg, & Olsen, 2003). Uiteraard moet pootgoed niet in contact komen met deze en andere kiemremmers. Een concentratie van 1-2 ppm chloorprofam zou voldoende kiemonderdrukkend moeten zijn in de bewaring van consumptieaardappelen (Kleinkopf, Oberg, & Olsen, 2003). Omdat een deel met de tijd vergaat, kun je al bij lagere residuconcentraties gevonden rond de tijd van planten problemen met een verminderde of vertraagde opkomst verwachten. Dat kan al bij concentraties rond de 0,2 ppm (Boyd, Dalziel, & Duncan, 1982).

Andere middelen waarvan bekend is dat ze de opkomst negatief kunnen beïnvloeden zijn clopyralid (Lontrel), fluroxypyr (Starane), glyfosaat (Roundup) en glufosinaat-ammonium (Finale) (Mulder & Turkensteen, 2008). Als deze stoffen in kleine hoeveelheden op de moederplant terecht komen door bijvoorbeeld drift, kan dit tot opkomstproblemen in de nateelt (met de dochterknollen) leiden, ook al is er in het pootgoedgewas niets afwijkends te zien.

Vooraf glyfosaat kan, wanneer het op het blad van een moederplant terechtkomt, al in zeer kleine concentraties (1% van een normale toepassing) opkomstproblemen in de nateelt veroorzaken (Hutchinson, Felix, & Boydston, 2014; Robinson A. P.; Worthington, 1985). Effecten kunnen variëren van niet kiemen, kleine sterk vertakte kiempjes of verdikte kiemen tot alleen een vertraagde opkomst. Een concentratie op de ondergrens van wat te detecteren is in pootgoed (rond de 0,01 ppm) kan al kiemproblemen geven (Robinson A. P.). Het is waarschijnlijk dat lagere concentraties onder de detectiegrens ook een effect hebben. Daardoor is het niet zonder meer uit te sluiten dat glyfosaat de veroorzaker is van een opkomstprobleem met een partij. Er wordt vaak aangenomen dat glyfosaat zich redelijk snel bindt zich aan minerale deeltje in de bodem of wordt afgebroken door bodemorganismen. Afhankelijk van bodem- en milieuomstandigheden kan de halfwaardetijd (de tijd waarin de helft wordt afgebroken) van glyfosaat echter variëren van dagen tot maanden (Borggaard & Gimsing, 2008). Door deze aanname wordt bij glyfosaatverontreiniging vaak alleen gedacht aan contact met het blad van de moederplant in het pootgoedgewas. Over verontreiniging via de bodem en/of via het wortelsysteem van de moederplant is minder bekend. Mogelijk kunnen kiemen in contact komen met glyfosaat als ze door de bodem omhoog groeien (Robinson & Hatterman-Valenti, 2013). Er zijn sterke aanwijzingen dat glyfosaat in de bodem effecten op later geplante gewassen kan hebben (Neumann, et al., 2006). In ieder geval is aangetoond dat glyfosaat opgehoopt in het organisch materiaal van een eerder met glyfosaat doodgespoten gewas (of onkruid) weer vrij kan komen wanneer dit organisch materiaal in de bodem vergaat. Dit kan negatieve effecten hebben op de groei van later gezaaide of geplante planten (Teshamariam, Bott, Cakmak, Römheld, & Neumann,

2009). Ook kan glyfosaat weer loskomen van de bodemdeeltjes. Doordat fosfaat concurreert met glyfosaat voor bindingsplaatsen aan minerale bodemdeeltjes, kan een fosfaatgift leiden tot hernieuwd vrijkomen van glyfosaat met bijkomende negatieve effect voor planten (Bott, et al., 2011). Het is niet bekend of de kwaliteit van nieuw gevormde aardappelknollen op deze manier verminderd kan worden. Gezien de extreme gevoeligheid van de kieming van aardappelen voor glyfosaatverontreiniging, is het vooralsnog zeker niet uit te sluiten. Hier zou meer experimenteel onderzoek voor nodig zijn

Bewaaromstandigheden

In de literatuur wordt de bewaring van aardappelpootgoed in zeven fases opgedeeld (Wustman & Struik, 2007):

1. Drogen op het veld na het rooien
2. Verladen voor opslag
3. Drogen tijdens verladen
4. Wondheling na verlading naar opslag (ca. 10 dagen op 15 °C en hoge relatieve luchtvochtigheid)
5. Koelen naar gewenste bewaartemperatuur (afhankelijk van doel ca. 5 °C).
6. Bewaring op lage temperatuur (de bewaring in enge zin).
7. Opwarmen voor verlading (en/of) sorteren (ca. 10 °C).

Voor de volledigheid vul ik deze 7 fases aan met:

8. Verlading en transport naar eindgebruiker
9. Opslag bij eindgebruiker
-Evt. afkiemen en/of voorkiemen.

Voor een hoge pootgoedvitaliteit is het belangrijk dat de temperatuur in de eigenlijke bewaring (nummer 5 hierboven) zo gekozen wordt dat het pootgoed de juist fysiologische status heeft rond het geplande tijdstip van uitplant. Afhankelijk van de verwachte duur van de bewaring kan dit variëren van 3 tot 15 °C. (Wustman & Struik, 2007). In de praktijk spelen echter ook andere afwegingen mee. Omdat er op gewichtsbasis wordt afgerekend, is het voor de verkoper van belang om respiratie en transpiratie van het pootgoed te minimaliseren. Het is niet duidelijk of dit mogelijk conflicten geeft met optimalisatie van de pootgoedvitaliteit aan het einde van de bewaring.

Tijdens de bewaring zijn er meerdere factoren die de kwaliteit en de fysiologische status van het pootgoed kunnen beïnvloeden zoals temperatuur, luchtvochtigheid, atmosfeer, contact met chemische middelen en fysieke schade.

Temperatuur en fysiologische veroudering tijdens de opslag

In het algemeen ligt de ademhaling van aardappelknollen op een minimum zit bij een temperatuur rond de 5 °C (Wustman & Struik, 2007) en neem snel toe bij temperaturen richting het vriespunt en temperaturen boven de 15 °C (Bus, Loon, & Veerman, 1996).

Hogere zuurstofbehoefte bij zeer lage of juist bij hoge temperaturen kunnen leiden tot zuurstofloze omstandigheden binnen in de knol. Hierdoor zal weefsel afsterven en worden zogenaamde zwarte harten gevormd (Bus, Loon, & Veerman, 1996). Te koude bewaring kan dus nadelig zijn en zoals in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** te zien is, het verschil tussen een optimale en een te koude temperatuur bijzonder klein.

Om kieming, veroudering, uitbreiding van pathogenen en gewichtsverlies te voorkomen wordt pootgoed op temperaturen rond de 5 °C bewaard. Met de beschikbaarheid van moderne temperatuurregulatie in de bewaring van pootgoed zou het in principe niet hoeven voorkomen dat pootgoed een suboptimale fysiologische leeftijd heeft. Aardappelrassen verschillen echter in de snelheid van veroudering en de temperatuurafhankelijkheid van de veroudering (Struik, Putten, Caldiz, & Scholte, 2006; Bodlaender, et al., 1985).

Het is niet altijd bekend welk temperatuurregime leidt tot de ideale fysiologische status rond de periode van uitplant. Ook al zijn veroudering van pootgoed en het doorbreken van kiemrust processen die in de regel allebei versneld plaatsvinden bij een hogere temperatuur, ze lopen niet noodzakelijkerwijs gelijk op (Van Ittersum, 1992).

Bewaring op een lage temperatuur (bijvoorbeeld 2 °C vs. 7 °C) geeft fysiologisch jonger pootgoed dat minder snel kan kiemen bij uitplant in het voorjaar (Rastovski & Van Es, 1987). Dit zou een reden voor gebrekkige en trage opkomst kunnen zijn. Naast temperatuur zijn er veel andere factoren die de kiemlustigheid van pootgoed bepalen. Het verloop van de fysiologische veroudering kan daarom per jaar en per herkomst sterk verschillen (Rastovski & Van Es, 1987).

Doordat er veel factoren zijn die inwerken op het verouderingsproces en de exacte fysiologische toestand van een partij pootgoed niet snel en gemakkelijk te bepalen is, is het niet onwaarschijnlijk dat veelgebruikte bewaarregimes suboptimaal zijn (Struik, pers comm). Om dit te optimaliseren zou er veel meer kennis over het fysiologisch gedrag van rassen opgebouwd moeten worden. Dit kan mogelijk met behulp van kiemprouven en een berekening van een PAI (Caldiz, Fernandez, & Struik, 2001) op series monsters die met een zeker tijdsinterval uit een opgeslagen partij pootgoed gehaald worden. Op deze manier kan informatie verkregen worden over het moment van optimale kiemkracht (Delaplace, Brostaux, Fauconnier, & Jardin, 2008).

Vroeger werd de invloed van temperatuur op fysiologische veroudering vaak gekwantificeerd door middel van temperatuursommen en graaddagen boven een bepaalde grenswaarde. Zo'n temperatuurboekhouding geeft echter een waarde die vrijwel alleen door de gemiddelde bewaar temperatuur, en niet door mogelijke schommelingen van hoge en lage temperaturen, bepaald wordt. De volgorde van hoge en lage temperatuur in de bewaring heeft echter ook op zichzelf een invloed op de veroudering (ook hier zijn weer rasverschillen te verwachten). Vooral rassen die gevoelig zijn voor veroudering verliezen vitaliteit bij een verhoogde temperatuur in de tweede helft van de opslagperiode (Struik, Putten, Caldiz, & Scholte, 2006). Sterke rasverschillen in de gevoeligheid voor temperatuur(wisselingen) maken dat temperatuursommen geen eenduidige maat zijn voor de fysiologische status van pootgoed. Het gebruik van integrale methodes als het bepalen van een PAI (Caldiz, Fernandez, & Struik, 2001) verdient daarom de voorkeur in onderzoek.

Rasverschillen

Zoals hierboven al aangegeven kunnen er grote verschillen tussen aardappelrassen zijn in hoe ze reageren op bepaalde milieumomstandigheden. Doordat fysiologisch gedrag in sterke mate rassen specifiek is, is het lastig om algemene uitspraken te doen over effecten van factoren op het fysiologische gedrag van aardappels. Voor een optimale teelt en bewaring is het nodig om een ras goed te kennen. De informatie die met rasbeschrijvingen mee wordt gegeven is vaak relatief (vaak een cijfer hoger of lager dan een referentieras) en zeer beperkt. Wetenschappelijke studies gebruiken veelal een zeer beperkt aantal rassen in experimenten, vaak één of twee, zelden meer dan vijf. In de regel worden rasverschillen gevonden wat extrapolatie van gevonden relaties tussen de onderzochte milieufactoren en de gevonden fysiologische respons, opkomst en/of opbrengst naar andere rassen compliceert.

Er zijn een aantal Zwitserse studies geweest die een relatief groot aantal rassen systematisch op hun fysiologisch gedrag onderzocht hebben. Reust et al. (2001) namen enkele tientallen rassen en stelden deze bloot aan twee verschillende bewaarregimes, een standaard regime met een bewaartemperatuur van 4 °C gedurende het grootste gedeelte van de bewaarperiode en een regime met een bewaartemperatuur 15 °C van november tot Maart (en vervolgens afgekiemd). Van elk ras werden de duur van de kiemrust en de incubatieperiode bepaald en voor de nateelt van beide bewaarregimes werd de opkomst en opbrengst gemeten. Er bleken zeer grote rasverschillen in gevoeligheid voor warmere bewaring te zijn. Sommige rassen haalden bij warme bewaring nauwelijks 10% van de opkomst en opbrengst terwijl enkele andere rassen bij warme bewaring zelfs meer dan 100% van de opbrengst haalden van pootgoed dat koud was bewaard. Dit opbrengstpercentage na warme bewaring ten opzichte van standaardbewaring kan een maat voor de robuustheid van een ras zijn. Vreemd genoeg was er geen duidelijke relatie tussen de duur van de kiemrust en deze maat van robuustheid. Een andere Zwitserse studie vond ook tussen gevoeligheid voor afkiemen, incubatietijd of kiemrustperiode geen significante correlatie (Carrera, et al., 2015).

In principe is het mogelijk om op een soortgelijke manier de gevoeligheid van rassen voor verschillende stressfactoren te onderzoeken en te kwantificeren. Hier zijn mij echter geen systematische studies van bekend.

Atmosfeer

Bij de opslag van consumptieaardappelen kunnen CO₂-niveaus boven de 0,4% een effect hebben op de bakkleur. Er zijn echter geen aanwijzingen dat waarden van 0,4% of hoger CO₂ een negatief effect hebben op de bewaarbaarheid van pootaardappelen. Oudere studies vonden dat concentraties van 2-4% de kieming stimuleerde terwijl concentraties boven de 7% de kieming weer lijken te remmen (Burton W. G., 1958). In de literatuur wordt vaker een vermelding van een CO₂-effect op kieming of rotting gedaan zonder rekening te houden met de invloed van verandering in het zuurstofgehalte (Wiltshire & Cobb, 1996). Experimenten met bewaring in een gecontroleerde atmosfeer houden ook niet altijd realistische combinaties van CO₂ en zuurstof aan (Briddon, 1995; Khanbari & Thompson, 1994). Het lijkt dat vooral zeer lage zuurstofgehaltenes (onder de 3% in combinatie met verhoogd CO₂ een negatief effect hebben op de vitaliteit van pootgoed (Workman & Twomey, 1970). Het effect van CO₂ en zuurstof lijkt ook afhankelijk te zijn van de fase van de bewaring (Burton W. , 1968).

In een normale atmosfeer zit een concentratie van zo'n 0,04% (400 ppm) CO₂. Bij slechte ventilatie kan de CO₂-concentratie in de opslag oplopen tot zo'n 7% (Burton, Es, & Hartmans, 1992). In een experiment waar CO₂ aan normale atmosfeer werd toegevoegd gaf +4% CO₂ geen problemen bij een bewaartemperatuur van 4,5 °C maar wel bij een temperatuur van 0 °C terwijl een bewaring op 0 °C bij een normale atmosfeer geen problemen opleverde (Workman & Twomey, 1970). Het lijkt er dus op dat vooral de combinatie van koude bewaring en verhoogd CO₂ problematisch kan zijn. In dezelfde studie werd ook 8% CO₂ toegevoegd en onder deze atmosfeer overleefde pootgoed ook de normale bewaartemperatuur van 4,5 °C niet. Voor pootgoed zullen kritische waarden dus niet onder de 4% CO₂ liggen. Dit past goed met een andere vermelding in de literatuur dat concentraties boven de 5% de vitaliteit verminderen (Lisinska & Leszczynski, 1989). Waarschijnlijk speelt de invloed van CO₂ op wondheling een rol bij de vitaliteitsvermindering. Zie de betreffende sectie voor meer details.

Er zijn nauwelijks studies bekend over effecten van luchtvochtigheid op de bewaarbaarheid en de kiemrust. Wanneer knollen met een dun waterfilmje zijn bedekt, vermindert dit de duur van de kiemrust (Rastovski & Van Es, 1987). Wellicht heeft dat te maken met een verminderde zuurstofbeschikbaarheid voor de knol. Luchtvochtigheid is wel belangrijk voor de snelheid van wondheling, zie de daarvoor relevante sectie.

Door aardappel uitgescheiden vluchtige stoffen schijnen de kieming van pootgoed te kunnen remmen of zelfs stoppen wanneer onvoldoende wordt geventileerd (Rastovski & Van Es, 1987; Meigh, Edward, & Self, 1973). Ethyleen is een gas dat uitgescheiden kan worden door verschillende planten en plantendelen. Aardappelknollen kunnen het zelf produceren wanneer ze kiemen, kiemen aan stress worden blootgesteld of als knollen door *Fusarium* zijn aangetast (Timm, Hughes, & Weaver, 1986). Ethyleen kan bij kortdurende blootstelling leiden tot verstoring van de kiemrust (Burton, Es, & Hartmans, 1992). Langdurige blootstelling kan echter de lengtegroei van kiemen verminderen en vertakkingen stimuleren (Timm, Hughes, & Weaver, 1986). Door een groter aantal vertakkingen zou het stengelaantal in de nateelt van aan ethyleen blootgesteld pootgoed. Een aantal proeven hebben positieve resultaten laten zien van ethyleenbehandelingen (Vos, 2014) en ethyleenbehandeling wordt met dit oogpunt door enkele bedrijven aangeboden. Mij zijn echter geen wetenschappelijke publicaties bekend en in (oudere) teelthandleidingen wordt aanbevolen om contact tussen pootgoed en ethyleen en/of ethyleenproducerende producten te vermijden (Bus, Loon, & Veerman, 1996). Onder normale bewaaromstandigheden is het onwaarschijnlijk dat ethyleenconcentraties zo hoog worden dat ze een invloed hebben op de fysiologie van pootgoed (Bethke, 2014).

Fysieke schade en wondheling

Pootgoed kan door contact met harde en scherpe voorwerpen beschadigd worden. Beschadigingen kunnen ontstaan wanneer pootgoed bewerkt of verplaatst wordt zoals bij het rooien, verladen, transport, sorteren, storten en poten. Om beschadigingen te beperken moeten valhoogtes voor pootgoed onder de 40 cm blijven en bandsnelheden onder de 30-40 meter/ minuut (Mulder & Turkensteen, 2008; Rastovski & Van Es, 1987). Merk op dat weefselbeschadigingen niet altijd aan de buitenkant te zien zijn. Verwondingen hebben een sterk effect op de fysiologie van pootgoedknollen en kunnen bijvoorbeeld de kieming stimuleren (Rastovski & Van Es, 1987). Daarnaast verhogen schokken en wonden de respiratie van knollen.

Het grootste risico van wonden is waarschijnlijk dat zij openingen vormen voor pathogenen en op deze manier de bewaarbaarheid en vitaliteit van pootgoed dramatisch kunnen verminderen. Om dit te voorkomen moet na schokken en beschadigingen een periode voor wondheling gereserveerd worden. Een aardappelknol kan beschadigingen dan herstellen door middel van kurkvorming (Rastovski & Van Es, 1987) en om dit voldoende snel te laten plaatsvinden is een temperatuur van boven de 10 °C, voldoende zuurstof (boven de 10%) en een hoge relatieve luchtvochtigheid (boven de 80%) nodig (Wigginton, 1974). Kiemremmers en methodes die de kieming remmen hebben een nadelig effect op de wondheling (Rastovski & Van Es, 1987) en dienen ook om deze reden niet in contact met pootgoed te komen.

Bij langere bewaring en hogere stapelhoogtes kunnen drukplekken op de knollen ontstaan en blauwverkleuring in het vlees. De blauwverkleuring door schok- en drukplekken kan verminderd worden door pootgoed op te warmen tot boven de 10 °C (zelfs tot 20 °C voor gevoelige rassen) voordat er handelingen plaatsvinden (Rastovski & Van Es, 1987). Voor zover bekend hebben drukplekken geen effect op de vitaliteit van pootgoed (Mulder & Turkensteen, 2008).

Pathogenen

Bij opkomstproblemen worden vaak rotte knollen onder de lege standplaatsen gevonden. Het is echter niet altijd met zekerheid vast te stellen of rot daadwerkelijk de primaire oorzaak van de opkomstproblemen zijn. Vaak zal een interactie met beschadigingen of door andere oorzaken verminderde vitaliteit of groeisnelheid een rol spelen. Veel pathogenen zijn namelijk zwakteparasieten die vooral tot uiting komen bij verzwakte of beschadigde weefsels. Hieronder volgt een kort overzicht, ontleend aan Mulder & Turkensteen (2008), van pathogenen die de vitaliteit van pootgoed verminderen en opkomstproblemen kunnen veroorzaken.

Besmetting met de schimmel *Alternaria sp.* kan donkergekleurde ingezonken lesies, lijkend op duimrot, op knollen veroorzaken. Aantasting komt vaker voor in warme teeltgebieden waar het rooien korter na loofdoding plaatsvindt. Deze schimmel breidt zich uit bij temperaturen tussen de 10 en 35 °C en kan zowel als mycelium en als sporen overleven. Vermindering van risico op aantasting door *Alternaria* kan door ruim voor het rooien het loof te doden en te zorgen voor een goede afharding en het vermijden van (rooi)beschadigingen. Daarnaast is een goede voedingstoestand van het gewas essentieel voor een goed weerstand.

Droogrot in pootgoedknollen kan worden veroorzaakt door verschillende Fusariumsoorten. Sommige soorten zijn knol- en partijgebonden terwijl andere algemeen in de grond voorkomen. Allemaal kunnen ze alleen via verwondingen de knol binnendringen. Dit kunnen verwondingen door rooibeschadigingen zijn, maar bijvoorbeeld ook aantasting van andere ziektes, aaltjes of insecten of door het afkiemen. Verschillende schimmels kunnen de schil van een knol aantasten en zo pathogenen als Fusarium faciliteren. Een voorbeeld hiervan is poederschurft. Droogrot ontwikkelt zich vooral bij temperaturen tussen de 10 en 20. Knollen die koud worden bewaard, kunnen, ondanks dat ze er gaaf uit zien, latent besmet zijn met Fusarium. Dit komt dan pas tijd uiting wanneer de partij een tijd warmer heeft gestaan of is uitgeplant. Beschadigingen vermijden en een goede wondheling verminderen het risico.

Phoma- en duimrot zijn pathogenen die juist relatief lage temperaturen (ca. 8 °C) nodig hebben om zich uit te breiden. Als phomarot in een partij voorkomt, is de partij niet geschikt voor bewaring. Beschadigingen vermijden en goede wondheling zijn ook hier belangrijk voor het minimaliseren van de risico's. Handelingen als rooien en poten dienen niet uitgevoerd te worden bij temperaturen onder de 10 °C.

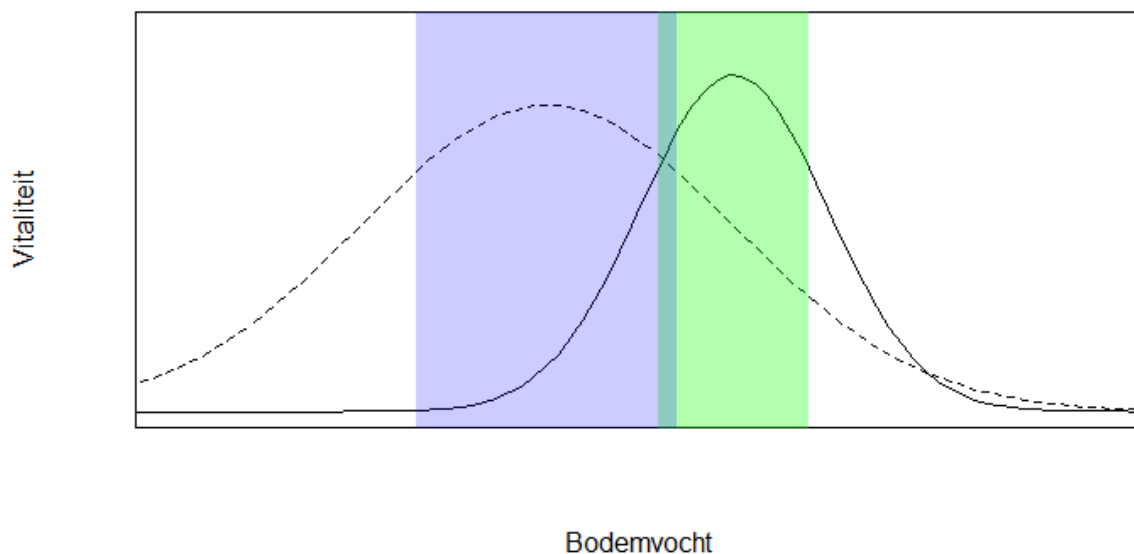
Rhizoctonia kan knollen, wortels en stengels aantasten. Dit wordt bevorderd door lage bodemtemperaturen en veel bodemvocht (Mulder & Turkensteen, 2001). Langzaam groeiende planten (bijvoorbeeld door andere ziektes of ongunstige weersomstandigheden) zijn ook vatbaarder.

Natrot veroorzaakt door *Pectobacterium* en *Dickeya* soorten (voorheen *Erwinia*) kan vooral plaatsvinden onder vochtige omstandigheden, bijvoorbeeld wanneer knollen in de bewaring nat worden door condensvorming. Ook natte omstandigheden in het veld kunnen een rol spelen. Het risico op nat kan worden verminderd door goed te drogen, natte omstandigheden op het veld te vermijden en geen besmette partijen te gebruiken en voorzichtig te zijn met het mengen van verschillende herkomsten.

Groeiomstandigheden consumptieteelt

Geen enkele plant functioneert optimaal onder alle mogelijke omstandigheden. In veel gevallen kan de relatie tussen de vitaliteit van een plant en bepaalde milieuomstandigheden als een optimumcurve worden afgebeeld (Figuur 2). Er is relatief weinig (met data onderbouwde) informatie over toleranties van pootgoed van verschillende aardappelrassen voor verschillende milieuomstandigheden. Het lijkt erop dat voor aardappelrassen onvoldoende bekend is onder welke omstandigheden je mag verwachten dat pootgoed (evt. in combinatie met een potermaat) een goede gewasstand geeft. Om het nog complexer te maken, lijken er ook verschillen te zijn in hoe jong en oud pootgoed reageert op de vochttoestand van het uitplantperceel (Saleh, 2009). In het algemeen geldt dat planten in hun wortelzone voldoende zuurstof en water moeten hebben om te overleven. Voor aardappelpootgoed zegt men bijvoorbeeld dat een periode van 24 uur onder water (d.w.z. zuurstofloze omstandigheden) dodelijk is.

In de veredeling en rasontwikkeling wordt gericht geselecteerd op eigenschappen als bakkwaliteit en ziekteresistentie. Een eigenschap als tolerantie voor extremere weersomstandigheden zoals een nat en koud voorjaar lijkt niet expliciet in veredelingsprogramma's van op dit moment gebruikte rassen meegenomen te zijn. Ook worden dit soort kenmerken niet gemeld bij rasbeschrijvingen. Er lijkt echter wel een tendens om meer te richten op robuustheid en stabiliteit van opbrengst in de rasontwikkeling (Hanse & Delleman, 2016).



Figuur 2: Hypothetisch vitaliteitsvenster voor een specialistisch type plant (doorgetrokken lijn) en een generalistisch type plant (onderbroken lijn). De vitaliteit heeft een optimum bij een bepaalde waarde van een milieufactoor (bodemvocht in dit voorbeeld) en neemt af bij extremere hogere en lagere waarden. Het bereik waar een plant goed functioneert is breed voor de generalist en smaller voor de specialist.

Naast een direct effect van weer- en bodemomstandigheden op aardappelknollen kan er ook indirect effect op de opkomst zijn. Uitgeplant pootgoed is vatbaar voor pathogenen die zich op de knol of in de grond rond de knol bevinden. Tussen poten en opkomst boven de grond zit een tijdsvenster waar pathogenen als *Fusarium* en *Rhizoctonia* de poter en de kiemen aan kunnen tasten. Dit kan vervolgens leiden tot opkomstproblemen. Omstandigheden die de opkomst vertragen kunnen daardoor ook leiden tot verminderde of onregelmatige opkomst. Voorbeelden hiervan zijn een lage temperatuur rond uitgeplante knollen zorgen zoals koude weersomstandigheden, diep poten of vroege rugopbouw. Verdichting van de bodem kan gewasontwikkeling vertragen en grondbewerking

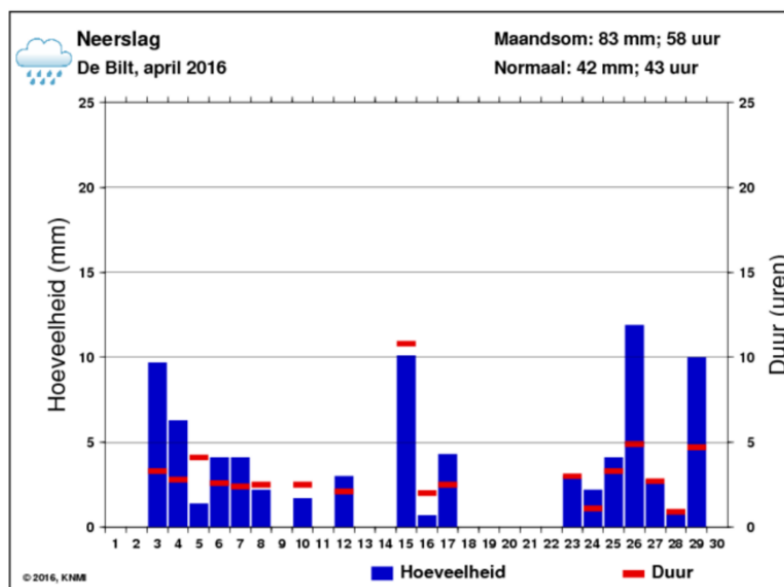
in het voorjaar (vooral natte kleigrond) kan op deze manier opkomstproblemen in de hand werken. Lichtere gronden (afslibbaarheid onder de 20%) kunnen bij hevige neerslag verslempen waardoor er zuurstofarme omstandigheden in de bodem ontstaan die de groei vertragen (Bus, Loon, & Veerman, 1996).

Een voldoende gevorderdere fysiologische status van het pootgoed bij uitplant is ook belangrijk. Vooral partijen met *Fusarium* of *Rhizoctonia* besmetting of rassen met een lange kiemrustperiode kunnen een mindere opkomst geven wanneer ze tot relatief kort voor uitplant (bijvoorbeeld 1 week voor uitplant) in de koeling opgeslagen zijn. Het is beter om de kiemogen bij uitplant al goed “wakker” te hebben in het zogenaamde “wittepuntjesstadium” (Van Loon, Veerman, Bus, & Zwanepol, 1993). Hiervoor dient pootgoed vaak al enkele weken voor uitplant uit de koeling gehaald te worden.

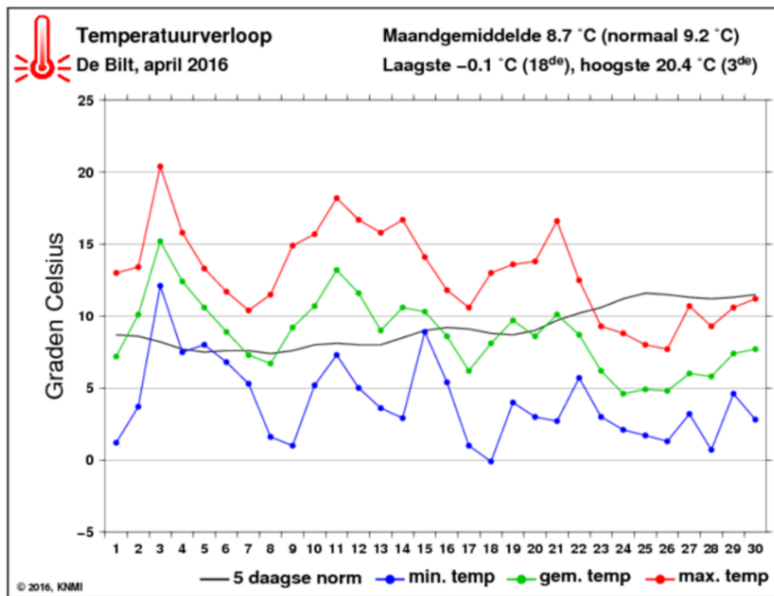
Het snijden van pootgoed kan risico's met zich meebrengen voor de verspreiding van pathogenen. Ook als het snijden goed wordt uitgevoerd en er geen ziektes door het snijden zelf worden verspreid, zijn gesneden knollen gevoeliger voor rot. Een ander probleem met snijden is dat de verdeling van de kiemogen kan wisselen. Vooral langwerpige knollen, zoals bij frietrassen, die overdwars worden gesneden kunnen een onregelmatigere stengelverdeling in de nateelt laten zien (Van Loon, Veerman, Bus, & Zwanepol, 1993).

Groeiomstandigheden rond uitplant in 2016

De weersomstandigheden tijdens het poten en het groeiseizoen kunnen een belangrijke rol spelen bij de geobserveerde opkomstproblemen. Zoals Figuur 3 en Figuur 4 laten zien was april 2016 relatief koud en nat, waarbij het eind april ongeveer 5 graden kouder was dan normaal voor die tijd. Het is zeer waarschijnlijk dat deze omstandigheden en wateroverlast op het veld bijgedragen hebben aan de opkomstproblematiek van 2016.



Figuur 3: Dagelijkse neerslag in De Bilt in april 2016 (bron: KNMI)



Figuur 4: Temperatuurverloop in De Bilt in april 2016 (bron: KNMI)

Vitaliteitstoetsen voor pootgoed

In 2005 is een haalbaarheidsstudie naar de mogelijkheden voor het voorspellen van de groeikracht van aardappelen gepubliceerd (Veerman, Struik, Evenhuis, Bus, & Bos, 2005). In deze en andere studies werd geconstateerd dat er vooralsnog geen parameters waren die de groeikracht en het aantal kiemen konden voorspellen, zie bijvoorbeeld Caldiz (2009).

Er zijn weliswaar inhoudsstoffen die veranderen afhankelijk van de fysiologische status van pootgoed. Een voorbeeld hiervan is de verhouding tussen plantenhormonen als abscisinezuur en gibberilinezuur. Dit kan mogelijk een aanwijzing geven hoe dicht pootgoed bij het doorbreken van de kiemrust zit (Veerman, Struik, Evenhuis, Bus, & Bos, 2005). Een kwantitatieve maat zou de hoeveelheid gibberilinezuur zijn die nodig is om de kieming te initiëren. Andere voorbeelden zijn dat in de loop van de bewaring de hoeveelheid citroenzuur afneemt en de hoeveelheid appelzuur toeneemt (Reust & Aerny, 1985) of een toename van het lekken van elektrolyten uit knolweefsel (De Weerd, Hiller, & Thornton, 1995). Maar kritische waardes lijken afhankelijk van ras en groeiomstandigheden wat de potentie voor voorspelling beperkt. Hetzelfde concluderen Veerman et al. (2005) met betrekking tot verandering in de concentratie van suikers (Burton, Es, & Hartmans, 1992). In de regel zorgt de grote afhankelijkheid van ras, groei- en bewaaromstandigheden ervoor dat aan inhoudsstoffen gerelateerde parameters niet goed bruikbaar zijn als voorspeller van groeikracht, opkomst en opbrengst.

Moderne technieken rondom transcriptomics, proteomics en metabolomics en dna-onderzoek bieden op termijn misschien perspectief voor voorspellende toetsen. De ontwikkelingen gaven bij het verschijnen van de haalbaarheidsstudie van Veerman et al. (2005) nog geen aanleiding voor concrete stappen in deze richting. Voor zover bij mij bekend is deze situatie niet gewijzigd. Een relatief recente studie van Jeong et al. (2008) geeft echter wel aan dat er mogelijk perspectief is voor het gebruik van nabij-infrarood spectroscopie (NIR-spectroscopie). De onderzoekers vonden zeer goed correlaties tussen de gemeten kiemkracht van knollen en de voorspelling van een model gekalibreerd op een de spectrale data van de knollen. Bij NIR-spectroscopie wordt de reflectie van testmateriaal op verschillende golflengtes gemeten. De reflectie wordt onder andere bepaald door de inhoudsstoffen van het materiaal (met behulp van ijklijnen kan men zo ook de concentraties van specifieke inhoudsstoffen bepalen). Op het reflectiepatroon van individuele knollen en hun experimenteel bepaalde kiemkracht kan men vervolgens algoritmes loslaten die een "voorspellend" model maken van de kiemkracht (merk op dat men dan puur de relatie in de dataset "voorspelt", om daadwerkelijk een voorspellend model te hebben moet het model ook getest worden op data die niet voor het bouwen van het model gebruikt is). Deze methode lijkt na deze studie niet verder toegepast te zijn voor kwaliteitsbeoordelingen van pootgoed. Wel zijn er enkele studies over het gebruik van NIR-spectroscopie voor het bepalen van eigenschappen van consumptieaardappelen (Haase, 2011; Rady & Guyer, 2012). De gevolgde procedures in Jeong *et al.* (2008) zijn overigens niet bijzonder transparant beschreven.

Kiemproeven en fysiologische leeftijdsbepalingen

Toetsen waarbij de kieming wordt beoordeeld of de incubatieperiode (tijd tussen kieming en knolvorming bij bewaring onder standaardomstandigheden) wordt bepaald lijken een meer algemene toepassing te hebben. Vergelijking tussen rassen, herkomsten en bewaaromstandigheden is dan mogelijk. Deze toetsen kosten echter te veel tijd voor praktische toepassing omdat de gewenste informatie pas na weken of maanden na het begin van de toets beschikbaar is (Veerman, Struik, Evenhuis, Bus, & Bos, 2005). Dit soort methodes kunnen echter wel gebruikt worden voor evaluatiedoeleinden en het opbouwen van kennis over het fysiologisch gedrag van rassen en de

invloed van milieuomstandigheden. De PAI (Caldiz, Fernandez, & Struik, 2001) kan hiervoor gebruikt worden. Zie bijvoorbeeld Delaplace *et al.* (2008).

De PAI wordt bepaald door op het tijdstip waarop men de fysiologische leeftijd van een partij pootgoed wil weten een monster te nemen en dit bij een temperatuur van ca. 18 °C en een relatieve luchtvochtigheid boven de 80% weg te zetten. Vervolgens moet men de tijd tot het einde van de incubatieperiode (het tijdstip waarop zich knolletjes aan de stelen van pootgoed beginnen te vormen) meten. De tijd tussen loofdoding van de moederplant en monsternamen is dan T1 en de tijd tussen loofdoding en het einde van de incubatieperiode is T2. T1 gedeeld door T2 geeft dan de PAI. Dit is een waarde tussen de 0 (fysiologisch heel jong pootgoed) en 1 (fysiologisch heel oud pootgoed). Door middel van experimenten kan de invloed van factoren op fysiologische veroudering worden onderzocht en door uitplant van monster met verschillende PAI-waardes kan per ras een optimale leeftijd voor opkomst en opbrengst gezocht worden.

Hot box, versnelde veroudering en stresstesten

Door verscheidene bedrijven worden monsters van pootgoedpartijen in relatief warme opslagruimtes weggelegd om na enkele weken een visuele kwaliteitsbeoordeling te doen. Door de warmere bewaring wordt beter zichtbaar of er pathogenen in partij zitten dan bij beoordeling na koude bewaring. Partijen die tijdens deze warme bewaring aangetast worden, kunnen vervolgens uit de handel gehaald worden of strategisch naar gebieden met minder zware milieuomstandigheden weggezet worden. Daarnaast maakt deze methode het ook mogelijk om de kieming te beoordelen. Voor zover bekend wordt er geen onderzoek gedaan naar correlaties tussen beoordelingsgegevens en opkomsten op het veld op partijniveau. Wel zijn er enkele studies (deze zijn uitgebreider behandeld in de sectie over rasverschillen) waar rassen worden gekarakteriseerd op hun gevoeligheid voor versnelde veroudering (Reust, Winiger, Hebeisen, & Dutoit, 2001; Carrera, *et al.*, 2015; Rykaczewska, 2013). De gevoeligheid voor veroudering is echter niet direct gecorreleerd aan het de kiemkracht onder normale omstandigheden (Rykaczewska, 2013) of gevoeligheid voor andere vormen van stress als afkiemen (Carrera, *et al.*, 2015). Meer onderzoek is nodig om uitspraken te doen over de correlatie tussen de aanwezigheid van pathogenen, detectie in een "hot box" en de kwaliteit van de nateelt.

Voor afzonderlijke stressfactoren kunnen stresstesten worden opgezet. Hiermee kan de tolerantie van verschillende rassen voor verschillende vormen van stress worden bepaald. Er is al werk in deze richting gedaan met betrekking tot warmere bewaring en afkiemen. In principe zou dit uitgebreid kunnen worden voor bijvoorbeeld tolerantie van zuurstofloze omstandigheden of gevoeligheid voor chemische middelen.

Conclusies en aanbevelingen

Er is relatief weinig (recente) wetenschappelijke literatuur over opkomstproblemen. Wel zijn er veel studies naar de fysiologie van de kieming gedaan. Het is evident dat dit soort studies relevant zijn voor het verkrijgen van inzicht over de oorzaken van opkomstproblemen. Er zijn echter veel mogelijke oorzaken. Op elke plek in de keten van pootgoed naar consumptieteelt kan wel iets misgaan waardoor de kwaliteit van pootgoed omlaag gaat en opkomstproblemen in de nateelt kunnen ontstaan. Om dit zoveel mogelijk te voorkomen is het nodig om voorzichtig met pootgoed om te gaan. Contact met schadelijke chemische middelen moet absoluut vermeden worden. Dit geldt ook voor het pootgoedgewas (denk aan mogelijke effecten van glyfosaat). Voorkom beschadigingen en zorg voor een goede wondheling. Ook is het belangrijk om het fysiologisch gedrag van rassen beter te leren kennen om voor optimale bewaaromstandigheden te kunnen zorgen. De beschikbaarheid van micronutriënten in de pootgoedteelt speelt mogelijk een rol voor de vitaliteit van het pootgoed. Daarnaast kunnen weersomstandigheden in het pootgoedseizoen het fysiologisch gedrag van dochterknollen beïnvloeden. Milieuomstandigheden kunnen direct en indirect, via hun invloed op de groei van pathogenen, invloed hebben op de pootgoedkwaliteit

Toetsen op basis van specifieke inhoudsstoffen lijken niet bijzonder veel perspectief te hebben voor een verbeterde partijkeuring. Mogelijk kan nabij-infrarood spectroscopie wel van waarde zijn. Kiemproeven of experimenten in kiemruimtes kunnen wellicht helpen slechte partijen aan te wijzen. Dit geeft een versnelling van processen die langzamer verlopen onder normale (koude) bewaaromstandigheden. Partijen die niet goed door de test heenkomen kunnen dan voor verkoop uit de handel genomen worden. Er is echter nog meer onderzoek nodig om de waarde ervan goed in te kunnen schatten. Op deze wijze zouden ook door chemische middelen aangetaste knollen die een afwijkende kieming laten zien, gedetecteerd kunnen worden.

In veel gevallen is de oorzaak van opkomstproblemen niet eenduidig te verklaren. Gedeeltes van hetzelfde perceel kunnen een zeer verschillend opkomstbeeld hebben en behandelingen als het snijden van pootgoed kunnen wisselende effecten hebben. Voorheen werd er weinig overkoepelend onderzoek gedaan naar patronen in het voorkomen van opkomstproblemen. Wanneer over meerdere jaren een grote dataset van opkomstproblemen en daaraan gerelateerde gegevens wordt verzameld, is het wellicht mogelijk om oorzakelijke verbanden tussen bijvoorbeeld milieuomstandigheden en opkomstproblemen te vinden. Het verzamelen van dit soort gegevens kan ook helpen om meer inzicht te krijgen in het fysiologisch gedrag van rassen en hun gevoeligheid voor milieufactoren. Daarnaast kan gericht experimenteel onderzoek leiden tot meer kennis over de precieze invloed van factoren.

Verwijzingen

- Bain, R., Millard, P., & Perombelon, M. (1996). The resistance of potato plants to *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica* in relation to their calcium and magnesium content. *Potato Research*, 39(1), 185-193.
- Bethke, P. C. (2014). Ethylene in the atmosphere of commercial potato (*Solanum tuberosum*) storage bins and potential effects on tuber respiration rate and fried chip color. *American Journal of Potato Research*, 91(6), 688-695.
- Bodlaender, K., Dekhuijzen, R., Marinus, J., Van Es, A., Hartmans, K. J., Kupers, L., . . . Van der Zaag, D. (1985). *Effect of physiological age on growth vigour of seed potatoes : a study with seed tubers of two cultivars stored at two different temperatures*. Working Group Growth Vigour of Seed Potatoes. Opgehaald van <http://edepot.wur.nl/364820> C1
- Boomsma, D., Velvis, H., Kristelijn, K., Tent, T. v., Kastelein, P., der, P. v., . . . others. (2013). *Deltaplan Erwinia. Deel C-Pootaardappelen. Eindrapport van het onderzoek 2009-2012*. Tech. rep., Nederlands Aardappel Organisatie (NAO), Productschap Akkerbouw (PA).
- Borggaard, O. K., & Gimsing, A. L. (2008). Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. *Pest Management Science*, 64(4), 441-456. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1512>
- Bott, S., Tesfamariam, T., Kania, A., Eman, B., Aslan, N., R{\o}mheld, V., & Neumann, G. (2011, May). Phytotoxicity of glyphosate soil residues re-mobilised by phosphate fertilisation. *Plant and Soil*, 342(1), 249-263. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-010-0689-3>
- Boyd, I., Dalziel, J., & Duncan, H. J. (1982, Mar). Studies on potato sprout suppressants. 5. The effect of chlorpropham contamination on the performance of seed potatoes. *Potato Research*, 25(1), 51-57. Opgehaald van <https://doi.org/10.1007/BF02357273>
- Briddon, A. (1995). Controlled atmosphere storage of potatoes.
- Burton, W. (1968). The effect of oxygen concentration upon sprout growth on the potato tuber. *European Potato Journal*, 11(4), 249-265.
- Burton, W. G. (1958). The effect of the concentrations of carbon dioxide and oxygen in the storage atmosphere upon the sprouting of potatoes at 10{\textdegree}C. *European Potato Journal*, 1(2), 47-57. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/BF02418827>
- Burton, W., Es, A. V., & Hartmans, K. (1992). The physics and physiology of storage. In P. Harris (Red.), *The potato crop The scientific basis for improvement*. Chapman & Hall.
- Bus, C., Loon, C. v., & Veerman, S. (1996). *Teelt van pootaardappelen*. Tech. rep., PAGV.
- Busse, J. S., Ozgen, S., & Palta, J. P. (2008). Influence of Root Zone Calcium on Subapical Necrosis in Potato Shoot Cultures: Localization of Injury at the Tissue and Cellular Levels. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(5), 653-662. Opgehaald van <http://journal.ashspublications.org/content/133/5/653.abstract>
- Caldiz, D. O. (2009, Nov). Physiological Age Research during the Second Half of the Twentieth Century. *Potato Research*, 52(4), 295-304. Opgehaald van <https://doi.org/10.1007/s11540-009-9143-4>

- Caldiz, D. O., Fernandez, L. V., & Struik, P. C. (2001). Physiological age index: a new, simple and reliable index to assess the physiological age of seed potato tubers based on haulm killing date and length of the incubation period. *Field Crops Research*, 69(1), 69-79. Opgehaald van <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842900001349>
- Carrera, E., Riot, G., Reust, W., Dutoit, J.-P., Torche, J.-M., & Dupuis, B. (2015). Physiologische Eigenschaften von Kartoffel sorten und Konsequenzen für die Produzenten. *AGRAR FORSCHUNG SCHWEIZ*, 6(4), 166-173.
- Davies, H. V. (1984). Mother tuber reserves as factors limiting potato sprout growth. *Potato Research*, 27(2), 209-218. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/BF02357468>
- De Weerd, J. W., Hiller, L. K., & Thornton, R. E. (1995, Sep). Electrolyte leakage of aging potato tubers and its relationship with sprouting capacity. *Potato Research*, 38(3), 257-270. Opgehaald van <https://doi.org/10.1007/BF02359908>
- Delaplace, P., Brostaux, Y., Fauconnier, M.-L., & Jardin, P. d. (2008). Potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber physiological age index is a valid reference frame in postharvest ageing studies. *Postharvest Biology and Technology*, 50(1), 103-106. Opgehaald van <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521408000963>
- Dyson, P. W., & Digby, J. (1975). Effects of calcium on sprout growth and sub-apical necrosis in Majestic potatoes. *Potato Research*, 18(2), 290-305. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/BF02361732>
- Dyson, P. W., & Digby, J. (1975). Effects of calcium on sprout growth of ten potato cultivars. *Potato Research*, 18(3), 363-377. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/BF02361898>
- Friesland, H. (2002). REVIEW OF THE SCIENTIFIC LITERATURE ON THE EFFECT OF CLIMATE AND WEATHER, ESPECIALLY DURING THE RIPENING PERIOD, ON THE QUALITY AND STORAGE CAPACITY OF GRAPES, SPRING BARLEY AND POTATOES.
- Haase, N. U. (2011). Prediction of potato processing quality by near infrared reflectance spectroscopy of ground raw tubers. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 19(1), 37-45.
- Hanse, L., & Delleman, J. (2016, December). Heeft klimaatverandering ook invloed op rasontwikkeling? *Aardappelwereld magazine*(12).
- Hatterman-Valenti, H. M. (2014). Simulated glyphosate drift to potato mother plants and effect on daughter tubers used for seed production. *Weed technology*, 28(1), 253-258.
- Hutchinson, P., Felix, J., & Boydston, R. (2014). Glyphosate carryover in seed potato: effects on mother crop and daughter tubers. *American journal of potato research*, 91(4), 394.
- Ittersum, M. V., & Scholte, K. (1992). Relation between growth conditions and dormancy of seed potatoes. 2. Effects of temperature. *Potato research*, 35(4), 365-375.
- Jeong, J.-C., Ok, H.-C., Hur, O.-S., & Kim, C.-G. (2008). Prediction of Sprouting Capacity Using Near-infrared Spectroscopy in Potato Tubers. *American Journal of Potato Research*, 85(5), 309-314. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/s12230-008-9010-x>
- Karafyllidis, D., Georgakis, D., Stauropoulos, N., & Louizakis, A. (1996). Effect of water stress during growing season on potato seed tubers dormancy period., (pp. 229-234).

- Khanbari, O. S., & Thompson, A. K. (1994). The effect of controlled atmosphere storage at 4°C on crisp colour and on sprout growth, rotting and weight loss of potato tubers. *Potato Research*, 37(3), 291-300. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/BF02360522>
- Kleinkopf, G. E., Oberg, N. A., & Olsen, N. L. (2003, Sep). Sprout inhibition in storage: Current status, new chemistries and natural compounds. *American Journal of Potato Research*, 80(5), 317. Opgehaald van <https://doi.org/10.1007/BF02854316>
- Knowles, N. R., & Botar, G. I. (1992). Effect of altering the physiological age of potato seed-tubers in the fall on subsequent production in a short-season environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 72(1), 275-287. Opgehaald van <https://doi.org/10.4141/cjps92-033>
- Lisinska, G., & Leszczynski, W. (1989). *Potato science and technology*. Elsevier Science Publishers.
- Meigh, D. F. (1969). Suppression of sprouting in stored potatoes by volatile organic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20(3), 159-164. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2740200308>
- Meigh, D. F., Edward, A. A., & Self, R. (1973). Growth-inhibitory volatile aromatic compounds produced by *Solanum tuberosum* tubers. *Phytochemistry*, 12(5), 987-993. Opgehaald van <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0031942273850046>
- Mulder, A., & Turkensteen, L. (2001). *Structurele en tijdelijke tekorten van micro-en macro-elementen bij de zetmeelaardappelteelt in Noordoost-Nederland*. Tech. rep., Plant Research International.
- Mulder, A., & Turkensteen, L. (2008). *Aardappel ziektenboek: ziekten, plagen en beschadigingen*. (A. Mulder, L. Turkensteen, & D. J. Red.) Aardappelwereld magazine.
- Neumann, G., Kohls, S., Landsberg, E., Souza, K. S.-O., Yamada, T., & Romheld, V. (2006). Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. *ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ-SONDERHEFT-*, 20, 963.
- Rady, A. M., & Guyer, D. E. (2012). Rapid evaluation of physiological status of potato tubers using visible/near-infrared spectroscopic methods. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, (p. 1).
- Rastovski, A., & Van Es, A. (1987). *Storage of potatoes*. Pudoc Wageningen.
- Reust, W., & Aerny, J. (1985, Jun). Determination of physiological age of potato tubers with using sucrose, citric and malic acid as indicators. *Potato Research*, 28(2), 251-261. Opgehaald van <https://doi.org/10.1007/BF02357448>
- Reust, W., Winiger, F. A., Hebeisen, T., & Dutoit, J. P. (2001, Mar). Assessment of the physiological vigour of new potato cultivars in Switzerland. *Potato Research*, 44(1), 11-17. Opgehaald van <https://doi.org/10.1007/BF02360282>
- Robinson, A. P. (sd). Glyphosate residues affect granddaughter seed potato growth in commercial potato fields.
- Robinson, A. P., & Hatterman-Valenti, H. M. (2013, March). *Effect of Glyphosate on Potatoes*. Tech. rep., North Dakota State University.

- Rykaczewska, K. (2013). Assessment of Potato Mother Tuber Vigour Using the Method of Accelerated Ageing. *Plant Production Science*, 16(2), 171-182.
- Saleh, I. R. (2009). *Investigating planting environment and seed physiological age interaction on potato crop growth*. Ph.D. dissertation, University of Tasmania.
- Struik, P. (2007). The canon of potato science: 40. Physiological age of seed tubers. *Potato Research*, 50(3-4), 375.
- Struik, P. C., & Wiersema, S. G. (1999). *Seed potato technology*. Wageningen Academic Pub.
- Struik, P., Putten, P. V., Caldiz, D., & Scholte, K. (2006). Response of stored potato seed tubers from contrasting cultivars to accumulated day-degrees. *Crop Science*, 46(3), 1156-1168.
- Tesfamariam, T., Bott, S., Cakmak, I., Römheld, V., & Neumann, G. (2009). Glyphosate in the rhizosphere—Role of waiting times and different glyphosate binding forms in soils for phytotoxicity to non-target plants. *European journal of agronomy*, 31(3), 126-132.
- Timm, H., Hughes, D. L., & Weaver, M. L. (1986). Effect of exposure time of ethylene on potato sprout development. *American Potato Journal*, 63(11), 655-664. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/BF02852928>
- Tzeng, K. C., Kelman, A., Simmons, K. E., & Kelling, K. A. (1986). Relationship of calcium nutrition to internal brown spot of potato tubers and sub-apical necrosis of sprouts. *American Potato Journal*, 63(2), 87-97. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/BF02853687>
- Tzeng, K.-C., McGuire, R. G., & Kelman, A. (1990, May). Resistance of tubers from different potato cultivars to soft rot caused by *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*. *American Potato Journal*, 67(5), 287. Opgehaald van <https://doi.org/10.1007/BF02987271>
- Van Ittersum, M. (1992). *Dormancy and growth vigour of seed potatoes*. Wageningen: Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Van Ittersum, M. (1992). Relation between growth conditions and dormancy of seed potatoes. 1. Effects of nitrogen. *Potato research*, 35(4), 355-364.
- Van Loon, C., Veerman, A., Bus, C., & Zwanepol, S. (1993). *Teelt van consumptie-aardappelen*. Tech. rep., PAGV [etc.].
- Veerman, A., Struik, P., Evenhuis, A., Bus, C., & Bos, D. (2005). *Haalbaarheidsstudie voor de voorspelling van kiemrust en groeikracht van aardappelpootgoed*. Tech. rep., Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV.
- Velema, R., Van de Griend, P., & Velvis, H. (2001). *Het effect van het calciumgehalte van pootgoed op de ziektegevoeligheid*. Tech. rep., Plant Research International.
- Velvis, H. (2001). *Calcium en borium in de zetmeelaardappelteelt: verslag van experimenten in 1999*. Tech. rep., Plant Research International.
- Velvis, H. (2001). *Calcium in aardappel*. Tech. rep., Plant Research International.
- Velvis, H., & Zwart, K. B. (2001). *(Micro) nutriënten en (a) biotische stress in de zetmeelaardappelteelt: eindrapport*. Tech. rep., Plant Research International.

- Vos, P. (2014, November). Positief resultaat ethyleenbewaring. *Positief resultaat ethyleenbewaring*. Opgehaald van <http://www.boerderij.nl/Akkerbouw/Nieuws/2014/11/Positief-resultaat-ethyleenbewaring-1635248W/>
- Wigginton, M. J. (1974, Jun). Effects of temperature, oxygen tension and relative humidity on the wound-healing process in the potato tuber. *Potato Research*, 17(2), 200-214. Opgehaald van <https://doi.org/10.1007/BF02360387>
- Wiltshire, J., & Cobb, A. (1996). A review of the physiology of potato tuber dormancy. *Annals of Applied Biology*, 129(3), 553-569. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1996.tb05776.x>
- Workman, M., & Twomey, J. (1970). The influence of storage on the physiology and productivity of Kennebec seed potatoes. *American Potato Journal*, 47(10), 372-378. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/BF02864745>
- Worthington, T. R. (1985, Mar). The effect of glyphosate on the viability of seed potato tubers. *Potato Research*, 28(1), 109-112. Opgehaald van <http://dx.doi.org/10.1007/BF02357575>
- Wurr, D., Fellows, J. R., Akehurst, J. M., Hambidge, A. J., & Lynn, J. R. (2001). The effect of cultural and environmental factors on potato seed tuber morphology and subsequent sprout and stem development. *The Journal of Agricultural Science*, 136(1), 55-63.
- Wustman, R., & Struik, P. (2007). The canon of potato science: 35. Seed and ware potato storage. *Potato Research*, 50(3-4), 351-355.
- Zimnoch-Guzowska, E., & Lojkowska, E. (1993). Resistance to *Erwinia* spp. in diploid potato with a high starch content. *Potato Research*, 36(3), 177-182.