



De klimaatbestendigheid van rassen en gewassen in de open teelten

Daan Verstand | William Bijker | Eva van der Burgt | Lubbert van den Brink | Ruud Timmer & Jos Groten



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

De klimaatbestendigheid van rassen en gewassen in de open teelten

Een verkenning naar de mogelijkheden om via teeltmaatregelen, rassenkeuze en de inzet van alternatieve gewassen een klimaatadaptieve landbouw vorm te geven

Daan Verstand
William Bijker
Eva van der Burgt
Lubbert van den Brink
Ruud Timmer
Jos Groten

Wageningen University & Research

Dit onderzoek is in opdracht van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit uitgevoerd door de Stichting Wageningen Research (WR), business unit Open Teelten in het kader van beleidsondersteunend onderzoeksthema Klimaatadaptieve land- en tuinbouwproductiesystemen (C2). BO-43-107-001.

WR is een onderdeel van Wageningen University & Research, samenwerkingsverband tussen Wageningen University en de Stichting Wageningen Research.

Wageningen, maart 2022

Rapport WPR-909

Verstand, D., Bijker, J.W., van der Burgt, E., van den Brink, L., Timmer, R., Groten, J., 2022. *De klimaatbestendigheid van rassen en gewassen in de open teelten*. Wageningen Research, Rapport WPR 909

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/558291>

Trefwoorden: Klimaatadaptatie, klimaattrends, alternatieve gewassen, rassen, teeltmanagement

© 2021 Wageningen. Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Open Teelten, Postbus 430, 8200 AK, Lelystad, www.wur.nl/plant-research.

KvK: 09098104 te Arnhem
VAT NL no. 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Rapport WPR-909

Foto omslag: Oane de Hoop (Oanevents)

Inhoud

Contents

Inhoud	3	
Samenvatting		5
1	Introductie	7
2	Effect van klimaattrends op gewassen	8
	2.1 Klimaattrendeffect op maïs	8
	2.1.1 Het wordt warmer	8
	2.1.2 Het wordt droger	9
	2.1.3 Het wordt natter	10
	2.1.4 De zeespiegel stijgt	11
3	Klimaatbestendigheid van verschillende rassen	13
	3.1 Introductie klimaatadaptatie en rassen	13
	3.2 Methodiek voor analyse	15
	3.3 Wintertarwe	16
	3.4 Zomertarwe	17
	3.4.1 Productie versus neerslagtekort	17
	3.4.2 Rasverschillen	18
	3.4.3 Discussie en conclusies	19
	3.5 Analyse van effect van droogte bij maïs	20
	3.5.1 Productie versus neerslagtekort	20
	3.5.2 Rasverschillen	21
	3.5.3 Discussie en conclusie	24
4	Teeltmaatregelen en alternatieve gewassen	25
	4.1 Adaptieve aardappelteelt	25
	4.1.1 Het wordt warmer	25
	4.1.2 Het wordt droger	26
	4.1.3 Het wordt natter	26
	4.1.4 De zeespiegel stijgt	26
	4.2 Alternatieve gewassen	27
	4.2.1 Zoete aardappel	27
	4.2.2 Sorghum	29
5	Discussie	31
6	Conclusie	33
7	Bibliografie	34

Samenvatting

Klimaatadaptatie in de landbouw kent meerdere vormen en mogelijkheden. In dit rapport is verkend in hoeverre klimaatadaptatie gerealiseerd kan worden door rassenkeuze, teeltmaatregelen en het telen van alternatieve gewassen. Dat is gedaan door experts te raadplegen, rassenproef-data te benutten van WUR Open Teelten en door praktijkkennis en ervaringen te verzamelen.

Om een goede analyse te kunnen maken, is eerst gekeken of de kwetsbaarheden van de huidige gewassen al voldoende in beeld zijn. Voor mais was dat nog niet zo, en dat is in dit onderzoek gedaan. Daaruit komt naar voren dat mais last kan gaan krijgen van nattere omstandigheden (zaai, oogst bemoeilijkt) terwijl hogere temperaturen de groei kunnen bevorderen, vooral in het voorjaar. Droogte heeft met name een effect op de gewasproductie en kwaliteit van de mais.

Voor de gewassen wintertarwe, zomertarwe en mais is een rassenanalyse gedaan op basis van de rassenproeven. Hieruit is de productie per ras vergeleken en is verkend in hoeverre er verschillen optreden bij neerslagtekorten. Voor wintertarwe is geen verband gevonden. Bij zomertarwe zijn wat verschillen in productie per ras onder droge omstandigheden te zien, maar is het verband niet heel sterk. Bij mais wel: hoe groter het neerslagtekort, hoe lager de productie. De gegevens van de rassenproeven in Overijssel tonen dat de productie met 1 ton per hectare daalt per 50mm extra neerslagtekort. Ook doen bepaalde rassen het relatief beter dan anderen onder droge omstandigheden.

Aanpassingen in de aardappelteelt kunnen helpen om het gewas hoogproductief en weerbaar te maken tegen klimaatverandering. Drempels tussen aardappelruggen kan water dat valt laten infiltreren, zodat het later beschikbaar is voor de plant. Hitte kan bestreden worden door te koelen met sprinkler installaties of het aanleggen van bredere ruggen, zodat de warmte langer wegblijft van de knollen.

De verkende opties bieden op korte (teeltmaatregelen in aardappelteelt, rassenkeuze mais) of langere termijn (nieuwe gewassen, ras-ontwikkeling) handvatten voor klimaatadaptatie in de open teelten. Deze moeten nog wel in meer detail uitgewerkt worden.

Dank aan Derk van Balen, Peter Kromann, Herman Schoorlemmer, Jan Kamp en Erik Reijnierse voor de review en hun inhoudelijke bijdragen aan dit onderzoek.

1 Introductie

Klimaatverandering gaat een flinke impact hebben op de gewassen in de open teelten (Bijker & Verstand, 2020; Verstand et al., 2020). Daarom is de noodzaak voor klimaatadaptatie groot. Er wordt in verschillende projecten gewerkt aan klimaatadaptatie in de open teelten. Dit rapport voor u vult daar op aan door de mogelijkheden voor klimaatadaptatie door middel van ras- en gewaskeuze te onderzoeken. Dat wordt gedaan aan de hand van de vier klimaattrends. De vier klimaattrends zijn 1) het wordt warmer, 2) het wordt droger, 3) het wordt natter en 4) de zeespiegel stijgt (Beersma, Klein Tank, Bessembinder, van den Hurk, & Lenderink, 2014). De verkenningen in dit rapport belichten een aantal verschillende en uiteenlopende gewassen. Het is daarmee niet geheel dekkend voor de open teelten, maar geeft zeker een goede indruk van de mogelijkheden om via ras- en gewaskeuze, en teeltaanpassingen, bestendiger te worden tegen de verwachte klimaatveranderingen. De hoofdgewassen die belicht worden in dit rapport zijn aardappel, granen en mais.

Omdat de kwetsbaarheden van het gewas mais nog niet voldoende in beeld gebracht zijn in andere trajecten, is dat in dit onderzoek gedaan. De kwetsbaarheden voor graan en aardappel zijn al wel beschreven in bijvoorbeeld Verstand, Bijker & Simonse (2021). Voor de mogelijkheid tot adaptatie is gekeken naar verschillende rassen van wintertarwe, zomertarwe en mais. Hiervoor is data, zoals opbrengst en weersomstandigheden, van de rassenproeven uitgevoerd door WUR Open Teelten, gebruikt. Specifiek is ingezoomd op het neerslagtekort en is verkend of verschillende rassen binnen een gewas daar relatief goed of minder goed onder presteren. Voor een belangrijk en hoog salderend gewas als aardappelen is in beeld gebracht wat mogelijkheden in de teelt zijn om aan te passen op de klimaattrends. Tot slot is voor een tweetal alternatieve gewassen uitgezocht hoe die zouden kunnen presteren onder de verwachte klimaatveranderingen. Wellicht kunnen de gewassen zoete aardappel en sorghum een klimaatbestendig alternatief zijn van huidige gewassen in de bouwplannen open teelten.

2 Effect van klimaattrends op gewassen

Klimaatverandering leidt tot verschillende klimaattrends: het wordt warmer, het wordt droger, het wordt natter en de zeespiegel stijgt, met als gevolg verzilting in de bodem. In dit hoofdstuk wordt het verwachte effect van deze trends op het gewas maïs in kaart gebracht.

2.1 Klimaattrendeffect op maïs

Maïs is het meest verbouwde gewas ter wereld. In Nederland wordt er op tweehonderdduizend hectare bijna negen miljard kilogram maïs per jaar geteeld (CBS, 2021). Hiervan is 98 procent snijmaïs dat bestemd is als veevoer, de rest is voor humane consumptie. De omvang van de teelt van maïs kan kwetsbaarheid voor klimaattrends in de hand werken. Om inzicht te krijgen in de klimaattrendeffecten op maïs zijn in dit hoofdstuk de verwachte effecten opgesteld aan de hand van een interview met J. Groten op 15 februari 2021 en het handboek *Snijmaïs van Wageningen Livestock Research en Wageningen UR Open Teelten* uit 2019.

2.1.1 Het wordt warmer

Een hogere temperatuur heeft verschillende effecten op de teelt en groei van maïs (Groten, 2021) (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019):

Bodemtemperatuur

Uit het Handboek snijmaïs (2019) komt naar voren dat het voor de zaai, en vervolgens kieming van de maïs van belang is dat de bodemtemperatuur minimaal 8-10°C is. Afhankelijk van de regio en grondsoort wordt deze in Nederland hedendaags tussen 20 april en 1 mei bereikt. Door een toename van de temperatuur in het voorjaar kan er in de toekomst mogelijk eerder in het jaar worden gezaaid (J. Groten, persoonlijke communicatie, 15 februari 2021). Hierdoor kan maïs meer licht onderscheppen waardoor de potentiële productie hoger komt te liggen (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019). De toename van de temperatuur zorgt in de winter voor het mogelijke risico op minder verwerking van de grond waardoor de bodem vervolgens makkelijker kan dichtslaan, met een verminderde de ontwatering en een tragere opwarming van de bodem als gevolg (J. Groten, persoonlijke communicatie, 15 februari 2021).

Kieming en bloei

Daarnaast draagt een hogere temperatuur bij aan een snellere kieming en vroegere bloei (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019). Volgens J. Groten (persoonlijke communicatie, 15 februari 2021) neemt door een snellere kieming het risico op vogelvraat af. Door een vroegere bloei is er een vergrote kans dat de kolf-plant verhouding toeneemt, waardoor het zetmeelgehalte en voederwaarde stijgen (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019).

Groei

Bij temperaturen onder de 15°C en boven de 40°C neemt de productie van maïs af (J. Groten, persoonlijke communicatie, 15 februari 2021). Mede doordat maïs een C4-gewas is, zal het bij hogere temperaturen (onder de 40°C) het licht nog wel efficiënt kunnen benutten. Dat in tegenstelling tot C3-gewassen zoals granen en gras waarbij lichtverzadiging optreedt (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019).

Versnelde afrijping

Volgens J. Groten (persoonlijke communicatie, 15 februari 2021) en het Handboek snijmaïs (2019) zullen de hoge temperaturen daarnaast mogelijk zorgen voor een versnelde afrijping waardoor er eerder in het seizoen kan worden gehakseld. Hierdoor neemt de kans dat er onder natte

omstandigheden moet worden geoogst in het najaar af en kan het vanggewas/groenbemester op een gunstig moment worden gezaaid. Dit kan een positief effect hebben op de bodemkwaliteit. Door vroegere zaai en hogere temperatuur zou er ook eventueel voor latere rassen gekozen kunnen worden. Hierdoor vervalt het effect van vroegere bloei en hogere voederwaarde, maar kan er door een langer groeiseizoen mogelijk wel een hogere opbrengst gerealiseerd worden.

Minder nachtvorstschade

Tegelijkertijd zal er mogelijk minder nachtvorstschade optreden waarbij blad afvriest of bij strenge vorst plantuitval plaats vindt (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019) (J. Groten, persoonlijke communicatie, 15 februari 2021).

Toename plagen

Hogere temperaturen kunnen ook nadelig zijn door plagen als de maisstengelboorder en maïswortelkever (J. Groten, persoonlijke communicatie, 15 februari 2021). Uit het Handboek snijmaïs (2019) blijkt dat de maisstengelboorder een groot negatief effect kan hebben op de gewasproductie door zich in te boren in de stengel en kolfstelen, waardoor het transport van assimilaten en voedingsstoffen wordt onderbroken. Ook is er grotere kans op geleverde (omgevallen) planten (J. Groten, persoonlijke communicatie, 16 juni 2021). Door de combinatie van een toename van warme en natte omstandigheden zullen mogelijk bladvlekkenziekten een groter risico vormen (J. Groten, persoonlijke communicatie, 15 februari 2021).

2.1.2 Het wordt droger

Naar verwachting neemt de kans op drogere zomers in de toekomst toe. Droogte zal met name een groter risico vormen in de zomer tijdens de groei, bloei en afrijping van de mais. Met name op zandgrond is de productie van mais sterk afhankelijk van de vochtvoorziening gedurende het seizoen (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019). Ook is de mate waarin mais gevoelig is voor droogte per ras afhankelijk (J. Groten, persoonlijke communicatie, 16 juni 2021). Hier wordt in hoofdstuk 3 op in gegaan.

Groei

In het Handboek snijmaïs (2019) wordt gesteld dat droogte bij mais zich kan manifesteren door het krullen van het blad of het verloren gaan het onderste blad. Bij een vochttekort sluit de plant de huidmondjes waardoor de opname van nutriënten en de gewasgroei afneemt. J. Groten (persoonlijke communicatie, 16 juni 2021) geeft aan dat bij vroege droogte (vóór de bloei) de mais stil kan gaan staan in ontwikkeling van blad en mogelijk mindere stengelstrekking. Hierdoor blijft zowel het blad als de stengel achter. Is er tijdens de bloei voldoende vocht beschikbaar, dan resulteert dit in een korte mais met een mooie kolf erop. Dat gaat veelal gepaard met wat minder opbrengst, maar wel met een hoger zetmeelgehalte en voederwaarde wat ten goede komt aan de kwaliteit.

Bloei

Tijdens de bloei kan droogte tot een slechte korrelzetting leiden en hiermee tot een laag kolfaandeel met een laag zetmeelgehalte (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019). J. Groten (persoonlijke communicatie, 16 juni 2021) geeft aan dat bij extreme droogte dit zelfs kan leiden tot vrijwel kolf-loze mais. Deze heeft veelal een zeer lage voederwaarde, door geen zetmeelvorming, dit wordt deels gecompenseerd door meer suikers in het blad en de stengel. Deze mais heeft over het algemeen een laag droog stofgehalte, wat een probleem kan zijn voor de inkuilbaarheid (minimaal droge stofgehalte van 28% noodzakelijk). Tevens kan dit veel persap verliezen uit de kuil veroorzaken.

Afrijping

Bij late droogte (september) zal de korrelvulling slechter zijn. Hierdoor ontstaat een lager zetmeelgehalte, voederwaarde en opbrengst en mogelijk latere oogst (J. Groten, persoonlijke communicatie, 16 juni 2021). Wanneer droogte samengaat met een hogere gewas temperatuur bevordert dit een versnelde veroudering van de celwanden, wat vervolgens ten koste gaat van de verteerbaarheid van de celwand (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019). Hierdoor neemt de voedingswaarde af, wat een lagere kwaliteit mais betekent (J. Groten, persoonlijke communicatie, 16 juni 2021).

Ziekten en plagen

Naast de directe effecten van droogte op de fysieke opbrengsten van mais, kunnen er ook problemen ontstaan door verschillende ziekten en plagen. Volgens J. Groten (persoonlijke communicatie, 16 juni 2021) geeft droogte in de zomer meer kans op builenbrand (*Ustilago maydis*). Sporen komen vanuit de grond. Bij droogte kunnen deze opwaaien en zich via buitenkant van de plant in de plant vestigen. Ook droogte afgewisseld met plensbuien kunnen sporen doen opspatten, waardoor een hogere builenbrand aantasting wordt waargenomen. Droge periodes kunnen ook voor meer problemen met Stengelrot (*Fusariumschimmels*) zorgen, hoewel de precieze effecten afhankelijk zijn van de resistentie van het ras en het rijpingsstadium van het gewas (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019) (J. Groten, persoonlijke communicatie, 15 februari 2021).

2.1.3 Het wordt natter

De toename van de hoeveelheid neerslag kan voor het maisgewas meerdere consequenties op verschillende momenten van de teelt hebben (Groten, 2021) (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019).

Neerslag in het voorjaar

De klimaatscenario's laten een toename zien van neerslag in het voorjaar. Volgens Werkgroep Handboek snijmaïs (2019) kunnen natte omstandigheden ervoor zorgen dat de grond niet tijdig bewerkt kan worden en dat de bodem traag opwarmt. Dit kan resulteren in een verlate zaai en een trage ontwikkeling van de mais waardoor het gewas veel licht onbenut laat. Met de verwachte toename van neerslag in het voorjaar kan tevens een schimmel als Maiskopbrand (*Sphacelotheca reiliana*) regioafhankelijk vaker voor aantasting zorgen (J. Groten, persoonlijke communicatie, 15 februari 2021). Bij een aantasting door deze schimmel neemt het zetmeelgehalte, stuifmeelproductie en droge stof opbrengst af (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019). J. Groten (persoonlijke communicatie, 16 juni 2021) stelt dat wanneer mais volgens de norm bemest wordt er bij veel neerslag in het voorjaar/voorzomer stikstof uit kan spoelen. Daardoor wordt waterkwaliteit negatief beïnvloed en kunnen er voor het gewas nutriënten tekorten optreden (bijvoorbeeld 2016 Vredepeel en Schoonloo). Dit heeft een negatief effect op gewasgroei van mais en resulteert in een verminderde bladproductie en opbrengst.

Neerslag na de zaai

J. Groten (persoonlijke communicatie, 15 februari 2021) geeft aan dat mais na de zaai, tot het bereiken van een gewaslengte tussen 100 – 150 cm, kwetsbaar kan zijn voor natte en koude omstandigheden. Deze natte omstandigheden kunnen er namelijk voor zorgen dat de bladproductie achterblijft waardoor de mais stil blijft staan en zo de opbrengsten afnemen.

Neerslag in de zomer

Naar verwachting neemt onder de klimaatscenario's de intensiteit van extreme regenbuien in de zomer toe. Mogelijk gaat dit gepaard met meer wind waardoor er legering wordt veroorzaakt (J. Groten, persoonlijke communicatie, 16 juni 2021). De verandering in de frequentie en intensiteit van wind en storm is echter onzeker. Mogelijk zullen het aantal stormdepressies op de gematigde breedten enkele procenten veranderen (Beersma, Klein Tank, Bessembinder, van den Hurk, & Lenderink, 2014). Ook eventueel meer voorkomende hagelbuien kunnen gewas geheel of gedeeltelijk terugzetten (J. Groten, persoonlijke communicatie, 16 juni 2021).

Neerslag in het najaar

Naar verwachting neemt de neerslag in alle klimaatscenario's ook in het najaar toe, waardoor er vaker onder natte omstandigheden moet worden geoogst. De mais zelf heeft echter minder last van een nat najaar (J. Groten, persoonlijke communicatie, 16 juni 2021).

De impact van natte omstandigheden door de toename van neerslag, met name in het voorjaar, zal onder andere afhankelijk zijn van de gesteldheid van de bodemstructuur, ontwatering en vochtvoorziening (Werkgroep Handboek snijmaïs, 2019). Daarbij speelt ook de grondsoort een rol; hoger gelegen zandgronden zijn minder gevoelig voor natheid dan lageregelegen zand en kleigronden (J. Groten, persoonlijke communicatie, 15 februari 2021).

2.1.4 De zeespiegel stijgt

Uit het literatuuronderzoek door Van Bakel, Blom-Zandstra, & Stuyt (2018) komt naar voren dat op dit moment zoutschade geen rol speelt omdat mais doorgaans wordt verbouwd in gebieden met een vrije afwatering waardoor overtollig water wordt afgevoerd en er geen verzilting optreedt. Mais is volgens het onderzoek van Maas, Hoffman, Chaba, Poss, & Shannon (1983) tijdens de kiemingsfase relatief zouttolerant. De zaailingen bleken echter minder zouttolerant te zijn, in de daarop volgende groeifases steeg de zouttolerantie weer.

J. Groten (persoonlijke communicatie, 15 februari 2021) stelt dat de effecten van extreme weersomstandigheden bij mais niet eenduidig zijn. Mais is een heterogeen product, blad, stengel, kolf. Het tijdstip in het jaar is bepalend voor de effecten van extreme weersomstandigheden op de gewasproductie. Het tijdstip bepaalt veelal of er meer of minder blad, plant of kolf gevormd wordt. Dit heeft een verschillende uitwerking op opbrengst en voederwaarde.

3 Klimaatbestendigheid van verschillende rassen

In deze analyse is gekeken naar de prestatie van verschillende soorten rassen binnen mais en graangewassen (winter- en zomertarwe) onder de klimaatrend het wordt droger. Voor deze gewassen worden door WUR Open Teelten jaarlijks rassenproeven uitgevoerd. Plantum heeft ons toestemming verleend om die gegevens te gebruiken (zonder naam en toenaam van de rassen) en om deze af te zetten tegen de neerslagtekorten per jaar.

3.1 Introductie klimaatadaptatie en rassen

Gebaseerd op expertkennis van Lubbert van der Brink, Jos Groten en Ruud Timmer.

De huidige klimaatverandering zal tot gevolg hebben dat er andere eisen aan rassen gesteld moeten worden. De belangrijkste effecten van klimaatverandering in Nederland zijn dat de zomers meer periodes zullen kennen van extreme droogte en hitte en daarnaast dat er ook extremere hoeveelheden regen zullen vallen. In dit hoofdstuk zal vooral ingegaan worden op de effecten van droogte, maar ook de extremere regenval zal gevolgen hebben voor de rassenkeuze. Zo zal er bijvoorbeeld bij granen en mais meer belang gehecht moeten worden aan stevigheid en bij mais ook aan beginontwikkeling. Daarnaast kunnen op percelen die ten gevolge van extreme buien tijdelijk erg nat blijven ziekten optreden die voorheen minder prominent waren. Een voorbeeld voor een ander gewas (suikerbiet) is het optreden van *Aphanomyces*, waardoor resistentie tegen *Aphanomyces* belangrijker wordt bij de rassenkeuze. Ook in het algemeen hebben extreme droogteperiodes en extreme regenval effect op het optreden van ziekten en plagen. Dit zal gevolgen hebben voor de rassenkeuze.

Effect van droogte

Het effect van droogte op een gewas hangt af van verschillende factoren, zoals het moment waarop de droogte optreedt, de lengte van de droogte periode en de gewasreactie na de droogte periode.

Moment waarop de droogte optreedt

Droogte die vroeg in het groeiseizoen optreedt zal een ander effect hebben dan droogte die laat in het seizoen optreedt. Zo zal een vroeg optredende droogte bij granen tot gevolg hebben dat de uitstoeeling en bladontwikkeling geremd wordt, terwijl een laat optredende droogte een versnelde afrijping tot gevolg zal hebben. Bij mais heeft droogte tijdens de bloei een zeer groot effect op de korrelzetting, terwijl een vroege droogte in de bladproductie- en strekkingsfase effect heeft op de bladrijkeid en plantlengte en daarmee op de opbrengst. Is er vervolgens tijdens de bloei wel voldoende vocht dan kan een relatief grote kolf gevormd worden en zal de kwaliteit van de mais zeer hoog zijn. Een late droogte heeft een snellere veroudering en verhouting van de celwanden tot gevolg en daarmee een negatief effect op de celwandverteerbaarheid.

Het effect van droogte hangt erg af van het fysiologische ontwikkelingsstadium waarin het gewas zich bevindt. Rassen bevinden zich op het moment waarop de droogte schade gaat veroorzaken niet precies in hetzelfde ontwikkelingsstadium en daarnaast kunnen ze afhankelijk van het ontwikkelingsstadium verschillen in droogtegevoeligheid. Hierdoor zullen in verschillende jaren met droogte niet altijd dezelfde rassen het meest droogtetolerant zijn.

Duur van de droogteperiode

Het effect van droogte hangt ook af van de duur van de droogteperiode. Er zijn rassen die zich tijdens een korte droogteperiode niet of nauwelijks fysiologisch aanpassen. Het waterverbruik wordt nauwelijks verminderd en de fotosynthese gaat min of meer gewoon door. Deze rassen zijn in deze situatie in het voordeel ten opzichte van rassen die wel fysiologisch reageren op droogte, bijvoorbeeld door de huidmondjes meer te sluiten. Als de droogteperiode aanhoudt, zullen de rassen die hun

waterverbruik niet aanpassen meer schade ondervinden, terwijl de rassen die hun waterverbruik verlagen dan relatief beter zullen presteren.

Gewasreactie na afloop van de droogteperiode

Rassen kunnen grote verschillen vertonen in reactie na afloop van een droogteperiode. Bij aardappelen treedt na een droogteperiode vaak doorwas op en er zijn duidelijke rasverschillen in gevoeligheid voor doorwas. In suikerbieten is de mate van hergroei van het blad belangrijk. Veel hergroei op het eind van het groeiseizoen geeft een daling van het suikergehalte. Suikerbietenrassen kunnen verschillen in de mate van hergroei na droogte.

Ras-eigenschappen in verband met droogtetolerantie

Ontwikkeling van het wortelstelsel

Naarmate het wortelstelsel beter ontwikkeld is, zal de wateropname groter zijn. Rassen kunnen verschillen in o.a. bewortelingsdiepte en bewortelingsintensiteit. Rassen met een beter ontwikkeld wortelstelsel zullen langer door kunnen gaan met wateropname en fotosynthese. Naarmate de plant meer investeert in het wortelstelsel zal dit echter ook ten koste kunnen gaan van het product wat geoogst moet worden. Bij voldoende vochtvoorziening zullen deze rassen in het nadeel zijn van rassen die minder in het wortelstelsel investeren.

Waterefficiëntie

Het is bekend dat er grote verschillen zijn tussen gewassen in waterefficiëntie, gedefinieerd als kilogram drogestof per liter water die verbruikt wordt. Ook tussen rassen van een bepaald gewas zijn er verschillen in waterefficiëntie. Tijdens droogteperiodes zijn er soms grote verschillen zichtbaar tussen rassen, bijvoorbeeld het al dan niet krullen van het blad bij mais en het al dan niet "slapen" (slap hangen) van het blad bij bieten. Dit zijn reacties waarbij het waterverbruik gereguleerd wordt. Ook zijn er rasverschillen in de mate waarin huidmondjes gesloten worden tijdens droogte. Deze reacties op droogte zullen ook gevolgen hebben voor de mate waarin de CO₂-uitwisseling en de fotosynthese afneemt. Rassen kunnen hierin verschillen vertonen. Ook zijn er mogelijk rasverschillen in drogestof-verdeling binnen de plant als het waterverbruik gereduceerd wordt.

Beoordelen van rassen op droogtegevoeligheid

De kweekbedrijven die nieuwe rassen ontwikkelen zijn tegenwoordig bedrijven die niet alleen voor de Nederlandse markt veredelen. Zij testen hun materiaal vaak ook in de ons omringende landen. Op basis van beproeving onder meer continentale klimaatomstandigheden (met name Duitsland en Oost-Europa) of onder meer subtropische omstandigheden (Zuid-Frankrijk, Italië en Spanje) weten zij meestal wel in welke rassen en kruisingsouders droogteresistentie verwacht kan worden. Naarmate er in Nederland meer sprake is van droogte zullen zij ook meer rassen aan kunnen bieden die een bepaalde mate van droogtetolerantie hebben.

Om de droogtetolerantie van rassen vast te stellen zouden specifieke proeven uitgevoerd kunnen worden. Bij voorkeur moeten hierbij de teeltomstandigheden aansluiten op die van de praktijk. Veldproeven zijn mogelijk, maar dit kan alleen op droogtegevoelige percelen die homogeen zijn en blijven tijdens droogte. Uit kasproeven of uit proeven met behulp van tunnels die de proef afschermen tegen natuurlijke regenval, kunnen wel indicaties gehaald worden, maar de teeltomstandigheden zullen dermate afwijken van de praktijk dat hieruit geen directe adviezen voor de rassenkeuze verkregen kunnen worden.

Uit de meerjarige resultaten van het rassenonderzoek dat bij granen en maïs uitgevoerd is, is er in deze analyse (verderop gepresenteerd) gekeken of er rassen zijn die het in droge jaren of op droge proefvelden relatief beter doen. Dit zou een indicatie op kunnen leveren voor de grootte van de rasverschillen. Echter het vinden van relaties tussen droogte en rasvolgordes in opbrengst wordt verstoord door andere factoren die ook invloed hebben gehad op de proefvelden, zoals straling, temperatuur, beschikbare bodemvoorraad aan water, perceelsomstandigheden en anderen. Daarnaast zijn er grote verschillen tussen de jaren in het moment waarop de droogte optreedt en de duur van de droogteperiode. Om een eerste indruk te krijgen van de rasverschillen in droogtegevoeligheid is een analyse uitgevoerd van de resultaten van de rassenproeven van de laatste 10-15 jaar.

3.2 Methodiek voor analyse

De opbrengsten van de Cultuur en Gebruikswaarde-Onderzoek (CGO)-rassenproeven zomertarwe, wintertarwe en mais zijn gebruikt om een analyse uit te voeren op een eventuele relatie tussen weersgegevens en het opbrengstniveau. Doel was om na te gaan of droogte in bepaalde jaren de opbrengst heeft beïnvloed en of er rassen zijn te identificeren die relatief beter presteren dan andere rassen in seizoenen met een (groot) neerslagtekort. Door klimaatverandering neemt de kans op droogte toe, waardoor het interessant is om te verkennen in hoeverre de gewasproductie hier en in welke mate onder te lijden heeft, en daarmee of er een noodzaak is om de teelt of de teeltmethoden aan te passen (klimaatadaptatie).

Wintertarwe

Voor wintertarwe zijn de opbrengstgegevens van de locaties Centrale Zeeklei, Rilland en Westmaas gebruikt voor de analyse.

Zomertarwe

Voor zomertarwe zijn de gegevens van de locaties Valthermond (zand/dalgrond) en Lelystad (klei) gebruikt over de periode 2011-2020 en van 4 rassen die in deze periode bijna alle jaren in de proeven hebben gelegen. Voor de analyse zijn de gemiddelde opbrengsten gebruikt van de proeven "met ziektebestrijding". Dat wil zeggen dat deze proeven 1-2x met een fungicide zijn bespoten waardoor de ziekteaanstasting beperkt is gebleven en ziekteaanstasting geen belangrijk effect op de opbrengst (en opbrengstverschillen) heeft gehad. Ook zijn deze proeven 1-2x behandeld met een groeiregulator waardoor legering is tegengegaan en legering niet van invloed is geweest op de opbrengst.

Mais

Voor mais zijn in dit onderzoek de korrelopbrengsten van rassenproeven gebruikt, die uitgevoerd zijn in de jaren 2010 tot en met 2020. Elk jaar werd er een proef met gemiddeld 40 rassen aangelegd. Sommige rassen zijn bijna elk jaar in onderzoek geweest. Andere rassen slechts 1 jaar. In totaal zijn er in die 10 jaar rond de 200 rassen bekeken. Voor dit onderzoek is met name gekeken naar de rassen, die vrijwel alle jaren in onderzoek lagen. De rassen werden in duplo ingeloot volgens ALPHA-design, met sub-blokken. De proef werd uitgevoerd op 4 locaties (regio's), waarbij op elke locatie een ander design werd gebruikt.

De regio's zijn Overijssel, Achterhoek, Noord-Limburg (Zuid-Oost) en West Noord-Brabant. De mais op de proeven werd qua grondbewerking, bemesting, gewasbescherming en watervoorziening behandeld als in de praktijk. Dat wil zeggen, zoals de teler deze voor zich zelf ook zou telen, waarbij de wettelijke toegestane hoeveelheden bemesting werden aangewend. Er zijn dus geen specifieke maatregelen uitgevoerd, die de resultaten beïnvloed hebben. Om een juiste ras vergelijking te krijgen zijn de gebruikte percelen over het algemeen wel de betere percelen in de regio. Op andere percelen in de regio zouden daardoor grotere effecten verwacht mogen worden.

Van de 4 locaties zijn er 2 vrij specifiek. Deze zijn dan ook voor de verdere analyse gebruikt. Voor de regio Noord-Limburg (Zuid-Oost) is het vrij gebruikelijk zodra het droog wordt regelmatig te beregenen. Daarnaast liggen de percelen in een beperkt gebied rond Vredepeel. Doordat er regelmatig beregend wordt zullen effecten van droogte in deze regio aanwezig zijn, maar nivelleren. De andere regio is Overijssel. Hier heeft de proef de laatste 6 jaar op hetzelfde perceel gelegen, in Luttenberg. Het is een zeer goed vochthoudend perceel, maar in extreem droge jaren vertoont ook hier de mais extreme droogte verschijnselen. Op dit perceel kan door capillaire opstijging de mais zich elke nacht weer gedeeltelijk herstellen, waardoor de mais zelfs bij extreme droogte niet afsterft. Ook is het qua grondslag een zeer homogeen perceel, wat betekent dat alle rassen vrijwel dezelfde omstandigheden hebben. Al met al een zeer goed perceel om effect van droogte op korrelmais te kunnen beoordelen.

Analyse droogte en opbrengst

De opbrengstniveaus van de verschillende rassen in deze studie zijn afgezet tegen het potentiële neerslagtekort. In deze studie wordt het neerslagtekort toegelicht en berekend op basis van de definities uit het rapport "Droogte in 2018: een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort" (Sluijter, Plieger, van Oldenborgh, Beersma, & de Vries, 2018).

Sluijter e.a. (2018) geeft aan dat de dagelijkse hoeveelheid neerslag afkomstig is van neerslagstations. Deze neerslagstations meten de neerslag doormiddel van een handregenmeter. De potentiële referentiegewasverdamping is een rekenmethode om verdamping vast te kunnen stellen op basis van zonnestraling en temperatuur. De verdamping wordt in Nederland niet gemeten omdat deze metingen complex zijn doordat planten zelf ook een rol spelen. Daarom wordt er gebruik gemaakt van de potentiële referentiegewasverdamping. De potentiële referentiegewasverdamping is een rekenmethode welke aangeeft hoeveel water er verdampt uit een kortgeknipt grasveld met een optimale voorziening van vocht en voedingsstoffen. Hierin spelen grootheden zonnestraling en temperatuur een belangrijke rol. De werkelijke verdamping kan sterk variëren door bodemsoort, grondwaterstand, water toe- en afvoer en het vegetatietype.

In Sluijter e.a. (Sluijter et al., 2018) wordt gerapporteerd dat het neerslagtekort berekend wordt door de dagelijkse hoeveelheid neerslag af te trekken van de dagelijkse berekende potentiële gewasverdamping. Door deze waarde vervolgens te sommeren over het seizoen wordt het potentiële neerslagtekort berekend. Wanneer bij de berekening van het doorlopende neerslagtekort op 0 uitkomt dan stopt de berekening waardoor het potentiële neerslagtekort niet negatief wordt. Het potentiële neerslagtekort wordt door het KNMI berekend over de periode 1 april - 30 september. In dit onderzoek wordt er naar een minder lange periode gekeken omdat het gewas niet over de hele periode kwetsbaar is of omdat het reeds geoogst is. Voor winter- en zomertarwe is deze berekend voor een periode van 1 april – 30 juli en voor mais van 1 april – 30 september. De data voor de berekeningen zijn afkomstig van de volgende automatische weers- en neerslagstations van het KNMI (KNMI, 2021): Eelde (locatie Valthermond), Lelystad (locatie Lelystad), Heino (locatie Overijssel) en Volkel (locatie Zuidoost Brabant). De berekeningen voor het neerslagtekort zijn in deze studie voor individuele stations gedaan in plaats van het gemiddelde te nemen van alle weerstations. Volgens Sluijter e.a. (Sluijter et al., 2018) moet het neerslagtekort worden gezien als een index om droogte te meten en niet als een absolute hoeveelheid water in millimeters die in deze periode tekort zou zijn. Ook in dit onderzoek wordt het neerslagtekort gebruikt als een droogtemaat.

3.3 Wintertarwe

In de jaren 2017, 2018, 2019 en 2020 waren de volgende effecten van droogte merkbaar in de verschillende gebieden van het rassenonderzoek van wintertarwe.

- In 2017 is de proef met ziektebestrijding in Rilland afgefallen vanwege droogte (binnen de proef waren er pleksgewijze verschillen in beschikbaarheid van bodemvocht waardoor de variatie in de proef te groot werd om rasverschillen te kunnen meten). De proef zonder ziektebestrijding rijpte wel sneller af door de droogte.
- In 2018 en 2019 zijn de proefvelden op de Zuidwestelijke en Centrale kleigrond vanwege droogte sneller afgerijpt dan in andere jaren en daardoor ook vroeger geoogst (tweede helft van juli). In 2018 leidde dit op de Zuidwestelijk kleigrond, zowel in Westmaas als in Rilland, tot relatief lage opbrengsten; in 2019 was dit alleen het geval in Rilland.
- In 2020 ondervonden de proeven in Zuidwest-Nederland een lichtere vorm van droogtestress dan in 2019: het gewas bleef relatief bladarm en de afrijping werd wel iets versneld door droogte, maar minder dan in 2019 (oogst vond plaats begin augustus). Alleen in Rilland bleef de opbrengst achter, maar in mindere mate dan in 2020.

De analyse heeft zich gericht op Zuidwest-Nederland, omdat daar in de afgelopen jaren meer droogteschade optrad dan in op de Centrale Zeeklei en Noordelijke Zeeklei. Over de periode 1995 t/m 2020 zijn de relatieve opbrengsten van rassen die minimaal met 3 onderzoeksjaren in de dataset zaten, geanalyseerd. De resultaten zijn uitgesplitst naar de twee locaties Westmaas en Rilland/Colijnsplaat. Er waren in Westmaas twee rassen waarbij er een lichte tendens zichtbaar was dat de opbrengsten in 2017 t/m 2020 tegenvielen (ca. 3 – 5%). In Rilland was dit alleen te zien bij één van deze rassen. Hierbij moet echter wel het volgende opgemerkt worden:

- De relatieve opbrengsten van rassen fluctueren altijd over jaren en over locaties, waarbij allerlei factoren een rol spelen: verschillen in standdichtheid (effect van zaaizaad, opkomst),

het al dan niet optreden van legering, het optreden van ziekten, groeiomstandigheden die per ras een andere uitwerking kunnen hebben. Deze factoren veroorzaken dat het moeilijk is om zuivere effecten van droogte te vinden.

- Voor één van de twee rassen waarbij een opbrengsteffect zichtbaar was, was 2018 het laatste jaar dat het ras werd onderzocht. Het ras werd in de laatste onderzoeksjaren gevoeliger voor ziekten, m.n. gele roest. Ook bij andere rassen is vaker gezien dat de opbrengst in de laatste onderzoeksjaren tegenvalt, ook op proefvelden met ziektebestrijding.

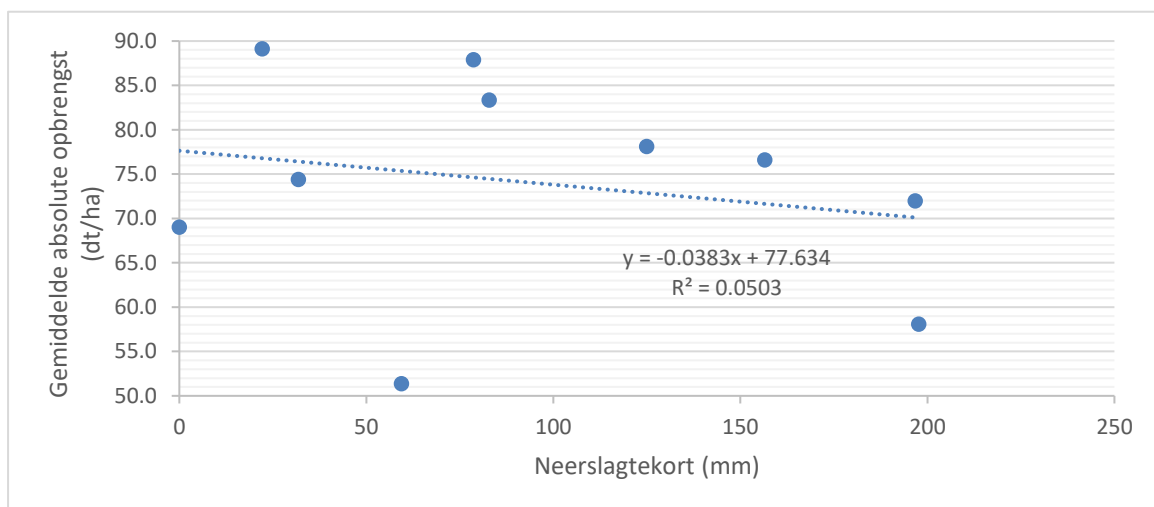
Er kan geconcludeerd worden dat de maximaal zichtbare effecten van droogte op opbrengst vrij gering (ca. 3-5% bij 1 à 2 rassen) is, waarbij ook nog rekening gehouden moet worden met ruis die veroorzaakt wordt door andere factoren. Vanwege dit kleine, onzekere opbrengsteffect is besloten na deze analyse niet verder in details te gaan bij wintertarwe om te zoeken naar een verband tussen de mate van droogte en de rasvolgorde in de verschillende jaren.

3.4 Zomertarwe

Voor zomertarwe was de eerste analyse veelbelovend, en is verder gekeken naar 1) de absolute productie van zomertarwe over de jaren op zand en kleigrond (zie 3.4.1), en 2) de verschillen in opbrengsten tussen rassen (zie 3.4.2).

3.4.1 Productie versus neerslagtekort

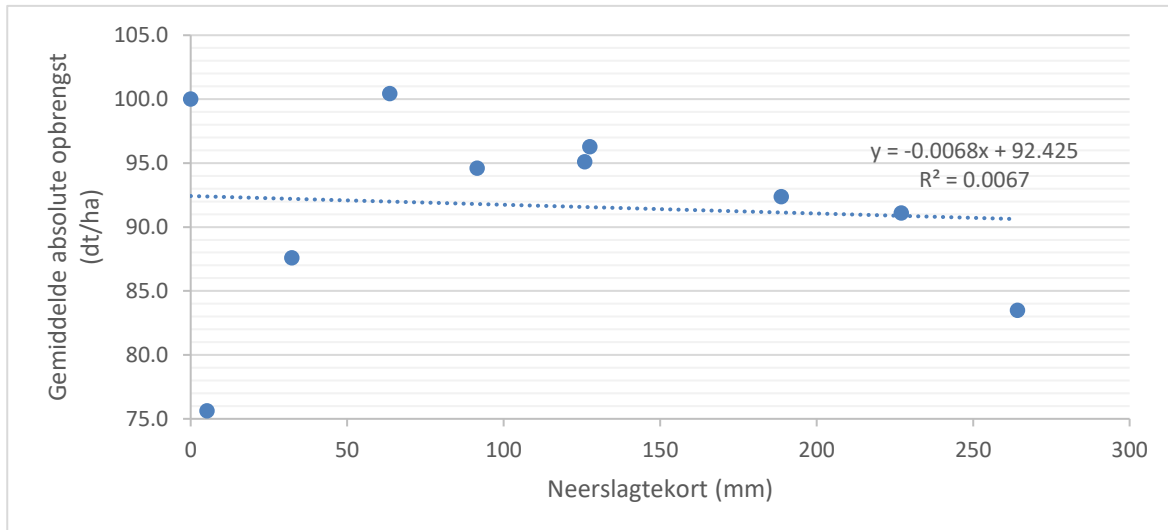
De absolute en relatieve opbrengsten van de rassen zijn uitgezet tegen het neerslagtekort in de verschillende jaren. Het neerslagtekort is berekend over het gehele groeiseizoen (april t/m juli). In de figuren 1 en 2 is de gemiddelde opbrengst van twee zomertarwerassen (die in alle 10 de jaren in de dataset voorkwamen) per jaar weergegeven ten opzichte van het neerslagtekort van dat jaar.



Figuur 1. Verband tussen de gemiddelde absolute opbrengst van 2 zomertarwerassen en het neerslagtekort in een bepaald jaar; elk punt geeft een jaar weer uit de periode 2011-2020 (Proeflocatie Valthermond, weerstation Eelde).

Het verband tussen opbrengstniveau en neerslagtekort bleek op de zanddalgrond erg zwak (figuur 1; R^2 van 0.05). Mogelijk dat andere groeifactoren (zoals temperatuur en straling) hierbij een rol hebben gespeeld. Productie wordt in belangrijke mate bepaald door neerslag, maar ook door temperatuur en straling en de interactie tussen deze groeifactoren.

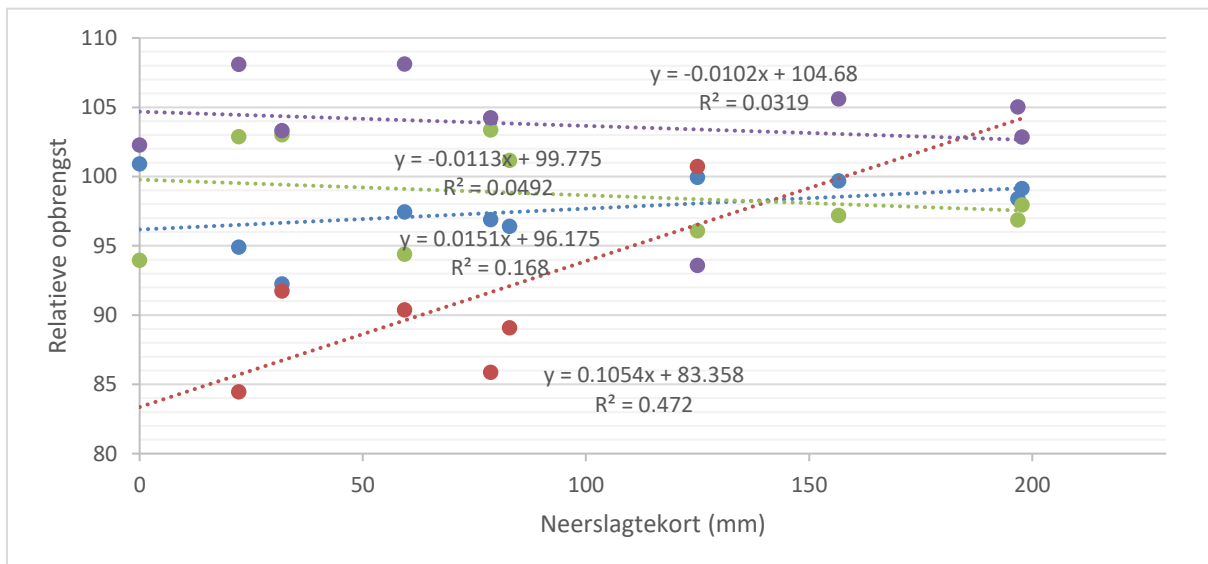
Ook op de kleigrond in Lelystad bleek er bij de vergelijkbare dataset (productie en jaren) geen verband te bestaan (lijn loopt horizontaal) tussen het gemiddelde opbrengstniveau en het neerslagtekort in de periode april t/m juli (figuur 2).



Figuur 2. Verband tussen de gemiddelde absolute opbrengst van 2 zomertarwerassen en het neerslagtekort in een bepaald jaar; elk punt geeft een jaar weer uit de periode 2011-2020 (Proeflocatie Lelystad, weerstation Lelystad).

3.4.2 Rasverschillen

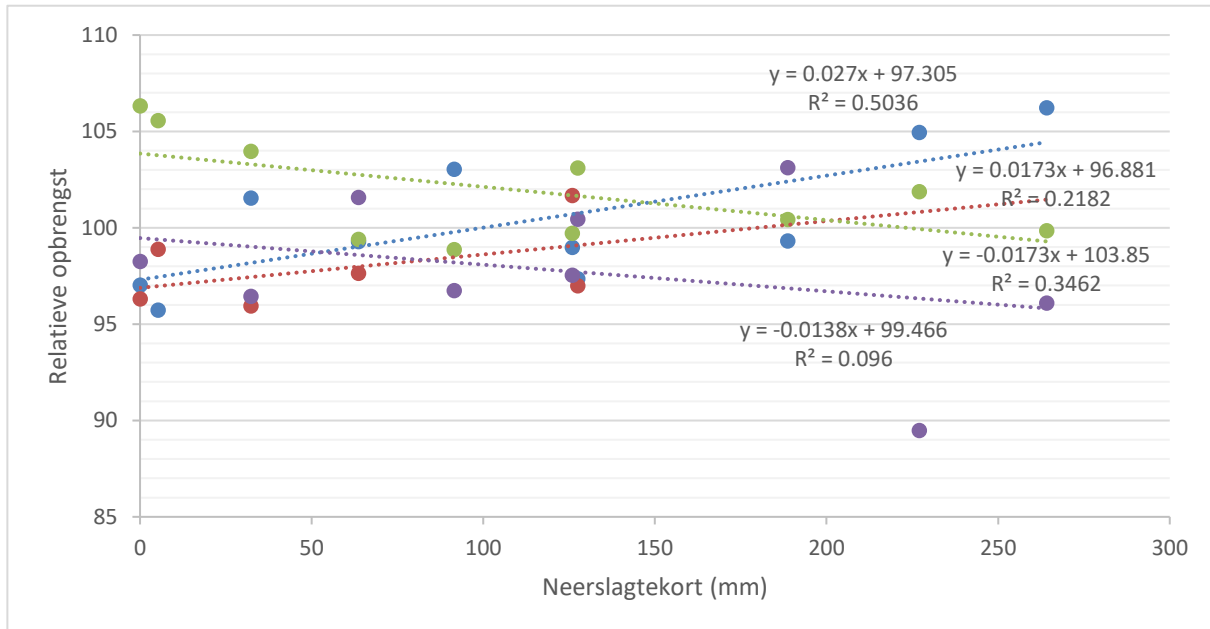
In Figuur 3 en Figuur 4 is de relatieve opbrengst van vier zomertarwerassen per jaar weergegeven ten opzichte van het neerslagtekort in de periode april t/m juli van dat jaar. Deze vier rassen kwamen echter niet allemaal in alle jaren voor in de dataset. Hierbij is 100% de gemiddelde score over alle vier de rassen. Boven de 100 betekent dat het ras relatief beter presteert, onder de 100 juist slechter.



Figuur 3. Verband tussen de relatieve opbrengst van 4 zomertarwerassen en het neerslagtekort in een bepaald jaar; elk punt geeft een jaar weer uit de periode 2011-2020 (Proeflocatie Valthermond, weerstation Eelde).

Bij 3 van de 4 rassen op de locatie Valthermond (zanddalgrond) loopt de lijn horizontaal wat betekent dat deze rassen relatief niet beter of slechter presteren bij een toenemend neerslagtekort (Figuur 3). Er was echter één ras waarbij de lijn steiler verliep richting rechtsboven, wat betekent dat dit ras relatief beter presteerde bij een toenemend neerslagtekort (rode bolletjes in de figuur en rode stippel(regressie)lijn). Het verband tussen de relatieve opbrengst en het neerslagtekort was bij dit ras echter ook niet sterk ($R^2 = 0.47$). En ook het verloop van de lijn bij dit ras werd in hoge mate bepaald door één punt. Dit maakt de gevonden relatie niet betrouwbaar.

Op de kleigrond in Lelystad loopt bij 2 van de 4 rassen (paars en groen in de grafiek) de lijn iets omlaag wat betekent dat deze rassen relatief zwakker lijken te presteren bij een toenemend neerslagtekort (Figuur 4). Het verband was echter zwak ($R^2= 0.10$ resp. 0.35). Er zijn echter twee rassen waarbij de lijn juist steiler verloopt wat betekent dat deze rassen relatief beter presteren bij een toenemend neerslagtekort (rode bolletjes en blauwe bolletjes in de grafiek). Het verband tussen de relatieve opbrengst en het neerslagtekort was bij het ene ras (rode bolletjes) echter niet sterk ($R^2= 0.22$) maar bij het andere ras (blauwe bolletjes) was de correlatie redelijk sterk ($R^2= 0.50$). Het lijkt erop dat dit laatste ras relatief beter presteert bij droogte dan de andere rassen.



Figuur 4. Verband tussen de relatieve opbrengst van 4 zomertarwerassen en het neerslagtekort in een bepaald jaar; elk punt geeft een jaar weer uit de periode 2011-2020 (Proeflocatie Lelystad, weerstation Lelystad).

3.4.3 Discussie en conclusies

Zowel op zanddalgrond als op kleigrond werd geen verband aangetoond tussen de absolute opbrengst van enkele zomertarwerassen en het neerslagtekort in het betreffende jaar. Opbrengstverschillen worden ook niet uitsluitend bepaald door de hoeveelheid neerslag (neerslagtekort) maar ook door temperatuur en straling. Bekend is dat bij granen de hoogste producties worden gehaald in jaren (seizoenen) met veel instraling, gematigde temperaturen ($15-20^{\circ}\text{C}$) en voldoende neerslag (Darwinkel & Zwanepol, 1997).

Op beide grondsoorten werd ook geen ras gevonden dat duidelijk beter of zwakker presteerde dan andere rassen onder droge omstandigheden. Wel werden er verschillen tussen de rassen vastgesteld in de relatie tussen relatieve opbrengst en het neerslagtekort maar de verbanden waren over het algemeen zwak. Slechts bij één ras werd op kleigrond een licht positief verband vastgesteld ($R^2=0.50$). Dit ras liet op zandgrond echter geen verband zien en dit geeft aan dat ook voor dit ras het verband tussen (relatieve) opbrengst en het neerslagtekort niet duidelijk is.

Op basis van de gebruikte dataset kon geen ras worden geselecteerd dat duidelijk beter of slechter presteerde onder (toenemende) droogte.

De dataset waarop de analyse werd uitgevoerd was echter beperkt (4 rassen en 10 jaar, waarbij niet alle rassen in alle jaren voorkwamen) en mogelijk te beperkt om dit soort verbanden naar boven te halen.

Om een duidelijker antwoord te kunnen geven op de vraag of er zomertarwerassen zijn die beter presteren onder droge omstandigheden (droogte-resistent zijn) dient er gericht onderzoek hiernaar te worden uitgevoerd. Hiertoe zouden rassenproeven kunnen worden uitgevoerd op een

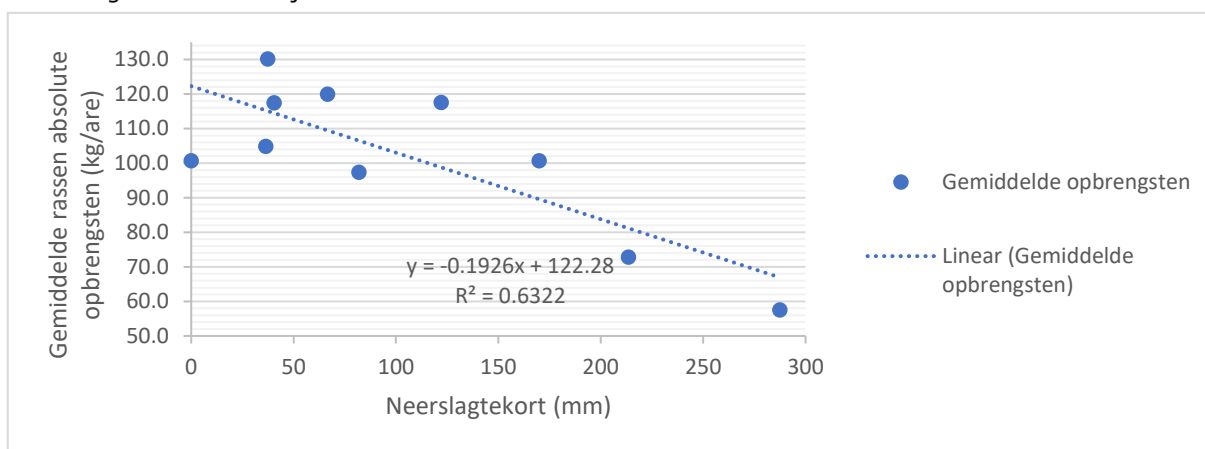
droogtegevoelige grond waarbij de mogelijkheid aanwezig is om delen van de proef wel/niet te beregenen. Bij deze opzet blijven de andere groeifactoren en teeltomstandigheden gelijk en kunnen de rassen uitsluitend op basis van de beschikbare hoeveelheid vocht worden beoordeeld.

3.5 Analyse van effect van droogte bij mais

Voor mais is de analyse gedaan op basis van proeven in Overijssel en in het Zuidoosten van het land. Hieronder zijn de resultaten per locatie gepresenteerd.

3.5.1 Productie versus neerslagtekort

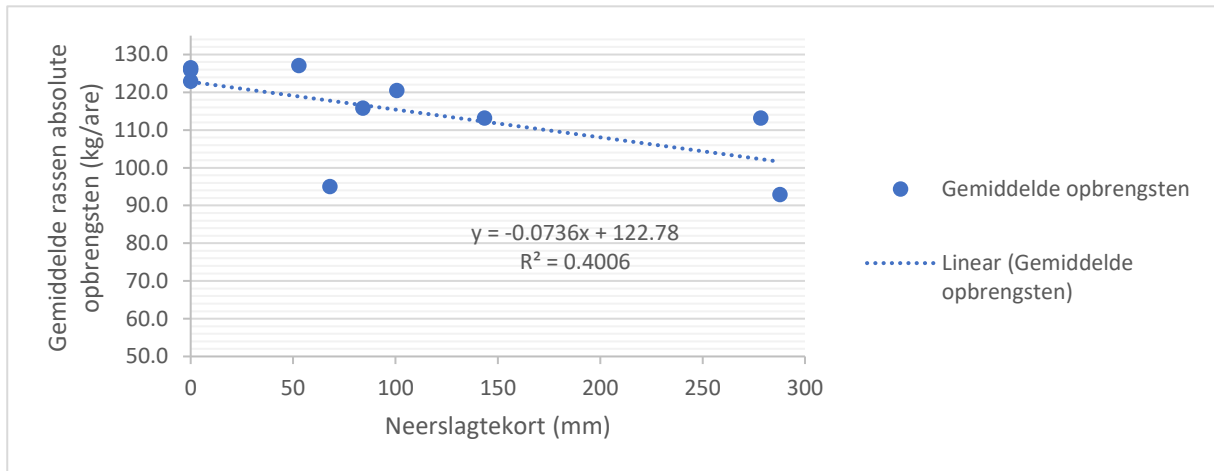
De absolute en relatieve opbrengsten van de rassen zijn uitgezet tegen het neerslagtekort in de verschillende jaren. Het neerslagtekort is berekend over het gehele groeiseizoen (april t/m sept). In Figuur 5 en Figuur 6 is de gemiddelde opbrengst van 2 mais rassen (ras1098 en ras1371, die in alle 10 de jaren in de dataset voor kwamen) per jaar weergegeven ten opzichte van het neerslagtekort van dat jaar.



Figuur 5. Verband tussen de gemiddelde opbrengst van 2 korrelmais rassen in relatie tot het neerslagtekort per jaar over de jaren 2010 tot en met 2020 in Overijssel.

In Figuur 5 is het neerslagtekort per jaar uitgezet tegen de daarmee corresponderende gemiddelde korrelopbrengsten (kg/are) voor de proeven in de regio Overijssel. Er blijkt een duidelijk negatief verband te bestaan tussen het neerslagtekort en de korrelopbrengst. Met een R^2 van 0.63 is de correlatie tussen beide parameters $r = 0.79$. Bij korrelmais is het effect enorm. Zonder neerslagtekort zou de opbrengst volgens de vergelijking ($y = -0.1926x + 122.28$) op 122 kg per are uit komen oftewel 12.2 ton per ha. Bij een neerslagtekort in 2018 van 285mm is de opbrengst bijna gehalveerd tot 67 kg per are (55%). De vraag is wel of er een rechtlijnig verband is of wellicht een exponentieel verband. Bij sterke droogte zal de opbrengst nooit negatief worden, maar waarschijnlijk zelfs niet geheel naar 0 gaan. Anderzijds zal bij geringe droogte het effect per 10 mm neerslagtekort wellicht geringer zijn dan bij extreme droogte. Voor de conclusie zal het niet veel uit maken. Op het traject van 0 tot 300 mm neerslagtekort zakt de opbrengst per 50 mm tekort met ongeveer 1 ton per ha. Het extreme effect op de korrelopbrengst lijkt vrij logisch. Droogte kan bij mais op drie tijdstippen effect hebben op de korrelopbrengst. Ten eerste zal een vroege droogte (mei/juni), vóór de bloei, een effect hebben op de grootte van de bladeren, maar ook op de stengelstrekking. Bij droogte in deze fase kunnen planten korter blijven door kortere internodiën. Hierdoor zitten de bladeren meer op elkaar en kan er in totaal mogelijk minder licht onderschept worden. Minder licht betekent minder koolhydraat productie en daardoor kleinere korrels. Ten tweede zal een droogte tijdens de bloei (veelal juli) leiden tot een slechte bevruchting en korrelzetting. Gevolg minder korrels per kolf. Ten derde zorgt droogte na de bloei (augustus, september) er voor dat de korrels minder gevuld zullen zijn, maar het effect hiervan is wel afhankelijk van lengte van de droogte periode. Grootste effect kan verwacht worden van de droogte tijdens de bloei, gevolgd door de droogte na de bloei en tot slot door de droogte vóór de bloei.

Het effect van droogte (neerslagtekort) is niet altijd alleen een effect van te weinig water. Bij extreme droogte verliest de plant vocht. Hierdoor kan de plant zichzelf niet goed meer koelen. Bij droogte in combinatie met hoge temperaturen en felle zon, zien we hierdoor ook hittestress en verbranding van meestal de bovenste bladeren optreden. Deze bladeren dragen het meest bij aan de productie, waardoor het effect van droogte onder deze omstandigheden vergroot wordt. In extreme situatie sterft de gehele plant af.

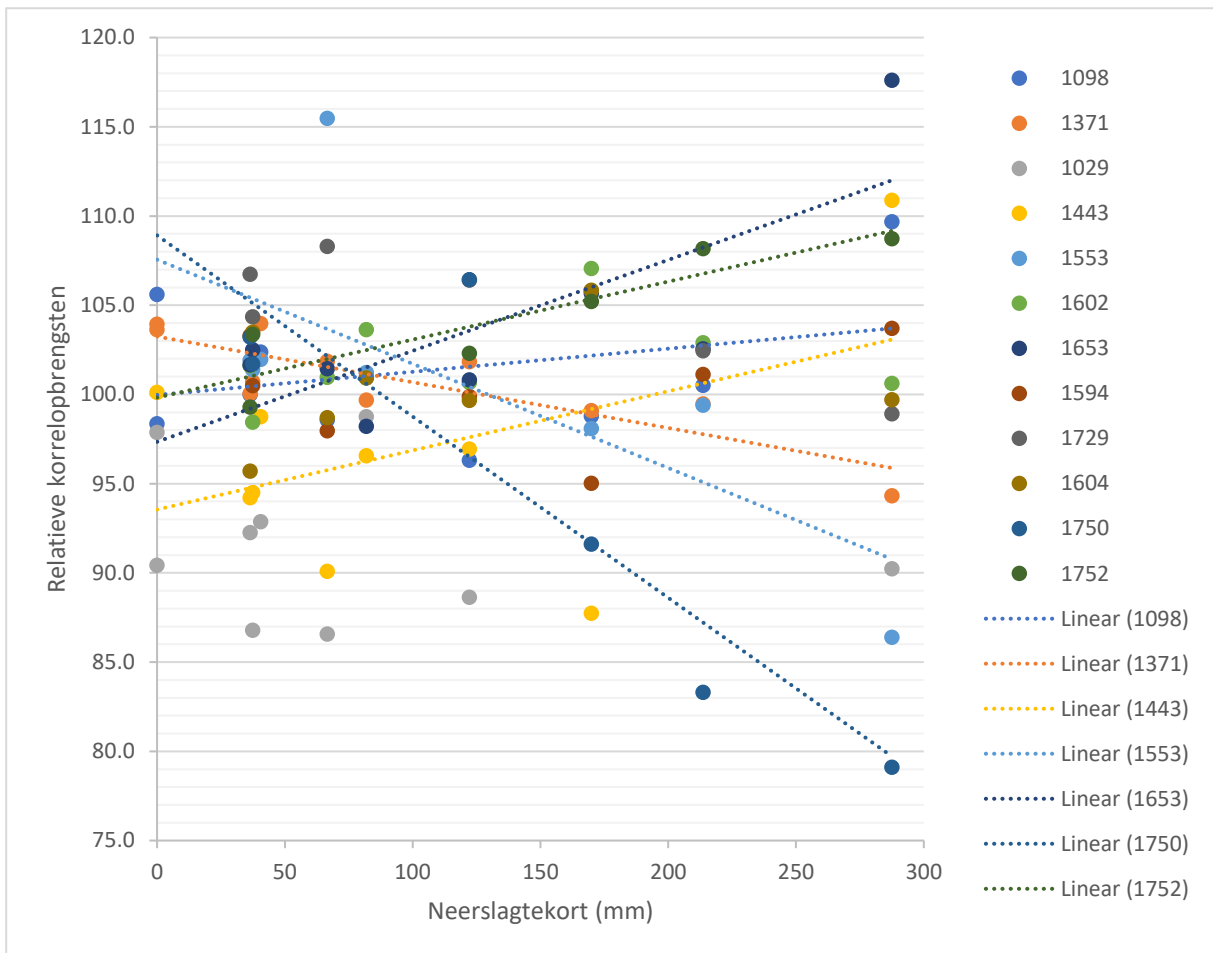


Figuur 6. Verband tussen de gemiddelde opbrengst van 2 korrelmais rassen in relatie tot het neerslagtekort per jaar voor de jaren 2010 tot en met 2020 in Noord Limburg.

In Figuur 6 is hetzelfde weer gegeven als in Figuur 5, nu alleen voor de situatie in Noord Limburg (Zuidoost NL). Het negatieve verband tussen het neerslagtekort en de korrelopbrengst heeft hier een correlatie van $r = 0.63$. Dus een minder duidelijk negatief verband. Niet dat de droogte hier in bepaalde jaren veel minder was, want ook hier gaan we naar tekorten van 300mm. Op het proefveld in Noord-Limburg is het vrij standaard, dat zodra het droog wordt er beregend wordt. Als de beregende millimeters (welke info niet beschikbaar is) meegenomen zou worden, dan was het netto watertekort aanzienlijk lager. Wat ook opvalt is dat als er geen neerslagtekort is, ook hier de twee rassen een gemiddeld opbrengstniveau hebben van rond de 123 kg/are oftewel 12.3 ton/ha. Verder blijkt dat beregening een groot deel van het neerslagtekort kan opvangen, maar het effect niet volledig kan nivelleren. Bij een neerslagtekort van 250mm met beregening zal er nog steeds 1.8 ton opbrengstreductie zijn, oftewel 15%. Met name ook veroorzaakt doordat kunstmatige beregening nooit optimaal is in tijd en plaats.

3.5.2 Rasverschillen

In Figuur 7 is voor de regio Overijssel de relatieve opbrengst van 12 maisrassen per jaar weergegeven ten opzichte van het neerslagtekort in de periode april t/m september van dat jaar. Deze 12 rassen kwamen echter niet allemaal in alle jaren voor in de dataset, maar minimaal 6 van de 11 jaar. Hierbij is 100 de index van de gemiddelde score over alle 12 rassen. Boven de 100 betekent dat het ras relatief beter presteert, onder de 100 juist slechter. De 100 waarde geeft de ras volgorde aan. De rassen 1098 en 1371 zijn de 2 rassen die het gemiddelde bepaald hebben in figuur 1. Deze rassen zitten bij een laag neerslagtekort en een hoog neerslagtekort wat midden in het sortiment, waarbij 1098 relatief iets beter lijkt te worden bij een hoger neerslagtekort en 1371 relatief wat slechter.



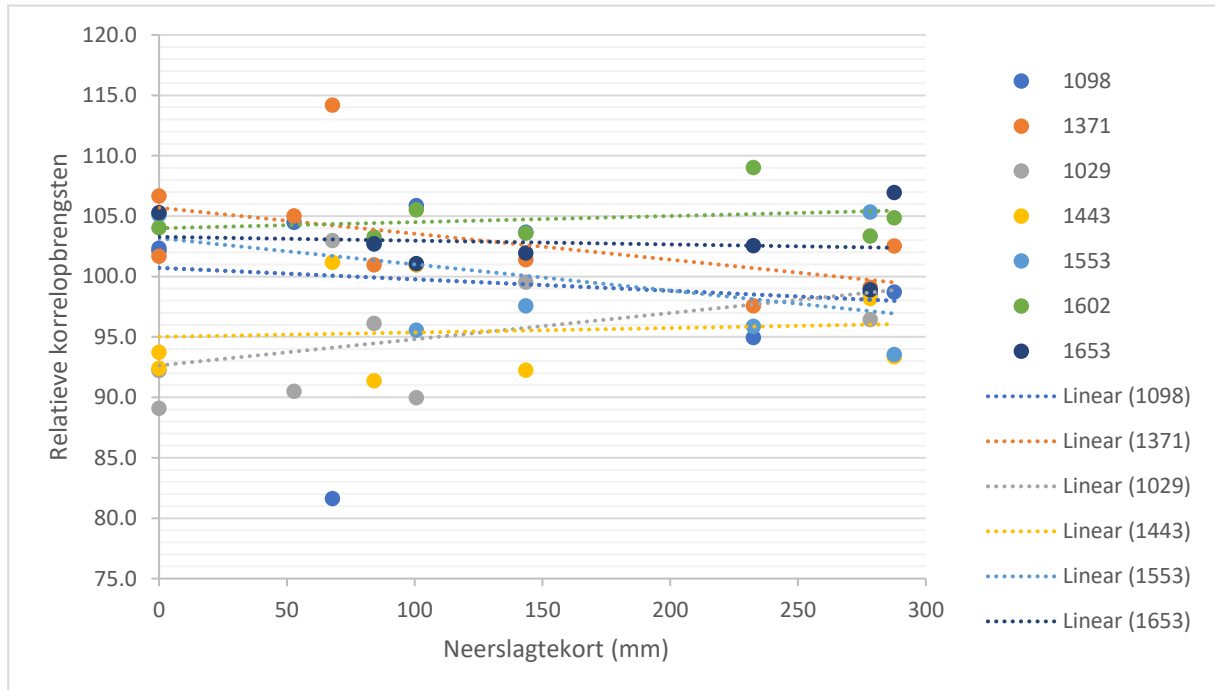
Figuur 7. Verband tussen de relatieve opbrengst van 12 maisrassen en het neerslagtekort in een bepaald jaar; elk punt geeft een jaar weer uit de periode 2010-2020 (Locatie Overijssel, weerstation Heino).

Interessant te zien dat de ras volgorde volledig veranderd als het neerslagtekort toeneemt. Bij geen neerslagtekort staan de rassen 1750 en 1553 hoger, dat wil zeggen beter qua korrelopbrengst en de rassen 1653, 1752 en 1443 lager, dus slechter qua korrelopbrengst. Bij veel neerslagtekort is dit precies anders om. Dit wil niet zeggen dat rassen 1653, 1752, 1443 geen hinder ondervinden van de droogte, want de 100 waarde (gemiddelde) ligt dan op 55% van die bij geen neerslagtekort, maar wel veel minder dan 1750 en 1553. Dus bij korrelnais is er een groot effect van het neerslagtekort op de ras volgorde in korrelopbrengst.

Wat tevens opvalt is dat uitgaande van de regressielijnen het relatieve verschil tussen de 12 rassen in de figuur meegenomen rassen bij geen neerslagtekort loopt van relatief 90 tot 109. Dit verschil wordt bij een neerslagtekort van circa 75mm het kleinst, 97 tot 103. Waarna de relatieve verschillen omdraaien en uiteindelijk bij 300 mm neerslagtekort veel groter worden, van relatief 79 tot 112. In de dataset zit echter ook een ras, dat 5 jaar gegevens heeft en daarom niet in de figuur is opgenomen. Dit ras haalt bij 300mm neerslagtekort nog altijd 7,5 ton/ha, wat neer komt op 133 relatief gezien. Het ziet er naar uit dat de relatieve rasverschillen nog groter zijn dan in de figuur wordt aangetoond.

Waar deze grote verschillen in droogte gevoeligheid tussen rassen door veroorzaakt worden is op basis van dit onderzoek niet vast te stellen. Maar er is wel een hypothese te stellen. Mogelijk hebben bepaalde rassen een groter (breder, dieper) wortelstelsel, de grond op het perceel in regio Overijssel heeft wel een groot doorwortelbare zone (>1mtr), dus dat zou heel goed mogelijk kunnen zijn. Groter wortelstelsel zou betekenen meer beschikbaar water. Verschillen in grote van het wortelstelsel of de worteldiepte worden in het rassenonderzoek echter niet vast gesteld. Wel is bekend dat het ene ras oppervlakkiger wortelt dan het andere ras. Als dit het grootste deel van de opbrengstverschillen veroorzaakt, dan zouden we een geringer effect moeten zien op gronden met een mindere wortelbare zone, bv 30 cm. Op deze gronden is het beschikbaar vocht voor alle rassen vrijwel vergelijkbaar. Daarnaast is het ook mogelijk dat bepaalde rassen met een geringe hoeveelheid water efficiënter omgaan en daardoor meer produceren. Een wellicht groter effect mag echter verwacht worden van de

specifieke reactie van diverse maisrassen. Er zijn rassen die bij geringe droogte al de huidmondjes sluiten en het blad opkrullen. Deze beschermen zich, maar staan vrijwel stil in productie. Andere rassen blijven "open" staan en laten bij langere droogte het onderste blad vallen, deze schonen van onder op. Nu is de algemene regel, dat bij langdurige droogte de rassen die snel gaan krullen een grote achterstand in productie oplopen. Dus bij langdurige droogte is snel krullen opbrengst technisch ongunstig voor korrelmais. De vraag hierbij is nog wel, wat is langdurige droogte en wat is het effect van onregelmatige droogte gedurende het jaar. Waarschijnlijk zijn de geconstateerde verschillen in korrelopbrengst veroorzaakt door een combinatie van de 3 genoemde effecten.



Figuur 8. Verband tussen de relatieve opbrengst van 7 maisrassen en het neerslagtekort in een bepaald jaar; elk punt geeft een jaar weer uit de periode 2010-2020 (Locatie Zuidoost Brabant, weerstation Volkel).

In Figuur 8 toont voor de regio Noord-Limburg (Zuid Oost) de relatieve opbrengst van 7 maisrassen per jaar weergegeven ten opzichte van het neerslagtekort in de periode april t/m september van dat jaar. Deze 7 rassen kwamen echter niet allemaal in alle jaren voor in de dataset, maar minimaal 7 van de 11 jaar. Hierbij is 100 de index voor de gemiddeld productie over alle 7 rassen. Boven de 100 betekent dat het ras relatief beter presteert, onder de 100 juist slechter. Doordat er op het proefveld in deze regio vrij constant beregend wordt, zodra het droog wordt, zien we hier veel kleiner effecten dan in de regio Overijssel. Door regelmatige beregening is er zeker rond 100mm gegeven gedurende het seizoen. Dat zou betekenen dat het neerslagtekort zo 100mm minder zou zijn dan in de figuur wordt aangegeven, maar dan zou je bij 300mm neerslagtekort nog steeds grotere effecten verwachten. Wellicht belangrijker is dat door regelmatige beregening het gewas zich kan herstellen en nooit te lang extreme droogte ondervindt. Te lang in extreme droogte kan ook neveneffecten geven van bladverbranding en afsterven van bladeren of gehele planten.

Ook hebben de gronden op het proefveld in deze regio ook een veel minder dieper doorwortelbare zone, veelal 30 tot 40 cm. Waardoor verschil in beschikbaar vocht tussen rassen met een eventueel verschil in wortelstelsel en/of worteldiepte in deze regio ook minder groot zal zijn. Wel zal op deze gronden eerder droogte te zien zijn dan op de grond van het proefperceel in regio Overijssel, maar door regelmatige beregening komt dat hier minder tot uitdrukking.

Wel zijn er in Figuur 8 ook effecten van rassen te zien, hoewel logischerwijs in geringere mate. We zien licht stijgende en horizontale lijnen (rassen 1029, 1443, 1602 en 1653), maar ook dalende lijnen (rassen 1553, 1371 en 1098). Hier zien we voor de rassen wel overwegend reactie in dezelfde richting. Waarmee de reactie van de rassen in Overijssel min of meer worden bevestigd.

3.5.3 Discussie en conclusie

Op een goed vochthoudende en diep doorwortelbare grond (>1mtr) in Overijssel is er een opbrengstreductie van gemiddeld 45% als het neerslagtekort oploopt tot circa 300mm in het groeiseizoen. Op het traject van 0 tot 300 mm neerslagtekort zakt de korrelopbrengst op deze grond per 50 mm tekort met ongeveer 1 ton per ha. Op een grond in Noord-Limburg met een minder diep doorwortelbare grond (30-40cm), waar vrij regelmatig beregend wordt, loopt het opbrengstverlies op tot 15% bij een neerslagtekort tot 300 mm. Zonder berekening zou de reductie hier veel groter zijn geweest dan 45%, wellicht zelfs rond 75%. De opbrengstreductie per 50mm zal hier veel groter zijn dan op de goed vochthoudende grond. Enerzijds omdat op een vochthoudende grond meer water in de bodem beschikbaar is, waardoor een neerslagtekort minder snel tot droogte zal leiden. Droogte zal op een vochthoudende grond pas bij een hoger neerslagtekort optreden. Ook na een natte periode zal dit opnieuw spelen. Op vochthoudende gronden zal mais minder vaak langdurige droogte ondervinden en daarmee ook neveneffecten als bladverbranding of afsterven van blad of gehele plant. Een effect dat ook van regelmatig beregenen verwacht mag worden.

Uit de gevonden reducties in korrelopbrengst blijkt dat droogte een zeer bepalend effect heeft op de productie bij korrelmais en daarmee op de rendabiliteit van deze teelt. Op een meer droogtegevoelige grond kan door berekening het opbrengstniveau op 85% gehouden worden. Op een goed vochthoudende grond is de verwachting dat door berekening het opbrengstverlies vrijwel genivelleerd wordt.

Er zijn grote verschillen tussen maisrassen in opbrengstreductie bij een neerslagtekort. Zelfs in die mate dat bij extreme droogte de ras volgorde qua productie volledig omdraait. De beste rassen bij geen neerslagtekort worden de slechtste rassen bij een hoog neerslagtekort. Hierbij lijkt er geen verschil per locatie, hoewel de effecten op de locatie in Noord-Limburg door berekening veel minder zijn. De rasverschillen in reactie op droogte zouden veroorzaakt kunnen worden door verschillen in omvang van het wortelstelsel (met name diepte), de verschillen in hoe en hoe snel rassen reageren op droogte en tot slot hoe efficiënt rassen met het beschikbare vocht omgaan. Waarschijnlijk is het een combinatie van genoemde parameters, waarbij worteldiepte en reactie van het ras op droogte de belangrijkste zullen zijn. Het effect van de mogelijke worteldiepte zal op een grond met een 30cm doorwortelbare zone geringer zijn dan op een diep doorwortelbare grond. Een ras dat bij geringe droogte al gaat krullen zal op dat moment minder produceren dan een ras dat de onderste bladeren laat vallen en verder wel in productie blijft. Met name bij langdurige droogte en dus een hoger neerslagtekort zal dit effect worden versterkt, maar bij kortdurende droogte zouden de snel reagerende rassen in het voordeel kunnen zijn. Het blijft wat onzeker wat een lange, dan wel korte droogte periode is. Als ook wat het effect is van meerdere korte droogte perioden. Over rasverschillen in productie-efficiëntie bij geringe vochtbeschikbaarheid is niet veel bekend.

Door het kiezen van de juiste rassen is de kwetsbaarheid voor droogte te verminderen. De vraag is echter of het op voorhand wel mogelijk is om rassen hierop te kiezen. Op dit moment staat er geen informatie over wortelstelsel of gewasreactie bij droogte op de rassenlijst. Laat staan over waterbenutting door rassen. Met name de reactie van rassen bij droogte kan op rassenproeven beoordeeld worden. Informatie over de omvang van het wortelstelsel is ook op rassenproeven te bepalen. Echter is om dit voor alle rassen te bepalen tot een diepte van 60 of 100cm arbeids- en dus kostenintensief. Er zijn hier ook nieuwe technieken voor beschikbaar, waarbij gewerkt wordt met camera's en DNA-bepaling om wortelstelsels in beeld te brengen.

Referenties

WUR-Open Teelten; Cultuur- en Gebruikswaarde onderzoek Korrelmais.

Commissie Aanbevelende Rassenlijst (CSAR); Aanbevelende Rassenlijst Korrelmais.

4 Teeltmaatregelen en alternatieve gewassen

In dit hoofdstuk worden teeltmanagement mogelijkheden in de aardappelteelt besproken die bij kunnen dragen aan het weerbaar maken van dit gewas tegen klimaatverandering, zodat het gewas het goed blijft doen onder de verwachte klimaattrends in Nederland. Vervolgens worden voor een tweetal alternatieve, relatief nieuwe gewassen (zoete aardappel en sorghum) voor Nederland, de resultaten van een verkenning gepresenteerd. Hier wordt gefocust op in hoeverre deze gewassen om kunnen gaan met de klimaattrends. Dat wordt aangevuld met praktijkervaringen met deze alternatieve teelten.

De focus van dit hoofdstuk ligt op teeltmaatregelen en nieuwe teelten, en belicht niet de ras keuzes en ras ontwikkelingen. Volgens experts kan via ras-ontwikkeling, zeker in de aardappelteelt, echter ook veel winst behaald worden met het oog op klimaatadaptatie. Daarbij moet de ras-ontwikkeling inzetten op rassen die bestand zijn tegen warme, droge en zoutere omstandigheden om weerbaarder te worden.

4.1 Adaptieve aardappelteelt

*Gebaseerd op een interview met Peter Kromann op 10 juni 2021.
Review door Jan Kamp en Erik Reijnierse.*

Klimaatbestendigheid in de aardappelteelt kan naast ras-ontwikkeling bereikt worden door verbetering van het wortelsysteem van de aardappel. Het is belangrijk te beseffen dat rassen uit tropische omstandigheden niet zomaar hier geteeld kunnen worden, ook al is de klimaatsituatie in de toekomst vergelijkbaar. Tropische rassen zijn namelijk ingesteld op korte dagen (weinig daglicht), terwijl de dagen in Nederland in de zomer heel erg lang zijn. De tropische rassen vormen geen knollen tijdens lange dagen, waardoor ze niet goed tot ontwikkeling zullen komen op onze breedtegraden. Daarnaast voldoen deze rassen niet aan de hoge verwachtingen van consument en verwerkende industrie in noordwest Europa.

Hieronder worden per klimaattrend mogelijke aanpassingen in het teeltmanagement besproken en worden neveneffecten benoemd van deze aanpassingen.

4.1.1 Het wordt warmer

Voor een optimale groei van de aardappel moet de bodem een lagere temperatuur hebben dan 20°C (Government of Western Australia, 2017). Met een opwarmend klimaat kan het voorkomen dat de bodem te warm wordt, wat de groei negatief beïnvloedt. Bij nachttemperaturen boven de 20°C heeft de aardappel ook moeite om te groeien.

Aardappels worden in Nederland in ruggen geteeld zodat in het voorjaar de warmte in de lucht dichterbij de knollen kan komen, zodat de knol snel tot ontwikkeling kan komen. Bredere ruggen zouden in een warmer klimaat en tijdens hittegolven de bodem wat koeler kunnen houden. Tevens kan er gedacht worden aan beddenteelt. Een tussenvorm kan zijn dat er twee ruggen tegen elkaar aan komen te liggen, zodat er minder warmte de bodem in kan trekken. De effectiviteit wordt door expert als beperkt ingeschat. Het koelen met sprinklers (kleine spuitinstallaties die water rondspuiten) is effectiever om de temperatuur van het gewas en de bodem te verlagen en wordt in het buitenland al regelmatig toegepast, zoals in Israël en Tanzania. Daar zitten wel aanzienlijke kosten voor installatie en hoog waterverbruik aan vast.

Bodembedekking met gewasblad voorkomt dat de bodem sterk opwarmt door zonnestraling. Momenteel is de rijafstand tussen de ruggen 75 cm. Hiermee is bodem nagenoeg volledig bedekt als het gewas in goede staat is in de zomer. Het verkleinen van de rijafstand is daardoor niet direct een

optie om beter om te kunnen gaan met warmere omstandigheden. Als het overigens heel erg warm is, zakken de planten in waardoor er wel onbedekte grond kan ontstaan, waardoor de zon kan doordringen naar de bodem en deze sneller opwarmt.

Tot slot kan intercropping wellicht een oplossing bieden tegen warme omstandigheden. Hier worden verschillende gewassen in rijen naast elkaar geteeld. In Afrika worden rijen met aardappel afgewisseld met mais, zodat de schaduw van de mais de temperatuur verlaagt in het aardappelgewas. Dit soort microklimaat effecten kunnen wellicht ook via agroforestry of strokenteelt systemen tot stand komen. Het verminderen van wind kan ook de gewasverdamping verminderen, wat positief kan uitpakken voor de klimaattrend het wordt droger. Daarbij dient wel gelet te worden op de luchtvochtigheid. Als het te vochtig blijft, kan *Phytophthora* snel ontwikkelen en schade toebrengen.

4.1.2 Het wordt droger

Een regelmatige vochtvoorziening op cruciale momenten zoals knolzetting en knol vulling is essentieel voor het gewas. Het KNMI voorspelt met name in de warme klimaatscenario's (H scenario's) drogere zomers (Beersma, Klein Tank, Bessembinder, van den Hurk, & Lenderink, 2014). Om water dat in het voorjaar valt beter vast te houden en op te slaan in de bodem, zijn drempels tussen aardappelruggen een geschikte oplossing. In heuvelachtig gebied voorkomen deze drempels tevens erosie en afspoeling van water (Waterschap Limburg, 2020) en kunnen de opbrengsten per hectare stijgen. Drempels zijn minder goed bestand tegen zware buien, omdat ze kunnen wegspoelen (erosie) of wateroverlast kunnen veroorzaken, met schade aan het gewas als gevolg. Ook op vlakke percelen wordt het al toegepast, met name om afspoeling van nutriënten (N) te verminderen.

Tevens zou beddenteelt een optie kunnen zijn, omdat zo meer vocht in de bodem kan blijven en er iets minder verdampt doordat de temperatuur in de bodem lager is.

Poten en rugopbouw in een werkgang uitvoeren (Akkerbouwbedrijf, 2020) is een optie waardoor de bodem tussentijds minder uitdroogt en er meer vocht in de bodem wordt gehouden. Als er voldoende vocht in de bodem zit, kan het een voordeel zijn om beide bewerkingen (poten en rug opbouw) in één keer te doen. Als de grond juist droog is, kan het in een keer poten en rug opbouwen juist een nadeel zijn, omdat er dan weinig vocht bij de poter is, en er lastiger vocht bij kan komen. Er is veel onzekerheid over de effectiviteit tussen beide methoden, en de verwachting is dat het verschil klein zal zijn.

Irrigatie en watermanagement van de gewassen kan uiteraard ook helpen om in te spelen op drogere omstandigheden. Daar wordt hier verder niet op ingegaan.

4.1.3 Het wordt natter

Tijdens de teelt van aardappelen spelen met name de heviger wordende buien, die wateroverlast in het gewas en erosie van de bodem kunnen veroorzaken. Momenteel zit er 2 a 3 weken tussen loofdoding en oogst in. Op dat moment is de bodem onbedekt en kwetsbaar voor hevige buien. Zo een bui kan de bodem wegspoelen waardoor de aardappel bloot komt te liggen en er zo schade optreedt. Door de tijd tussen loofdoding en oogst te verkleinen, kan de kans op erosie en schade aan de aardappelen verkleind worden. Echter, de periode tussen loofdoding en oogst dient ook een doel, namelijk het afharden van de schil van de aardappelknol. Dit laatste zal daarom in de praktijk vrijwel altijd leidend zijn.

Een andere optie om erosie te verminderen is het planten van aardappelen in gefreesde stroken, in bijvoorbeeld grasland. Op die manier blijft de bodem goed bedekt aan het begin van het seizoen. Dat vraagt wel om een wijziging in het teeltsysteem, namelijk dat er geen ruggenteelt meer plaatsvindt, maar gepoot wordt onder het maaiveld (eOrganic, 2008). In deze methode kan er tijdens droge perioden concurrentie optreden tussen het gras en de aardappel. Ook concurrentie om voedingsstoffen ligt op de loer. Het zal wel kunnen leiden tot het verminderen van het warmte effect.

4.1.4 De zeespiegel stijgt

Met name tijdens het kiemen en de eerste ontwikkeling van de aardappel is zoetwater essentieel. Het voorkomen van uitdrogen van het perceel kan verzilting verminderen. Door de zoetwaterbel onder het perceel in stand te houden doordat water kan infiltreren (via bijvoorbeeld drempels of het verlagen van de verdamping vanuit de bodem) kan zoute kwel op afstand gehouden worden.

Daarnaast is de juiste rassenkeuze en ontwikkeling een logische weg om met verzilting om te kunnen gaan. Er zijn over de hele wereld veel laag liggende gebieden waar verzilting een risico vormt.

4.2 Alternatieve gewassen

Eerst zal ingegaan worden op zoete aardappel als alternatief gewas dat wellicht in een toekomstig klimaat geteeld kan worden in Nederland. Vervolgens worden de resultaten voor sorghum gepresenteerd.

4.2.1 Zoete aardappel

De zoete aardappel, ofwel bataat, is een warmte minnende plant en is gevoelig voor een koude en natte bodem. Hier wordt beschreven hoe de vier klimaattrends effect hebben op de teelt van de zoete aardappel. Informatie met betrekking tot iedere klimaattrend wordt ondersteund door praktijkervaring van Titus Galema, die sinds 2017 zoete aardappels teelt in de Noordoostpolder.

Zoete aardappel vindt zijn oorsprong in Zuid Amerika, maar China en de VS zijn tegenwoordig de grootste producenten van de zoete aardappel.



Figuur 9. Zoete aardappels. Foto: Eva van der Burgt, 2020

Het wordt warmer

De zoete aardappel gedijt het best in warm, vochtig, zonnig weer. Tijdens de aanplant van de zoete aardappel moet de bodemtemperatuur minimaal 16 graden Celsius zijn. De optimale groeitemperatuur voor het gewas ligt tussen de 18 en 24°C (Peteroff, 2018). Als het gemiddeld warmer is dan 25°C, en droog, dan is er kans dat het gewas gaat bloeien dat nadelig is voor de knollen (Peteroff, 2018). Er is

kans op koude-schade wanneer de temperatuur onder de 11°C zakt. Hiermee gaat de kwaliteit van de knol achteruit, deze wordt namelijk bitter en gaat rotten. Mits deze grenstemperatuur niet wordt bereikt, kan het gewas blijven staan en doorgroeien (Peteroff, 2018) Als het dus langer warm blijft in de herfst dan zal dat de opbrengst van de zoete aardappel ten goede komen. Vraag is of de bodem de hogere zomerse temperaturen vast kan houden tot in de late herfst zodat de grenstemperatuur pas later wordt bereikt en zo het moment van oogsten kan worden uitgesteld om een hogere opbrengst te bereiken.

De zoete aardappel wordt na de oogst in een bewaar-cel bewaard onder hoge temperaturen zodat deze langer houdbaar blijft en de smaak beter wordt. De eerste week worden de knollen bewaard in een bewaar-cel met een relatief hoge luchtvochtigheid bij een temperatuur van rond de 30 graden Celsius. Na de eerste week wordt de temperatuur teruggebracht naar tussen de 12 en 18 graden Celsius voor nog eens zes weken lang. Een warmere buitentemperatuur zou betekenen dat er minder energie nodig is voor deze bewaarbehandeling.

Praktijkervaring warmte zoete aardappel

Biologisch groenteteler Titus Galema teelt zoete aardappel op ruggen afgedekt met bio-folie gemaakt van maïszetmeel om nat te voorkomen en warmte vast te houden. Zoete aardappel heeft heel veel warmte nodig. Vooral op het moment van planten maakt de bodemwarmte erg veel uit. Vanwege de geplaatste biofolie en de ruggen wordt de warmte in de bodem beter vastgehouden. In de vier jaren zoete aardappelteelt heeft de bioteler nog niet meegemaakt dat er sprake was van teveel warmte (Galema, 2021).

Het wordt droger

Het planten van de zoete aardappel kan het best onder licht vochtige / droge omstandigheden. Een voldoende droge bodem zorgt namelijk voor een goede start van de aanplant. Een watertekort heeft een direct negatief effect op de knolopbrengst van de zoete aardappel. Daarbij is er kans dat de plant gaat bloeien waardoor de assimilaten in plaats van naar de knollen naar de bloemen bewegen waardoor de knollen nog meer in groei minderen (Peteroff, 2018). Wanneer er 40 tot 60 procent van de vochtvoorraad is opgenomen is het een goed moment om te beregenen. De zoete aardappel heeft een kritisch bodempotentiaal van pF 2,6 en een kritische zuigspanning van 40 centibar dat overeenkomt met het bodempotentiaal van aardbeien en aardappel (Peteroff, 2018). Droge omstandigheden tijdens het oogsten pakt positief uit op het afharden van de knollen. Door de droogte zijn de knollen beter bestand tegen oogtschade en bewaarziekten.

Praktijkervaring droogte zoete aardappel

Op de ruggen heeft de bioteler druppelstralen liggen waarmee periodes van droogte geen negatief effect hebben. De druppelstralen staan zo'n drie keer per jaar aan en leveren ongeveer 20 mm per rug per keer. Tussen de ruggen wordt er niet beregend, dus per hectare zal dat zo'n 5 mm zijn. Dat is vergelijkbaar met de aardbeien (Galema, 2021).

Het wordt natter

Een toename in neerslag zorgt voor een natte en koudere bodem. Een te natte bodem heeft een negatief effect op de zuurstoftoevoer naar de plant. Hierdoor is de kans aanwezig dat de haarwortels van de zoete aardappel afsterven. Minder wortels aan de plant resulteren op hun beurt weer in een verminderde groei van het gewas en een toename in ziektegevoeligheid zoals rot (Peteroff, 2018). Een natte bodem tijdens het planten kan leiden tot uitval vanwege rot. Verder kan er ook tijdens de knolzetting door veel water rot ontstaan (Peteroff, 2018). Om rot in de zoete aardappel te voorkomen is het dus zaak om neerslag bijvoorbeeld met drainage van het perceel af te leiden. Naast drainage is het planten van de zoete aardappel op ruggen een geschikte manier om wateroverlast te beperken en tegelijkertijd de bodem warmer te houden. De zoete aardappel is dus niet gebaat bij een te natte bodem, hoewel de zoete aardappel vergeleken met de aardappel toch minder gevoelig is (Peteroff, 2018). Tot nu toe treden er weinig ziekten verschijnen in de zoete aardappel teelt, toch is er wel een melding gedaan van een schimmelachtig verschijnsel als Sclerotinia dat waarschijnlijk voortkomt uit oogtschade. De door oogtschade aangebrachte wondplekken zijn makkelijke invalspoorten voor schimmels (Peteroff, 2018) en de schimmels gedijen goed in natte zomers (Schepers & Lamers, 2011).

Praktijkervaring wateroverlast zoete aardappel

Door de toepassing van het biofolie kan het water goed weg kan en komt zo de plant niet onder water te staan. Om de bewerkingen uit te voeren, zoals het klaarmaken van de ruggen, het afdekken met biofolie, wieden, is wel droog weer nodig. Net voor het planten is regen juist weer gewenst (Galema, 2021).

De zeespiegel stijgt

Zoete aardappel is gevoelig voor verzilting (Luo, et al., 2017). De wortelgroei is kwetsbaarder voor hoge zoutgehalten in de bodem dan de groei van de ranken (Shannon & Grieve, 1999). Er wordt gezocht naar nieuwe rassen met een hogere zouttolerantie (Luo, et al., 2017).

Conclusie

Het toekomstige klimaat in Nederland zou gunstig kunnen zijn voor de teelt van zoete aardappel. Met name het langere groeiseizoen en warmer najaar verbetert de productie. Door warme en droge omstandigheden wordt de bewaring beter. Te natte omstandigheden vormen een risico, net als lange droogtes. Droge perioden kunnen opgevangen worden met druppelirrigatie. Naast te natte omstandigheden is ook verzilting in bedreiging voor een succesvolle zoete aardappel teelt.

4.2.2 Sorghum

Sorghum is een graangewas waarvan de groeiwijze vergelijkbaar is met maïs en behoort tot de vijf belangrijkste graangewassen van de wereld. Het gewas wordt veel geteeld in Afrika en Zuid en Noord Amerika in gebieden die te droog zijn voor maïs (van Eekeren & Deru, 2014). Sorghum wordt verkocht als ruwvoer en is tevens geschikt voor de humane consumptie. In dit rapport wordt beschreven hoe de vier klimaattrends effect hebben op de teelt van sorghum. Informatie met betrekking tot iedere klimaattrend wordt ondersteund door praktijkervaring van Arjen van Buuren, die sorghum teelt in Lochem en Borne. Naast maïs en sorghum, teelt hij ook silphie (*Silphium perfoliatum*, Asteracea familie, ook wel Zonnekroon: vaste plant met gele bloemen) om de mogelijkheden van het gewas als ruwvoer te verkennen. Verder is er geïnformeerd naar de ervaringen van Jeroen Klompe, een voormalig sorghumteler die gestopt is vanwege de markt die nog niet groot genoeg is voor humane consumptie (Klompe, Sorghum teelt, 2021).



Figuur 10. De sorghum plant. Foto Eddy Teenstra, 2012

Het wordt warmer

Sorghum gedijt goed in een warm klimaat en kan geen vorst verdragen. Voor de kieming en opkomst van het gewas moet de bodem de minimale temperatuur van 12°C hebben (Kasper, 2017). Vanwege het belang van een warme bodem voor een geslaagde kieming en de opkomst van het gewas, wordt

aanbevolen om sorghum in Noordwest Europa vanaf 15 mei tot begin juni te zaaien. Temperaturen boven de 20 graden en onder de 36 graden Celsius leveren een optimale groei op. Temperaturen onder de 20°C zorgen voor een mindere groei, kieming, opkomst en bloei (Kasper, 2017).

Praktijkervaring warmte sorghum

Natuurinclusieve sorghumteler Arjen van Buuren teelt sorghum op zandgrond in Lochem en in Borne. In Lochem wordt reeds drie jaar biologisch geteeld en tevens gewerkt aan een gezonde bodemstructuur. De bodemtemperatuur bij het inzaaien is van groot belang voor het slagen van de teelt (van Buuren, 2021). Arjen van Buuren heeft 15 graden Celsius als minimale bodemtemperatuur aangehouden. Afgelopen jaar was een koud en nat jaar maar van Buuren heeft 4 juni in kunnen zaaien (van Buuren, 2021). Ervaring moet nog leren in hoeverre het moment van zaaien effect heeft op de totale opbrengst (van Buuren, 2021).

Het wordt droger

Sorghum kan naast veel neerslag ook relatief goed tegen droogte. Het gewas beschikt over een wortelstelsel dat diep en intensief de grond in groeit waardoor het beter periodes van droogte aan kan dan bijvoorbeeld maïs (van Eekeren & Deru, 2014). Derhalve heeft sorghum circa 25 procent minder water nodig per kilogram droge stof dan maïs (van Eekeren & Deru, 2014). De diepe worteling van het gewas heeft als bijkomend voordeel dat het bodemverdichting tegen gaat (Kasper, 2017).

Praktijkervaring droogte sorghum

Sorghumteler van Buuren heeft nog geen ervaring met de groei van sorghum in droge jaren. Het ligt in de verwachting dat sorghum goed tegen droge periodes kan vanwege de succesvolle teelt in droge gebieden wereldwijd (van Buuren, 2021). De verwachting wordt dat bevestigd door voormalig sorghumteler Klompe die zegt: droog of nat, het groeit vanzelf (Klompe, Sorghum teelt, 2021).

Het wordt natter

Sorghum als (sub)tropisch gewas groeit goed onder warme en vochtige omstandigheden (Kasper, 2017). Vanwege de wereldwijde teelt van sorghum in verscheidenheid van klimaten en bodems, zijn er verschillende rassen die elk zijn aangepast aan het klimaat waar ze groeien (Kasper, 2017). Rassen van de sorghum bicolor bijvoorbeeld omvatten open pluimen die meer aangepast zijn aan een vochtig klimaat en gesloten pluimen die weer beter gedijen in een droger klimaat (Kasper, 2017). Sorghum kan goed tegen grote hoeveelheden neerslag, hoewel de groei vertraagd wordt door wateroverlast (Kasper, 2017).

Praktijkervaring wateroverlast sorghum

Het perceel in Borne heeft ten opzichte van het perceel in Lochem een minder goede bodemstructuur. Door de relatief mindere bodemstructuur blijft de neerslag op het land liggen. De natte delen op het land in Borne uitte zich in de sorghum die op die plekken minder hoog opkwam (van Buuren, 2021).

De zeespiegel stijgt

Sorghum kan tegen een zoute bodem (Almodares et al. 2008). Tijdens de vegetatieve en de vroege reproductieve fase is het gewas meer kwetsbaar voor de zoute bodem dan tijdens de bloei en de afrijping (van Bakel, Blom-Zandstra, & Stuyt, 2018).

Conclusie

Het toekomstig klimaat in Nederland zou gunstig kunnen zijn voor sorghum. Een warmer klimaat kan bijdragen aan de opbrengst van sorghum en aan het teeltgemak vanwege een grotere marge in zaaitijd. Een toename in neerslag lijkt met een goede bodemstructuur geen probleem te zijn en ook periodes van droogte uitte zicht minder snel in opbrengstderving dan bij maïs.

5 Discussie

In dit onderzoek is vanuit verschillende invalshoeken gekeken in hoeverre ras- en gewaskeuze de open teelten weerbaarder kan maken tegen klimaatverandering. De drie invalshoeken (rassen, alternatieve gewassen, teeltmaatregelen) zijn voor verschillende gewassen verkend, zodat in grote lijnen een beeld kan ontstaan. Binnen elke invalshoek kan uiteraard nog veel dieper op de materie ingegaan worden en kunnen andere gewassen belicht worden. Hier is gekozen om op basis van bestaande gegevens (rassenproeven) de verschillen tussen rassen van graangewassen en mais te analyseren. Door het raadplegen van verschillende stuurgroepen (KANO, PPS Klimaatadaptatie Open Teelten) is de keuze gemaakt om teeltmaatregelen in de aardappelteelt te verkennen, met als argument dat het een hoog salderend en belangrijk gewas is voor de Nederlandse landbouw. De twee alternatieven gewassen kunnen deels gezien worden als mogelijk toekomstige vervangers van huidige gewassen (zoete aardappel voor aardappel, sorghum voor mais). Als er andere gewassen gekozen waren voor deze analyse, hadden ook de resultaten anders uit kunnen vallen.

Bij de rassenanalyse is gekozen om de prestatie van de rassen uit te zetten tegen het neerslagtekort (trend het wordt droger). Voor mais en geanalyseerde graangewassen (wintertarwe en zomertarwe) en mais kan droogte namelijk een flinke impact hebben. De analyses tonen dat het lastig is om echt het effect van neerslagtekort te filteren, omdat dit niet de enige variabele is die van invloed is op de ras- en gewasproductie. Zonneschijn, ziekte en plaagdruk, heftige buien hebben ook allemaal invloed op de productie in een bepaald seizoen. De ideale omstandigheden voor dit onderzoek zouden zijn dat alle andere factoren hetzelfde zijn, zodat het effect van neerslagtekort veel zuiverder zichtbaar kan worden en eventuele effecten ook daaraan toegeschreven kunnen worden. Daarnaast is het zinvol om verder te kijken naar de effecten van bijvoorbeeld de klimaatrends het wordt warmer en verzilting op de prestatie van bepaalde rassen.

Om de hedendaagse aardappelteelt klimaatbestendiger te maken zijn mogelijkheden verzameld om dat in de teelt zelf te realiseren. Veel zijn suggesties die veelbelovend lijken maar nog wel verder onderzocht moeten worden in veldproeven, zodat de bijdragen van zo een maatregel explicieter gemaakt kan worden.

Door middel van literatuurstudie, expertkennis en praktijkervaringen is getracht een evenwichtig overzicht te creëren van de te verwachten klimaatbestendigheid van de alternatieve gewassen zoete aardappel en sorghum. Dat biedt een goede indruk van de mogelijkheden van deze gewassen in een toekomstig Nederlandse klimaat op basis van weersomstandigheden en teeltgemak. Hier is niet gekeken naar de economische kant van deze gewassen, zoals de vraag uit de markt en het saldo. Dat zijn vanuit de boer uiteraard ook belangrijke factoren die meewegen of deze gewassen aan het bouwplan toegevoegd kunnen worden.

De conclusies uit dit rapport moeten dan ook niet gezien worden als advies aan de boer, maar meer als verkenning van toekomstige mogelijkheden om te kunnen boeren onder klimaatverandering. Daar komen meer zaken bij kijken dan enkel de klimaatbestendigheid van een gewas of ras, ook al kan dat wel de basis zijn voor een stabiele en voorspelbare opbrengst.

6 Conclusie

In dit rapport is verkend in hoeverre teeltmanagement en ras en gewaskeuze kunnen bijdragen aan het klimaatbestendiger maken van de open teelten. Daaruit blijkt dat er een aantal veelbelovende teeltmaatregelen in aardappel te nemen zijn, zodat er beter omgegaan kan worden met de vier klimaattrends: het wordt warmer, het wordt droger, het wordt natter, de zeespiegel stijgt. Zo bieden de drempels tussen de aardappelruggen een kans om water vast te houden en erosie en afspoeling te verminderen, en kan de productie zelfs verbeteren. Daarnaast is het zinvol om te kijken in hoeverre klimaatadaptatie tot stand kan komen door rassenkeuze en -ontwikkeling in aardappel te verfijnen en aan te passen op de vier klimaattrends.

Uit de rassenanalyse voor wintertarwe kwam naar voren dat er geen verband gevonden kon worden tussen de productie en het neerslagtekort per jaar. Voor zomertarwe trad er een zwak verband op, waarbij tevens het ene ras het beter doet tijdens droogte dan het andere. Bij mais heeft droogte een aantoonbaar negatief effect op de gewasproductie. De gegevens van de rassenproeven in Overijssel tonen dat de productie met 1 ton per hectare daalt per 50 mm extra neerslagtekort. Daarnaast is er ook geobserveerd dat sommige rassen het goed doen als er een beperkt neerslagtekort is, terwijl andere rassen juist relatief beter presteren tijdens droogte. Dat betekent dat er via rassenkeuze aan te passen is op droogte. Verder hebben ook de andere klimaattrends een effect op mais. Mais kan last gaan krijgen van nattere omstandigheden (zaai, oogst bemoeilijkt) terwijl hogere temperaturen de groei kunnen bevorderen, met name in het voorjaar.

Er lijkt een mogelijkheid om in de toekomst aan te passen aan het klimaat door voor alternatieve gewassen te kiezen in het bouwplan. Met name sorghum doet het goed onder warme, natte en droge omstandigheden in het groeiseizoen en heeft een kleinere waterbehoefte dan mais. Voor zoete aardappel zijn de temperaturen in Nederland nog wat te laag en dat is in de toekomst wellicht ook. Er zijn momenteel wel enkele praktijkvoorbeelden te vinden, die proberen de warmte in de grond vast te houden met bijvoorbeeld biofolie, zodat de teelt van zoete aardappels kan slagen.

In hoeverre dragen de verkenningen bij aan mogelijkheden voor klimaatadaptatie? Uit onze analyses blijkt dat met name het aanpassen van het teeltmanagement in aardappel veelbelovend is, net als sorghum als toekomstgewas. Rassenkeuzen in de bestudeerde graangewassen kan geen aanzienlijke bijdragen aan het klimaatbestendig maken van deze teelten realiseren. Dat geldt wel voor mais, waar enkele rassen relatief een stuk beter presteren onder een aanzienlijk neerslagtekort dan anderen.

7 Bibliografie

- Akkerbouwbedrijf. (2020, Juni 16). Bodembewerking, poten en rugopbouw in één werkgang. *Akkerbouwbedrijf*.
- Beersma, J., Klein Tank, A., Bessembinder, J., van den Hurk, B., & Lenderink, G. (2014). *KNMI'14-klimaatscenario's Nederland; Leidraad voor professionals*. De Bilt: KNMI.
- Bijker, W., & Verstand, D. (2020). *Toepassing klimaatstresstest open teelten*. Wageningen.
- CBS. (2021, oktober 6). CBS. Opgehaald van CBS Statline:
<https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/7100oogs/table>
- Darwinkel, A., & Zwanepol, S. (1997). *Teelt van Wintertarwe*. Lelystad: Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt. Opgehaald van <https://edepot.wur.nl/216595>
- eOrganic. (2008, November 5). *Organic High Residue Reduced-Till Potato Production: Weed Em and Reap*. Opgehaald van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=Ac4Lo1NgA9c>
- Galema, T. (2021, Juli 21). Biologische Groenteteler. (E. v. Burgt, Interviewer)
- Government of Western Australia. (2017, December 13). *Managing temperature in potatoes to improve quality*. Opgehaald van Government of Western Australia; Department of Primary Industries and Regional Development; Agriculture and Food:
<https://www.agric.wa.gov.au/potatoes/managing-temperature-potatoes-improve-quality?page=0%2C1>
- Groten, J. (2021, Februari 15). Klimaattrendeffect op maïs. (D. Verstand, Interviewer)
- Kasper, G. (2017). *Teelt van sorghum als voedergras lijkt perspectiefvol in Nederland*. Wageningen: Wageningen Livestock Research.
- Klompe, J. (2021, September 27). Sorghum teelt. (E. van der Burgt, Interviewer)
- Klompe, J. (2021, September 27). Sorghum teelt. (E. v. Burgt, Interviewer)
- KNMI. (2021, mei 20). *KNMI*. Opgehaald van KNMI kennis en datacentrum:
<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/data-ophalen-vanuit-een-script>
- Kromann, P. (2021, Juni 10). Teeltmogelijkheden in aardappel om aan te passen aan klimaatverandering. (D. Verstand, Interviewer)
- Luo, Y., Reid, R., Freese, D., Li, C., Watkins, J., Shi, H., . . . Zhang, H. (2017). *Salt tolerance response revealed by RNA-Seq in a diploid halophytic wild relative of sweet potato*. *Scientific Reports* 7. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-017-09241-x>
- Maas, E. V., Hoffman, G. J., Chaba, G. D., Poss, J. A., & Shannon, M. C. (1983). Salt sensitivity of corn at various growth stages. *Irrigation Science volume* , 4(1), 45-57. doi:10.1007/BF00285556
- Peteroff, J. (2018). *De teelt van A tot Z - Zoete aardappel biologische teelt*. Delft: Tuinbouw & Agribusiness Inholland Hogeschool Delft.
- Schepers, H., & Lamers, J. (2011). *Kennisinventarisatie Sclerotinia: Inventarisatie bestaande kennis*. Lelystad: PPO AGV Lelystad.
- Shannon, M., & Grieve, C. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae* 78, 5-38.
- Sluijter, R., Plieger, M., van Oldenborgh, G. J., Beersma, J., & de Vries, H. (2018). *De droogte van 2018: een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort*. De Bilt: KNMI.
- van Bakel, P., Blom-Zandstra, M., & Stuyt, L. (2018). *Zouttolerantie van gewassen afhankelijk van het groeistadium?* Wageningen: De Bakelse Stroom; Wageningen Environmental Research; Wageningen Plant Research.
- van Buuren, W. (2021, November 15). Sorghum teelt. (E. van der Burgt, Interviewer)
- van Eekeren, N., & Deru, J. (2014, Februari). Sorghum droogtetolerant alternatief voor snijmaïs. *V-focus*, pp. 16 -17.
- Verstand, D., Bijker, W., & Simonse, D. (2021). *Klimatrisico 's en kansen in de open teelten*. Wageningen.
- Verstand, D., Schaap, B., Schoorlemmer, H., Wolf, P. De, van Balen, D., & Verhagen, J. (2020). *Klimaatadaptatie in de open teelten*. Wageningen.
- Waterschap Limburg. (2020, Mei 29). *Waterschap Limburg*. Opgehaald van Youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=JhWCtT6HmPY>

Correspondentie adres voor dit rapport:

Postbus 16
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/plant-research

Rapport WPR- 909

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research

Open Teelten

Edelhertweg 1

Postbus 430

8200 AK Lelystad

T (+31)320 29 11 11

www.wur.nl/openteelten

Rapport WPR-909

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
