

# **HET EFFECT VAN DE INMENGING VAN PSEUDOGRANEN OP DE DEEGREOLOGIE EN DE KWALITEITSPARAMETERS VAN TARWEBROOD**

Aantal woorden: 34871

Stéphanie Duquin

Stamnummer: 01705104

Promotor: Prof. dr. ir. Mia Eeckhout

Tutor: Ing. Phara De Bock

Masterproef voorgelegd voor het behalen van de graad master in de richting Master of Science in de biowetenschappen: voedingsindustrie

Academiejaar: 2019 - 2020





# **HET EFFECT VAN DE INMENGING VAN PSEUDOGRANEN OP DE DEEGREOLOGIE EN DE KWALITEITSPARAMETERS VAN TARWEBROOD**

Aantal woorden: 34871

**Stéphanie Duquin**

Stamnummer: 01705104

Promotor: Prof. dr. ir. Mia Eeckhout

Tutor: Ing. Phara De Bock

Masterproef voorgelegd voor het behalen van de graad master in de richting Master of Science in de biowetenschappen: voedingsindustrie

Academiejaar: 2019 - 2020



## **Auteursrechtelijke bescherming**

De auteur en promotor geven de toelating deze thesis voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de thesis te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperking van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting van de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze thesis.

The author and promotor give the permission to use this thesis for consultation and to copy parts of it for personal use. Every other use is subject to the copyright laws, more specifically the source must be extensively specified when using the results from this thesis.

25/05/2020

Auteur

Stéphanie Duquin

Promotor

Prof. dr. ir. Mia Eeckhout

Tutor

Ing. Phara De Bock

## Voorwoord

Al van kleins af groeide mijn passie voor voeding. Na mijn middelbare opleiding startte ik de opleiding Voedings- en dieetkunde aan de Hogeschool Gent. De nieuwe inzichten uit die opleiding kon ik gedurende twee jaar vol enthousiasme toepassen in het werkveld. Maar aan mijn nieuwsgierigheid was nog niet voldaan. Zo startte ik mijn opleiding biowetenschappen – voedingsindustrie aan de Universiteit Gent. Ik ontdekte de wereld van productie naast die van consumptie. Na deze uitdagende, interessante en leervolle jaren ben ik er rotsvast van overtuigd dat ik de juiste keuze heb gemaakt om de sector te betreden. Toen deze thesis in kader van het doctoraat van Phara De Bock werd uitgeschreven, was ik meteen enthousiast om met dit onderzoek mijn masterstudie af te sluiten. Na een jaar vol uitdaging en overgave kan ik nu met veel trots met dit werk de boeken sluiten. Ik kijk alvast vol energie uit naar de uitdagingen die in de toekomst op mij wachten.

Dankzij de hulp en steun van verschillende mensen heb ik deze thesis tot een goed einde kunnen brengen. Ik wil hierbij deze mensen uitvoerig bedanken. Vóór alles een grote dankbetuiging aan mijn tutor ing. Phara De Bock. Haar begeleiding hielp mij bij verschillende moeilijke vraagstukken in de juiste richting. Ook bij de verschillende testen en het verwerken van de resultaten kon ik steeds op haar hulp rekenen. Daarnaast mag ook prof. dr. ir. Mia Eeckhout niet ontbreken voor haar begeleiding van deze masterproef. Ook bij ing. Ingrid De Leyn, Marina Van Hecke en Griet Spaepen kon ik in het graanlabo steeds terecht voor welkome raad en daad. Verder zou ik ook graag prof. dr. ir. Filip Van Bockstaele en ing. Celeste Verbeke bedanken voor het bijkomend advies.

Natuurlijk mogen mijn ouders, Nicole en Johnny, niet in dit dankwoord ontbreken. Bedankt om mij de kans te geven om opnieuw te studeren en voor de steun hierbij. En tot slot mijn vriend, Bram Guldentops, voor jouw vele grapjes en lachbuien tijdens deze toch wel serieuze opleiding. Maar ook bedankt voor jouw grootste steun en motivatie bij het schrijven van de thesis en de hulp bij nalezen ervan.

Stéphanie

25/05/2020

## Abstract

Binnen de bakkerijsector is er een stijgende interesse om brood te verrijken met pseudogranen vanwege de nutritionele voordelen. Inmenging kan echter de broodkwaliteit beïnvloeden. Dit onderzoek streeft naar het verwerven van meer inzicht in het effect hiervan. Er werden twee commerciële quinoa-, amarant- en boekweitstalen onderzocht. Hierdoor werd de variabiliteit zowel tussen als binnen de types pseudogranen nagegaan. Daarnaast werd er steeds 5, 15 of 30 % van de hoeveelheid tarwebloem ingemengd.

Eerst werden de verschillen in functionele eigenschappen bestudeerd, daarna de effecten van inmenging op de deegreologie en de broodkarakteristieken. Het zwelvermogen, het waterabsorberend vermogen en de verstijfselingseigenschappen zijn sterk afhankelijk van het type pseudograan. De stabiliteit, extensibiliteit en baksterkte van het deeg verlaagde naargelang een hoger inmengpercentage. Verder daalde de ovenrijs, het specifiek volume en de kwaliteit van de kruimstructuur van het brood. Het gewicht steeg door een dalende *bake loss*. Bij de 30 % inmengingen was er een lager vochtverlies en *staling index* over drie dagen, wat interessant kan zijn naar de fysicochemische houdbaarheid toe. Anderzijds steeg de kruimhardheid en de andere textuureigenschappen gingen achteruit. Het inmengen kan bijgevolg de acceptatie van de consument negatief beïnvloeden.

Daarnaast werd de mogelijkheid nagegaan om de moutadditie bij de baktesten met pseudograanmeel te standaardiseren via het valgetal. Bij boekweit- en quinoamengsels resulteerde de aanbevolen moutadditie in valgetallen tussen 200-300 s, bij amarantmengsels niet. Verder had moutadditie op bepaalde broodkarakteristieken een invloed, zoals op het kruimvochtgehalte, het vochtverlies en enkele textuurparameters zoals de *adhesiveness*, *cohesiveness* en *resilience*.

**Kernwoorden:** *pseudogranen, functionele eigenschappen, deegreologie, broodkwaliteit, moutadditie*

## **Abstract**

Within the bakery sector, there is an increasing interest to enrich bread with pseudocereals because of the nutritional benefits. However, this can affect bread quality. This research aims to gain more insight into this effect. Two commercial quinoa, amaranth and buckwheat samples were assessed. This examined the variability both inter and intra pseudocereal species. In addition, 5, 15 or 30 % of the amount of wheat flour was mixed in for each sample.

First, the differences in functional properties were studied, then the effects of enrichment on dough rheology and bread characteristics. The swelling power, the water absorption capacity and the pasting properties strongly depend on the type of pseudocereal. The stability, extensibility and baking strength of the dough decreased according to a higher percentage of addition. Furthermore, the oven rise, the specific volume and the quality of the crumb structure of the bread decreased. The weight increased due to a decreasing bake loss. At 30 % enrichment there was a lower loss of moisture and staling index over three days, which may be interesting with regards to the physicochemical shelf life. On the other hand, the crumb hardness increased and the other texture properties deteriorated. The enrichment can therefore have a negative effect on consumer acceptance.

In addition, the possibility of standardizing the malt addition in baking tests with pseudocereal flours was investigated via the falling number. For mixtures of buckwheat and quinoa, the recommended malt addition resulted in falling numbers between 200-300 s. For mixtures of amaranth it did not. Furthermore, malt addition had an influence on certain bread characteristics, such as the crumb moisture content, loss of moisture and some texture parameters like adhesiveness, cohesiveness and resilience.

**Keywords:** *pseudocereals, functional properties, dough rheology, bread quality, malt addition*

# Inhoudsopgave

<b>Lijst met afkortingen</b>	<b>VI</b>
<b>Lijst met figuren</b>	<b>VIII</b>
<b>Lijst met tabellen</b>	<b>XI</b>
<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>1 Literatuurstudie</b>	<b>3</b>
1.1 De definitie van pseudogranen	3
1.2 De herkomst en hedendaagse toepassing	4
1.2.1 Quinoa	4
1.2.2 Amarant	4
1.2.3 Boekweit	4
1.3 Eigenschappen van tarwe en pseudogranen	4
1.3.1 Chemische en nutritionele eigenschappen	4
1.3.2 Functionele eigenschappen van het zetmeel	6
1.4 Deegstelsel	10
1.4.1 Modeldeegstelsel: tarwedeg	10
1.4.2 Invloed van inmenging met pseudograanmeel op tarwedeg	12
1.5 Broodstelsel	16
1.5.1 Modelbroodstelsel: tarwebrood	16
1.5.2 Invloed van inmenging met pseudograanmeel op tarwebrood	18
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>24</b>
2.1 Probleem- en doelstelling	24
2.2 Proefopzet	24
2.3 Analyse materiaal	25
2.4 Tarwebloem- en meelkarakteristieken	26
2.4.1 Chemische samenstelling	26
2.4.2 Zwelvermogen	26
2.4.3 Waterabsorberend vermogen	27
2.4.4 Verstijfselingsgedrag van zetmeel	27
2.4.5 Valgetal van Hagberg	28



2.5	Deegkarakteristieken	29
2.5.1	Kneedeigenschappen: farinograaf	29
2.5.2	Visco-elastische eigenschappen: alveograaf	29
2.6	Broodkarakteristieken	29
2.6.1	Broodbereiding	29
2.6.2	Ovenrijs	31
2.6.3	Volume, gewicht en specifiek volume	31
2.6.4	Bake loss	31
2.6.5	Surface browning	31
2.6.6	Korst- en kruimkleur	32
2.6.7	Gasceldistributie kruim	32
2.6.8	Texture profile analysis	33
2.6.9	Fysicochemische houdbaarheid	33
2.6.10	Wateractiviteit kruim	34
2.7	Statistische verwerking van de data	34
<b>3</b>	<b>Resultaten en bespreking</b>	<b>36</b>
3.1	Tarwebloem- en meelkarakteristieken	36
3.1.1	Chemische samenstelling	36
3.1.2	Zwilvermogen	36
3.1.3	Waterabsorberend vermogen	38
3.1.4	Verstijfselingsgedrag van zetmeel	39
3.1.5	Valgetal van Hagberg	47
3.1.6	Tussentijds besluit	50
3.2	Deegkarakteristieken	52
3.2.1	Reologische eigenschappen	52
3.2.2	Tussentijds besluit	61
3.3	Broodkarakteristieken	62
3.3.1	Ovenrijs	62
3.3.2	Gewicht en specifiek volume	64
3.3.3	Bake loss	68

3.3.4	Surface browning	69
3.3.5	Korstkleur	70
3.3.6	Kruimkleur	72
3.3.7	Gasceldistributie kruim	74
3.3.8	Fysicochemische houdbaarheid	78
3.3.9	Wateractiviteit kruim	86
3.3.10	Texture profile analysis	87
3.3.11	Tussentijds besluit	99
<b>4</b>	<b>Algemene discussie</b>	<b>102</b>
4.1	Inmengingen	102
4.2	Moutadditie	107
<b>5</b>	<b>Besluit</b>	<b>110</b>
5.1	Voornaamste bevindingen	110
5.2	Aanbevelingen	112
	<b>Bibliografie</b>	<b>113</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>121</b>

## Lijst met afkortingen

<i>Afkorting</i>	<i>Anderstalige betekenis</i>	<i>Nederlandse betekenis</i>
AACCI	American Association of Cereal Chemists, International	-
AF10	-	Afzwakking 10 min na start
AF12	-	Afzwakking 12 min na maximum
AMA	-	Aanbevolen moutadditie
$a_w$	water activity	wateractiviteit
BD	Breakdown	Afbraak
BE	Brabender Units	Brabender-eenheden
CLG	Cross-linked gluten network	Verbonden glutennetwerk
CMA	-	Gecorrigeerde moutadditie
DDS	Degree of dough softening	Deegafzwakking
DO-tijd	-	Deegontwikkelingstijd
DP	Degree of polymerisation	Polymerisatiegraad
ds	dry matter	drogestof
DSC	Differential scanning calorimetry	Dynamische differentiecalorimetrie
FAO	Food and Agriculture Organization	Voedsel- en Landbouworganisatie
FG	Fibrous gluten network	Fibreus glutennetwerk
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy	Fourier getransformeerde infraroodspectroscopie
FV	Final viscosity	Finale viscositeit
Gem GCopp	-	Gemiddelde gasceloppervlakte
HMW-GP	High Molecular Weight glutenin polymers	Gluteneinepolymeren met een hoog moleculair gewicht
HS	Holding strength	-
ICC	International Association for Cereal Science and Technology (ICC)	-
$I_e$	Elasticity index	Elasticiteitsindex
ISO	International Organization for Standardization	Internationale Organisatie voor Standaardisatie
KTR	-	Kortetermijnretrogradatie
L	Extensibility	Extensibiliteit
LMW-GP	Low molecular weight glutenin polymers	Gluteneinepolymeren met een laag moleculair gewicht
LN	Liquefaction Number	Vervloeiingsgetal
LTR	Long-term retrogradation	Langetermijnretrogradatie
NZP	-	Niet-zetmeelpolysachariden

<i>Afkorting</i>	<i>Anderstalige betekenis</i>	<i>Nederlandse betekenis</i>
P	Tenacity	Tenaciteit
P/L	Configuration ratio	Configuratie verhouding
PV	Peak viscosity	Piekviscositeit
R <sup>2</sup>	Coefficient of determination	Determinatiecoëfficiënt
RBD	Relative breakdown	Relatieve afbraak
REL GCopp	-	Relatieve gasceloppervlakte
REL [>100]	-	Relatief aantal gascellen groter dan 100 pixels <sup>2</sup>
SB	Setback viscosity	-
SB <sub>p</sub>	Setback from peak	-
SB <sub>t</sub>	Total setback	-
SEM	Cryo-Scanning Electron Microscope	Elektronenmicroscopie
stab.	-	stabiliteit
T <sub>G</sub>	Gelatinization temperature	Verstijfselingstemperatuur
Tot #GC	-	Totale aantal gascellen
TPA	Texture profile analysis	Textuur profielanalyse
T <sub>piek</sub>	-	Piektemperatuur
SEM	Scanning Electron Microscope	Elektronenmicroscopie
VG AMA	-	Valgetal bij aanbevolen moutadditie
VG CMA	-	Valgetal bij gecorrigeerde moutadditie
VG0	-	Valgetal met 0 % mout
VG1	-	Valgetal met 1 % mout
W	Deformation work	Baksterkte
WA	-	Waterabsorptie
WHO	World Health Organization	Wereldgezondheidsorganisatie
%D VG	-	Procentuele daling van het valgetal

## Lijst met figuren

Figuur 1: Botanische classificatie van tarwe en pseudogranen (Haros & Schoenlechner, 2017) .....	3
Figuur 2: Een vereenvoudigd (A) en gedetailleerd (B) model van het deeg (Eliasson & Larsson, 1993).....	10
Figuur 3: Een SEM-afbeelding van een gerezen deeg met uitgelijnde glutenstrengen (A) en de eindstructuur van de schuimlamellen in het deeg (B) (Eliasson & Larsson, 1993).....	11
Figuur 4: SEM-afbeeldingen van tarwedeege verrijkt met 0 % (QB0), 5 % (QB5), 10 % (QB10) en 15 % quinoameel (QB15) (Xu e.a., 2019).....	13
Figuur 5: Schematische beschrijving van secundaire conformationele veranderingen in tarwegluten voor en na toevoeging van quinoameel via onderzoek met FTIR (Xu e.a., 2019) .....	14
Figuur 6: Een vereenvoudigd model van de structuur van broodkruim (A) en een SEM-afbeelding van het gedeeltelijk-verstijfseld zetmeel in de gascelwand (B) (Eliasson & Larsson, 1993).....	17
Figuur 7: Analyse van de poreusheid van tarwebrood verrijkt met 0 % (QB0), 5 % (QB5), 10 % (QB10) en 15 % quinoameel (QB15) via een <i>C-cell food imaging system</i> (Xu e.a., 2019)	20
Figuur 8: Verschillende stappen in de beeldanalyse met <i>BreadAnalyzer</i> .....	32
Figuur 9: Het zwelvermogen van de pseudograanmelen op 55, 65, 75, 85 en 95 °C. Significante verschillen tussen de stalen, opgemeten bij dezelfde temperatuur, worden aangeduid met een verschillende letter. ....	37
Figuur 10: Het waterabsorberend vermogen van de pseudograanmelen. Significante verschillen tussen de stalen worden aangeduid met een verschillende letter. ....	38
Figuur 11: Het verstijfselingsgedrag van de 100 % pseudograanmelen vergeleken met Epi B .....	40
Figuur 12: Het verstijfselingsgedrag van de stalen (5, 15, 30 en 100 %) vergeleken met Epi B .....	45
Figuur 13: Het kneedgedrag van de quinoa- en amarantstalen (5, 15 en 30 %) vergeleken met Epi B.....	56
Figuur 14: Effect van de inmengingen (5, 15 en 30 %) van de pseudograanmelen op het kneedgedrag van Epi B .....	56
Figuur 15: Het kneedgedrag van de boekweitstalen (5, 15 en 30 %) vergeleken met Epi B... ..	57
Figuur 16: De visco-elastische eigenschappen per inmengpercentage (30, 15 en 5 %) van de stalen vergeleken met Epi B.....	60

Figuur 17: De ovenrijs van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter. ....	62
Figuur 18: Het gewicht en specifiek volume van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen worden aangeduid met een verschillende letter. ....	66
Figuur 19: Het gewicht en specifiek volume van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen worden aangeduid met een verschillende letter. ....	67
Figuur 20: De <i>bake loss</i> van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter. ....	68
Figuur 21: De <i>surface browning</i> van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter. ....	69
Figuur 22: De korstkleur van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter. ....	71
Figuur 23: De kruimkleur van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter. ....	73
Figuur 24: Het totale aantal gascellen (tot #GC) en de gemiddelde gasceloppervlak (gem GCopp) van de stalen (5, 15 en 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter. ....	76
Figuur 25: De relatieve gasceloppervlakte (REL GCopp) en het relatief aantal gascellen groter dan 100 pixels <sup>2</sup> (REL [ $> 100$ ]) van de stalen (5, 15 en 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter. ....	77
Figuur 26: Het vochtgehalte van het broodkruim op dag 0, 1 en 3 en het vochtverlies over 3 dagen van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	80
Figuur 27: Het vochtgehalte van het broodkruim op dag 0, 1 en 3 en op het vochtverlies over 3 dagen van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	81

Figuur 28: De kruimhardheid (op dag 0, 1 en 3) en <i>staling index</i> ( <i>D1</i> en <i>D3</i> ) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	84
Figuur 29: De kruimhardheid (op dag 0, 1 en 3) en <i>staling index</i> ( <i>D1</i> en <i>D3</i> ) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	85
Figuur 30: De wateractiviteit van het broodkruim van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter. ....	86
Figuur 31: De <i>adhesiveness</i> (op dag 0, 1 en 3) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	88
Figuur 32: De <i>adhesiveness</i> (op dag 0, 1 en 3) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	89
Figuur 33: De <i>springiness</i> (op dag 0, 1 en 3) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	91
Figuur 34: De <i>springiness</i> (op dag 0, 1 en 3) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	92
Figuur 35: De <i>cohesiveness</i> (op dag 0, 1 en 3) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	94
Figuur 36: De <i>cohesiveness</i> (op dag 0, 1 en 3) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	95
Figuur 37: De <i>resilience</i> (op dag 0, 1 en 3) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	97
Figuur 38: De <i>resilience</i> (op dag 0, 1 en 3) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter. ....	98

## Lijst met tabellen

Tabel 1: Chemische samenstelling van tarwe, quinoa, amarant en boekweit (Wrigley e.a., 2017) .....	5
Tabel 2: De aangewende meelstalen met hun afkortingen.....	25
Tabel 3: Eiwit-, vet- en asgehalte (%/ds) voor de zes stalen en Epi B.....	36
Tabel 4: Overzicht van de verstijfselingsparameters van Epi B en de 100 % pseudograanmelen .....	40
Tabel 5: Overzicht van de valgetallen en moutaddities van Epi B en de 30 % mengsels.....	47



## Inleiding

Onder druk van de overheid en de consument zet de voedingsindustrie de laatste jaren sterk in op het ontwikkelen van voedingsmiddelen met een verbeterende nutritionele samenstelling. Binnen de graanindustrie is er daarom een toegenomen interesse in de verwerking en incorporatie van pseudogranen. Het gebruik van pseudogranen biedt veel potentieel daar ze een bron zijn van hoogwaardige eiwitten, voedingsvezels en onverzadigde vetten. Daarnaast is er een groeiende marktvaart naar pseudogranen omwille van de huidige trend in de bakkerij-industrie om tarwebloem te verrijken met niet-traditionele granen. Naast hun interessante nutritionele waarde, kunnen ze innovatie en diversiteit in het aangeboden gamma aan graanproducten creëren.

Verschillende functionele en technologische eigenschappen in vergelijking met tarwe bemoeilijken het toepassen van pseudogranen in graanproducten. Zo kan inmenging van pseudogranen de broodkwaliteit beïnvloeden. Welke effecten pseudogranen precies in brood teweegbrengen is tot op heden relatief weinig onderzocht. Bijgevolg wendt de hedendaagse bakkerijsector weinig pseudogranen aan in de broodbereiding. Het **doel** van deze masterproef is dus meer inzicht verwerven in de impact van inmenging van pseudogranen op de kwaliteit van brood. Hierbij zullen er drie pseudogranen bestudeerd worden, namelijk quinoa, amarant en boekweit. De verwerkbaarheid van het deeg en de productkwaliteit van het brood worden bestudeerd bij verschillende inmengratio's van elk pseudograan.

In deze masterproef wordt geen onderzoek verricht naar oplossingen en methoden om tot een kwalitatief brood te komen. De insteek van dit onderzoek is echter het starten vanuit een goed modelsysteem, namelijk tarwebrood. De effecten van de **inmenging** van pseudograanmeel worden bestudeerd en verklaard op basis van vergelijking met dat modelsysteem. Daarbij wordt onderzocht of verschillen in functionele eigenschappen en deegreologie een invloed hebben op broodkarakteristieken. Er worden twee commerciële quinoa-, amarant- en boekweitstalen onderzocht. Hierdoor wordt de variabiliteit zowel tussen als binnen de types pseudogranen nagegaan. Daarnaast worden er steeds drie verschillende percentages pseudograanmeel ingemengd, namelijk 5 %, 15 % en 30 % van de hoeveelheid tarwebloem. De experimenten tonen op die manier aan vanaf welk inmengpercentage een effect in het modelsysteem veroorzaakt wordt.

Voor de baktesten wordt gewerkt met een standaardreceptuur met aangepaste waterabsorptie waarbij de inmengpercentages aan pseudogranen variëren. Dit maakt het mogelijk om verschillen in de resultaten eenduidiger toe te schrijven aan de inmenging. Alles wat in de broodbereiding bijkomstig wijzigt, kan een effect hebben op de resultaten. Zo is het van belang om te standaardiseren naar gelijke mate van  $\alpha$ -amylaseactiviteit. De standaardbakproef met tarwebloem wordt gestandaardiseerd via **moutadditie** volgens het valgetal. Door middel van moutadditie wordt getracht om de mogelijke effecten van een te lage  $\alpha$ -amylaseactiviteit, zoals

een klein broodvolume en een te droge kruim, te voorkomen. Aangezien pseudogranen andere eigenschappen hebben dan tarwebloem, leidt dit tot een tweede onderzoeksvraag, namelijk 'Kan de hoeveelheid moutadditie bij pseudograanmeelmengsels bepaald worden via het valgetal?'. Daarnaast zal het effect van deze moutadditie op de broden met pseudograanmeel bestudeerd worden.

De masterproef is opgebouwd uit vijf delen. Het **eerste deel** omvat de literatuurstudie dat dieper ingaat op de chemische en functionele eigenschappen van pseudogranen. Vervolgens wordt het modelsysteem uitvoerig bestudeerd, namelijk tarwedeeg en -brood. Tenslotte wordt de huidige kennis omtrent de invloed van inmenging met pseudogranen in tarwedeeg en -brood gebundeld.

Nadien wordt in het **tweede deel** 'materiaal en methoden' de probleem- en doelstelling opgesteld. Dan volgt de toelichting van de proefopzet. Het onderzoek bestaat uit 3 luiken, namelijk bloem-, deeg- en broodniveau. In het eerste luik worden de karakteristieken van tarwebloem en pseudograanmeel bestudeerd. Hierbij worden de chemische samenstelling en de functionele eigenschappen van tarwebloem en pseudograanmeel geanalyseerd. Die analyse bestaat uit de volgende experimenten: het verstijfselingsgedrag, het zwelvermogen, het waterabsorberend vermogen en de enzymactiviteit het meel. In het tweede luik volgt de analyse van de invloed van inmenging op tarwedeeg. Hierbij ligt de focus op de deegreologie waarbij de kneedeigenschappen en de visco-elastische eigenschappen bestudeerd worden. In het derde luik wordt de invloed van inmenging met pseudograanmeel op tarwebrood onderzocht. Zo komen de karakterisatie van de gasceldistributie en textuur van het kruim aan bod. Ook het specifiek volume, het gewicht, de *surface browning*, de ovenrijs en de *bake loss* worden opgemeten. De houdbaarheid wordt bestudeerd via de *staling index*, het vochtverlies en de wateractiviteit van het kruim. Via **statistische analyse** van de data worden de significante verschillen tussen het tarwestaal en de inmengpercentages van de pseudograanstalen achterhaald. Daarnaast worden correlaties onderzocht tussen de deeg- en de broodkarakteristieken.

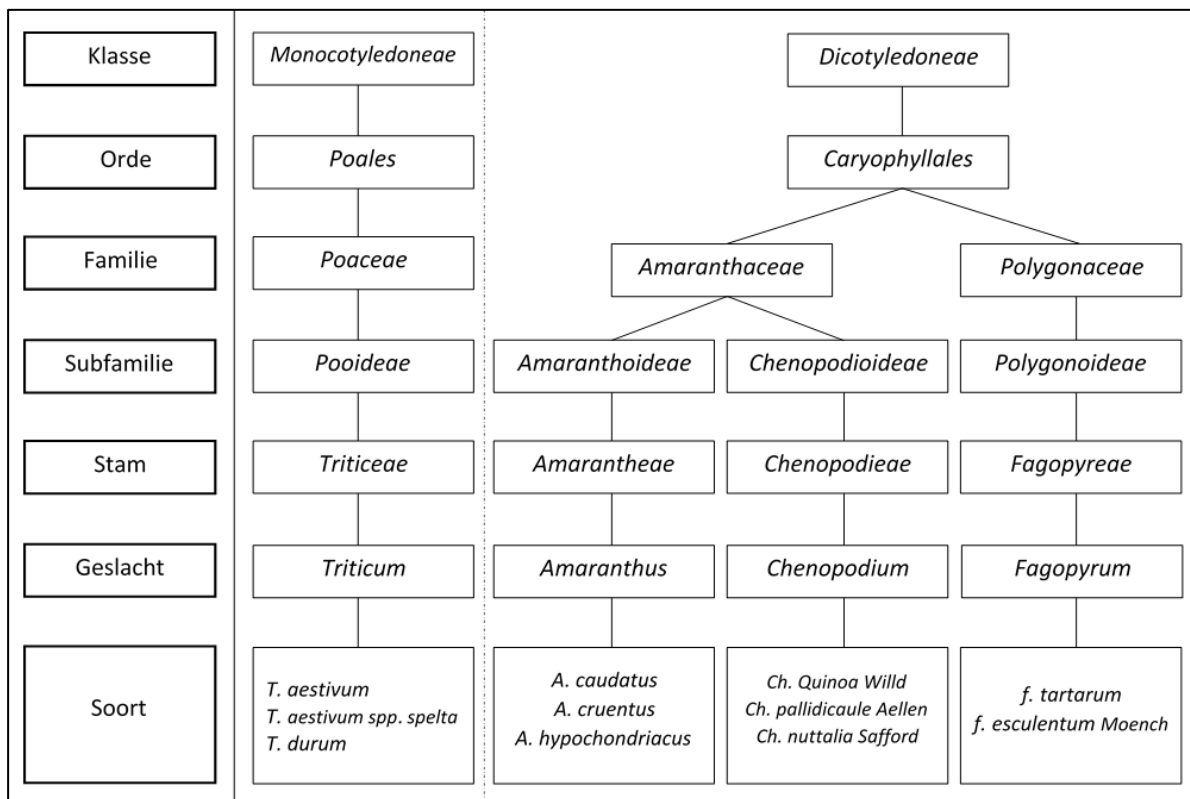
Nadien volgt **het derde deel**, 'resultaten en bespreking', waar de resultaten worden geïnterpreteerd met na elk luik een tussentijds besluit. **In het vierde deel**, 'algemene discussie', worden de verschillende tussentijdse besluiten onderling met elkaar in verband gebracht. Finaal vormen het overzicht van de voornaamste bevindingen en aanbevelingen geformuleerd op basis van de literatuurstudie en de waarnemingen gezamenlijk het besluit **in het vijfde deel**.

# 1 Literatuurstudie

## 1.1 De definitie van pseudogranen

Pseudogranen zijn een groep niet-grassen die gelijkaardige toepassingen kennen als ‘echte’ granen (*Monocotyledoneae* of eenzaadlobbige grassen). Ze leveren zetmeelrijke korrels met gelijkaardige eigenschappen als granen, waardoor ze onder meer vermalen kunnen worden tot meel voor de productie van brood en andere afgeleide graanproducten (Meghwal & Goyal, 2017; Švec, Hrušková, Kapačinskaitė, & Hofmanová, 2019; Wrigley, Corke, & Walker, 2004). Omwille van die gelijkaardige verwerkingsprocessen in de voedingsindustrie worden pseudogranen vaak foutief benoemd als ‘echte’ granen. Botanisch worden deze pseudogranen echter toegewezen aan de klasse ‘tweezaadlobbige planten’ (*Dicotyledoneae*). De samengang van de gelijkaardige eigenschappen van de zetmeelrijke korrels met die van ‘echte’ granen, maar de verschillende botanische classificatie, leveren quinoa, amarant en boekweit de naam ‘pseudograan’ op (Campbell, 1997; Wrigley, Batey, & Miskelly, 2017; Wrigley e.a., 2004).

Figuur 1 toont de botanische classificatie, en dus de splitsing, van tarwe en de drie besproken pseudogranen. Amarant en quinoa zijn nauw verwant met elkaar, aangezien beide tot de familie ‘*Amaranthaceae*’ behoren. Boekweit valt daarentegen onder de familie ‘*Polygonaceae*’ (Wrigley e.a., 2017).



**Figuur 1:** Botanische classificatie van tarwe en pseudogranen (Haros & Schoenlechner, 2017)

## 1.2 De herkomst en hedendaagse toepassing

Sinds enkele decennia is er een verhoogde interesse in de pseudogranen. De twee belangrijkste redenen voor de toename van het gebruik van pseudogranen zijn hun goede gebalanceerde nutritionele samenstelling en hun potentiële technologische eigenschappen. Net zoals in granen bevindt zich een grote hoeveelheid zetmeel in pseudogranen, wat het gebruik in zetmeelgebaseerde producten mogelijk maakt (Wrigley e.a., 2017).

### 1.2.1 Quinoa

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) wordt sedert de oudheid geteeld in de Andesregio in Zuid-Amerika. De belangrijke producerende landen zijn vandaag Bolivia, Peru en Ecuador. Onder de quinoasoorten bestaan er zoete en bittere variëteiten, afhankelijk van het gehalte aan saponinen. Een quinoasoort valt onder de zoete variëteiten indien het saponinegehalte onder 0,11 % ligt (Wrigley e.a., 2017). Onder de toepassingen van quinoameel bevinden zich tarwegebaseerde en glutenvrije bakkerijproducten (brood, gebak), soep en ontbijtgranen (Jancurová, Minarovičová, & Dandár, 2009).

### 1.2.2 Amarant

De amarantplant (*Amaranthus spp.* L) werd geteeld en geconsumeerd door de oude beschavingen van Azteken, Maya's en Inca's. Na de kolonisatie van Amerika daalde de consumptie van amarant. In het heden wordt amarant voornamelijk in de tropische gebieden van Zuid-Amerika, Afrika en Azië geproduceerd. Potentiële producten om amarant toe te passen zijn gebakken (brood, cake), gepofte en geëxtrudeerde producten (Tömösközi e.a., 2011).

### 1.2.3 Boekweit

Vanuit landbouwkundig oogpunt bestaan doorgaans twee geteelde variëteiten van boekweit: de gewone boekweit (*Fagopyrum esculentum* Mönch) en de Franse boekweit (*F. tartaricum*). Boekweit komt oorspronkelijk uit China en vandaag zijn de grootste producerende landen o.a. China, Japan, India en Rusland. Het gebruik van boekweitmeel wordt steeds populairder in bijvoorbeeld brood, pasta, pannenkoeken, koekjes en cake (Stefan, Voicu, Constantin, Ipate, & Munteanu, 2018; Zanoletti e.a., 2017).

## 1.3 Eigenschappen van tarwe en pseudogranen

### 1.3.1 Chemische en nutritionele eigenschappen

Zowel bij tarwe als bij pseudogranen verschilt de chemische samenstelling aanzienlijk naargelang de soort, omgevingsomstandigheden, cultivatiecondities en analysemethodes (Schoenlechner, 2016). Bijgevolg moeten gerapporteerde waarden eerder als representatief dan als volledig worden beschouwd (Tömösközi e.a., 2011). Tabel 1 beschrijft de chemische samenstelling van tarwe, quinoa, amarant en boekweit. Het gehalte van bepaalde componenten kan verschillen van deze van tarwe (zie verder). Belangrijker is het feit dat hun afzonderlijke

componenten soms van hoge nutritionele kwaliteit kunnen zijn (Wrigley e.a., 2017). Wegens hun kleine korrelgrootte worden de volledige korrels vermalen in integraalmeel (Haros & Schoenlechner, 2017). Bij de vermaling van tarwekorrels kunnen componenten van de zemel en kiem verwijderd worden. Bij geraffineerde tarwebloem gaat hierdoor een groot deel aan voedingsstoffen verloren zoals vitamines, mineralen, lysine, fytochemicalieën en voedingsvezels (Srichuwong e.a., 2017; Xu, Luo, Yang, Xiao, & Lu, 2019). Het gedeeltelijk vervangen van geraffineerd tarwebloem door pseudograanmeel vangt deels dit tekort in voedingswaarde op (Sayed, Sakr, & Hassan, 2016).

**Tabel 1:** Chemische samenstelling van tarwe, quinoa, amarant en boekweit (Wrigley e.a., 2017)

	<b>Eiwit</b> (% ds)	<b>Vet</b> (% ds)	<b>Zetmeel</b> (% ds)	<b>Tot vezels</b> (% ds)	<b>As</b> (% ds)	<b>Tot FC</b> (mg/100 g ds)
<b>Tarwe</b>	13,04	1,68	52,20	11,99	1,76	505,1
<b>Quinoa</b>	12,18	7,73	57,18	12,75	2,72	284,5
<b>Amarant</b>	14,74	6,33	58,38	12,67	2,95	95,8
<b>Boekweit</b>	11,45	2,19	77,37	6,65	2,34	860,9

ds: drogestof; tot vezels: totale voedingsvezels; tot FC: totale fenolische componenten (mg ferulazuurequivalenten /100 g ds)

In tarwe behoort 80 tot 85 % van de totale eiwitten tot de gluten. Gluten, ofwel gliadines en glutenines, komen voornamelijk voor in het endosperm van de tarwekorrel. Gluten zijn opgebouwd uit gluteninesubeenheden die via disulfidebindingen zijn gekoppeld. Van de totale eiwitten in tarwe zijn 15 tot 20 % niet-gluteneiwitten, ofwel globulines en albumines. Deze komen vooral voor in de buitenste lagen van de tarwekorrel met lagere concentraties in het endosperm (Goesaert e.a., 2005). In tegenstelling tot de granen, zijn globulines en albumines de belangrijkste eiwitten in pseudogranen. Ze bevatten slechts zeer kleine hoeveelheden gliadinen en glutenines (Wrigley e.a., 2017).

Pseudogranen hebben een vergelijkbaar eiwitgehalte als de granen. De voedingswaarde van de eiwitfractie leunt voor pseudogranen dichter aan bij deze van peulvruchten. Bovendien is deze hoger in vergelijking met de granen. In het bijzonder hebben quinoa en amarant een veel hoger gehalte aan bepaalde essentiële aminozuren dan de granen, namelijk lysine, arginine, tryptofaan en zwavelhoudende aminozuren. Het gebalanceerd aminozuurprofiel van amarant en quinoa benadert het optimale eiwitreferentiepatroon voor menselijke voeding volgens de vereisten van de *Food and Agriculture Organization* (FAO) en *World Health Organization* (WHO) (Wrigley e.a., 2017). Quinoa is rijk aan histidine, threonine en methionine, terwijl granen hierin deficiënt zijn (Xu e.a., 2019). De aminozuursamenstelling van de boekweiteiwitten is ook van een hoger biologische waarde dan de tarwe-eiwitten, namelijk boven 90 % (Christa & Soral-Smietana, 2008). De boekweiteiwitten zijn rijk aan lysine en arginine, terwijl het gehalte aan methionine en threonine laag is (Christa & Soral-Smietana, 2008). Door pseudogranen met andere granen te mengen, kan een evenwichtig aminozuurprofiel worden bekomen (Haros & Schoenlechner, 2017).

De hoeveelheid vet in boekweit is vergelijkbaar met die van granen, maar in amarant en quinoa is die ongeveer drie tot vier keer hoger. Over het algemeen is het gehalte aan essentiële vetzuren zeer hoog in de drie pseudogranen (Wrigley e.a., 2017). Zo bevat quinoa een relatief hogere hoeveelheid aan linoleenzuur en linolzuur (Xu e.a., 2019). Bovendien bevat amarant een significant hogere hoeveelheid squaleen welke de serumcholesterol zou kunnen verlagen (Schoenlechner & Bender, 2020).

Net zoals in granen bevindt zich een grote hoeveelheid zetmeel in pseudogranen. Verder bevatten pseudogranen vergelijkbare hoeveelheden voedingsvezels als granen en vertonen ze eveneens een grote variatie aan voedingsvezels tussen de soorten (Schoenlechner & Bender, 2020; Wrigley e.a., 2017). Producten op basis van integraalmeel kunnen bijdragen aan een voedingspatroon rijk aan vezels, welke gunstig is voor de gezondheid (Haros & Schoenlechner, 2017).

Pseudogranen zijn een uitstekende bron van micronutriënten zoals mineralen en vitaminen. Zo zijn ze bijzonder rijk aan calcium, magnesium, ijzer, kalium en zink. Wat betreft vitaminen zijn foliumzuur, riboflavine en tocoferolen overvloedig aanwezig. Vooral quinoa en boekweit kunnen aanzienlijke hoeveelheden fenolische componenten bevatten, zoals ferulazuur. Deze kunnen gezondheidsbevorderend werken door hun antioxidant vermogen (Wrigley e.a., 2017). Bijvoorbeeld rutine is een flavonoïde dat o.a. de bloeddruk en het incidenteel risico op arteriosclerose zou kunnen verlagen (Nedeljković e.a., 2014).

### *1.3.2 Functionele eigenschappen van het zetmeel*

Het zetmeel van pseudogranen verschilt in functionele eigenschappen in vergelijking met het zetmeel van granen. Dit is voornamelijk het gevolg van het verschil in chemische samenstelling en zetmeleigenschappen (Wrigley e.a., 2017; Zhu & Liu, 2020).

#### *1.3.2.1 Structuur en kristalliniteit van het zetmeel*

Zetmeelgranules in amarant en quinoa zijn buitengewoon klein (Wrigley e.a., 2017). Quinoa heeft zetmeelgranules die in grootte variëren van 1,0 tot 1,5  $\mu\text{m}$  en amarant van 1,0 tot 3,5  $\mu\text{m}$  (Lindeboom, Chang, Falk, & Tyler, 2005; Sjöo & Nilsson, 2018; Tosi e.a., 2002). Bij boekweit varieert de grootte van 3,7 tot 8,8  $\mu\text{m}$  en zijn deze gemiddeld 6,5  $\mu\text{m}$  (Sangeeta & Grewal, 2018b; Sjöo & Nilsson, 2018). Tarwezetmeel bevat naast kleine granules (2–8  $\mu\text{m}$ ), ook grote granules van 10 tot 40  $\mu\text{m}$  (Srichuwong e.a., 2017).

Natief zetmeel komt voor als semi-kristallijne granules. Het bevat lineair amylose en sterk vertakte amylopectine. De buitenste vertakte ketens van amylopectine zijn verstrengeld in dubbel-helixvormige structuren welke dicht opeengepakt zijn in kristallijne clusters. De clusters bevatten afwisselend amorfe en kristallijne lamellen. De kristalliniteit van zetmeel daalt bij een hoger amylosegehalte (Nivelle e.a., 2019; Srichuwong & Jane, 2007).

Het gehalte aan amylose in de zetmeelgranules van quinoa en amarant is erg laag, doorgaans onder 10 % (Wrigley e.a., 2017). Het amylosegehalte van quinoa en amarant kan echter variëren van respectievelijk 3,5 tot 22 % en 0,1 tot 11,1 % (Valcárcel-Yamani & Lannes, 2012). Het amylosegehalte van boekweit is meestal hoog. Deze kan variëren van 15 tot 52 % (Christa & Soral-Smietana, 2008; Qian, Rayas-Duarte, & Grant, 1998).

### 1.3.2.2 Zetmeelverstijfseling

Wanneer de zetmeelgranules in een overmaat aan water verhit worden, zwellen de granules en verliezen ze hun kristalliniteit en moleculaire ordening. In deze toestand is het zetmeel verstijfseld. De amylopectinekristallen zijn gesmolten en de geassocieerde endothermische enthalpieverandering (via *differential scanning calorimetry* of DSC) reflecteert de kristalliniteit van het zetmeel. Tijdens granulaire zwelling worden de waterstofbruggen tussen de zetmeelketens gedissocieerd en vervangen door waterstofbruggen met opgenomen watermoleculen, wat resulteert in een viscositeitsstijging (Nivelle e.a., 2019; Srichuwong & Jane, 2007).

Li, Wang en Zhu (2016) en Lindeboom e.a. (2005) stelden vast dat het zwelvermogen en de uitloging van amylose veel lager was indien het zetmeel van quinoa een hoger amylosegehalte had. Dit kan het gevolg zijn van de sterke interacties en verbindingen tussen amylose en de buitenste ketens van amylopectine in de zetmeelgranules. Deze verstrengeling tussen amylose en amylopectine kan versterkt worden door endogene lipiden zoals fosfolipiden. Die lipiden kunnen helixvormige inclusiecomplexen vormen met amylose en met de lange ketens van amylopectine (Debet & Gidley, 2006; Srichuwong & Jane, 2007). Amylosemoleculen en de amylose-lipidecomplexen versterken dus het interne netwerk in de zetmeelgranule. Daarnaast werken de *in situ* amylose-lipidecomplexen, zowel aan de oppervlakte als binnenin de zetmeelgranule, als een mobilisatiebarrière voor de water- en amylosemoleculen. Dit vermijdt de intrede van water en de uitloging van amylose uit de zetmeelgranules. Hierdoor kan tijdens verhitting de granulezwelling, dispersie van de zetmeelmoleculen en de granuledisruptie beperkt worden (Qian e.a., 1998; Srichuwong & Jane, 2007).

Een hoger amylosegehalte en een hogere vorming van amylose-lipidecomplexen kunnen het zwellen van de zetmeelgranules uitstellen, wat kan leiden tot een hogere verstijfselingstemperatuur ( $T_G$ ), lagere piekviscositeit (PV) en lagere *breakdown* (BD) (Jin, 2018; Qian e.a., 1998; Sangeeta & Grewal, 2018a; Shevkani, Singh, Kaur, & Rana, 2014; Srichuwong & Jane, 2007). In de literatuur vertoonden quinoa- en boekweitmeel een lagere BD in vergelijking met amarantmeel en tarwebloem (Bhinder, Kaur, Singh, Yadav, & Singh, 2020; Haros & Schoenlechner, 2017; Inglett, Xu, Stevenson, & Chen, 2009; Lindeboom e.a., 2005; Qian e.a., 1998; Srichuwong e.a., 2017; Švec e.a., 2019). Onder meer het hoger amylosegehalte van quinoa en boekweit t.o.v. amarant kan leiden tot een beperkte zwelling van de zetmeelgranules. Bij amarant is het inhiberend effect van de amylose-lipidecomplexen op het

zwellen daarentegen beperkt door het laag amylosegehalte. Hierdoor kunnen de zetmeelgranules van amarant meer zwellen. Naarmate de zetmeelgranules zwellen, worden deze immers gevoeliger voor openbarsten door afschuifkrachten (Lindeboom e.a., 2005; Sindhu & Khatkar, 2016; Srichuwong e.a., 2017).

De  $T_G$  hangt naast het amylosegehalte ook af van de kristalstabiliteit (Nivelle e.a., 2019). Bocharnikova e.a. (2003) en Yuryev e.a. (2004) vonden een dalende trend in de smelttemperatuur (DSC) naargelang een hoger amylosegehalte. Een hoog amylosegehalte wordt geassocieerd met kristaldefecten door het destabiliseren van de kristalstructuur van amylopectine. Daarnaast was in verschillende onderzoeken de smelttemperatuur en de enthalpieverandering (DSC) negatief gecorreleerd met het aantal vertakkingen van amylopectine met een ketenlengte (*degree of polymerization* of DP) van 6-12. Deze zijn immers te kort om stabiele dubbele-helixen te kunnen vormen. Er is bijgevolg minder verhittingsenergie nodig om deze kristallen te smelten (Jane e.a., 1999; Kong, Bertoft, Bao, & Corke, 2008; Nivelle e.a., 2019; Noda e.a., 1998). Zetmeel gekenmerkt door amylopectine met een groter aandeel aan korte vertakkingen (DP van 6-12) vertoonde een lagere  $T_G$ , lagere PV en een hogere BD (Srichuwong & Jane, 2007). Korte ketens bieden namelijk geen sterke interactie om de integriteit van de gezwollen zetmeelgranules te behouden. Daardoor barsten de granules makkelijker bij verhitting wat in een lagere PV en hogere BD resulteert. Het zetmeel van quinoa, amarant en tarwe zouden een inferieure kristallijne structuur hebben doordat het ketenlengtedistributieprofiel van hun amylopectine gekarakteriseerd wordt door een groot aandeel aan korte ketens (DP van 6-12) (Noda e.a., 1998; Yoshimoto e.a., 2004). In het onderzoek van Kong e.a. (2008, 2009) met verschillende amarantzetmelen steeg de  $T_G$  bij een stijgende gemiddelde ketenlengte van amylopectine.

Verschillen in verstijfselingsgedrag kunnen naast de zetmeeeigenschappen, ook verklaard worden door de chemische samenstelling van het integraalmeel. In verschillende onderzoeken verschoof de  $T_G$  van integraalmelen naar een hoger bereik in vergelijking met hun geïsoleerd zetmeel. Het verstijfselingsproces was als het ware 'verlaat'. Dit effect werd verklaard door de eiwitten, vezels en slijmstoffen in het meel die in competitie treden met de zetmeelgranules voor water. Dit kan de zwelling van de zetmeelgranules verhinderen en tot een lagere viscositeit leiden (Debet & Gidley, 2006; Sangeeta & Grewal, 2018a; Shevkani e.a., 2014; Sindhu & Khatkar, 2016; Srichuwong e.a., 2017). Hamaker en Griffin (1993) stelden vast dat intermoleculaire disulfidebindingen tussen de eiwitten het zwellen van de zetmeelgranules kunnen beperken. Dit kan ook leiden tot een lagere viscositeit. Verder kan een hoger eiwitgehalte leiden tot een lagere BD. Gedenatureerde eiwitten zouden de zetmeelgranules kunnen beschermen tegen desintegratie door hoge temperatuur en afschuifkrachten. Ten slotte kan een hoger vetgehalte leiden tot een lagere viscositeit door de smerende werking van de vetten (Shevkani e.a., 2014).



### 1.3.2.3 Zetmeelretrogradatie

Kortetermijnretrogradatie (KTR) gaat gepaard met een viscositeitstijging tijdens het afkoelen van de warme zetmeelslurry en de vorming van een gelstructuur. De *setback viscosity* (SB) wordt toegeschreven aan de snelle amylosekristallisatie en het snel aggregeren van de uitgeloopte amylosemoleculen. De amorfe amylosemoleculen herordenen zich binnen en buiten de gezwollen granules in dubbel-helixvormige kristalstructuren. Deze kristalstructuren aggregeren waardoor een semikristalijn amylosenetwerk gevormd wordt (Nivelle e.a., 2019; Srichuwong e.a., 2017). De vorming van de initiële gelsterkte wordt bepaald door de rigiditeit van de gezwollen granules. De uitgeloopte componenten versterken eveneens de structuur van de gel (Srichuwong & Jane, 2007).

In de literatuur vertoonde het zetmeel van amarant een lagere SB in vergelijking met quinoa en boekweit (Bhinder e.a., 2020; Qian & Kuhn, 1999; Sangeeta & Grewal, 2018a; Srichuwong e.a., 2017). De lagere SB kan verklaard worden door het lagere amylosegehalte van amarant. Een hoger amylosegehalte kan immers leiden tot een hogere mate van gelinging en kristallisatie bij afkoeling. De gelinging start mogelijks ook bij een hogere temperatuur bij het afkoelen. Amylose is immers verantwoordelijk voor het vormen van het gelnetwerk tijdens de afkoeling (Nivelle e.a., 2019). Toch vond Lindeboom e.a. (2005) een negatieve correlatie tussen de SB en het amylosegehalte van quinoa.

Langetermijnretrogradatie (LTR) komt voor tijdens de veroudering van de zetmeelgel. Het veroorzaakt een stijging in hardheid en een verlies van waterbindingscapaciteit van de zetmeelgel. De retrogradatie van amylopectine verloopt veel trager door zijn sterk vertakte structuur, namelijk over dagen of weken. De vertakte ketens herordenen zich van amorfe moleculen naar een zwakke kristallijne toestand. Co-kristallisatie tussen amylopectine en amylose kan versterkt worden als amylose in grote concentraties aanwezig is. Daarnaast kunnen ook amylose-lipidecomplexen de retrogradatie van zetmeel versterken. Deze belemmeren immers de zwellen en het kapotbarsten van de zetmeelgranules tijdens de zetmeelverstijfseling. Hierdoor liggen de zetmeelmoleculen dichter bij elkaar in de gezwollen granules, waardoor de opportuniteit voor zetmeelretrogradatie toeneemt (Jane e.a., 1999; Srichuwong e.a., 2017; Srichuwong & Jane, 2007).

Naast het amylosegehalte, draagt ook de ketenlengte van de vertakkingen van amylopectine positief bij aan de kwaliteit en kwantiteit van het hergekristalliseerde amylopectine. Noda e.a. (1998) en Srichuwong & Jane (2007) stelden vast dat het amylopectine van tarwe, quinoa, amarant en boekweit proportioneel meer korte vertakkingen had in vergelijking met andere granen. De enthalpieverandering (DSC) was negatief gecorreleerd met het aandeel aan korte vertakkingen. Amylopectine met veel korte vertakkingen kan dus leiden tot een tragere retrogradatie. Zetmeelmoleculen met een DP van 80 tot 100 zouden de snelste retrogradatie vertonen.

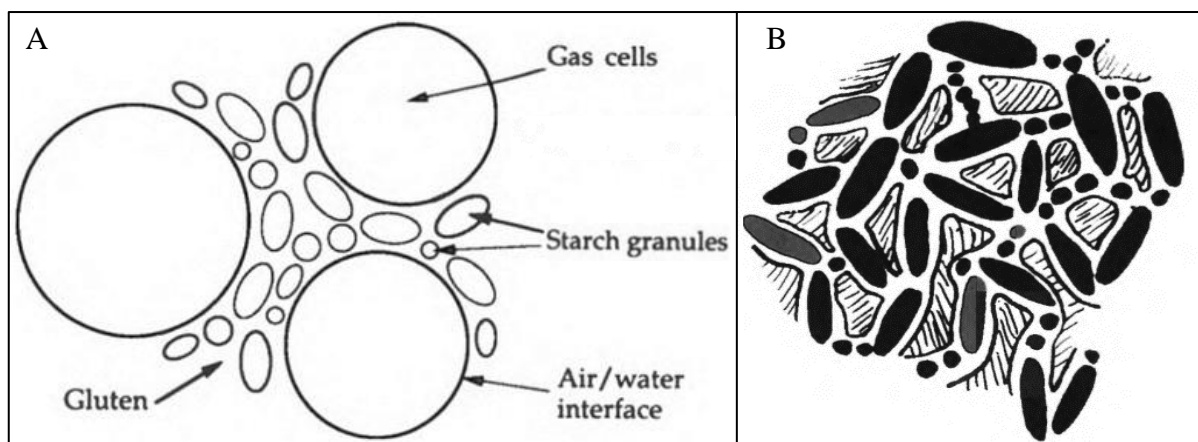
In het onderzoek van Baker (1998), Qian e.a. (1998) en Zhu e.a. (2020) vertoonde het geïsoleerd zetmeel van amarant, quinoa, en boekweit een tragere LTR ten opzichte van tarwetzetmeel. Een mogelijke verklaring hiervoor werd niet onderzocht. Het retrogradatiegedrag kan, naast de zetmeeleigenschappen, ook beïnvloed worden door de aanwezigheid van vezels in integraalmeel. In het onderzoek van Srichuwong e.a. (2017) was de enthalpieverandering van geretrogradeerd integraalmeel voor amarant, quinoa en tarwe respectievelijk 55, 78 en 72 % lager t.o.v. hun geïsoleerd zetmeel. Tijdens de retrogradatie van amylopectine worden watermoleculen opgenomen in de kristallen. Door de grotere capaciteit in waterretentie van vezels in vergelijking met zetmeel zal de LTR vertraagd worden (Sehn & Steel, 2020).

## 1.4 Deegstelsel

### 1.4.1 Modeldeegstelsel: tarwedeeg

#### 1.4.1.1 De microstructuur van het tarwedeeg

De drie basisingrediënten voor een tarwebrood zijn tarwebloem, gist en water. De typische verhouding van deze ingrediënten zijn respectievelijk 100:2:65 (uitgedrukt als een percentage op bloemgewicht). Figuur 2A stelt het deeg vereenvoudigd voor als een continue fase van water, gluten en zetmeel dat de gedispergeerde gasfase omsluit. In dit model zijn er ook raakvlakken zoals tussen lucht en water. Figuur 2B illustreert een tweede model welke de complexiteit gedetailleerder weergeeft (Eliasson & Larsson, 1993).



**Figuur 2:** Een vereenvoudigd (A) en gedetailleerd (B) model van het deeg (Eliasson & Larsson, 1993)

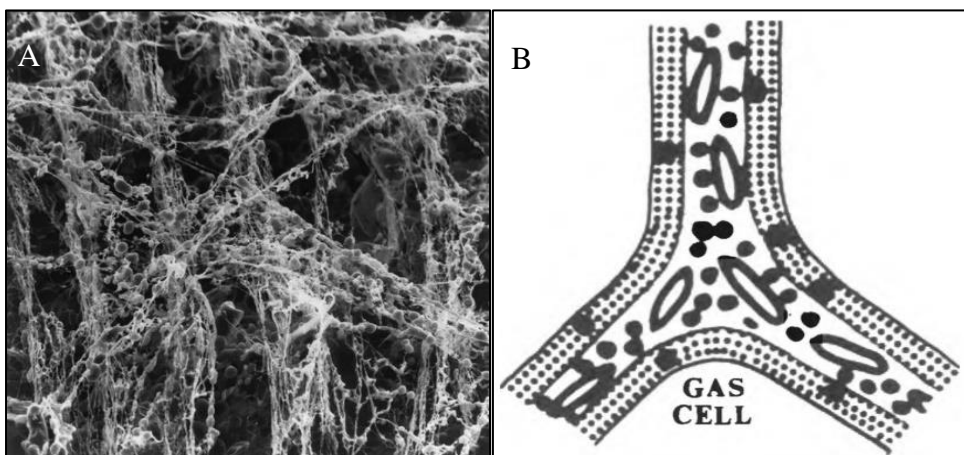
Het deeg bestaat uit twee continue fasen. De eerste continue fase in het deeg is de glutengel (gearceerd). Een gel is een driedimensionaal eiwitnetwerk waarin water geïmmobiliseerd is. Een tweede continue fase is een netwerk van zetmeelgranules (zwart) met een mantel van ‘vrij’, ongebonden water. In dat vrije water lossen wateroplosbare componenten en koolstofdioxide op. Het vrije water is tevens een medium voor chemische reacties, zoals oxidatiereacties, welke eveneens belangrijk zijn voor de ontwikkeling van het deeg (Eliasson & Larsson, 1993).

Om de continue glutengel te vormen, worden de ingrediënten gekneed. Tijdens het kneden worden de ingrediënten gemengd tot een homogene massa en ontwikkelt zich een

driedimensionale structuur uit de gehydrateerde gluten die het vermogen heeft om gas vast te houden (Cauvin & Young, 2007). De klonterige massa wordt omgezet in een samenhangende massa die een mate van elasticiteit en vermogen tot expanderen vertoont. De optimale deegontwikkeling is bereikt wanneer het deeg minder aan de mixer kleeft, maar zich om de kneedarm draait (Eliasson & Larsson, 1993).

Tijdens het kneden van het deeg vormen de tarwelipiden afzonderlijke vloeibare aggregaten in de glutengel (Eliasson & Larsson, 1993). De gascellen vormen zich in eerste instantie door het opnemen van lucht tijdens het kneden, en in tweede instantie door de productie van koolstofdioxide van de gist tijdens de rijfsfase. Koolstofdioxide lost op in de waterige fase van het deeg, maar kan tevens diffunderen naar de reeds bestaande gascellen in het deeg. Er worden dus geen nieuwe gascellen gevormd tijdens de rijfsfase (Cauvin & Young, 2007). De gediffundeerde koolstofdioxide verhoogt de druk in de gascellen. De gascellen zetten uit omwille van de viskeuze eigenschappen van het deeg waardoor de druk in de gascellen egaliseert. Tijdens het rijpsproces verhoogt het volume van de deegmassa (Delcour & Hosney, 2010).

Gedurende het kneden, doorslaan en vormen van het deeg worden de glutenstrengen in één richting uitgelijnd en wordt de poreusheid van het kruim vastgelegd (Eliasson & Larsson, 1993). Mechanische krachten op het deeg creëren meerdere en kleinere gascellen door het herverdelen van de reeds aanwezige gascellen (Delcour & Hosney, 2010). Dit leidt tot uniformere en fijnere gascellen en op zijn beurt tot een regelmatige schuimstructuur in het deeg. De glutengel vormt een oppervlakgebied tussen de gascellen en de vrije water- zetmeelgranules. De vrije water-zetmeelgranules vormen hierbij de kern van de schuimlamellen. Figuur 3 illustreert de uitlijning van de glutenstrengen (A) en de eindstructuur van de schuimlamellen in het deeg (B). De buitenste glutengelfase is weergegeven door het gestippelde gebied en de lipide-aggregaten door de grotere zwarte gebieden in de glutengel. De zetmeelgranules zijn de kleine zwarte stippen en grote ellipsen in de schuimlamellen (Eliasson & Larsson, 1993).



**Figuur 3:** Een SEM-afbeelding van een gerezen deeg met uitgelijnde glutenstrengen (A) en de eindstructuur van de schuimlamellen in het deeg (B) (Eliasson & Larsson, 1993)

#### 1.4.1.2 *Het visco-elastisch systeem*

Het deeg is een visco-elastisch systeem. Wanneer een stuk deeg snel uitgerokken wordt, en de spanning onmiddellijk wordt opgegeven, herstelt het deeg zich gedeeltelijk naar zijn oorspronkelijke vorm. Het vertoont dus zowel viskeuze vloeit als elastisch herstel. Het deeg vloeit onder spanning en herstelt niet onmiddellijk of niet helemaal naar oorspronkelijke vorm na het opheffen van de spanning. Bij het uitrekken van een stuk deeg gedurende een langere tijd, en die spanning op het deeg nadien opgegeven wordt, veert het deeg slechts weinig terug. Het deeg heeft niet langer elastische eigenschappen aangezien de spanning in het deeg verminderde in de loop van de tijd. Het deeg ‘relaxeerde’ dus in die tijd. Dit heeft te maken met de voortdurend brekende en hervormende verbindingen tussen de *high molecular weight glutenin polymers* (HMW-GP) in het deeg. De HMW-GP kunnen namelijk relaxeren nadat ze vervormd worden (Delcour & Hosney, 2010).

Naast visco-elasticiteit, heeft het deeg nog drie belangrijke fysische eigenschappen: weerstand tegen vervorming, extensibiliteit en plakkerigheid. Bij het uitrekken van het deeg is een zekere kracht vereist om het deeg van vorm te veranderen omdat het deeg weerstand biedt tegen vervorming. Tijdens het uitrekken komt het deeg uiteindelijk tot een verlengingspunt waar het deeg knapt. Op welk punt het deeg knapt, is een maat voor de rekbaarheid, ofwel de extensibiliteit. De vierde fysische eigenschap is plakkerigheid. Na het samendrukken van het deeg zal het deeg blijven kleven aan het drukkende oppervlak. Het deeg oefent hierdoor een adhesiekracht uit in de tegengestelde richting van de compressiekracht (Cauvin & Young, 2007).

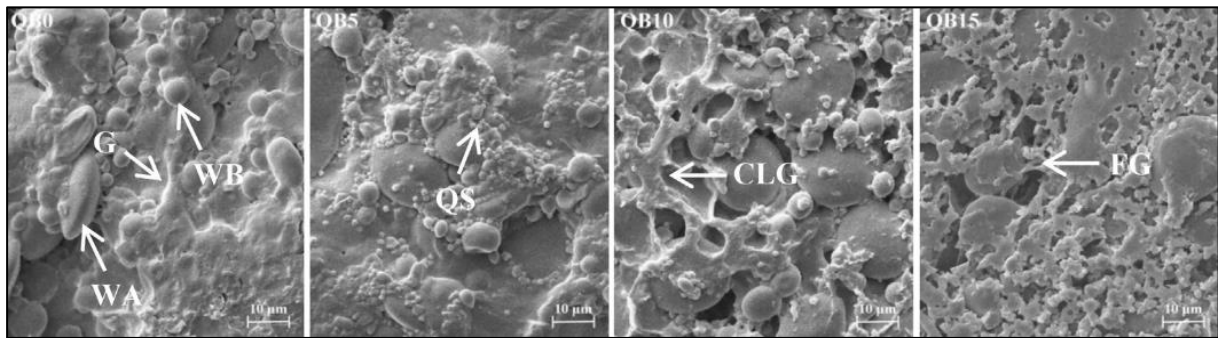
De gluten zijn essentieel structuuropbouwende eiwitten in bloem welke de elastische- en rekbare eigenschappen aan het deeg geven. De HMW-GP, of glutenines, verlenen samenhang, sterkte en elasticiteit aan het deeg door o.a. hun grote omvang en hun verstrengeling met elkaar. De *low molecular weight glutenin polymers* (LMW-GP) of de monomere gliadines verlenen extensibiliteit en viscositeit aan het deeg, aangezien ze optreden als ‘weekmakers’ van het glutenine polymerisch systeem (Delcour & Hosney, 2010; Goesaert e.a., 2005).

#### 1.4.2 *Invloed van inmenging met pseudograanmeel op tarweddeeg*

De grootste beperking van pseudogranen is het ontbreken van gluten waardoor ze geen deegvormende of bakeeigenschappen bezitten (Wrigley e.a., 2017). Het nabootsen van de unieke functionaliteit van de tarwegluten is echter technologisch uitdagend. Bijgevolg is het gebruik van pseudogranen bij de productie van brood moeilijk zonder toevoeging van aanvullende ingrediënten of zonder aanpassing van de verwerkingscondities. Inmenging van pseudogranen in producten op basis van tarwe is mogelijk tot een bepaalde hoeveelheid. Een dergelijke vervanging leidt tot een zwakker visco-elastisch glutennetwerk en bijgevolg ook een lagere gashoudende capaciteit (Janssen e.a., 2017). Hierdoor is het moeilijker om een goede deegreologie en gewenst volume te verkrijgen (Sayed e.a., 2016).

#### 1.4.2.1 De microstructuur van een gemengd deeg

Een *Cryo-Scanning Electron Microscope* (cryo-SEM) wordt gebruikt om de microstructuur van een deeg en zijn glutennetwerk te analyseren. Figuur 4 geeft SEM-afbeeldingen weer van tarwedeeg met verschillende inmengpercentages van quinoameel. Een SEM-scan helpt bij het onderzoeken van het effect van quinoameel op de bakprestaties van tarwedeeg (Xu e.a., 2019).



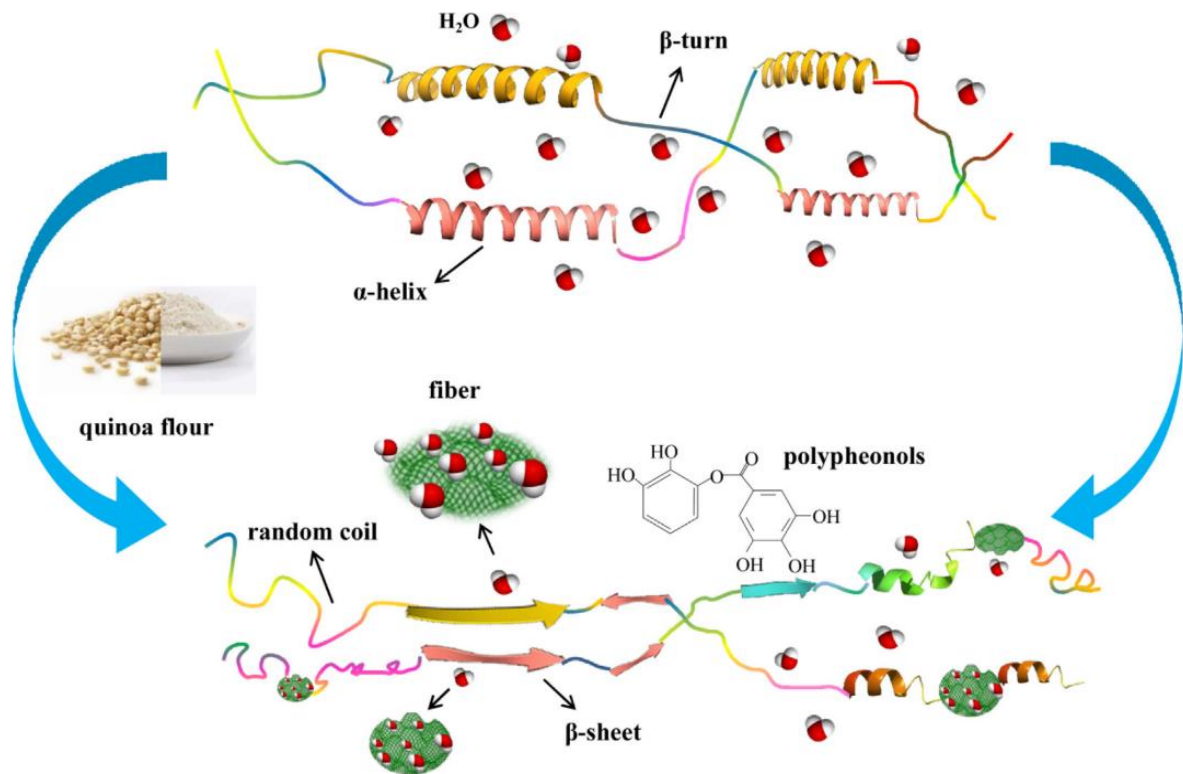
**Figuur 4:** SEM-afbeeldingen van tarwedeeg verrijkt met 0 % (QB0), 5 % (QB5), 10 % (QB10) en 15 % quinoameel (QB15) (Xu e.a., 2019)

Deeg met 0 % quinoameel (QB0) had een continu en compact glutennetwerk (G), waarin kleine (WB) en grote (WA) tarwezetmeelgranules stevig ingesloten zaten. Buiten de aanwezigheid van quinoazetmeelgranules (QS), werd geen significant verschil vastgesteld tussen deeg met 5 % quinoameel (QB5) en QB0. Deeg met 10 % quinoameel (QB10) toonde een discontinu en grof verbonden glutennetwerk (CLG) met onregelmatige gaten. Deeg met 15 % quinoameel (QB15) toonde een fibreus glutennetwerk (FG) met dunnere fibreuse glutenstrengen, welke nauwelijks omringt en gehecht waren aan de zetmeelgranules. Quinoameel verstoort m.a.w. het glutennetwerk en veroorzaakt een discontinu tot zelfs fibreus glutennetwerk (Xu e.a., 2019).

Door de aanwezigheid van zemelen bevat integraalmeel een hoger vezelgehalte t.o.v. geraffineerde bloem. De aanwezige vezels verdunnen de tarwegluten in het glutennetwerk. Daarnaast kan de glutenontwikkeling benadeeld worden door chemische interacties tussen gluten en bepaalde componenten van de zemelen, zoals vezels, ferulazuur en glutathion. Verder treden vezels in competitie met gluten voor water: door het grote aantal hydroxylgroepen in de vezelstructuur is er meer waterinteractie mogelijk via waterstofbruggen. Een onvolledige hydratatie van gluten beperkt bijgevolg de vorming van het glutennetwerk (Xu e.a., 2019; Zanoletti e.a., 2017).

#### 1.4.2.2 Glutennetwerk

De secundaire structuren in gluten kunnen bestudeerd worden met een *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Figuur 5 geeft de secundaire conformationele veranderingen in gluten voor en na toevoeging van quinoameel schematisch weer (Xu e.a., 2019).



**Figuur 5:** Schematische beschrijving van secundaire conformationele veranderingen in tarwegluten voor en na toevoeging van quinoameel via onderzoek met FTIR (Xu e.a., 2019)

Toevoeging van quinoameel leidde tot een proportionele stijging van *random coils* en  $\beta$ -sheets, terwijl  $\alpha$ -helices en  $\beta$ -turns daalden (Xu e.a., 2019). Een *random coil* wordt algemeen beschouwd als een ongeordende secundaire structuur die niet bijdraagt aan de sterkte van het glutennetwerk. Het verlies van de elastische  $\alpha$ -helices en  $\beta$ -turns en de vorming van de inelastische intermoleculaire  $\beta$ -sheet aggregaten in het glutennetwerk reduceren de visco-elasticiteit van het deeg. Deze veranderingen van de secundaire structuren in de gluteneiwitten tonen aan dat quinoameel het glutennetwerk verstoort (Quayson, Marti, Bonomi, Atwell, & Seetharaman, 2016; Xu e.a., 2019).

De proportionele daling in  $\beta$ -turns en stijging van  $\beta$ -sheets worden o.a. toegeschreven aan de overvloedige vezels en polyfenolen in quinoameel. De polyfenolen kunnen aggregaten met de gluten vormen d.m.v. waterstofbruggen en hydrofobe en ionische interacties (Xu e.a., 2019). De vezels treden in competitie met de gluten om water. Door de onvolledige hydratatie van de gluten ondergaan deze onvoldoende structurele herschikkingen die nodig zijn om vrije hydrofobe bindingsplaatsen naar hun oppervlakte te brengen. Hierdoor verlaagt het aantal hydrofobe interacties, welke echter tot de belangrijkste krachten behoren bij de ontwikkeling van optimale secundaire glutenstructuren bij de broodbereiding. Indien de beschikbaarheid van water daalt, ontstaan er namelijk waterstofbruggen tussen de subeenheden van gluteneine en worden intermoleculaire  $\beta$ -sheets gevormd ten koste van de  $\beta$ -turns (Quayson e.a., 2016; Xu e.a., 2019; Zanoletti e.a., 2017).

### *1.4.2.3 Reologische eigenschappen*

De reologische eigenschappen van het deeg zijn van belang voor de voorspelling van het gedrag van het deeg gedurende mechanische verwerking bij de broodbereiding omdat ze de kwaliteit van het resulterende brood beïnvloeden (Guardianelli, Salinas, & Puppo, 2019; S. G. Mlakar, Bavec, Turinek, & Bavec, 2009). Zo moet onder meer het volume van het deegstuk op een gewenst niveau stabiel blijven tijdens de bewerkingsfasen, bijvoorbeeld op een industriële broodlijn (Švec, Kapačinskaitė, & Hrušková, 2020). De toegepaste spanning en de mate van vervorming tijdens een reologische meting moeten echter in hetzelfde bereik liggen als die tijdens de broodbereiding (Rodriguez-Sandoval E., Sandoval G., 2012). In de literatuur werd het effect van de inmenging van pseudograanmeel bestudeerd op de deegreologie voornamelijk a.d.h.v. een farinograaf, alveograaf en extensograaf.

In de literatuur steeg in het algemeen de waterabsorptie van het deeg indien pseudograanmeel in tarwebloem gemengd werd (Özer, Kola, & Duran, 2010; Stefan e.a., 2018; Tömösközi e.a., 2011). De belangrijkste component van de tarwebloem die verantwoordelijk is voor de waterabsorptie zijn de gluten. Pseudogranen zijn echter glutenvrij, waardoor voornamelijk het hogere vezelgehalte van het meel invloed heeft op de waterabsorptie. Niet-zetmeelpolysachariden (NZP), zoals pentosanen, hebben namelijk een grotere affiniteit voor water dan gluten en zetmeel door hun hoog aantal hydroxylgroepen (Bajerska, Rosell, & Sheikha, 2016; Sehn & Steel, 2020; Stefan e.a., 2018). Ook kan een kleinere zetmeelgranulegrootte de hogere waterabsorberende capaciteit t.o.v. tarwebloem verklaren (Nedeljković e.a., 2014). De hogere waterabsorpties bij inmenging van quinoa- en amarantmeel kunnen daarnaast toegeschreven worden aan hun lage verhouding amylose tot amylopectine. Indien de amorfe zones in de zetmeelgranules weinig amylose bevatten, zal de waterabsorptie minder belemmerd worden (Copeland, Blazek, Salman, & Tang, 2009; Tömösközi e.a., 2011).

In verschillende onderzoeken steeg de deegontwikkelingstijd (DO-tijd) naargelang er meer quinoa-, amarant- of boekweitmeel ingemengd werd (Rodriguez-Sandoval E., Sandoval G., 2012; Sindhuja, Sudha, & Rahim, 2005; Stefan e.a., 2018; Tömösközi e.a., 2011). Deze langere DO-tijd werd toegeschreven aan een vertraagde vorming van het glutennetwerk in het deeg. Zo hebben de meelpartikels van de pseudogranen meer tijd nodig om te hydrateren (Rodriguez-Sandoval E., Sandoval G., 2012; Sindhuja e.a., 2005; Stefan e.a., 2018). Dit wordt o.a. veroorzaakt door de hogere hoeveelheden oplosbare eiwitten (albumine en globuline) en NZP en de waterabsorptiekenmerken van het zetmeel. Hierdoor is er minder water beschikbaar voor de ontwikkeling van het glutennetwerk (Bajerska e.a., 2016; Tömösközi e.a., 2011).

In de literatuur daalde de deegstabiliteit bij inmenging van quinoa-, amarant- of boekweitmeel t.o.v. tarwebloem (Bojňanská & Šmítalová, 2014; Özer e.a., 2010; Sindhuja e.a., 2005; Tömösközi e.a., 2011; Tosi e.a., 2002). Een daling in de deegstabiliteit duidt op een gestage afbraak van het glutennetwerk bij kneden voorbij het punt van optimale deegontwikkeling. Een

optimale deegontwikkeling voor brooddeeg wordt bereikt bij een deegconsistentie van 500 Brabender-eenheden (BE) (Tömösközi e.a., 2011). Een lage stabiliteit wijst erop dat de optimale technologische eigenschappen van het deeg sneller verloren gaan bij inmenging van pseudograanmeel (Bojňanská & Šmítalová, 2014). Dit valt toe te schrijven aan de verzwakking van het deeg door gereduceerde visco-elastische eigenschappen ten gevolge van inmenging (Sindhuja e.a., 2005). In het onderzoek van Tömösközi e.a. (2011) ging de daling in stabiliteit dan ook samen met een daling in de elasticiteit en stijging in de *degree of dough softening* (DDS). In het onderzoek van Özer e.a. (2010) ging de daling in stabiliteit samen met een lagere extensibiliteit en een lagere weerstand tegen extensie (deegsterkte).

Verskillende componenten en eigenschappen van de pseudogranen verklaren dus de veranderingen in reologische eigenschappen van het deeg bij het inmengen. Toch ondervonden enkele onderzoeken ook andere effecten dan hiervoor opgesomd. Zo constateerden Gavurníková e.a. (2011) en Guardianelli e.a. (2019) een lagere DO-tijd bij inmenging van amarant- en boekweitmeel. Gavurníková e.a. (2011) en Grobelnik e.a. (2009) stelden een hogere deegstabiliteit vast bij inmenging van amarant- en boekweitmeel. De tarwebloem in deze onderzoeken had echter een relatief lage stabiliteit. Vermoedelijk hebben amarant- en boekweitmeel een positief effect op de stabiliteit indien het bij een tarwebloem met een lage kwaliteit wordt ingemengd. Wetenschappelijk bewijs en een duidelijke verklaring hiervoor ontbreken.

## 1.5 Broodstelsel

### 1.5.1 Modelbroodstelsel: tarwebrood

#### 1.5.1.1 De microstructuur van het tarwebrood

Wanneer het deeg de oven in gaat, treedt er een aanzienlijke toename van het volume op (de ovenrijs). De toename in volume veroorzaakt een spanning in het deeg. Dit is het meest kritieke punt in het broodbereidingsproces (Eliasson & Larsson, 1993). Tijdens de ovenrijs wordt het vermogen om grote gashoeveelheden vast te houden weergegeven. Dit kan enkel als het deeg een glutennetwerk gevormd heeft met goede fysische eigenschappen (Cauvin & Young, 2007). De temperatuurstijging zorgt voor de volume-expansie en het vastleggen van de kruimstructuur. De structurele verandering tijdens de zetmeelverstijfseling en de overgang van glutengel naar coagel zijn cruciale processen in de metamorfose van deeg tot brood (Eliasson & Larsson, 1993).

Zetmeel is in de natieve toestand aanwezig in het deeg: afzonderlijke, halfkristallijne granules. Het zetmeel in het deeg absorbeert tot ongeveer 46 % water tijdens de deegbereiding (Goesaert e.a., 2005). Tijdens het bakken begint het zetmeel in het brooddeeg te verstijfselen vanaf ongeveer 65 °C. Tijdens de zetmeelverstijfseling vormt een deel van de uitgeloopte amylose spiraalvormige inclusiecomplexen met tarwelipiden. Door het beperkte vochtgehalte in deeg, smelten de zetmeelkristallen vanaf 65 °C over een breed temperatuurbereik (Delcour &

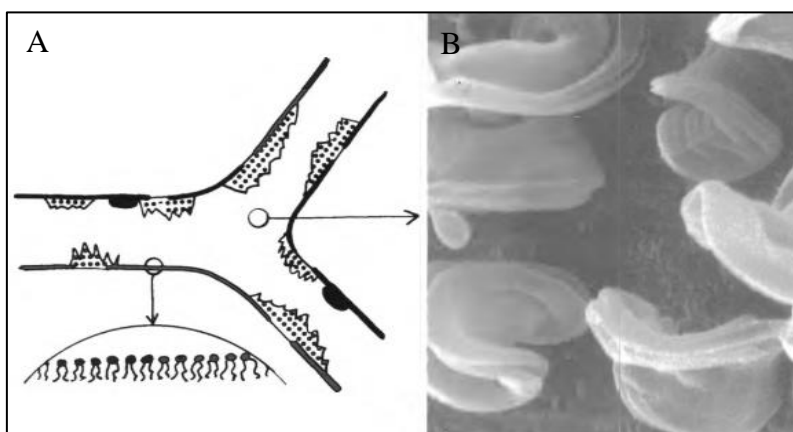


Hoseney, 2010). De hoeveelheid water die de zetmeelgranules omgeeft, bepaalt namelijk de mate van zetmeelzwellen en -verstijfseling. In deeg is er echter geen overmaat aan water aanwezig. Bovendien blijft de temperatuur in het kruim tijdens het bakken onder 100 °C. Bijgevolg is het zetmeel in het kruim slechts gedeeltelijk verstijfseld. Daarnaast is er in brood geen ‘vrij’ water aanwezig, aangezien het zetmeel al het water absorbeert tijdens de verstijfseling (Eliasson & Larsson, 1993).

Tijdens het bakken treden er ook drastische veranderingen in het glutennetwerk op. Tijdens de zetmeelverstijfseling wordt water onttrokken uit de gascelwanden. Door de verminderde hoeveelheid weekmaker verstijven de gluten. Tevens ondergaan de gluten een *strain hardening*. Ofwel, de kracht nodig om de glutenstrengen te verlengen neemt toe naarmate de glutenstrengen dun uitgerokken werden tijdens de expansie van de gascellen. Ten slotte zorgt hitte ervoor dat de gluten steeds meer worden verbonden door de vorming van nieuwe disulfidebruggen. In het begin treedt alleen verbinding tussen de glutenines op, maar boven 90 °C worden de glutenines ook met de gliadines verbonden (Delcour & Hoseney, 2010).

Als gevolg van de temperatuurstijging tijdens het bakken blijft de druk in de gascellen toenemen totdat de gascelwanden scheuren en het systeem gascontinu wordt, d.w.z. dat er zich een sponsstructuur vormt. Veel gascellen zijn langwerpige, wat induceert dat de deegkrachten op de gascellen niet in alle richtingen uniform waren. Aan het einde van het bakken, namelijk bij ongeveer 95 °C, heeft het brood zijn vermogen om te vloeien verloren en is het nu elastischer dan het deeg was (Delcour & Hoseney, 2010).

Figuur 6 geeft de structuur van het broodkruim op twee niveaus weer. Verschillende structurele elementen van de gascelwanden vormen het kruim. Zo is de gascelwand opgebouwd uit een monomoleculaire lipidefilm met slechts enkele gebieden coagel met gedispergeerde glutenine subeenheden (gestippelde gebieden) en lipide-aggregaten (zwarte gebieden). Daarnaast bestaat de gascelwand slechts uit één continue fase, namelijk het gedeeltelijk-verstijfseld zetmeel. De gascelwand wordt weergegeven via een SEM-afbeelding (Eliasson & Larsson, 1993).



**Figuur 6:** Een vereenvoudigd model van de structuur van broodkruim (A) en een SEM-afbeelding van het gedeeltelijk-verstijfseld zetmeel in de gascelwand (B) (Eliasson & Larsson, 1993)

De hogere temperatuur in de korst t.o.v. die in de kruim tijdens het bakken veroorzaakt verdamping van water. Het vochtgehalte van de korst is dus veel lager dan dat van het kruim. Verder veroorzaakt de hoge temperatuur in de korst ook verschillende chemische reacties, waaronder karamellisatie en de Maillardreactie. Deze dragen bij aan de kleur en smaak van de korst. Vanuit structureel oogpunt, is de korst een harde oppervlaktelaag die uit ingestorte kruimgascelwanden bestaat. Het is een continuüm van gedroogde zetmeelgel met gedispergeerde eiwitten en lipide-aggregaten (Eliasson & Larsson, 1993).

#### *1.5.1.2 Bread staling*

Vanaf het moment waarop het brood uit de oven komt, beginnen een reeks van veranderingen die uiteindelijk leiden tot een achteruitgang van de kwaliteit. Deze veranderingen worden de *bread staling* genoemd. Deze omvatten alle chemische en fysische processen die plaatsvinden tijdens de bewaring, met uitzondering van het microbieel bederf. Het typische aroma van vers brood gaat verloren en een ‘verouderde’ smaak ontwikkelt zich met de tijd. Het kruim wordt droger en harder, terwijl de korst zachter en leerachtig wordt. De *staling* van de korst is het gevolg van een vochtmigratie van de kruim naar de korst. De *staling* van het kruim daarentegen is niet zo gemakkelijk te verklaren. Doorgaans worden er twee verschillende mechanismen genoemd die *bread staling* veroorzaken, namelijk enerzijds de herverdeling van water tussen zetmeel en gluten en anderzijds de retrogradatie van amylopectine (Cauvin & Young, 2019; Eliasson & Larsson, 1993).

Tijdens de afkoeling van het brood, vormt het uitgeloopte amylose een continu gelnetwerk, waarin gezwollen en vervormde zetmeelgranules ingebed en onderling verbonden zijn. Vanwege de snelle kristallisatie van amylose, terwijl amylopectine slechts langzaam herkristalliseert, is amylose een bepalende factor voor de initiële kruimhardheid. Omdat amylose na afkoeling al bijna volledig gekristalliseerd is in het brood, levert amylose weinig bijdrage aan het verharden van het kruim tijdens de *bread staling*. Bij de retrogradatie van amylopectine wordt een netwerk van dubbel-spiraalvormige structuren en kristallieten gevormd. De reorganisatie van de amylopectineketens leidt tot een verhoogde stijfheid van de gezwollen granules. Daarnaast kan de vorming van geordende amylosestructuren in het centrum van de granules ook bijdragen aan granulestijfheid (Goesaert e.a., 2005).

#### *1.5.2 Invloed van inmenging met pseudograanmeel op tarwebrood*

De kwaliteit van brood hangt primair af van de kwalitatieve parameters van het bloem of meel. Voornamelijk de kwantiteit en kwaliteit van de gluten zijn van belang. Daarnaast beïnvloeden de enzymactiviteit, het zetmeelgehalte en de zetmeleigenschappen de broodkwaliteit (Gavurníková e.a., 2011). Het hoofdprobleem bij het inmengen van pseudogranen in broodmengsels is de inferieure bakkwaliteit wegens het verdunnen van de gluten en de verhoogde vezelinhoud (Haros & Schoenlechner, 2017; S. G. Mlakar e.a., 2009). Gluten zijn immers belangrijk voor het uiterlijk en de kruimstructuur van het brood (Sayed e.a., 2016).

Eenmaal het deeg gevormd is, geven gluten het deeg het vermogen om te vervormen, herstellen en om gas vast te houden tijdens het rijs- en bakproces. De deegmassa krijgt de mogelijkheid tot uitzetten tot een zachter, lichter en smakelijker product. Door het vormen van een glutennetwerk verschilt de eetkwaliteit van brood van dat van andere gebakken producten (Cauvin & Young, 2007).

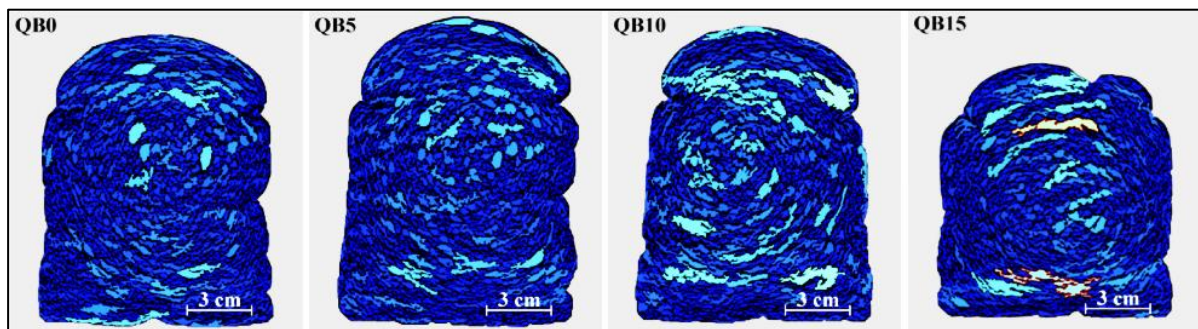
Xu e.a. (2019) concludeerden dat, naargelang het inmengpercentage van quinoameel, een discontinue tot fibreus glutennetwerk met talrijke gaten in het deeg gevormd kan worden. Bovendien is er een beperkte vorming van secundaire structuren die instaan voor de visco-elastische eigenschappen van het glutennetwerk. Het glutennetwerk kan bijgevolg minder koolstofdioxidegas vasthouden. Dit leidt tot een achteruitgang van de bakkwaliteit. Vervanging van tarwebloem door pseudogranen heeft in het algemeen een invloed op de textuur, de fysische en sensorische eigenschappen van brood (Tömösközi e.a., 2011). Inmenging resulteerde in de literatuur in een brood met onder meer een lager specifiek volume, een grove en heterogene kruimstructuur en achteruitgang van de textuureigenschappen (Lorenz, 1981; Lorenz, Coulter, & Johnson, 1995; Rodriguez-Sandoval E., Sandoval G., 2012; Siastala, Dziki, & Różyło, 2015; Tömösközi e.a., 2011; Xu e.a., 2019).

Tömösközi e.a. (2011) brachten het verlaagd broodvolume in relatie met de achteruitgang van bepaalde reologische parameters van het deeg. De *degree of dough softening* verhoogde en de deegelasticiteit en -stabiliteit verlaagde bij hogere inmengratio's van quinoa- of amarantmeel. Een verlaging van het specifiek volume is namelijk te wijten aan de verzwakking van het glutennetwerk en de gereduceerde gasretentie van het deeg. Daarnaast werd het effect onderzocht van de toevoeging van 1 en 3 % eiwitisolaten van amarant- en quinoameel in tarwedeg. De toevoeging had geen significante invloed op de belangrijkste reologische parameters van het deeg, waardoor de onderzoekers verwachten dat de eiwitisolaten geen invloed zullen hebben op de eigenschappen van het broodkruim. Hierdoor concludeerden de onderzoekers dat, als het doel van het gebruik van pseudogranen in de eerste plaats de eiwitverrijking van het brood is, het gebruik van eiwitisolaat de voorkeur heeft om kwaliteitsvermindering van het brood te voorkomen. Om deze conclusie aan te nemen is er echter te weinig onderzoek verricht naar het effect van de inmenging van eiwitisolaten.

#### *1.5.2.1 Gasceldistributie kruim*

Brood is een luchtig product waarvan de kruimtextuur sterk afhangt van de grootte en verdeling van de gascellen. Het is hierdoor interessant de gasceldistributie van het kruim te onderzoeken met behulp van beeldanalyse (Hager e.a., 2012). Een hogere relatieve gasceloppervlakte en fijnere gascellen met dunnere gascelwanden duiden op een luchtigere, elastischere en zachtere textuur. Deze textuur wordt meer aanvaard door de consument dan een densere kruim met grovere gascellen en dikkere gascelwanden (Xu e.a., 2019).

In Figuur 7 wordt het effect van inmenging van quinoameel op de kruimstructuur van tarwebrood weergegeven. Er was een dalende trend in de relatieve gasceloppervlakte vanaf 10 % inmenging. Ook was er vanaf 10 % inmenging een stijgende trend in de gasceldiameter, dikte van de gascelwanden en de verhouding grovere t.o.v. fijne gascellen (Xu e.a., 2019). Deze verminderde kwaliteit van de kruimstructuur wijst erop dat het deeg de ingeslagen en geproduceerde gasmoleculen niet kon vasthouden. Dit resulteert in het coalesceren van gascellen waardoor de diameter van de gascellen vergroot. Dit kan soms leiden tot het vormen van gaten. De voorwaarde voor superieure bakprestaties van deeg is echter een continu glutennetwerk zodoende dat het deeg in voldoende mate visco-elastisch is om het gas vast te houden en de gascellen te kunnen laten expanderen (Guardianelli e.a., 2019; Xu e.a., 2019).



**Figuur 7:** Analyse van de poreusheid van tarwebrood verrijkt met 0 % (QB0), 5 % (QB5), 10 % (QB10) en 15 % quinoameel (QB15) via een *C-cell food imaging system* (Xu e.a., 2019)

Quinoa- en boekweitbrood (100 %) hadden tevens een densere kruimstructuur met een lagere relatieve gasceloppervlakte en een hogere gemiddelde dikte van de gascelwanden t.o.v. tarwebrood. Daarnaast was het totale aantal gascellen en de *cell elongation* lager. Dit reflecteerde zich ook in een lager specifiek volume en achteruitgang van de textuureigenschappen. Naast het ontbreken van gluten, vormen tevens de hogere vezelinhoud een verklaring voor de verminderde kwaliteit van de kruimstructuur. Vezels kunnen o.a. de zetmeelmatrix in de gascelwanden doorbreken. Dit veroorzaakt lekken in de gascelwanden en beperkt de expansie van de gascellen (Hager e.a., 2012).

#### 1.5.2.2 Kruimtextuur

Textuureigenschappen hangen nauw samen met het mondgevoel van brood. Via een *texture profile analysis* (TPA) met een *texture analyser*, kunnen verschillende textuurparameters van het kruim berekend worden. Xu e.a. (2019) constateerden een hogere hardheid van vers brood vanaf 10 % quinoameel. Ook in verschillende onderzoeken met boekweitmeel steeg de hardheid van vers brood naarmate een hoger inmengpercentage (Hager e.a., 2012; Lin, Wang, Lin, Liu, & Mau, 2013; Sayed e.a., 2016). Een stijging in hardheid is te wijten aan het gereduceerd specifiek volume en relatieve gasceloppervlakte, en een grovere structuur met dikkere gascelwanden (Föste e.a., 2014; Tömösközi e.a., 2011; Xu e.a., 2019). Daarnaast zou de kruimhardheid beïnvloed worden door de retrogradatie-eigenschappen van het zetmeel (Srichuwong & Jane, 2007). In vers gebakken broodkruim is uitgeloopte amylose een

essentieel structurelement omdat het verantwoordelijk is voor het semikristallijne amylozenetwerk tijdens afkoeling (Lindeboom, 2005).

Tijdens bewaring van het brood zullen de buitenste vertakkingen van het amylopectine rekristalliseren, waardoor het zetmeelnetwerk in het kruim versterkt (Lindeboom, 2005). Xu e.a. (2019) constateerden, na 24 uur bewaring van de broden, een gestegen hardheid bij alle inmengpercentages, maar in verschillende mate naargelang het inmengpercentage. De procentuele stijging in kruimhardheid, of de *staling index*, wordt vaak toegepast als een indicator van de *bread staling*. De *staling index* was lager indien quinoameel in tarwebrood ingemengd werd. Quinoameel bevat immers een hoger vezelgehalte die de zetmeelretrogradatie kunnen beperken. De retrogradatiesnelheid hangt namelijk sterk af van de beschikbaarheid van water vermits er bij de kristallisatie van amylopectine watermoleculen opgenomen moeten worden in de kristallieten. De vezels kunnen de vocht migratie naar het zetmeel beperken door hun hoge capaciteit in waterbinding. De *staling index* was echter groter bij 15 % inmenging t.o.v. 5 en 10 % inmenging. Dit kan toegeschreven worden aan de grotere vernietiging van het glutennetwerk bij hogere inmengpercentages van quinoameel. Dit leidt tot een lagere *water holding capacity* van de gluten en dus een grotere water migratie naar het zetmeel voor rekristallisatie. Hager e.a. (2012) stelden een lagere *staling index* vast bij een brood met 100 % quinoa- of boekweitmeel t.o.v. tarwebrood. Dit weerlegt de opvatting dat glutenvrije broden vatbaarder zouden zijn voor *staling* in vergelijking met tarwebrood omdat het glutennetwerk de water migratie naar het zetmeel net vertraagt. Dit kan wel bevestigen dat, naast de factor ‘glutenverdunding’, ook andere factoren de *staling index* beïnvloeden. Zo kan het hoog gehalte aan vezels ook de retrogradatie vertragen. Verder is ook het retrogradatiegedrag van het zetmeel van belang. Zo kan het lager amylosegehalte in quinoa- en amarantmeel bijdragen aan een lagere *staling index* (Srichuwong e.a., 2017).

Naast de kruimhardheid kunnen ook andere textuurparameters door inmenging van pseudogranen beïnvloed worden. In het onderzoek van Xu e.a. (2019) waren de *cohesiveness*, *springiness* en *resilience* lager bij vers brood met 10 en 15 % quinoameel t.o.v. tarwebrood. Dit is voornamelijk te wijten aan het zwakker visco-elastisch glutennetwerk. Een lage *cohesiveness* duidt op een hoge gevoeligheid van het kruim om te breken of te verkrumelen. Dit beïnvloedt de acceptatie van de consument negatief (De La Hera, Rosell, & Gomez, 2014). De reductie van de *springiness* en *resilience* kan verklaard worden door het verlies van de elasticiteit van het kruim (Martínez, Román, & Gómez, 2018). Hierdoor kan het kruim na de compressie minder goed herstellen in de hoogte. Hager e.a. (2012) constateerden een lagere *springiness* bij brood met 100 % quinoa- of boekweitmeel in vergelijking met tarwebrood.

De textuurparameters worden, naast inmenging van pseudogranen, ook beïnvloed door bewaring. In het onderzoek van Xu e.a. (2019) waren de *cohesiveness*, *springiness* en *resilience* lager na 24 uur bewaring tegenover vers brood. Dit is voornamelijk te wijten aan de *bread*

*staling*. Zo zijn de veranderingen van deze parameters over de bewaringstijd in grote mate toe te schrijven aan het retrogradatiegedrag van het zetmeel, waaronder dus ook de verhouding van amylose tot amylopectine (Hager e.a., 2012).

### 1.5.2.3 Sensorische acceptatie

Broodvolume en kruimstructuur zijn twee belangrijke visuele eigenschappen die de keuze van de consument sterk beïnvloeden. In het algemeen verkiezen consumenten brood met een groter specifiek volume, aangezien ze deze licht en niet te dicht achten (Rodriguez-Sandoval E., Sandoval G., 2012; Xu e.a., 2019). Ook is een groter specifiek volume vanuit economisch standpunt gewenst. De kruimhardheid en *resilience* zijn tevens belangrijke kwaliteitsfactoren van brood. Meeste consumenten verkiezen een zachte en veerkrachtige textuur omdat deze gerelateerd wordt aan een vers product (Hager e.a., 2012; Sayed e.a., 2016). Vers broodkruim heeft namelijk de unieke eigenschap om terug naar zijn oorspronkelijke vorm ‘te springen’ nadat de kruim door een kracht belast werd. Ten slotte is ook de ovenrijs een belangrijke kwaliteitskarakteristiek. Een ongecontroleerde en niet-uniforme ovenrijs wordt gezien als een kwaliteitsdefect (Cauvin & Young, 2007).

De beoordeling of brood een ‘juiste’ smaak heeft, is een persoonlijk gegeven. Soms wordt uitsluitend brood gegeten, maar vaker wordt brood gegeten in een maaltijd bij andere voedingsmiddelen. Broodaroma’s hebben daarom de neiging subtieler te zijn. De toegepaste ingrediënten kunnen sterk bijdragen aan de smaak en geur van het brood. Tarwebloem heeft een vrij zachte smaak, waarbij het grootste deel van de bijdrage afkomstig is van de aanwezige oliën van de kiemen en de zemeldeeltjes. Logischerwijs levert volkorenmeel meer smaak op dan geraffineerde bloem. Tijdens het rijs- en bakproces worden bovendien nieuwe smaakproducten in het deeg gegenereerd (Cauvin & Young, 2007).

Tarwebrood verrijkt met quinoameel toonde in het onderzoek van Siastala e.a. (2015) en Xu e.a. (2019) een verbeterd aroma. Dit werd als een nootachtige aroma beschreven. Op vlak van uitzicht en textuur waren er slechtere resultaten naargelang een hoger inmengpercentage, maar er was geen significant verschil in de algemene acceptatie. Een met 15 % verrijkt boekweitbrood scoorde beter in termen van smaak in vergelijking met tarwebrood (Lin e.a., 2013). Anderzijds werden 100 % boekweit- en quinoabrood in het onderzoek van Hager e.a. (2012) een veel lagere score naar smaak en algemene acceptatie toegeschreven. Voor boekweit en quinoa werden er erwachtige en beschimmelde aroma’s gemeld. In het onderzoek van Grobelnik e.a. (2010) werd tarwebrood verrijkt met amarantmeel in het algemeen als acceptabel beoordeeld. Tot aan 15 % werd de smaak nootachtig en aangenaam beschreven. Bij hogere inmengpercentages gingen de sensorische eigenschappen achteruit en werd het aroma van amarant als apart beschouwd. De smaak werd in andere onderzoeken beschreven als licht pittig, bitter en beschimmeld (Miranda-Ramos, Sanz-Ponce, & Haros, 2019; Saunders & Becker, 1984). De bittere smaak kan te wijten zijn aan de aanwezigheid van saponinen. Anderzijds zou

een product met amarantmeel minder bitter zijn dan een product met quinoa omdat amarantkorrels minder saponinen bevatten dan quinoakorrels. De saponinen kunnen echter grotendeels verwijderd worden door het wassen of onthullen van de quinoakorrels. Daarnaast hangt het saponinegehalte af van de quinoavariëteit (Haros & Schoenlechner, 2017). Bij *Tartary* boekweit kan een bittere smaak te wijten zijn aan een hoog gehalte aan flavonoïden (Schoenlechner & Bender, 2020).

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Probleem- en doelstelling

Verschillen in functionele en technologische eigenschappen in vergelijking met tarwe bemoeilijken de toepassing van **pseudogranen** in graanproducten. Hierdoor kan inmenging van pseudogranen naast positieve nutritionele eigenschappen, ook negatieve invloeden hebben bij de verwerking tot tarwebrood. Tot op heden bestaat er echter relatief weinig onderzoek hiernaar, waardoor de bakkerijsector weinig pseudogranen aanwendt in de broodbereiding.

Dit onderzoek streeft naar het verwerven van meer inzicht in het effect van inmenging van pseudograanmeel in tarwebloem op deeg- en broodniveau. Dit doel leidt tot twee onderzoeksvragen. Ten eerste gaat dit onderzoek na welke effecten de **inmenging** van pseudograanmeel teweegbrengt in tarwedeg en -brood. Daarbij wordt onderzocht of de waargenomen verschillen in functionele eigenschappen en deegreologie een invloed hebben op broodkarakteristieken.

Het is van belang om de baktesten te standaardiseren naar gelijke mate van  $\alpha$ -amylaseactiviteit. Zo kan een te lage  $\alpha$ -amylaseactiviteit resulteren in een brood met een droge kruim en een klein volume. Door middel van **moutadditie** wordt getracht om deze effecten te voorkomen. Bij de standaardbakproef met tarwebloem wordt de hoeveelheid mout gestandaardiseerd volgens het valgetal van Hagberg. Aangezien pseudogranen andere eigenschappen hebben dan tarwe, leidt dit tot een tweede onderzoeksvraag. Deze betreft de mogelijkheid om de baktesten met ingemengd pseudograanmeel te standaardiseren via moutadditie volgens het valgetal. In dit deel zal er nagegaan worden of de hoeveelheid moutadditie ook bij pseudograanmeelmengsels kan bepaald worden via de gebruikelijke formule van het valgetal. Daarnaast zal het effect van deze moutadditie op de broden met pseudograanmeel bestudeerd worden.

### 2.2 Proefopzet

De proefopzet is opgebouwd uit drie delen, namelijk bloem-, deeg- en broodniveau. Bijlage 1 toont een schematisch overzicht van de proefopzet. Steeds twee commerciële quinoa-, amarant- en boekweitstalen ondergaan analyse. Zo kan de variabiliteit zowel tussen de verschillende types pseudogranen (intervariabiliteit) als binnen één groep pseudogranen (intravariabiliteit) onderzocht worden. Er worden steeds drie verschillende percentages aan pseudograanmeel ingemengd, namelijk 5, 15 en 30 % w/w. De effecten van deze inmengpercentages op deeg- en broodkarakteristieken worden geëvalueerd.

In het eerste deel worden de chemische samenstelling en de functionele eigenschappen van de pseudograanmelen bestudeerd. Zo wordt het zwelvermogen en waterabsorberend vermogen tussen de stalen onderling vergeleken. De zetmeelverstijfseling werd opgemeten d.m.v. een pastingcurve met behulp van een reometer. Ten slotte wordt nagegaan of het valgetal van Hagberg een maat kan geven voor de  $\alpha$ -amylaseactiviteit van mengsels met pseudograanmelen.



In het tweede deel wordt de invloed van inmenging met pseudograanmeel op tarwedeeg geanalyseerd. Hierbij ligt de focus op de reologische eigenschappen van het deeg. De kneedeigenschappen worden onderzocht met een farinograaf en de visco-elastische eigenschappen met een alveograaf.

In het derde deel wordt de invloed van inmenging met pseudograanmeel op tarwebrood geanalyseerd. Zo zal de gasceldistributie en de textuur van het kruim onderzocht worden. Ook andere kwaliteitsparameters zoals specifiek volume, gewicht, *surface browning*, ovenrijs en *bake loss* worden bestudeerd. De fysicochemische houdbaarheid zal nagegaan worden via de *staling index* en het vochtverlies van het kruim. Ten slotte zal de wateractiviteit ( $a_w$ ) van het kruim bepaald worden.

Bij de statistische analyse van de data worden de significante verschillen tussen de zuivere stalen en de mengstalen (5, 15 en 30 % w/w of moutadditie) achterhaald. Daarbij zal de variabiliteit zowel tussen de verschillende types pseudogranen als binnen één groep pseudogranen onderzocht worden. Ten tweede worden correlaties onderzocht tussen de deeg- en broodkarakteristieken.

### 2.3 Analyse materiaal

Als referentie werd Epi B tarwebloem (type 55, Paniflower) geanalyseerd. De originele zak Epi B werd in de diepvries bij -18 °C bewaard. Kleine hoeveelheden tarwebloem werden nadien afgenomen voor de analyses. Deze werden gedurende enkele weken bewaard in afsluitbare plasticen emmers op kamertemperatuur.

Er werden steeds twee commerciële stalen quinoa, amarant en boekweit geanalyseerd (Tabel 2). De pseudogranen werden integraal vermalen met de Foss-molen (type 6007 1134/Rev. 3, Hammertec™, Hilleroed, Denemarken) met een zeef van 0,8 mm. Het bekomen meel werd vervolgens goed gemengd. De gemalen stalen werden bij kamertemperatuur gedurende enkele weken bewaard in afsluitbare emmers.

**Tabel 2:** De aangewende meelstalen met hun afkortingen

Quinoa		Amarant		Boekweit	
Quinoa De Zuidmolen	QZ	Amarant Mill & Mix	AM	Boekweit De Zuidmolen bio	BB
Quinoa Vajra	QV	Amarant Vajra	AV	Boekweit De Zuidmolen conventioneel	BC

## 2.4 Tarwebloem- en meelkarakteristieken

### 2.4.1 Chemische samenstelling

#### 2.4.1.1 Vochtgehalte

Het vochtgehalte van de tarwebloem en de pseudograanmelen werd in viervoud bepaald volgens de *International Association for Cereal Science and Technology* (ICC) standaardmethode nr. 110/1 (ICC, 1976).

Het vochtgehalte is van belang bij het uitdrukken van de samenstelling op drogestofgehalte. Voor de uitvoering van de experimenten werd de verhouding drogestof t.o.v. water constant gehouden zodat onderling vergelijken van de stalen mogelijk werd. Zo werd rekening gehouden met het drogestofgehalte bij het innemen van 5, 15 en 30 % pseudograanmeel in tarwebloem.

#### 2.4.1.2 Eiwitgehalte

Het eiwitgehalte van de pseudograanmelen werd bepaald volgens de geautomatiseerde Dumas-methode via Variomax CN (Elementar Analysensysteme GmbH, Langensfeld, Duitsland). Hierbij werd het totale stikstofgehalte vermenigvuldigd met een conversiefactor van 6,25.

#### 2.4.1.3 Vetgehalte

Het vetgehalte van de pseudograanmelen werd bepaald volgens de ISO 6492:1999 (ISO, 1999).

#### 2.4.1.4 Asgehalte

Het asgehalte van de pseudograanmelen werd bepaald volgens de ICC standaardmethode nr. 104 (ICC, 1990).

### 2.4.2 Zwelvermogen

Het zwelvermogen werd bepaald volgens de methode beschreven door Leach, McCowen en Schoch (1959), mits enkele aanpassingen. Er werd 75 mg staal afgewogen in een epje waarna 1,5 ml gedestilleerd water werd toegevoegd. De epjes werden nadien gesloten en geschud om een homogeen mengsel te bekomen. Nadien werden de epjes gedurende 30 minuten geschud aan 1000 tpm en verwarmd bij 55, 65, 75, 85 of 95 °C in een Eppendorf ThermoMixer-C (Eppendorf N.V., Aarschot, België). Vervolgens werden de epjes gedurende 20 min gecentrifugeerd aan 8000 g bij 21 °C. Ten slotte werd het supernatans afgegoten. De berekening wordt in onderstaande formule weergegeven waarbij G1 het gewicht is van het sediment (uitgedrukt in g) en G0 is het initieel gewicht van het staal (g).

$$\text{Zwelvermogen (g/g)} = \frac{G1}{G0} \quad (1)$$

### 2.4.3 Waterabsorberend vermogen

Het waterabsorberend vermogen wordt volgens de werkwijze van het zwelvermogen uitgevoerd maar zonder verhitting van de stalen. Zo gebeurt het experiment op kamertemperatuur (21 °C). De berekening wordt in onderstaande formule weergegeven waarbij G2 het gewicht is van het gebonden water (g) en G0 is het initieel gewicht van het staal (g).

$$\text{Waterabsorberend vermogen (\%)} = \frac{G_2}{G_0} \cdot 100 \% \quad (2)$$

G2 (g) = gewicht van het sediment – initieel gewicht van het staal

### 2.4.4 Verstijfselingsgedrag van zetmeel

Een reometer MCR 102 (Anton Paar GmbH, Graz, Oostenrijk) uitgerust met een *starch pasting cell* met een *measuring cup* (CC26/ST) en een *spindle* (ST24-2D/2V/2V-30), is specifiek voor het opmeten van het verstijfselingscurve. De methode is gebaseerd op de AACCI standaardmethode 76-21.01 (AACCI, 1999).

De hoeveelheid af te wegen meel is 2,8 g indien het staal een vochtgehalte heeft van 14 %. Aangezien het werkelijke vochtgehalte verschillend is van 14%, wordt de af te wegen hoeveelheid aangepast volgens onderstaande formule. Het v% is het vochtgehalte van het meel.

$$\text{massa meel (g)} = 2,8 \text{ g} \cdot \frac{100-14}{100-v\%} \quad (3)$$

De hoeveelheid meel werd afgewogen in een plasticen recipiënt, waarin nadien 20 ml gedestilleerd water werd toegevoegd. Het recipiënt werd nadien gesloten en geschud om een homogeen mengsel te bekomen dat vervolgens in de *starch pasting cell* werd overgebracht. Er werd geen zilvernitraatoplossing toegevoegd zodat er geen inhibitie is van de  $\alpha$ -amylaseactiviteit. De *spindle* werd tot op 1,000 mm van de onderzijde van de *starch pasting cell* bewogen, waarna de *starch pasting cell* werd afgedekt met een kapje om waterverdamping tijdens de meting te voorkomen.

De meting startte met een *pre-shear* van 5 seconden waarbij de *spindle* aan een snelheid van 960 rpm het staal homogeniseerde bij een begintemperatuur van 50 °C. Tijdens de werkelijke meting werd een constante rotationele snelheid van 160 rpm aangehouden. De begintemperatuur van 50 °C werd gedurende 1 minuut aangehouden. In de opwarmfase steeg de temperatuur aan 5 °C/min tot 95 °C. Na 5 minuten bij 95 °C werd de temperatuur aan 5 °C/min verlaagd tot 50 °C. De meting werd beëindigd na een houdfase van 2 minuten.

De software RheoCompass<sup>TM</sup> (versie 1.23.403-Release, Anton Paar GmbH, Graz, Oostenrijk) berekende automatisch de reologische parameters uit de opgemeten verstijfselingscurve. De reologische parameters zijn de verstijfselingstemperatuur (T<sub>G</sub>), de piekviscositeit (PV), piektijd, piektemperatuur (T<sub>piek</sub>), de *holding strength* (HS), de finale viscositeit (FV), de

*breakdown* (BD), de relatieve *breakdown* (RBD, de verhouding van de BD t.o.v. PV, in %) de *setback from peak* (SB<sub>p</sub>) en de *total setback* (SB<sub>t</sub>). Het gemiddelde werd berekend op basis van 3 metingen.

#### 2.4.5 Valgetal van Hagberg

Het valgetal van Hagberg (FN1310, Perten Instruments AB, Huddinge, Sweden) werd uitgevoerd volgens de ICC standaardmethode nr. 107/1 (ICC, 1995). Het valgetal geeft een indicatie van de  $\alpha$ -amylaseactiviteit aanwezig in de tarwebloem. Het valgetal werd bepaald voor Epi B en voor mengsels met 30 % pseudograanmeel. Deze mengsels werden vervolgens via moutadditie gestandaardiseerd tot een valgetal van 200 tot 300 seconden.

Het valgetal werd bepaald op het mengsel van 7,00 g. Nadien werd 1 % (0,07 g) moutbloem aan het mengsel toegevoegd en werd het valgetal opnieuw bepaald. Vervolgens werd een aanbevolen moutadditie berekend via de gebruikelijke formule van het valgetal. Hierbij worden de valgetallen bij 0 % en 1 % moutadditie in rekening gebracht. Het verband tussen het valgetal en hoeveelheid mout is niet lineair. Het verband kan uitgedrukt worden als een rechte lijn functie door het valgetal om te zetten in het *Liquefaction Number* (LN) volgens de onderstaande empirische formule. Het getal 6000 is een constante. Het getal 50 is de geschatte tijd nodig om het zetmeel in de bloem te verstijfselen. Het LN is evenredig met de  $\alpha$ -amylaseactiviteit over een breed gebied in commerciële tarwebloem. Door dit lineair verband is het mogelijk om via lineaire interpolatie de hoeveelheid mout te berekenen om een LN van 30 te verkrijgen, wat overeenstemt met een valgetal van 250 seconden. Via de tweede onderstaande formule wordt de aanbevolen moutadditie bepaald (%). Hierbij is LN(VG0) de LN van het gemiddelde valgetal met 0 % mout en LN(VG1) de LN van het gemiddelde valgetal met 1 % mout.

$$\text{Liquefaction Number (LN)} = \frac{6000}{\text{valgetal (sec)} - 50} \quad (4)$$

$$\text{Aanbevolen moutadditie (AMA, in \%)} = 1 - \frac{30 - \text{LN(VG1)}}{\text{LN(VG0)} - \text{LN(VG1)}} \quad (5)$$

De valgetallen werden ten slotte bepaald op de mengsels waaraan de aanbevolen hoeveelheid mout werd toegevoegd. Indien het valgetal niet tussen 200 en 300 seconden lag, werd de hoeveelheid mout via *trial and error* aangepast tot het valgetal zich wel tussen deze waarden bevond.

## 2.5 Deegkarakteristieken

### 2.5.1 Kneedeigenschappen: farinograaf

De farinograaf van Brabender (Brabender GmbH & Co, Duisburg, Duitsland) met een kneder voor 50 g bloem (Mixer S 50N, Brabender GmbH & Co, Duisburg, Duitsland) werd gebruikt voor de analyse van het kneedgedrag en de waterabsorptie-eigenschappen van het deeg. De analyses werden uitgevoerd volgens de ICC standaardmethode nr. 115/1 (ICC, 1992a). De software Brabender Farinograph (versie 2.5.6, 32-bit) berekende volgende parameters: waterabsorptie (WA, in %), deegontwikkelingstijd (DO-tijd, in min), stabiliteit (stab., in min), afzwakking 10 min na start (AF10, in Brabender-eenheden) en afzwakking 12 min na maximum (AF12, in BE).

Na verwerking van de resultaten van de farinograaf was er vaak een te grote foutenmarge op de parameters van de drie herhalingen. Hierdoor was het noodzakelijk om die metingen opnieuw uit te voeren. Indien de metingen echter uitgevoerd werden met de oorspronkelijke waterabsorpties, kon de deegconsistentie te ver afwijken van 500 BE. De waterabsorptie was immers gewijzigd ten gevolge van de tijd (enkele maanden). Hierdoor werden de nieuwe metingen uitgevoerd bij een nieuwe waterabsorptie zodat terug een deegconsistentie rond de 500 BE bekomen kon worden.

### 2.5.2 Visco-elastische eigenschappen: alveograaf

De Alveo-Consistograaf NG (Chopin Technologies, Cereal Tester SA, Fleurus, België) werd gebruikt voor de analyse van de visco-elastische eigenschappen van de degen. De analyses werden uitgevoerd volgens de ICC standaardmethode nr. 121/1 (ICC, 1992b). De software Alveoexpert (Chopin Technologies, Cereal Tester SA, Fleurus, België) berekende de volgende parameters: tenaciteit (P, in mm H<sub>2</sub>O), extensibiliteit (L, in mm), baksterkte (W, in 10<sup>-4</sup> J), *configuration ratio* (P/L) en elasticiteitsindex (I<sub>e</sub>, in %).

## 2.6 Broodkarakteristieken

### 2.6.1 Broodbereiding

De procedure voor de baktest was de Belgische standaardbakproef voor tarwebloem (De Leyn, 2001). Deze bakproef steunt op het snel kneden en een verkorte rijstijd. Hiervoor werd een spiraalkneder met een platte bodem gebruikt (De Danielli, type IS.06). De hoeveelheid water in de receptuur werd aangepast aan de waterabsorpties bepaald met de farinograaf (zie 2.5.1). De waterabsorpties moesten hierbij aangepast worden volgens onderstaande formule. Hierbij is WA farino (%) de waterabsorptie opgemeten met farinograaf (zie Bijlage 8). Het vochtgehalte (%) van het staal tijdens de farinograaftest wordt aangegeven met v% farino. Het vochtgehalte van het staal tijdens de baktest wordt aangegeven met v% baktest.

$$\text{WA gecorrigeerd (\%)} = \frac{2 \cdot 50 \cdot \text{WA farino (\%)}}{100} + \frac{50(100 - 14)}{100 - v\% \text{ farino}} - \frac{50(100 - 14)}{100 - v\% \text{ baktest}} \quad (6)$$

Enkel voor quinoa De Zuidmolen werd de waterabsorptie gecorrigeerd. Voor de andere stalen werd de waterabsorptie op een foutieve manier in de receptuur toegepast, namelijk volgens onderstaande formule. Hierbij is ‘massa meel totaal’ het gewicht van bloem/meel-mengsel (1750 g) dat gecorrigeerd werd naar zijn vochtgehalte.

$$\text{Water toegepast (g)} = \frac{\text{massa meel totaal (g)} \cdot \text{WA farino (\%)}}{100} \quad (7)$$

$$\text{Toegepaste WA (\%)} = \frac{\text{water toegepast (g)} \cdot 100 \%}{1750 \text{ g}} \quad (8)$$

Er werden op eenzelfde dag steeds vijf baktesten uitgevoerd. De eerste baktest was de referentie waarbij 100 % Epi B werd toegepast. Bij de tweede, derde en vierde baktest werd respectievelijk 5, 15 en 30 % pseudograanmeel ingemengd. Bij de vijfde baktest werd de receptuur met 30 % inmenging toegepast, maar met een aangepaste hoeveelheid moutbloem bepaald a.d.h.v. het valgetal van Hagberg (zie 2.4.5).

Per baktest werden er 6 broden bereid o.b.v. 400 g deeg per brood. Het totaal af te wegen bloemgewicht van 1750 g (gebaseerd op een vochtgehalte van 14 %) werd gecorrigeerd naar het werkelijke vochtgehalte van het staal via de onderstaande formule. Het v% is het vochtgehalte van het meel, uitgedrukt in %. Naast het meel, water en mout, werd een constante hoeveelheid zout (1,5 %), droge instant gist (1,0 %) en ascorbinezuur (25 ppm) toegevoegd.

$$\text{Massa meel totaal (g)} = 1750 \text{ g} \cdot \frac{100 - 14}{100 - v\%} \quad (9)$$

Ten eerste werd een mengsel van water, zout en ascorbinezuur in de kneder overgebracht. Nadien werd een mengsel van het meel, mout en gist in de kneder toegevoegd. Na twee minuten kneden werden de wanden afgeschraapt om te garanderen dat alle componenten in het deeg worden opgenomen. Nadien werd er vijf minuten verder gekneed. Vervolgens vond een kuiprijs in de rijkskast PSF20 (Panimatic, Souppes-sur-Loing, Frankrijk) plaats gedurende 10 minuten bij 30 °C en 55 % relatieve vochtigheid.

Nadien werd het deeg in zes stukken van 400 g verdeeld en 15 seconden opgebald met het opbolapparaat van Brabender. Hierna vond een bolrijs van 30 minuten plaats. Na de bolrijs werden de deegstukken opgemaakt zoals de Belgische standaardbakproef dit voorschrijft. De opgerolde deegstukken werden ten slotte in de broodbussen gelegd. De degen werden genummerd d.m.v. ouwelpapier.

Vervolgens vond een narijs van 65 minuten plaats. Na deze narijs werd de hoogte in de broodbussen opgemeten en genoteerd. De broden werden vervolgens gedurende 30 minuten op 230 °C gebakken in de oven aero e<sup>+</sup> (MIWE Michael Wenz GmbH, Arnstein, Duitsland). De broden liggen in de zes bakblikken naast elkaar op twee geperforeerde bakplaten. De eerste drie broden lagen op de onderste bakplaat met de genummerde zijde naar het hete lucht element. In

de eerste bakfase wordt stoom geïnjecteerd in de ovenruimte zodat de korstvorming wordt uitgesteld en dus een langere ovenrijfs plaats vindt. Meteen nadat de broden uit de oven werden gehaald, werd de hoogte in de broodbussen opgemeten. Nadien werden de broden uit de bakvormen gehaald en op metalen roosters gekoeld aan de omgevingslucht ( $\pm 20$  °C). Pas als de broden afgekoeld waren tot onder de 25 °C, werden er analyses op de broden uitgevoerd.

Bij elke bakttest werden er zes broden gebakken. De eerste twee broden werden op dag 0 geanalyseerd, de volgende twee broden op dag 1 en de laatste twee broden op dag 3. De metingen werden dus steeds op twee broden herhaald om de herhaalbaarheid van de analyses te kunnen garanderen. De broden werden gedurende 4 dagen op gecontroleerde temperatuur (20 °C) bewaard in gesloten polyethyleen ziplockzakken.

### 2.6.2 Ovenrijfs

Met een hoogteschuifmaat werd de hoogte van elk deeg en elk brood in het bakbus gemeten respectievelijk na de narijs en na het bakken. Het hoogteverschil tussen de gemiddelde waarden is de ovenrijfs en wordt uitgedrukt in mm.

$$\text{Ovenrijfs (mm)} = \text{broodhoogte (mm)} - \text{deeghoogte (mm)} \quad (10)$$

### 2.6.3 Volume, gewicht en specifiek volume

Het gewicht (g) van de broden werd bepaald na minstens twee uren afkoelen op metalen roosters. Het broodvolume (ml) werd bepaald met de VolScan Profiler 600 (Stable Micro Systems Ltd, Vienna Court, Godalming, VK) en de software VolScan (versie 1,2,2,0, Stable Micro Systems Ltd, Godalming, VK). Het specifiek volume (g/ml) van een brood is zijn gewicht (g) gedeeld door zijn volume (ml).

### 2.6.4 Bake loss

De *bake loss* is een maat voor het verlies aan vocht en gasvormige componenten tijdens de narijs, het bakken en afkoelen. Volgens de onderstaande formule wordt de *bake loss* (%) berekend. Het gemiddelde deeggewicht (g) werd berekend op basis van de 6 deegstukken. Het broodgewicht (g) is het gemiddelde gewicht van de 6 afgekoelde broden.

$$\text{Bake loss (\%)} = \frac{\text{deeggewicht (g)} - \text{broodgewicht (g)}}{\text{deeggewicht (g)}} \cdot 100 \% \quad (11)$$

### 2.6.5 Surface browning

De kleur van het brood werd gemeten met een CM-700d/600d spectrofotometer (D65) van Konica Minolta (Chiyoda, Tokio, Japan). Er werd inclusief met de glanscomponent (SCI) gemeten zodat de oppervlakte-effecten bij elke meting mee geanalyseerd werden. De metingen worden uitgedrukt in CIE L\* a\* b\*.

De *surface browning* ( $\Delta E^*$ ) is het kleurverschil tussen het rauw deeg en de korst na het bakken. Het wordt berekend volgens de onderstaande formule, waarbij  $\Delta L$  het verschil in helderheid is,  $\Delta a$  het verschil in roodheid en  $\Delta b$  het verschil in geelheid (Zhang & Datta, 2006).

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (12)$$

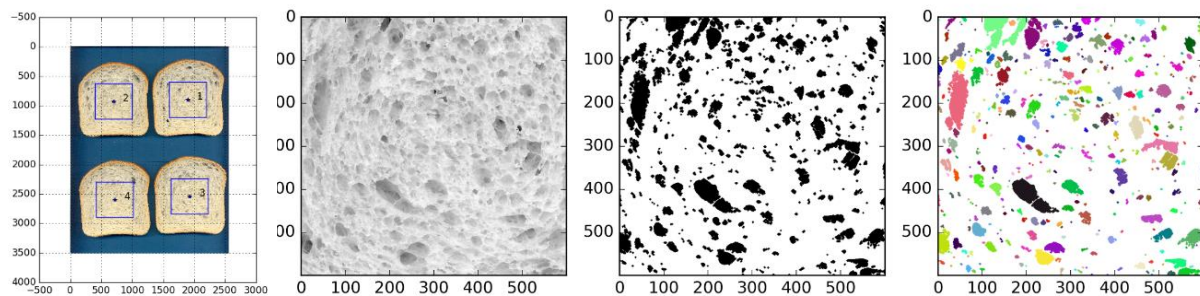
### 2.6.6 Korst- en kruimkleur

De korst- en kruimkleur werden op dezelfde manier opgemeten met de CM-700d/600d spectrofotometer (D65) van Konica Minolta (Chiyoda, Tokio, Japan).

### 2.6.7 Gasceldistributie kruim

Het brood werd met een broodsnijmachine Eco+ 450 (JAC, Luik, België) versneden tot sneden van 10 mm dikte. Per brood werden er acht sneden, tweemaal per vier sneden, gescand. De sneden kwamen steeds uit dezelfde plaats van het brood, namelijk de vier achtereenvolgende sneden links en rechts van de middelste snede.

Met behulp van een scanner (HP Scanjet 2400, Hewlett-Packard Company, Californië, VS) werden per brood vier sneetjes gescand bij een resolutie van 300 dpi. De scans werden geanalyseerd op hun gascel distributie met een Python-script '*BreadAnalyzer*' (ontwikkeld door prof. dr. ir. Jan Verwaeren). Eerst wordt van elke broodsnede een beeld van 600 bij 600 pixels uitgesneden vanuit het midden. Vervolgens worden de gascellen in dit beeld gedetecteerd. Daarna worden de gascelgroottes verdeeld in klassen met grenzen van 0, 20, 40, 60, 100, 200, 500, 1000, 5000,  $10^4$ ,  $10^6$  pix<sup>2</sup>. Elke gascel wordt in een specifieke kleur volgens zijn klasse aangeduid. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in Figuur 8.



**Figuur 8:** Verschillende stappen in de beeldanalyse met *BreadAnalyzer*

Het Python-script berekent het totale aantal gascellen over het totale oppervlak van  $600^2$  pixels<sup>2</sup> (tot #GC). De gemiddelde gasceloppervlakte (gem GCopp, in pixels<sup>2</sup>), de relatieve gasceloppervlakte (REL GCopp, in %) en het relatief aantal gascellen groter dan 100 pixels<sup>2</sup> (REL [>100], in %) worden berekend volgens onderstaande formules.

$$\text{Gem GCopp (pixels}^2\text{)} = \frac{\text{het totale gasceloppervlakte (TOT GCopp)}}{\text{tot \#GC}} \quad (13)$$

$$\text{REL GCopp (\%)} = \frac{\text{TOT GCopp}}{600^2 \text{ pixels}^2} \cdot 100 \%$$

$$\text{REL [>100] (\%)} = \text{de som van het relatief \#GC van de klassen groter dan 100 pixels}^2$$



### 2.6.8 Texture profile analysis

Een *texture profile analysis* (TPA) werd uitgevoerd met een TA-XT plus *texture analyser* (Stable Micro Systems Ltd, Vienna Court, Godalming, VK) met een aluminium cilindrische probe met een diameter van 36 mm (SMS P/36R). Er werd een *load cell* van 5 kg gebruikt. De probe zakt initieel met een pre-testsnelheid van 1,00 mm/s. De dataregistratie start naarmate een *trigger-force* van 5,0 g overschreden wordt. Vanaf dan wordt een testsnelheid van 1,70 mm/s aangenomen tot de probe de sneden 40 % indrukte. Nadien steeg de probe terug met 1,70 mm/s tot net boven de broodstapel en pauzeerde er dan 5,00 seconden. Nadien werd een tweede compressie uitgevoerd. Na de tweede indrukking keerde de probe met een post-testsnelheid van 10,00 mm/s terug naar de beginpositie.

Per staal werden er twee broden geanalyseerd. Per brood werden er drie stapels van telkens drie sneden geanalyseerd. De negen sneden werden steeds op dezelfde plaats uit het brood genomen, namelijk de middelste snede en de hiervan vier aangrenzende sneden. De drie sneden werden onder de probe gelegd zodanig dat de laatste snede van de stapel steeds bovenaan lag.

De software Exponent (versie 6,1,16,0, Stable Micro Systems Ltd, Vienna Court, Godalming, VK) berekende de volgende parameters: hardheid (g), *adhesiveness* (g·sec), *springiness*, *cohesiveness* en *resilience*. Een gemiddelde werd berekend van de zes metingen per brood.

Om het effect van bewaring op de parameters te bestuderen, werd een TPA tevens uitgevoerd op 1 en 3 dag(en) na de baktest.

### 2.6.9 Fysicochemische houdbaarheid

#### 2.6.9.1 Staling index

De *staling index* is de procentuele stijging in kruimhardheid over 1 (D1) en 3 dagen (D3). De kruimhardheid werd op dag 0, 1 en 3 opgemeten door de *texture analyser*. Volgens de onderstaande formule wordt de *staling index* berekend.

$$\text{Staling index D1 (\%)} = \frac{\text{kruimhardheid dag 1} - \text{kruimhardheid dag 0}}{\text{kruimhardheid dag 0}} \cdot 100 \% \quad (14)$$

$$\text{Staling index D3 (\%)} = \frac{\text{kruimhardheid dag 3} - \text{kruimhardheid dag 0}}{\text{kruimhardheid dag 0}} \cdot 100 \%$$

#### 2.6.9.2 Kruimvochtgehalte en vochtverlies

Het vochtgehalte van het kruim werd bepaald volgens de ICC standaardmethode nr. 110/1 (ICC, 1976). Dit werd op acht sneden brood bepaald. De korst werd eerst met een broodmes afgesneden waarna de sneden aan de lucht werden voorgedroogd. De volgende dag werden de acht sneden per brood vermalen in een M20 universele vermaler (IKA Mills). Daarna wordt het vermalen staal in kroesjes afgewogen en overnacht in de droogstoof UN30 (Mommert, Eeklo,

België) op 105 °C gedroogd. Het vochtgehalte werd ten slotte volgens de onderstaande formules berekend.

$$\text{Vochtverlies (\%)} = \frac{A \text{ (g)} + B \text{ (g)}}{C \text{ (g)}} \cdot 100 \% \quad (15)$$

$$\text{Vers/droog massa index} = \frac{\text{kruimmassa vers (g)}}{\text{kruimmassa na luchtdroging (g)}}$$

$$\begin{aligned} A &= \text{massa vochtverlies door luchtdroging (g)} \\ &= \text{massa luchtgedroogd staal zonder kroes (g)} \cdot ((\text{vers/droog massa index}) - 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \text{massa vochtverlies door ovendroging (g)} \\ &= \text{massa luchtgedroogd staal zonder kroes (g)} - \text{massa ovengedroogd staal zonder kroes (g)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \text{massa vers (g)} \\ &= \text{massa luchtgedroogd staal zonder kroes (g)} \cdot \text{vers/droog massa index} \end{aligned}$$

De procentuele daling in kruimvochtgehalte gedurende drie dagen bewaring (vochtverlies D3, in %) werd berekend volgens onderstaand formule. Hierbij is VD0 en VD3 het vochtgehalte van het kruim (in %) respectievelijk op dag 0 en 3.

$$\text{vochtverlies D1 (\%)} = \frac{VD0 - VD1}{VD0} \cdot 100 \% \quad (16)$$

$$\text{vochtverlies D3 (\%)} = \frac{VD0 - VD3}{VD0} \cdot 100 \%$$

#### 2.6.10 Wateractiviteit kruim

De wateractiviteit ( $a_w$ ) van elke broodkruim werd gemeten op dag 0, 1 en 3. Hiervoor werd telkens het centrum van de middelste snede uitgesneden. Het cupje van de  $a_w$ -meter LabMaster- $a_w$  (Novasina AG, Lachen, Zwitserland) werd voor de helft gevuld. Het gemiddelde werd berekend van de  $a_w$ -waarden van de zes broden over drie dagen.

### 2.7 Statistische verwerking van de data

De data werd geanalyseerd met Microsoft® Excel® Office 365 (Microsoft Corp., 2020) en IBM® SPSS® Statistics (IBM Corp., 2019).

Het gemiddelde en de standaarddeviatie werd steeds van herhaalde metingen berekend. Indien er uitschieters waren, werden deze verwijderd uit de dataset. Bij elke statistische test werd de vooropgestelde hypothese aangenomen of verworpen op basis van een significantieniveau van 95 % ( $p = 0,05$ ).

Een *one-way analysis of variance* (ANOVA) werd toegepast voor het vergelijken van gemiddelde waarden. De normaliteitsvoorwaarde werd als voldaan beschouwd. De homoscedasticiteitsvoorwaarde werd geverifieerd via de *Levene's test for equality of variances*.

Indien de homoscedasticiteitsvoorwaarde voldaan was ( $p > 0,05$ ), werden de eventuele significante verschillen tussen de gemiddelden onderzocht via een post-hocanalyse (Tukey-test). Indien er niet voldaan werd aan de homoscedasticiteitsvoorwaarde ( $p < 0,05$ ), werd geopteerd voor een Welch-test voor ongelijke varianties. De post-hocanalyse werd dan uitgevoerd met een Dunnett's T3-test. Alle aangehaalde verschillen die in dit onderzoek besproken worden, zijn statistisch significant, tenzij anders vermeld. Tenslotte werden correlaties tussen de data geanalyseerd met een correlatieanalyse volgens Pearson. De correlatie werd als significant aanzien bij een determinatiecoëfficiënt ( $R^2$ ) boven 0,700.

### 3 Resultaten en bespreking

#### 3.1 Tarwebloem- en meelkarakteristieken

##### 3.1.1 Chemische samenstelling

In Tabel 3 wordt het eiwit-, vet- en asgehalte op drogestof (ds) van de zes stalen weergegeven. Ook de samenstelling van Epi B wordt weergegeven, maar deze werd door de maalderij bepaald. In Bijlage 2 wordt de chemische samenstelling grafisch weergegeven.

De gegevens tonen aan dat zowel het eiwit-, het vet- als het asgehalte hoger ligt bij de pseudogranen tegenover de tarwebloem. Dit heeft twee verklaringen. Enerzijds werden de pseudograankorrels integraal vermalen tegenover het geraffineerde Epi B. Anderzijds bezitten de pseudograankorrels gemiddeld een hoger vet- en asgehalte t.o.v. tarwekorrels (Wrigley e.a., 2017). Verder tonen de resultaten dat de chemische samenstelling zowel tussen het type pseudograan als tussen de stalen varieert. De boekweitstalen en QZ bezitten een lager eiwitgehalte ten opzichte van de andere stalen. Daarnaast valt bij de boekweitstalen het lagere vet- en asgehalte op.

Tabel 3: Eiwit-, vet- en asgehalte (%/ds) voor de zes stalen en Epi B

Staal	Eiwit (%/ds)	Vet (%/ds)	As (%/ds)
QZ	15,51 ± 0,00 <sup>b</sup>	7,54 ± 0,01 <sup>d</sup>	2,48 ± 0,01 <sup>d</sup>
QV	17,58 ± 0,18 <sup>d</sup>	8,90 ± 0,03 <sup>e</sup>	2,72 ± 0,01 <sup>f</sup>
AM	17,16 ± 0,10 <sup>d</sup>	7,18 ± 0,03 <sup>c</sup>	2,57 ± 0,03 <sup>e</sup>
AV	16,59 ± 0,10 <sup>c</sup>	6,86 ± 0,01 <sup>b</sup>	2,27 ± 0,03 <sup>c</sup>
BB	15,32 ± 0,05 <sup>b</sup>	3,92 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,97 ± 0,01 <sup>a</sup>
BC	14,13 ± 0,15 <sup>a</sup>	3,93 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,21 ± 0,02 <sup>b</sup>
*Epi B	12,5	1,4	0,6

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

\*De chemische samenstelling van Epi B volgens de maalderij

##### 3.1.2 Zwelvermogen

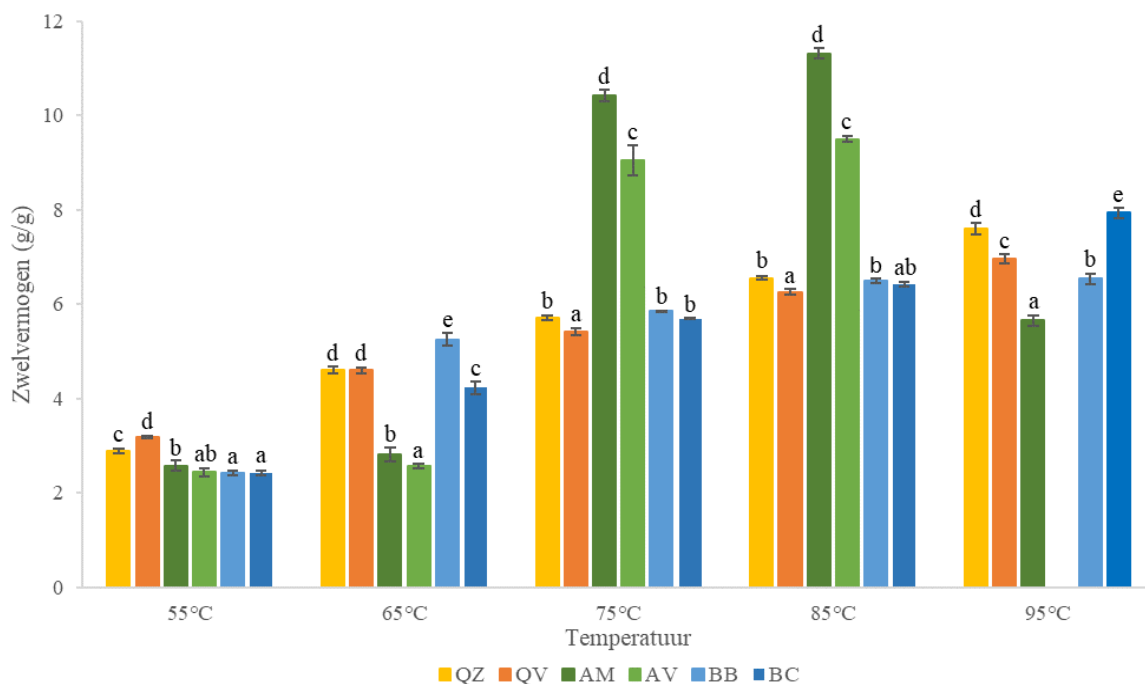
In Figuur 9 worden de resultaten van het zwelvermogen grafisch weergegeven. Een overzicht van de resultaten is terug te vinden in Bijlage 3. Het zwelvermogen van AV op 95 °C kon niet correct bepaald worden omdat door de vergevorderde verstijfseling het water niet meer kon afgescheiden worden via centrifugatie. Dit uitte zich in een grote fout op de meting, waardoor deze resultaten niet opgenomen werden in dit onderzoek.

De verschillen in zwelvermogen bij stijgende temperatuur worden in Bijlage 3 weergegeven. In het algemeen vertoont het zwelvermogen een stijgende trend bij toenemende temperatuur. De stijgende trend in zwelvermogen van boekweitmeel bij stijgende temperatuur werd ook door Qian e.a. (1998) vastgesteld. In eerder onderzoek naar het zwelvermogen van quinoameel was er eveneens een gestage toename naarmate de temperatuur steeg (Ahamed, Singhal, Kulkarni, & Pal, 1996; Li e.a., 2016; Lorenz, 1981). De data uit dit onderzoek toont dan weer de afwezigheid van een lineaire stijging van het zwelvermogen aan bij de amarantstalen

naargelang de temperatuur stijgt. In het onderzoek van Kong e.a. (2009) vertoonden verschillende amarantcultivars tevens een niet-lineaire stijging van het zwelvermogen bij stijgende temperatuur. Hierbij was er een grote variatie in zwelvermogen tussen de verschillende cultivars. Met uitzondering van het vergelijken van een mogelijke trend, is vergelijking van de effectieve waarden van dit onderzoek met de voorgaande onderzoeken niet mogelijk. Dit omwille van verschillen in de methode van de bepaling van het zwelvermogen (Ahamed e.a., 1996; Li e.a., 2016; Lorenz, 1981; Qian e.a., 1998).

Tot het punt van 85 °C is er een stijging van het zwelvermogen bij elk staal. Het effect van een temperatuursverhoging van 85 °C naar 95 °C verschilt naargelang het staal. Bij AM was het zwelvermogen op 95 °C lager t.o.v. deze op 85 °C. Het zwelvermogen van de andere stalen stegen echter van 85 °C naar 95 °C. Uitgezonderd bij BB is het zwelvermogen op 95 °C gelijkaardig als op 85 °C.

De verschillen tussen de stalen, opgemeten bij dezelfde temperatuur, worden weergegeven in Figuur 9. Bij 55 °C is het zwelvermogen van QZ en QV hoger t.o.v. de andere stalen. Bij 65 °C is het zwelvermogen van AM en AV lager dan de andere stalen door het uitblijven van een significante stijging van het zwelvermogen. Bij 75 °C en 85 °C stijgt het zwelvermogen van AM en AV meer t.o.v. alle andere stalen. De amarantstalen nemen niet alleen de grootste sprong, maar ze stijgen ook ver boven de andere stalen uit in zwelvermogen. Hierbij is het zwelvermogen van AM hoger dan deze van AV. Bij 95 °C valt het amarantstaal AM opnieuw sterk terug, tot onder het zwelvermogen van de andere stalen. Dit wordt mogelijks verklaard door het openbarsten van de zetmeelgranules bij een temperatuur tussen 85 °C en 95 °C.

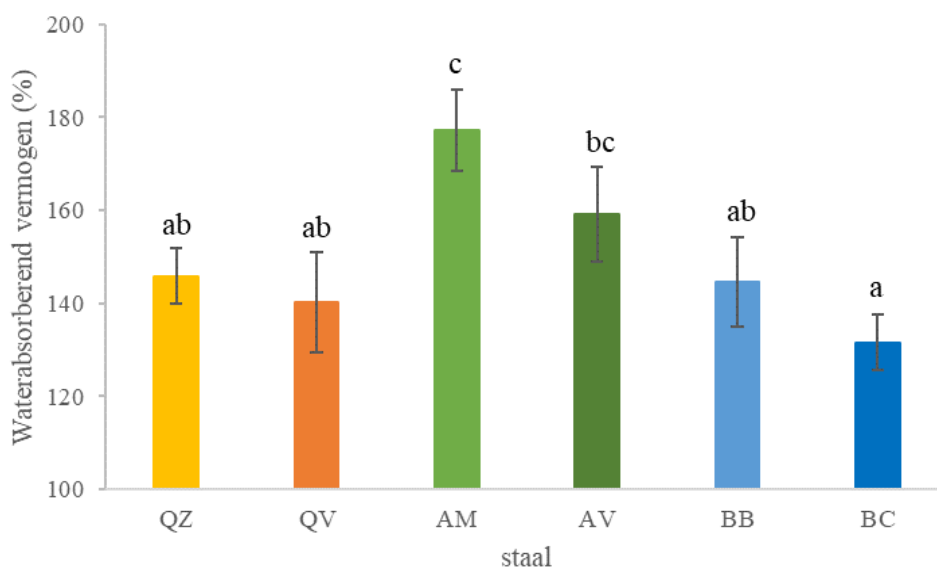


**Figuur 9:** Het zwelvermogen van de pseudograanmelen op 55, 65, 75, 85 en 95 °C. Significante verschillen tussen de stalen, opgemeten bij dezelfde temperatuur, worden aangeduid met een verschillende letter.

Het hoger zwelvermogen van de amarantstalen is mogelijks te wijten aan een lager amylosegehalte van amarant t.o.v. quinoa en boekweit. Er zouden namelijk lage tot verwaarloosbare hoeveelheden amylose-lipidecomplexen kunnen gevormd worden, waardoor de zetmeelgranules meer kunnen zwellen (Lindeboom e.a., 2005; Stone & Lorenz, 1984). Het zwelvermogen van tarwebloem werd in dit onderzoek niet onderzocht. Hierdoor kunnen de zwelvermogens van de pseudogranen niet vergeleken worden met tarwebloem. Volgens de literatuur zouden zetmeelgranules van pseudogranen een groot zwelvermogen hebben (Schoenlechner & Bender, 2020). Deze werden in voorgaand onderzoek echter niet vergeleken met tarwebloem. Wel stelden Miranda-Ramos e.a. (2019) dat het zwelvermogen van amarantmeel hoger is in vergelijking met tarwebloem.

### 3.1.3 Waterabsorberend vermogen

Figuur 10 en Bijlage 3 geven de resultaten van het waterabsorberend vermogen weer. In het algemeen is het waterabsorberend vermogen van de amarantstalen het hoogst tegenover de andere stalen. BC heeft anderzijds het laagste waterabsorberend vermogen. Het waterabsorberend vermogen voor tarwebloem werd in dit onderzoek niet bepaald.



**Figuur 10:** Het waterabsorberend vermogen van de pseudograanmelen. Significante verschillen tussen de stalen worden aangeduid met een verschillende letter.

Voorgaand onderzoek toont aan dat de waterbindingscapaciteit van quinoazetmeel (109,1 %), amarantzetmeel (127,0 %) en boekweitzetmeel (109,9 %) groter is dan de waterbindingscapaciteit van tarwezetmeel (71,8-87,5 %) (Lorenz, 1981; S. G. Mlakar e.a., 2009; Qian e.a., 1998). Dit kan o.a. verklaard worden door de kleinere grootte van de zetmeelgranules van quinoa (1,0-1,5  $\mu\text{m}$ ), amarant (1,0-3,5  $\mu\text{m}$ ) en boekweit (2,9-9,3  $\mu\text{m}$ ) in vergelijking met tarwezetmeel (2-8  $\mu\text{m}$  en 10-40  $\mu\text{m}$ ) waardoor er een groter specifiek oppervlakte is (Lindeboom e.a., 2005; Sangeeta & Grewal, 2018b; Tosi e.a., 2002). Ook verschillen in de moleculaire pakking van de zetmeelgranules zouden bij kunnen dragen aan hoge

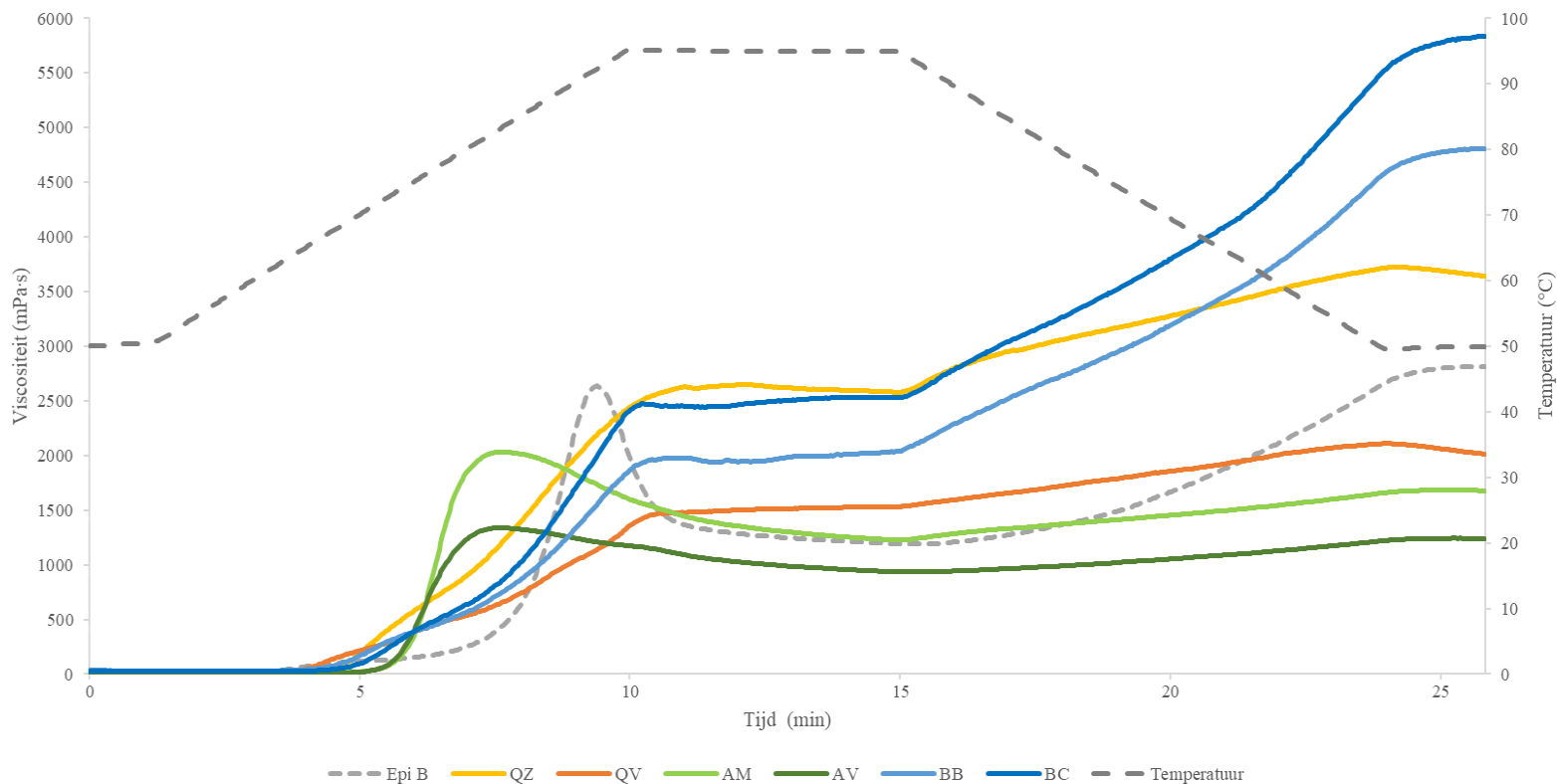
waterbindingscapaciteit (Qian e.a., 1998). Een grotere waterbindingscapaciteit kan tevens te wijten zijn aan een laag gehalte aan amylose en dus een hoog gehalte aan amylopectine, welke gewoonlijk minstens 90 % is bij amarant en quinoa. Het amylose- en amylopectinegehalte kan uiteenlopen tussen soorten onderling, waardoor het waterabsorberend vermogen kan variëren. Zo kan het amylosegehalte van quinoa variëren van 3,5 tot 22 % (G. Mlakar e.a., 2010; Valcárcel-Yamani & Lannes, 2012). Een hoger gehalte aan vezels en eiwitten kunnen ook het waterabsorberend vermogen van het meel verhogen (Föste e.a., 2014). Het vezelgehalte werd in dit onderzoek niet bepaald, maar de amarantstalen hebben in het algemeen het hoogste eiwitgehalte (zie 3.1.1). Een hogere waterabsorberend vermogen kan ook deels te wijten zijn aan een hoger gehalte aan beschadigd zetmeel. Intacte zetmeelgranules kunnen water absorberen tot 40 % van hun gewicht, terwijl beschadigde zetmeelgranules tot 300 % kunnen absorberen. Verder kan de partikelgroottedistributie van het meel ook een invloed hebben. Hoe fijner de meelpartikels, hoe groter het specifiek oppervlak en dus hoe groter het waterabsorberend vermogen (Bajerska e.a., 2016; Jukić e.a., 2019; Torbica, Hadnadev, & Dapčević Hadnadev, 2012).

### *3.1.4 Verstijfselingsgedrag van zetmeel*

#### *3.1.4.1 100 % pseudograanmeel*

In Figuur 11 worden de verstijfselingscurves van de zuivere stalen (100 %) weergegeven. Een overzicht van de verstijfselingsparameters wordt weergegeven in Tabel 4.

Het verloop van de verstijfselingscurve is sterk afhankelijk van het type pseudograan. De twee verstijfselingscurves van eenzelfde type pseudograan vertonen daarentegen een gelijkaardig verloop. Verschillen binnen eenzelfde pseudograan zijn hoofdzakelijk te wijten aan verschillen in viscositeit. Zo zijn de verstijfselingsparameters die een viscositeit uitdrukken verschillend tussen twee stalen behorende tot hetzelfde type pseudograan. Ze hebben immers wel een vergelijkbare piektijd en piektemperatuur ( $T_{\text{piek}}$ ). De verstijfselingstemperaturen ( $T_G$ ) tussen de twee amarantstalen zijn bovendien ook vergelijkbaar.



**Figuur 11:** Het verstijfselingsgedrag van de 100 % pseudograanmelen vergeleken met Epi B

**Tabel 4:** Overzicht van de verstijfselingsparameters van Epi B en de 100 % pseudograanmelen

Staal	T <sub>G</sub> (°C)	PV (mPa·s)	Piektijd (min)	T <sub>piek</sub> (°C)	HS (mPa·s)	FV (mPa·s)	BD (mPa·s)	RBD (%)	SB <sub>p</sub> (mPa·s)	SB <sub>t</sub> (mPa·s)
<b>Epi B</b>	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>d</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>b</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>b</sup>	1189 ± 29 <sup>bc</sup>	2805 ± 62 <sup>d</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>d</sup>	54,89 <sup>e</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>c</sup>	1617 ± 34 <sup>e</sup>
<b>QZ</b>	62,28 ± 0,20 <sup>b</sup>	2658 ± 50 <sup>d</sup>	11,600 ± 0,666 <sup>bc</sup>	95,05 ± 0,03 <sup>c</sup>	2423 ± 15 <sup>e</sup>	3672 ± 45 <sup>e</sup>	234,7 ± 53,6 <sup>a</sup>	8,81 <sup>ab</sup>	1013,4 ± 80,4 <sup>e</sup>	1248 ± 31 <sup>d</sup>
<b>QV</b>	59,23 ± 0,67 <sup>a</sup>	1532 ± 29 <sup>b</sup>	15,011 ± 0,038 <sup>c</sup>	95,00 ± 0,01 <sup>c</sup>	1336 ± 2 <sup>cd</sup>	2042 ± 14 <sup>c</sup>	196,7 ± 28,3 <sup>a</sup>	12,82 <sup>b</sup>	510,0 ± 32,9 <sup>d</sup>	707 ± 13 <sup>c</sup>
<b>AM</b>	67,90 ± 0,29 <sup>e</sup>	2032 ± 18 <sup>c</sup>	7,758 ± 0,034 <sup>a</sup>	83,53 ± 0,15 <sup>a</sup>	1225 ± 4 <sup>bd</sup>	1681 ± 12 <sup>b</sup>	807,1 ± 21,2 <sup>c</sup>	39,71 <sup>d</sup>	-351,2 ± 7,7 <sup>a</sup>	456 ± 15 <sup>b</sup>
<b>AV</b>	67,85 ± 0,36 <sup>e</sup>	1341 ± 15 <sup>a</sup>	7,669 ± 0,019 <sup>a</sup>	83,08 ± 0,11 <sup>a</sup>	933 ± 8 <sup>a</sup>	1241 ± 10 <sup>a</sup>	408,1 ± 10,8 <sup>b</sup>	30,43 <sup>c</sup>	-99,6 ± 9,7 <sup>b</sup>	309 ± 2 <sup>a</sup>
<b>BB</b>	64,21 ± 0,53 <sup>c</sup>	2036 ± 110 <sup>c</sup>	14,944 ± 0,102 <sup>c</sup>	95,00 ± 0,01 <sup>c</sup>	1842 ± 143 <sup>bcde</sup>	4790 ± 57 <sup>f</sup>	193,6 ± 33,8 <sup>a</sup>	9,58 <sup>ab</sup>	2754,7 ± 83,7 <sup>f</sup>	2948 ± 116 <sup>f</sup>
<b>BC</b>	65,79 ± 0,28 <sup>d</sup>	2535 ± 35 <sup>d</sup>	14,167 ± 0,700 <sup>c</sup>	95,00 ± 0,01 <sup>c</sup>	2392 ± 32 <sup>e</sup>	5804 ± 24 <sup>g</sup>	143,6 ± 66,5 <sup>a</sup>	5,64 <sup>a</sup>	3268,0 ± 11,3 <sup>g</sup>	3412 ± 56 <sup>f</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar.

T<sub>G</sub>: verstijfselingstemperatuur, PV: piekviscositeit, T<sub>piek</sub>: piektemperatuur, HS: *holding strength*, FV: finale viscositeit, BD: *breakdown*, RBD: relatieve BD, SB<sub>p</sub>: *setback from peak*, SB<sub>t</sub>: *total setback*



De amarantstalen hebben de laagste piektijd en  $T_{\text{piek}}$  in vergelijking met de andere stalen. Na bereiken van de piekviscositeit (PV) wordt de verstijfde slurry gedeeltelijk verbroken door de afschuifkrachten. De viscositeit van de amarantstalen en Epi B daalt reeds tijdens de opwarmfase, waardoor de structuurafbraak zich sneller voordoet dan bij de andere stalen. De afbraak vindt bij de andere stalen plaats tijdens de houdfase. De amarantstalen en Epi B worden daardoor gekenmerkt door de grootste *breakdown* (BD). De amarantstalen en Epi B zijn met andere woorden het minst resistent tegen structuurafbraak door de afschuifkrachten. Bovendien is de viscositeitstoename tijdens de afkoelfase slechts beperkt voor de amarantstalen t.o.v. de andere stalen. Hierdoor hebben de twee amarantstalen de laagste *total setback* ( $SB_t$ ) en vindt er dus beperkte retrogradatie plaats. Ze worden tevens gekenmerkt door een negatieve *setback from peak* ( $SB_p$ ) doordat hun finale viscositeit (FV) lager is dan hun PV. De FV van de amarantstalen is het laagst t.o.v. de andere stalen. Bij de boekweitstalen verhoogt de viscositeit tijdens de afkoelfase veel meer met de grootste  $SB_p$ ,  $SB_t$  en FV tot gevolg. Bij QZ is de  $SB_p$  en  $SB_t$  groter dan deze van QV. Er vindt dus een sterkere retrogradatie bij QZ plaats dan bij QV. De  $T_G$  is het kleinst bij Epi B en QV en is groter bij respectievelijk QZ, BB, BC en het grootst bij de twee amarantstalen.

De  $T_{\text{piek}}$  van de quinoa- en boekweitstalen is  $95,00 \pm 0,01$  °C. Deze  $T_{\text{piek}}$  is hoger dan de amarantstalen en Epi B. Hierdoor verloopt de viscositeitsstijging trager ten opzichte van de amarantstalen en Epi B. Bovendien is zowel bij de quinoastalen als bij de boekweitstalen geen piek in het viscositeitsverloop zichtbaar. Dit leidt tot de bedenking of de meetcondities in dit experiment voldoende zijn om werkelijk tot een piekviscositeit te komen. De temperatuur stijgt immers tot maximaal 95 °C. Dit is mogelijks een verklaring voor de  $T_{\text{piek}}$  van  $95,00 \pm 0,01$  °C van de quinoa- en boekweitstalen. In het onderzoek van Lindeboom e.a. (2005) en Robin, Théoduloz & Srichuwong (2015) vertoonden de curves van quinoazetmelen eveneens geen piek. Verstijfingscurves van verschillende boekweitmelen toonden tevens geen piek in het onderzoek van Bhinder e.a. (2020). Een snelle stijging in viscositeit wordt veroorzaakt door een sterke zwelling van zetmeelgranules. Onder andere de vorm en de vervormbaarheid van de gezwollen granules zouden een effect op de viscositeit hebben. Een daling in viscositeit is het effect van het openbarsten van de gezwollen zetmeelgranules (Sjöö & Nilsson, 2018). Het ontbreken van de piek in de viscositeit impliceert dat de boekweit- en quinoazetmeelgranules onder de gegeven omstandigheden hun hoogste zwelvermogen niet bereiken en bijgevolg niet openbarsten (Robin e.a., 2015). Hierdoor is de PV gerelateerd aan de waterbindingscapaciteit en de mate van zwelling van de zetmeelgranules (Kong e.a., 2009; Li e.a., 2016). In de resultaten van het zwelvermogen (zie 3.1.2) daalt het zwelvermogen van quinoa- en boekweitmeel niet plots bij een bepaalde temperatuur (zoals AM), maar het zwelvermogen stijgt steeds bij verhogen van de temperatuur tot 95 °C. Uitgezonderd bij BB is het zwelvermogen op 95 °C gelijkaardig als op 85 °C.

De quinoastalen hebben een lagere BD in vergelijking met Epi B en de amarantstalen. Een zetmeelgranule zou naarmate hij zwelt gevoeliger zijn voor openbarsting door afschuifkrachten. Zo vonden Lindeboom e.a. (2005) een positieve correlatie tussen het amylosegehalte en de *shear stability*. Quinoazetmelen met lagere amylosegehalten hadden een hoger zwelvermogen, waardoor deze gevoeliger voor afschuiving waren. De quinoastalen hebben een lager zwelvermogen t.o.v. de amarantstalen (zie 3.1.2). Naast een hoger amylosegehalte, zou ook een hogere vetgehalte een verklaring kunnen bieden hiervoor. Het vetgehalte van de quinoastalen is significant het hoogst t.o.v. de andere stalen (zie 3.1.1). Bovendien is volgens de literatuur het amylosegehalte van quinoa gemiddeld hoger dan amarant (Belton & Taylor, 2002). De grotere hoeveelheid lipiden kunnen bijgevolg meer complexen vormen met amylose, waardoor de zwelling beperkt wordt. Dit zou dus een verklaring kunnen bieden voor de lagere BD van quinoa t.o.v. Epi B en de amarantstalen. In het onderzoek van Švec e.a. (2019) was de BD van quinoameel ook lager t.o.v. tarwebloem.

Tussen de quinoastalen onderling is er weinig verschil in het zwelvermogen. Desondanks heeft QZ een veel hogere PV dan QV, maar een gelijkaardig relatieve *breakdown* (RBD) als QV. Dit leidt tot een vermoeden dat ook andere factoren een invloed zullen hebben op de PV. De hogere viscositeit van QZ t.o.v. QV zou te wijten kunnen zijn aan een verschil in zetmeelgehalte (Shevkani e.a., 2014; Sindhu & Khatkar, 2016). Vermoedelijk heeft QZ een hoger zetmeelgehalte dan QV. Deze veronderstelling kan niet nagegaan worden omdat het zetmeelgehalte van de stalen niet bepaald werd in dit onderzoek. Anderzijds is het beperkt verschil in zwelvermogen toch statistisch significant. Zo is het zwelvermogen van QZ hoger op 75, 85 en 95 °C dan QV (zie 3.1.2). Dit zou gedeeltelijk de hogere viscositeit van QZ kunnen verklaren. Het hoger zwelvermogen van QZ kan te wijten zijn aan het lager vetgehalte t.o.v. QV, zodat er minder amylose-lipidecomplexen gevormd kunnen worden (Shevkani e.a., 2014). De granules kunnen meer water opnemen, wat bijgevolg tot een hogere viscositeit kan leiden. Het lager zwelvermogen van QV kan anderzijds te wijten zijn aan zijn hoger eiwitgehalte. Eiwitten, maar ook vezels en slijmstoffen (o.a. pentosanen), kunnen in competitie treden met de zetmeelgranules voor water. Hierdoor kan de zwelling van de zetmeelgranules verhinderd worden (Debet & Gidley, 2006; Föste e.a., 2014; Sangeeta & Grewal, 2018a; Shevkani e.a., 2014; Srichuwong e.a., 2017). Verder heeft QV een hoger vetgehalte dan QZ. Een hoger vetgehalte kan een smerende werking hebben op de slurry, wat een viscositeitverlagend effect kan teweegbrengen (Shevkani e.a., 2014).

De  $T_G$  van QZ is significant hoger dan QV. Dit kan in relatie gebracht worden met het lager zwelvermogen op 55 °C van QZ t.o.v. QV (zie 3.1.2). Het zwelvermogen van QZ is bij hogere temperaturen dan weer hoger in vergelijking met QV. Mogelijks is de kristalstabiliteit van de natieve zetmeelgranules van QV lager dan QZ, wat de start van de zetmeelverstijfseling op een lagere temperatuur mogelijk maakt (Nivelle e.a., 2019).

Een lage BD van boekweitmeel werd ook door Bhinder e.a. (2020) en Inglett e.a. (2009) bevonden. De lage BD duidt op een hoge stabiliteit onder warmte en afschuiving. De lage gevoeligheid tegen afschuiving kan toegeschreven worden aan een beperkte zwelling van de zetmeelgranules (Lindeboom e.a., 2005). De boekweitstalen hebben immers een lager zwelvermogen t.o.v. amarant op 75 °C en 85 °C (zie 3.1.2). Een hoger amylosegehalte van boekweit kan een verklaring bieden voor het lager zwelvermogen t.o.v. amarant (Jin, 2018; Qian e.a., 1998). Bovendien kan de relatief hoge  $T_G$  van boekweit tevens te wijten zijn aan een hogere resistentie tegen zwelling (Bhinder e.a., 2020; Sindhu & Khatkar, 2016).

Het zwelvermogen van de amarantstalen is bij 75 °C en 85 °C hoger dan deze van de andere stalen (zie 3.1.2). Dit is mogelijk te wijten aan een lager amylosegehalte van amarant t.o.v. quinoa en boekweit. Er zouden namelijk lage tot verwaarloosbare hoeveelheden amylose-lipidecomplexen kunnen gevormd worden, waardoor de zetmeelgranules meer kunnen zwellen (Lindeboom e.a., 2005; Stone & Lorenz, 1984). Dit zou de snelle viscositeitstijging van de amarantstalen kunnen verklaren, aangezien de zetmeelgranules meer water zouden kunnen opnemen bij 75 °C en 85 °C. Het hoog zwelvermogen van amarant kan anderzijds ook een verklaring bieden voor het sneller optreden van de viscositeitsdaling. Naarmate de zetmeelgranules zwellen, worden deze immers gevoeliger voor openbarsten door afschuifkrachten (Lindeboom e.a., 2005). Door de afschuifkrachten treedt de  $T_{\text{piek}}$  reeds bij  $83,53 \pm 0,15$  °C (AM) en  $83,08 \pm 0,11$  °C (AV) op. Conditie zonder afschuifkrachten, zoals bij het opmeten van het zwelvermogen (zie 3.1.2), leiden mogelijk tot het iets later openbarsten van de zetmeelgranules. Bij AM is dit mogelijk pas tussen 85 °C en 95 °C, aangezien het zwelvermogen op 85 °C het hoogst is, terwijl deze bij 95 °C al sterk is gedaald. Daarnaast zou een hoger zwelvermogen samengaan met een lagere  $T_G$  (Srichuwong e.a., 2017). In huidig onderzoek is de  $T_G$  van de amarantstalen echter net het hoogst t.o.v. alle andere stalen, waardoor andere factoren dan het zwelvermogen een verklaring hierop moeten bieden. Daarnaast is de  $T_G$  van de quinoastalen lager t.o.v. deze van de amarantstalen. Kong e.a. (2009), Li e.a. (2016) en Qian e.a. (1999) kwamen ook tot deze conclusie. De hogere  $T_G$  kan echter ook te wijten zijn aan een hogere kristalstabiliteit van amylopectine in de natieve zetmeelgranules van amarantmeel in vergelijking met de andere stalen. Een lager amylosegehalte wordt immers geassocieerd met minder kristaldefecten. Ook kan de hogere  $T_G$  te wijten zijn aan een lagere proportie aan vertakkingen van amylopectine met een korte ketenlengte (DP 6-10) (Nivelle e.a., 2019). In het onderzoek van Kong e.a. (2008, 2009) met verschillende amarantzetmelen steeg immers de  $T_G$  bij een stijgend gemiddelde ketenlengte van de vertakkingen van amylopectine (Kong e.a., 2009, 2008).

De *setback viscosity* (SB) geeft een indicatie van de neiging tot retrogradatie bij afkoeling (Bhinder e.a., 2020). De FV geeft een indicatie van de sterkte van de gevormde gel bij afkoeling en is een belangrijke kwaliteitparameter (Alvarez-Jubete, Auty, Arendt, & Gallagher, 2010).

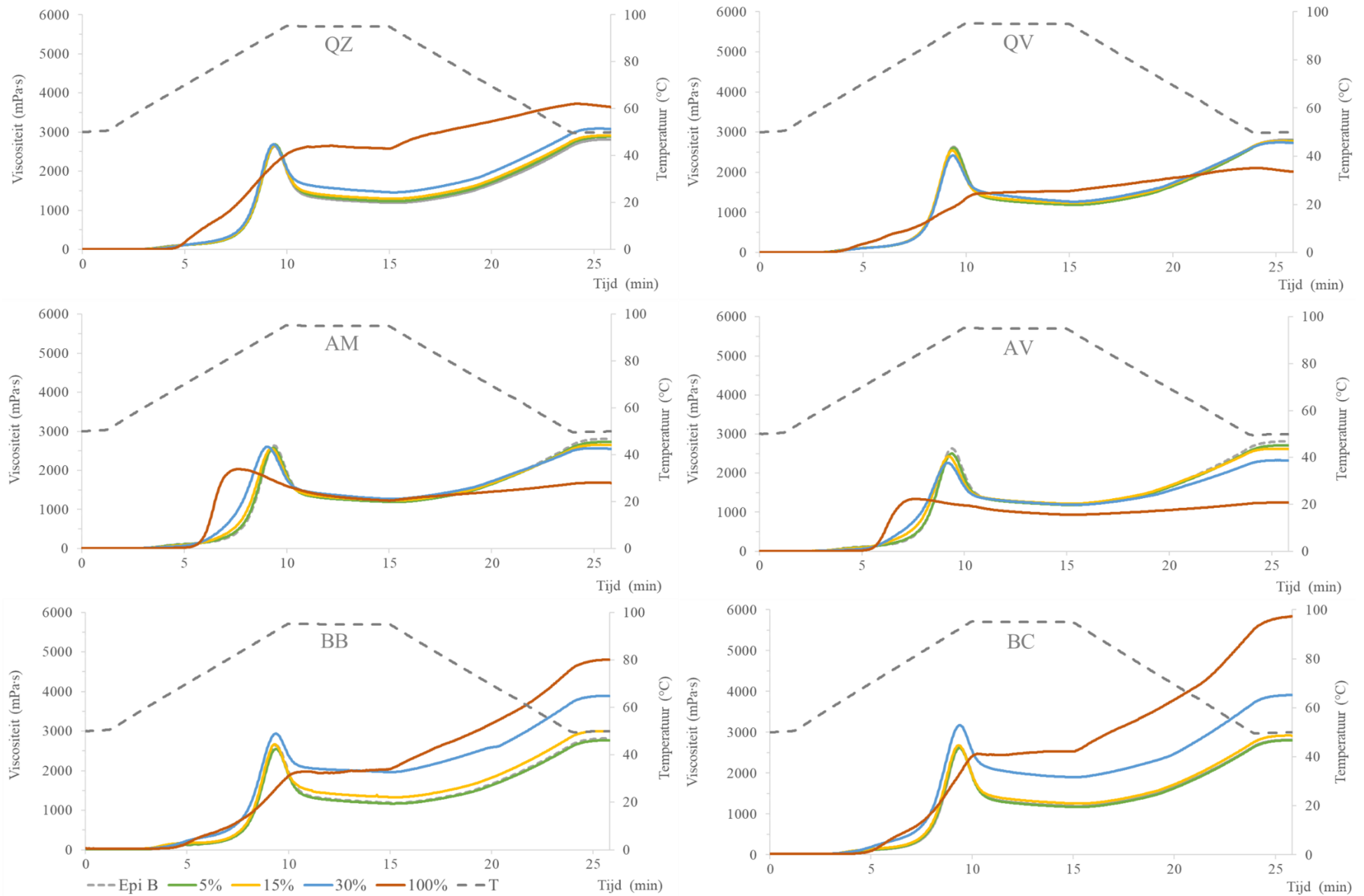
Variatie in de FV van stalen kan toegeschreven worden aan de aggregatie van amylosemoleculen in de slurry tijdens afkoeling. Hoge percentages aan amylopectine kunnen de aggregatie van vrije amyloseketens belemmeren (Sangeeta & Grewal, 2018a). De amarantstalen hebben vermoedelijk een lagere SB door een laag amylosegehalte en hoog amylopectinegehalte. Anderzijds kan de hogere SB bij de boekweitstalen te wijten zijn aan een hoog amylosegehalte. Daarnaast gaat de aanwezigheid van gezwollen zetmeelgranules ook bijdragen tot een hogere SB (Srichuwong & Jane, 2007). Aangezien de quinoa- en boekweitstalen geen duidelijke piek of geen sterke daling in de viscositeit vertonen, zijn de zetmeelgranules hoogstwaarschijnlijk niet opengebarsten. De zetmeelgranules van de amarantstalen zijn daarentegen wel opengebarsten door hun sterke zwelling en hebben bijgevolg een hoge gevoeligheid tegen afschuifkrachten.

De verstijfselings- en retrogradatie-eigenschappen kunnen tevens beïnvloed worden door de  $\alpha$ -amylaseactiviteit en gehalte aan beschadigd zetmeel van de melen (Jukić e.a., 2019; Stefan e.a., 2018).  $\alpha$ -amylase hydrolyseert beschadigd of verstijfseld zetmeel waardoor er onder andere dextrines gevormd worden. Dextrinemoleculen hebben een kortere ketenlengte dan zetmeelmoleculen. Die kortere ketenlengte stelt de viscositeitstoename tijdens de zetmeelverstijfseling uit (Goesaert e.a., 2005; Qian & Kuhn, 1999). De  $\alpha$ -amylaseactiviteit en het gehalte aan beschadigd zetmeel werd in dit onderzoek niet bepaald.

#### *3.1.4.2 Verschillende inmengpercentages van de pseudograanmelen*

Het is interessant om het effect van de inmenging van de stalen op twee verschillende manieren te bekijken, namelijk gegroepeerd per inmengpercentage voor alle stalen of gegroepeerd per staal voor alle inmengpercentages. In Figuur 12 wordt het verstijfselingsgedrag van de verschillende inmengpercentages per staal weergegeven. Een overzicht van de afgeleide parameters wordt weergegeven in Bijlage 4. Een overzicht van de verstijfselingsparameters per inmengpercentage is weergegeven in Bijlage 5 en Bijlage 6.

Over het algemeen worden de effecten door inmenging van de stalen groter naargelang het inmengpercentage toeneemt. Onder Figuur 12 wordt per verstijfselingsparameter besproken vanaf welk inmengpercentage een significant verschil ten opzichte van Epi B optreedt.



**Figuur 12:** Het verstijfselingsgedrag van de stalen (5, 15, 30 en 100 %) vergeleken met Epi B

Bij QZ stijgt de  $T_G$  vanaf 15 % inmenging. Bij BC is de stijging pas significant vanaf 30 % inmenging. Bij QV is er geen significant effect op de  $T_G$ . Dit is logisch te verklaren omdat er geen significant verschil is tussen Epi B en het 100 % meel. Bij AM en AV is er ook geen significant effect op de  $T_G$  door inmenging, ondanks het 100 % meel een duidelijk hogere  $T_G$  heeft ( $67,90 \pm 0,29$  en  $67,85 \pm 0,36$  °C) dan Epi B ( $58,29 \pm 0,36$  °C).

Bij QZ en AM is er geen significant effect op de **PV** door inmenging. Bij AV en QV daalde de PV significant vanaf 30 %. Bij BB en BC is de PV bij de 30 % inmengingen hoger ( $2939 \pm 34$  mPa·s en  $3177 \pm 13$  mPa·s) terwijl het 100 % meel een lagere (bij BB) of gelijkaardig (bij BC) PV heeft als Epi B.

Bij QZ, QV, BB en BC is er geen significant effect op de **piektijd** door inmenging. Desondanks heeft het 100 % meel algemeen gezien een veel hogere piektijd t.o.v. Epi B. Bij AM en AV is de piektijd bij 30 % significant lager dan Epi B.  $T_{piek}$  ondervindt net zoals de piektijd geen significante invloed van de inmenging van QV, BB en BC. Bij AM en AV is de  $T_{piek}$  bij 30 % inmenging net zoals bij de piektijd significant gedaald t.o.v. Epi B. Dit ligt in lijn met de verwachting omdat piektijd en -temperatuur immers sterk gecorreleerde parameters zijn. Desondanks is bij QZ geen zelfde trend te zien. Bij QZ is de  $T_{piek}$  bij 30 % significant lager terwijl het 100 % meel een hogere  $T_{piek}$  heeft dan Epi B.

De **BD** daalt vanaf 30 % significant bij QZ en BC. Bij QV, AM, AV en BB daalt deze reeds significant vanaf 15 %. Bij QZ stijgt de **holding strength** (HS) vanaf 15 % inmenging. Bij BB en BC is dit slechts vanaf 30 %. Bij QV, AM, AV is er geen significant verschil in HS t.o.v. Epi B. Dit is te wijten aan het kleiner verschil tussen de HS van Epi B en de 100 % melen.

Bij QZ, QV, BB en BC stijgt de **SB<sub>p</sub>** significant vanaf 15 % inmenging. Bij AM daalt de **SB<sub>p</sub>** significant vanaf 15 %. Inmenging van QZ heeft geen effect op de **SB<sub>t</sub>**. Bij AM en AV verlaagt de **SB<sub>t</sub>** significant vanaf 15 %. Inmenging van QV verlaagt en bij BB en BC verhoogt de **SB<sub>t</sub>** significant vanaf 30 %. Bij QZ, BB en BC stijgt de **FV** significant vanaf 30 % inmenging. Bij AV is de **FV** significant lager bij 30 % inmenging. Bij inmenging van QV en AM is er geen significant verschil in de **FV** t.o.v. Epi B. Maar dat is terug te verklaren door een kleiner verschil tussen de **FV** van Epi B en de 100 % melen.

Over het algemeen wordt het effect door inmenging van de stalen op het verstijfselingsgedrag van Epi B groter naargelang het inmengpercentage toeneemt. Verder vallen op basis van de resultaten geen eenduidige besluiten te trekken. Er is immers geen duidelijke trend van het effect op de verstijfselingsparameters over de verschillende types pseudogranen heen. Ook bij het vergelijken van de twee stalen behorende tot hetzelfde type pseudograan tekenen grote verschillen zich af.

### 3.1.5 Valgetal van Hagberg

In Tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de valgetallen en moutaddities van Epi B en de 30 % mengsels.

**Tabel 5:** Overzicht van de valgetallen en moutaddities van Epi B en de 30 % mengsels

Staal	VG0 (s)	VG1 (s)	%D VG (%)	AMA (%)	VG AMA (s)	CMA (%)	VG CMA (s)
<b>Epi B</b>	395 ± 5,5	136 ± 2,1	65,6 ± 1,0 <sup>a</sup>	0,24	216 ± 7,5	-	-
<b>AM30</b>	452 ± 8,5	82 ± 1,0	81,9 ± 0,1 <sup>d</sup>	0,09	295 ± 1,5	0,19	226 ± 8,4
<b>AV30</b>	445 ± 17,0	75 ± 1,2	83,1 ± 0,7 <sup>d</sup>	0,07	310 ± 6,0	0,19	216 ± 7,8
<b>BB30</b>	573 ± 7,5	149 ± 2,5	74,1 ± 0,4 <sup>b</sup>	0,38	229 ± 3,8	-	-
<b>BC30</b>	509 ± 4,0	151 ± 0,6	70,4 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,37	236 ± 3,6	-	-
<b>QZ30</b>	595 ± 7,1	132 ± 1,5	77,9 ± 0,5 <sup>c</sup>	0,31	229 ± 7,4	-	-
<b>QV30</b>	564 ± 3,2	131 ± 2,1	76,7 ± 0,4 <sup>c</sup>	0,29	250 ± 2,3	-	-

Waarden binnen eenzelfde kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar.

VG0: Valgetal met 0 % mout (s); VG1: Valgetal met 1 % mout (s); %D VG: procentuele daling van het valgetal (%);

AMA: aanbevolen moutadditie (%); VG AMA: Valgetal bij aanbevolen moutadditie (s); CMA: gecorrigeerde moutadditie (%);

VG CMA: Valgetal bij gecorrigeerde moutadditie (s)

De 30 % mengsels gaven hogere valgetallen dan Epi B. Ondanks de afwezigheid van metingen voor 100 % melen in dit onderzoek, worden er nog veel hogere valgetallen verwacht. In voorgaand onderzoek was het valgetal van 100 % quinoameel heel hoog, boven de waarden die gewoonlijk voor tarwebloem worden waargenomen (> 900 s) (Švec e.a., 2019, 2020; Tamba-Berehoiu, Turtoi, & Popa, 2019). Hierbij werd geconcludeerd dat quinoameel consistentere en stabielere slurries vormt dan tarwebloem. In het onderzoek van Tamba-Berehoiu e.a. (2019) gaven mengsels met 30 % quinoameel vergelijkbare valgetallen als huidig onderzoek, bijvoorbeeld 552 ± 8,7 s. Verder varieerde het effect van inmenging van quinoameel op de valgetallen, afhankelijk van het soort tarwe en quinoa. Mogelijks is variatie tussen de valgetallen tussen de stalen onderling te wijten aan een variatie in samenstelling. Zo zal een hoger vezel-, eiwit- en asgehalte overeenstemmen met een lager zetmeelgehalte, wat tot een lagere viscositeit en bijgevolg ook een lager valgetal kan leiden.

Onderzoek in de literatuur van amarant- en boekweitmeel resulteerden echter in enkele tegenstrijdigheden. In het onderzoek van Emire en Arega (2012) bedroeg het valgetal van zuiver amarantmeel slechts 61,67 ± 1,30 s. Doordat de tarwebloem een hoger valgetal had (239,33 ± 2,20 s), resulteerde een 30 % mengsel in een hoger valgetal (203 ± 2,30 s). Ook in het onderzoek van S. Grobelnik Mlakar e.a. (2009) was het valgetal van 100 % amarantmeel slechts 62 ± 0,0 s. Wat betreft boekweit ondervond Stefan e.a. (2018) een gradueel verlagend valgetal naarmate een hogere inmenging van boekweitmeel. In het onderzoek van Gavurníková e.a. (2011) steeg het valgetal dan weer naarmate een grotere verhouding boekweitmeel (ontkaft) t.o.v. tarwebloem. Hierbij werd geconcludeerd dat het valgetal, naast de eigenschappen van het zetmeel en enzymcomplex, ook beïnvloed wordt door de reologische eigenschappen van de slurry.

Mogelijks zijn de hoge valgetallen o.a. te verklaren door het hoog viscositeitsvormend vermogen van de pseudograanmelen bij zetmeelverstijfseling. De invloed van de reologische eigenschappen van de slurries op de valgetallen zijn echter moeilijk te verklaren a.d.h.v. andere experimenten uit huidig onderzoek. Zo kunnen de valgetallen moeilijk in relatie gebracht worden met de resultaten van de zetmeelverstijfseling van de 30 % inmengingen (2.4.4). De condities zijn immers verschillend bij deze twee analyses. Zo verschilt de verhouding drogestof t.o.v. water. Ook wordt bij het valgetal de suspensie meteen in heet water gebracht i.p.v. een geleidelijke temperatuurstoename zoals bij de reometer. Bovendien bemoeilijkt het effect van de werkelijke  $\alpha$ -amylaseactiviteit van de stalen de interpretatie van het effect van de reologische eigenschappen van de slurries. Het bepalen van de werkelijke  $\alpha$ -amylaseactiviteit van de stalen had daarom een meerwaarde kunnen bieden.

Indien de aanbevolen moutadditie toegepast werd, vielen de valgetallen van zuiver Epi B zoals verwacht tussen 200 en 250 s. Ook bij de boekweit- en quinoamengsels vielen de valgetallen tussen 200 en 250 s na het toevoegen van de aanbevolen moutadditie. Bij de amarantmengsels gaf de aanbevolen moutadditie echter nog steeds te hoge valgetallen, namelijk  $295 \pm 1,5$  s en  $310 \pm 6,0$  s. Dit wijst erop dat de hoeveelheid moutadditie bij amarantmengsels niet gestandaardiseerd kan worden via de gebruikelijke formule van het valgetal. Via *trial-and-error* werd voor beide een moutadditie van 0,19 % bekomen waarbij de valgetallen wel binnen de grenzen vielen.

AM30 en AV30 hebben na 1 % moutadditie een hogere procentuele daling van het valgetal in vergelijking met de andere mengsels. Dit wijst mogelijks op een hogere gevoeligheid voor afbraak van beschadigd en verstijfseld zetmeel naar dextrines door de  $\alpha$ -amylasen aangebracht via het toegevoegd mout. Dit zou mogelijks een verklaring kunnen bieden voor het niet kunnen toepassen van de gebruikelijke formule van het valgetal bij de amarantstalen. Zoals eerder aangehaald geven de hoge valgetallen van de mengsels zonder moutadditie mogelijks een vertekend beeld van de maat van de  $\alpha$ -amylaseactiviteit van de pseudogranen. Het kan duiden op een lage amylaseactiviteit, maar mogelijk zijn er andere factoren die tot een hoog valgetal leiden.

In het algemeen hebben de stalen een hogere procentuele daling in het valgetal ten opzichte van Epi B. In eerder onderzoek was de hydrolyse van natief boekweitzetmeel met  $\alpha$ -amylase significant hoger dan deze van natief tarwezetmeel. De hogere verteerbaarheid van boekweitzetmeel kan zijn verklaring vinden in zijn kleinere zetmeelgranules dan tarwezetmeel (Qian e.a., 1998). Dit kan ook een verklaring bieden voor de nog grotere procentuele daling van het valgetal bij de amarant- en quinoastalen. Deze hebben namelijk nog een nog kleinere zetmeelgranulegrootte dan boekweit (zie 1.3.2.1). Hierdoor is er een groter specifieke oppervlakte toegankelijk voor enzymen. Dit leidt tot een hogere gevoeligheid voor hydrolyse door  $\alpha$ -amylase t.o.v. tarwezetmeel (Kurek & Sokolova, 2019). Daarnaast kunnen de



zetmeelgranules poriën in het oppervlakte hebben welke meer gevoelig zijn voor enzymhydrolyse (Qian e.a., 1998). De toegankelijkheid voor enzymen, net als de waterabsorptie, treedt eerst op in de amorfe zones van de zetmeelgranules. Kristallijne lamellen worden minder direct aangevallen door enzymen. Indien de amorfe zones veel amylose bevatten, wordt de toegankelijkheid voor enzymen meer belemmerd. Het lage amylosegehalte van amarant en quinoa kan daarom de hogere procentuele daling van het valgetal verklaren. Het hoge amylosegehalte van boekweit kan anderzijds de lagere procentuele daling van het valgetal verklaren (Copeland e.a., 2009; Tömösközi e.a., 2011). Daarnaast kunnen amylose-lipidecomplexen de resistentie tegen enzymatische hydrolyse verhogen (Copeland e.a., 2009; Qian e.a., 1998). Verder kan het gehalte aan beschadigd zetmeel ook een invloed hebben op de valgetallen. Het zetmeel in beschadigde natieve zetmeelgranules zijn immers meteen toegankelijk voor enzymen (Srichuwong e.a., 2017). Mogelijks heeft boekweitmeel een lagere hoeveelheid beschadigd zetmeel ten opzichte van de andere pseudogranen door zijn zachtere en minder compacte korrels (Torbica e.a., 2012). Daarnaast wordt verstijfseld zetmeel sneller gehydrolyseerd door  $\alpha$ -amylase dan natieve zetmeelgranules (Copeland e.a., 2009). Hoe meer de structuur van de zetmeelgranule verstoord wordt tijdens de verstijfseling, hoe gevoeliger de zetmeelgranule wordt voor enzymatische hydrolyse (Xu, Xu, Wang, & Zhou, 2018). Ten slotte kan een fijnere partikelgroottedistributie van het meel leiden tot een hogere gevoeligheid voor enzymen (Torbica e.a., 2012).

### 3.1.6 Tussentijds besluit

De **chemische samenstelling** varieert zowel tussen het type pseudograan als tussen de stalen. De boekweitstalen hebben in het algemeen een lager eiwit-, vet- en asgehalte dan de quinoa- en amarantstalen. Deze zijn echter nog steeds hoger in vergelijking met Epi B. Volgens de literatuur is ook het vezelgehalte van de melen hoger t.o.v. tarwebloem (Srichuwong e.a., 2017).

Bij het **zwelvermogen** en **waterabsorberend vermogen** valt het verschillend verloop van de amarantstalen op. De amarantstalen hebben op 75 °C en 85 °C het hoogste zwelvermogen. Dit is mogelijk te wijten aan een lager amylosegehalte waardoor er minder amylose-lipidecomplexen gevormd worden (Lindeboom e.a., 2005; Stone & Lorenz, 1984). Het zwelvermogen is op 95 °C terug sterk gedaald t.o.v. 85 °C. Dit wordt mogelijk verklaard door het openbarsten van de zetmeelgranules bij een temperatuur tussen 85 °C en 95 °C. Wat betreft het waterabsorberend vermogen valt op dat die van de amarantstalen hoger is tegenover de quinoa- en boekweitstalen. Volgens de literatuur is het waterabsorberend vermogen van het zetmeel in pseudogranen algemeen gezien hoger ten opzichte van tarwebloem. Dit kan te wijten zijn aan hun kleiner zetmeelgranulegrootte in vergelijking met tarwe. Het gehalte aan amylose, vezels of beschadigd zetmeel kan tevens een impact hebben op het waterabsorberend vermogen (Bajerska e.a., 2016; Föste e.a., 2014; Lindeboom e.a., 2005; Sangeeta & Grewal, 2018b). Deze factoren werden in dit onderzoek niet bepaald. Verder onderzoek kan hierop ingaan.

Wat betreft de **verstijfselingeigenschappen** is het verloop van de verstijfselingscurve sterk afhankelijk van het type pseudograan. De twee verstijfselingscurves van eenzelfde type pseudograan vertonen daarentegen een gelijkaardig verloop. Verschillen binnen eenzelfde pseudograan zijn hoofdzakelijk te wijten aan verschillen in viscositeit. Bij het in detail bekijken van de verstijfselingsparameters komen er enkele opvallende verschillen naar voor. Zo worden de amarantstalen gekenmerkt door een snellere viscositeitsstijging in vergelijking met de andere stalen, waardoor ze de laagste piektemperatuur vertonen. Verder hebben de amarantstalen de hoogste *breakdown*. Dit maakt hen het minst resistent zijn tegen structuurafbraak door afschuifkrachten. Mogelijks hebben de amarantstalen hun hoogste zwelvermogen bereikt waarna deze openbarsten. Ook wordt de zetmeelgranule naarmate hij zwelt, gevoeliger voor openbarsting door afschuifkrachten. Bij de quinoa- en boekweitstalen is er geen piek in het viscositeitsverloop zichtbaar. De temperatuur in het experiment stijgt immers tot maximaal 95 °C. Verder onderzoek zou kunnen uitmaken of de piekviscositeit van quinoa en boekweit hoger ligt dan 95 °C. Verder tonen de boekweitstalen de sterkste retrogradatie wat de hoogste finale viscositeit tot gevolg heeft. Dit kan te wijten zijn aan een hoger amylosegehalte van de boekweitstalen. De hoge viscositeit van de boekweitstalen en quinoa De Zuidmolen kan vermoedelijk in verband gebracht worden met een hoger zetmeelgehalte. Bewijs hiervoor ontbreekt doordat het zetmeelgehalte niet bepaald werd in dit onderzoek. Ten slotte hebben de pseudograanmelen een hogere verstijfselingstemperatuur dan de tarwebloem, waarbij de

amarantstalen de grootste waarden hebben. Dit kan te wijten zijn aan de hogere eiwitgehalten van de pseudogranen. Volgens de literatuur kunnen, naast eiwitten, ook vezels in competitie treden met het zetmeel voor water, waardoor de zetmeelverstijfseling pas bij een hogere temperatuur start (Srichuwong & Jane, 2007).

In het algemeen kunnen de verschillen in de functionele eigenschappen in relatie gebracht worden met de chemische samenstelling. Veel andere factoren kunnen echter een invloed hebben op de functionele eigenschappen zoals de partikelgroottedistributie van het meel, de morfologie, granulegrootte, kristalliniteit en samenstelling van de zetmeelgranules. Daarnaast kan ook de moleculaire structuur van amylopectine een rol spelen (Ma, Sun, Li, & Zhu, 2020; Sangeeta & Grewal, 2018b; Srichuwong & Jane, 2007; Torbica e.a., 2012). Deze factoren werden in dit onderzoek niet bepaald.

Met betrekking tot de tweede onderzoeksvraag werd het **valgetal van Hagberg** bepaald. Bij de mengsels met amarantmeel gaf de aanbevolen moutadditie te hoge valgetallen. De valgetallen van de amarantmengsels zijn dus hoogstwaarschijnlijk niet 100 % representatief voor de mate van de  $\alpha$ -amylaseactiviteit. Er zijn mogelijks andere factoren die een invloed hebben op de valgetallen, zoals de reologische eigenschappen van de slurries. Ondanks dat dit onderzoek de  $\alpha$ -amylaseactiviteit van de stalen niet heeft bepaald, had dit over de hele lijn meer inzicht kunnen geven. Bij de mengsels met boekweit- en quinoameel resulteerde de aanbevolen moutadditie wel in valgetallen tussen 200 en 250 s. Er zijn echter slechts twee stalen per type pseudograan onderzocht. In het onderzoek van Tamba-Berehoiu e.a. (2019) varieerde immers het effect van inmenging van quinoameel op de valgetallen afhankelijk van het soort quinoa en tarwe. Er is met andere woorden meer onderzoek, dus met meer stalen, nodig om conclusies te kunnen trekken van de toepasbaarheid van de gebruikelijke formule van het valgetal voor standaardisatie van de moutadditie voor baktesten met pseudogranen.

## 3.2 Deegkarakteristieken

### 3.2.1 Reologische eigenschappen

#### 3.2.1.1 Kneedeigenschappen: farinograaf

Figuur 13 en geven het kneedgedrag van de verschillende inmengpercentages per staal weer. Een overzicht van de afgeleide parameters wordt weergegeven in Bijlage 7.

Naarmate het inmengpercentage toeneemt, is er een stijgende trend van de **waterabsorptie** (WA) bij de **quinoa- en amarantstalen**. Deze stijging is significant vanaf 15 % inmenging. Uitzonderd bij AV is er reeds vanaf 5 % inmenging een significante stijging van de WA. Hierbij valt op dat de amarantstalen de hoogste WA-waarden bereiken bij 30 % inmenging. Dit is mogelijks gerelateerd aan de resultaten van het waterabsorberend vermogen (zie 3.1.3). De meelpartikels van amarant zullen beter in staat zijn om water te absorberen aangezien ze het grootste waterabsorberend vermogen hebben ten opzichte van de andere stalen. De impact van inmenging op de WA van de farinograaf komt overeen met de literatuur. Zo was er tevens een stijgende trend van de WA naarmate een hoger inmengpercentage aan amarant- of quinoameel (S. G. Mlakar e.a., 2009; Moawad, Rizk, Kishk, & Youssif, 2019; Tömösközi e.a., 2011). In het onderzoek van Bojňanská & Šmítalová (2014) en Guardianelli e.a. (2019) was de waterabsorptie bij 25 % en 30 % inmenging van amarantmeel hoger vergeleken met tarwebloem. De WA wordt onder meer beïnvloed door de zetmeeeigenschappen. Volgens de literatuur is de waterbindingscapaciteit van quinoa- en amarantzetmeel groter dan deze van tarwezetmeel. Een mogelijke verklaring hiervoor is de kleinere grootte van de zetmeelgranules en het lager amylosegehalte (Lindeboom e.a., 2005; Lorenz, 1981; G. Mlakar e.a., 2010; S. G. Mlakar e.a., 2009). De verhoging van de WA kan daarnaast ook te wijten zijn aan het hoger eiwit- en vezelgehalte van de melen (Bojňanská & Šmítalová, 2014; Kurek & Sokolova, 2019; Moawad e.a., 2019). Een hogere WA kan economisch voordeliger zijn bij de broodbereiding (Švec e.a., 2020).

Naarmate het inmengpercentage stijgt, is er een dalende trend van de **WA** bij de **boekweitstalen**. Bij beide is de daling significant vanaf 15 % inmenging. Özer e.a. (2010) en Stefan e.a. (2018) stelden echter een stijgende trend in waterabsorptie vast naargelang een hoger inmengpercentage aan boekweitmeel waarvan de korrels integraal vermalen waren zonder ontkaffing. Gavurníková e.a. (2011) constateerden wel een dalende trend van de waterabsorptie naargelang het inmengpercentage aan ontkaft boekweitmeel steeg. In huidig onderzoek wordt er tevens ontkaft boekweitmeel gebruikt. Het hoger vezelgehalte van het kaf zal bij het mee vermalen het vezelgehalte van het meel verhogen ten koste van het zetmeelgehalte. Bijgevolg zal het ontkaffen het omgekeerde effect teweegbrengen, zijnde het vezelgehalte verlagen en zetmeelgehalte verhogen. In huidig onderzoek hebben de boekweitstalen in het algemeen het laagste eiwitgehalte t.o.v. de andere stalen met uitzondering van Epi B. Ook zal hoogstwaarschijnlijk het vezelgehalte nog steeds hoger liggen dan tarwebloem. Desondanks is

er een dalende trend van de WA van Epi B als er boekweitmeel ingemengd wordt. Daarom zullen vermoedelijk andere eigenschappen van het boekweitmeel een dalend effect op de WA van Epi B veroorzaken. Zo zal waarschijnlijk het zetmeel in het boekweitmeel een lager waterabsorberend vermogen hebben dan het zetmeel van Epi B. Onder andere een lager gehalte aan beschadigd zetmeel kan leiden tot een lager waterabsorberend vermogen. Boekweit heeft zachtere korrels dan tarwe waardoor mogelijks een lagere hoeveelheid beschadigd zetmeel ontstond tijdens het vermalen (Mancebo, Picón, & Gómez, 2015). Vermoedelijk heeft ook de partikelgroottedistributie van het meel een invloed op de waterabsorptie. Zo was in het onderzoek van Torbica e.a. (2012) de gemiddelde partikelgrootte van boekweitmeel groter in vergelijking met deze van tarwebloem, terwijl het beschadigd zetmeel lager was dan tarwebloem. Beiden kunnen aanleiding geven tot een lager waterabsorberend vermogen. Maar in huidig onderzoek werd de granulometrie en het beschadigd zetmeelgehalte niet geanalyseerd. Hierdoor kan de invloed van deze factoren niet onderzocht worden. De resultaten van het waterabsorberend vermogen in dit onderzoek (zie 3.1.3) tonen aan dat de boekweitstalen een gelijkaardig waterabsorberend vermogen hebben als de quinoastalen. Desondanks verlaagt het quinoameel de waterabsorptie van Epi B bij inmenging niet, maar verhoogt het echter. Een mogelijke oorzaak hiervoor is het verschil in meetcondities bij de bepaling van de waterabsorptie in vergelijking met het waterabsorberend vermogen. Ook zijn deze twee parameters anders gedefinieerd. De farinograaf bepaalt de hoeveelheid water nodig om een standaardconsistentie van 500 BE te bereiken tijdens het kneden (Caballero, Trugo, & Finglas, 2003). Het is dus een complex gegeven om de effecten op de waterabsorptie van de farinograaf in relatie te brengen met het waterabsorberend vermogen.

Er is geen significant effect op de **deegontwikkelingstijd** (DO-tijd) bij inmenging van de stalen. Daarentegen is de DO-tijd van BC significant lager bij 15 % en 30 % inmenging. Algemeen gezien neigen de resultaten in de literatuur voor alle types pseudogranen meer in de richting van een hogere DO-tijd bij inmenging. Tömösközi e.a. (2011) stelden dat de DO-tijd significant hoger was bij 10 % amarantmeel en bij 20 % quinoameel t.o.v. tarwebloem. In andere onderzoeken was de DO-tijd bij 30 % amarantmeel of van 40 % boekweitmeel significant hoger t.o.v. tarwebloem (Bojňanská & Šmitalová, 2014; Özer e.a., 2010; Selimović, Miličević, Oručević, Ačkar, & Babić, 2011). Sindhuja e.a. (2005) en Stefan e.a. (2018) stelden een stijgende trend vast in DO-tijd naargelang een hoger inmengpercentage aan amarant- of boekweitmeel. Tijdens het kneden worden de bloem- en meelpartikels gehydrateerd en is er een input van mechanische energie. Het glutennetwerk wordt zodoende gevormd (Sluková, Levková, Michalcová, Horáčková, & Skřivan, 2017). Een hogere DO-tijd kan dus wijzen op een vertraagde vorming van het glutennetwerk in het deeg. Zo hebben bepaalde partikels in het meel van de pseudogranen meer tijd nodig om te hydrateren (Rodriguez-Sandoval E., Sandoval G., 2012; Sindhuja e.a., 2005; Stefan e.a., 2018). Het hoger eiwit- en vezelgehalte en de waterabsorptiekenmerken van het zetmeel vormen hiervan onder meer de oorzaak. Hierdoor is

er minder water beschikbaar voor de ontwikkeling van het glutennetwerk (Bajerska e.a., 2016; Tömösközi e.a., 2011). Toch ondervonden ook enkele onderzoeken een lagere DO-tijd bij inmenging van amarant- en boekweitmeel. In het onderzoek van Gavurníková e.a. (2011) was de DO-tijd bij 20, 25 en 30 % boekweitmeel lager t.o.v. tarwebloem. Guardianelli e.a. (2019) stelden vast dat de DO-tijd lager was bij 5, 15 en 25 % inmenging van amarantmeel. Bij beide onderzoeken werd geen verklaring voor de lagere DO-tijd gegeven.

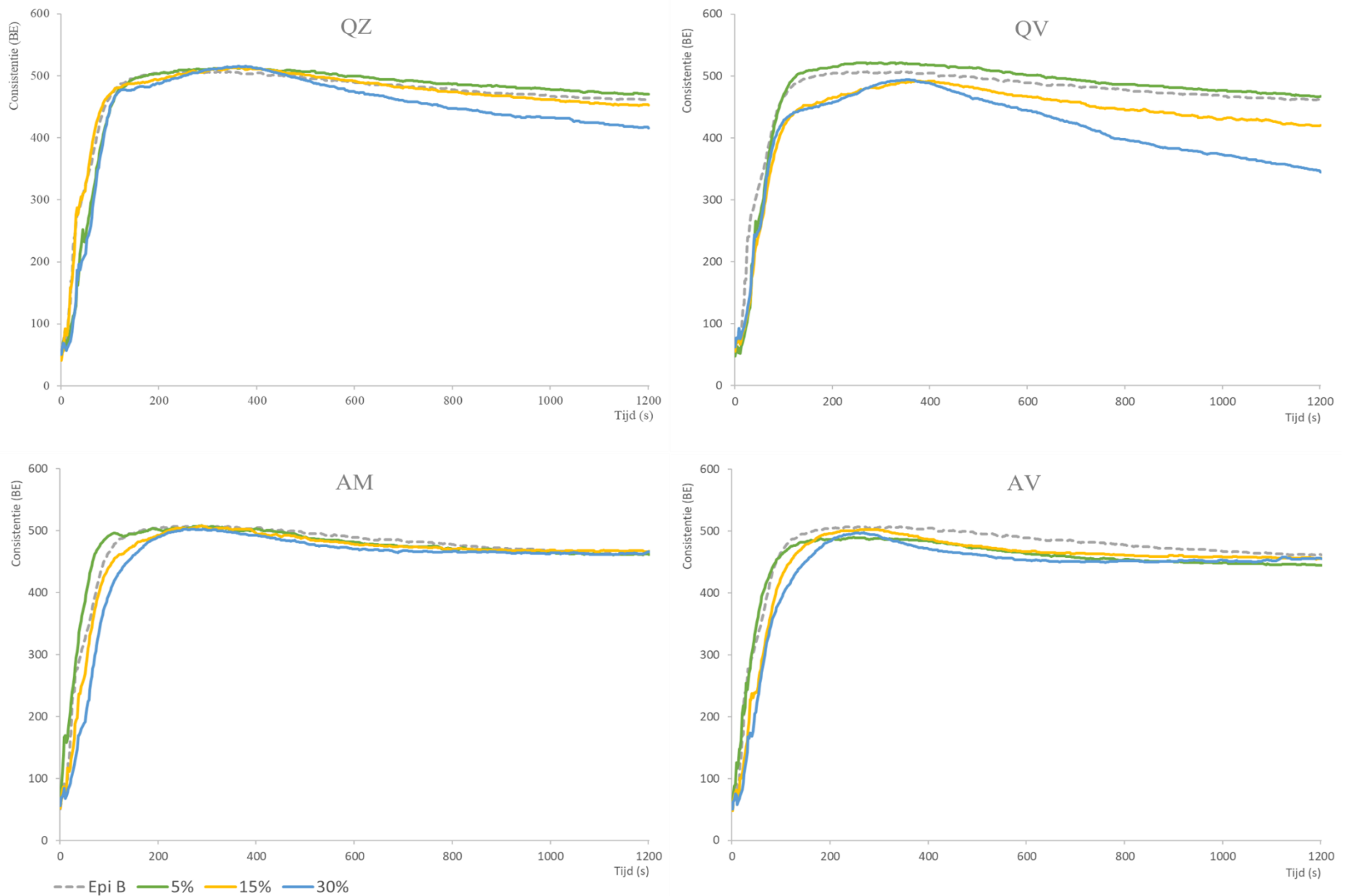
Naarmate de inmenging stijgt, is er een dalende trend van de **stabiliteit** (stab). Deze daling is significant vanaf 5 % bij QV, AV, BB en BC. Bij QZ en AM is de daling significant vanaf 15 %. Deze resultaten stemmen overeen met de literatuur. Er werd tevens een dalende trend in de stabiliteit vastgesteld naargelang een hoger inmengpercentage aan quinoa-, amarant- of boekweitmeel (Moawad e.a., 2019; Özer e.a., 2010; Sindhuja e.a., 2005; Stefan e.a., 2018; Tömösközi e.a., 2011). Bojňanská en Šmitalová (2014) stelden een lagere stabiliteit vast bij 30 % inmenging van amarantmeel t.o.v. tarwebloem. Een lagere stabiliteit betekent praktisch dat de optimale technologische eigenschappen van het deeg (een deegconsistentie van 500 BE) sneller verloren gaan indien pseudograanmeel ingemengd wordt. Dit werd toegeschreven aan de verzwakking van het deeg door gereduceerde visco-elastische eigenschappen bij inmenging (Sindhuja e.a., 2005). Toch waren er enkele tegenstrijdigheden in de literatuur. Zo was de deegstabiliteit hoger bij inmenging van amarant- en boekweitmeel t.o.v. tarwebloem. Hier werd geen verklaring voor gegeven. De tarwebloem in dergelijke onderzoeken had echter een relatief lage stabiliteit (Gavurníková e.a., 2011; S. G. Mlakar e.a., 2009; Selimović e.a., 2011). Vermoedelijk hebben amarant- en boekweitmeel een positief effect op de stabiliteit indien het bij een tarwebloem met een lage kwaliteit wordt ingemengd. Wetenschappelijk bewijs en een duidelijke verklaring hiervoor ontbreken. Hier is verder onderzoek nodig. Bloem met een stabiliteit van meer dan 12 minuten wordt als sterk beschouwd. Zowel Epi B als QZ5 en AM5 hebben deze sterke stabiliteit. De andere inmengingen vallen onder de categorie ‘gemiddeld sterk’, aangezien ze over een stabiliteit tussen de 4 en 8 minuten beschikken. AV30 en BC30 vallen dan weer onder de categorie ‘zwak’, omdat hun stabiliteit minder dan 4 minuten bedraagt (Caballero e.a., 2003).

Vanaf 5% is er een stijgende trend van **de afzwakking** van de deegconsistentie **10 min na start** (AF10) bij BB en BC. Bij QV en AV is deze stijgende trend pas significant vanaf 15%. Bij AM is de AF10 bij 15% en 30 % significant hoger t.o.v. Epi B. Bij QZ is de AF10 enkel bij 30% significant hoger.

Vanaf 15%, is er een stijgende trend van **de afzwakking** van de deegconsistentie **12 min na maximum** (AF12) bij QZ en BC. Bij BB is de AF12 significant hoger bij 5, 15 en 30 % t.o.v. Epi B. Bij QV, AM en AV is er geen effect op de AF12. Deze resultaten stemmen overeen met de literatuur. Er werd tevens een stijgende trend in de *degree of dough softening* (DDS) vastgesteld naargelang een hoger inmengpercentage aan quinoa-, amarant- of boekweitmeel

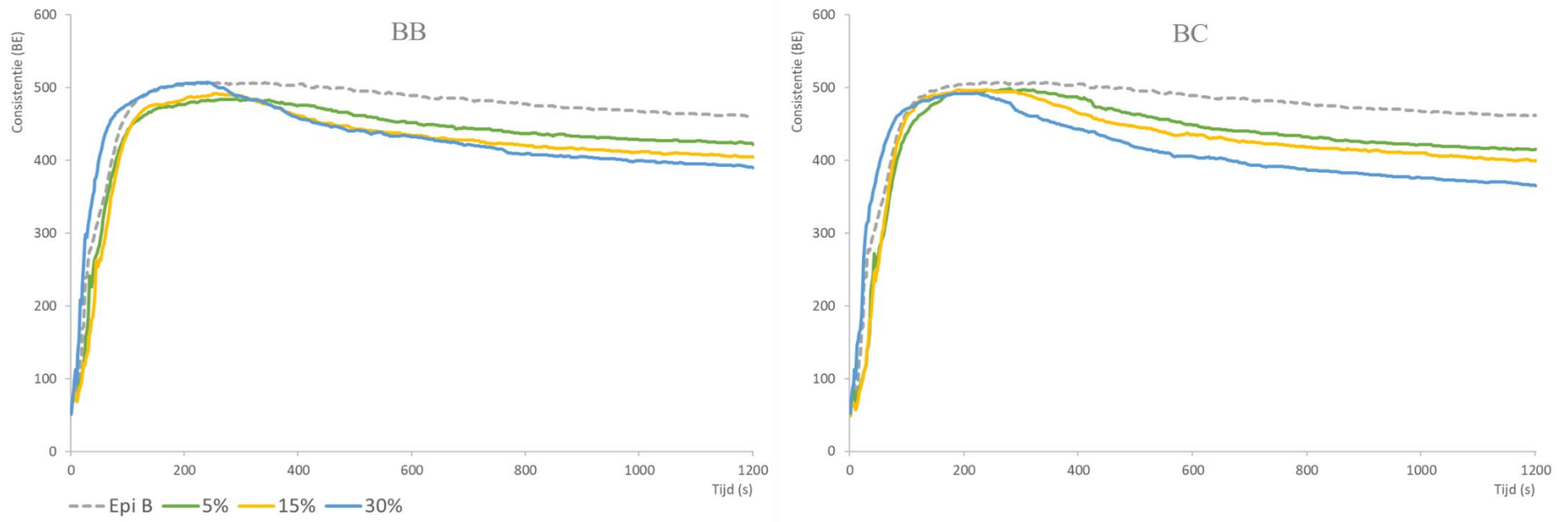
(Moawad e.a., 2019; Özer e.a., 2010; Sindhuja e.a., 2005; Stefan e.a., 2018; Tömösközi e.a., 2011). Bojňanská en Šmítalová (2014) stelden een hogere DDS vast bij 30 % amarantmeel vergeleken met tarwebloem. Toch toonde het onderzoek door Stefan e.a. (2018) aan dat de DDS terug afnam nadat die was toegenomen tot 20 % inmenging van boekweitmeel.

Bij enkele stalen is er geen effect van de inmenging op bepaalde parameters, zoals de DO-tijd en de AF12. Het is mogelijk dat deze parameters effectief geen effect ondervinden van de inmenging. Dit kan anderzijds ook gedeeltelijk te wijten zijn aan de variatie op het toestel zelf. Ervaring leerde dat de variatie op de kleine kneder (50 g) groter is dan die op de grote kneder (300 g).



**Figuur 13:** Het kneedgedrag van de quinoa- en amarantstalen (5, 15 en 30 %) vergeleken met Epi B





**Figuur 154:** Het kneedgedrag van de boekweitstalen (5, 15 en 30 %) vergeleken met Epi B

### 3.2.1.2 Visco-elastische eigenschappen: alveograaf

Figuur 16 geeft de alveograafcurves per inmengpercentage weer. Een overzicht van de afgeleide parameters wordt weergegeven in Bijlage 9. Als Bijlage 10 worden de effecten van de inmengingen op de visco-elastische eigenschappen van Epi B weergegeven per staal.

De **tarwebloem** is een goede bakbloem, maar de P/L-waarde ( $0,74 \pm 0,02$ ) zou idealiter wat hoger mogen zijn. Voor broodbloem is namelijk een P/L-waarde van 1,0 ideaal (Caballero e.a., 2003). De baksterkte ( $249 \cdot 10^{-4} \pm 12 \cdot 10^{-4}$  J) en de elasticiteitsindex ( $55,8 \pm 0,9$  %) van Epi B hebben wel goede waarden om geschikt te zijn als broodbloem. De lage P/L-waarde wordt opgevangen door het toevoegen van vitamine C en zout in de broodbereiding, welke het glutennetwerk kan versterken (Ma e.a., 2020).

Door inmenging van de melen is er een dalende trend van de **extensibiliteit** (L-waarde) ten opzichte van Epi B. Een lagere maximale uitrekbaarheid wijst op een minder viskeus deeg. De 30 % ingemengde degen hebben daarbij een sterk verlaagde extensibiliteit. De deegbellen waren immers veel kleiner in vergelijking met het tarwedeeg, aangezien ze heel snel barstten of zelfs scheurden zodra er lucht ingeblazen werd. De graduele daling in de L-waarde kan toegeschreven worden aan een zwak tot zelf beschadigd glutennetwerk (Siastrala e.a., 2015).

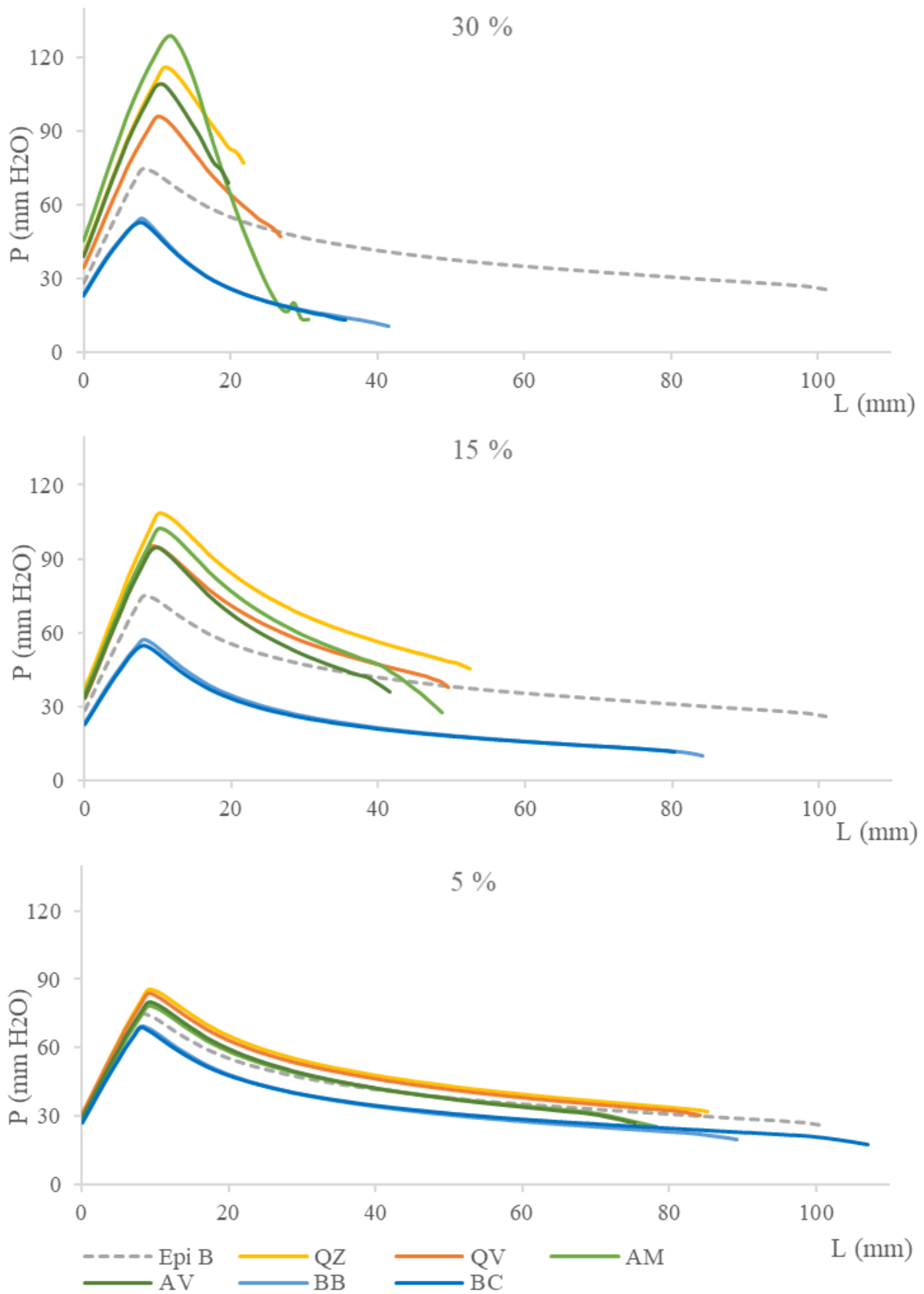
Bij de boekweitstalen is er een dalende trend in de **tenaciteit** (P-waarde) t.o.v. Epi B. De tenaciteit is een maat voor de weerstand van het deeg tegen vervorming. Bij de 30 % inmengingen is de tenaciteit van het deeg veel lager t.o.v. Epi B. Dit wijst op een minder elastisch of minder sterk deeg. Dit kan logischerwijs toegeschreven worden aan de glutenverdunding door het inmengen van boekweitmeel. Bij inmenging van quinoa- en amarantmeel tekent zich echter een stijgende tendens in de P-waarde af. Deze degen zouden dus stugger of elastischer geworden zijn door inmenging. Het zijn voornamelijk de gluten die verantwoordelijk zijn voor de visco-elastische eigenschappen in het tarwedeeg. Aangezien de pseudograanmelen geen gluten bevatten, zal deze hogere P-waarde veroorzaakt worden door andere factoren. De visco-elastische eigenschappen worden bij de alveograaf echter geëvalueerd op 50 % waterabsorptie, terwijl de mengsels onderling variaties in waterabsorptie hebben. Een te lage waterabsorptie leidt immers tot een hogere deegconsistentie (Dubois, Dubat, & Launay, 2008; Tamba-Berehoiu e.a., 2019). Aangezien de 30 % mengsels met quinoa- en amarantmeel een grotere waterabsorptie hebben t.o.v. de boekweitmengsels en Epi B (zie Bijlage 8), hebben deze degen bijgevolg ook een grotere P-waarde. De waterabsorpties van QZ30, QV30, AM30, AV30 zijn respectievelijk 59,8 %; 59,9 %; 61,0 % en 63,0 %. De WA% van BB30 (56,2 %) en BC30 (56,8 %) zijn daarentegen lager dan deze van Epi B (57,4 %). Bij 50 % waterabsorptie zijn de boekweitmengsels bijgevolg het minst stug, wat in een lagere P-waarde resulteert t.o.v. Epi B.

Er is een stijgende trend in de *configuration ratio* (P/L-waarde) naargelang een hoger innengpercentage van de stalen. Bij de quinoa- en amarantstalen is dit te wijten aan de stijging in P-waarde en daling in L-waarde. Bij de boekweitstalen is er ondanks een daling in L-waarde, geen significant effect op de P/L-waarde bij de 5 % en 15 % innengingen. Dit komt doordat de P-waarden ook dalen t.o.v. Epi B. Enkel BB30 en BC30 hebben een significant hogere P/L-waarde, maar dit is te wijten aan zijn sterk verlaagde L-waarde. De hogere P/L-waarde zou erop kunnen wijzen dat het resterend visco-elastisch gedrag van het deeg eerder elastisch dan viskeus is. Maar hierover kan geen uitspraak gemaakt worden, aangezien de P-waarden beïnvloed worden door de waterabsorpties van de mengsels.

Er is een dalende trend in de W-waarde naargelang een hoger innengpercentage. Dit wijst op verlaging van de **baksterkte**. Dit is te wijten aan de dalende trend in de L-waarde. Dit is ook zichtbaar door een kleinere oppervlakte onder de curve als gevolg van een kortere horizontale lengte. Bij boekweit is de dalende trend in W-waarde tevens te wijten aan de dalende trend in P-waarde. Hierdoor verkleint het oppervlak onder de curve door zowel een kortere lengte (L-waarde) als een lagere hoogte (P-waarde).

De **elasticiteitsindex** of de  $I_e$ -waarde ( $P_{200}/P_{max}$ ) kon bij de 30 % innengingen niet berekend worden door de alveograaf, aangezien er geen  $P_{200}$  te meten was. De  $P_{200}$  is de drukwaarde in de blaas na inblazen van 200 cm<sup>3</sup> lucht, maar de deegbellen barstten reeds voor 200 cm<sup>3</sup> ingeblazen kon worden. Er kan immers slechts weinig luchtdruk ingeblazen worden omdat het deeg amper uitrekbaar is. Dit is ook te zien aan de curves dat de L-waarden lager zijn dan 40 mm. De  $I_e$ -waarde is bij BB15, BC15 significant lager dan deze van het tarwedeg. Dit wijst op een snellere daling van de weerstand van het deeg na inblazen van 200 cm<sup>3</sup> lucht. Dit is te zien door een steilere daling van druk (P) na de  $P_{max}$ . Bij de andere stalen is de  $I_e$ -waarde bij 15 % innenging eveneens lager t.o.v. Epi B. De boekweitstalen tonen echter een sterkere daling van de  $I_e$ -waarde bij innenging. Verder resulteren enkel de boekweitstalen en AV in een lagere  $I_e$ -waarde bij 5 % innenging. Hoogstwaarschijnlijk wordt de  $I_e$ -waarde eveneens beïnvloed door de waterabsorpties van de mengsels.

De bevindingen van quinoameel zijn in overeenstemming met de literatuur. Zo had innenging van quinoameel in tarwebloem tevens een dalende impact op de L, W en  $I_e$  en een verhogende impact op de P/L (Siastala e.a., 2015; Tamba-Berehoiu e.a., 2019). In de literatuur werd geen onderzoek met amarant- en boekweitmeel gevonden in verband met alveograafmetingen.



**Figuur 16:** De visco-elastische eigenschappen per innengpercentage (30, 15 en 5 %) van de stalen vergeleken met Epi B

### 3.2.2 Tussentijds besluit

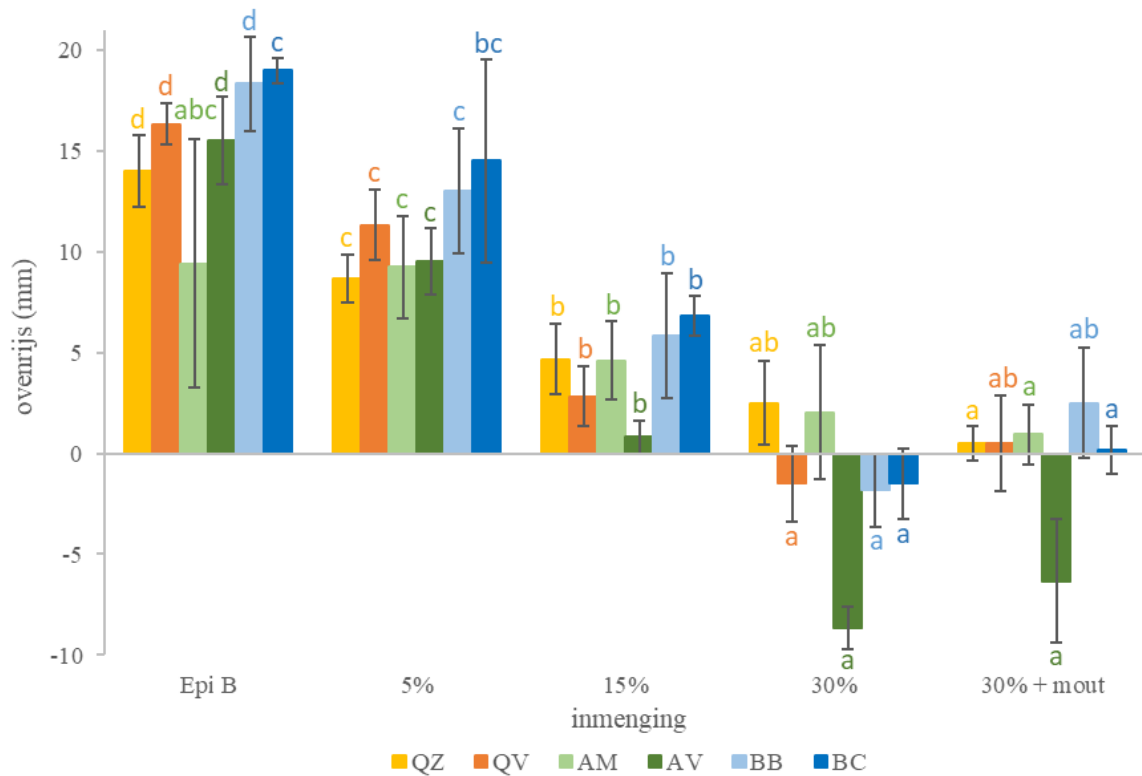
Uit de parameters bepaald door de **farinograaf** werden verschillende effecten waargenomen. Er is een stijgende trend van de waterabsorptie bij een hogere inmenging van quinoa- of amarantmeel. Dit wordt onder meer toegeschreven aan de kleinere zetmeelgranules, het lager amylosegehalte en het hoger gehalte aan eiwitten en vezels in vergelijking met tarwebloem (Lorenz, 1981; G. Mlakar e.a., 2010; Moawad e.a., 2019). Bij de boekweitmelen is er een dalende trend van de waterabsorptie. De korrels van boekweit zijn zachter in vergelijking met tarwe, wat mogelijke resulteerde in een lager gehalte aan beschadigd zetmeel ten gevolge van de vermaling (Mancebo e.a., 2015). Een lager gehalte aan beschadigd zetmeel van boekweitmeel kan resulteren in een lagere waterabsorptie in vergelijking met tarwebloem, maar in huidig onderzoek werd het beschadigd zetmeelgehalte van de stalen niet bepaald. Verder is er geen significant effect op de DO-tijd door inmenging. Uitgezonderd bij BC is de DO-tijd significant lager bij 15 % en 30 %. De literatuur is tot heden verdeeld over de impact op de DO-tijd. Verder onderzoek is nodig om alle factoren die een invloed kunnen hebben beter in kaart te brengen. Eveneens nam de deegstabiliteit af naarmate een hoger percentage wordt ingemengd. Ten slotte vertonen de waarden van AF10 (de afzwakking van de deegconsistentie 10 min na start) en AF12 (de afzwakking 12 min na maximum) een stijgende trend naargelang een hoger inmengpercentage.

Voor alle types pseudogranen worden dezelfde effecten waargenomen op de parameters bepaald met de **alveograaf**. Er is een dalende trend van de extensibiliteit (L-waarde) en de baksterkte (W-waarde) naargelang een hoger inmengpercentage. Een verlaging van de extensibiliteit betekent dat de gemengde degen minder viskeus zijn. De alveograaf evalueert de visco-elastische eigenschappen bij 50 % waterabsorptie, terwijl de mengsels onderling variaties in waterabsorptie hebben. Dit kan een invloed hebben op de deegconsistentie wat bijgevolg de tenaciteit van het deeg (P-waarde) beïnvloedt. Een te lage watertoediening kan leiden tot een hogere deegconsistentie (Dubois e.a., 2008; Tamba-Berehoiu e.a., 2019). Aangezien de quinoa- en amarantmengsels een grotere waterabsorptie hebben dan Epi B, verhoogt bijgevolg ook de tenaciteit van het deeg bij inmenging van quinoa- en amarantmeel. Anderzijds daalt de tenaciteit van het deeg bij inmenging van de boekweitstalen, aangezien de boekweitstalen een lager waterabsorptie hebben dan Epi B.

### 3.3 Broodkarakteristieken

#### 3.3.1 Ovenrijs

Figuur 17 en Bijlage 12 geven een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de ovenrijs.



**Figuur 17:** De ovenrijs van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter.

In het algemeen is er een dalende trend van de **ovenrijs** naargelang een hoger inmengpercentage. De degen kunnen immers minder uitrekken tijdens de volume-expansie in de oven. De volume-expansie van het deeg wordt veroorzaakt door de sterke verdamping van het vocht en bepaalde opgeloste stoffen in het deeg. Tegelijk expanderen de gassen in het deeg door de stijgende temperatuur. De resultaten van de alveograafstest (zie 3.2.1.2) tonen een dalende trend van de extensibiliteit aan bij een hoger inmengpercentage. De L-waarde geeft een idee van het vermogen om gas in het deeg vast te houden. Wanneer de L-waarde daalt, zullen de gascellen in het deeg sneller barsten en kan er meer gas ontsnappen. De degen hebben bijgevolg een lager gashoudend vermogen. Bij bepaalde stalen is er bij 30 % inmenging zelfs een negatieve ovenrijs. Dit wijst op inzakking van het deeg in de oven. De extensibiliteit van de 30 % inmengingen is immers onvoldoende, waardoor de wanden van de gascellen zelfs scheuren tijdens de volume-expansie in de oven. Het deeg zakt in wanneer het te veel gas verliest langs de scheuren in de gascelwanden.

De ovenrijs hangt af van verschillende factoren waaronder de deegviscositeit en de zetmeelverstijfselingseigenschappen. De start van de zetmeelverstijfseling in de oven vindt plaats bij een bepaalde temperatuur. Die verstijfselingstemperatuur ( $T_G$ ) zal variëren afhankelijk van het staal (zie 3.1.4.1). De resultaten in 3.1.4.2 duiden aan dat bepaalde inmengingen de  $T_G$  verhogen ten opzichte van Epi B, zoals QZ15, QZ30 en BC30. De hogere  $T_G$  kan een indicatie geven dat het vastleggen van de kruimstructuur in de oven wordt uitgesteld. Het deeg kan bijgevolg langer rijzen, wat leidt tot een hogere ovenrijs. Daarnaast kan een hogere deegviscositeit de deegexpansie belemmeren (Vouris, Lazaridou, Mandala, & Biliaderis, 2018). De resultaten in 3.1.4.2 duiden aan dat bepaalde inmengingen de piekviscositeit (PV) verhogen, zoals BB30 en BC30. Bij QV30 en AV30 is de PV lager. Anderzijds is het moeilijk om de  $T_G$  en PV eenduidig in relatie te brengen met de ovenrijs aangezien deze parameters opgemeten zijn bij twee verschillende systemen. De  $T_G$  en PV zijn opgemeten bij meel in een overmaat van water, terwijl in het deegsysteem een beperkte hoeveelheid water ter beschikking is voor de zetmeelverstijfseling. Ook zijn nog andere condities verschillend zoals het temperatuursverloop. Daarom moet verder onderzoek uitwijzen welke factoren bij inmenging van pseudogranen precies een invloed hebben op de ovenrijs. Verder is er een relatief grote variatie van ovenrijs tussen de verschillende blanco's over de bakdagen heen. Dit bemoeilijkt de vergelijking van de ovenrijs tussen de verschillende types pseudogranen onderling. Het tijdstip van de baktesten is dus een andere beïnvloedende factor op de ovenrijs. Welke omstandigheden de variatie in de ovenrijs precies veroorzaken is niet onderzocht. De omgevingsfactoren worden immers gecontroleerd, zoals de relatieve vochtigheid en omgevingstemperatuur. Ook werd de deegtemperatuur gestandaardiseerd door de temperatuur van het toegevoegde water bij elke baktest te controleren. Het uitdrogen van de deegstukken werd voorkomen door ze steeds af te dekken met een deegdoek. Het zal dus hoogstwaarschijnlijk een combinatie zijn van geringe verschillen in factoren over de dagen heen. Idealiter zouden alle baktesten op hetzelfde tijdstip uitgevoerd worden zodat de omstandigheden dezelfde zijn. Dit is echter praktisch niet haalbaar.

In geval van **moutadditie** is er bij geen enkel staal een significant effect op de ovenrijs.

### 3.3.2 Gewicht en specifiek volume

Figuur 18, Figuur 19 en Bijlage 13 geven een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op het gewicht en specifiek volume.

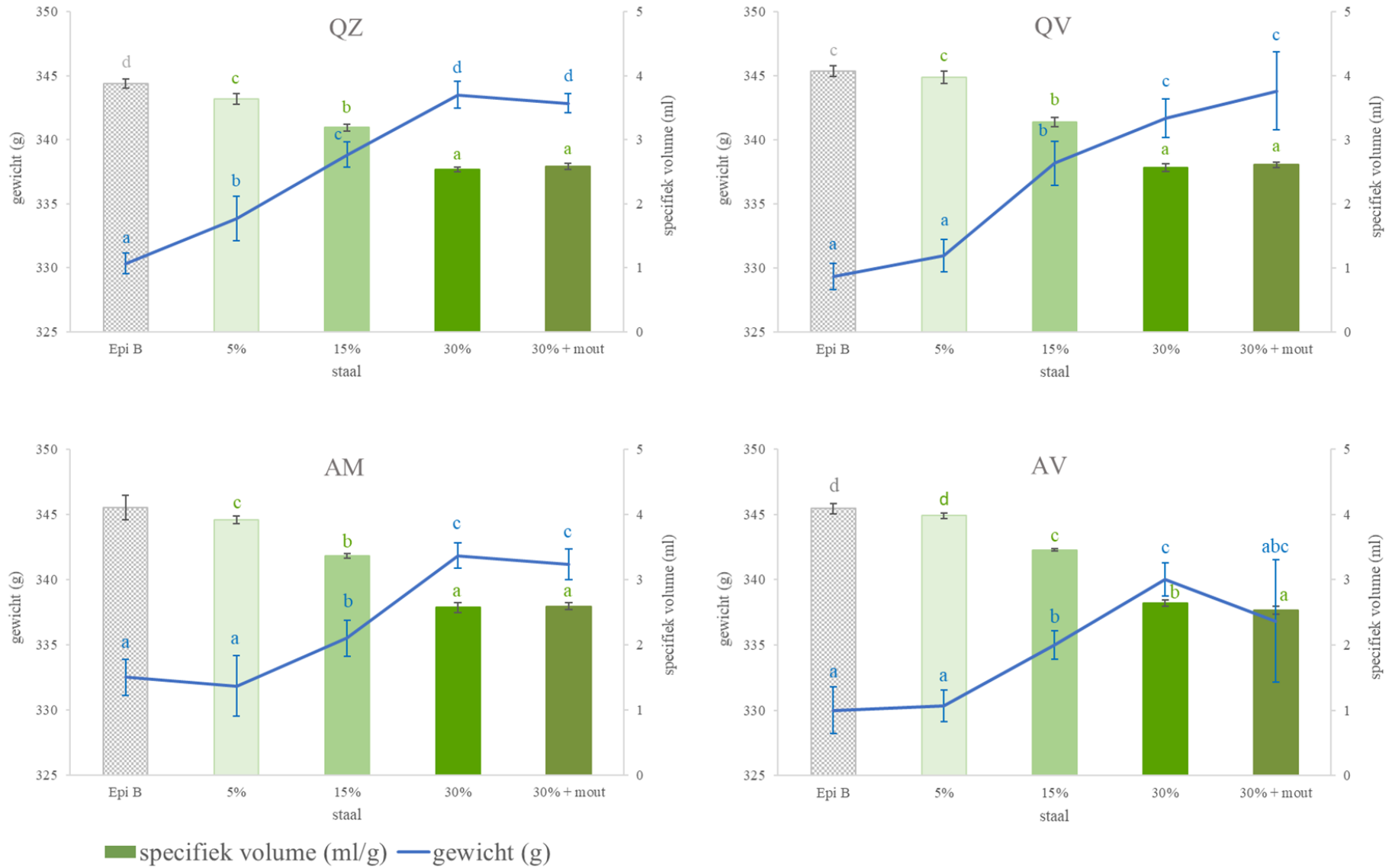
In het algemeen is er een stijgende trend in het **gewicht** naargelang een hoger inmengpercentage. Verschillen zijn significant vanaf 15 % inmenging, uitgezonderd QZ heeft reeds een significant hoger gewicht vanaf 5% inmenging. Dit is mogelijks te wijten aan de dalende trend in de ovenrijs naarmate een hoger inmengpercentage. Er kan immers minder vocht uit het deeg verdampen als er een groter oppervlak van het deeg beschermd blijft in het bakblik. Dit resulteert in een hoger gewicht. Bij een hogere ovenrijs komt anderzijds meer deeg boven de bakvorm uit en kan er bijgevolg meer vocht uit het deeg verdampen. Daarnaast kunnen de extra vezels mogelijks beter het vocht vasthouden dan het zetmeel waardoor er minder vocht uit het deeg verdampt in de oven.

Het **specifiek volume** daalt naargelang een hoger inmengpercentage. Ook hier zijn de verschillen significant vanaf 15 % inmenging, uitgezonderd QZ5 heeft reeds een significant lager specifiek volume. Het specifiek volume daalt doordat het gemiddeld volume daalt en het gewicht stijgt. Een dalende trend in het volume is voornamelijk te wijten aan het lager gashoudend vermogen van de degen. Het glutennetwerk is zwakker of minder visco-elastisch, voornamelijk doordat pseudogranen gluten ontbreken en veel vezels bevatten (Janssen e.a., 2017). Hierdoor kan het deeg moeilijker het gas vasthouden en expanderen de gascellen moeilijker. De degen kunnen bijgevolg minder in volume stijgen tijdens het rijs- en bakproces (Codina, Franciuc, & Todosi-Sanduleac, 2016; Guardianelli e.a., 2019; Sayed e.a., 2016; Xu e.a., 2019). De resultaten in 3.3.1 tonen daadwerkelijk een dalende trend in de ovenrijs aan naargelang een hoger inmengpercentage. De verlaagde gasretentie van de degen is voornamelijk te wijten aan de lagere extensibiliteit van de degen (Özer e.a., 2010). Er is bovendien een positieve correlatie tussen het volume en de L-waarde van de alveograaftest ( $R^2 = 0,938$ ;  $p = 0,000$ ). Zoals eerder aangegeven duidt de P-waarde (tenaciteit) de weerstand aan dat het deeg biedt tegen vervorming. Er kan daarom een lager broodvolume verwacht worden bij een hoger P-waarde. Het deeg biedt dan een grotere weerstand tegen het rijzen, waardoor er een grotere gasdruk in de gascellen nodig is om het deeg in eenzelfde mate te laten expanderen. Zo is bij de quinoa- en amarantstalen het volume negatief gecorreleerd met de P-waarde van de alveograaftest ( $R^2 = 0,891$ ;  $p = 0,000$ ). Bij de boekweitstalen is het volume positief gecorreleerd met de P-waarde van de alveograaftest ( $R^2 = 0,846$ ;  $p = 0,008$ ). De degen van de broodbereiding kunnen anderzijds over een andere tenaciteit beschikken dan de degen van de alveograaftest. De tenaciteit wordt onder andere beïnvloed door de toegepaste waterabsorptie. Het zou met andere woorden relevanter zijn om een correlatie te onderzoeken met P-waarden van een alveograaftest waarbij de waterabsorpties aangepast werden aan deze van de baktesten.

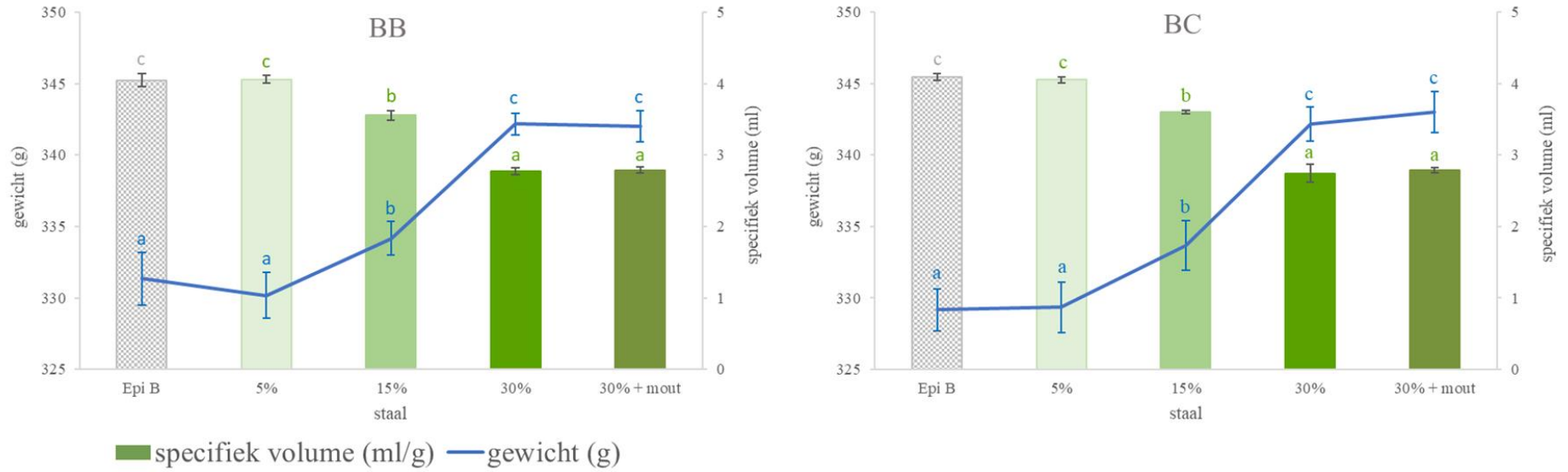


Ook in de literatuur verlaagde het volume bij inmenging van pseudograanmeel (Gavurníková e.a., 2011; Lorenz, 1981; Lorenz e.a., 1995; Rodriguez-Sandoval E., Sandoval G., 2012; Siastala e.a., 2015; Tömösközi e.a., 2011; Xu e.a., 2019). In het onderzoek van Codina e.a. (2016) verlaagde inmenging van 5, 10 en 15 % quinoameel het specifiek volume van 3,4 ml/g naar respectievelijk 3,3; 3,0 en 2,5 ml/g. Miranda-Ramos e.a. (2019) toonden aan dat het specifiek volume daalde bij inmenging van amarantmeel van 4,05 ml/g (tarwebrood), 3,74 ml/g (25 % amarantmeel) tot 2,38 ml/g (50 % amarantmeel). In het onderzoek van Sanz-Penella e.a. (2013) was er geen significant effect op het broodvolume door toevoeging van 10, 20 en 30 % amarantmeel. Enkel bij 40 % inmenging was het specifieke volume significant lager (2,51 ml/g) dan tarwebrood (2,74 ml/g). De waarden van het specifiek volume uit huidig onderzoek kunnen moeilijk vergeleken worden met de resultaten uit de literatuur wegens verschillen in de receptuur en broodbereidingsmethodes. Zo verschilt bijvoorbeeld steeds de kwaliteit van de gebruikte tarwebloem. Deze verschillen kunnen zich, naast het broodvolume, ook uiten in andere deeg- en broodkarakteristieken. Daarnaast kan het gebruik van onder meer emulgerende middelen, suiker, enzymen, vitamine C en hydrocolloïden de negatieve effecten van inmenging minimaliseren (Barros, Telis, Taboga, & Franco, 2018).

**Moutadditie** heeft bij geen enkel staal een significant effect op het gewicht en specifiek volume. Uitgezonderd bij AV is het specifiek volume lager bij moutadditie. De 30 % inmenging van AV resulteerde immers in de sterkste negatieve ovenrijs in vergelijking met de andere stalen. Aangezien moutadditie de inzakking in de oven niet tegengaat, kan dit bij AV resulteren in een lager specifiek volume.



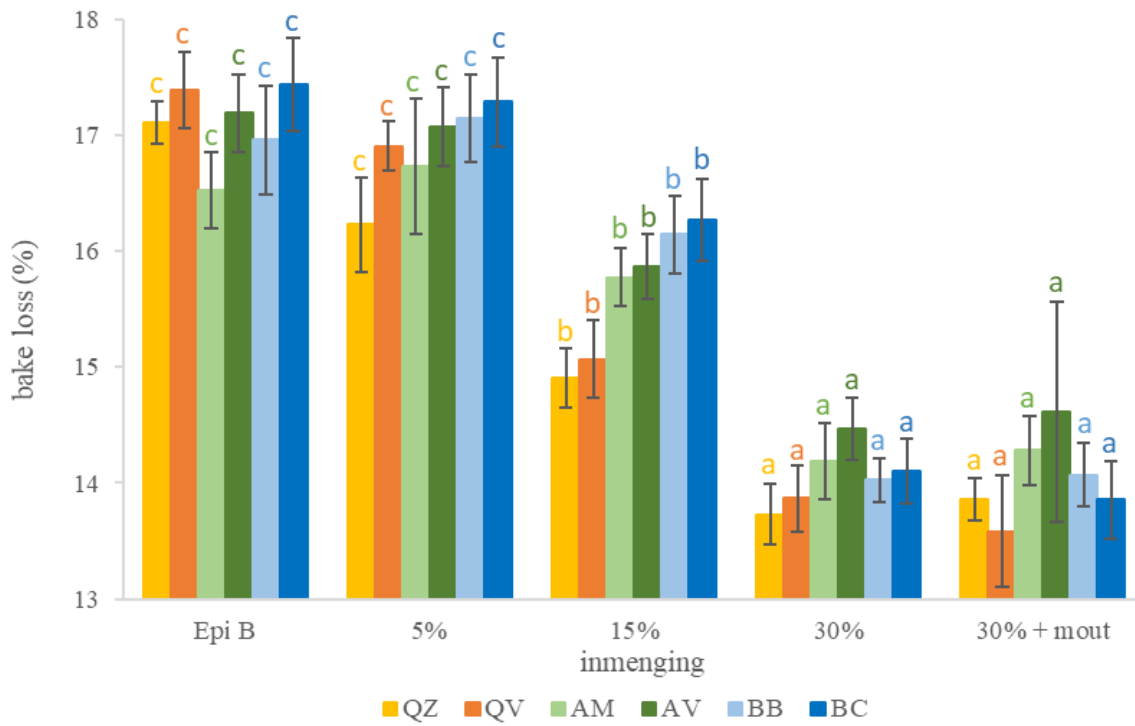
**Figuur 18:** Het gewicht en specifiek volume van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen worden aangeduid met een verschillende letter.



**Figuur 19:** Het gewicht en specifiek volume van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen worden aangeduid met een verschillende letter.

### 3.3.3 Bake loss

Figuur 20 en Bijlage 12 geven een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de *bake loss*. De *bake loss* is een maat voor het verlies aan vocht en organisch materiaal door omzetting naar gasvormige componenten (Alvarez-Jubete e.a., 2010).



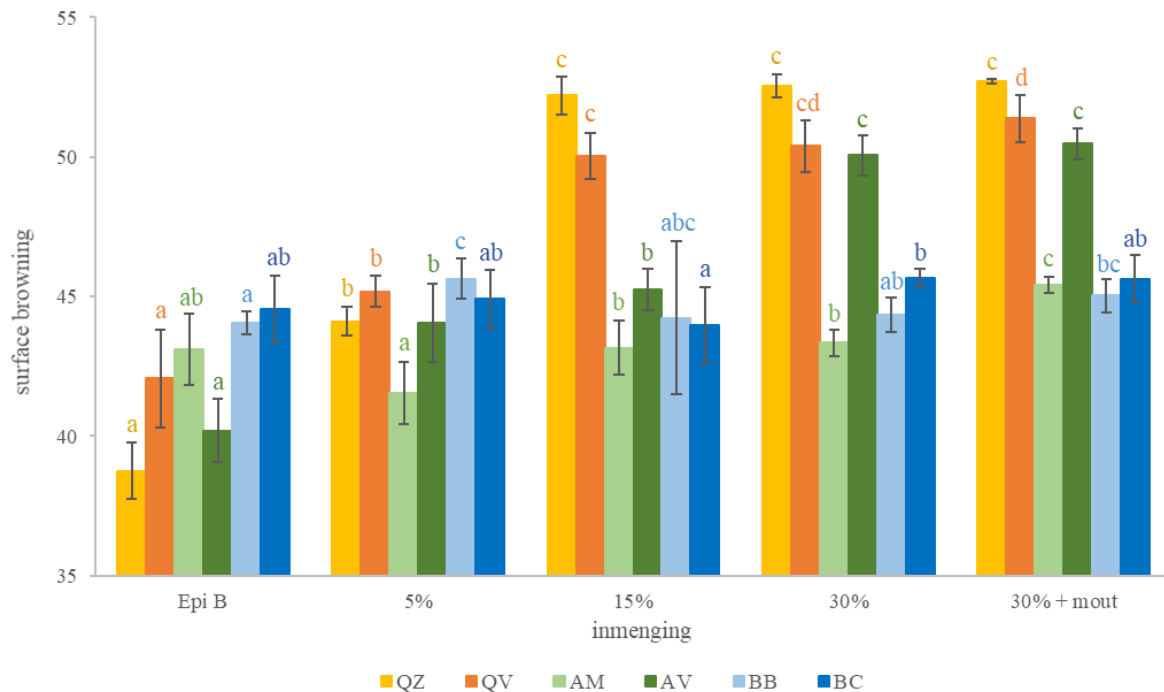
**Figuur 20:** De *bake loss* van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter.

In het algemeen is er een dalende trend van de *bake loss* naargelang een hoger inmengpercentage. Vanaf 15 % inmenging is het verschil op de *bake loss* significant. De dalende trend van de *bake loss* naargelang een hoger inmengpercentage heeft als gevolg een stijgende trend in het broodgewicht. De verklaring hiervoor bevindt zich onder 3.3.2.

Bij geen enkel staal is er een significant effect op de *bake loss* bij **moutadditie**. Dit komt voornamelijk door het feit dat moutadditie geen effect heeft op de ovenrijs en het volume, waardoor er niet meer vocht uit het deeg kan verdampen.

### 3.3.4 Surface browning

Figuur 21 en Bijlage 14 tonen een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de *surface browning* ( $\Delta E^*$ ).



**Figuur 21:** De *surface browning* van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter.

Bij bepaalde stalen is er een stijgende trend in de *surface browning* naargelang een hoger inmengpercentage. Bij de 15 en 30 % inmengingen van QZ en QV treedt er opvallend meer *surface browning* op in vergelijking met de andere stalen. Bij 30 % inmenging van QZ en QV is de *surface browning* niet gestegen tegenover 15 % inmenging. Net zoals QZ30 en QV30 is ook de *surface browning* van AV30 hoger ten opzichte van de andere stalen.

Bij AM, BB en BC is er geen significant effect op de *surface browning* door inmenging. Uitgezonderd bij BB5 is de *surface browning* significant hoger t.o.v. Epi B. In Bijlage 15 en Bijlage 16 wordt de *surface browning* meer in detail bekeken. Er is er echter wel een significant dalend trend van de individuele  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  en  $\Delta b^*$  van de *surface browning* bij AM, BB en BC te zien. Ook daalt de  $L^*$ ,  $a^*$  en  $b^*$  van de korstkleur significant bij AM, BB en BC (zie 3.3.5). De korstkleur verdonkert dus wel bij alle stalen, waardoor bij alle stalen in principe een hogere *surface browning* verwacht kan worden. Anderzijds zijn de dalingen van de  $\Delta L^*$  minder uitgesproken bij AM, BB en BC in vergelijking met QZ, QV en AV. Het is echter voornamelijk de  $\Delta L^*$  die het grootste aandeel levert van de totale waarde van de *surface browning* ( $\Delta E^*$ ). Dit verklaart waarom bij deze drie stalen geen significant effect optreedt op de totale *surface browning*.

Een te donkere korst kan de acceptatie door de consument verlagen (Miranda-Ramos e.a., 2019; Moawad e.a., 2019). Purlis (2010) rapporteerde een totale waarde van de *surface browning* ( $\Delta E^*$ ) tussen 50 en 60 als onacceptabel voor consumptie. De korstkleuring is hoofdzakelijk te wijten aan het effect van de Maillardreactie en suikerkaramellisatie. Het gehalte aan reducerende suikers, aminozuren en vocht bepaalt de mate van niet-enzymatische bruinkleuring aangezien zij de substraten vormen (Haros & Schoenlechner, 2017). Vermits in huidig onderzoek het gehalte aan reducerende suikers en aminozuren niet bepaald werd, is het moeilijk in te schatten aan welke factoren de hogere mate van bruinkleuring te wijten is. Het hoger eiwitgehalte van QV, AM en AV ten opzichte van de boekweitstalen kan een indicatie geven van een hoger gehalte aan aminozuren die kunnen reageren. Anderzijds heeft QZ een even laag eiwitgehalte als de boekweitstalen, maar inmenging van QZ leidt in tegenstelling tot de boekweitstalen wel tot een sterke *surface browning*. Lin e.a. (2009) toonden aan dat de korstkeur donkerder was indien het kaf van de boekweitkorrels mee vermalen werd tot boekweitmeel in vergelijking met boekweitkorrels zonder kaf. Het boekweitmeel zonder kaf zou een hoger gehalte fenolische componenten bevatten welke kunnen leiden tot een inhibitie van de Maillardreactie. Dit effect is gering, maar het kan de lagere *surface browning* van de boekweitstalen deels verklaren. In dit onderzoek werden de boekweitkorrels namelijk ook ontkaft.

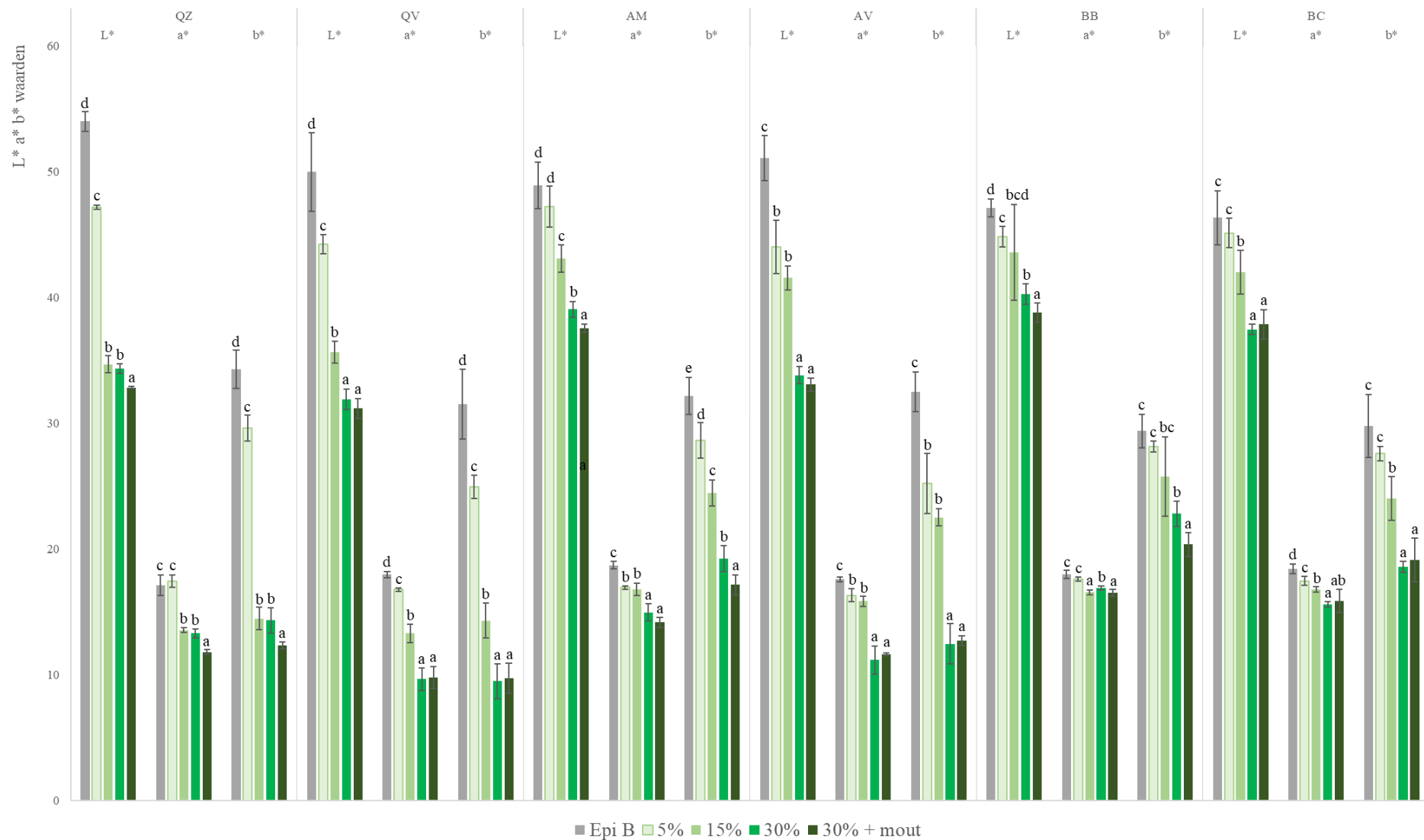
**Moutadditie** heeft geen significant effect op de *surface browning*. Enkel bij AM is de *surface browning* bij moutadditie significant hoger.

### 3.3.5 Korstkleur

Figuur 22 en Bijlage 17 geven een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de korstkleur.

In het algemeen is er een dalende trend in  $L^*$ ,  $a^*$  en  $b^*$  van de **korstkleur** naargelang een hoger inmengpercentage. Een daling in  $L^*$  duidt het verdonkeren van de korstkleur aan. Een daling in  $a^*$  duidt op het minder rood worden en een daling in  $b^*$  op het minder geel worden. **Moutadditie** zorgt voor een daling in  $L^*$  en  $b^*$  van de korstkleur van QZ, AM en BB. Bij QZ is eveneens  $a^*$  lager.

De resultaten komen overeen met de literatuur. Het inmengen van quinoa-, amarant-, boekweitmeel in brood resulteerde in een donkerder gekleurde korst (Lin e.a., 2009; Lorenz, 1981; Miranda-Ramos e.a., 2019; Moawad e.a., 2019; Siastala e.a., 2015).



**Figuur 22:** De korstkleur van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengepercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter.

### 3.3.6 Kruimkleur

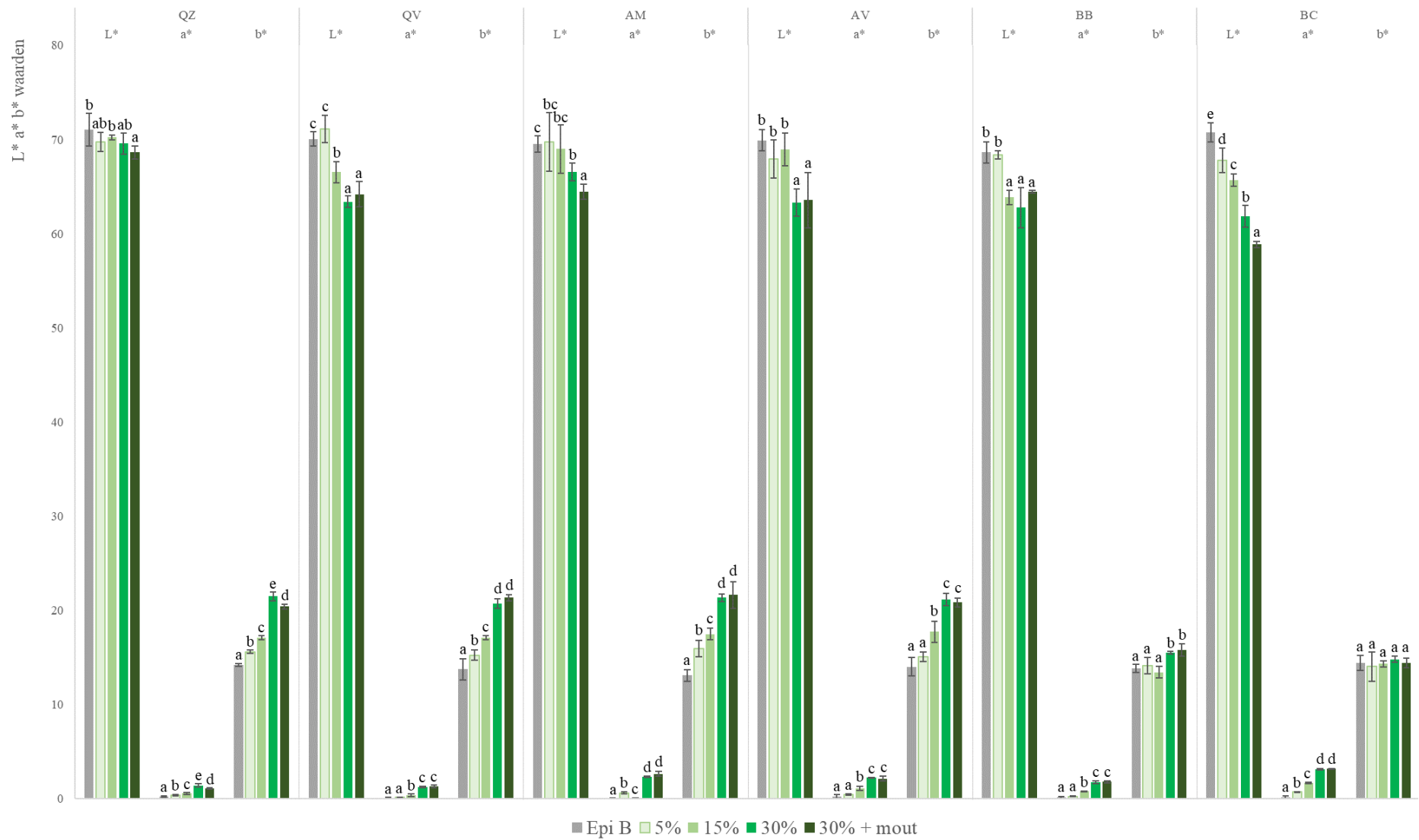
In Figuur 23 en Bijlage 18 wordt een overzicht gegeven van het effect van de inmengingen en moutadditie op de kruimkleur.

In het algemeen is er een dalende trend in  $L^*$  en een stijgende trend in  $a^*$  en  $b^*$  van de **kruimkleur** naarmate een hoger inmengpercentage. Bij AM en BC zorgt de **moutadditie** voor een daling in  $L^*$  van de kruimkleur. Bij QZ is  $a^*$  en  $b^*$  lager.

De korrels van de pseudogranen werden, in tegenstelling tot de tarwekorrels, integraal vermalen waardoor het meel donkerder is in vergelijking met tarwebloem. De kleur van de korrels verschilt naargelang het type pseudograan. Pigmenten als carotenoïden, chlorofyl en lignine beïnvloeden de kleur van de korrels. Deze pigmenten beïnvloeden dus ook de kleur van het meel (Kurek & Sokolova, 2019). De kleur van de tarwebloem wordt bij inmenging in een steeds hogere mate beïnvloed door de kleur van de melen. De meelmengsels beïnvloeden zo de kleur van de kruim en de korst van het brood.

In de literatuur werden gelijkaardige resultaten gevonden voor quinoa- en amarantmeel. Zo was de  $L^*$  van de kruimkleur ook lager bij inmenging van quinoa- en amarantmeel in vergelijking met het tarwebrood (Codina e.a., 2016; Miranda-Ramos e.a., 2019).





**Figuur 23:** De kruimkleur van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter.

### 3.3.7 Gasceldistributie kruim

Figuur 24 geeft een overzicht van het totale aantal gascellen (tot #GC) en de gemiddelde gasceloppervlakte (gem GCopp) in brood met Epi B, met inmengingen of met moutadditie. Figuur 25 geeft een overzicht van de relatieve gasceloppervlakte (REL GCopp) en het relatief aantal gascellen groter dan 100 pixels<sup>2</sup> (REL [ $> 100$ ]).

Naarmate de inmenging van QZ stijgt is er een dalende trend in het **tot #GC**. Het tot #GC daalt hierbij reeds significant vanaf 5 % inmenging. Het tot #GC is bij QV5, QV30, AV5, BB15 en BB30 significant lager t.o.v. Epi B. Bij AM en BC zijn er geen significante effecten door inmenging op het tot #GC. Gostin (2019) toonde een negatieve correlatie ( $R^2 = 0,885$ ) aan tussen het aantal gascellen en het vezelgehalte. De vezels zorgen voor een glutenverdunnend effect, wat de vorming van het glutennetwerk verstoort. Miranda-Ramos e.a. (2019) bevonden dan weer een hogere tot #GC/cm<sup>2</sup> bij 25 % amarantmeel ten opzichte van tarwebrood.

In het algemeen is bij inmenging van de melen de **gem GCopp** hoger ten opzichte van Epi B. Bij QV, AV, BB en BC is het gem GCopp reeds vanaf 5 % inmenging hoger. Bij QZ resulteert enkel de 30 % inmenging in een significant hogere gem GCopp. Bij AM is er geen significant effect door inmenging. Xu e.a. (2019) toonden een stijgende trend aan in de gemiddelde gasceldiameter en verhouding grovere ten opzichte van fijne gascellen naargelang een hoger innengpercentage aan quinoameel. In het onderzoek van Miranda-Ramos e.a. (2019) was de gem GCopp lager bij 25 % inmenging van amarantmeel ten opzichte van tarwebrood.

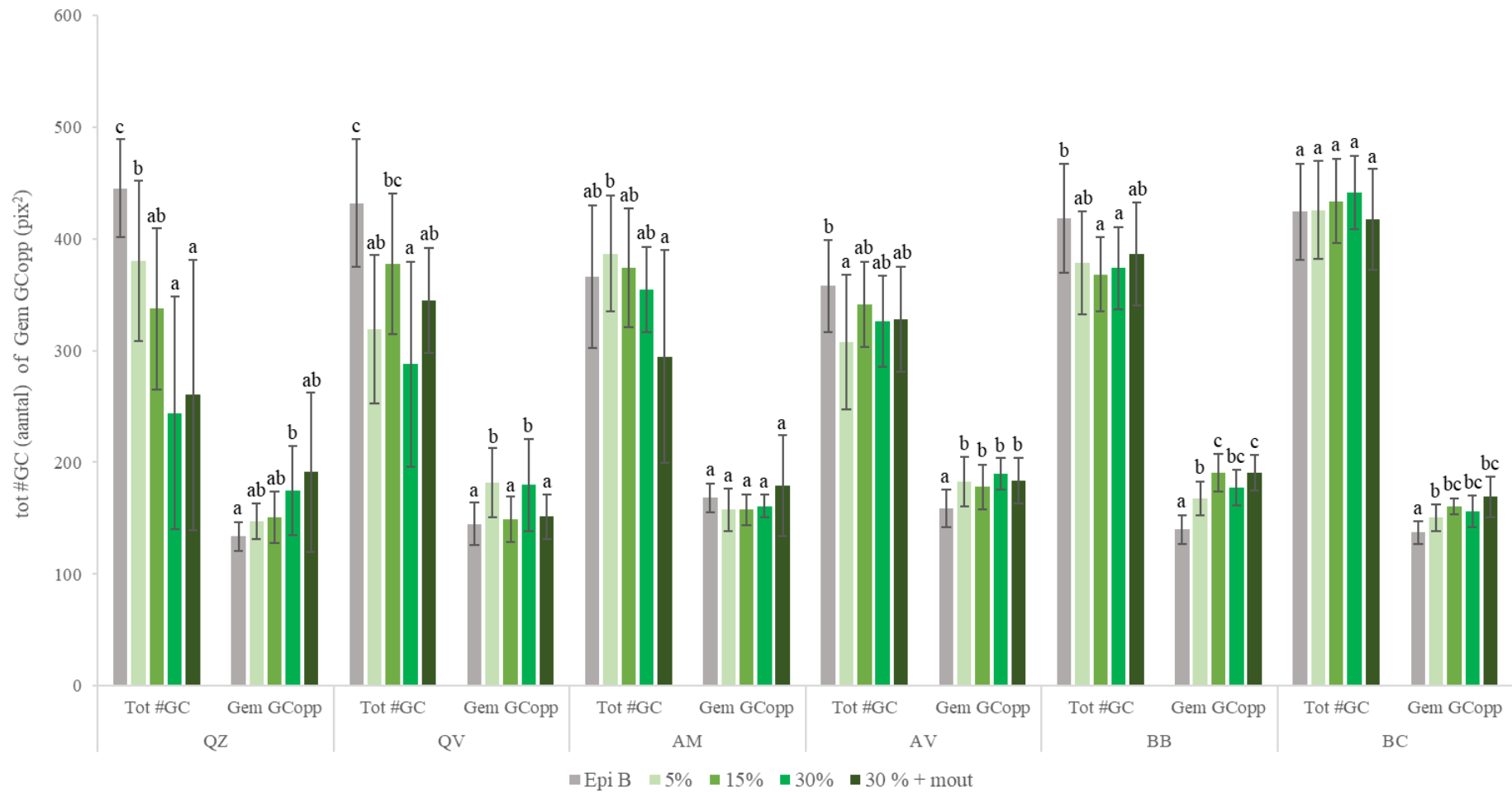
Het effect op de **REL GCopp** verschilt van staal tot staal. Zo is bij QZ15, QZ30 en QV30 de REL GCopp lager ten opzichte van Epi B. Bij BB15 en BB30 is de REL GCopp echter hoger. Bij BC is er een stijgende trend in de REL GCopp naargelang een hoger innengpercentage. Verder is er geen significante impact ten gevolge van inmenging van amarantmeel. Xu e.a. (2019) toonden een dalende trend in de REL GCopp naargelang een hoger innengpercentage aan quinoameel. In het onderzoek van Miranda-Ramos e.a. (2019) was de REL GCopp lager bij 25 % inmenging van amarantmeel tegenover tarwebrood.

Bij BB en BC is er een stijgende trend in **REL [ $> 100$ ]** naarmate een hoger innengpercentage. De REL [ $> 100$ ] is echter enkel bij 30 % inmenging van AM en AV hoger ten opzichte van Epi B. Bij QZ en QV zijn er geen significante effecten op de REL [ $> 100$ ] door inmenging.

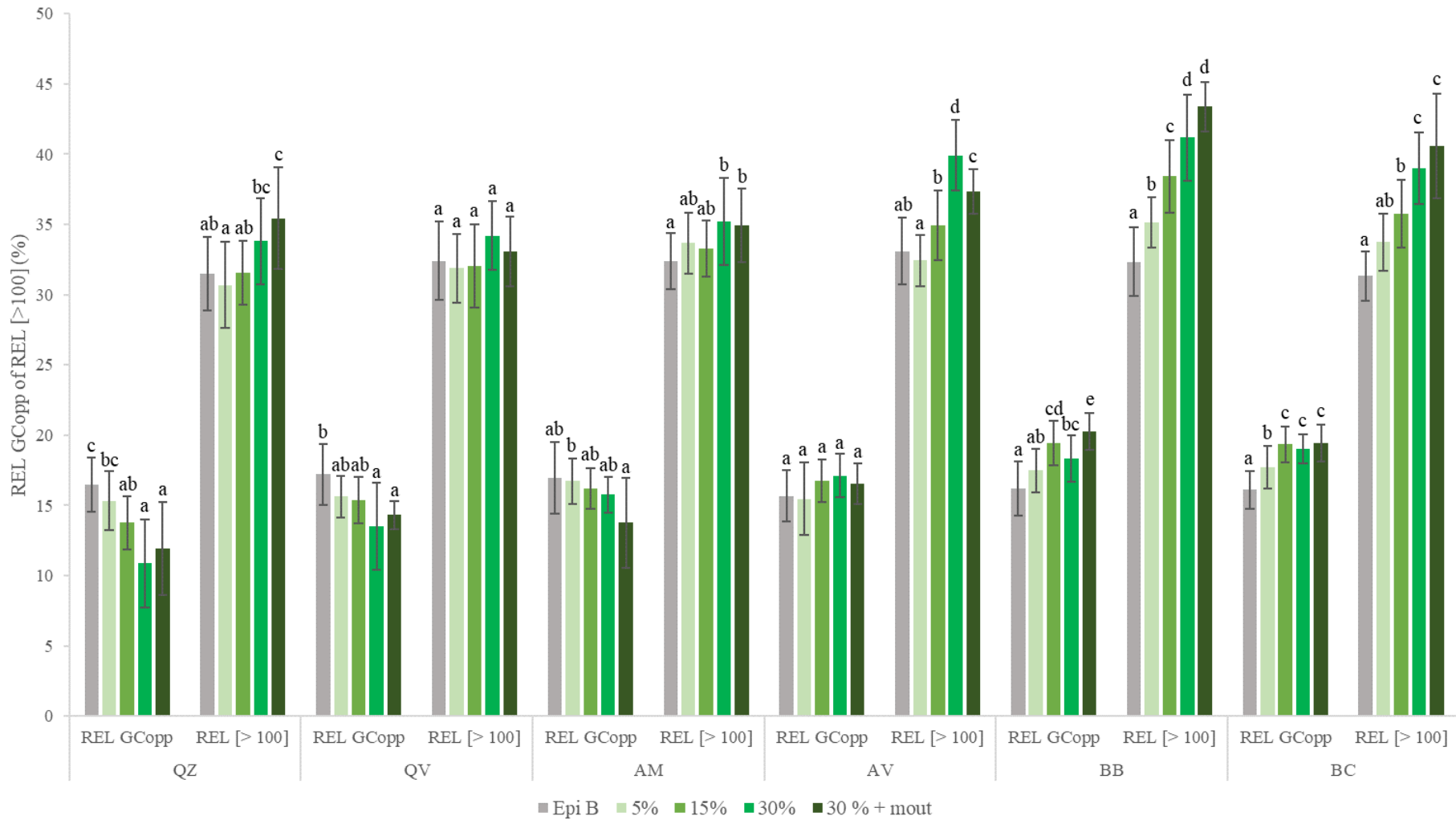
De resultaten tonen een beperkt aantal significante effecten op de parameters van de gascel distributie. De grote foutenmarge tussen de herhaalde metingen onderling kan de oorzaak hiervan zijn. Deze grote foutenmarge kan representatief zijn voor de variatie in gascel distributie tussen de sneden onderling. Globaal gezien valt bij de parameters echter wel een tendens op. Zo is het tot #GC lager en de gem GCopp en REL [ $> 100$ ] hoger in geval van inmenging van de pseudogranen. Deze verminderde kwaliteit van de kruimstructuur is hoofdzakelijk te wijten aan het zwakker tot zelfs beschadigd glutennetwerk bij inmenging van pseudogranen. De vorming van het glutennetwerk wordt verstoord omwille van verschillende redenen. Voornamelijk het ontbreken van gluten, maar ook de vezels zorgen voor een glutenverdunnend effect. Daarnaast kunnen vezels de zetmeel-glutenmatrix in de gascelwanden doorbreken. Dit veroorzaakt lekken in de gascelwanden (Gostin, 2019; Hager e.a., 2012). De verminderde extensibiliteit en de lekken in de gascelwanden kunnen resulteren in het coalesceren van de gascellen waardoor de diameter van de gascellen vergroot. Dit kan soms leiden tot het vormen van gaten (Guardianelli e.a., 2019; Xu e.a., 2019).

Over alle stalen heen lopen de resultaten van de REL GCopp uiteen. Bij de quinoastalen is de REL GCopp lager, maar bij de boekweitstalen is deze hoger. De lagere REL GCopp bij de quinoastalen kan erop wijzen dat het deeg de ingeslagen en geproduceerde gasmoleculen niet kon vasthouden. Naast de verminderde gasretentie, is er door het zwakker glutennetwerk ook een beperktere expansie mogelijk van de gascellen. Hierdoor barsten de gascellen makkelijker waardoor meer gas verloren gaat. De expansie van de gascellen kan ook beperkt worden indien het deeg een grotere weerstand biedt tegen het rijzen. Er is dan een grotere gasdruk in de gascellen nodig zijn om het deeg te vervormen. Om te onderzoeken of dit het geval is, zou het interessant geweest zijn om de waterabsorpties bij de alveograaftest aan te passen aan deze van de baktesten. De P-waarden (tenaciteit) zijn dan representatiever voor de degen van de baktesten. Mogelijks kan dit ook helpen het hogere REL GCopp bij de boekweitstalen verder te onderzoeken. Op dit moment is het onduidelijk waarom inmenging van boekweitmeel tot een hogere REL GCopp leidt. Mogelijks kunnen de gascellen makkelijker expanderen in geval het deeg lagere P-waarden vertoont. Bij inmenging van de amarantstalen was er geen significant effect op de REL GCopp. Verder onderzoek is nodig om deze verschillende resultaten van de REL GCopp te verklaren.

In geval van **moutadditie** zijn er geen significante effecten op het tot #GC, gem GCopp, REL GCopp en REL [ $> 100$ ]. Uitgezonderd bij QV is het gem GCopp significant lager. Daarnaast was enkel bij BB de REL GCopp hoger. Ten slotte bracht moutadditie enkel bij AV een significante daling van de REL [ $> 100$ ] teweeg.



**Figuur 24:** Het totale aantal gascellen (tot #GC) en de gemiddelde gasceloppervlak (gem GCopp) van de stalen (5, 15 en 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengepercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter.



**Figuur 25:** De relatieve gasceloppervlakte (REL GCopp) en het relatief aantal gascellen groter dan 100 pixels<sup>2</sup> (REL [>100]) van de stalen (5, 15 en 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengepercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter.

### 3.3.8 Fysicochemische houdbaarheid

#### 3.3.8.1 Kruimvochtgehalte en vochtverlies

Figuur 26, Figuur 27 en Bijlage 20 geven een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op het vochtgehalte en het vochtverlies van het kruim. Bij de quinoa- en amarantstalen is een stijgende trend zichtbaar in het kruimvochtgehalte naargelang het inmengpercentage. Bij de boekweitstalen is er geen algemene tendens in het kruimvochtgehalte. Wat betreft het vochtverlies over drie dagen valt in het algemeen bij een inmengpercentage van 30 % een lager vochtverlies op. Het minder snel uitdrogen van het brood kan interessant zijn voor een langere fysicochemische houdbaarheid van het brood. Het behouden van een hoog kruimvochtgehalte is immers belangrijk voor een vers, zacht mondgevoel (Ma e.a., 2020).

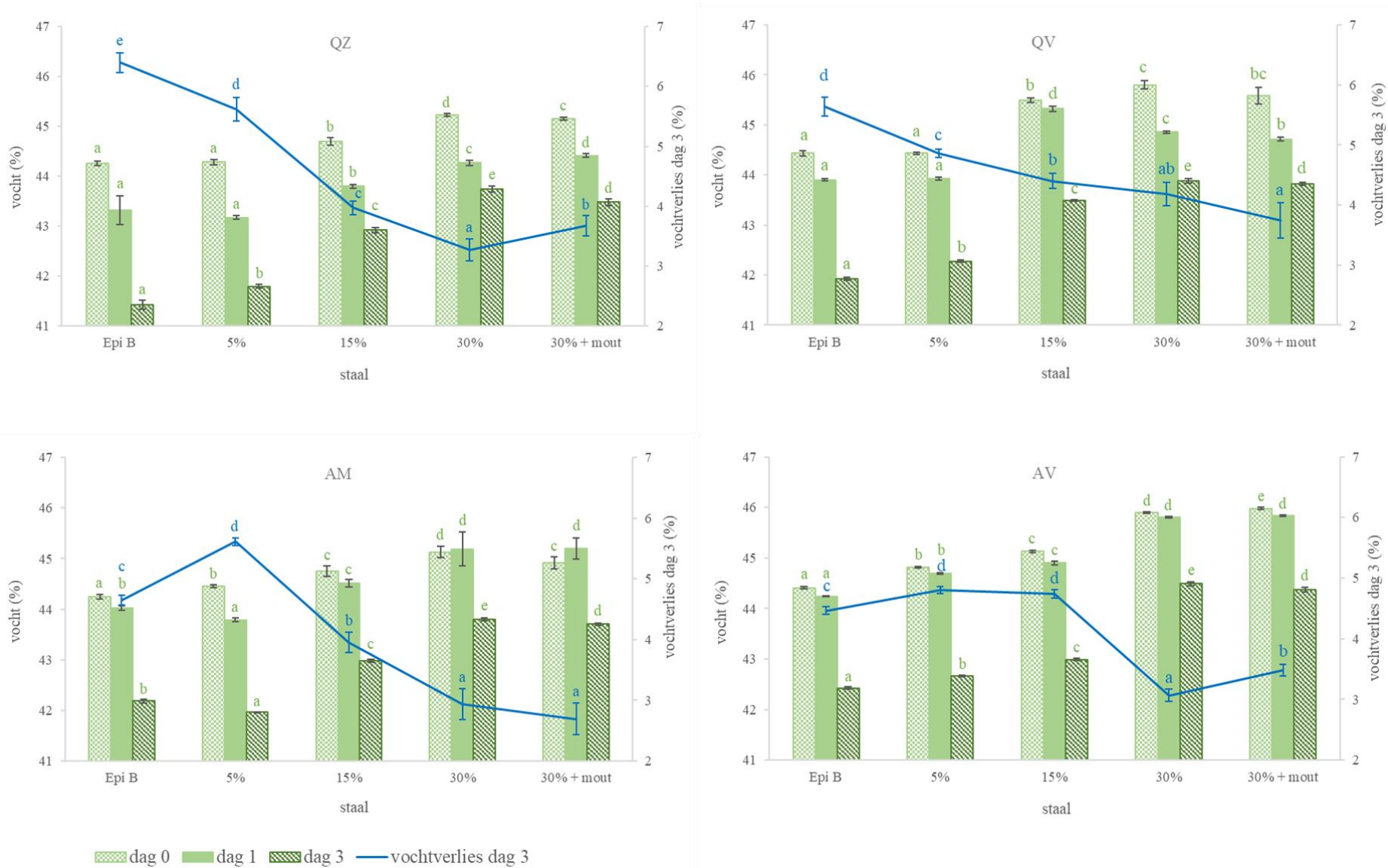
De **vochtgehalten** van de quinoa- en amarantstalen stijgen naargelang een hoger inmengpercentage. In het onderzoek van Tamba-Berehoiu e.a. (2019) werd de verhoging van het kruimvochtgehalte niet toegeschreven aan het inmengpercentage aan quinoameel, maar eerder aan de hoeveelheid water die werd gebruikt bij de broodbereiding. Dit zal hoogstwaarschijnlijk ook in huidig onderzoek het geval zijn. In dit onderzoek stijgt de toegevoegde waterhoeveelheid in de receptuur naargelang een hoger inmengpercentage aan quinoa- en amarantmeel (zie Bijlage 8). Bij de boekweitstalen daalt de toegevoegde waterhoeveelheid vanaf 15 % inmenging. Dit verklaart waarom er geen stijgende trend is in het kruimvochtgehalte van de boekweitstalen. Het kruimvochtgehalte van alle stalen is positief gecorreleerd met het water in de receptuur ( $R^2 = 0,887$ ;  $p = 0,000$ ). Ook Hager e.a. (2012) vond een positieve correlatie tussen het kruimvochtgehalte en het water in de receptuur. De literatuur suggereert dat een grotere hoeveelheid vezels verband houdt met een hoger kruimvochtgehalte. Meer vezels leiden tot een grotere waterabsorptie volgens de farinograaf, waardoor meer water in de receptuur toegevoegd werd (Miranda-Ramos e.a., 2019; Sanz-Penella e.a., 2013; Sehn & Steel, 2020).

Het hoger kruimvochtgehalte naargelang een hoger inmengpercentage valt ook gedeeltelijk toe te schrijven aan de lagere ovenrijs. Er kan immers minder vocht verdampen als er een groter oppervlak van het deeg beschermd blijft in het bakblik. De resultaten van de *bake loss* bevestigen dit. Er is namelijk een dalende trend in de *bake loss* naarmate een hoger inmengpercentage. Bij de boekweitstalen is er geen algemene tendens in het kruimvochtgehalte, ondanks dat de waterabsorptie, en dus ook de toegevoegde hoeveelheid water, daalt naargelang een hoger inmengpercentage. Aangezien de boekweitstalen geen stijgende trend vertonen in het kruimvochtgehalte, zal voornamelijk de receptuur het kruimvochtgehalte bepalen.

Het kruimvochtgehalte daalt gedurende de bewaring. Bijlage 20 geeft het **vochtverlies over de eerste dag** weer. Hierbij is er in het algemeen geen duidelijke trend naarmate een hoger inmengpercentage.

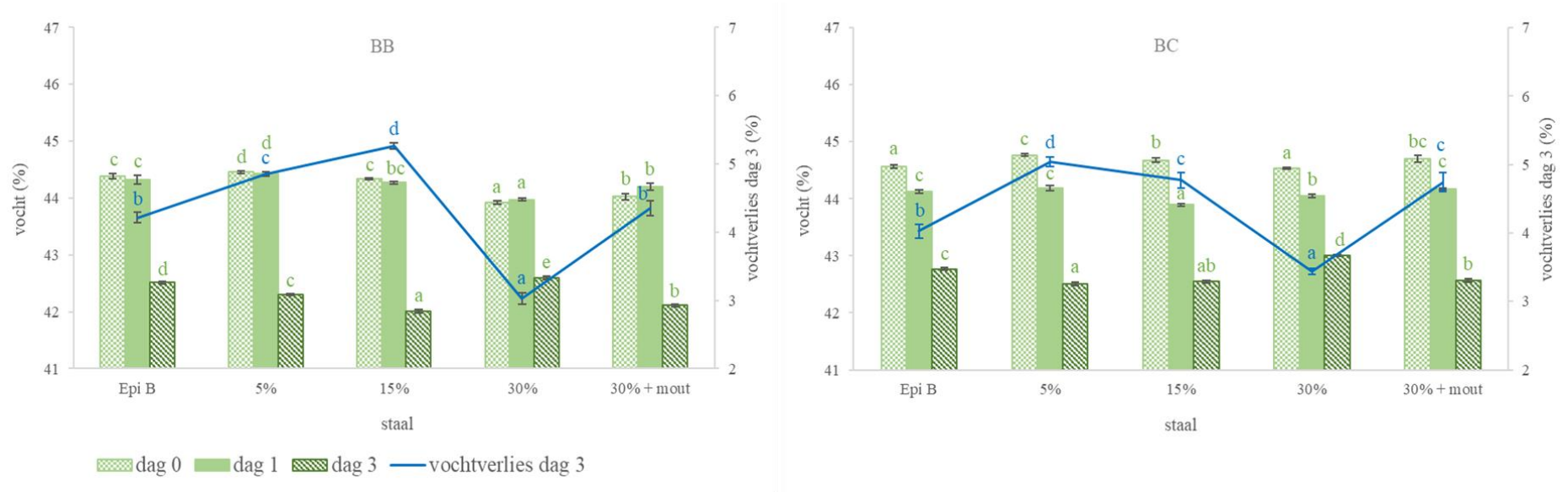
Wat betreft het **vochtverlies over drie dagen**, is er bij QZ, QV en AM een dalende trend naarmate een hoger inmengpercentage. Bij AV, BB en BC is enkel bij de 30 % inmenging het vochtverlies lager ten opzichte van Epi B. Een lager vochtverlies is positief voor de houdbaarheid van het brood. Dit wijst voornamelijk op een tragere vochtgradiënt van het kruim naar de korst, aangezien de broden in gesloten polyethyleen ziplockzakken bewaard werden. Hierdoor wordt het kruim minder snel hard en de korst minder snel taai (Arp, Correa, & Ferrero, 2020). De hoge capaciteit van vezels en eiwitten in het kruim om water vast te houden kunnen dit verklaren. Hierdoor kan de vochtmigratie van kruim naar korst tijdens de bewaring vertragen (Arp e.a., 2020; Gostin, 2019). Desondanks is er enkel bij de quinoastalen een dalende trend in het vochtverlies. Bij AM5, AV5, AV15, BB5, BB15, BC5 en BC15 was het vochtverlies hoger ten opzichte van Epi B. Mogelijks zijn er nog andere factoren die een invloed op het vochtverlies hebben. Dit zal verder onderzocht moeten worden.

**Moutadditie** heeft een verschillend effect op het kruimvochtgehalte. Bij AV, BB en BC verhoogt het kruimvochtgehalte, terwijl bij QZ, QV en AM het vochtgehalte verlaagt. Daarnaast is er in het algemeen geen duidelijk effect van moutadditie op het vochtverlies over één dag. Het vochtverlies over drie dagen is in het algemeen verhoogd. Uitzonderd bij QV en AM was er geen significant effect op het vochtverlies over drie dagen. Een hogere  $\alpha$ -amylaseactiviteit kan leiden tot meer dextrinevorming. Gemodificeerde zetmeelstructuren zoals dextrines verhogen de vochtretentie, wat kan resulteren in een vertraagd vochtverlies gedurende bewaring (Giannone e.a., 2016; Zhou & Hui, 2014). Er zou dus enkel een daling van het vochtverlies verwacht kunnen worden.



**Figuur 26:** Het vochtgehalte van het broodkruim op dag 0, 1 en 3 en het vochtverlies over 3 dagen van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.





**Figuur 27:** Het vochtgehalte van het broodkruim op dag 0, 1 en 3 en op het vochtverlies over 3 dagen van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengepercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.

### 3.3.8.2 Kruimhardheid en staling index

Figuur 28, Figuur 29 en Bijlage 21 tonen een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de kruimhardheid en *staling index*. De kruimhardheid is een belangrijke parameter omdat het sterk gecorreleerd is met de perceptie van de consument van de versheid van brood (Moawad e.a., 2019). In het algemeen stijgt de kruimhardheid over alle dagen naargelang een hoger inmengpercentage. De *staling index D3* duidt de procentuele stijging in hardheid tussen dag 0 en dag 3 aan. Globaal gezien valt een lagere *staling index D3* op bij de 30 % inmengingen en bij bepaalde stalen ook bij de 15 % inmengingen. De verlaagde *staling index* is interessant, maar door de hoge beginhardheid blijft de hardheid bij de 15 % en 30 % inmengingen hoger ten opzichte van Epi B.

Bij de boekweitstalen is er een minder consistent effect op de **kruimhardheid**. Zo is de kruimhardheid op dag 0 en 3 enkel bij BB30 hoger ten opzichte van Epi B. Op dag 1 is er wel een stijgende trend in kruimhardheid. Bij BC is er een stijgende trend op dag 0 en 1, maar op dag 3 was enkel de kruimhardheid van BC30 significant hoger.

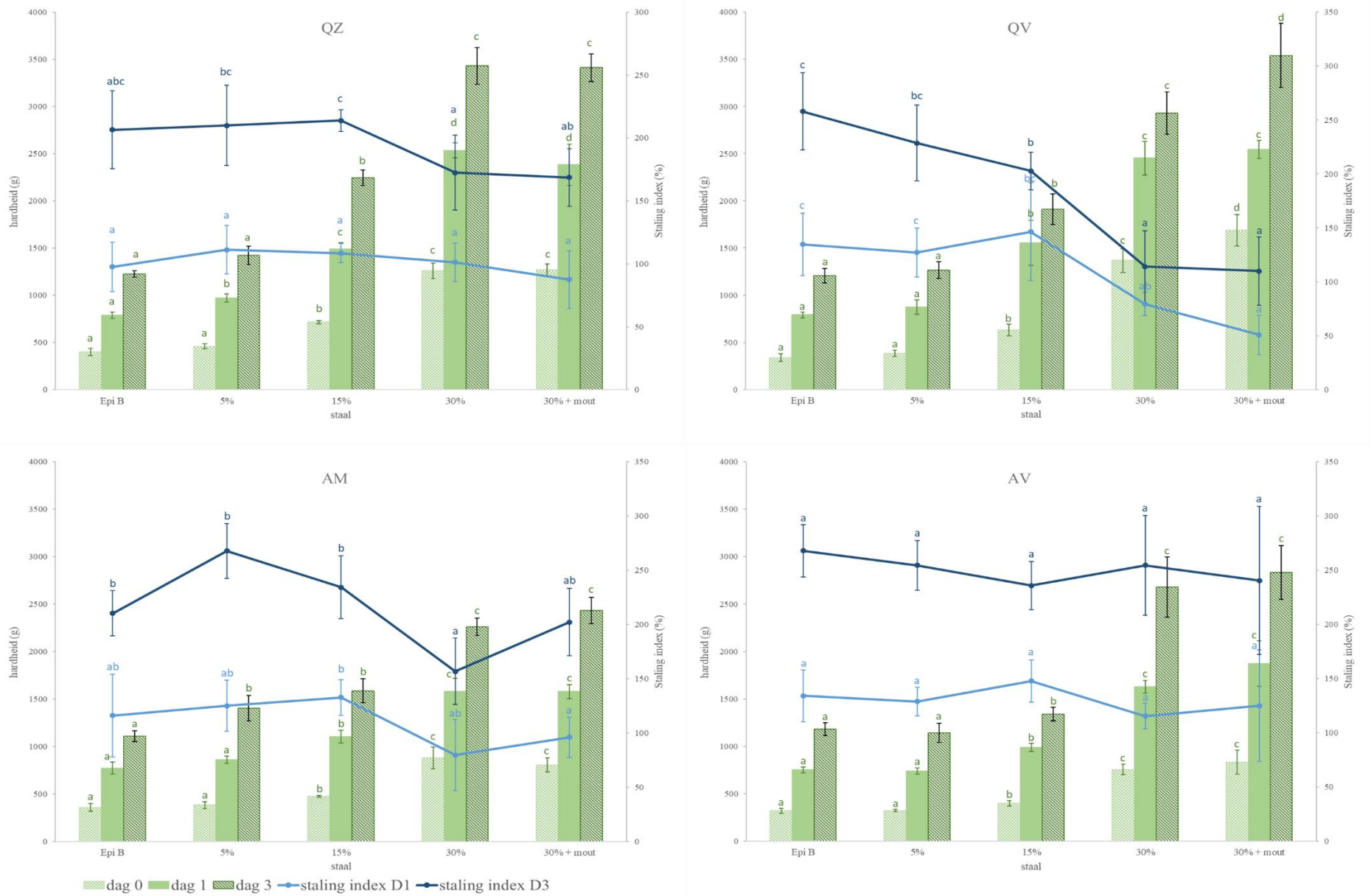
De resultaten komen overeen met de literatuur. In eerder onderzoek steeg de kruimhardheid van vers brood naargelang een hoger inmengpercentage aan pseudograanmeel (Lin e.a., 2013; Sayed e.a., 2016; Siastala e.a., 2015; Xu e.a., 2019). De daling in specifiek volume, dus stijging in kruimdensiteit, naargelang de inmenging kan deze stijging in hardheid veroorzaken (Föste e.a., 2014; Siastala e.a., 2015). De kruimhardheid op dag 0 is negatief gecorreleerd met het specifiek volume ( $R^2 = 0,870$ ;  $p = 0,000$ ). Ook Gostin (2019) vond een negatieve correlatie tussen de kruimhardheid en het specifiek volume. De kruimhardheid kan door verschillende factoren beïnvloed worden, zoals het vochtgehalte, de grootte en verdeling van de gascellen en de dikte van de gascelwanden. Ook al verhoogt het vochtgehalte bij een hoger inmengpercentage in dit onderzoek, het weekmakend effect van water compenseert onvoldoende de verhoogde hardheid door inmenging (Arp e.a., 2020).

De *staling index D1* duidt de procentuele stijging in hardheid tussen dag 0 en dag 1 aan. In het algemeen is er geen significant effect op de *staling index D1* door inmenging. Uitgezonderd bij QV30 is de *staling index D1* significant lager ten opzichte van Epi B. Bij BB15 is de *staling index D1* significant hoger dan Epi B.

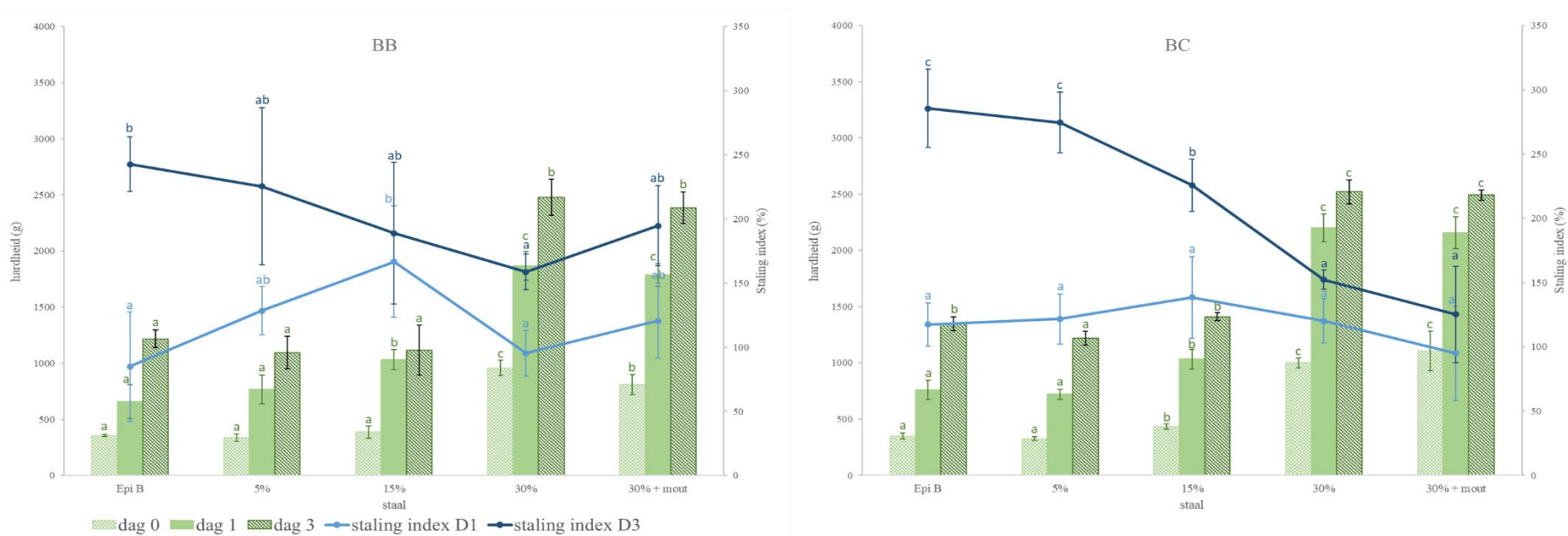
Bij QV en BC is er dalende trend in de *staling index D3* naarmate een hoger inmengpercentage. Het dalend effect is significant vanaf 15 % inmenging. Bij AM en BB is de *staling index D3* enkel bij de 30 % inmenging lager ten opzichte van Epi B. Bij QZ is de 30 % inmenging lager ten opzichte van 5 % en 15 % inmenging, maar niet tegenover Epi B. Bij AV is er geen effect door inmenging op de *staling index D3*.

Verharding van het kruim gedurende bewaring (de *staling index*) wordt voornamelijk beïnvloed door de snelheid van de kristallisatie van amylopectine (Švec e.a., 2019). Hierbij verplaatst het water dat gebonden aan is aan de gluten naar het zetmeel wat het retrogradatieproces bevordert. Tijdens zetmeelretrogradatie nemen de zetmeelkristallen het water namelijk op. Daarnaast verplaatst het water tevens van de kruim naar de korst. Beide watertransfers veroorzaken een dehydratatie van de gluten waardoor deze stijver worden, wat ook bijdraagt aan de kruimverharding (Vouris e.a., 2018). Een hoger vezelgehalte kan de retrogradatie van amylopectine vertragen, onder andere door hun grotere capaciteit in waterretentie in vergelijking met zetmeel (Sehn & Steel, 2020). Anderzijds kan een hoger vezelgehalte leiden tot een slechter gevormd glutennetwerk. Hierdoor kunnen de gluten de watermoleculen moeilijker vasthouden waardoor er vochtmigratie is naar het zetmeel. Ten slotte hangt de retrogradatie ook af van verschillende zetmeel-eigenschappen, zoals de ketenlengtedistributie van de vertakkingen van amylopectine (Lindeboom, 2005). Srichuwong & Jane (2007) stelden vast dat het amylopectine van tarwe, quinoa en amarant proportioneel meer korte vertakkingen had in vergelijking met andere granen. De enthalpieverandering (via *differential scanning calorimetry*, DSC) was negatief gecorreleerd met de proportie aan korte vertakkingen. Amylopectine met korte vertakkingen kan leiden tot een tragere retrogradatie. Noda e.a. (1998) rapporteerden dat de ketenlengtedistributie van amylopectine van boekweit vergelijkbaar is met tarwe en vonden tevens een negatieve correlatie tussen de enthalpieverandering en aandeel aan korte vertakkingen. Daarnaast vonden Srichuwong en Jane (2007) een positieve correlatie tussen de enthalpieverandering en het amylosegehalte. Zo kan het lager amylosegehalte in amarant en quinoa bijdragen aan een lagere *staling index* (Hager e.a., 2012). De ketenlengtedistributie van amylopectine en het amylosegehalte zijn grotendeels afhankelijk van de botanische oorsprong volgens Noda e.a. (1998) en Yoshimoto e.a. (2004). Huidig onderzoek bepaalt deze zetmeel-eigenschappen niet. Om de relatie tussen deze vele factoren en de verharding van het kruim te begrijpen is er dus verder onderzoek nodig (Ma e.a., 2020).

In het geval van **moutadditie** is er algemeen gezien geen significant effect op de kruimhardheid en *staling index*. Uitgezonderd bij BB op dag 0 was de kruimhardheid lager ten opzichte van BB30. De kruimhardheid bij QV op dag 0 en 3 was significant hoger bij moutadditie.



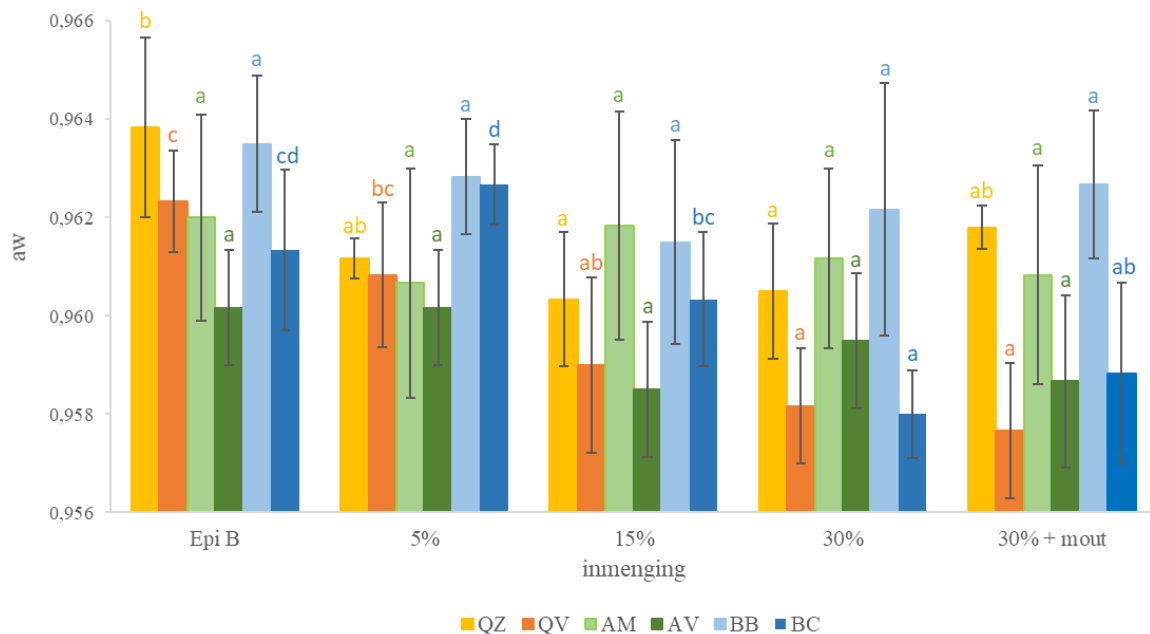
**Figuur 28:** De kruimhardheid (op dag 0, 1 en 3) en *staling index* (D1 en D3) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.



**Figuur 29:** De kruimhardheid (op dag 0, 1 en 3) en *staling index* (D1 en D3) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.

### 3.3.9 Wateractiviteit kruim

Figuur 30 en Bijlage 22 tonen een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de wateractiviteit ( $a_w$ ) van het kruim. De  $a_w$ -waarde geeft een maat voor de beschikbaarheid van vrij water aan. De  $a_w$  is dus van belang bij de microbiologische houdbaarheid van het brood.



**Figuur 30:** De wateractiviteit van het broodkruim van de stalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per staal worden aangeduid met een verschillende letter.

Bij QZ, QV en BC is er een dalende trend in de  $a_w$  naargelang een hoger inmengpercentage. De inmengingen van AM, AV en BB hebben geen significant effect op de  $a_w$ . Er is een relatief grote variatie tussen de zes herhalingen van elke meting. Mogelijks is dit onder andere doordat de herhalingen op dag 0, 1 en 3 gemeten zijn. De effecten op de  $a_w$  lopen niet parallel met de effecten op het vochtgehalte. Indien de  $a_w$  sterk verlaagd is, kan dit tot een trager microbiel bederf leiden. De  $a_w$  blijft echter in alle gevallen hoog, waardoor de verlaagde  $a_w$  geen voordelen naar microbiologische houdbaarheid verschaft. Daarnaast zijn er ook andere factoren die een invloed hebben op de gevoeligheid voor microbiel bederf zoals de pH (zuurtegraad). In dit onderzoek werd enkel het effect op de  $a_w$ -waarde onderzocht. Andere factoren met betrekking tot de microbiologische houdbaarheid kunnen in toekomstig onderzoek verder onderzocht worden.

In geval van **moutadditie** is er bij geen enkel staal een significant effect op de  $a_w$ .

### 3.3.10 Texture profile analysis

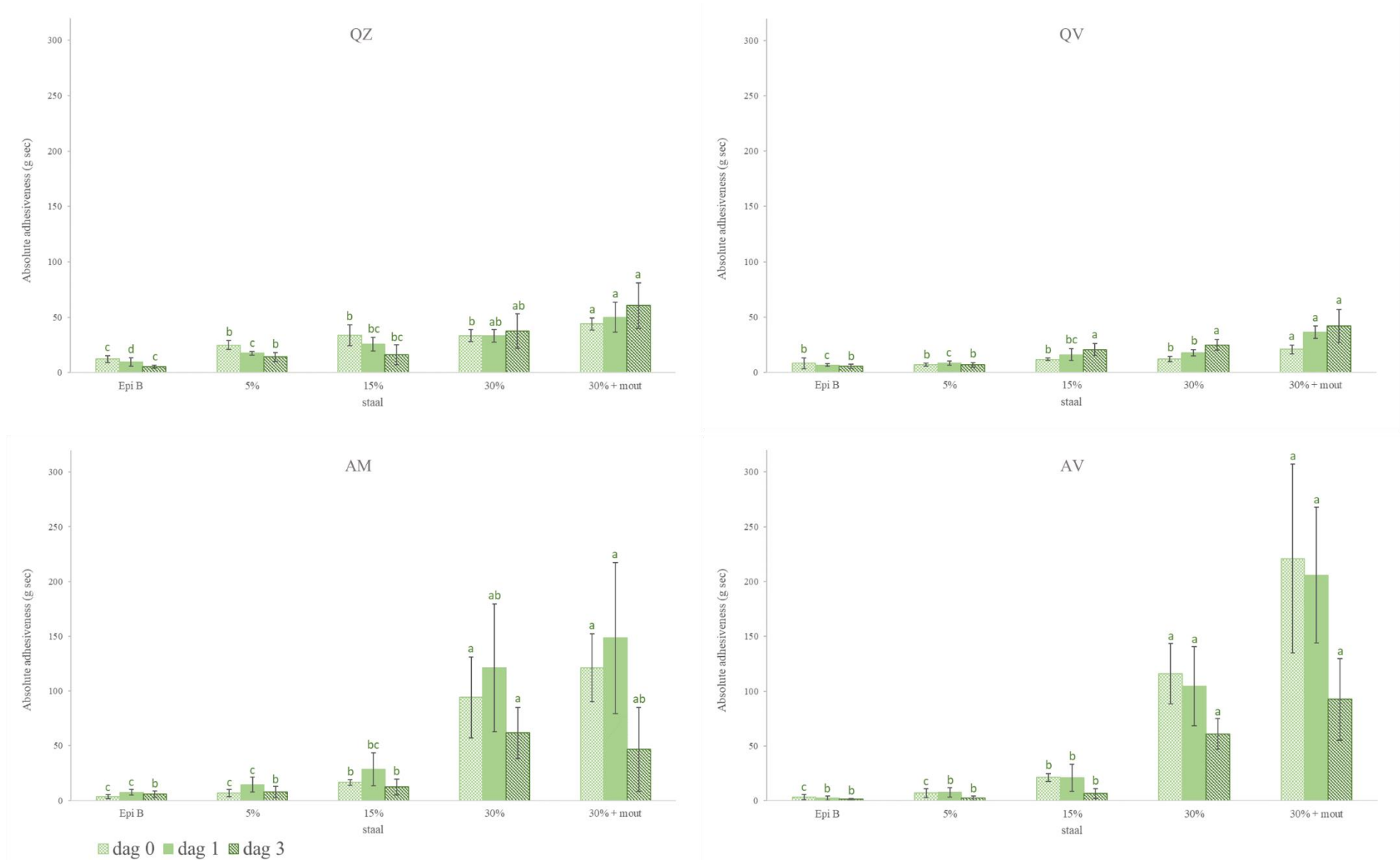
#### 3.3.10.1 Adhesiveness

In Figuur 31, Figuur 32 en Bijlage 23 bevindt zich een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de *adhesiveness*, ofwel de mate van plakkerigheid van het kruim. In het algemeen verhoogt de *adhesiveness* bij 30 % inmenging van de stalen en bij bepaalde stalen reeds bij 15 %.

Het effect op de *adhesiveness* verschilt naargelang het staal en de analysedag (dag 0, 1 of 3). Op dag 0 hebben alle inmengpercentages van QZ een hogere *adhesiveness* tegenover de blanco. Op dag 1 en 3 is er stijgende trend in *adhesiveness* naargelang een hoger inmengpercentage van QZ. Op dag 0 heeft inmenging van QV geen effect op de *adhesiveness*. Op dag 1 is de *adhesiveness* wel significant hoger bij QV30, en op dag 3 bij QV15 en QV30. Bij AM en AV is er op dag 0 een stijgende trend, welke significant is vanaf 15 % inmenging. Op dag 1 en 3 is de *adhesiveness* enkel bij de 30 % inmenging hoger in vergelijking met Epi B. Bij BB en BC is de *adhesiveness* op dag 0 enkel bij de 30 % inmengingen hoger. Op dag 1 is naast BB30 en BC30, ook BB15 hoger. Terwijl op dag 3 geen enkel inmengpercentage significant verschilt tegenover Epi B.

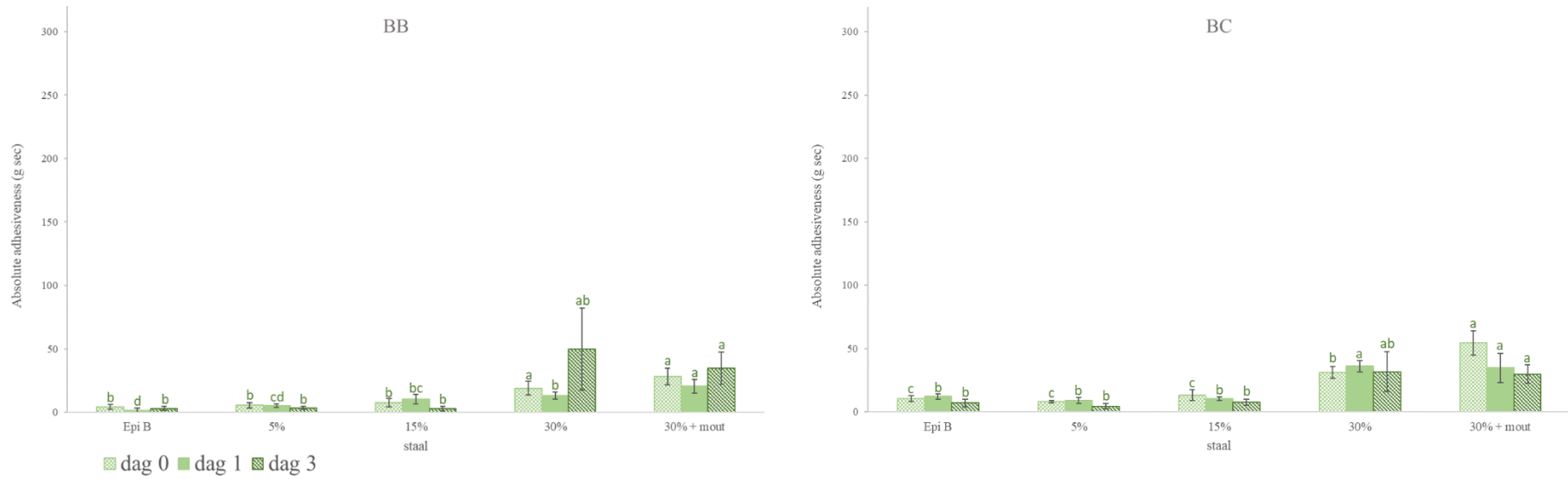
Het effect van pseudogranen op de *adhesiveness* is in de literatuur weinig onderzocht waardoor moeilijk een verklaring voor de verhoogde *adhesiveness* gevormd kan worden. Mogelijks hebben het kruimvochtgehalte en vochtverlies tijdens de bewaring een invloed op de *adhesiveness*. Daarnaast zou de *adhesiveness* van een eindproduct mogelijks gerelateerd zijn aan het kortetermijnretrogradatiegedrag van het zetmeel. Zo speelt mogelijk het amylosegehalte een belangrijke rol bij de mate van immobilisatie van het water in de gelstructuur bij het afkoelen van het brood. Retrogradatie van een slurry van niet-waxy zetmeel zou transformeren naar een stevige gel met een driedimensionaal amylosenetwerk. Slurries van waxy zetmeel zouden daarentegen transformeren naar een zachtere gel welke uitsluitend aggregaten bevat. Door de afwezigheid van het driedimensionaal amylosenetwerk, zou deze zachte gel een grotere *stickiness* en *adhesiveness* vertonen (Wang, Li, Copeland, Niu, & Wang, 2015). In een deeg- of broodstelsel is de gelvorming echter veel complexer dan bij zetmeel slurries, aangezien verschillende factoren de retrogradatie zullen beïnvloeden. Hoe deze factoren de *adhesiveness* beïnvloeden bij de inmenging van pseudogranen in brood zal in toekomstig onderzoek bestudeerd moeten worden.

Effect op de *adhesiveness* bij **moutadditie** varieert eveneens tussen de stalen en overheen de dagen. Zo is de *adhesiveness* van het kruim bij QZ en BC enkel op dag 0 hoger, terwijl deze bij BB enkel op dag 1 hoger is en bij QV op zowel dag 0 en 1 hoger. Bij AM en AV is er geen invloed van moutadditie op de *adhesiveness*. De hogere *adhesiveness* kan toegeschreven worden aan de hogere  $\alpha$ -amylaseactiviteit. Ma e.a. (2020) en Hui (2014) stelden dat een te hoge  $\alpha$ -amylaseactiviteit kan resulteren in te plakkerig deeg en kruim. Dit toont het belang aan naar verder onderzoek naar de standaardisatie van de hoeveelheid moutadditie bij pseudograanmengsels.



**Figuur 31:** De adhesiveness (op dag 0, 1 en 3) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengepercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.





**Figuur 32:** De *adhesiveness* (op dag 0, 1 en 3) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengepercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.

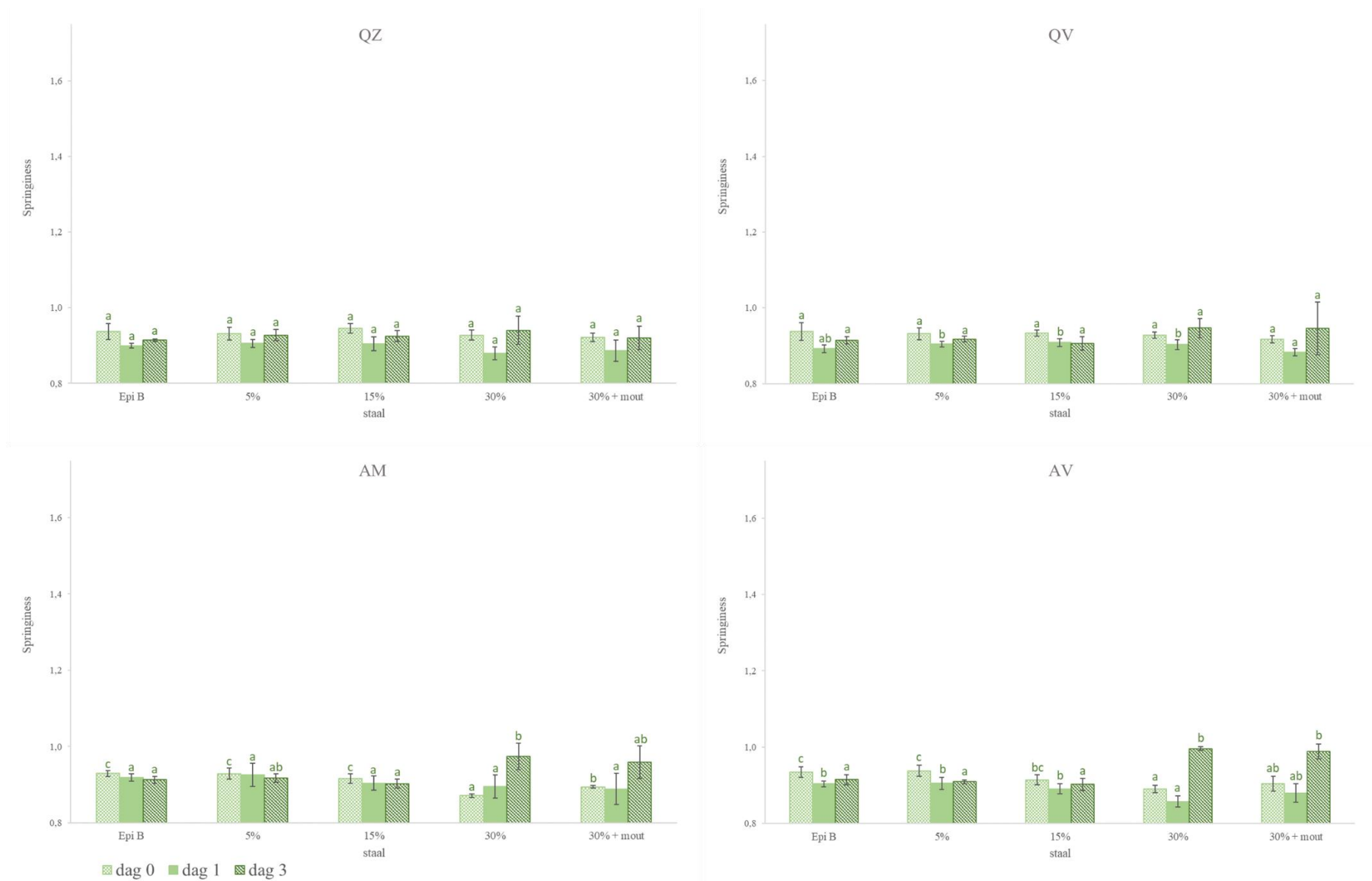
### 3.3.10.2 Springiness

Figuur 33, Figuur 34 en Bijlage 24 bieden een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de *springiness*. Dit is een maatstaf voor elasticiteit van het kruim, en dan meer specifiek, de mate waarin kruim in hoogte herstelt na de eerste compressie. In het algemeen heeft inmenging van de stalen geen effect op de *springiness*.

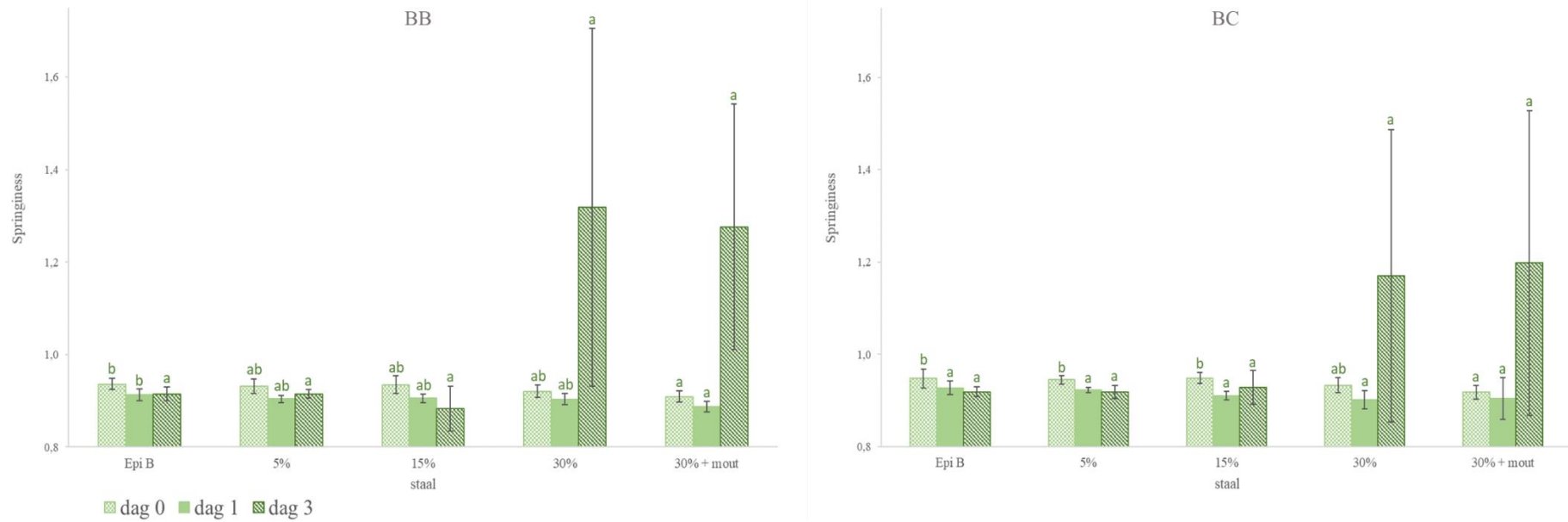
De 30 % inmengingen van de amarantstalen tonen een inconsistent effect op de *springiness* over de dagen heen. AM30 en AV30 hadden een lagere *springiness* in vergelijking met Epi B op dag 0 en AV30 ook nog op dag 1. Op dag 3 hadden AM30 en AV30 een hogere *springiness* tegenover Epi B.

In het onderzoek van Xu e.a. (2019) was de *springiness* lager bij vers brood met 10 % en 15 % inmenging van quinoameel. Na 24 uur bewaring was de *springiness* lager vergeleken met vers brood. Dit is te voornamelijk wijten aan de *bread staling*. Hierdoor kan het kruim na de compressie minder goed herstellen in de hoogte. Hager e.a. (2012) stelden een lagere *springiness* vast bij brood met 100 % quinoa- en boekweitmeel tegenover brood met 100 % tarwebloem.

In het algemeen had **moutadditie** geen effect op de *springiness*. Enkel bij AM en QV was er een effect op de *springiness* bij moutadditie. Op dag 0 was de *springiness* hoger in vergelijking met AM30. Op dag 1 was de *springiness* lager dan QV30.



**Figuur 33:** De *springiness* (op dag 0, 1 en 3) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.



**Figuur 34:** De *springiness* (op dag 0, 1 en 3) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.

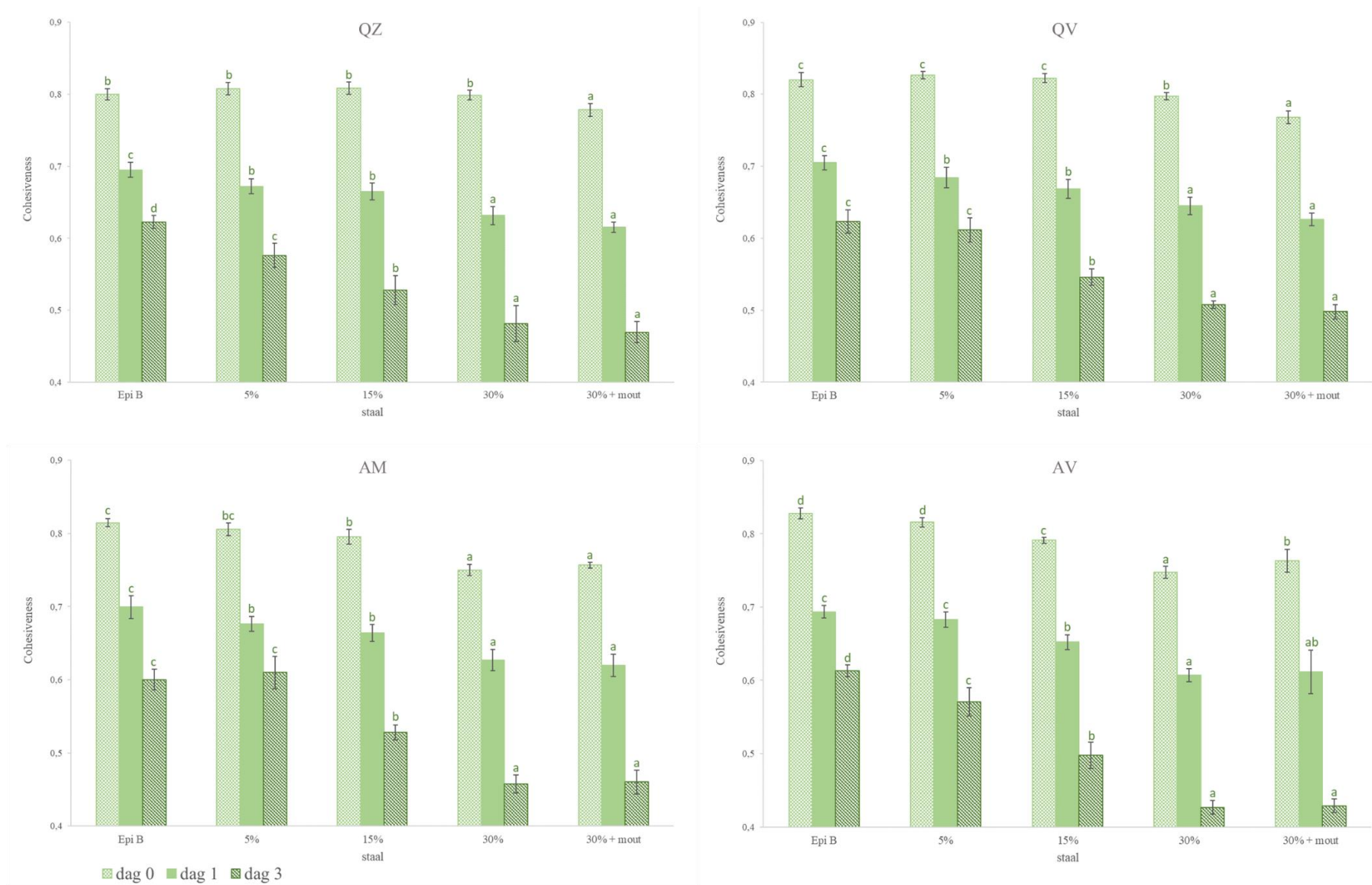
### 3.3.10.3 Cohesiveness

Figuur 35, Figuur 36 en Bijlage 25 tonen een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de *cohesiveness*, ofwel de maat van samenhang van het kruim. Deze variabele zegt meer over de mate waarin het staal gecompriemd blijft na de eerste compressie. De voorkeur gaat uit naar een hoge cohesie, zodat het product tijdens het kauwen minder snel uit elkaar valt (Codina e.a., 2016). In het algemeen is er een dalende trend van de *cohesiveness* naarmate een hoger inmengpercentage. De daling van de *cohesiveness* duidt op een toename van de gevoeligheid van het kruim om te verkruimelen (Vouris e.a., 2018). Het inmengen van pseudograanmeel kan bijgevolg de acceptatie van de consument negatief beïnvloeden. Het effect verschilt echter over de verschillende stalen en dagen heen.

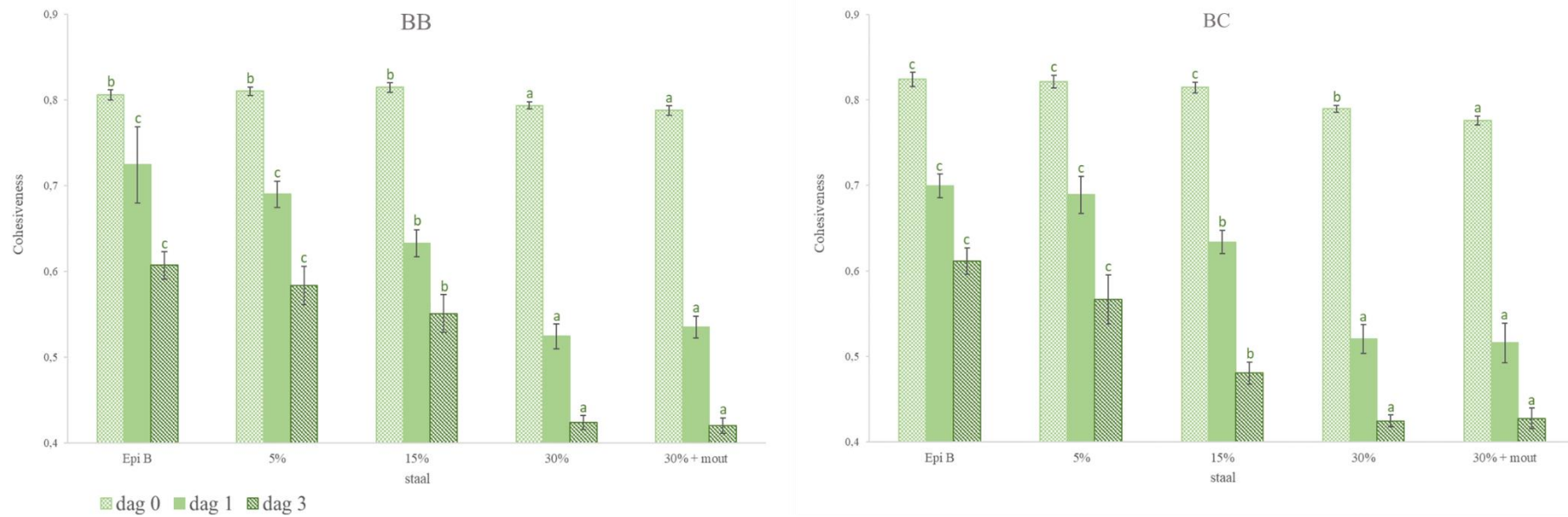
Op dag 0 heeft QZ geen significant effect op de *cohesiveness*. Bij QV, BB en BC heeft enkel de 30 % inmenging op dag 0 een significant lagere *cohesiveness* in vergelijking met Epi B. Op dag 1 en 3 is er een dalende trend naargelang een hoger inmengpercentage aan QZ, QV, BB en BC. Bij AM en AV is er een dalende trend op dag 0, 1 en 3.

Het effect van quinoameel was in het onderzoek van Xu e.a. (2019) meer uitgesproken op dag 0. De *cohesiveness* van het vers brood verlaagde immers bij 10 % en 15 % inmenging. In onderzoek met boekweitmeel werd een lagere *cohesiveness* van vers brood vastgesteld bij 50 % inmenging (Sayed e.a., 2016).

In het algemeen heeft **moutadditie** louter op dag 0 een invloed op *cohesiveness*. De *cohesiveness* is lager bij QZ, QV en BC, maar is hoger bij AV.



**Figuur 35:** De *cohesiveness* (op dag 0, 1 en 3) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengepercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.



**Figuur 36:** De *cohesiveness* (op dag 0, 1 en 3) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.

#### 3.3.10.4 Resilience

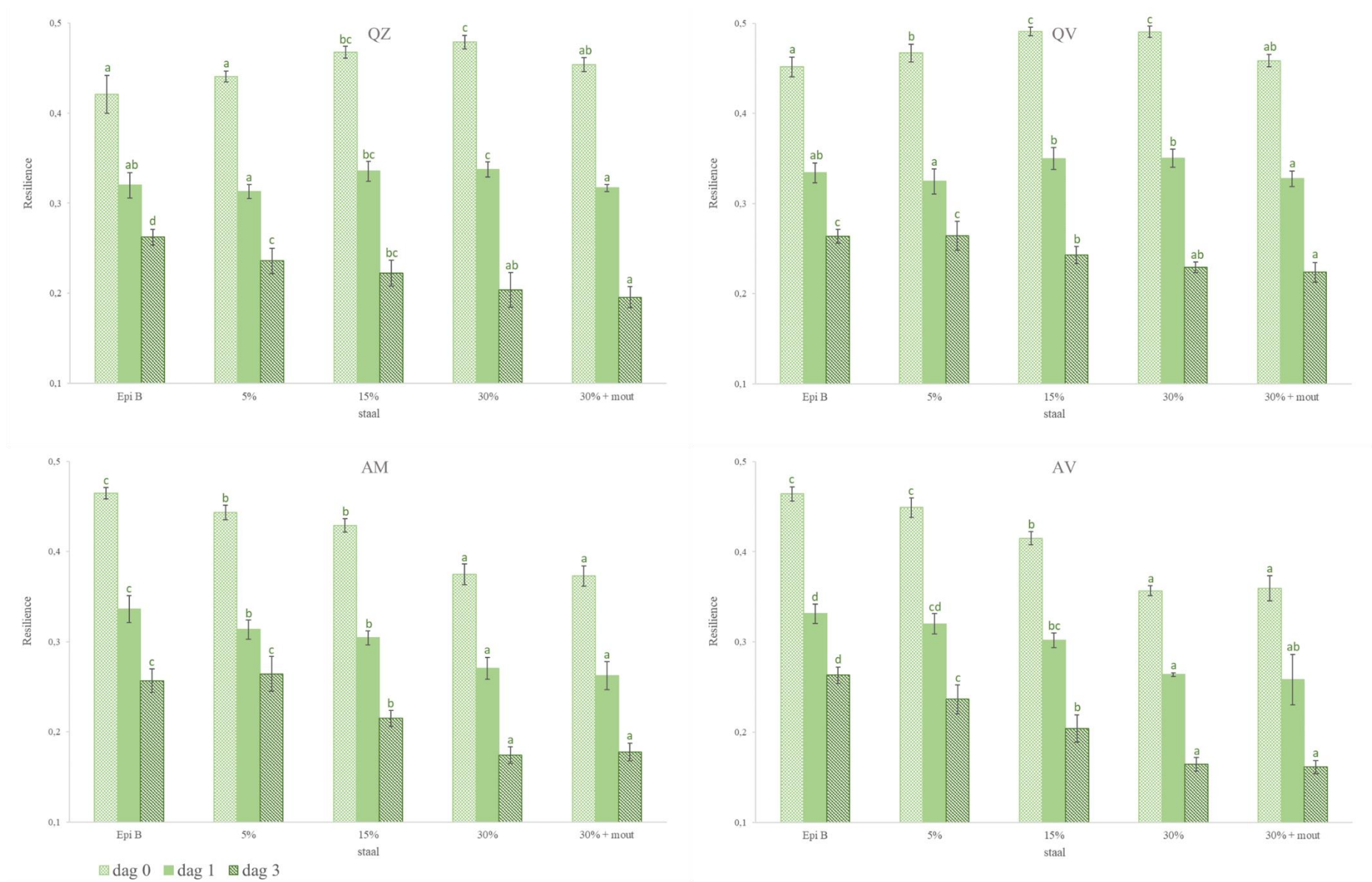
Figuur 37, Figuur 38 en Bijlage 26 geven een overzicht van het effect van de inmengingen en moutadditie op de *resilience*. Deze parameter geeft een maat van instantane elasticiteit, ofwel de veerkracht waarmee het kruim terugdrukt bij decompressie meteen na de eerste compressie. Bij de quinoastalen varieert de invloed op de *resilience* over de dagen heen. Een hogere inmenging van quinoa geeft een hogere *resilience* op dag 0, maar een lagere *resilience* op dag 3. Bij de amarantstalen neemt de *resilience* op alle dagen af naarmate een hoger percentage wordt ingemengd. De boekweitstalen ondervinden globaal gezien geen effect op dag 0. Op dag 1 en 3 neemt de *resilience* dan wel duidelijk af. Met ander woorden, hoe hoger de inmenging, hoe lager de instantaan-elastische respons.

De *resilience* neemt gedurende de bewaring af omwille van de *bread staling*. Bij de quinoastalen neemt de *resilience* toe op dag 0 naargelang een hogere inmenging. Het kruim vertoont dus een beter instantaan elastisch respons. Op dag 1 is er slechts een beperkt verhogend effect op de *resilience* door inmenging. De *resilience* neemt op dag 3 echter af bij een stijgend inmengpercentage aan quinoameel. Met andere woorden, de dalende invloed op de *resilience* door de *bread staling* neemt toe tijdens de bewaring naargelang een hoger inmengpercentage. In het onderzoek van Xu e.a. (2019) verlaagde de *resilience* echter wel bij vers brood indien quinoameel ingemengd werd.

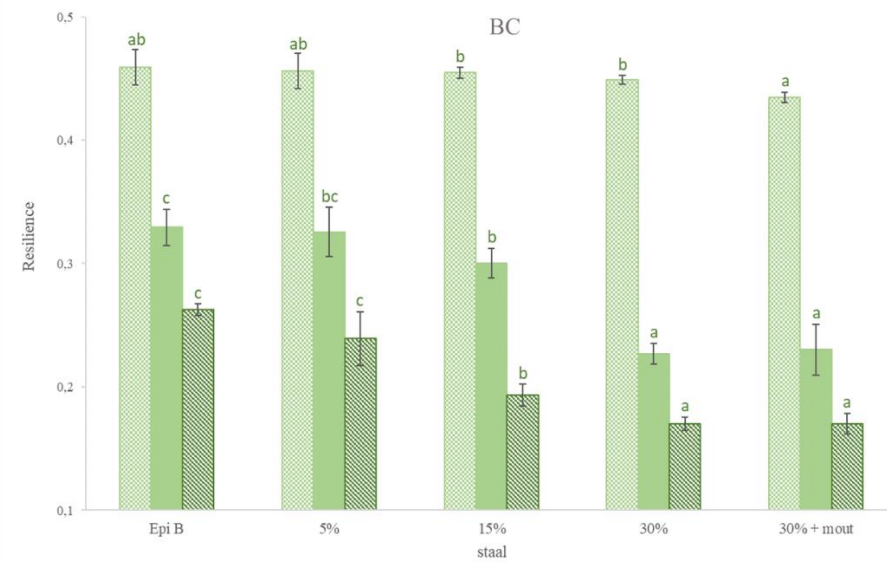
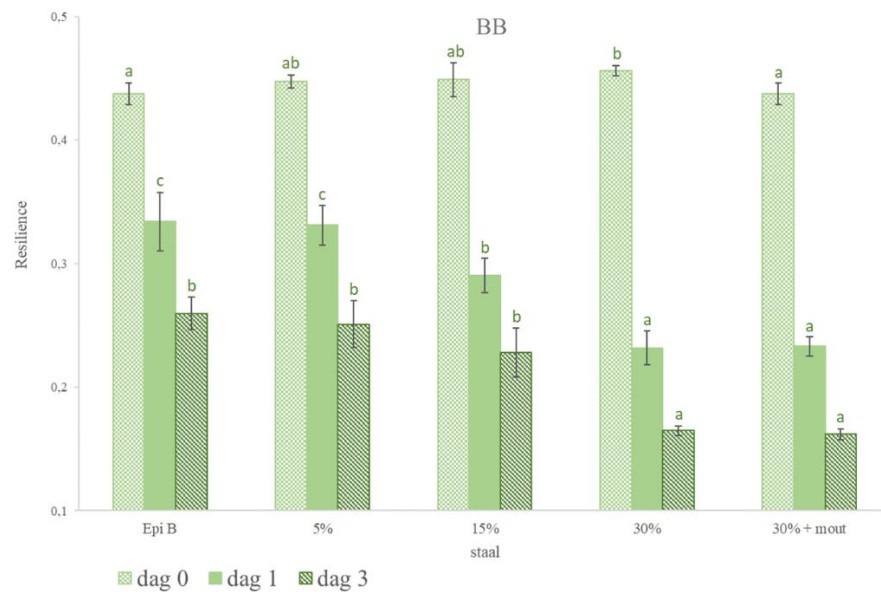
Bij de amarantstalen neemt de *resilience* op alle dagen af naarmate een hoger percentage wordt ingemengd. De boekweitstalen hebben globaal gezien geen effect op de *resilience* op dag 0. Uitgezonderd bij BB30 op dag 0 is er een hogere *resilience* ten opzichte van Epi B. Op dag 1 en 3 neemt de *resilience* dan wel duidelijk af.

Enkel bij de quinoa- en boekweitstalen was er een significant effect op de *resilience* bij **moutadditie**. Op dag 0 was de *resilience* lager bij de boekweitstalen. Bij de quinoastalen is de *resilience* naast dag 0 ook op dag 1 lager.





**Figuur 37:** De *resilience* (op dag 0, 1 en 3) van de quinoa- en amarantstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de innengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.



**Figuur 38:** De *resilience* (op dag 0, 1 en 3) van de boekweitstalen (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B. Significante verschillen tussen de inmengpercentages per dag worden aangeduid met een verschillende letter.

### 3.3.11 Tussentijds besluit

#### 3.3.11.1 Inmengingen

De resultaten tonen aan dat naargelang het inmengpercentage stijgt, de **ovenrijs** daalt. Dit staat in verband met de resultaten van de alveograaf-test (zie 3.2.1.2). De extensibiliteit daalt namelijk bij een hoger inmengpercentage. De degen kunnen dus minder uitrekken tijdens de volume-expansie in de oven. De degen hebben bijgevolg een lager gashoudend vermogen. De gascellen in het deeg zullen sneller barsten en er kan bijgevolg meer gas ontsnappen. Bij bepaalde stalen is er bij 30 % inmenging zelfs een negatieve ovenrijs. Dit wijst op inzakking van het deeg in de oven. De extensibiliteit van de 30 % inmengingen is immers onvoldoende, waardoor de gascelwanden zelfs scheuren tijdens de volume-expansie in de oven. Het deeg zakt in wanneer het veel gas verliest langs de scheuren in de wand van de gascellen.

Er is een stijgende trend in het **gewicht** en een dalende trend in het **specifiek volume** naargelang een hoger inmengpercentage. De stijgende trend in het gewicht hangt nauw samen met de dalende trend van de **bake loss**. Deze zijn beide het gevolg van de dalende trend in de ovenrijs. Er kan immers minder vocht uit het deeg verdampen als er een groter oppervlak van het deeg beschermd blijft in het bakblik. De daling van het specifiek volume is voornamelijk te wijten aan het lager gashoudend vermogen van de degen. Het glutennetwerk kan moeilijker het gas vasthouden en de gascellen expanderen moeilijker. De degen kunnen bijgevolg minder in volume stijgen tijdens het rijs- en bakproces. Er is een positieve correlatie tussen het volume en de L-waarde van de alveograaf-test ( $R^2 = 0,938$ ;  $p = 0,000$ ).

Bij bepaalde stalen is er een stijgende trend in de **surface browning** naargelang er meer ingemengd wordt. Voor de **korstkleur** is er in het algemeen een dalende trend in  $L^*$ ,  $a^*$  en  $b^*$ . Voor de **kruimkleur** is er een dalende trend in  $L^*$  en een stijgende trend in  $a^*$  en  $b^*$ . Dit duidt het verdonkeren van de korst- en kruimkleur aan naargelang er meer pseudograanmeel ingemengd wordt. Het meel is donkerder dan de tarwebloem door de integrale vermaling van de korrels. Verschillen tussen de types pseudogranen zijn toe te schrijven aan de verschillen in pigmentgehalte. Het verdonkeren van de korst bij het innemen van de melen kan verklaard worden door het meer optreden van Maillard- en karamellisatiereacties.

De resultaten van de **gasceldistributie** tonen een beperkt aantal significante effecten op de parameters. Globaal gezien is bij de parameters echter wel een tendens te zien. Zo is het tot #GC lager en de gem GCopp en REL [ $> 100$ ] hoger in geval van inmenging van de pseudogranen. Deze verminderde kwaliteit van de kruimstructuur is hoofdzakelijk te wijten aan het zwakker tot zelfs beschadigd glutennetwerk bij inmenging van pseudogranen. De voorwaarde voor een goede kruimstructuur is echter een continue glutennetwerk zodoende dat het deeg in voldoende mate visco-elastisch is om het gas vast te houden en de gascellen te kunnen laten expanderen (Guardianelli e.a., 2019; Xu e.a., 2019). Over alle stalen heen lopen de resultaten van de REL GCopp uiteen. Bij de quinoastalen is de REL GCopp lager, maar bij

de boekweitstalen is deze hoger. Bij innenging van de amarantstalen was er geen significant effect op de REL GCopp. Er zal verder onderzoek moeten verricht worden om deze verschillende resultaten van de REL GCopp te verklaren.

Het **vochtgehalte en vochtverlies** van het kruim zijn belangrijke parameters in verband met de fysicochemische houdbaarheid van het brood. Bij de quinoa- en amarantstalen is er een stijgende trend in het kruimvochtgehalte naargelang het innengpercentage. Bij de boekweitstalen is er geen algemene tendens in het kruimvochtgehalte. Het kruimvochtgehalte is voornamelijk afhankelijk van de hoeveelheid water die gebruikt werd bij de broodbereiding. Het kruimvochtgehalte van alle stalen is positief gecorreleerd met het water in de receptuur ( $R^2 = 0,887$ ;  $p = 0,000$ ). Daarnaast kan het hoger kruimvochtgehalte ook gedeeltelijk toegeschreven worden aan de lagere *bake loss*. Wat betreft het vochtverlies over drie dagen valt voornamelijk bij de 30 % innengingen een lager vochtverlies op. Een lager vochtverlies is positief voor de houdbaarheid van het brood. Door het minder snel uitdrogen van het kruim, blijft het vers en zacht mondgevoel langer behouden. De hoge capaciteit van de vezels en eiwitten om water in het kruim vast te houden, bieden hiervoor een verklaring. Hierdoor wordt mogelijks de vocht migratie van kruim naar korst tijdens de bewaring vertraagd. Bij de 5 % en 15 % innengingen van de amarant- en boekweitstalen was het vochtverlies echter hoger tegenover Epi B. Mogelijks zijn er nog andere factoren die een invloed op het vochtverlies hebben. Deze zullen in toekomstig onderzoek verder bestudeerd moeten worden.

De **kruimhardheid** en de *staling index* zijn eveneens belangrijke parameters met betrekking tot de fysicochemische houdbaarheid aangezien ze sterk gecorreleerd zijn met de perceptie van versheid van brood. In het algemeen stijgt de kruimhardheid over alle dagen naargelang een hoger innengpercentage. Globaal gezien valt een lagere *staling index D3* op bij de 30 % innengingen en bij bepaalde stalen ook bij de 15 % innengingen. De verlaagde *staling index* is interessant, maar door de hoge beginhardheid blijft de hardheid bij de 15 % en 30 % innengingen hoger in vergelijking met Epi B. De daling in specifiek volume kan deze stijging in hardheid veroorzaken. De kruimhardheid op dag 0 is negatief gecorreleerd met het specifiek volume ( $R^2 = 0,870$ ;  $p = 0,000$ ).

De **wateractiviteit** ( $a_w$ ) van het kruim daalt beperkt bij QZ, QV en BC. Bij de andere pseudogranen is er geen effect op de  $a_w$ . De  $a_w$  blijft in alle gevallen hoog, waardoor de verlaagde  $a_w$  geen voordelen naar microbiologische houdbaarheid zal verschaffen. Daarnaast zijn er echter nog veel andere factoren die een invloed hebben op de gevoeligheid voor microbiel bederf zoals de zuurtegraad. Andere factoren met betrekking tot de microbiologische houdbaarheid kunnen in toekomstig onderzoek verder onderzocht worden

De inmenging van de pseudograanmelen heeft een effect op enkele **textuurparameters** van het broodkruim. Over het algemeen zorgt inmenging van 30 % pseudograanmeel voor een hogere *adhesiveness*. Hierbij vertoont het kruim dus een hogere plakkerigheid. Wat betreft *springiness* is er globaal gezien geen effect waarneembaar bij inmenging. Verder is er een dalende trend van de *cohesiveness* naarmate een hoger inmengpercentage van de stalen. Het effect op de *resilience* is afhankelijk van het type pseudograan, maar het effect varieert eveneens over de dagen heen. Een hogere inmenging van quinoa geeft een hogere *resilience* op dag 0, maar een lagere *resilience* op dag 3. Bij de amarantstalen neemt de *resilience* op alle dagen af naarmate een hoger percentage wordt ingemengd. De boekweitstalen ondervinden globaal gezien geen effect op dag 0. Op dag 1 en 3 neemt de *resilience* dan wel duidelijk af. Het inmengen van pseudograanmeel kan bijgevolg de acceptatie van de consument negatief beïnvloeden.

### 3.3.11.2 Moutadditie

Moutadditie heeft in het algemeen geen significant effect op de ovenrijs, het gewicht, het specifiek volume en de *bake loss*. Ook was er geen significant effect op de *surface browning*. Enkel bij AM is de *surface browning* bij moutadditie significant hoger. De resultaten van de gasceldistributie tonen ook in het algemeen aan dat moutadditie geen significant effect heeft op de parameters.

De bevindingen van het kruimvochtgehalte lopen over alle stalen uiteen. Bij AV, BB en BC verhoogt het kruimvochtgehalte, terwijl bij QZ, QV en AM het kruimvochtgehalte verlaagt. Het vochtverlies over drie dagen is in het algemeen verhoogd. Uitgezonderd bij QV en AM was er geen significant effect op het vochtverlies over drie dagen.

De effecten van moutadditie op de textuurparameters is over alle stalen heen beperkt. Met betrekking tot de kruimhardheid en *staling index* is er globaal gezien geen significant effect. Bij enkele stalen verhoogde de *adhesiveness* in geval van moutadditie. Wat betreft *springiness* is er in het algemeen geen effect waarneembaar. Verder heeft moutadditie louter op dag 0 een invloed op *cohesiveness*. De *cohesiveness* is lager bij QZ, QV en BC, maar is hoger bij AV. Ten slotte was er een verlagend effect op de *resilience* bij de quinoa- en boekweitstalen.

## 4 Algemene discussie

### 4.1 Inmengingen

Het eerste deel van dit onderzoek focust zich op de **meelkarakteristieken** van de pseudogranen. De chemische samenstelling varieert zowel tussen het type pseudograan als tussen de stalen. De pseudograanmelen hebben een hoger eiwit-, vet- en asgehalte in vergelijking met tarwebloem (Epi B). Naast de chemische samenstelling, zijn eveneens de functionele eigenschappen van het zetmeel van groot belang omdat ze een invloed hebben op de bakkwaliteit van het meel, en dus ook op het finale eindproduct. Het zwelvermogen, het waterabsorberend vermogen en de verstijfselings- en retrogradatie-eigenschappen zijn sterk afhankelijk van het type pseudograan. Volgens de literatuur zijn de verschillen in de functionele eigenschappen te verklaren door het verschil in chemische samenstelling. Naast de chemische samenstelling zijn er nog verschillende andere factoren die de functionele eigenschappen beïnvloeden zoals de partikelgroottedistributie van het meel, de morfologie, kristalliniteit en samenstelling van de zetmeelgranules. Deze parameters werden in dit onderzoek niet bepaald.

De resultaten tonen aan dat inmenging van pseudograanmelen een negatieve invloed heeft op de reologische eigenschappen. Dit zorgt voor een achteruitgang van de **deegkwaliteit**. De grootste beperking van pseudogranen is het ontbreken van gluten. Bovendien treden de vezels in competitie met gluten voor water. Door een onvolledige hydratatie wordt de vorming van het glutennetwerk beperkt. Afhankelijk van het inmengpercentage, kan pseudograanmeel leiden tot een zwakker of zelfs verstoord visco-elastisch glutennetwerk. Hierdoor is het moeilijk om een goede deegreologie te verkrijgen (Xu e.a., 2019; Zanoletti e.a., 2017). Zo werd de deegstabiliteit zwakker bij inmenging van de pseudogranen. Een lagere stabiliteit betekent praktisch dat de optimale deegconsistentie sneller verloren gaat indien pseudograanmeel ingemengd wordt (Bojňanská & Šmítalová, 2014). De stijgende waarden van AF10 (afzwakking 10 min na start) en AF12 (afzwakking 12 min na maximum) tonen aan dat de deegconsistentie bij het overknedden in een steeds grotere mate verzwakt naargelang een hoger inmengpercentage. De lagere deegstabiliteit en de grotere afzwakking van de deegconsistentie bemoeilijken de verwerkbaarheid van de degen bij de broodbereiding. De gemengde degen vereisen daarom mogelijks een aangepaste bereidingswijze. Toekomstig onderzoek kan nagaan of een minder intensief kneedproces en/of een kortere kneedtijd de broodbereiding bevordert bij het inmengen van pseudogranen.

Verder was er een dalende trend van de extensibiliteit (L-waarde) en de baksterkte (W-waarde) van het deeg naargelang een hoger inmengpercentage. Volgens de literatuur hebben veranderingen in de deegreologie een effect op de **broodkwaliteit**. Het gevormde glutennetwerk bepaalt de gasretentie van het deeg en de stabiliteit van de gascellen tijdens de gascelexpansie. Het glutennetwerk draagt zo bij aan een zachte (sponsachtige) en flexibele (elastische) kruim (Sluková e.a., 2017). Een verlaging van de extensibiliteit betekent dat de

degen minder kunnen uitrekken tijdens de volume-expansie in de oven. De degen hebben bijgevolg een lager gashoudend vermogen. De gascelwanden in het deeg zullen sneller barsten. Zo kan er meer gas ontsnappen, waardoor de ovenrijs vermindert. Bij bepaalde stalen is er bij 30 % inmenging een negatieve ovenrijs. Dit wijst op inzakking van het deeg in de oven. De extensibiliteit van de 30 % mengdegen is immers onvoldoende, waardoor de gascelwanden zelfs scheuren tijdens de volume-expansie in de oven. Het deeg zakt in wanneer het veel gas verliest langs de scheuren in de gascelwanden. De dalende trend van de *bake loss* en stijgende trend in het gewicht zijn beide het gevolg van de dalende trend in de ovenrijs. Er kan immers minder vocht uit het deeg verdampen als er een groter oppervlak van het deeg beschermd blijft in het bakblik. De daling van het specifiek volume is voornamelijk te wijten aan het lager gashoudend vermogen van de degen (L-waarde). Het deeg kan moeilijker het gas vasthouden en de gascellen expanderen moeilijker. De degen kunnen bijgevolg minder in volume stijgen tijdens het rijs- en bakproces. Er is een positieve correlatie tussen het volume en de L-waarde van de alveograaf ( $R^2 = 0,938$ ;  $p = 0,000$ ).

Ook de verminderde kwaliteit van de kruimstructuur staat in relatie met de reologische deegeigenschappen. De voorwaarde voor een goede kruimstructuur is opnieuw een continu glutennetwerk, zodoende dat het deeg in voldoende mate visco-elastisch is om het gas vast te houden en de gascellen te laten expanderen (Guardianelli e.a., 2019; Xu e.a., 2019). Zo zijn het tot #GC lager (totale aantal gascellen), de gem GCopp (gemiddelde gasceloppervlakte) en de REL [ $> 100$ ] hoger (relatief aantal gascellen groter dan 100 pixels<sup>2</sup>) in geval van inmenging. De vorming van het glutennetwerk wordt verstoord, maar daarnaast kunnen vezels de zetmeel-glutenmatrix in de gascelwanden doorbreken. Dit veroorzaakt lekken in de gascelwanden (Gostin, 2019; Hager e.a., 2012). De verminderde deegextensibiliteit en de lekken in de gascelwanden kunnen resulteren in het coalesceren van de gascellen waardoor de diameter van de gascellen vergroot. Dit kan soms zelfs leiden tot het vormen van gaten (Guardianelli e.a., 2019; Xu e.a., 2019). Over alle stalen heen lopen de resultaten van de relatieve gasceloppervlakte (REL GCopp) uiteen. Bij de quinoastalen is de REL GCopp lager, maar bij de boekweitstalen is deze hoger. Bij inmenging van de amarantstalen was er geen significant effect op de REL GCopp. De lagere REL GCopp bij de quinoastalen kan erop wijzen dat het deeg de ingeslagen en geproduceerde gasmoleculen niet kan vasthouden. Naast de verminderde gasretentie, is er door het zwakker glutennetwerk ook een beperktere expansie mogelijk van de gascellen. Hierdoor barsten de gascelwanden makkelijker waardoor meer gas verloren gaat. Een andere mogelijke verklaring voor de lagere REL GCopp is een beperkte expansie van de gascellen. Dit kan het geval zijn indien het deeg over een grotere tenaciteit (P-waarde) beschikt, waardoor het deeg een grotere weerstand biedt tegen het rijzen. Er zou in dat geval een grotere gasdruk in de gascellen nodig zijn om het deeg te kunnen vervormen. Om te onderzoeken of de tenaciteit van de quinoastalen inderdaad groter is, zou het interessant geweest zijn om de waterabsorpties bij de alveograaftest aan te passen aan deze van de baktesten. De P-waarden

zouden dan representatiever zijn voor de degen van de baktesten. Mogelijks zou dit ook de hogere REL GCopp bij de boekweitstalen verder kunnen onderzoeken. Op dit moment is het onduidelijk waarom inmenging van boekweitmeel tot een hoger REL GCopp leidt. Mogelijks kunnen de gascellen makkelijker expanderen in het geval dat het deeg lagere P-waarden zou vertonen. Verder onderzoek is aangewezen om deze verschillende resultaten van de REL GCopp te verklaren.

De resultaten tonen verder een stijgende trend in de *surface browning* naargelang een hoger inmengpercentage aan bepaalde pseudogranen. Ook verdonkeren in het algemeen de korst- en kruimkleur. Wat betreft de fysicochemische houdbaarheid van het brood kwamen ook interessante resultaten naar voor. Zo steeg het kruimvochtgehalte bij de quinoa- en amarantstalen naargelang het inmengpercentage. Dit wordt hoofdzakelijk toegeschreven aan de grotere hoeveelheid toegevoegd water in de receptuur omwille van de verhoogde waterabsorptie bij inmenging. Wat betreft het vochtverlies over drie dagen valt voornamelijk bij de 30 % inmengingen een lager vochtverlies op. Daarentegen ondervonden de broden met 5 % en 15 % inmengingen van de amarant- en boekweitstalen een hoger vochtverlies in vergelijking met het tarwebrood. Toekomstig onderzoek is nodig om tot een verklaring hiervoor te komen. Eveneens zorgt een hoger inmengpercentage voor een stijging in de kruimhardheid. Hiervoor kan de daling in specifiek volume een oorzaak zijn. De kruimhardheid op dag 0 is immers negatief gecorreleerd met het specifiek volume ( $R^2 = 0,870$ ;  $p = 0,000$ ). Verder valt een lagere *staling index D3* (over drie dagen) op bij de 30 % inmengingen. De verlaagde *staling index D3* en het vochtverlies over drie dagen duiden op het minder snel hard en droog worden van het kruim. De vraag is of dit opweegt tegen de hogere beginhardheid en de achteruitgang van de andere textuureigenschappen. Zo resulteerde 30 % inmenging van de meeste stalen immers in een hogere *adhesiveness* en een lagere *cohesiveness* en *resilience*. Het inmengen van pseudograanmeel kan bijgevolg de acceptatie van de consument negatief beïnvloeden.

Inmenging van pseudograanmelen veroorzaakt dus een aantal negatieve effecten op de broodkwaliteit. **Toekomstig onderzoek** zal moeten uitmaken of het doel, namelijk de positieve nutritionele eigenschappen van pseudogranen, opweegt tegen deze negatieve effecten. Aanbevelingen naar inmengpercentages zullen afhangen van de mate waarin de consument die verminderde broodkwaliteit accepteert. Dit onderzoek heeft echter geen smaaktest uitgevoerd. Een smaaktest kan nagaan of een bepaald inmengpercentage nadeliger scoort bij de consument. Daarnaast is het belangrijk om te onderzoeken welke eigenschappen minder geaccepteerd worden. Sommige consumenten zullen immers bepaalde wijzigingen van de broodeigenschappen niet als onwenselijk beschouwen. Bij inmenging van pseudogranen gaat het om de acceptatie van densere en minder volumineuze broden. Een smaaktest kan eveneens de benadeling van de perceptie van versheid door de hogere kruimhardheid onderzoeken. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat de consumenten een te donkere korst minder accepteren.



Verder is niet enkel de acceptatie van de consument belangrijk, maar ook de wensen en eisen van de bakkerijsector. Het lager specifiek volume kan dan wel geaccepteerd worden door de consument, maar dit kan ten nadele zijn van de kostprijs. Om eenzelfde broodvolume als het tarwebrood te bekomen zullen meer grondstoffen nodig zijn. Ook al is het brood misschien zwaarder, het kleiner volume kan de keuze van de consument beïnvloeden. Anderzijds wordt de hogere kostprijs van de melen gedeeltelijk gecompenseerd door de lagere *bake loss* en bij quinoa en amarant ook door de hogere waterabsorptie. Maar dit is opnieuw ten voordele van het broodgewicht, terwijl het volume compact blijft. Een marktonderzoek kan uitmaken of de hogere kostprijs opweegt tegen onder andere de nutritionele voordelen.

Het technologische potentieel van de pseudogranen werd in dit onderzoek bestudeerd in mengsels met **tarwebloem**. Alle effecten van het inmengen werden hierbij bestudeerd ten opzichte van de Epi B. Ook de kwaliteit van de tarwebloem in de mengsels draagt bij tot de eindkwaliteit van het brood. Tamba-Berehoiu e.a. (2019) concludeerde dat de waarde van de natte gluten best zo hoog mogelijk is om een betere kwaliteit van een gemengd brood te bekomen. Toekomstig onderzoek kan nagaan in welke mate het gebruik van een tarwebloem met een hoge kwaliteit de nadelige effecten van de pseudogranen kan beperken.

In dit onderzoek zijn deegextensibiliteit en broodvolume positief gecorreleerd ( $R^2 = 0,938$ ;  $p = 0,000$ ). Daarnaast zou het interessant geweest zijn om bepaalde deeg- of broodparameters in relatie te brengen met de chemische samenstelling. Het ontbrak dit onderzoek echter aan data over de chemische samenstelling. De effecten van inmenging op de **drie niveaus** (meel, deeg en brood) staan onderling met elkaar in verband. Verschillen in de functionele eigenschappen van de meelmengsels resulteren in verschillen in de reologische eigenschappen van de degen. Hierdoor gedraagt het deeg zich verschillend tijdens de broodbereiding. Bijgevolg zal dit resulteren in verschillende kwaliteitseigenschappen van de broden. Toch is het moeilijk om de resultaten van de drie niveaus onderling met elkaar eenduidig te vergelijken omdat de testcondities steeds verschillen. Zo worden de meelkarakteristieken onderzocht bij een overmaat van water, terwijl dit in het deeg- en broodstelsel niet bereikt wordt. De hoeveelheid water die de zetmeelgranules omgeven bepaalt de mate van zetmeelzwellen en -verstijfseling. Bijgevolg is het zetmeel in het kruim slechts gedeeltelijk verstijfseld. Daarnaast wordt er bij de broodbereiding ook vitamine C, zout en mout toegevoegd, in tegenstelling tot de deegexperimenten waarbij enkel water bij het meel toegevoegd wordt. Verder verschilt het temperatuursverloop in het deeg in de oven tegenover deze met het gecontroleerd temperatuursprofiel bij de reometer. Door deze verschillende condities moet het vergelijken van de resultaten tussen de drie niveaus kritisch gebeuren. Zo hangt bijvoorbeeld de ovenrijs af van de zetmeelverstijfselingseigenschappen. De start van de zetmeelverstijfseling in de oven vindt plaats bij een bepaalde temperatuur. Die  $T_G$  zal variëren naargelang het staal. De resultaten duiden aan dat bepaalde inmengingen de  $T_G$  verhogen t.o.v. Epi B. De hogere  $T_G$

kunnen een indicatie geven dat het vastleggen van de kruimstructuur in de oven wordt uitgesteld. Het deeg zou bijgevolg langer kunnen rijzen, wat leidt tot een hogere ovenrijs.

Er vindt een glutenverdunding plaats bij inmenging van pseudograanmeel. Dit leidt tot de verwachting dat naast de viskeuze eigenschappen, ook de elastische eigenschappen van het deeg verminderen. Er kon echter moeilijk nagegaan worden of de elasticiteit van de degen reduceert bij inmenging. De **alveograaf** evalueert de visco-elastische eigenschappen bij 50 % waterabsorptie, terwijl de mengsels onderling variaties in waterabsorptie hebben. Dit kan immers een invloed hebben op de deegconsistentie die op zijn beurt ook de tenaciteit van het deeg beïnvloedt. Een te lage watertoediening kan bijvoorbeeld leiden tot een hogere deegconsistentie. Hierdoor verhoogt de tenaciteit en de *configuration ratio* (P/L) bij inmenging van de quinoa- en amarantstalen. Anderzijds daalt de tenaciteit en de P/L bij inmenging van de boekweitstalen, aangezien de boekweitstalen een lagere waterabsorptie hebben dan Epi B. De tenaciteit en de P/L-waarde van de degen kan met andere woorden moeilijk onderling vergeleken worden om een uitspraak te maken over het effect op de elasticiteit van het deeg bij inmenging. Bij de broodbereiding worden immers de waterabsorpties van de farinograaf toegepast. Daarom zou het interessant geweest zijn om de alveograaftest nog eens uit te voeren bij deze waterabsorpties. De P-waarden zou dan representatiever zijn voor de degen van de baktesten. Deze representatieve tenaciteit kan een indicatie geven voor de maximale weerstand die het deeg kan bieden tegen vervorming. De P-waarden kunnen daarnaast de expansie van de gascellen in het deeg beïnvloeden. Een grote weerstand van het deeg tegen rijzen kan de gascelexpansie beperken. Dit kan bijgevolg leiden tot een lagere ovenrijs en een lager broodvolume. Om dit te onderzoeken is het aanpassen van de waterabsorpties bij de alveograaftest aan deze van de baktesten nodig.

Bij de baktesten werd de deegconsistentie **gestandaardiseerd** met behulp van de waterabsorpties van de farinograaf. De waterabsorpties werden aangepast tot een deegconsistentie rond de 500 BE. Een constante watertoediening in de receptuur kan eveneens interessant zijn in plaats van werken met een constante deegconsistentie. In de literatuur wordt met beide methoden gewerkt. Het onderzoek van Alvarez-Jubete e.a. (2010) is een voorbeeld waarbij de hoeveelheid water hetzelfde blijft. Bij beide methoden zijn er verschillende factoren die het effect van de inmenging beïnvloeden. Zo heeft mogelijks variatie in het vochtgehalte van de degen een invloed op het effect op de *bake loss*. Hoe groter het vochtgehalte van het deeg, hoe meer water in principe kan verdampen en dus hoe groter de *bake loss*. Verder werd in dit onderzoek vertrokken vanuit een standaardreceptuur waarbij alle stalen eenzelfde kneedproces ondergingen. De deegstabiliteit verlaagt echter bij inmenging. De degen kunnen dus hun optimale deegconsistentie verliezen bij het te snel of te lang kneden. Bij het overkneden van het deeg breekt het glutennetwerk terug af. Hierdoor kan het interessant zijn om te werken met een geoptimaliseerd proces met een aangepaste kneedsnelheid en -intensiteit. Arp e.a.

(2020) en Guardianelli e.a. (2019) pasten de kneedtijd aan aan de deegontwikkelingstijd volgens de farinograaf. Dit onderzoek gebruikte echter een standaardreceptuur waarbij enkel de inmengpercentages wijzigen. Zo is het mogelijk om de verschillen in de resultaten eenduidiger toe te schrijven aan de inmenging. Het inmengen van pseudogranen is reeds een variabele op zich. Alles wat bijkomstig gewijzigd wordt, kan een effect hebben op de resultaten. Zo is het tevens van belang om te standaardiseren naar gelijke mate van  $\alpha$ -amylaseactiviteit. De standaardbakproef met tarwebloem wordt gestandaardiseerd via moutadditie volgens het valgetal. Zo wordt getracht om de mogelijke effecten van een ongelijke mate van  $\alpha$ -amylaseactiviteit uit te sluiten. Aangezien pseudogranen andere eigenschappen hebben dan tarwebloem, leidde dit tot een tweede onderzoeksvraag.

## 4.2 Moutadditie

Het tweede luik van dit onderzoek was het nagaan of de hoeveelheid moutadditie bij pseudograanmeelmengsels bepaald kan worden via het valgetal. Daarnaast werd het effect van de moutadditie in de broden bestudeerd.

Bij de amarantmengsels gaf de aanbevolen moutadditie te hoge **valgetallen**. Dit wijst erop dat de hoeveelheid moutadditie bij amarantmengsels niet gestandaardiseerd kan worden via de gebruikelijke formule van het valgetal. De valgetallen zijn hoogstwaarschijnlijk niet 100 % representatief voor de mate van de  $\alpha$ -amylaseactiviteit in de mengsels met amarantmeel. Er zijn mogelijks andere factoren die een invloed hebben op de valgetallen, zoals de reologische eigenschappen van de slurries. Hier is echter geen wetenschappelijk bewijs voor. Bij de mengsels met boekweit- en quinoameel resulteerde de aanbevolen moutadditie wel in valgetallen tussen 200 en 250 s. Dit onderzoek werkt echter met een beperkt aantal stalen. Volgens de literatuur kan het effect van inmenging op de valgetallen variëren afhankelijk van het type pseudograan en tarwebloem (Tamba-Berehoiu e.a., 2019). Er is daarom meer onderzoek, dus met meer stalen, nodig om conclusies te kunnen trekken over de toepasbaarheid van de gebruikelijke formule van het valgetal voor standaardisatie van de moutadditie voor baktesten met pseudogranen. Het bepalen van de  $\alpha$ -amylaseactiviteit van de stalen via een enzymatische kit zou zinvolle informatie opleveren. Dit experiment kan nagaan of het valgetal een maat geeft voor de  $\alpha$ -amylaseactiviteit van mengsels met pseudograanmelen.

Verder had moutadditie slechts op bepaalde **broodkarakteristieken** een invloed. Zo was er bij bepaalde stalen een effect op de *surface browning*, het kruimvochtgehalte, het vochtverlies en bepaalde textuurparameters zoals de *adhesiveness*, *cohesiveness* en *resilience*. Doordat moutadditie op bepaalde parameters een effect had, toont dit het belang aan van standaardisatie naar de hoeveelheid moutadditie bij mengsels met pseudogranen.

Bij de andere parameters bleef het effect van moutadditie weg. Zo was er bij geen enkel staal een significant effect op de ovenrijs en specifiek volume. Extra moutadditie kan echter tot een hogere ovenrijs en volume leiden. De  $\alpha$ -amylasen in mout werken optimaal op verstijfseld zetmeel (60-65 °C) waardoor ze de deegviscositeit in de oven verlagen. Dit kan resulteren in een verlengde ovenrijs en een verhoogd broodvolume (Goesaert e.a., 2005). Daarnaast kunnen de  $\alpha$ -amylasen ook tijdens het rijproces (30 °C) het beschadigd zetmeel hydrolyseren. Dit kan leiden tot een hogere gasproductie van de gist, wat ook het broodvolume kan verhogen (Codina e.a., 2016; Kurek & Sokolova, 2019; Xu e.a., 2018). Doordat moutadditie deze effecten kan teweegbrengen, kunnen er enkele bedenkingen gemaakt worden bij huidig onderzoek. Het effect van de moutadditie kan mogelijks beïnvloed worden door het inmengpercentage van het pseudograanmeel. De moutadditie werd immers uitsluitend bij de 30 % inmengingen aangepast. Die extra hoeveelheid mout resulteerde eveneens in een negatieve ovenrijs. Het toevoegen van mout gaat dus niet de inzakking van het deeg in de oven tegen. Desondanks zou de extra moutadditie tot een lagere deegviscositeit kunnen leiden. Indien dit inderdaad het geval is, zal het deeg minder weerstand bieden tijdens de volume-expansie. Dit maakt een verlengde ovenrijs mogelijk. Deze verlengde ovenrijs kan anderzijds niet optreden doordat de degen met 30 % inmenging onvoldoende extensibiliteit of gasretentie beschikken. Moutadditie zal het scheuren van de gascelwanden en het inzakken van de degen niet voorkomen. Daarom is het interessant om het effect van de moutadditie ook bij de lagere inmengpercentages te onderzoeken. Deze degen hebben een hogere maximale uitrekbaarheid (zie 3.2.1.2) waardoor het glutennetwerk eventueel wel een hogere ovenrijs en volume kan realiseren.

Moutadditie had eveneens geen significant effect op de *surface browning*. Desondanks kan moutadditie volgens de literatuur leiden tot een hogere proteolytische en amylolytische activiteit. Bijgevolg zijn er meer aminozuren met een vrije aminogroep en meer reducerende suikers die met elkaar kunnen reageren, met als gevolg een meer uitgesproken Maillardreactie (Föste e.a., 2014). Een bepaling van de  $\alpha$ -amylaseactiviteit en het gehalte aan beschadigd zetmeel kan onderzoeken in welke mate deze de bruinkleuring van de korst beïnvloeden.

Moutadditie had in het algemeen geen significant effect op de kruimhardheid en *staling index*. Nochtans kunnen deze parameters wel beïnvloed worden door moutadditie. Een verhoogde  $\alpha$ -amylaseactiviteit zou kunnen leiden tot een verhoogde gasproductie van de gist en een verlaagde viscositeit van het deeg in de oven. Dit kan op zijn beurt resulteren in een hoger volume en dus een zachtere kruimtextuur (Fadda, Sanguinetti, Del Caro, Collar, & Piga, 2014). Daarnaast kan mout een *anti-staling* effect teweegbrengen in brood (Goesaert e.a., 2005). Additie van  $\alpha$ -amylase in brood resulteerde in het onderzoek van Giannone e.a. (2016) in een vertraagd vochtverlies en verlaagde *staling index* gedurende de bewaring. Daarnaast kan  $\alpha$ -amylase in de broodbereiding het moleculair gewicht van amylose en amylopectine reduceren. Het verkort de ketenlengte van de zetmeelpolymeren wat de mate van rekristallisatie van

amylopectine tijdens de bewaring van brood reduceert. De vertakkingen van amylopectine hebben immers een te korte keten om te kristalliseren (Fadda e.a., 2014; Nivelles e.a., 2019). Het mechanisme van het *anti-staling* effect van  $\alpha$ -amylasen is echter nog niet volledig begrepen en weinig bestudeerd in onderzoek rond pseudogranen.

Toch hoort er een kanttekening gemaakt te worden bij het mogelijks effect van de moutadditie. Het effect van de moutadditie zal enerzijds beperkt zijn doordat er slechts een beperkte hoeveelheid mout toegevoegd werd. Anderzijds is het mogelijk dat de hoeveelheid mout niet gepast is voor de pseudograanmengsels. Er is immers onvoldoende onderzocht of het valgetal ook bij pseudograanmengsels toegepast kan worden om de hoeveelheid mout te standaardiseren. Dit kan bijgevolg resulteren in een grote variatie in  $\alpha$ -amylaseactiviteit tussen Epi B en de mengsels.

Verder kan een te lage  $\alpha$ -amylaseactiviteit resulteren in een laag broodvolume. Het is dus belangrijk om de baktesten te standaardiseren naar gelijke deegconsistentie (Goesaert e.a., 2005). Dit duidt op het belang van standaardisatie van de hoeveelheid moutadditie bij inmenging van pseudogranen. Verder onderzoek is aangewezen om tot een gestandaardiseerde methode voor moutadditie bij pseudograanmengsels te komen. Doordat moutadditie in dit onderzoek op bepaalde parameters een effect had, toont dit ook het belang van die standaardisatie aan bij onderzoek naar het effect van de inmenging. Indien uitsluitend het innengpercentage van pseudograanmeel als factor gewijzigd wordt, kan het effect van de pseudogranen eenduidiger met elkaar vergeleken worden. Uitsluitend tarwebloem werd gestandaardiseerd naar de  $\alpha$ -amylaseactiviteit. Dus hoe meer pseudograanmeel ingemengd werd, hoe minder gestandaardiseerd tarwebloem en hoe meer ongestandaardiseerd pseudograanmeel werd toegevoegd. De  $\alpha$ -amylaseactiviteit was met andere woorden een extra factor die invloed kon hebben op de broodkarakteristieken.

## 5 Besluit

In het **eerste luik** focust dit onderzoek zich op het effect van de inmenging van pseudogranen in tarwedee en -brood. De proefopzet is opgebouwd uit **drie delen**, namelijk bloem-, deeg- en broodniveau. In het eerste deel worden de functionele eigenschappen van de pseudograanmelen bestudeerd. In het tweede deel wordt de invloed van inmenging op de deegreologie geanalyseerd en in het derde deel op de broodkarakteristieken. Een **tweede luik** van dit onderzoek is het nagaan of de hoeveelheid moutadditie bij pseudograanmengsels bepaald kan worden via het valgetal. Daarnaast wordt het effect van de moutadditie in de broden bestudeerd.

### 5.1 Voornaamste bevindingen

De resultaten in het **eerste deel** tonen aan dat de functionele eigenschappen sterk afhankelijk zijn van het type pseudograan. Volgens de bevindingen in de literatuur staan de verschillen in de functionele eigenschappen in relatie met de chemische samenstelling. Daarnaast hebben nog verschillende andere factoren een invloed hebben op de functionele eigenschappen zoals de partikelgroottedistributie van het meel, de morfologie, kristalliniteit en samenstelling van de zetmeelgranules.

Inmenging van pseudogranen heeft een negatieve invloed op de deegreologie (**deel twee**). Dit zorgt voor een achteruitgang van de deegkwaliteit. De literatuur schrijft dit voornamelijk toe aan het ontbreken van gluten en de aanwezigheid van een hoog vezelgehalte in het meel. Afhankelijk van het inmengpercentage, kan pseudograanmeel leiden tot een zwakker of zelfs verstoord visco-elastisch glutennetwerk. Zo verzwakt de stabiliteit en vergroot de afzwakking van de consistentie van het deeg bij een hoger inmengpercentage. Daarnaast is er een dalende trend van de extensibiliteit en de baksterkte. Inmenging heeft eveneens op andere reologische eigenschappen een invloed. Zo is er een stijgende trend van de waterabsorptie bij een hogere inmenging van quinoa- of amarantmeel. Bij de boekweitmelen is er een dalende trend van de waterabsorptie. Verder is er geen significant effect op de deegontwikkelingstijd door inmenging, uitgezonderd bij boekweitmeel. De literatuur is tot heden verdeeld over de impact op de deegontwikkelingstijd. Verder onderzoek is nodig om alle factoren die een invloed kunnen hebben beter in kaart te brengen.

Met betrekking tot **het derde deel**, namelijk de broodkarakteristieken, leidt inmenging van pseudogranen in het algemeen tot een lager kwaliteitsniveau. Ten eerste verlaagt de ovenrijs en bij bepaalde stalen is er bij 30 % inmenging zelfs een negatieve ovenrijs. Ten tweede is er een dalende trend in het specifiek volume naargelang een hoger inmengpercentage. De stijgende trend in het gewicht en de dalende trend van de *bake loss* zijn beide het gevolg van de dalende trend in de ovenrijs. De daling van het specifiek volume is voornamelijk te wijten aan het lager gashoudend vermogen (extensibiliteit) van de degen. Er is een positieve correlatie tussen het broodvolume en de deegextensibiliteit ( $R^2 = 0,938$ ;  $p = 0,000$ ). Ten derde tonen de resultaten

van de gascel distributie globaal gezien een verminderde kwaliteit van de kruimstructuur. Zo is het totale aantal gascellen lager en de gemiddelde gascel oppervlakte en het relatief aantal gascellen groter dan 100 pixels<sup>2</sup> hoger in geval van inmenging. Over alle stalen heen lopen de resultaten van de relatieve gascel oppervlakte uiteen. Verder onderzoek is nodig om dit te verklaren. Ten slotte is er bij bepaalde stalen een stijgende trend in de *surface browning* naargelang een hoger inmengpercentage. Ook verdonkeren de korst- en kruimkleur.

Verder gaven verschillende parameters interessante informatie met betrekking tot de fysicochemische houdbaarheid van het brood. Ten eerste is er bij de quinoa- en amarantstalen een stijgende trend in het kruimvochtgehalte naargelang het inmengpercentage. Dit is voornamelijk het gevolg van de grotere hoeveelheid toegevoegd water in de receptuur omwille van de verhoogde waterabsorptie bij inmenging. Wat betreft het vochtverlies over drie dagen valt voornamelijk bij de 30 % inmengingen een lager vochtverlies op. Bij de 5 % en 15 % inmengingen van de amarant- en boekweitstalen was het vochtverlies echter hoger. Toekomstig onderzoek is nodig om tot een verklaring hiervoor te komen. Ten tweede stijgt de kruimhardheid naargelang een hoger inmengpercentage. De daling in specifiek volume kan deze stijging in hardheid veroorzaken. De kruimhardheid is negatief gecorreleerd met het specifiek volume ( $R^2 = 0,870$ ;  $p = 0,000$ ). Globaal gezien valt een lagere *staling index* over drie dagen op bij de 30 % inmengingen en bij bepaalde stalen ook bij de 15 % inmengingen. De verlaagde *staling index* en het vochtverlies over drie dagen bij de 30 % inmengingen is interessant, aangezien dit duidt op het minder snel hard en droog worden van het kruim. De vraag is of dit opweegt tegen de hogere beginhardheid en de achteruitgang van de andere textuureigenschappen. Inmenging van 30 % pseudograanmeel resulteerde immers in een hogere *adhesiveness* en een lagere *cohesiveness*. Daarnaast verlaagde de *resilience* bij de meeste stalen. Het innemen van pseudograanmeel kan bijgevolg de acceptatie van de consument negatief beïnvloeden. Ten slotte daalt de wateractiviteit ( $a_w$ ) in beperkte mate bij bepaalde quinoa- en boekweitstalen. De  $a_w$  blijft echter in alle gevallen hoog, waardoor de verlaagde  $a_w$  geen voordelen naar microbiologische houdbaarheid verschaft.

Met betrekking tot de **tweede onderzoeksvraag** werd het valgetal van de mengsels bepaald. Bij de amarantmengsels gaf de aanbevolen moutadditie te hoge valgetallen. De valgetallen van de amarantmengsels zijn dus hoogstwaarschijnlijk niet 100 % representatief voor de mate van de  $\alpha$ -amylaseactiviteit. Er zijn mogelijks andere factoren die een invloed kunnen hebben op de valgetallen, zoals de reologische eigenschappen van de slurries. Hier is echter geen wetenschappelijk bewijs voor. Bij de boekweit- en quinoamengsels resulteerde de aanbevolen moutadditie wel in valgetallen tussen 200 en 250 s. Er zijn echter slechts twee stalen per type pseudograan onderzocht. Volgens de literatuur zou het effect van inmenging op de valgetallen kunnen variëren afhankelijk van het type pseudograan en tarwebloem. Er is daarom onderzoek nodig met meer stalen om conclusies te kunnen trekken over de toepasbaarheid van het valgetal

voor standaardisatie van de moutadditie voor baktesten met pseudogranen. Verder had moutadditie bij enkele stalen een invloed op de *surface browning*, het kruimvochtgehalte, het vochtverlies en bepaalde textuurparameters zoals de *adhesiveness*, *cohesiveness* en *resilience*. Doordat moutadditie op bepaalde parameters een effect had, toont dit het belang van toekomstig onderzoek naar een gestandaardiseerde methode voor moutadditie bij pseudograanmengsels aan.

## 5.2 Aanbevelingen

Met betrekking tot vervolgonderzoek kunnen enkele voorstellen geformuleerd worden. Dit onderzoek focust op inmenging van één type pseudograan per brood. De bakkerij-industrie gebruikt hedendaags mengsels van verschillende soorten granen. Hierdoor kan het interessant zijn om een combinatie van inmenging te onderzoeken. Indien bijvoorbeeld twee stalen ingemengd worden, kunnen er zes combinaties van inmenging onderzocht worden. Daarnaast kunnen andere verhoudingen toegepast worden aangezien deze ook kunnen leiden tot een andere broodkwaliteit. Daarnaast kan vervolgonderzoek zoeken naar een balans tussen enerzijds broodkwaliteit en anderzijds nutritionele eigenschappen.

Verder kunnen andere experimenten nuttige informatie leveren bij vervolgonderzoek. Inmenging van pseudogranen kan een effect hebben op de geur van brood. *E-nose* detectie kan hierbij helpen. De sensorische acceptatie in het algemeen kan onderzocht worden via een smaaktest. Een *Differential scanning calorimetry* (DSC) van het broodkruim kan de mate van *bread staling* diepgaander analyseren in vergelijking met de metingen van de veranderingen in textuureigenschappen. De diffractiepatronen kunnen aantonen in welke mate rekristallisatie van amylopectine de kruimverharding veroorzaakt. Daarnaast zou de oscillatorische reologische test '*frequency sweep*', meer bepaald een plaat-plaatmethode, verder interessante informatie kunnen verschaffen over de visco-elastische eigenschappen van het deeg. De DSC en de plaat-plaatmethode vergen echter een fundamentele methode-optimalisatie aangezien deze niet gestandaardiseerd zijn. Ten slotte kan de microstructuur van het deeg geanalyseerd worden via een *Scanning Electron Microscope* (SEM). Een SEM kan het effect van inmenging op het glutennetwerk op microscopisch niveau onderzoeken.

Ten slotte ging dit onderzoek eveneens na of de hoeveelheid moutadditie bij pseudograanmengsels bepaald kan worden via het valgetal. Een enzymatische kit kan de  $\alpha$ -amylaseactiviteit en het gehalte aan beschadigd zetmeel bepalen. Over de hele lijn kan er een grote variatie in de resultaten tussen de verschillende types pseudogranen optreden. Het lijkt daarom zinvol om verschillende stalen per type pseudograan in het onderzoek op te nemen. Verder is het van belang om het effect van moutadditie bij lagere inmengpercentages aan pseudogranen te onderzoeken, aangezien deze minder onderhevig zijn aan de negatieve effecten door inmenging.



## Bibliografie

- AACCI. (1999). *AACC International Method 76-21.01. General Pasting Method for Wheat or Rye Flour or Starch Using the Rapid Visco Analyser*. Geraadpleegd van <https://methods.aaccnet.org/summaries/76-21-02.aspx>
- Ahamed, N. T., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., & Pal, M. (1996). Physicochemical and functional properties of Chenopodium quinoa starch. *Carbohydrate Polymers*, *31*(1–2), 99–103. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(96\)00034-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(96)00034-3)
- Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, *230*(3), 437–445. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1184-z>
- Arp, C., Correa, M., & Ferrero, C. (2020). Food Hydrocolloids Kinetic study of staling in breads with high-amylose resistant starch. *Food Hydrocolloids*, *106*, 1058–1079. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105879>
- Bajerska, J., Rosell, C., & Sheikha, A. (2016). Bread and its fortification. Nutrition and health benefits. In *CRC Press*.
- Baker, L. A., & Rayas-Duarte, P. (1998). Retrogradation of Amaranth Starch at Different Storage Temperatures and the Effects of Salt and Sugars 1. *Cereal Chem.*, *75*(3), 308–314. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.3.308>
- Barros, J. H., Telis, V. R., Taboga, S., & Franco, C. M. (2018). Resistant starch: effect on rheology, quality, and staling rate of white wheat bread. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(11), 4578–4588. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3393-6>
- Belton, P. S., & Taylor, J. R. N. (2002). *Pseudocereals and less common cereals*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56680-6>
- Bhinder, S., Kaur, A., Singh, B., Yadav, M. P., & Singh, N. (2020). Proximate composition, amino acid profile, pasting and process characteristics of flour from different Tartary buckwheat varieties. *Food Research International*, *130*, 108946. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108946>
- Bocharnikova, I., Wasserman, L. A., Krivandin, A. V., Fornal, J., Błaszczak, W., Chernykh, V. Y., ... Yuryev, V. P. (2003). Structure and thermodynamic melting parameters of wheat starches with different amylose content. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *74*(3), 681–695. <https://doi.org/10.1023/B:JTAN.0000011001.02981.88>
- Bojňanská, T., & Šmitalová, J. (2014). Impact of Amaranth (Amaranth Sp.) on Technological Quality of Bakery Products During Frozen Storage. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *3*(3), 187–189.
- Caballero, B., Trugo, L., & Finglas, P. (2003). *Encyclopedia of Food Science and Nutrition* (2de ed., Vol. 1–10).
- Campbell, C. G. (1997). Buckwheat: *Fagopyrum esculentum* Moench. In *Bioiversity International*.
- Cauvin, S. P., & Young, L. S. (2007). *Technology of breadmaking* (2de ed.).
- Christa, K., & Soral-Smietana, M. (2008). Buckwheat grains and buckwheat products - Nutritional and prophylactic value of their components - A review. *Czech Journal of Food Sciences*, *26*(3), 153–162.
- Codina, G. G., Franciuc, S. G., & Todosi-Sanduleac, E. (2016). Studies on the Influence of Quinoa Flour Addition on Bread Quality. *Food & Environment Safety*, *15*(2), 165–174.

- Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1527–1534. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>
- De La Hera, E., Rosell, C. M., & Gomez, M. (2014). Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chemistry*, 151, 526–531. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.115>
- De Leyn, I. (2001). *Referentiemethode van de Belgische standaardbakproef voor tarwebloem*. Laboratorium Hogeschool Gent, Department BIOT. Voskenslaan 270, B-9000 Gent.
- Debet, M. R., & Gidley, M. J. (2006). Three classes of starch granule swelling: Influence of surface proteins and lipids. *Carbohydrate Polymers*, 64(3), 452–465. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.12.011>
- Delcour, J. A., & Hosney, R. C. (2010). *Principles of Cereal Science and Technology* (3de ed.).
- Dubois, M., Dubat, A., & Launay, B. (2008). *The AlveoConsistograph Handbook* (2de ed.).
- Eliasson, A., & Larsson, K. (1993). Cereals in Breadmaking. A Molecular Colloidal Approach. In *CRC Press*.
- Emire, S. A., & Arega, M. (2012). Value added product development and quality characterization of amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) grown in East Africa. *African Journal of Food Science and Technology*, 3(6), 129–141. Geraadpleegd van <http://www.interestjournals.org/AJFST>
- Fadda, C., Sanguinetti, A. M., Del Caro, A., Collar, C., & Piga, A. (2014). Bread staling: Updating the view. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 473–492. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12064>
- Föste, M., Nordlohne, S. D., Elgeti, D., Linden, M. H., Heinz, V., Jekle, M., & Becker, T. (2014). Impact of quinoa bran on gluten-free dough and bread characteristics. *European Food Research and Technology*, 239(5), 767–775. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2269-x>
- Gavurníková, S., Havrlentová, M., Mendel, L., Čičová, I., & Bieliková, M. (2011). Parameters of Wheat Flour, Dough, and Bread Fortified by Buckwheat and Millet Flours. *Agriculture*, 57(4), 144–153. <https://doi.org/10.2478/v10207-011-0015-y>
- Giannone, V., Lauro, M. R., Spina, A., Pasqualone, A., Auditore, L., Puglisi, I., & Puglisi, G. (2016). A novel  $\alpha$ -amylase-lipase formulation as anti-staling agent in durum wheat bread. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 381–389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.020>
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., & Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science and Technology*, 16(1–3), 12–30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011>
- Gostin, A. I. (2019). Effects of substituting refined wheat flour with wholemeal and quinoa flour on the technological and sensory characteristics of salt-reduced breads. *LWT - Food Science and Technology*, 114, 108412. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108412>
- Guardianelli, L. M., Salinas, M. V., & Puppo, M. C. (2019). Hydration and rheological properties of amaranth-wheat flour dough: Influence of germination of amaranth seeds. *Food Hydrocolloids*, 97, 105242. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105242>
- Hager, A. S., Wolter, A., Czerny, M., Bez, J., Zannini, E., Arendt, E. K., & Czerny, M. (2012). Investigation of product quality, sensory profile and ultrastructure of breads made from a

- range of commercial gluten-free flours compared to their wheat counterparts. *European Food Research and Technology*, 235(2), 333–344. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1763-2>
- Hamaker, B. R., & Griffin, V. K. (1993). Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. *Cereal Chemistry*, 70(4), 377–380.
- Haros, C. M., & Schoenlechner, R. (2017). *Pseudocereals. Chemistry and technology*. John Wiley & Sons.
- IBM Corp. (2019). *IBM SPSS Statistics*. Armonk, NY.
- ICC. (1976). *ICC. Standard No. 110/1. Determination of the Moisture Content of Cereals and Cereal Products (Practical method)*. Geraadpleegd van <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview/110-1-standard-method>
- ICC. (1990). *ICC Standard No. 104/1. Determination of Ash in Cereals and Cereal Products*. Geraadpleegd van <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview/104-1-standard-method?highlight=WzEwNF0=>
- ICC. (1992a). *ICC. Standard No. 115/1. Method for using the Brabender Farinograph*. Geraadpleegd van <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview/115-1-standard-method?highlight=WzExNV0=>
- ICC. (1992b). *ICC. Standard No. 121/1. Method for using of the Chopin Alveograph*. Geraadpleegd van <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview/121-standard-method?highlight=WyJhbHZlb2dyYXB0Il0=>
- ICC. (1995). *ICC. Standard No. 107/1. Determination of the Falling Number according to Hagberg - as a Measure of the Degree of Alpha-Amylase Activity in Grain and Flour*. Geraadpleegd van <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview/107-1-standard-method>
- Inglett, G. E., Xu, J., Stevenson, D. G., & Chen, D. (2009). Rheological and pasting properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Möench) flours with and without jet-cooking. *Cereal Chemistry*, 86(1), 1–6. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-1-0001>
- ISO. (1999). *ISO 6492:1999. Animal feeding stuffs — Determination of fat content*.
- Jancurová, M., Minarovičová, L., & Dandár, A. (2009). Rheological properties of doughs with buckwheat and quinoa additives. *Chemical Papers*, 63(6), 738–741. <https://doi.org/10.2478/s11696-009-0073-z>
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., & Kasemsuwan, T. (1999). Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*, 76(5), 629–637. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.5.629>
- Janssen, F., Pauly, A., Rombouts, I., Jansens, K. J. A., Deleu, L. J., & Delcour, J. A. (2017). Proteins of Amaranth (*Amaranthus* spp.), Buckwheat (*Fagopyrum* spp.), and Quinoa (*Chenopodium* spp.): A Food Science and Technology Perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 39–58. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12240>
- Jin, Z. (2018). *Functional starch and applications in food*. Springer.
- Jukić, M., Komlenić, D., Mastanjević, K., Mastanjević, K., Lučan, M., Popovici, C., ... Lukinac, J. (2019). Influence of damaged starch on the quality parameters of wheat dough and bread. *Ukrainian Food Journal*, 8(3), 512–521. <https://doi.org/10.24263/2304-974x->

2019-8-3-8

- Kong, X., Bao, J., & Corke, H. (2009). Physical properties of Amaranthus starch. *Food Chemistry*, 113(2), 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.028>
- Kong, X., Bertoft, E., Bao, J., & Corke, H. (2008). Molecular structure of amylopectin from amaranth starch and its effect on physicochemical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 43(4), 377–382. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2008.07.018>
- Kurek, M. A., & Sokolova, N. (2019). Optimization of bread quality with quinoa flour of different particle size and degree of wheat flour replacement. *Food Science and Technology*, 40(2), 307–314. <https://doi.org/10.1590/fst.38318>
- Leach, H. W., McCowen, L. D., & Schoch, T. J. (1959). Structure of starch granules. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry*, (36), 534–544.
- Li, G., Wang, S., & Zhu, F. (2016). Physicochemical properties of quinoa starch. *Carbohydrate Polymers*, 137, 328–338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.064>
- Lin, L. Y., Liu, H. M., Yu, Y. W., Lin, S. D., & Mau, J. L. (2009). Quality and antioxidant property of buckwheat enhanced wheat bread. *Food Chemistry*, 112(4), 987–991. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.022>
- Lin, L. Y., Wang, H. E., Lin, S. D., Liu, H. M., & Mau, J. L. (2013). Changes in buckwheat bread during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(4), 285–290. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00647.x>
- Lindeboom, N., Chang, P. R., Falk, K. C., & Tyler, R. T. (2005). Characteristics of starch from eight quinoa lines. *Cereal Chemistry*, 82(2), 216–222. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0216>
- Lorenz, K. (1981). Amaranthus hypochondriacus – Characteristics of the Starch and Baking Potential of the Flour. *Starch*, 33(5), 149–153.
- Lorenz, K., Coulter, L., & Johnson, D. (1995). Functional and sensory characteristics of quinoa in foods. *Developments in Food Science*, 37, 1031–1041. Geraadpleegd van <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167450106802165>
- Ma, M., Sun, Q., Li, M., & Zhu, K. (2020). Deterioration mechanisms of high-moisture wheat-based food – A review from physicochemical , structural , and molecular perspectives. *Food Chemistry*, 318, 126495. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126495>
- Mancebo, C. M., Picón, J., & Gómez, M. (2015). Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.057>
- Martínez, M. M., Román, L., & Gómez, M. (2018). Implications of hydration depletion in the in vitro starch digestibility of white bread crumb and crust. *Food Chemistry*, 239, 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.122>
- Meghwal, M., & Goyal, M. R. (2017). *Food Process Engineering: Emerging Trends in Research and Their Applications*. CRC Press.
- Microsoft Corp. (2020). *Microsoft Excel Office 365*. Washington, VS.
- Miranda-Ramos, K. C., Sanz-Ponce, N., & Haros, C. M. (2019). Evaluation of technological and nutritional quality of bread enriched with amaranth flour. *LWT - Food Science and Technology*, 114, 108418. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108418>
- Mlakar, G., Turinek, M., Manfred, J., Bavec, M., & Bavec, F. (2010). Grain amaranth as an

- alternative and perspective crop in temperate climate. *Journal for Geography*, 5(1), 135–145.
- Mlakar, S. G., Bavec, M., Turinek, M., & Bavec, F. (2009). Rheological properties of dough made from grain amaranth-cereal composite flours based on wheat and spelt. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(5), 309–319. <https://doi.org/10.17221/61/2009-cjfs>
- Moawad, E., Rizk, I., Kishk, Y., & Youssif, M. (2019). Effect of Substitution of Wheat Flour With Quinoa Flour on Quality of Pan Bread and Biscuit. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 26(6), 2387–2400. <https://doi.org/10.21608/ajs.2018.35607>
- Nedeljković, N., Sakač, M., Mandić, A., Psodorov, D., Jambrec, D., Pestorić, M., ... Hadnadev, D. (2014). Rheological properties and mineral content of buckwheat enriched wholegrain wheat pasta. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 20(1), 135–142. <https://doi.org/10.2298/CICEQ120801125N>
- Nivelle, M. A., Remmerie, E., Bosmans, G. M., Vrinten, P., Nakamura, T., & Delcour, J. A. (2019). Amylose and amylopectin functionality during baking and cooling of bread prepared from flour of wheat containing unusual starches: A temperature-controlled time domain <sup>1</sup>H NMR study. *Food Chemistry*, 295, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.049>
- Noda, T., Takahata, Y., Sato, T., Suda, I., Morishita, T., Ishiguro, K., & Yamakawa, O. (1998). Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat. *Carbohydrate Polymers*, 37(2), 153–158. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(98\)00047-2](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00047-2)
- Özer, M. S., Kola, O., & Duran, H. (2010). Effects of buckwheat flour combining phospholipase or DATEM on dough properties. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(2), 13–16.
- Purlis, E. (2010). Browning development in bakery products - A review. *Journal of Food Engineering*, 99(3), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008>
- Qian, J., & Kuhn, M. (1999). Characterization of *Amaranthus cruentus* and *Chenopodium quinoa* Starch. *Starch - Stärke*, 51(4), 116–120. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-379x\(199904\)51:4<116::aid-star116>3.3.co;2-i](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-379x(199904)51:4<116::aid-star116>3.3.co;2-i)
- Qian, J., Rayas-Duarte, P., & Grant, L. (1998). Partial characterization of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) starch. *Cereal Chemistry*, 75(3), 365–373. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.3.365>
- Quayson, E. T., Marti, A., Bonomi, F., Atwell, W., & Seetharaman, K. (2016). Structural modification of gluten proteins in strong and weak wheat dough as affected by mixing temperature. *Cereal Chemistry*, 93(2), 189–195. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-06-15-0123-R>
- Robin, F., Théoduloz, C., & Srichuwong, S. (2015). Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(10), 2152–2159. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12893>
- Rodriguez-Sandoval E., Sandoval G., C.-R. M. (2012). Effect of quinoa and potato flours on the thermomechanical and breadmaking properties of wheat flour. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(3), 503–510.
- Sangeeta, & Grewal, R. (2018a). Comparative study of pasting properties of amaranth and buckwheat flour. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 811–813.
- Sangeeta, & Grewal, R. B. (2018b). Morphological and functional properties of starch extracted

- from common Buckwheat. *Indian Journal of Health & Well-being*, 9(5), 802–803.
- Sanz-Penella, J. M., Wronkowska, M., Soral-Smietana, M., & Haros, M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *LWT - Food Science and Technology*, 50(2), 679–685. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.031>
- Saunders, R. M., & Becker, R. (1984). Amaranthus: A Potential Food and Feed Resource. *Advances in Cereal Science and Technology*, 6, 357–397.
- Sayed, H. S., Sakr, A. M., & Hassan, N. M. M. (2016). Effect of Pseudo Cereal Flours on Technological, Chemical and Sensory Properties of Pan Bread. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 11(1), 10–17. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjdfs.2016.11.1.12867>
- Schoenlechner, R. (2016). Properties of pseudocereals, selected specialty cereals and legumes for food processing with special attention to gluten-free products. *Journal of Land Management, Food and Environment*, 67(4), 239–248. <https://doi.org/10.1515/boku-2016-0019>
- Schoenlechner, R., & Bender, D. (2020). Pseudocereals for Global Food Production. *Cereal Foods World*, 65(2). <https://doi.org/10.1094/CFW-65-2-0014>
- Sehn, G. A. R., & Steel, C. J. (2020). Staling kinetics of whole wheat pan bread. *Journal of Food Science and Technology*, 57(2), 557–563. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04087-9>
- Selimović, A., Miličević, D., Oručević, S., Ačkar, Đ., & Babić, J. (2011). Influence of buckwheat flour on the dough rheology and sensory properties of wheat bread. *Technologica acta*, 33.
- Shevkani, K., Singh, N., Kaur, A., & Rana, J. C. (2014). Physicochemical, Pasting, and Functional Properties of Amaranth Seed Flours: Effects of Lipids Removal. *Journal of Food Science*, 79(7). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12493>
- Siastala, M., Dziki, D., & Różyło, R. (2015). Changes of physical properties of wheat dough and bread as a result of red quinoa flour addition. *Acta Agrophysica*, 22(3), 291–300.
- Sindhu, R., & Khatkar, B. S. (2016). Morphological, pasting and thermal properties of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) flour and starch. *IJIRAS*, 3(7).
- Sindhuja, A., Sudha, M. L., & Rahim, A. (2005). Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. *European Food Research and Technology*, 221(5), 597–601. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0039-5>
- Sjö, M., & Nilsson, L. (2018). Starch in food: Structure, function and applications. In *Starch in Food* (2de ed.). Woodhead Publishing.
- Sluková, M., Levková, J., Michalcová, A., Horáčková, Š., & Skřivan, P. (2017). Effect of the dough mixing process on the quality of wheat and buckwheat proteins. *Czech Journal of Food Sciences*, 35(6), 522–531. <https://doi.org/10.17221/220/2017-CJFS>
- Srichuwong, S., Curti, D., Austin, S., King, R., Lamothe, L., & Gloria-Hernandez, H. (2017). Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents. *Food Chemistry*, 233, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.019>
- Srichuwong, S., & Jane, J. (2007). Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food Science and Biotechnology*, 16(5), 663–674.
- Stefan, E. M., Voicu, G., Constantin, G. A., Ipate, G., & Munteanu, M. (2018). Effect of whole buckwheat flour on technological properties of wheat flour and dough. *Engineering for*

- Rural Development*, 17, 1533–1538. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N393>
- Stone, L. A., & Lorenz, K. (1984). The Starch of *Amaranthus* — Physico-chemical Properties and Functional Characteristics. *Starch-Stärke*, 36(7), 232–237.
- Švec, I., Hrušková, M., Kapačinskaitė, R., & Hofmanová, T. (2019). Effect of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Canahua Wholemeals (*Chenopodium pallidicaule*) on Pasting Behavior of Wheat Flour. *Advances in Food Science and Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.22606/afse.2019.31001>
- Švec, I., Kapačinskaitė, R., & Hrušková, M. (2020). Wheat dough fermentation and bread trial results under the effect of quinoa and canahua wholemeal additions. *Czech Journal of Food Sciences*, 38(1), 49–56. <https://doi.org/10.17221/12/2019-cjfs>
- Tamba-Berehoiu, R. M., Turtoi, M. O., & Popa, C. N. (2019). Assessment of quinoa flours effect on wheat flour dough rheology and bread quality. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati, Fascicle VI: Food Technology*, 43(2), 173–188. <https://doi.org/10.35219/foodtechnology.2019.2.12>
- Tömösközi, S., Gyenge, L., Pelcéder, Á., Abonyi, T., Schönlechner, R., & Lásztity, R. (2011). Effects of flour and protein preparations from amaranth and quinoa seeds on the rheological properties of wheat-flour dough and bread crumb. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(2), 109–116. <https://doi.org/10.17221/45/2010-cjfs>
- Torbica, A., Hadnadev, M., & Dapčević Hadnadev, T. (2012). Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. *Food Research International*, 48(1), 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.001>
- Tosi, E. A., Ré, E. D., Masciarelli, R., Sánchez, H., Osella, C., & De La Torre, M. A. (2002). Whole and defatted hyperproteic amaranth flours tested as wheat flour supplementation in mold breads. *LWT - Food Science and Technology*, 35(5), 472–475. <https://doi.org/10.1006/fstl.2002.0892>
- Valcárcel-Yamani, B., & Lannes, S. C. S. (2012). Applications of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and amaranth (*Amaranthus* spp.) and their influence in the nutritional value of cereal based foods. *Food and Public Health*, 2(6), 265–275. <https://doi.org/10.5923/j.fph.20120206.12>
- Vouris, D. G., Lazaridou, A., Mandala, I. G., & Biliaderis, C. G. (2018). Wheat bread quality attributes using jet milling flour fractions. *LWT - Food Science and Technology*, 92, 540–547. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.065>
- Wrigley, C., Batey, I., & Miskelly, D. (2017). *Cereal Grains. Assessing and Managing Quality*. (2de ed.). Elsevier.
- Wrigley, C., Corke, H., & Walker, C. E. (2004). *Encyclopedia of grain science*. Elsevier Academic Press.
- Xu, X., Luo, Z., Yang, Q., Xiao, Z., & Lu, X. (2019). Effect of quinoa flour on baking performance, antioxidant properties and digestibility of wheat bread. *Food Chemistry*, 294, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.037>
- Xu, X., Xu, Y., Wang, N., & Zhou, Y. (2018). Effects of superfine grinding of bran on the properties of dough and qualities of steamed bread. *Journal of Cereal Science*, 81, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.04.002>
- Yoshimoto, Y., Egashira, T., Hanashiro, I., Ohinata, H., Takase, Y., & Takeda, Y. (2004). Molecular structure and some physicochemical properties of buckwheat starches. *Cereal Chemistry*, 81(4), 515–520. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.4.515>

- Yuryev, V. P., Krivandin, A. V., Kiseleva, V. I., Wasserman, L. A., Genkina, N. K., Fornal, J., ... Schiraldi, A. (2004). Structural parameters of amylopectin clusters and semi-crystalline growth rings in wheat starches with different amylose content. *Carbohydrate Research*, 339(16), 2683–2691. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2004.09.005>
- Zanoletti, M., Marti, A., Marengo, M., Iametti, S., Pagani, M. A., & Renzetti, S. (2017). Understanding the influence of buckwheat bran on wheat dough baking performance: Mechanistic insights from molecular and material science approaches. *Food Research International*, 102, 728–737. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.052>
- Zhang, J., & Datta, A. K. (2006). Mathematical modeling of bread baking process. *Journal of Food Engineering*, 75(1), 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.058>
- Zhou, W., & Hui, Y. H. (2014). *Bakery products: science and technology* (2de ed.). John Wiley & Sons.
- Zhu, F., & Liu, P. (2020). Starch gelatinization, retrogradation, and enzyme susceptibility of retrograded starch: Effect of amylopectin internal molecular structure. *Food Chemistry*, 316, 126036. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126036>



## **Bijlagen**

# Bijlage 1: Schematisch overzicht van de proefopzet

## 1. Voorbereidend onderzoek

- Chemische en functionele eigenschappen van tarwe en pseudogranen
- Studie van het modelsysteem 'tarwedeeg en -brood'
- Invloed van inmenging van pseudograanmeel op tarwedeeg en -brood

## 2. Analyses

### Tarwebloem en pseudograanmeel: chemische- en functionele eigenschappen

- Chemische samenstelling (Z)
- Zwelvermogen en waterabsorberend vermogen (Z)
- Verstijfingsgedrag (reometer) (Z+M)
- $\alpha$ -amylaseactiviteit (valgetal van Hagberg) (30 %)

### Deeg: reologische eigenschappen

- Kneedeigenschappen (farinograaf) (M)
- Visco-elastische eigenschappen (alveograaf) (M)

### Brood: broodkwaliteit

- Ovenrijs (M+Ma)
- Gewicht en specifiek volume (M+Ma)
- *Bake loss* (M+Ma)
- *Surface browning* (M+Ma)
- Korst- en kruimkleur (M+Ma)
- Gasceldistributie kruim (M+Ma)
- Fysicochemische houdbaarheid (M+Ma)  
(kruimvochtgehalte, vochtverlies, hardheid en *staling index*)
- Wateractiviteit kruim (M+Ma)
- *Texture profile analysis (texture analyser)* (M+Ma)

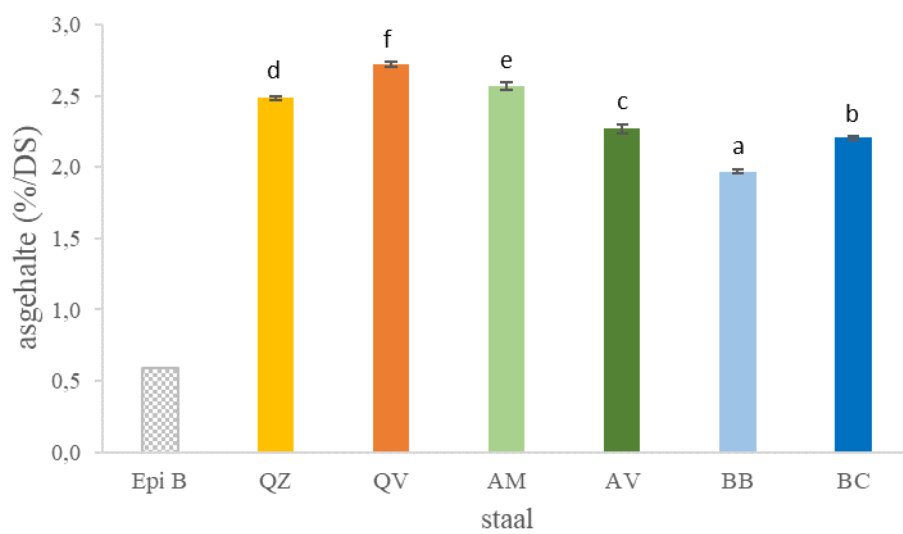
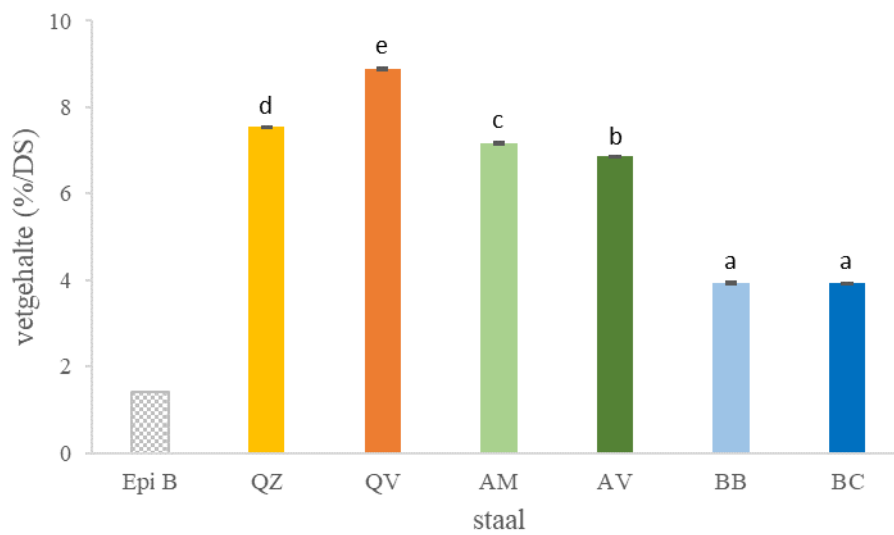
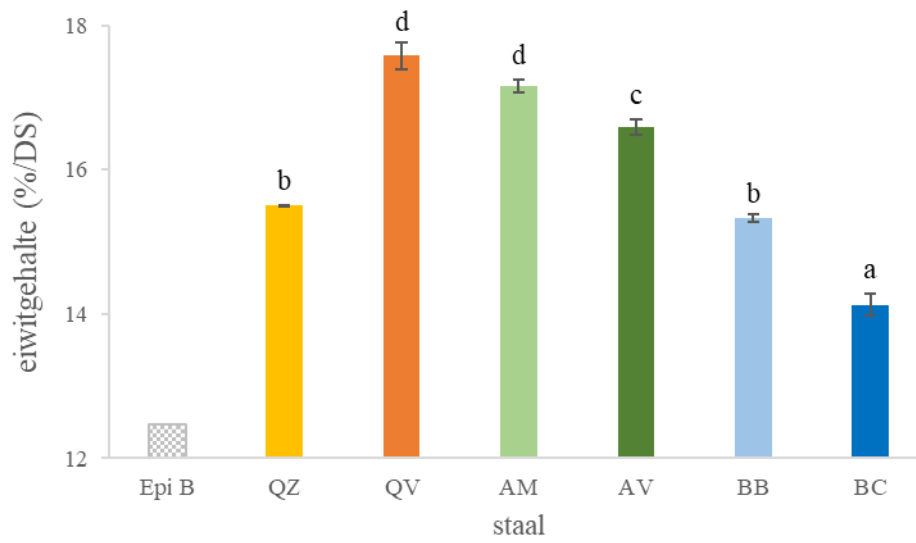
### Legenda

- Z zuiver staal
- M mengstaal (5, 15 en 30 % w/w)
- 30 % 30 % w/w mengstaal
- Ma 30 % w/w mengstaal met moutadditie

## 3. Statistische analyse

- *One-way* ANOVA
- Correlatieanalyse

## Bijlage 2: Het eiwit-, vet- en asgehalte van de stalen vergeleken met Epi B



### Bijlage 3: Het zwelvermogen en waterabsorberend vermogen van de stalen

	Zwelvermogen (g/g)									
	55 °C		65 °C		75 °C		85 °C		95 °C	
<b>QZ</b>	2,88 ± 0,05 <sup>c</sup>	I	4,60 ± 0,07 <sup>d</sup>	II	5,71 ± 0,06 <sup>b</sup>	III	6,55 ± 0,04 <sup>b</sup>	IV	7,6 ± 0,12 <sup>d</sup>	V
<b>QV</b>	3,18 ± 0,03 <sup>d</sup>	I	4,60 ± 0,06 <sup>d</sup>	II	5,41 ± 0,08 <sup>a</sup>	III	6,26 ± 0,06 <sup>a</sup>	IV	6,97 ± 0,1 <sup>c</sup>	V
<b>AM</b>	2,58 ± 0,10 <sup>b</sup>	I	2,81 ± 0,15 <sup>b</sup>	I	10,43 ± 0,12 <sup>d</sup>	III	11,32 ± 0,1 <sup>d</sup>	IV	5,65 ± 0,11 <sup>a</sup>	II
<b>AV</b>	2,44 ± 0,09 <sup>ab</sup>	I	2,56 ± 0,05 <sup>a</sup>	I	9,06 ± 0,32 <sup>c</sup>	II	9,50 ± 0,07 <sup>c</sup>	II		
<b>BB</b>	2,42 ± 0,04 <sup>a</sup>	I	5,25 ± 0,09 <sup>e</sup>	II	5,85 ± 0,06 <sup>b</sup>	III	6,50 ± 0,14 <sup>b</sup>	IV	6,54 ± 0,05 <sup>b</sup>	IV
<b>BC</b>	2,43 ± 0,05 <sup>a</sup>	I	4,23 ± 0,13 <sup>c</sup>	II	5,69 ± 0,01 <sup>b</sup>	III	6,42 ± 0,05 <sup>ab</sup>	IV	7,94 ± 0,11 <sup>e</sup>	V

Waarden binnen één kolom met hetzelfde letter, zijn niet significant verschillend van elkaar

Waarden binnen één rij met hetzelfde Romeinse cijfer, zijn niet significant verschillend van elkaar

	WA vermogen (g/g)
<b>QZ</b>	145,8 ± 6,0 <sup>ab</sup>
<b>QV</b>	140,2 ± 10,7 <sup>ab</sup>
<b>AM</b>	177,2 ± 8,7 <sup>c</sup>
<b>AV</b>	159,1 ± 10,2 <sup>bc</sup>
<b>BB</b>	144,5 ± 9,6 <sup>ab</sup>
<b>BC</b>	131,6 ± 5,9 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

## Bijlage 4: Overzicht van de verstijfselingsparameters per staal (5, 15, 30 en 100 %) vergeleken met Epi B

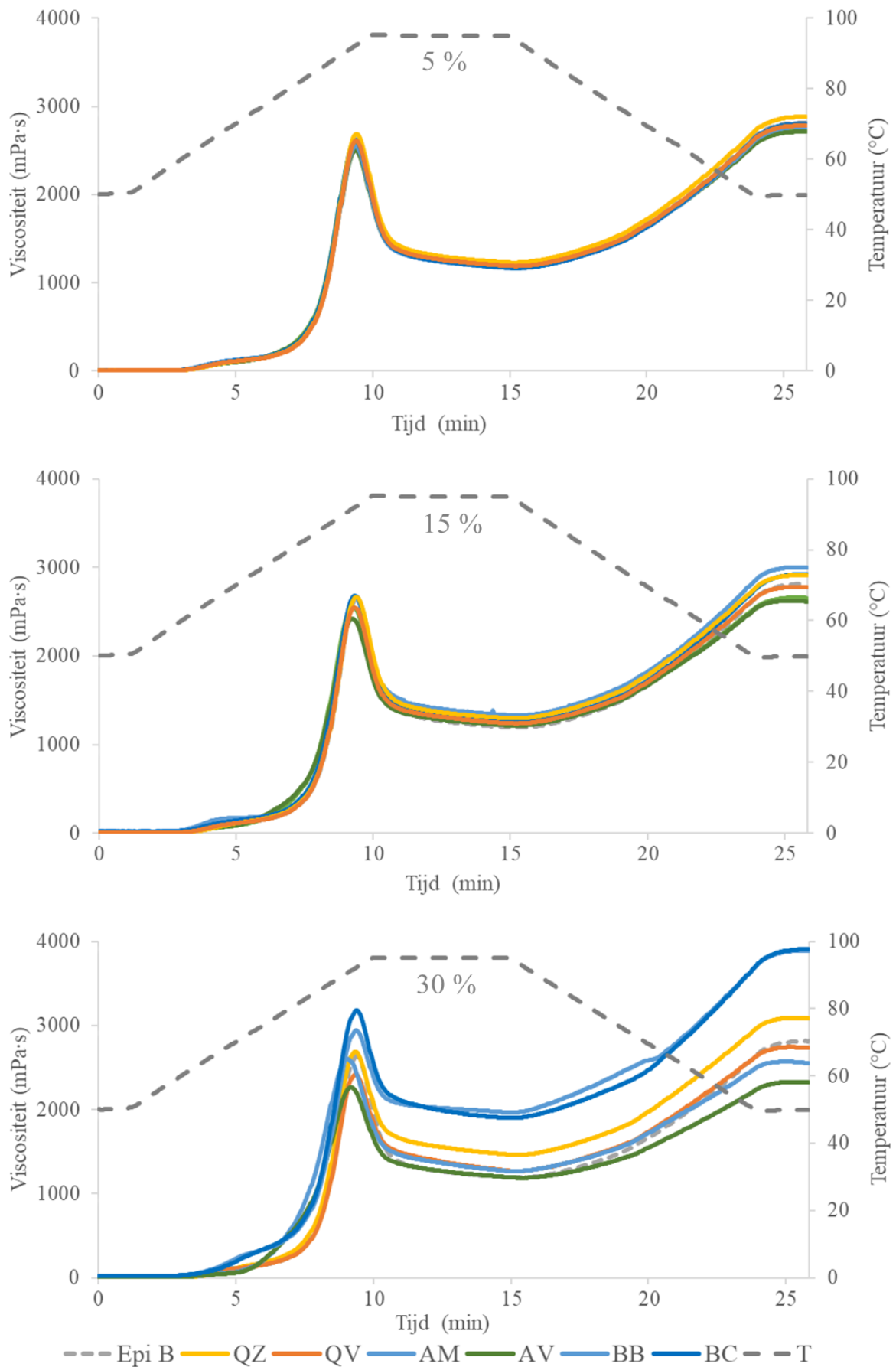
QZ									
Staal	T <sub>G</sub> (°C)	PV (mPa·s)	Piektijd (min)	T <sub>piek</sub> (°C)	HS (mPa·s)	FV (mPa·s)	BD (mPa·s)	SB <sub>p</sub> (mPa·s)	SB <sub>t</sub> (mPa·s)
Epi B	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>a</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>bc</sup>	1189 ± 29 <sup>a</sup>	2805 ± 62 <sup>a</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>cd</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>a</sup>	1617 ± 34 <sup>b</sup>
5 %	57,48 ± 0,44 <sup>ab</sup>	2687 ± 16 <sup>a</sup>	9,532 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,41 ± 0,04 <sup>c</sup>	1227 ± 14 <sup>a</sup>	2873 ± 22 <sup>a</sup>	1459,7 ± 12,9 <sup>d</sup>	186,3 ± 10,9 <sup>ab</sup>	1646 ± 12 <sup>b</sup>
15 %	58,61 ± 0,58 <sup>bc</sup>	2660 ± 15 <sup>a</sup>	9,487 ± 0,019 <sup>a</sup>	92,18 ± 0,10 <sup>ab</sup>	1295 ± 7 <sup>b</sup>	2906 ± 11 <sup>a</sup>	1366,7 ± 19,7 <sup>c</sup>	245,0 ± 19,9 <sup>b</sup>	1611 ± 5 <sup>b</sup>
30 %	59,57 ± 0,43 <sup>c</sup>	2687 ± 25 <sup>a</sup>	9,454 ± 0,020 <sup>a</sup>	92,01 ± 0,11 <sup>a</sup>	1457 ± 36 <sup>c</sup>	3086 ± 31 <sup>b</sup>	1230,3 ± 11,2 <sup>b</sup>	398,7 ± 8,7 <sup>c</sup>	1629 ± 9 <sup>b</sup>
100 %	62,28 ± 0,20 <sup>d</sup>	2658 ± 50 <sup>a</sup>	11,600 ± 0,666 <sup>a</sup>	95,05 ± 0,03 <sup>d</sup>	2423 ± 15 <sup>d</sup>	3672 ± 45 <sup>c</sup>	234,7 ± 53,6 <sup>a</sup>	1013,4 ± 80,4 <sup>d</sup>	1248 ± 31 <sup>a</sup>
QV									
Staal	T <sub>G</sub> (°C)	PV (mPa·s)	Piektijd (min)	T <sub>piek</sub> (°C)	HS (mPa·s)	FV (mPa·s)	BD (mPa·s)	SB <sub>p</sub> (mPa·s)	SB <sub>t</sub> (mPa·s)
Epi B	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>c</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>a</sup>	1189 ± 29 <sup>a</sup>	2805 ± 62 <sup>b</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>d</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>a</sup>	1617 ± 34 <sup>d</sup>
5 %	58,32 ± 0,57 <sup>a</sup>	2611 ± 63 <sup>c</sup>	9,509 ± 0,020 <sup>a</sup>	92,29 ± 0,12 <sup>a</sup>	1188 ± 28 <sup>a</sup>	2775 ± 59 <sup>b</sup>	1423,0 ± 35,4 <sup>d</sup>	163,1 ± 4,4 <sup>a</sup>	1586 ± 31 <sup>cd</sup>
15 %	58,08 ± 0,76 <sup>a</sup>	2553 ± 24 <sup>c</sup>	9,443 ± 0,039 <sup>a</sup>	91,95 ± 0,16 <sup>a</sup>	1236 ± 14 <sup>a</sup>	2775 ± 28 <sup>b</sup>	1317,0 ± 15,1 <sup>c</sup>	222,1 ± 8,1 <sup>b</sup>	1539 ± 15 <sup>bc</sup>
30 %	58,49 ± 0,12 <sup>a</sup>	2419 ± 39 <sup>b</sup>	9,454 ± 0,020 <sup>a</sup>	92,00 ± 0,08 <sup>a</sup>	1267 ± 1 <sup>a</sup>	2739 ± 37 <sup>b</sup>	1151,7 ± 37,5 <sup>b</sup>	320,8 ± 1,9 <sup>c</sup>	1473 ± 36 <sup>b</sup>
100 %	59,23 ± 0,67 <sup>a</sup>	1532 ± 29 <sup>a</sup>	15,011 ± 0,038 <sup>b</sup>	95,00 ± 0,01 <sup>b</sup>	1336 ± 2 <sup>b</sup>	2042 ± 14 <sup>a</sup>	196,7 ± 28,3 <sup>a</sup>	510,0 ± 32,9 <sup>d</sup>	707 ± 13 <sup>a</sup>
AM									
Staal	T <sub>G</sub> (°C)	PV (mPa·s)	Piektijd (min)	T <sub>piek</sub> (°C)	HS (mPa·s)	FV (mPa·s)	BD (mPa·s)	SB <sub>p</sub> (mPa·s)	SB <sub>t</sub> (mPa·s)
Epi B	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>b</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>c</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>c</sup>	1189 ± 29 <sup>ab</sup>	2805 ± 62 <sup>bc</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>c</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>d</sup>	1617 ± 34 <sup>d</sup>
5 %	58,14 ± 0,57 <sup>a</sup>	2572 ± 25 <sup>b</sup>	9,454 ± 0,020 <sup>c</sup>	92,02 ± 0,08 <sup>c</sup>	1190 ± 20 <sup>ab</sup>	2726 ± 37 <sup>c</sup>	1382,0 ± 5,3 <sup>bc</sup>	153,9 ± 11,5 <sup>d</sup>	1536 ± 16 <sup>d</sup>
15 %	58,30 ± 0,95 <sup>a</sup>	2561 ± 19 <sup>b</sup>	9,364 ± 0,058 <sup>bc</sup>	91,59 ± 0,28 <sup>bc</sup>	1228 ± 10 <sup>ab</sup>	2655 ± 10 <sup>c</sup>	1333,7 ± 11,2 <sup>b</sup>	94,3 ± 10,9 <sup>c</sup>	1428 ± 1 <sup>c</sup>
30 %	58,71 ± 0,55 <sup>a</sup>	2604 ± 22 <sup>b</sup>	9,175 ± 0,019 <sup>b</sup>	90,58 ± 0,09 <sup>b</sup>	1265 ± 5 <sup>b</sup>	2563 ± 9 <sup>b</sup>	1339,7 ± 24,2 <sup>b</sup>	-41,7 ± 14,3 <sup>b</sup>	1298 ± 10 <sup>b</sup>
100 %	67,90 ± 0,29 <sup>b</sup>	2032 ± 18 <sup>a</sup>	7,758 ± 0,034 <sup>a</sup>	83,53 ± 0,15 <sup>a</sup>	1225 ± 4 <sup>a</sup>	1681 ± 12 <sup>a</sup>	807,1 ± 21,2 <sup>a</sup>	-351,2 ± 7,7 <sup>a</sup>	456 ± 15 <sup>a</sup>
AV									
Staal	T <sub>G</sub> (°C)	PV (mPa·s)	Piektijd (min)	T <sub>piek</sub> (°C)	HS (mPa·s)	FV (mPa·s)	BD (mPa·s)	SB <sub>p</sub> (mPa·s)	SB <sub>t</sub> (mPa·s)
Epi B	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>c</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>c</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>c</sup>	1189 ± 29 <sup>b</sup>	2805 ± 62 <sup>c</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>d</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>c</sup>	1617 ± 34 <sup>d</sup>
5 %	58,22 ± 0,66 <sup>a</sup>	2500 ± 12 <sup>c</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>c</sup>	92,23 ± 0,02 <sup>c</sup>	1180 ± 8 <sup>b</sup>	2706 ± 15 <sup>c</sup>	1320,3 ± 8,1 <sup>d</sup>	206,0 ± 8,3 <sup>d</sup>	1526 ± 7 <sup>d</sup>
15 %	58,34 ± 0,25 <sup>a</sup>	2425 ± 21 <sup>c</sup>	9,342 ± 0,039 <sup>bc</sup>	91,42 ± 0,20 <sup>bc</sup>	1213 ± 19 <sup>b</sup>	2621 ± 33 <sup>c</sup>	1212,3 ± 3,5 <sup>c</sup>	196,2 ± 12,0 <sup>cd</sup>	1409 ± 14 <sup>c</sup>
30 %	58,90 ± 0,32 <sup>a</sup>	2261 ± 24 <sup>b</sup>	9,297 ± 0,000 <sup>b</sup>	91,23 ± 0,03 <sup>b</sup>	1186 ± 17 <sup>b</sup>	2325 ± 32 <sup>b</sup>	1075,0 ± 8,7 <sup>b</sup>	63,8 ± 10,8 <sup>b</sup>	1139 ± 15 <sup>b</sup>
100 %	67,85 ± 0,36 <sup>b</sup>	1341 ± 15 <sup>a</sup>	7,669 ± 0,019 <sup>a</sup>	83,08 ± 0,11 <sup>a</sup>	933 ± 8 <sup>a</sup>	1241 ± 10 <sup>a</sup>	408,1 ± 10,8 <sup>a</sup>	-99,6 ± 9,7 <sup>a</sup>	309 ± 2 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

<b>BB</b>									
<b>Staal</b>	<b>T<sub>G</sub> (°C)</b>	<b>PV (mPa·s)</b>	<b>Piektijd (min)</b>	<b>T<sub>piek</sub> (°C)</b>	<b>HS (mPa·s)</b>	<b>FV (mPa·s)</b>	<b>BD (mPa·s)</b>	<b>SB<sub>p</sub> (mPa·s)</b>	<b>SB<sub>t</sub> (mPa·s)</b>
<b>Epi B</b>	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>b</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>a</sup>	1189 ± 29 <sup>a</sup>	2805 ± 62 <sup>ab</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>d</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>a</sup>	1617 ± 34 <sup>ab</sup>
<b>5 %</b>	57,80 ± 0,59 <sup>a</sup>	2551 ± 22 <sup>b</sup>	9,487 ± 0,019 <sup>a</sup>	92,19 ± 0,09 <sup>a</sup>	1166 ± 8 <sup>a</sup>	2759 ± 12 <sup>a</sup>	1385,7 ± 14,6 <sup>cd</sup>	208,3 ± 10,0 <sup>ab</sup>	1594 ± 5 <sup>a</sup>
<b>15 %</b>	79,39 ± 0,53 <sup>d</sup>	2669 ± 26 <sup>b</sup>	9,454 ± 0,020 <sup>a</sup>	92,05 ± 0,09 <sup>a</sup>	1326 ± 28 <sup>a</sup>	2997 ± 15 <sup>b</sup>	1343,3 ± 47,1 <sup>c</sup>	327,4 ± 35,6 <sup>b</sup>	1671 ± 13 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	59,72 ± 0,27 <sup>b</sup>	2939 ± 34 <sup>c</sup>	9,487 ± 0,019 <sup>a</sup>	92,17 ± 0,11 <sup>a</sup>	1962 ± 23 <sup>b</sup>	3880 ± 34 <sup>c</sup>	977,4 ± 11,4 <sup>b</sup>	940,7 ± 5,3 <sup>c</sup>	1918 ± 11 <sup>c</sup>
<b>100 %</b>	64,21 ± 0,53 <sup>c</sup>	2036 ± 110 <sup>a</sup>	14,944 ± 0,102 <sup>b</sup>	95,00 ± 0,01 <sup>b</sup>	1842 ± 143 <sup>b</sup>	4790 ± 57 <sup>d</sup>	193,6 ± 33,8 <sup>a</sup>	2754,7 ± 83,7 <sup>d</sup>	2948 ± 116 <sup>d</sup>
<b>BC</b>									
<b>Staal</b>	<b>T<sub>G</sub> (°C)</b>	<b>PV (mPa·s)</b>	<b>Piektijd (min)</b>	<b>T<sub>piek</sub> (°C)</b>	<b>HS (mPa·s)</b>	<b>FV (mPa·s)</b>	<b>BD (mPa·s)</b>	<b>SB<sub>p</sub> (mPa·s)</b>	<b>SB<sub>t</sub> (mPa·s)</b>
<b>Epi B</b>	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>a</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>a</sup>	1189 ± 29 <sup>ab</sup>	2805 ± 62 <sup>ab</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>c</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>a</sup>	1617 ± 34 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	57,62 ± 0,67 <sup>a</sup>	2617 ± 18 <sup>a</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,22 ± 0,03 <sup>a</sup>	1168 ± 7 <sup>a</sup>	2794 ± 18 <sup>a</sup>	1448,3 ± 10,0 <sup>c</sup>	177,4 ± 5,7 <sup>ab</sup>	1626 ± 12 <sup>a</sup>
<b>15 %</b>	58,41 ± 0,35 <sup>a</sup>	2680 ± 63 <sup>a</sup>	9,442 ± 0,020 <sup>a</sup>	91,96 ± 0,12 <sup>a</sup>	1252 ± 29 <sup>b</sup>	2913 ± 48 <sup>b</sup>	1428,0 ± 35,5 <sup>c</sup>	233,0 ± 15,0 <sup>b</sup>	1661 ± 20 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	59,75 ± 0,24 <sup>b</sup>	3177 ± 13 <sup>b</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,23 ± 0,03 <sup>a</sup>	1899 ± 17 <sup>c</sup>	3898 ± 45 <sup>c</sup>	1278,0 ± 22,5 <sup>b</sup>	721,0 ± 41,2 <sup>c</sup>	1999 ± 30 <sup>b</sup>
<b>100 %</b>	65,79 ± 0,28 <sup>c</sup>	2535 ± 35 <sup>a</sup>	14,167 ± 0,700 <sup>b</sup>	95,00 ± 0,01 <sup>b</sup>	2392 ± 32 <sup>d</sup>	5804 ± 24 <sup>d</sup>	143,6 ± 66,5 <sup>a</sup>	3268,0 ± 11,3 <sup>d</sup>	3412 ± 56 <sup>c</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

**Bijlage 5: Het verstijfselingsgedrag per inmengpercentage (5, 15 en 30 %) van de stalen vergeleken met Epi B**



**Bijlage 6: Overzicht van de verstijfselingsparameters per inmengpercentage (5, 15, 30 %) van de stalen vergeleken met Epi B**

5 %									
Staal	T <sub>G</sub> (°C)	PV (mPa·s)	Piektijd (min)	T <sub>piek</sub> (°C)	HS (mPa·s)	FV (mPa·s)	BD (mPa·s)	SB <sub>p</sub> (mPa·s)	SB <sub>t</sub> (mPa·s)
Epi B	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>abc</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>a</sup>	1189 ± 29 <sup>ab</sup>	2805 ± 62 <sup>abc</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>abc</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>ab</sup>	1617 ± 34 <sup>abc</sup>
QZ5	57,48 ± 0,44 <sup>a</sup>	2687 ± 16 <sup>c</sup>	9,532 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,41 ± 0,04 <sup>b</sup>	1227 ± 14 <sup>b</sup>	2873 ± 22 <sup>c</sup>	1459,7 ± 12,9 <sup>c</sup>	186,3 ± 10,9 <sup>bc</sup>	1646 ± 12 <sup>c</sup>
QV5	58,32 ± 0,57 <sup>a</sup>	2611 ± 63 <sup>abc</sup>	9,509 ± 0,020 <sup>a</sup>	92,29 ± 0,12 <sup>ab</sup>	1188 ± 28 <sup>ab</sup>	2775 ± 59 <sup>ab</sup>	1423,0 ± 35,4 <sup>abc</sup>	163,1 ± 4,4 <sup>ab</sup>	1586 ± 31 <sup>abc</sup>
AM5	58,14 ± 0,57 <sup>a</sup>	2572 ± 25 <sup>ab</sup>	9,454 ± 0,020 <sup>a</sup>	92,02 ± 0,08 <sup>a</sup>	1190 ± 20 <sup>ab</sup>	2726 ± 37 <sup>abc</sup>	1382,0 ± 5,3 <sup>b</sup>	153,9 ± 11,5 <sup>a</sup>	1536 ± 16 <sup>ab</sup>
AV5	58,22 ± 0,66 <sup>a</sup>	2500 ± 12 <sup>a</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,23 ± 0,02 <sup>a</sup>	1180 ± 8 <sup>ab</sup>	2706 ± 15 <sup>a</sup>	1320,3 ± 8,1 <sup>a</sup>	206,0 ± 8,3 <sup>c</sup>	1526 ± 7 <sup>a</sup>
BB5	57,80 ± 0,59 <sup>a</sup>	2551 ± 22 <sup>ab</sup>	9,487 ± 0,019 <sup>a</sup>	92,19 ± 0,09 <sup>ab</sup>	1166 ± 8 <sup>a</sup>	2759 ± 12 <sup>ab</sup>	1385,7 ± 14,6 <sup>b</sup>	208,3 ± 10,0 <sup>c</sup>	1594 ± 5 <sup>bc</sup>
BC5	57,62 ± 0,67 <sup>a</sup>	2617 ± 18 <sup>bc</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,22 ± 0,03 <sup>a</sup>	1168 ± 7 <sup>a</sup>	2794 ± 18 <sup>bc</sup>	1448,3 ± 10,0 <sup>c</sup>	177,4 ± 5,7 <sup>ab</sup>	1626 ± 12 <sup>c</sup>
15 %									
Staal	T <sub>G</sub> (°C)	PV (mPa·s)	Piektijd (min)	T <sub>piek</sub> (°C)	HS (mPa·s)	FV (mPa·s)	BD (mPa·s)	SB <sub>p</sub> (mPa·s)	SB <sub>t</sub> (mPa·s)
Epi B	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>abc</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>a</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>a</sup>	1189 ± 29 <sup>a</sup>	2805 ± 62 <sup>abcde</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>c</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>b</sup>	1617 ± 34 <sup>bcd</sup>
QZ15	58,61 ± 0,58 <sup>a</sup>	2660 ± 15 <sup>c</sup>	9,487 ± 0,019 <sup>a</sup>	92,18 ± 0,10 <sup>a</sup>	1295 ± 7 <sup>cd</sup>	2906 ± 11 <sup>d</sup>	1366,7 ± 19,7 <sup>bc</sup>	245,0 ± 19,9 <sup>c</sup>	1611 ± 5 <sup>cd</sup>
QV15	58,08 ± 0,76 <sup>a</sup>	2553 ± 24 <sup>b</sup>	9,443 ± 0,039 <sup>a</sup>	91,95 ± 0,16 <sup>a</sup>	1236 ± 14 <sup>abc</sup>	2775 ± 28 <sup>bc</sup>	1317,0 ± 15,1 <sup>b</sup>	222,1 ± 8,1 <sup>c</sup>	1539 ± 15 <sup>c</sup>
AM15	58,30 ± 0,95 <sup>a</sup>	2561 ± 19 <sup>b</sup>	9,364 ± 0,058 <sup>a</sup>	91,59 ± 0,28 <sup>a</sup>	1228 ± 10 <sup>ab</sup>	2655 ± 10 <sup>ab</sup>	1333,7 ± 11,2 <sup>b</sup>	94,3 ± 10,9 <sup>a</sup>	1428 ± 1 <sup>ab</sup>
AV15	58,34 ± 0,25 <sup>a</sup>	2425 ± 21 <sup>a</sup>	9,342 ± 0,039 <sup>a</sup>	91,42 ± 0,20 <sup>a</sup>	1213 ± 19 <sup>ab</sup>	2621 ± 33 <sup>a</sup>	1212,3 ± 3,5 <sup>a</sup>	196,2 ± 12,0 <sup>bc</sup>	1409 ± 14 <sup>a</sup>
BB15	79,39 ± 0,53 <sup>b</sup>	2669 ± 26 <sup>c</sup>	9,454 ± 0,020 <sup>a</sup>	92,05 ± 0,09 <sup>a</sup>	1326 ± 28 <sup>d</sup>	2997 ± 15 <sup>e</sup>	1343,3 ± 47,1 <sup>b</sup>	327,4 ± 35,6 <sup>d</sup>	1671 ± 13 <sup>d</sup>
BC15	58,41 ± 0,35 <sup>a</sup>	2680 ± 63 <sup>abc</sup>	9,442 ± 0,020 <sup>a</sup>	91,96 ± 0,12 <sup>a</sup>	1252 ± 29 <sup>bc</sup>	2913 ± 48 <sup>cde</sup>	1428,0 ± 35,5 <sup>c</sup>	233,0 ± 15,0 <sup>c</sup>	1661 ± 20 <sup>d</sup>
30 %									
Staal	T <sub>G</sub> (°C)	PV (mPa·s)	Piektijd (min)	T <sub>piek</sub> (°C)	HS (mPa·s)	FV (mPa·s)	BD (mPa·s)	SB <sub>p</sub> (mPa·s)	SB <sub>t</sub> (mPa·s)
Epi B	58,29 ± 0,36 <sup>a</sup>	2636 ± 69 <sup>bc</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>c</sup>	92,24 ± 0,02 <sup>d</sup>	1189 ± 29 <sup>a</sup>	2805 ± 62 <sup>c</sup>	1446,7 ± 41,7 <sup>f</sup>	169,6 ± 10,3 <sup>c</sup>	1617 ± 34 <sup>c</sup>
QZ30	59,57 ± 0,43 <sup>bc</sup>	2636 ± 25 <sup>c</sup>	9,454 ± 0,020 <sup>c</sup>	92,01 ± 0,11 <sup>c</sup>	1457 ± 36 <sup>b</sup>	3086 ± 31 <sup>d</sup>	1230,3 ± 11,2 <sup>d</sup>	398,7 ± 8,7 <sup>e</sup>	1629 ± 9 <sup>c</sup>
QV30	58,49 ± 0,12 <sup>a</sup>	2687 ± 39 <sup>ab</sup>	9,454 ± 0,020 <sup>c</sup>	92,00 ± 0,08 <sup>c</sup>	1267 ± 1 <sup>ab</sup>	2739 ± 37 <sup>c</sup>	1151,7 ± 37,5 <sup>c</sup>	320,8 ± 1,9 <sup>d</sup>	1473 ± 36 <sup>bc</sup>
AM30	58,71 ± 0,55 <sup>ab</sup>	2419 ± 22 <sup>c</sup>	9,175 ± 0,019 <sup>a</sup>	90,58 ± 0,09 <sup>a</sup>	1265 ± 5 <sup>ab</sup>	2563 ± 9 <sup>b</sup>	1339,7 ± 24,2 <sup>e</sup>	-41,7 ± 14,3 <sup>a</sup>	1298 ± 10 <sup>b</sup>
AV30	58,90 ± 0,32 <sup>abc</sup>	2604 ± 24 <sup>a</sup>	9,297 ± 0,000 <sup>b</sup>	91,23 ± 0,03 <sup>b</sup>	1186 ± 17 <sup>a</sup>	2325 ± 32 <sup>a</sup>	1075,0 ± 8,7 <sup>b</sup>	63,8 ± 10,8 <sup>b</sup>	1139 ± 15 <sup>a</sup>
BB30	59,72 ± 0,27 <sup>c</sup>	2261 ± 34 <sup>d</sup>	9,487 ± 0,019 <sup>c</sup>	92,17 ± 0,11 <sup>cd</sup>	1962 ± 23 <sup>c</sup>	3880 ± 34 <sup>e</sup>	977,4 ± 11,4 <sup>a</sup>	940,7 ± 5,3 <sup>f</sup>	1918 ± 11 <sup>d</sup>
BC30	59,75 ± 0,24 <sup>c</sup>	2939 ± 13 <sup>e</sup>	9,498 ± 0,000 <sup>c</sup>	92,23 ± 0,03 <sup>d</sup>	1899 ± 17 <sup>c</sup>	3898 ± 45 <sup>e</sup>	1278,0 ± 22,5 <sup>de</sup>	721,0 ± 41,2 <sup>f</sup>	1999 ± 30 <sup>d</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar



## Bijlage 7: Overzicht van de farinograafparameters per staal (5, 15 en 30 %) vergeleken met Epi B

	QZ					QV				
	WA (%)	DO-tijd (min)	Stab. (min)	AF10 (BE)	AF12 (BE)	WA (%)	DO-tijd (min)	Stab. (min)	AF10 (BE)	AF12 (BE)
<b>Epi B</b>	57,6 ± 0,1 <sup>a</sup>	5,3 ± 0,8 <sup>a</sup>	13,4 ± 1,3 <sup>c</sup>	20 ± 2 <sup>a</sup>	43 ± 2 <sup>a</sup>	57,6 ± 0,1 <sup>a</sup>	5,3 ± 0,8 <sup>a</sup>	13,4 ± 1,3 <sup>d</sup>	20 ± 2 <sup>a</sup>	43 ± 2 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	57,8 ± 0,2 <sup>a</sup>	6,1 ± 0,4 <sup>a</sup>	12,8 ± 1,0 <sup>c</sup>	16 ± 4 <sup>a</sup>	42 ± 4 <sup>a</sup>	57,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	5,4 ± 0,5 <sup>a</sup>	10,9 ± 0,0 <sup>c</sup>	21 ± 2 <sup>ab</sup>	48 ± 2 <sup>a</sup>
<b>15 %</b>	58,8 ± 0,1 <sup>b</sup>	5,8 ± 0,7 <sup>a</sup>	9,5 ± 0,3 <sup>b</sup>	22 ± 3 <sup>a</sup>	56 ± 3 <sup>b</sup>	59,1 ± 0,2 <sup>b</sup>	6,6 ± 0,3 <sup>a</sup>	8,1 ± 0,2 <sup>b</sup>	26 ± 2 <sup>b</sup>	69 ± 12 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	60,2 ± 0,2 <sup>c</sup>	6,2 ± 0,2 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	43 ± 5 <sup>b</sup>	93 ± 9 <sup>c</sup>	59,8 ± 0,3 <sup>c</sup>	6,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	4,7 ± 0,3 <sup>a</sup>	51 ± 4 <sup>c</sup>	133 ± 33 <sup>a</sup>
	AM					AV				
	WA (%)	DO-tijd (min)	Stab. (min)	AF10 (BE)	AF12 (BE)	WA (%)	DO-tijd (min)	Stab. (min)	AF10 (BE)	AF12 (BE)
<b>Epi B</b>	57,6 ± 0,1 <sup>a</sup>	5,3 ± 0,8 <sup>a</sup>	13,4 ± 1,3 <sup>b</sup>	20 ± 2 <sup>a</sup>	43 ± 2 <sup>a</sup>	57,6 ± 0,1 <sup>a</sup>	5,3 ± 0,8 <sup>a</sup>	13,4 ± 1,3 <sup>d</sup>	20 ± 2 <sup>a</sup>	43 ± 2 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	57,6 ± 0,3 <sup>a</sup>	5,6 ± 1,1 <sup>a</sup>	12,1 ± 0,3 <sup>b</sup>	28 ± 3 <sup>ab</sup>	45 ± 3 <sup>a</sup>	58,4 ± 0,3 <sup>b</sup>	3,9 ± 0,8 <sup>a</sup>	10,4 ± 0,4 <sup>c</sup>	29 ± 3 <sup>ab</sup>	43 ± 1 <sup>a</sup>
<b>15 %</b>	59,2 ± 0,4 <sup>b</sup>	5,1 ± 0,4 <sup>a</sup>	8,5 ± 1,1 <sup>a</sup>	30 ± 4 <sup>b</sup>	41 ± 0 <sup>a</sup>	59,9 ± 0,2 <sup>c</sup>	4,9 ± 0,1 <sup>a</sup>	6,4 ± 0,5 <sup>b</sup>	37 ± 4 <sup>bc</sup>	45 ± 2 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	61,1 ± 0,2 <sup>c</sup>	4,9 ± 0,4 <sup>a</sup>	6,6 ± 0,6 <sup>a</sup>	33 ± 4 <sup>b</sup>	41 ± 4 <sup>a</sup>	63,0 ± 0,1 <sup>d</sup>	4,4 ± 0,6 <sup>a</sup>	3,8 ± 0,2 <sup>a</sup>	46 ± 9 <sup>c</sup>	48 ± 8 <sup>a</sup>
	BB					BC				
Staal	WA (%)	DO-tijd (min)	Stab. (min)	AF10 (BE)	AF12 (BE)	WA (%)	DO-tijd (min)	Stab. (min)	AF10 (BE)	AF12 (BE)
<b>Epi B</b>	57,6 ± 0,1 <sup>c</sup>	5,3 ± 0,8 <sup>a</sup>	13,4 ± 1,3 <sup>c</sup>	20 ± 2 <sup>a</sup>	43 ± 2 <sup>a</sup>	57,6 ± 0,1 <sup>c</sup>	5,3 ± 0,8 <sup>b</sup>	13,4 ± 1,3 <sup>c</sup>	20 ± 2 <sup>a</sup>	43 ± 2 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	57,1 ± 0,2 <sup>bc</sup>	5,2 ± 0,5 <sup>a</sup>	8,5 ± 0,5 <sup>b</sup>	33 ± 2 <sup>b</sup>	58 ± 3 <sup>b</sup>	57,8 ± 0,2 <sup>c</sup>	4,6 ± 0,1 <sup>ab</sup>	6,6 ± 1,1 <sup>b</sup>	51 ± 11 <sup>b</sup>	77 ± 10 <sup>b</sup>
<b>15 %</b>	56,7 ± 0,1 <sup>ab</sup>	4,4 ± 0,2 <sup>a</sup>	4,9 ± 0,3 <sup>a</sup>	58 ± 3 <sup>c</sup>	81 ± 2 <sup>b</sup>	57,1 ± 0,2 <sup>b</sup>	3,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	4,6 ± 0,3 <sup>ab</sup>	66 ± 11 <sup>bc</sup>	91 ± 3 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	56,4 ± 0,4 <sup>a</sup>	4,1 ± 0,1 <sup>a</sup>	4,2 ± 0,5 <sup>a</sup>	75 ± 4 <sup>d</sup>	106 ± 16 <sup>ab</sup>	56,6 ± 0,2 <sup>a</sup>	3,5 ± 0,4 <sup>a</sup>	3,9 ± 0,6 <sup>a</sup>	88 ± 13 <sup>c</sup>	114 ± 5 <sup>c</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

WA: waterabsorptie (%); DO-tijd: deegontwikkelingstijd (min); Stab.: stabiliteit (min); AF10: Afzwakking 10 min na start (BE); AF12: Afzwakking 12 min na max (BE)

## **Bijlage 8: Overzicht van de waterabsorpties van de farinograaf per staal (5, 15 en 30 %) vergeleken met Epi B**

	WA (%)			
	5 %	15 %	30 %	100 %
<b>Epi B</b>	-	-	-	57,4
<b>AM</b>	57,4	59,0	61,0	-
<b>AV</b>	58,6	59,8	63,0	-
<b>BB</b>	57,4	56,9	56,2	-
<b>BC</b>	57,8	57,0	56,8	-
<b>QZ</b>	57,4	58,4	59,8	-
<b>QV</b>	57,0	59,3	59,9	-

WA: waterabsorptie van de farinograaf

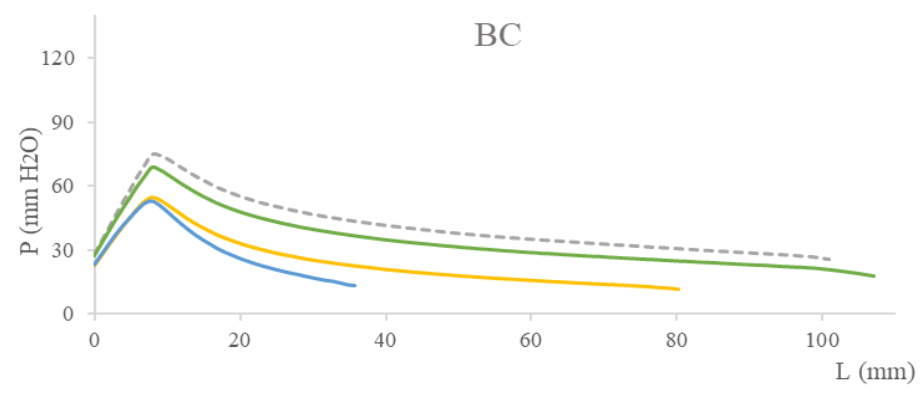
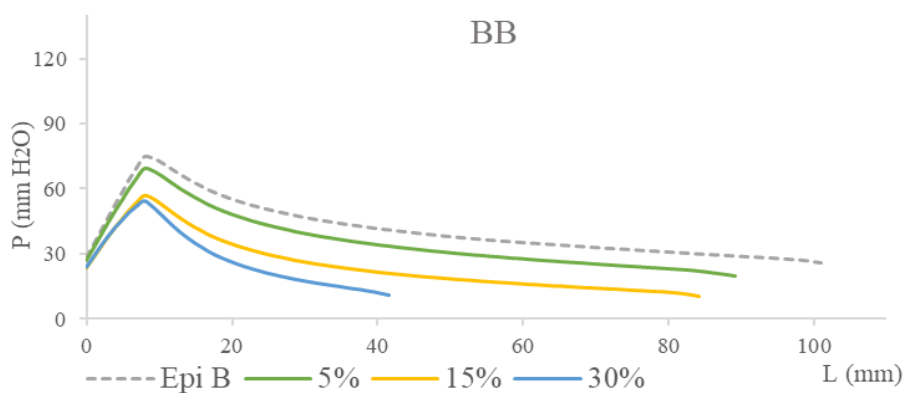
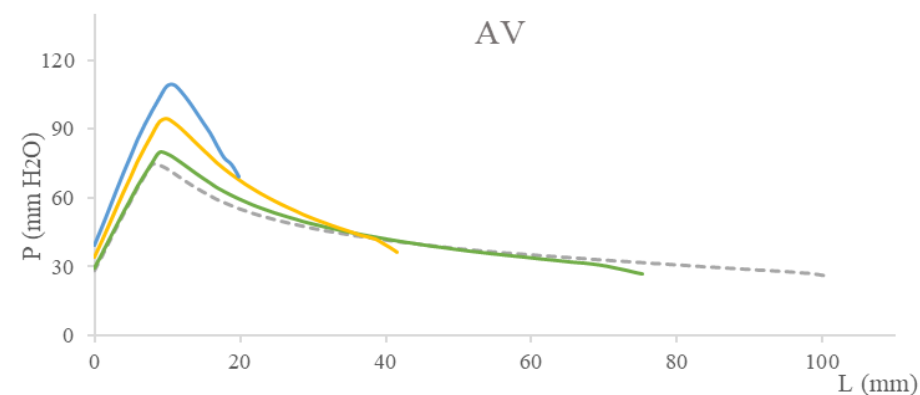
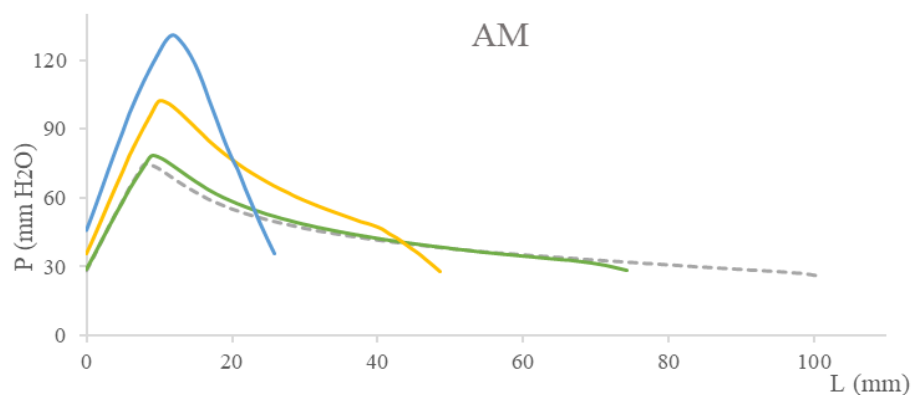
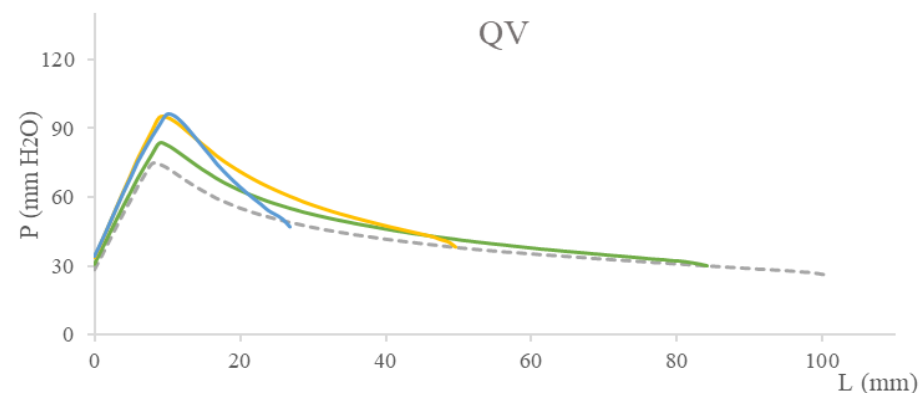
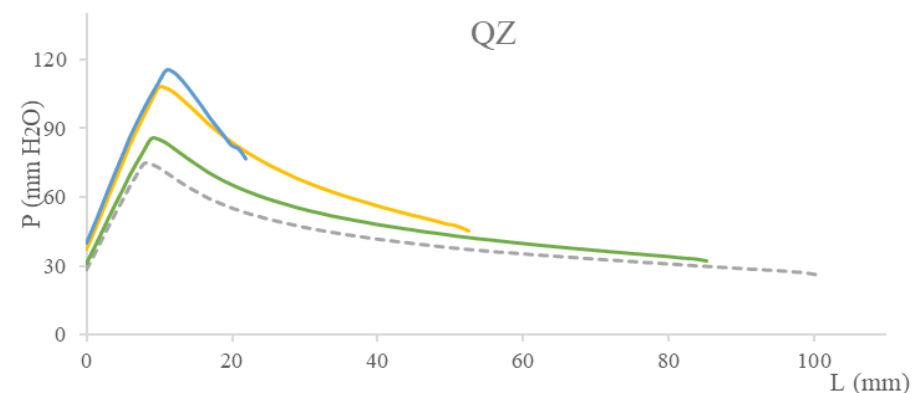
**Bijlage 9: Overzicht van de alveograafparameters per innengpercentage (5, 15 en 30 %) van de stalen vergeleken met Epi B**

<b>30 %</b>					
<b>Staal</b>	<b>P (mm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>W (10<sup>-4</sup> J)</b>	<b>P/L (/)</b>	<b>I<sub>e</sub> (%)</b>
<b>Epi B</b>	75 ± 1 <sup>b</sup>	101 ± 4 <sup>d</sup>	249 ± 12 <sup>d</sup>	0,74 ± 0,02 <sup>a</sup>	55,8 ± 0,9
<b>QZ30</b>	116 ± 4 <sup>d</sup>	22 ± 1 <sup>a</sup>	117 ± 4 <sup>bc</sup>	5,18 ± 0,25 <sup>d</sup>	-
<b>QV30</b>	96 ± 4 <sup>bc</sup>	27 ± 2 <sup>ac</sup>	112 ± 10 <sup>b</sup>	3,51 ± 0,09 <sup>c</sup>	-
<b>AM30</b>	132 ± 3 <sup>e</sup>	26 ± 4 <sup>ab</sup>	134 ± 5 <sup>c</sup>	5,10 ± 0,91 <sup>abcd</sup>	-
<b>AV30</b>	110 ± 5 <sup>cd</sup>	20 ± 1 <sup>a</sup>	101 ± 6 <sup>b</sup>	5,39 ± 0,23 <sup>d</sup>	-
<b>BB30</b>	54 ± 1 <sup>a</sup>	42 ± 4 <sup>bc</sup>	70 ± 2 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,12 <sup>ab</sup>	-
<b>BC30</b>	54 ± 2 <sup>a</sup>	36 ± 2 <sup>b</sup>	64 ± 3 <sup>a</sup>	1,51 ± 0,13 <sup>b</sup>	-
<b>15 %</b>					
<b>Staal</b>	<b>P (mm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>W (10<sup>-4</sup> J)</b>	<b>P/L (/)</b>	<b>I<sub>e</sub> (%)</b>
<b>Epi B</b>	75 ± 1 <sup>b</sup>	101 ± 4 <sup>d</sup>	249 ± 12 <sup>e</sup>	0,74 ± 0,02 <sup>ab</sup>	55,8 ± 0,9 <sup>c</sup>
<b>QZ15</b>	108 ± 4 <sup>c</sup>	53 ± 1 <sup>b</sup>	220 ± 9 <sup>d</sup>	2,05 ± 0,11 <sup>c</sup>	52,3 ± 0,3 <sup>c</sup>
<b>QV15</b>	95 ± 3 <sup>c</sup>	50 ± 50 <sup>b</sup>	187 ± 182 <sup>c</sup>	1,96 ± 1,92 <sup>c</sup>	49,4 ± 50,1 <sup>b</sup>
<b>AM15</b>	102 ± 4 <sup>c</sup>	41 ± 1 <sup>a</sup>	169 ± 3 <sup>bc</sup>	2,49 ± 0,15 <sup>c</sup>	46,9 ± 1,1 <sup>b</sup>
<b>AV15</b>	95 ± 4 <sup>bc</sup>	42 ± 4 <sup>ab</sup>	153 ± 3 <sup>b</sup>	2,29 ± 0,29 <sup>bc</sup>	-
<b>BB15</b>	57 ± 1 <sup>a</sup>	84 ± 5 <sup>cd</sup>	126 ± 3 <sup>a</sup>	0,68 ± 0,05 <sup>a</sup>	38,0 ± 0,4 <sup>a</sup>
<b>BC15</b>	55 ± 2 <sup>a</sup>	80 ± 4 <sup>c</sup>	119 ± 9 <sup>a</sup>	0,69 ± 0,02 <sup>ab</sup>	38,4 ± 1,5 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>					
<b>Staal</b>	<b>P (mm H<sub>2</sub>O)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>W (10<sup>-4</sup> J)</b>	<b>P/L (/)</b>	<b>I<sub>e</sub> (%)</b>
<b>Epi B</b>	75 ± 1 <sup>bc</sup>	101 ± 4 <sup>bc</sup>	249 ± 12 <sup>cd</sup>	0,74 ± 0,02 <sup>ab</sup>	55,8 ± 0,9 <sup>cd</sup>
<b>QZ5</b>	85 ± 3 <sup>d</sup>	85 ± 1 <sup>ab</sup>	253 ± 12 <sup>d</sup>	1,00 ± 0,03 <sup>cd</sup>	56,6 ± 0,4 <sup>d</sup>
<b>QV5</b>	85 ± 2 <sup>d</sup>	84 ± 4 <sup>ab</sup>	245 ± 13 <sup>bcd</sup>	1,01 ± 0,05 <sup>cd</sup>	55,3 ± 0,6 <sup>cd</sup>
<b>AM5</b>	78 ± 2 <sup>cd</sup>	78 ± 10 <sup>a</sup>	213 ± 19 <sup>abc</sup>	1,02 ± 0,14 <sup>ad</sup>	54,5 ± 0,4 <sup>bc</sup>
<b>AV5</b>	80 ± 4 <sup>cd</sup>	75 ± 6 <sup>a</sup>	208 ± 16 <sup>ab</sup>	1,08 ± 0,10 <sup>bd</sup>	53,1 ± 0,8 <sup>b</sup>
<b>BB5</b>	70 ± 3 <sup>ab</sup>	89 ± 6 <sup>ab</sup>	191 ± 10 <sup>a</sup>	0,79 ± 0,08 <sup>abc</sup>	48,9 ± 1,0 <sup>a</sup>
<b>BC5</b>	67 ± 2 <sup>a</sup>	107 ± 9 <sup>c</sup>	212 ± 11 <sup>abc</sup>	0,63 ± 0,06 <sup>a</sup>	50,8 ± 0,7 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar.

I<sub>e</sub> is niet te berekenen bij 30 % innenging van de stalen

**Bijlage 10: De visco-elastische eigenschappen per staal (5, 15 en 30 %) vergeleken met Epi B, opgemeten met de alveograaf**



## Bijlage 11: Overzicht van de alveograafparameters per staal (5, 15 en 30 %) vergeleken met Epi B

	QZ					QV				
Staal	P (mm H2O)	L (mm)	W (10e-4 J)	P/L (/)	Ie (%)	P (mm H2O)	L (mm)	W (10e-4 J)	P/L (/)	Ie (%)
<b>Epi B</b>	75 ± 1 <sup>a</sup>	101 ± 4 <sup>d</sup>	249 ± 12 <sup>c</sup>	0,74 ± 0,02 <sup>a</sup>	55,8 ± 0,9 <sup>b</sup>	75 ± 1 <sup>a</sup>	101 ± 4 <sup>d</sup>	249 ± 12 <sup>c</sup>	0,74 ± 0,02 <sup>a</sup>	55,8 ± 0,9 <sup>b</sup>
<b>5 %</b>	85 ± 3 <sup>b</sup>	85 ± 1 <sup>c</sup>	253 ± 12 <sup>c</sup>	1,00 ± 0,03 <sup>b</sup>	56,6 ± 0,4 <sup>b</sup>	85 ± 2 <sup>b</sup>	84 ± 4 <sup>c</sup>	245 ± 13 <sup>c</sup>	1,01 ± 0,05 <sup>b</sup>	55,3 ± 0,6 <sup>b</sup>
<b>15 %</b>	108 ± 4 <sup>c</sup>	53 ± 1 <sup>b</sup>	220 ± 9 <sup>b</sup>	2,05 ± 0,11 <sup>c</sup>	52,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	95 ± 3 <sup>c</sup>	50 ± 1 <sup>b</sup>	182 ± 6 <sup>b</sup>	1,92 ± 0,05 <sup>c</sup>	50,1 ± 0,6 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	116 ± 4 <sup>c</sup>	22 ± 1 <sup>a</sup>	117 ± 4 <sup>a</sup>	5,18 ± 0,25 <sup>d</sup>	-	96 ± 4 <sup>bc</sup>	27 ± 2 <sup>a</sup>	112 ± 10 <sup>a</sup>	3,51 ± 0,09 <sup>d</sup>	-
	AM					AV				
Staal	P (mm H2O)	L (mm)	W (10e-4 J)	P/L (/)	Ie (%)	P (mm H2O)	L (mm)	W (10e-4 J)	P/L (/)	Ie (%)
<b>Epi B</b>	75 ± 1 <sup>a</sup>	101 ± 4 <sup>c</sup>	249 ± 12 <sup>d</sup>	0,74 ± 0,02 <sup>a</sup>	55,8 ± 0,9 <sup>b</sup>	75 ± 1 <sup>a</sup>	101 ± 4 <sup>d</sup>	249 ± 12 <sup>d</sup>	0,74 ± 0,02 <sup>a</sup>	55,8 ± 0,9
<b>5 %</b>	78 ± 2 <sup>a</sup>	78 ± 10 <sup>bc</sup>	213 ± 19 <sup>c</sup>	1,02 ± 0,14 <sup>a</sup>	54,5 ± 0,4 <sup>b</sup>	80 ± 4 <sup>a</sup>	75 ± 6 <sup>c</sup>	208 ± 16 <sup>c</sup>	1,08 ± 0,10 <sup>a</sup>	53,1 ± 0,8
<b>15 %</b>	102 ± 4 <sup>b</sup>	41 ± 1 <sup>ab</sup>	169 ± 3 <sup>b</sup>	2,49 ± 0,15 <sup>b</sup>	46,9 ± 1,1 <sup>a</sup>	95 ± 4 <sup>b</sup>	42 ± 4 <sup>b</sup>	153 ± 3 <sup>b</sup>	2,29 ± 0,29 <sup>b</sup>	-
<b>30 %</b>	132 ± 3 <sup>c</sup>	26 ± 4 <sup>a</sup>	134 ± 5 <sup>a</sup>	5,10 ± 0,91 <sup>b</sup>	-	110 ± 5 <sup>c</sup>	20 ± 1 <sup>a</sup>	101 ± 6 <sup>a</sup>	5,39 ± 0,23 <sup>c</sup>	-
	BB					BC				
Staal	P (mm H2O)	L (mm)	W (10e-4 J)	P/L (/)	Ie (%)	P (mm H2O)	L (mm)	W (10e-4 J)	P/L (/)	Ie (%)
<b>Epi B</b>	75 ± 1 <sup>c</sup>	101 ± 4 <sup>c</sup>	249 ± 12 <sup>d</sup>	0,74 ± 0,02 <sup>a</sup>	55,8 ± 0,9 <sup>c</sup>	75 ± 1 <sup>c</sup>	101 ± 4 <sup>c</sup>	249 ± 12 <sup>d</sup>	0,74 ± 0,02 <sup>a</sup>	55,8 ± 0,9 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	70 ± 3 <sup>b</sup>	89 ± 6 <sup>bc</sup>	191 ± 10 <sup>c</sup>	0,79 ± 0,08 <sup>a</sup>	48,9 ± 1,0 <sup>b</sup>	67 ± 2 <sup>b</sup>	107 ± 9 <sup>c</sup>	212 ± 11 <sup>c</sup>	0,63 ± 0,06 <sup>a</sup>	50,8 ± 0,7 <sup>b</sup>
<b>15 %</b>	57 ± 1 <sup>a</sup>	84 ± 5 <sup>b</sup>	126 ± 3 <sup>b</sup>	0,68 ± 0,05 <sup>a</sup>	38,0 ± 0,4 <sup>a</sup>	55 ± 2 <sup>a</sup>	80 ± 4 <sup>b</sup>	119 ± 9 <sup>b</sup>	0,69 ± 0,02 <sup>a</sup>	38,4 ± 1,5 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	54 ± 1 <sup>a</sup>	42 ± 4 <sup>a</sup>	70 ± 2 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,12 <sup>b</sup>	-	54 ± 2 <sup>a</sup>	36 ± 2 <sup>a</sup>	64 ± 3 <sup>a</sup>	1,51 ± 0,13 <sup>b</sup>	-

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

Ie is niet te berekenen bij 30 %

**Bijlage 12: Overzicht van de ovenrijs en *bake loss* per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

	<b>Ovenrijs (mm)</b>					
	<b>QZ</b>	<b>QV</b>	<b>AM</b>	<b>AV</b>	<b>BB</b>	<b>BC</b>
<b>Epi B</b>	14,0 ± 1,8 <sup>d</sup>	16,3 ± 1,0 <sup>d</sup>	9,4 ± 6,2 <sup>abc</sup>	15,5 ± 2,2 <sup>d</sup>	18,3 ± 0,0 <sup>d</sup>	19,0 ± 0,6 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	8,7 ± 1,2 <sup>c</sup>	11,3 ± 1,8 <sup>c</sup>	9,3 ± 2,5 <sup>c</sup>	9,5 ± 1,6 <sup>c</sup>	13,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	14,5 ± 5,0 <sup>bc</sup>
<b>15 %</b>	4,7 ± 1,8 <sup>b</sup>	2,8 ± 1,5 <sup>b</sup>	4,6 ± 1,9 <sup>b</sup>	0,8 ± 0,8 <sup>b</sup>	5,8 ± 0,0 <sup>b</sup>	6,8 ± 1,0 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	2,5 ± 2,1 <sup>ab</sup>	-1,5 ± 1,9 <sup>a</sup>	2,0 ± 3,3 <sup>ab</sup>	-8,7 ± 1,0 <sup>a</sup>	-1,8 ± 0,0 <sup>a</sup>	-1,5 ± 1,8 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,5 ± 0,8 <sup>a</sup>	0,5 ± 2,3 <sup>ab</sup>	0,9 ± 1,5 <sup>a</sup>	-6,3 ± 3,1 <sup>a</sup>	2,5 ± 0,0 <sup>ab</sup>	0,2 ± 1,2 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

	<b><i>Bake loss</i> (%)</b>					
	<b>QZ</b>	<b>QV</b>	<b>AM</b>	<b>AV</b>	<b>BB</b>	<b>BC</b>
<b>Epi B</b>	17,1 ± 0,2 <sup>d</sup>	17,4 ± 0,3 <sup>c</sup>	16,5 ± 0,3 <sup>c</sup>	17,2 ± 0,3 <sup>c</sup>	17,0 ± 0,0 <sup>c</sup>	17,4 ± 0,4 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	16,2 ± 0,4 <sup>c</sup>	16,9 ± 0,2 <sup>c</sup>	16,7 ± 0,6 <sup>c</sup>	17,1 ± 0,3 <sup>c</sup>	17,1 ± 0,0 <sup>c</sup>	17,3 ± 0,4 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	14,9 ± 0,3 <sup>b</sup>	15,1 ± 0,3 <sup>b</sup>	15,8 ± 0,3 <sup>b</sup>	15,9 ± 0,3 <sup>b</sup>	16,1 ± 0,0 <sup>b</sup>	16,3 ± 0,3 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	13,7 ± 0,3 <sup>a</sup>	13,9 ± 0,3 <sup>a</sup>	14,2 ± 0,3 <sup>a</sup>	14,5 ± 0,3 <sup>a</sup>	14,0 ± 0,0 <sup>a</sup>	14,1 ± 0,3 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	13,9 ± 0,2 <sup>a</sup>	13,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	14,3 ± 0,3 <sup>a</sup>	14,6 ± 0,9 <sup>a</sup>	14,1 ± 0,0 <sup>a</sup>	13,9 ± 0,3 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

**Bijlage 13: Overzicht van het gewicht, gemiddeld volume en specifiek volume per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

	<b>QZ</b>			<b>QV</b>		
	<b>gewicht (g)</b>	<b>gem vol (ml)</b>	<b>spec vol (ml/g)</b>	<b>gewicht (g)</b>	<b>gem vol (ml)</b>	<b>spec vol (ml/g)</b>
<b>Epi B</b>	330 ± 1 <sup>a</sup>	1280 ± 28 <sup>d</sup>	3,87 ± 0,08 <sup>d</sup>	329 ± 1 <sup>a</sup>	1341 ± 26 <sup>c</sup>	4,07 ± 0,09 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	334 ± 2 <sup>b</sup>	1214 ± 27 <sup>c</sup>	3,64 ± 0,09 <sup>c</sup>	331 ± 1 <sup>a</sup>	1315 ± 30 <sup>c</sup>	3,97 ± 0,10 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	339 ± 1 <sup>c</sup>	1080 ± 16 <sup>b</sup>	3,19 ± 0,06 <sup>b</sup>	338 ± 2 <sup>b</sup>	1108 ± 21 <sup>b</sup>	3,28 ± 0,07 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	344 ± 1 <sup>d</sup>	872 ± 12 <sup>a</sup>	2,54 ± 0,03 <sup>a</sup>	342 ± 2 <sup>c</sup>	877 ± 21 <sup>a</sup>	2,57 ± 0,06 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	343 ± 1 <sup>d</sup>	885 ± 18 <sup>a</sup>	2,58 ± 0,05 <sup>a</sup>	344 ± 3 <sup>c</sup>	876 ± 54 <sup>a</sup>	2,61 ± 0,04 <sup>a</sup>
	<b>AM</b>			<b>AV</b>		
	<b>gewicht (g)</b>	<b>gem vol (ml)</b>	<b>spec vol (ml/g)</b>	<b>gewicht (g)</b>	<b>gem vol (ml)</b>	<b>spec vol (ml/g)</b>
<b>Epi B</b>	333 ± 1 <sup>a</sup>	1365 ± 59 <sup>c</sup>	4,11 ± 0,19 <sup>c</sup>	330 ± 2 <sup>a</sup>	1350 ± 31 <sup>c</sup>	4,09 ± 0,08 <sup>d</sup>
<b>5 %</b>	332 ± 2 <sup>a</sup>	1301 ± 22 <sup>c</sup>	3,92 ± 0,06 <sup>c</sup>	330 ± 1 <sup>a</sup>	1315 ± 16 <sup>d</sup>	3,98 ± 0,04 <sup>d</sup>
<b>15 %</b>	336 ± 1 <sup>b</sup>	1128 ± 10 <sup>b</sup>	3,36 ± 0,04 <sup>b</sup>	335 ± 1 <sup>b</sup>	1158 ± 4 <sup>c</sup>	3,46 ± 0,02 <sup>c</sup>
<b>30 %</b>	342 ± 1 <sup>c</sup>	878 ± 25 <sup>a</sup>	2,57 ± 0,08 <sup>a</sup>	340 ± 1 <sup>c</sup>	898 ± 13 <sup>b</sup>	2,64 ± 0,04 <sup>b</sup>
<b>30 % + mout</b>	341 ± 1 <sup>c</sup>	884 ± 18 <sup>a</sup>	2,59 ± 0,05 <sup>a</sup>	337 ± 5 <sup>abc</sup>	853 ± 22 <sup>a</sup>	2,53 ± 0,06 <sup>a</sup>
	<b>BB</b>			<b>BC</b>		
<b>Staal</b>	<b>gewicht (g)</b>	<b>gem vol (ml)</b>	<b>spec vol (ml/g)</b>	<b>gewicht (g)</b>	<b>gem vol (ml)</b>	<b>spec vol (ml/g)</b>
<b>Epi B</b>	331 ± 2 <sup>a</sup>	1340 ± 30 <sup>c</sup>	4,04 ± 0,09 <sup>c</sup>	329 ± 1 <sup>a</sup>	1347 ± 14 <sup>c</sup>	4,09 ± 0,05 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	330 ± 2 <sup>a</sup>	1341 ± 19 <sup>c</sup>	4,06 ± 0,06 <sup>c</sup>	329 ± 2 <sup>a</sup>	1334 ± 14 <sup>c</sup>	4,05 ± 0,04 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	334 ± 1 <sup>b</sup>	1188 ± 23 <sup>b</sup>	3,55 ± 0,06 <sup>b</sup>	334 ± 2 <sup>b</sup>	1203 ± 9 <sup>b</sup>	3,60 ± 0,02 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	342 ± 1 <sup>c</sup>	949 ± 16 <sup>a</sup>	2,77 ± 0,05 <sup>a</sup>	342 ± 1 <sup>c</sup>	939 ± 40 <sup>a</sup>	2,74 ± 0,12 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	342 ± 1 <sup>c</sup>	953 ± 13 <sup>a</sup>	2,79 ± 0,04 <sup>a</sup>	343 ± 1 <sup>c</sup>	956 ± 11 <sup>a</sup>	2,79 ± 0,03 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

**Bijlage 14: Overzicht van de *surface browning* per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

	<i>Surface browning</i>					
	<b>QZ</b>	<b>QV</b>	<b>AM</b>	<b>AV</b>	<b>BB</b>	<b>BC</b>
<b>Epi B</b>	38,75 ± 1,02 <sup>a</sup>	42,06 ± 1,76 <sup>a</sup>	43,11 ± 1,29 <sup>ab</sup>	40,19 ± 1,13 <sup>a</sup>	44,05 ± 0,41 <sup>a</sup>	44,55 ± 1,21 <sup>ab</sup>
<b>5%</b>	44,11 ± 0,52 <sup>b</sup>	45,17 ± 0,56 <sup>b</sup>	41,53 ± 1,12 <sup>a</sup>	44,06 ± 1,42 <sup>b</sup>	45,64 ± 0,72 <sup>c</sup>	44,91 ± 1,06 <sup>ab</sup>
<b>15%</b>	52,20 ± 0,69 <sup>c</sup>	50,03 ± 0,82 <sup>c</sup>	43,17 ± 0,98 <sup>b</sup>	45,25 ± 0,73 <sup>b</sup>	44,24 ± 2,74 <sup>abc</sup>	43,97 ± 1,36 <sup>a</sup>
<b>30%</b>	52,54 ± 0,42 <sup>c</sup>	50,39 ± 0,93 <sup>cd</sup>	43,34 ± 0,48 <sup>b</sup>	50,05 ± 0,74 <sup>c</sup>	44,33 ± 0,62 <sup>ab</sup>	45,65 ± 0,33 <sup>b</sup>
<b>30 % + mout</b>	52,72 ± 0,09 <sup>c</sup>	51,38 ± 0,85 <sup>d</sup>	45,42 ± 0,30 <sup>c</sup>	50,46 ± 0,56 <sup>c</sup>	45,03 ± 0,59 <sup>bc</sup>	45,63 ± 0,85 <sup>ab</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

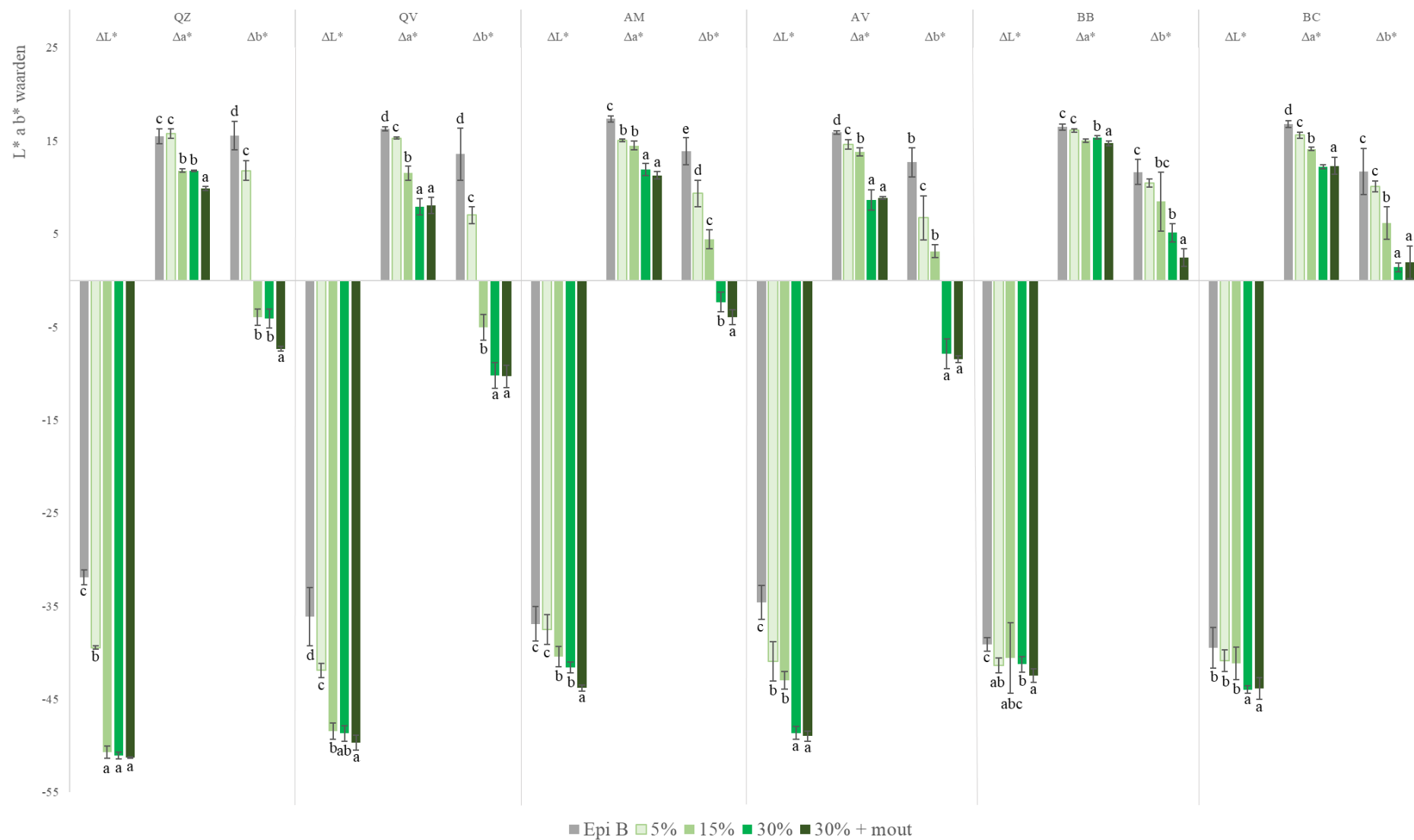


**Bijlage 15: Overzicht van de individuele  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  en  $\Delta b^*$  van de *surface browning* per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

Staal	QZ			QV			AM			AV			BB			BC		
	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$
<b>Epi B</b>	-31,91 ± 0,79 <sup>c</sup>	15,46 ± 0,81 <sup>c</sup>	15,55 ± 1,52 <sup>d</sup>	-36,16 ± 3,13 <sup>d</sup>	16,30 ± 0,24 <sup>d</sup>	13,56 ± 2,77 <sup>d</sup>	-36,90 ± 1,85 <sup>c</sup>	17,35 ± 0,31 <sup>c</sup>	13,86 ± 1,47 <sup>c</sup>	-34,61 ± 1,80 <sup>c</sup>	15,89 ± 0,21 <sup>d</sup>	12,68 ± 1,57 <sup>d</sup>	-39,12 ± 0,71 <sup>c</sup>	16,48 ± 0,31 <sup>c</sup>	11,65 ± 1,34 <sup>c</sup>	-39,47 ± 2,16 <sup>b</sup>	16,79 ± 0,39 <sup>d</sup>	11,68 ± 2,49 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	-39,44 ± 0,17 <sup>b</sup>	15,79 ± 0,50 <sup>c</sup>	11,80 ± 1,02 <sup>c</sup>	-41,91 ± 0,77 <sup>c</sup>	15,30 ± 0,12 <sup>c</sup>	7,01 ± 0,92 <sup>c</sup>	-37,52 ± 1,62 <sup>c</sup>	15,06 ± 0,13 <sup>b</sup>	9,36 ± 1,43 <sup>d</sup>	-40,93 ± 2,13 <sup>b</sup>	14,60 ± 0,52 <sup>c</sup>	6,72 ± 2,38 <sup>c</sup>	-41,38 ± 0,81 <sup>ab</sup>	16,13 ± 0,18 <sup>c</sup>	10,49 ± 0,43 <sup>c</sup>	-40,88 ± 1,17 <sup>b</sup>	15,59 ± 0,35 <sup>c</sup>	10,11 ± 0,58 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	-50,70 ± 0,68 <sup>a</sup>	11,79 ± 0,18 <sup>b</sup>	-3,95 ± 0,88 <sup>b</sup>	-48,40 ± 0,87 <sup>b</sup>	11,52 ± 0,74 <sup>b</sup>	-5,07 ± 1,38 <sup>b</sup>	-40,40 ± 1,11 <sup>b</sup>	14,50 ± 0,50 <sup>b</sup>	4,42 ± 1,04 <sup>c</sup>	-42,97 ± 0,95 <sup>b</sup>	13,80 ± 0,41 <sup>b</sup>	3,14 ± 0,70 <sup>b</sup>	-40,56 ± 3,78 <sup>abc</sup>	15,02 ± 0,19 <sup>a</sup>	8,46 ± 3,16 <sup>bc</sup>	-41,13 ± 1,76 <sup>b</sup>	14,13 ± 0,20 <sup>b</sup>	6,13 ± 1,74 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	-51,04 ± 0,36 <sup>a</sup>	11,75 ± 0,09 <sup>b</sup>	-4,08 ± 1,02 <sup>b</sup>	-48,68 ± 0,82 <sup>ab</sup>	7,91 ± 0,89 <sup>a</sup>	-10,24 ± 1,39 <sup>a</sup>	-41,59 ± 0,61 <sup>b</sup>	11,92 ± 0,67 <sup>a</sup>	-2,33 ± 1,05 <sup>b</sup>	-48,63 ± 0,67 <sup>a</sup>	8,64 ± 1,10 <sup>a</sup>	-7,90 ± 1,61 <sup>a</sup>	-41,25 ± 0,82 <sup>b</sup>	15,37 ± 0,17 <sup>b</sup>	5,11 ± 0,98 <sup>b</sup>	-43,96 ± 0,42 <sup>a</sup>	12,22 ± 0,23 <sup>a</sup>	1,41 ± 0,45 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	-51,26 ± 0,09 <sup>a</sup>	9,87 ± 0,19 <sup>a</sup>	-7,35 ± 0,26 <sup>a</sup>	-49,66 ± 0,80 <sup>a</sup>	8,08 ± 0,86 <sup>a</sup>	-10,32 ± 1,18 <sup>a</sup>	-43,81 ± 0,33 <sup>a</sup>	11,29 ± 0,39 <sup>a</sup>	-3,97 ± 0,78 <sup>a</sup>	-48,95 ± 0,54 <sup>a</sup>	8,86 ± 0,12 <sup>a</sup>	-8,46 ± 0,38 <sup>a</sup>	-42,47 ± 0,74 <sup>a</sup>	14,73 ± 0,25 <sup>a</sup>	2,45 ± 0,95 <sup>a</sup>	-43,85 ± 1,18 <sup>a</sup>	12,30 ± 0,92 <sup>a</sup>	1,92 ± 1,74 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

**Bijlage 16: De individuele  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  en  $\Delta b^*$  van de *surface browning* per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**



## Bijlage 17: Overzicht van de korstkleur per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B

Staal	QZ			QV			AM			AV			BB			BC		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
<b>Epi B</b>	54,02 ± 0,79 <sup>d</sup>	17,11 ± 0,81 <sup>c</sup>	34,28 ± 1,52 <sup>d</sup>	49,99 ± 3,13 <sup>d</sup>	17,98 ± 0,24 <sup>d</sup>	31,52 ± 2,77 <sup>d</sup>	48,95 ± 1,85 <sup>d</sup>	18,72 ± 0,31 <sup>c</sup>	32,18 ± 1,47 <sup>e</sup>	51,12 ± 1,80 <sup>c</sup>	17,59 ± 0,21 <sup>c</sup>	32,51 ± 1,57 <sup>c</sup>	47,13 ± 0,71 <sup>d</sup>	17,98 ± 0,31 <sup>c</sup>	29,40 ± 1,34 <sup>c</sup>	46,35 ± 2,16 <sup>c</sup>	18,44 ± 0,39 <sup>d</sup>	29,79 ± 2,49 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	47,18 ± 0,17 <sup>c</sup>	17,44 ± 0,50 <sup>c</sup>	29,63 ± 1,02 <sup>c</sup>	44,23 ± 0,77 <sup>c</sup>	16,77 ± 0,12 <sup>c</sup>	24,95 ± 0,92 <sup>c</sup>	47,24 ± 1,62 <sup>d</sup>	16,94 ± 0,13 <sup>b</sup>	28,65 ± 1,43 <sup>d</sup>	44,04 ± 2,13 <sup>b</sup>	16,33 ± 0,52 <sup>b</sup>	25,22 ± 2,38 <sup>b</sup>	44,86 ± 0,81 <sup>c</sup>	17,62 ± 0,18 <sup>c</sup>	28,18 ± 0,43 <sup>c</sup>	45,13 ± 1,17 <sup>c</sup>	17,46 ± 0,35 <sup>c</sup>	27,59 ± 0,58 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	34,69 ± 0,68 <sup>b</sup>	13,55 ± 0,18 <sup>b</sup>	14,48 ± 0,88 <sup>b</sup>	35,64 ± 0,87 <sup>b</sup>	13,30 ± 0,74 <sup>b</sup>	14,30 ± 1,38 <sup>b</sup>	43,10 ± 1,11 <sup>c</sup>	16,79 ± 0,50 <sup>b</sup>	24,48 ± 1,04 <sup>c</sup>	41,58 ± 0,95 <sup>b</sup>	15,86 ± 0,41 <sup>b</sup>	22,53 ± 0,70 <sup>b</sup>	43,59 ± 3,78 <sup>bcd</sup>	16,57 ± 0,19 <sup>a</sup>	25,78 ± 3,16 <sup>bc</sup>	42,02 ± 1,76 <sup>b</sup>	16,79 ± 0,20 <sup>b</sup>	24,04 ± 1,74 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	34,35 ± 0,36 <sup>b</sup>	13,41 ± 0,09 <sup>b</sup>	14,32 ± 1,02 <sup>b</sup>	31,93 ± 0,82 <sup>a</sup>	9,66 ± 0,89 <sup>a</sup>	9,50 ± 1,39 <sup>a</sup>	39,07 ± 0,61 <sup>b</sup>	14,95 ± 0,67 <sup>a</sup>	19,25 ± 1,05 <sup>b</sup>	33,83 ± 0,67 <sup>a</sup>	11,18 ± 1,10 <sup>a</sup>	12,45 ± 1,61 <sup>a</sup>	40,27 ± 0,82 <sup>b</sup>	16,92 ± 0,17 <sup>b</sup>	22,81 ± 0,98 <sup>b</sup>	37,47 ± 0,42 <sup>a</sup>	15,59 ± 0,23 <sup>a</sup>	18,60 ± 0,45 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	32,86 ± 0,09 <sup>a</sup>	11,80 ± 0,19 <sup>a</sup>	12,33 ± 0,26 <sup>a</sup>	31,19 ± 0,80 <sup>a</sup>	9,80 ± 0,86 <sup>a</sup>	9,72 ± 1,18 <sup>a</sup>	37,56 ± 0,33 <sup>a</sup>	14,16 ± 0,39 <sup>a</sup>	17,16 ± 0,78 <sup>a</sup>	33,08 ± 0,54 <sup>a</sup>	11,63 ± 0,12 <sup>a</sup>	12,74 ± 0,38 <sup>a</sup>	38,81 ± 0,74 <sup>a</sup>	16,52 ± 0,25 <sup>a</sup>	20,38 ± 0,95 <sup>a</sup>	37,87 ± 1,18 <sup>a</sup>	15,87 ± 0,92 <sup>ab</sup>	19,15 ± 1,74 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

## Bijlage 18: Overzicht van de kruimkleur per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B

Staal	QZ			QV			AM			AV			BB			BC		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
<b>Epi B</b>	71,05 ± 1,74 <sup>b</sup>	0,18 ± 0,07 <sup>a</sup>	14,17 ± 0,17 <sup>a</sup>	70,05 ± 0,78 <sup>c</sup>	0,07 ± 0,03 <sup>a</sup>	13,72 ± 1,12 <sup>a</sup>	69,53 ± 0,85 <sup>c</sup>	-0,04 ± 0,09 <sup>a</sup>	13,06 ± 0,59 <sup>a</sup>	69,91 ± 1,10 <sup>b</sup>	0,19 ± 0,23 <sup>a</sup>	13,99 ± 0,98 <sup>a</sup>	68,62 ± 1,13 <sup>b</sup>	0,11 ± 0,11 <sup>a</sup>	13,80 ± 0,43 <sup>a</sup>	70,72 ± 1,02 <sup>e</sup>	0,14 ± 0,15 <sup>a</sup>	14,39 ± 0,81 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	69,75 ± 1,01 <sup>ab</sup>	0,35 ± 0,08 <sup>b</sup>	15,59 ± 0,15 <sup>b</sup>	71,10 ± 1,47 <sup>c</sup>	0,10 ± 0,06 <sup>a</sup>	15,22 ± 0,56 <sup>b</sup>	69,71 ± 3,12 <sup>bc</sup>	0,57 ± 0,10 <sup>b</sup>	15,93 ± 0,90 <sup>b</sup>	67,93 ± 2,02 <sup>b</sup>	0,42 ± 0,07 <sup>a</sup>	15,05 ± 0,48 <sup>a</sup>	68,37 ± 0,42 <sup>b</sup>	0,22 ± 0,02 <sup>a</sup>	14,08 ± 0,87 <sup>a</sup>	67,79 ± 1,31 <sup>d</sup>	0,69 ± 0,04 <sup>b</sup>	14,00 ± 1,55 <sup>a</sup>
<b>15 %</b>	70,21 ± 0,28 <sup>b</sup>	0,53 ± 0,08 <sup>c</sup>	17,10 ± 0,22 <sup>c</sup>	66,52 ± 1,12 <sup>b</sup>	0,35 ± 0,11 <sup>b</sup>	17,08 ± 0,21 <sup>c</sup>	69,00 ± 2,56 <sup>bc</sup>	1,15 ± 0,09 <sup>c</sup>	17,45 ± 0,62 <sup>c</sup>	68,93 ± 1,76 <sup>b</sup>	1,05 ± 0,21 <sup>b</sup>	17,71 ± 1,15 <sup>b</sup>	63,84 ± 0,76 <sup>a</sup>	0,76 ± 0,05 <sup>b</sup>	13,41 ± 0,64 <sup>a</sup>	65,69 ± 0,65 <sup>c</sup>	1,66 ± 0,07 <sup>c</sup>	14,30 ± 0,35 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	69,56 ± 1,10 <sup>ab</sup>	1,39 ± 0,19 <sup>c</sup>	21,48 ± 0,45 <sup>c</sup>	63,39 ± 0,63 <sup>a</sup>	1,24 ± 0,08 <sup>c</sup>	20,70 ± 0,50 <sup>d</sup>	66,53 ± 0,92 <sup>b</sup>	2,32 ± 0,08 <sup>d</sup>	21,34 ± 0,40 <sup>d</sup>	63,28 ± 1,46 <sup>a</sup>	2,21 ± 0,03 <sup>c</sup>	21,13 ± 0,68 <sup>c</sup>	62,75 ± 2,15 <sup>a</sup>	1,72 ± 0,17 <sup>c</sup>	15,46 ± 0,13 <sup>b</sup>	61,84 ± 1,14 <sup>b</sup>	3,11 ± 0,08 <sup>d</sup>	14,77 ± 0,33 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	68,62 ± 0,70 <sup>a</sup>	1,10 ± 0,07 <sup>d</sup>	20,39 ± 0,24 <sup>d</sup>	64,17 ± 1,34 <sup>a</sup>	1,29 ± 0,13 <sup>c</sup>	21,33 ± 0,31 <sup>d</sup>	64,45 ± 0,80 <sup>a</sup>	2,63 ± 0,28 <sup>d</sup>	21,63 ± 1,40 <sup>d</sup>	63,54 ± 2,95 <sup>a</sup>	2,11 ± 0,27 <sup>c</sup>	20,83 ± 0,49 <sup>c</sup>	64,42 ± 0,14 <sup>a</sup>	1,78 ± 0,13 <sup>c</sup>	15,76 ± 0,63 <sup>b</sup>	58,84 ± 0,30 <sup>a</sup>	3,16 ± 0,04 <sup>d</sup>	14,40 ± 0,52 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

**Bijlage 19: Overzicht van de parameters van de gascel distributie per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

	QZ		QV		AM		AV		BB		BC	
	Tot #GC	Gem GCopp (pix <sup>2</sup> )	Tot #GC	Gem GCopp (pix <sup>2</sup> )	Tot #GC	Gem GCopp (pix <sup>2</sup> )	Tot #GC	Gem GCopp (pix <sup>2</sup> )	Tot #GC	Gem GCopp (pix <sup>2</sup> )	Tot #GC	Gem GCopp (pix <sup>2</sup> )
<b>Epi B</b>	445 ± 44 <sup>c</sup>	134 ± 13 <sup>a</sup>	432 ± 57 <sup>c</sup>	145 ± 19 <sup>a</sup>	366 ± 64 <sup>ab</sup>	168 ± 13 <sup>a</sup>	358 ± 41 <sup>b</sup>	159 ± 17 <sup>a</sup>	418 ± 49 <sup>b</sup>	140 ± 13 <sup>a</sup>	424 ± 43 <sup>a</sup>	137 ± 10 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	380 ± 72 <sup>b</sup>	147 ± 16 <sup>ab</sup>	319 ± 66 <sup>ab</sup>	181 ± 31 <sup>b</sup>	387 ± 52 <sup>b</sup>	158 ± 19 <sup>a</sup>	308 ± 60 <sup>a</sup>	183 ± 22 <sup>b</sup>	378 ± 46 <sup>ab</sup>	168 ± 15 <sup>b</sup>	426 ± 44 <sup>a</sup>	150 ± 12 <sup>b</sup>
<b>15 %</b>	337 ± 72 <sup>ab</sup>	150 ± 23 <sup>ab</sup>	378 ± 63 <sup>bc</sup>	149 ± 20 <sup>a</sup>	374 ± 53 <sup>ab</sup>	158 ± 14 <sup>a</sup>	341 ± 38 <sup>ab</sup>	178 ± 20 <sup>b</sup>	368 ± 33 <sup>a</sup>	191 ± 17 <sup>c</sup>	434 ± 38 <sup>a</sup>	161 ± 7 <sup>bc</sup>
<b>30 %</b>	244 ± 104 <sup>a</sup>	175 ± 40 <sup>b</sup>	288 ± 92 <sup>a</sup>	180 ± 41 <sup>b</sup>	354 ± 38 <sup>ab</sup>	161 ± 10 <sup>a</sup>	326 ± 41 <sup>ab</sup>	190 ± 14 <sup>b</sup>	374 ± 37 <sup>a</sup>	177 ± 16 <sup>bc</sup>	441 ± 33 <sup>a</sup>	156 ± 14 <sup>bc</sup>
<b>30 % + mout</b>	261 ± 121 <sup>a</sup>	191 ± 71 <sup>ab</sup>	345 ± 47 <sup>ab</sup>	152 ± 20 <sup>a</sup>	295 ± 95 <sup>a</sup>	179 ± 45 <sup>a</sup>	328 ± 47 <sup>ab</sup>	184 ± 20 <sup>b</sup>	386 ± 46 <sup>ab</sup>	190 ± 16 <sup>c</sup>	417 ± 45 <sup>a</sup>	169 ± 18 <sup>bc</sup>
	REL GCopp (%)	REL [> 100] (%)	REL GCopp (%)	REL [> 100] (%)	REL GCopp (%)	REL [> 100] (%)	REL GCopp (%)	REL [> 100] (%)	REL GCopp (%)	REL [> 100] (%)	REL GCopp (%)	REL [> 100] (%)
<b>Epi B</b>	16,5 ± 1,9 <sup>c</sup>	31,5 ± 2,6 <sup>ab</sup>	17,2 ± 2,2 <sup>b</sup>	32,4 ± 2,8 <sup>a</sup>	17,0 ± 2,6 <sup>ab</sup>	32,4 ± 2,0 <sup>a</sup>	15,7 ± 1,8 <sup>a</sup>	33,1 ± 2,4 <sup>ab</sup>	16,2 ± 1,9 <sup>a</sup>	32,3 ± 2,4 <sup>a</sup>	16,1 ± 1,3 <sup>a</sup>	31,3 ± 1,8 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	15,3 ± 2,1 <sup>bc</sup>	30,7 ± 3,1 <sup>a</sup>	15,6 ± 1,5 <sup>ab</sup>	31,9 ± 2,5 <sup>a</sup>	16,7 ± 1,6 <sup>b</sup>	33,7 ± 2,2 <sup>ab</sup>	15,5 ± 2,6 <sup>a</sup>	32,4 ± 1,8 <sup>a</sup>	17,5 ± 1,6 <sup>ab</sup>	35,1 ± 1,8 <sup>b</sup>	17,7 ± 1,5 <sup>b</sup>	33,7 ± 2,0 <sup>ab</sup>
<b>15 %</b>	13,8 ± 1,9 <sup>ab</sup>	31,6 ± 2,3 <sup>ab</sup>	15,4 ± 1,7 <sup>ab</sup>	32,0 ± 3,0 <sup>a</sup>	16,2 ± 1,4 <sup>ab</sup>	33,3 ± 2,0 <sup>ab</sup>	16,7 ± 1,5 <sup>a</sup>	34,9 ± 2,5 <sup>b</sup>	19,4 ± 1,6 <sup>cd</sup>	38,4 ± 2,6 <sup>c</sup>	19,3 ± 1,3 <sup>c</sup>	35,8 ± 2,4 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	10,9 ± 3,1 <sup>a</sup>	33,8 ± 3,0 <sup>bc</sup>	13,5 ± 3,1 <sup>a</sup>	34,2 ± 2,5 <sup>a</sup>	15,8 ± 1,3 <sup>ab</sup>	35,2 ± 3,1 <sup>b</sup>	17,1 ± 1,5 <sup>a</sup>	39,9 ± 2,5 <sup>d</sup>	18,3 ± 1,7 <sup>bc</sup>	41,2 ± 3,1 <sup>d</sup>	19,0 ± 1,0 <sup>c</sup>	39,0 ± 2,6 <sup>c</sup>
<b>30 % + mout</b>	11,9 ± 3,3 <sup>a</sup>	35,4 ± 3,6 <sup>c</sup>	14,3 ± 1,0 <sup>a</sup>	33,1 ± 2,5 <sup>a</sup>	13,8 ± 3,2 <sup>a</sup>	34,9 ± 2,6 <sup>b</sup>	16,6 ± 1,5 <sup>a</sup>	37,3 ± 1,6 <sup>c</sup>	20,3 ± 1,3 <sup>c</sup>	43,4 ± 1,7 <sup>d</sup>	19,4 ± 1,3 <sup>c</sup>	40,6 ± 3,7 <sup>c</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

Tot #GC: totaal aantal gascellen over 600<sup>2</sup> pixels<sup>2</sup>, Gem GCopp: gemiddelde gasceloppervlakte, REL GCopp: relatieve gasceloppervlakte, REL [> 100]: relatief aantal gascellen groter dan 100 pixels<sup>2</sup>

**Bijlage 20: Overzicht van het vochtgehalte en het vochtverlies van het kruim per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

	QZ					QV				
	v% D0 (%)	v% D1 (%)	v% D3 (%)	VV D1 (%)	VV D3 (%)	v% D0 (%)	v% D1 (%)	v% D3 (%)	VV D1 (%)	VV D3 (%)
<b>Epi B</b>	44,26 ± 0,04 <sup>a</sup>	43,33 ± 0,29 <sup>a</sup>	41,43 ± 0,08 <sup>a</sup>	2,11 ± 0,72 <sup>abc</sup>	6,40 ± 0,16 <sup>e</sup>	44,43 ± 0,05 <sup>a</sup>	43,90 ± 0,02 <sup>a</sup>	41,93 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,20 ± 0,13 <sup>b</sup>	5,64 ± 0,15 <sup>d</sup>
<b>5 %</b>	44,28 ± 0,05 <sup>a</sup>	43,17 ± 0,04 <sup>a</sup>	41,79 ± 0,04 <sup>b</sup>	2,50 ± 0,16 <sup>c</sup>	5,62 ± 0,19 <sup>d</sup>	44,44 ± 0,02 <sup>a</sup>	43,93 ± 0,03 <sup>a</sup>	42,28 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,14 ± 0,05 <sup>b</sup>	4,86 ± 0,07 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	44,70 ± 0,07 <sup>b</sup>	43,80 ± 0,04 <sup>b</sup>	42,92 ± 0,05 <sup>c</sup>	2,00 ± 0,18 <sup>b</sup>	3,97 ± 0,11 <sup>c</sup>	45,49 ± 0,04 <sup>b</sup>	45,32 ± 0,05 <sup>d</sup>	43,49 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,35 ± 0,12 <sup>a</sup>	4,40 ± 0,12 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	45,23 ± 0,03 <sup>d</sup>	44,27 ± 0,06 <sup>c</sup>	43,75 ± 0,06 <sup>e</sup>	2,09 ± 0,14 <sup>b</sup>	3,27 ± 0,18 <sup>a</sup>	45,80 ± 0,09 <sup>c</sup>	44,85 ± 0,02 <sup>c</sup>	43,88 ± 0,04 <sup>e</sup>	2,06 ± 0,15 <sup>c</sup>	4,18 ± 0,20 <sup>ab</sup>
<b>30 % + mout</b>	45,15 ± 0,04 <sup>c</sup>	44,42 ± 0,04 <sup>d</sup>	43,48 ± 0,07 <sup>d</sup>	1,64 ± 0,11 <sup>a</sup>	3,68 ± 0,17 <sup>b</sup>	45,58 ± 0,17 <sup>bc</sup>	44,72 ± 0,04 <sup>b</sup>	43,82 ± 0,03 <sup>d</sup>	1,89 ± 0,41 <sup>c</sup>	3,74 ± 0,29 <sup>a</sup>
	AM					AV				
	v% D0 (%)	v% D1 (%)	v% D3 (%)	VV D1 (%)	VV D3 (%)	v% D0 (%)	v% D1 (%)	v% D3 (%)	VV D1 (%)	VV D3 (%)
<b>Epi B</b>	44,24 ± 0,04 <sup>a</sup>	44,02 ± 0,05 <sup>b</sup>	42,18 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,50 ± 0,07 <sup>b</sup>	4,65 ± 0,08 <sup>c</sup>	44,41 ± 0,02 <sup>a</sup>	44,24 ± 0,01 <sup>a</sup>	42,42 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,37 ± 0,05 <sup>c</sup>	4,47 ± 0,06 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	44,46 ± 0,03 <sup>b</sup>	43,79 ± 0,04 <sup>a</sup>	41,96 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,50 ± 0,11 <sup>c</sup>	5,61 ± 0,06 <sup>d</sup>	44,82 ± 0,01 <sup>b</sup>	44,69 ± 0,02 <sup>b</sup>	42,67 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,29 ± 0,02 <sup>b</sup>	4,81 ± 0,06 <sup>d</sup>
<b>15 %</b>	44,75 ± 0,11 <sup>c</sup>	44,51 ± 0,07 <sup>c</sup>	42,98 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,53 ± 0,39 <sup>b</sup>	3,96 ± 0,17 <sup>b</sup>	45,13 ± 0,02 <sup>c</sup>	44,90 ± 0,03 <sup>c</sup>	42,99 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,51 ± 0,06 <sup>d</sup>	4,74 ± 0,07 <sup>d</sup>
<b>30 %</b>	45,13 ± 0,11 <sup>d</sup>	45,19 ± 0,33 <sup>d</sup>	43,80 ± 0,03 <sup>e</sup>	-0,11 ± 0,98 <sup>ab</sup>	2,94 ± 0,25 <sup>a</sup>	45,90 ± 0,02 <sup>d</sup>	45,81 ± 0,02 <sup>d</sup>	44,49 ± 0,04 <sup>e</sup>	0,19 ± 0,05 <sup>a</sup>	3,07 ± 0,10 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	44,92 ± 0,11 <sup>c</sup>	45,20 ± 0,21 <sup>d</sup>	43,71 ± 0,02 <sup>d</sup>	-0,63 ± 0,24 <sup>a</sup>	2,69 ± 0,26 <sup>a</sup>	45,97 ± 0,02 <sup>e</sup>	45,84 ± 0,02 <sup>d</sup>	44,37 ± 0,04 <sup>d</sup>	0,30 ± 0,06 <sup>bc</sup>	3,48 ± 0,10 <sup>b</sup>
	BB					BC				
	v% D0 (%)	v% D1 (%)	v% D3 (%)	VV D1 (%)	VV D3 (%)	v% D0 (%)	v% D1 (%)	v% D3 (%)	VV D1 (%)	VV D3 (%)
<b>Epi B</b>	44,38 ± 0,04 <sup>c</sup>	44,33 ± 0,07 <sup>c</sup>	42,51 ± 0,02 <sup>d</sup>	0,13 ± 0,10 <sup>c</sup>	4,22 ± 0,08 <sup>b</sup>	44,57 ± 0,03 <sup>a</sup>	44,13 ± 0,03 <sup>c</sup>	42,77 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,99 ± 0,08 <sup>a</sup>	4,03 ± 0,10 <sup>b</sup>
<b>5 %</b>	44,46 ± 0,02 <sup>d</sup>	44,43 ± 0,02 <sup>d</sup>	42,30 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,06 ± 0,06 <sup>c</sup>	4,85 ± 0,03 <sup>c</sup>	44,77 ± 0,02 <sup>c</sup>	44,18 ± 0,04 <sup>c</sup>	42,51 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,13 <sup>c</sup>	5,04 ± 0,07 <sup>d</sup>
<b>15 %</b>	44,34 ± 0,02 <sup>c</sup>	44,27 ± 0,02 <sup>bc</sup>	42,01 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,17 ± 0,04 <sup>c</sup>	5,27 ± 0,05 <sup>d</sup>	44,68 ± 0,04 <sup>b</sup>	43,89 ± 0,02 <sup>a</sup>	42,55 ± 0,02 <sup>ab</sup>	1,76 ± 0,07 <sup>d</sup>	4,77 ± 0,12 <sup>c</sup>
<b>30 %</b>	43,93 ± 0,03 <sup>a</sup>	43,97 ± 0,03 <sup>a</sup>	42,59 ± 0,03 <sup>e</sup>	-0,11 ± 0,09 <sup>b</sup>	3,03 ± 0,08 <sup>a</sup>	44,54 ± 0,01 <sup>a</sup>	44,05 ± 0,03 <sup>b</sup>	43,00 ± 0,01 <sup>d</sup>	1,10 ± 0,07 <sup>ab</sup>	3,44 ± 0,04 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	44,03 ± 0,05 <sup>b</sup>	44,20 ± 0,06 <sup>b</sup>	42,11 ± 0,02 <sup>b</sup>	-0,40 ± 0,09 <sup>a</sup>	4,36 ± 0,11 <sup>b</sup>	44,70 ± 0,06 <sup>bc</sup>	44,17 ± 0,02 <sup>c</sup>	42,57 ± 0,03 <sup>b</sup>	1,18 ± 0,10 <sup>bc</sup>	4,74 ± 0,14 <sup>c</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

v% D0, 1 of 3: kruimvochtgehalte op dag 0, 1 of 3; VV D1: vochtverlies over de eerste dag; VV D3: vochtverlies over 3 dagen

**Bijlage 21: Overzicht van de kruimhardheid en *staling index* per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

	QZ					QV				
	Hard. D0 (g)	Hard. D1 (g)	Hard. D3 (g)	SI D1 (%)	SI D3 (%)	Hard. D0 (g)	Hard. D1 (g)	Hard. D3 (g)	SI D1 (%)	SI D3 (%)
<b>Epi B</b>	400,076 ± 36,597 <sup>a</sup>	790,633 ± 32,793 <sup>a</sup>	1226,420 ± 31,943 <sup>a</sup>	98,992 ± 19,689 <sup>a</sup>	208,821 ± 30,919 <sup>abc</sup>	337,316 ± 41,139 <sup>a</sup>	791,798 ± 30,154 <sup>a</sup>	1207,820 ± 77,822 <sup>a</sup>	137,554 ± 28,917 <sup>c</sup>	261,183 ± 35,617 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	459,896 ± 28,079 <sup>a</sup>	971,295 ± 42,253 <sup>b</sup>	1425,336 ± 96,102 <sup>a</sup>	112,087 ± 19,294 <sup>a</sup>	211,261 ± 31,917 <sup>bc</sup>	385,267 ± 33,277 <sup>a</sup>	875,372 ± 75,687 <sup>a</sup>	1265,989 ± 89,712 <sup>a</sup>	128,156 ± 22,737 <sup>c</sup>	230,587 ± 35,236 <sup>bc</sup>
<b>15 %</b>	715,586 ± 15,947 <sup>b</sup>	1492,417 ± 63,604 <sup>c</sup>	2245,641 ± 82,862 <sup>b</sup>	110,338 ± 7,694 <sup>a</sup>	217,689 ± 8,569 <sup>c</sup>	630,903 ± 60,154 <sup>b</sup>	1554,733 ± 239,508 <sup>b</sup>	1910,145 ± 161,174 <sup>b</sup>	148,404 ± 45,281 <sup>bc</sup>	203,448 ± 17,476 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	1259,385 ± 81,123 <sup>c</sup>	2535,365 ± 77,648 <sup>d</sup>	3431,492 ± 194,733 <sup>c</sup>	102,068 ± 15,282 <sup>a</sup>	164,134 ± 29,647 <sup>a</sup>	1367,886 ± 126,458 <sup>c</sup>	2451,962 ± 176,381 <sup>c</sup>	2928,840 ± 224,578 <sup>c</sup>	79,767 ± 10,807 <sup>ab</sup>	116,485 ± 33,283 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	1270,159 ± 63,574 <sup>c</sup>	2382,862 ± 217,037 <sup>d</sup>	3412,147 ± 146,369 <sup>c</sup>	88,328 ± 22,926 <sup>a</sup>	169,527 ± 22,764 <sup>ab</sup>	1687,328 ± 166,759 <sup>d</sup>	2543,951 ± 96,711 <sup>c</sup>	3540,228 ± 340,188 <sup>d</sup>	52,199 ± 18,349 <sup>a</sup>	111,882 ± 31,604 <sup>a</sup>
	AM					AV				
	Hard. D0 (g)	Hard. D1 (g)	Hard. D3 (g)	SI D1 (%)	SI D3 (%)	Hard. D0 (g)	Hard. D1 (g)	Hard. D3 (g)	SI D1 (%)	SI D3 (%)
<b>Epi B</b>	357,267 ± 42,207 <sup>a</sup>	771,856 ± 62,708 <sup>a</sup>	1108,441 ± 59,201 <sup>a</sup>	119,612 ± 38,072 <sup>ab</sup>	212,246 ± 20,913 <sup>b</sup>	321,054 ± 26,939 <sup>a</sup>	751,474 ± 29,099 <sup>a</sup>	1181,184 ± 67,079 <sup>a</sup>	135,572 ± 23,788 <sup>a</sup>	269,135 ± 24,181 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	381,787 ± 36,876 <sup>a</sup>	859,298 ± 38,630 <sup>a</sup>	1404,081 ± 132,835 <sup>b</sup>	126,832 ± 23,612 <sup>ab</sup>	242,535 ± 25,352 <sup>b</sup>	322,719 ± 12,627 <sup>a</sup>	738,346 ± 32,951 <sup>a</sup>	1143,861 ± 100,234 <sup>a</sup>	129,050 ± 13,080 <sup>a</sup>	254,115 ± 22,734 <sup>a</sup>
<b>15 %</b>	474,307 ± 9,374 <sup>b</sup>	1103,352 ± 67,735 <sup>b</sup>	1585,283 ± 125,734 <sup>b</sup>	132,792 ± 16,625 <sup>b</sup>	234,485 ± 29,012 <sup>b</sup>	399,303 ± 27,583 <sup>b</sup>	989,368 ± 42,943 <sup>b</sup>	1340,733 ± 71,733 <sup>b</sup>	148,706 ± 19,422 <sup>a</sup>	236,634 ± 22,339 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	880,490 ± 115,075 <sup>c</sup>	1580,931 ± 135,168 <sup>c</sup>	2261,030 ± 90,280 <sup>c</sup>	82,715 ± 32,685 <sup>ab</sup>	159,974 ± 30,709 <sup>a</sup>	755,455 ± 56,001 <sup>c</sup>	1628,096 ± 66,949 <sup>c</sup>	2678,386 ± 317,340 <sup>c</sup>	116,113 ± 11,668 <sup>a</sup>	255,764 ± 46,126 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	805,489 ± 74,313 <sup>c</sup>	1578,200 ± 74,480 <sup>c</sup>	2433,957 ± 136,867 <sup>c</sup>	97,216 ± 18,445 <sup>a</sup>	204,177 ± 31,072 <sup>ab</sup>	832,378 ± 127,764 <sup>c</sup>	1871,635 ± 239,091 <sup>c</sup>	2833,584 ± 284,845 <sup>c</sup>	155,311 ± 51,528 <sup>a</sup>	286,027 ± 68,345 <sup>a</sup>
	BB					BC				
	Hard. D0 (g)	Hard. D1 (g)	Hard. D3 (g)	SI D1 (%)	SI D3 (%)	Hard. D0 (g)	Hard. D1 (g)	Hard. D3 (g)	SI D1 (%)	SI D3 (%)
<b>Epi B</b>	355,310 ± 9,629 <sup>a</sup>	657,494 ± 150,065 <sup>a</sup>	1217,611 ± 77,974 <sup>a</sup>	85,245 ± 42,679 <sup>a</sup>	242,757 ± 21,317 <sup>b</sup>	349,604 ± 24,397 <sup>a</sup>	759,808 ± 85,520 <sup>a</sup>	1347,563 ± 62,885 <sup>b</sup>	117,182 ± 16,678 <sup>a</sup>	286,917 ± 30,465 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	336,466 ± 33,951 <sup>a</sup>	768,826 ± 126,849 <sup>a</sup>	1094,857 ± 145,561 <sup>a</sup>	127,408 ± 18,716 <sup>ab</sup>	229,141 ± 61,197 <sup>ab</sup>	325,249 ± 16,695 <sup>a</sup>	721,395 ± 44,880 <sup>a</sup>	1217,872 ± 61,721 <sup>a</sup>	122,396 ± 19,527 <sup>a</sup>	275,091 ± 23,595 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	386,829 ± 52,837 <sup>a</sup>	1031,586 ± 90,546 <sup>b</sup>	1117,713 ± 221,153 <sup>a</sup>	170,616 ± 43,420 <sup>b</sup>	190,553 ± 55,304 <sup>ab</sup>	433,099 ± 23,833 <sup>b</sup>	1032,629 ± 86,575 <sup>b</sup>	1410,739 ± 37,197 <sup>b</sup>	139,736 ± 31,902 <sup>a</sup>	226,597 ± 20,367 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	957,597 ± 68,231 <sup>c</sup>	1870,438 ± 127,399 <sup>c</sup>	2476,869 ± 160,907 <sup>b</sup>	96,009 ± 17,735 <sup>a</sup>	159,062 ± 13,828 <sup>a</sup>	999,765 ± 44,130 <sup>c</sup>	2199,755 ± 122,667 <sup>c</sup>	2521,959 ± 106,118 <sup>c</sup>	120,489 ± 17,217 <sup>a</sup>	152,371 ± 7,599 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	809,679 ± 91,543 <sup>b</sup>	1786,471 ± 101,863 <sup>c</sup>	2385,912 ± 139,613 <sup>b</sup>	123,099 ± 29,214 <sup>ab</sup>	197,123 ± 31,199 <sup>ab</sup>	1106,797 ± 175,618 <sup>c</sup>	2157,816 ± 142,232 <sup>c</sup>	2492,229 ± 44,625 <sup>c</sup>	99,527 ± 36,623 <sup>a</sup>	130,078 ± 37,385 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

Hard. D0, D1 of D3: hardheid op dag 0, 1 of 3; *staling index* D1 of D3: *staling index* over de eerste dag of over drie dagen

**Bijlage 22: Overzicht van de  $a_w$  van het kruim per staal (5, 15 en 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

Staal	QZ	QV	AM	AV	BB	BC
<b>Epi B</b>	$0,964 \pm 0,002^b$	$0,962 \pm 0,001^c$	$0,962 \pm 0,002^a$	$0,960 \pm 0,001^a$	$0,964 \pm 0,001^a$	$0,961 \pm 0,002^{cd}$
<b>5 %</b>	$0,961 \pm 0,000^{ab}$	$0,961 \pm 0,001^{bc}$	$0,961 \pm 0,002^a$	$0,960 \pm 0,001^a$	$0,963 \pm 0,001^a$	$0,963 \pm 0,001^d$
<b>15 %</b>	$0,960 \pm 0,001^a$	$0,959 \pm 0,002^{ab}$	$0,962 \pm 0,002^a$	$0,959 \pm 0,001^a$	$0,962 \pm 0,002^a$	$0,960 \pm 0,001^{bc}$
<b>30 %</b>	$0,961 \pm 0,001^a$	$0,958 \pm 0,001^a$	$0,961 \pm 0,002^a$	$0,960 \pm 0,001^a$	$0,962 \pm 0,003^a$	$0,958 \pm 0,001^a$
<b>30 % + mout</b>	$0,962 \pm 0,000^{ab}$	$0,958 \pm 0,001^a$	$0,961 \pm 0,002^a$	$0,959 \pm 0,002^a$	$0,963 \pm 0,002^a$	$0,959 \pm 0,002^{ab}$

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar



**Bijlage 23: Overzicht van de *adhesiveness* per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

	QZ			QV		
	D0 (g·sec)	D1 (g·sec)	D3 (g·sec)	D0 (g·sec)	D1 (g·sec)	D3 (g·sec)
<b>Epi B</b>	-12,187 ± 2,970 <sup>c</sup>	-9,628 ± 3,636 <sup>d</sup>	-5,368 ± 1,518 <sup>c</sup>	-8,323 ± 4,860 <sup>b</sup>	-6,705 ± 1,233 <sup>c</sup>	-5,628 ± 1,782 <sup>b</sup>
<b>5 %</b>	-24,825 ± 4,084 <sup>b</sup>	-17,492 ± 1,680 <sup>c</sup>	-14,052 ± 4,203 <sup>b</sup>	-7,059 ± 1,342 <sup>b</sup>	-8,406 ± 1,881 <sup>c</sup>	-6,798 ± 2,208 <sup>b</sup>
<b>15 %</b>	-33,894 ± 9,475 <sup>b</sup>	-25,646 ± 6,213 <sup>bc</sup>	-16,233 ± 9,091 <sup>bc</sup>	-11,766 ± 1,238 <sup>b</sup>	-16,107 ± 5,523 <sup>bc</sup>	-20,776 ± 5,333 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	-33,405 ± 5,327 <sup>b</sup>	-33,044 ± 5,677 <sup>ab</sup>	-37,455 ± 15,461 <sup>ab</sup>	-12,083 ± 2,399 <sup>b</sup>	-17,667 ± 2,710 <sup>b</sup>	-24,953 ± 4,965 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	-44,059 ± 5,458 <sup>a</sup>	-50,014 ± 13,619 <sup>a</sup>	-60,495 ± 20,441 <sup>a</sup>	-20,948 ± 3,901 <sup>a</sup>	-36,366 ± 5,505 <sup>a</sup>	-42,072 ± 14,861 <sup>a</sup>
	AM			AV		
	D0 (g·sec)	D1 (g·sec)	D3 (g·sec)	D0 (g·sec)	D1 (g·sec)	D3 (g·sec)
<b>Epi B</b>	-3,533 ± 2,087 <sup>c</sup>	-7,453 ± 2,542 <sup>c</sup>	-5,802 ± 2,700 <sup>b</sup>	-3,493 ± 2,470 <sup>c</sup>	-2,475 ± 1,726 <sup>b</sup>	-1,374 ± 0,785 <sup>b</sup>
<b>5 %</b>	-6,926 ± 3,137 <sup>c</sup>	-14,467 ± 6,903 <sup>c</sup>	-7,771 ± 5,070 <sup>b</sup>	-7,040 ± 4,064 <sup>c</sup>	-7,517 ± 4,337 <sup>b</sup>	-2,376 ± 1,778 <sup>b</sup>
<b>15 %</b>	-16,505 ± 2,815 <sup>b</sup>	-28,519 ± 15,037 <sup>bc</sup>	-12,395 ± 7,344 <sup>b</sup>	-21,214 ± 3,668 <sup>b</sup>	-20,871 ± 12,336 <sup>b</sup>	-6,530 ± 4,517 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	-94,181 ± 37,133 <sup>a</sup>	-121,172 ± 58,319 <sup>ab</sup>	-61,779 ± 23,213 <sup>a</sup>	-115,760 ± 27,530 <sup>a</sup>	-104,583 ± 35,966 <sup>a</sup>	-61,073 ± 13,912 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	-121,317 ± 31,065 <sup>a</sup>	-148,283 ± 68,773 <sup>a</sup>	-46,667 ± 38,416 <sup>ab</sup>	-220,983 ± 86,273 <sup>a</sup>	-205,836 ± 61,997 <sup>a</sup>	-92,429 ± 37,354 <sup>a</sup>
	BB			BC		
Staal	D0 (g·sec)	D1 (g·sec)	D3 (g·sec)	D0 (g·sec)	D1 (g·sec)	D3 (g·sec)
<b>Epi B</b>	-4,350 ± 1,976 <sup>b</sup>	-1,387 ± 1,768 <sup>d</sup>	-3,038 ± 1,760 <sup>b</sup>	-10,478 ± 2,402 <sup>c</sup>	-12,237 ± 2,083 <sup>b</sup>	-6,955 ± 2,928 <sup>b</sup>
<b>5 %</b>	-5,437 ± 1,980 <sup>b</sup>	-5,249 ± 1,531 <sup>cd</sup>	-3,349 ± 1,159 <sup>b</sup>	-7,975 ± 1,040 <sup>c</sup>	-9,063 ± 2,335 <sup>b</sup>	-4,397 ± 2,052 <sup>b</sup>
<b>15 %</b>	-7,538 ± 3,107 <sup>b</sup>	-10,415 ± 3,628 <sup>bc</sup>	-2,886 ± 1,859 <sup>b</sup>	-13,150 ± 4,094 <sup>c</sup>	-10,376 ± 1,236 <sup>b</sup>	-7,633 ± 2,459 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	-18,909 ± 5,282 <sup>a</sup>	-13,292 ± 2,743 <sup>b</sup>	-49,916 ± 32,447 <sup>ab</sup>	-31,170 ± 4,586 <sup>b</sup>	-36,019 ± 4,279 <sup>a</sup>	-31,788 ± 15,895 <sup>ab</sup>
<b>30 % + mout</b>	-28,070 ± 6,664 <sup>a</sup>	-20,565 ± 5,384 <sup>a</sup>	-34,570 ± 12,711 <sup>a</sup>	-54,410 ± 9,734 <sup>a</sup>	-34,625 ± 11,698 <sup>a</sup>	-29,865 ± 7,371 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

D0, D1 of D3: *adhesiveness* op dag 0, 1 en 3

**Bijlage 24: Overzicht van de *springiness* per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

	QZ			QV		
	D0	D1	D3	D0	D1	D3
<b>Epi B</b>	0,937 ± 0,021 <sup>a</sup>	0,900 ± 0,006 <sup>a</sup>	0,914 ± 0,004 <sup>a</sup>	0,938 ± 0,023 <sup>a</sup>	0,892 ± 0,010 <sup>ab</sup>	0,914 ± 0,010 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	0,932 ± 0,017 <sup>a</sup>	0,906 ± 0,010 <sup>a</sup>	0,928 ± 0,015 <sup>a</sup>	0,932 ± 0,016 <sup>a</sup>	0,904 ± 0,007 <sup>b</sup>	0,917 ± 0,007 <sup>a</sup>
<b>15 %</b>	0,946 ± 0,013 <sup>a</sup>	0,905 ± 0,018 <sup>a</sup>	0,925 ± 0,015 <sup>a</sup>	0,933 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,908 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,906 ± 0,017 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	0,928 ± 0,013 <sup>a</sup>	0,880 ± 0,017 <sup>a</sup>	0,940 ± 0,038 <sup>a</sup>	0,928 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,903 ± 0,013 <sup>b</sup>	0,947 ± 0,025 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,922 ± 0,012 <sup>a</sup>	0,887 ± 0,028 <sup>a</sup>	0,920 ± 0,031 <sup>a</sup>	0,917 ± 0,010 <sup>a</sup>	0,882 ± 0,010 <sup>a</sup>	0,946 ± 0,070 <sup>a</sup>
	AM			AV		
	D0	D1	D3	D0	D1	D3
<b>Epi B</b>	0,930 ± 0,007 <sup>c</sup>	0,919 ± 0,010 <sup>a</sup>	0,913 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,935 ± 0,014 <sup>c</sup>	0,904 ± 0,007 <sup>b</sup>	0,915 ± 0,013 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	0,929 ± 0,015 <sup>c</sup>	0,926 ± 0,030 <sup>a</sup>	0,918 ± 0,012 <sup>ab</sup>	0,938 ± 0,014 <sup>c</sup>	0,905 ± 0,016 <sup>b</sup>	0,909 ± 0,005 <sup>a</sup>
<b>15 %</b>	0,916 ± 0,012 <sup>c</sup>	0,904 ± 0,018 <sup>a</sup>	0,903 ± 0,012 <sup>a</sup>	0,914 ± 0,013 <sup>bc</sup>	0,891 ± 0,013 <sup>b</sup>	0,902 ± 0,016 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	0,872 ± 0,005 <sup>a</sup>	0,896 ± 0,031 <sup>a</sup>	0,974 ± 0,035 <sup>b</sup>	0,890 ± 0,010 <sup>a</sup>	0,858 ± 0,014 <sup>a</sup>	0,996 ± 0,005 <sup>b</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,894 ± 0,003 <sup>b</sup>	0,889 ± 0,041 <sup>a</sup>	0,959 ± 0,042 <sup>ab</sup>	0,904 ± 0,019 <sup>ab</sup>	0,880 ± 0,024 <sup>ab</sup>	0,989 ± 0,019 <sup>b</sup>
	BB			BC		
Staal	D0	D1	D3	D0	D1	D3
<b>Epi B</b>	0,936 ± 0,012 <sup>b</sup>	0,913 ± 0,013 <sup>b</sup>	0,915 ± 0,015 <sup>a</sup>	0,948 ± 0,020 <sup>b</sup>	0,928 ± 0,015 <sup>a</sup>	0,919 ± 0,011 <sup>a</sup>
<b>5 %</b>	0,932 ± 0,016 <sup>ab</sup>	0,904 ± 0,008 <sup>ab</sup>	0,915 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,945 ± 0,009 <sup>b</sup>	0,923 ± 0,006 <sup>a</sup>	0,919 ± 0,014 <sup>a</sup>
<b>15 %</b>	0,935 ± 0,019 <sup>ab</sup>	0,905 ± 0,009 <sup>ab</sup>	0,884 ± 0,048 <sup>a</sup>	0,949 ± 0,012 <sup>b</sup>	0,911 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,929 ± 0,037 <sup>a</sup>
<b>30 %</b>	0,921 ± 0,014 <sup>ab</sup>	0,904 ± 0,012 <sup>ab</sup>	1,319 ± 0,387 <sup>a</sup>	0,933 ± 0,016 <sup>ab</sup>	0,902 ± 0,020 <sup>a</sup>	1,171 ± 0,316 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,910 ± 0,013 <sup>a</sup>	0,888 ± 0,011 <sup>a</sup>	1,277 ± 0,266 <sup>a</sup>	0,918 ± 0,015 <sup>a</sup>	0,905 ± 0,045 <sup>a</sup>	1,198 ± 0,330 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

D0, D1 of D3: *springiness* op dag 0, 1 en 3

**Bijlage 25: Overzicht van de *cohesiveness* per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B**

	QZ			QV		
	D0	D1	D3	D0	D1	D3
<b>Epi B</b>	0,800 ± 0,008 <sup>b</sup>	0,695 ± 0,010 <sup>c</sup>	0,623 ± 0,009 <sup>d</sup>	0,820 ± 0,010 <sup>c</sup>	0,705 ± 0,010 <sup>c</sup>	0,623 ± 0,016 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	0,808 ± 0,008 <sup>b</sup>	0,672 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,576 ± 0,017 <sup>c</sup>	0,827 ± 0,005 <sup>c</sup>	0,684 ± 0,014 <sup>b</sup>	0,612 ± 0,017 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	0,809 ± 0,009 <sup>b</sup>	0,665 ± 0,012 <sup>b</sup>	0,528 ± 0,020 <sup>b</sup>	0,823 ± 0,006 <sup>c</sup>	0,669 ± 0,013 <sup>b</sup>	0,546 ± 0,011 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	0,799 ± 0,007 <sup>b</sup>	0,632 ± 0,013 <sup>a</sup>	0,482 ± 0,025 <sup>a</sup>	0,797 ± 0,005 <sup>b</sup>	0,645 ± 0,012 <sup>a</sup>	0,508 ± 0,005 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,778 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,616 ± 0,007 <sup>a</sup>	0,470 ± 0,014 <sup>a</sup>	0,768 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,626 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,498 ± 0,010 <sup>a</sup>
	AM			AV		
	D0	D1	D3	D0	D1	D3
<b>Epi B</b>	0,815 ± 0,005 <sup>c</sup>	0,699 ± 0,015 <sup>c</sup>	0,600 ± 0,014 <sup>c</sup>	0,828 ± 0,008 <sup>d</sup>	0,694 ± 0,008 <sup>c</sup>	0,613 ± 0,008 <sup>d</sup>
<b>5 %</b>	0,806 ± 0,009 <sup>bc</sup>	0,676 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,610 ± 0,022 <sup>c</sup>	0,816 ± 0,006 <sup>d</sup>	0,683 ± 0,010 <sup>c</sup>	0,571 ± 0,020 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	0,796 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,664 ± 0,012 <sup>b</sup>	0,528 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,791 ± 0,004 <sup>c</sup>	0,652 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,498 ± 0,018 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	0,750 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,627 ± 0,015 <sup>a</sup>	0,458 ± 0,012 <sup>a</sup>	0,748 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,607 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,427 ± 0,009 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,757 ± 0,004 <sup>a</sup>	0,620 ± 0,015 <sup>a</sup>	0,460 ± 0,016 <sup>a</sup>	0,763 ± 0,016 <sup>b</sup>	0,612 ± 0,030 <sup>ab</sup>	0,429 ± 0,009 <sup>a</sup>
	BB			BC		
Staal	D0	D1	D3	D0	D1	D3
<b>Epi B</b>	0,806 ± 0,006 <sup>b</sup>	0,724 ± 0,044 <sup>c</sup>	0,607 ± 0,016 <sup>c</sup>	0,824 ± 0,008 <sup>c</sup>	0,699 ± 0,014 <sup>c</sup>	0,611 ± 0,015 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	0,810 ± 0,005 <sup>b</sup>	0,690 ± 0,015 <sup>c</sup>	0,584 ± 0,023 <sup>c</sup>	0,821 ± 0,007 <sup>c</sup>	0,689 ± 0,022 <sup>c</sup>	0,567 ± 0,029 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	0,815 ± 0,006 <sup>b</sup>	0,633 ± 0,016 <sup>b</sup>	0,551 ± 0,022 <sup>b</sup>	0,815 ± 0,006 <sup>c</sup>	0,634 ± 0,014 <sup>b</sup>	0,481 ± 0,013 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	0,794 ± 0,004 <sup>a</sup>	0,524 ± 0,014 <sup>a</sup>	0,424 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,790 ± 0,004 <sup>b</sup>	0,521 ± 0,017 <sup>a</sup>	0,425 ± 0,007 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,788 ± 0,006 <sup>a</sup>	0,535 ± 0,013 <sup>a</sup>	0,420 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,776 ± 0,005 <sup>a</sup>	0,516 ± 0,023 <sup>a</sup>	0,427 ± 0,012 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

D0, D1 of D3: *cohesiveness* op dag 0, 1 en 3

## Bijlage 26: Overzicht van de *resilience* per staal (5, 15, 30 % en moutadditie) vergeleken met Epi B

	QZ			QV		
	D0	D1	D3	D0	D1	D3
<b>Epi B</b>	0,421 ± 0,021 <sup>a</sup>	0,320 ± 0,014 <sup>ab</sup>	0,262 ± 0,009 <sup>d</sup>	0,452 ± 0,011 <sup>a</sup>	0,334 ± 0,011 <sup>ab</sup>	0,264 ± 0,008 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	0,441 ± 0,006 <sup>a</sup>	0,313 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,236 ± 0,014 <sup>c</sup>	0,467 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,325 ± 0,014 <sup>a</sup>	0,264 ± 0,016 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	0,468 ± 0,007 <sup>bc</sup>	0,336 ± 0,011 <sup>bc</sup>	0,222 ± 0,014 <sup>bc</sup>	0,491 ± 0,005 <sup>c</sup>	0,350 ± 0,012 <sup>b</sup>	0,243 ± 0,009 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	0,479 ± 0,008 <sup>c</sup>	0,337 ± 0,009 <sup>c</sup>	0,204 ± 0,019 <sup>ab</sup>	0,491 ± 0,006 <sup>c</sup>	0,350 ± 0,010 <sup>b</sup>	0,229 ± 0,006 <sup>ab</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,454 ± 0,008 <sup>ab</sup>	0,317 ± 0,004 <sup>a</sup>	0,196 ± 0,012 <sup>a</sup>	0,459 ± 0,007 <sup>ab</sup>	0,328 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,224 ± 0,011 <sup>a</sup>
	AM			AV		
	D0	D1	D3	D0	D1	D3
<b>Epi B</b>	0,465 ± 0,007 <sup>c</sup>	0,336 ± 0,015 <sup>c</sup>	0,257 ± 0,013 <sup>c</sup>	0,464 ± 0,008 <sup>c</sup>	0,331 ± 0,011 <sup>d</sup>	0,263 ± 0,009 <sup>d</sup>
<b>5 %</b>	0,443 ± 0,008 <sup>b</sup>	0,314 ± 0,011 <sup>b</sup>	0,264 ± 0,019 <sup>c</sup>	0,449 ± 0,011 <sup>c</sup>	0,320 ± 0,011 <sup>cd</sup>	0,237 ± 0,016 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	0,429 ± 0,008 <sup>b</sup>	0,304 ± 0,008 <sup>b</sup>	0,215 ± 0,009 <sup>b</sup>	0,415 ± 0,007 <sup>b</sup>	0,302 ± 0,008 <sup>bc</sup>	0,204 ± 0,015 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	0,375 ± 0,012 <sup>a</sup>	0,270 ± 0,012 <sup>a</sup>	0,174 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,357 ± 0,005 <sup>a</sup>	0,264 ± 0,002 <sup>a</sup>	0,164 ± 0,008 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,373 ± 0,011 <sup>a</sup>	0,262 ± 0,015 <sup>a</sup>	0,178 ± 0,010 <sup>a</sup>	0,360 ± 0,014 <sup>a</sup>	0,258 ± 0,028 <sup>ab</sup>	0,161 ± 0,008 <sup>a</sup>
	BB			BC		
Staal	D0	D1	D3	D0	D1	D3
<b>Epi B</b>	0,437 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,334 ± 0,024 <sup>c</sup>	0,260 ± 0,013 <sup>b</sup>	0,459 ± 0,014 <sup>ab</sup>	0,329 ± 0,015 <sup>c</sup>	0,263 ± 0,005 <sup>c</sup>
<b>5 %</b>	0,447 ± 0,005 <sup>ab</sup>	0,331 ± 0,016 <sup>c</sup>	0,251 ± 0,019 <sup>b</sup>	0,456 ± 0,014 <sup>ab</sup>	0,326 ± 0,020 <sup>bc</sup>	0,239 ± 0,022 <sup>c</sup>
<b>15 %</b>	0,449 ± 0,014 <sup>ab</sup>	0,291 ± 0,014 <sup>b</sup>	0,228 ± 0,020 <sup>b</sup>	0,455 ± 0,004 <sup>b</sup>	0,300 ± 0,012 <sup>b</sup>	0,194 ± 0,009 <sup>b</sup>
<b>30 %</b>	0,456 ± 0,004 <sup>b</sup>	0,232 ± 0,014 <sup>a</sup>	0,165 ± 0,004 <sup>a</sup>	0,449 ± 0,004 <sup>b</sup>	0,227 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,170 ± 0,005 <sup>a</sup>
<b>30 % + mout</b>	0,437 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,233 ± 0,008 <sup>a</sup>	0,162 ± 0,004 <sup>a</sup>	0,435 ± 0,004 <sup>a</sup>	0,230 ± 0,021 <sup>a</sup>	0,170 ± 0,008 <sup>a</sup>

Waarden binnen één kolom met hetzelfde superscript, zijn niet significant verschillend van elkaar

D0, D1 of D3: *resilience* op dag 0, 1 en 3

## Bijlage 27: Overzicht van de volledige broden en kruimsneden

