

INVLOED VAN BAK- EN BEWAARCONDITIES OP DE MICROBIËLE KWALITEIT VAN HALF- AFGEBAKKEN BROOD

Aantal woorden: 19069

Manon Van Driessche

Stamnummer: 01603541

Promotor: dr. ir. Filip Van Bockstaele

Tutor: ir. Els Debonne

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

Academiejaar: 2017 - 2018

INVLOED VAN BAK- EN BEWAARCONDITIES OP DE MICROBIËLE KWALITEIT VAN HALF- AFGEBAKKEN BROOD

Aantal woorden: 19069

Manon Van Driessche

Stamnummer: 01603541

Promotor: dr. ir. Filip Van Bockstaele

Tutor: ir. Els Debonne

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

Academiejaar: 2017 - 2018



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.

08/06/2018

Promotor

dr. ir. Filip Van Bockstaele

Tutor

ir. Els Debonne

Auteur

Manon Van Driessche

Voorwoord

In 2013 startte ik vol goeie moed en veel enthousiasme een driejarige opleiding voedingsmiddelentechnologie aan de HoGent. Na een feilloos parcours behaalde ik mijn bachelordiploma en bouwde een grote passie uit voor de bakkerij- en chocoladesector. Ik wou echter mijn grenzen verleggen en uit mijn comfortzone gehaald worden, voordat ik het werkveld zou betreden. Ik volgde het schakelprogramma naar de opleiding Master of Science in de biowetenschappen: voedingsindustrie aan de universiteit van Gent. In dat schakeljaar bouwde ik mijn passie verder uit, verwierf ik veel nieuwe kennis, leerde ik hard werken, maar kwam ik vooral mezelf tegen. Ik ontdekte mijn goede eigenschappen maar eveneens achterhaalde ik ook enkele werkpunten, waar ik gedurende dit masterjaar aan heb gesleuteld. Het succes daarvan laat ik in het midden... De kroon op het werk (of zeg ik beter kers op de taart om in de bakkerijsfeer te blijven) van dit masterjaar voedingsindustrie is dit eindwerk. Een thesis waar ik trots op ben, met een onderwerp dat perfect bij mijn passie en interesses past.

Nu, meer dan **1440 broodjes later**, wil ik enkele mensen bedanken die mij hebben geholpen bij het schrijven, maar vooral optimaliseren van deze thesis. Mijn dank gaat uit naar dr. ir. Filip Van Bockstaele voor het aanbrenge van dit interessant onderwerp, de uitgebreide feedback en zijn promotorschap.

Een bijzonder grote dankjewel aan mijn tutor ir. Els Debonne om zovele redenen. Voor de geweldige begeleiding, het nalezen van de vele tussentijdse versies en voor het snel beantwoorden van al mijn vragen en mailtjes. Ik heb een grote bewondering voor haar onuitputtelijk enthousiasme en aanstekelijke *drive*, die zelfs vroeg in de ochtend op een van onze bakdagen aanwezig was. Het waren al deze dingen en nog zoveel meer die mij energie gaven om deze thesis tot een goed einde te brengen. Ik ben fier op onze publicatie en ben vereerd dat ik mocht meewerken aan dit doctoraat. Mevr. Debonne, u was een droomtutor, bedankt voor alles.

Daarnaast wil ik ook ing. Ingrid De Leyn, mevr. Vroman en ing. Tom Hellemans bedanken voor alle hulp in het graanlabo en mycolab. Eveneens wil ik ook mijn ouders, mijn lief en vriendinnen bedanken voor hun luisterend oor en alle motiverende woorden. Tevens wil ik Laura Depredomme bedanken voor onze ontelbare uren samen in de bibliotheek en de leuke momenten tijdens onze pauzes. Ten slotte wil ik Servaas Coosemans in de kijker zetten, een vriend uit de duizend. Dankjewel voor jouw geduld als ik weer eens zeurde, jouw humor om mij op te beuren, jouw mening en uitgebreide kennis over zovele onderwerpen, maar vooral voor de geweldige vriendschap. Bedankt aan alle andere mensen die ik niet vernoem, het is ook dankzij jullie dat dit alles mij gelukt is.

Abstract

De microbiologische en de technologische kwaliteit van *par-baked* brood werden onderzocht waarbij de invloed van procesparameters in kaart werd gebracht door telkens extreme waarden te hanteren. De gebruikte *par-baking* parameters zijn baktemperatuur, baktijd en stoomvolume voor tarwebrood en zuurdesembrood (30 g ZD/100 g deeg), verpakt in luchtatmosfeer en gewijzigde atmosfeer (MAP). Om de microbiologische kwaliteit te evalueren werden pH en a_w -waarde, totaal anaeroob kiemgetal, gisten en schimmels en sporenvormende bacteriën geanalyseerd, met eveneens een *shelf life* test door visueel de aan- of afwezigheid van schimmels en gisten te bepalen. De technologische kwaliteit werd nagegaan door gewicht, volume, kruimtextuur en korstkrokantheid te bestuderen. Het gebruik van zuurdesem is een geschikte *clean label* conserveringsstrategie, daar het totaal anaeroob kiemgetal, gisten en schimmels en sporenvormende bacteriën sterk reduceert. Naast zijn conserverende werking, oefent zuurdesem bovendien een positieve invloed uit op de kruimstructuur. Tevens wordt een synergetisch effect verworven door combinatie van zuurdesem en MAP-verpakking, met een gemiddelde *shelf life* verlenging van 5 dagen als resultaat. Verder bewerkstelligde een hogere baktemperatuur en langere baktijd een groter volume, lager gewicht en dalende trend in wateractiviteit, wat resulteert in een gereduceerde microbiële groei. Echter zorgde de hogere temperatuur reeds voor bruinkleuring van het *par-baked* product, wat ongewenst is. Opmerkelijk was de inhibitie van sporenvormende bacteriën na een bakproces van minstens 15 minuten, ongeacht de gebruikte temperatuur. Uit deze studie kan besloten worden dat door toevoeging van zuurdesem en optimalisatie van de bak- en bewaarcondities de *shelf life* kan verlengd worden.

Kernwoorden: *par-baking*, kwaliteit, zuurdesem, bakcondities, broodbederf

Abstract

The impact of process parameters on the microbial and technological quality of par-baked bread was investigated. The parameters are par-baking temperature, par-baking time and amount of steam for wheat and sourdough bread (30 g sourdough/100 g dough), packed in air and modified atmosphere. In order to evaluate the microbiological quality, pH, a_w , total anaerobic plate count, yeasts and moulds and spore forming bacteria were analysed. Visual growth of moulds and yeasts (presence/absence of single spots) was followed up during a shelf life test. The technological quality was checked by studying weight, volume, crumb texture and crust hardness. The use of sourdough is a suitable clean label preservation strategy since the total anaerobic plate count, yeasts and moulds and spore forming bacteria were strongly reduced. In addition to its preserving effect, sourdough also has a positive influence on the crumb texture. Besides, a synergistic effect is obtained by combining sourdough and MAP packaging resulting in an average shelf life extension of 5 days. Furthermore, a higher baking temperature and longer baking time resulted in a larger volume, lower weight and decreasing trend in water activity, leading to a reduced microbial growth. Unfortunately, the higher temperature caused browning of the par-baked product, which is undesirable. Noteworthy was the inhibition of spore forming bacteria after a baking process of at least 15 minutes, regardless the used temperature. This study showed that the addition of sourdough and optimization of the baking and storage conditions can increase the shelf life.

Keywords: par-baking, microbial quality, sourdough, baking conditions, bread spoilage

Inhoudsopgave	
Lijst met afkortingen	V
Lijst met figuren	VI
Lijst met tabellen	IX
Inleiding	1
1 Literatuurstudie	2
1.1 Wat is <i>par-baking</i> technologie?	2
1.1.1 Principe van par-baking	2
1.1.2 Invloed van bakparameters	3
1.1.3 Formulatie van par-baked brood	5
1.1.4 Belangrijke productiestappen na de par-baking bakfase	9
1.1.5 Alternatieve conserveringsstrategiën	12
1.2 Kwaliteit van <i>par-baked</i> brood	13
1.2.1 Microbiële kwaliteit van par-baked brood	13
1.2.2 Technologische kwaliteit van par-baked brood	18
2 Probleem- en doelstelling	22
3 Algemene proefopzet	23
4 Materiaal en methoden	25
4.1 Luik 1: Microbiologische kwaliteit	25
4.1.1 Proefopzet	25
4.1.2 Broodbereiding	26
4.1.3 Microbiële parameters	27
4.1.4 A_w en pH bepaling	28
4.1.5 Dataverwerking	28
4.2 Luik 2: Technologische kwaliteit	29
4.2.1 Proefopzet	29
4.2.2 Broodbereiding	30
4.2.3 Technologische parameters	30
4.2.4 Dataverwerking	32
5 Resultatenbespreking en discussie	33

5.1	Luik 1: Microbiologische kwaliteit	33
5.1.1	Invloed van bakcondities en zuurdesem op de pH van par-baked brood	33
5.1.2	Invloed van bakcondities en zuurdesem op de wateractiviteit	34
5.1.3	Invloed van bak-, bewaarcondities en zuurdesem op de microbiële kwaliteit	36
5.1.4	Invloed van zuurdesem, bak- en bewaarcondities op de shelf-life	43
5.1.5	Tussentijds besluit: microbiologische kwaliteit	46
5.2	Luik 2: Technologische kwaliteit	47
5.2.1	Technologische kwaliteit van par-baked brood	47
5.2.2	Technologische kwaliteit van afgebakken brood	55
5.2.3	Tussentijds besluit: technologische kwaliteit	62
6	Algemene conclusie	63
	Bibliografie	64
	Bijlagen	68

Lijst met afkortingen

<i>Afkorting</i>	<i>Anderstalige betekenis</i>	<i>Nederlandse betekenis</i>
a_w	wateractivity	wateractiviteit
DY	Dough yield	Deegopbrengst
FQ	Fermentation quotient	Fermentatiequotiënt
EPS	-	Exopolysacchariden
GLM	General linear model	-
kve	-	Kolonievormende eenheden
LL	Lower limit	Ondergrens
MAP	Modified Atmosphere Packaging	Gemodificeerde atmosfeer verpakking
OGY(E)	Oxytetracycline Glucose Yeast (Extract)	-
PB	Par-baked	Half-afgebakken
PCA	Plate Count Agar	-
TAPC	Total Anaerobic Plate Count	Totaal anaeroob kiemgetal
UL	Upper limit	Bovengrens

Lijst met figuren

FIGUUR 1: Procesflow van conventionele en <i>par-baked</i> brood-bereiding.....	2
FIGUUR 2: Relatie tussen temperatuur en tijd, en de kleurvorming van <i>par-baked</i> brood	4
FIGUUR 3: Procesflow productie types 0, I, II en III zuurdesembrood.....	7
FIGUUR 4: MAP-verpakt <i>par-baked</i> brood	11
FIGUUR 5: Percentage schimmelvrije opslag van verscheidene producten in functie van de concentratie CO ₂	15
FIGUUR 6: Kalkgisten na 7 dagen, gekweekt bij 25 °C, 0,995 aw en ph 5,7.....	16
FIGUUR 7: Slijmvorming in broodkruim door bacterieel bederf veroorzaakt door <i>Bacillus subtilis</i>	17
FIGUUR 8: Schematische voorstelling van de proefopzet	24
FIGUUR 9: Texture analyzer TA.Xtplus	30
FIGUUR 10: Cilindrische probe (links) gebruikt voor TPA- test ter analyse van het broodkruim en wigprobe (rechts) gebruikt ter analyse van de korstkrokantheid met de Texture Analyzer	31
FIGUUR 11: Boxplot van de pH van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood.....	34
FIGUUR 12: Boxplot van de a _w -waarde van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood gebakken bij vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd tijdens de tweede fase van de <i>par-baking</i> fase	35
FIGUUR 13: Staafdiagram van het totaal anaeroob kiemgetal van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood na 3, 8 en 13 dagen bewaard bij luchtatmosfeer en gewijzigde atmosfeer bij 22 °C.....	37
FIGUUR 14: Staafdiagram van het totaal anaeroob kiemgetal van <i>par-baked</i> tarwebrood (boven) en zuurdesembrood (onder) na 3, 8 en 13 dagen bewaring bij 22 °C, gebakken met acht verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur, baktijd en stoomvolume	38
FIGUUR 15: Staafdiagram van gisten en schimmels (log kve/g) van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood na 3, 8 en 13 dagen bewaard bij luchtatmosfeer en gewijzigde atmosfeer bij 22 °C.....	40
FIGUUR 16: Staafdiagram van gisten en schimmels (log kve/g) van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood na 3, 8 en 13 dagen bewaring bij luchtatmosfeer (links) en gemodificeerde atmosfeer (rechts) bij 22 °C, gebakken met acht verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur, baktijd en stoomvolume.....	41
FIGUUR 17: Staafdiagram van sporevormende bacteriën (log kve/g) van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood bewaard bij luchtatmosfeer en gewijzigde atmosfeer bij 22 °C	42

FIGUUR 18: Staafdiagram van de sporenvormende bacteriën (log kve/g) van <i>par-baked</i> tarwebrood na 3, 8 en 13 dagen bewaring in luchtatmosfeer bij 22 °C, gebakken met acht verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur, baktijd en stoomvolume	43
FIGUUR 19: Staafdiagram van <i>shelf life</i> (dagen) van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood bewaard bij luchtatmosfeer en gewijzigde atmosfeer bij 22 °C.....	44
FIGUUR 20: Staafdiagram van de <i>shelf life</i> (dagen) van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesem brood bewaard in luchtatmosfeer (boven) en gewijzigde atmosfeer (onder) bij 22 °C, gebakken met acht verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur, baktijd en stoomvolume	45
FIGUUR 21: Staafdiagram van gewicht (g) van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood (n = 10) voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)	48
FIGUUR 22: Staafdiagram van volume (ml) van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood bewaard gebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)	49
FIGUUR 23: Staafdiagram van textuurparameters (n = 10) van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood gebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)	53
FIGUUR 24: Luchtverpakt <i>par-baked</i> brood met wijzigende korstkleur afhankelijk van de gekozen bakcondities.	54
FIGUUR 25: Staafdiagram van gewicht (g) van <i>fully baked</i> brood 3 dagen bewaard bij kamertemperatuur (links) en diepvriestemperatuur (rechts), voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)	56
FIGUUR 26: Staafdiagram van volume (ml) van <i>fully baked</i> tarwe- en zuurdesembrood voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)	57
FIGUUR 27: Staafdiagram van textuurparameters van <i>fully baked</i> tarwe- en zuurdesembrood 3 dagen bewaard bij kamertemperatuur of diepvriestemperatuur, en voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)	59
FIGUUR 28: Staafdiagram van gewicht (g) van <i>fully baked</i> tarwe- en zuurdesembrood, 3 dagen bewaard bij diepvriestemperatuur (links) en kamertemperatuur (rechts), voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)	61

FIGUUR 29: Volledig gebakken tarwebrood (boven) en zuurdesembrood (onder), 2 dagen bewaard bij diepvriestemperatuur (links) en kamertemperatuur (rechts), voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's (constant stoomvolume van 200 ml)..... 61

Lijst met tabellen

TABEL 1: Alternatieven voor vers brood: <i>clean label</i> -conserveringsmethode	12
TABEL 2: GLM van de kwaliteitsparameters van <i>par-baked</i> brood (y_i : volume (V), gewicht (W) en L^* , a^* , b^*) in functie van de <i>par-baking</i> bakcondities (x_i : T, time, steam: baktemperatuur, baktijd en stoom gebruikt tijdens de tweede PB fase)	20
TABEL 3: De acht gehanteerde bakprogramma's bekomen door combinatie van drie verschillende bakparameters	25
TABEL 4: Vier bakprogramma's uit proefopzet van luik 2	29
TABEL 5: Gemiddelde pH ($n = 4$) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities	33
TABEL 6: Gemiddelde a_w ($n = 2$) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities	34
TABEL 7: Voorspellingsmodel voor de a_w van <i>par-baked</i> broodjes (y_i : a_w) in functie van de bakparameters in de tweede fase van de PBfase (x_i : baktijd (min), baktemperatuur ($^{\circ}\text{C}$), stoom (ml)) en zuurdesem (g/ 100 g deeg)	36
TABEL 8: Voorspellingsmodel voor het totaal anaeroob kiemgetal (log kve/g) na 13 dagen van <i>par-baked</i> broodjes (y_i : TAPC) in functie van de bakparameters (x_i : baktijd (min), baktemperatuur ($^{\circ}\text{C}$), stoom (ml)) en zuurdesem (g/ 100 g deeg)	38
TABEL 9: Voorspellingsmodel voor de <i>shelf life</i> (dagen) na 13 dagen van <i>par-baked</i> broodjes (y_i : <i>Shelf life</i>) in functie van de bakparameters (x_i : baktijd (min), baktemperatuur ($^{\circ}\text{C}$), stoom (ml)), zuurdesem (g/ 100 g deeg) en verpakking.	45
TABEL 10: Gemiddeld gewicht ($n = 10$) van <i>par-baked</i> brood bij de gebruikte bakcondities	47
TABEL 11: Voorspellingsmodel voor het gewicht (g) van <i>par-baked</i> broodjes (y_i : <i>gewicht</i>) in functie van de bakparameters (x_i : baktijd (min) en baktemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)) en zuurdesem (g/ 100 g deeg).....	48
TABEL 12: Gemiddeld volume ($n = 10$) van <i>par-baked</i> tarwe- en zuurdesembrood bij de gebruikte bakcondities.....	49
TABEL 13: Gemiddelde textuurparameters ($n = 10$) van <i>par-baked</i> broodkruim bij de gebruikte bakcondities bekomen via TPA-test met de Texture Analyzer.....	50
TABEL 14: Gemiddeld gewicht ($n = 10$) van <i>fully baked</i> brood met gemiddeld gewichtsverlies (%) t.o.v. <i>par-baked</i> brood, bij de gebruikte bak- en bewaarcondities	55
TABEL 15: Gemiddeld volume ($n = 6$) van <i>fully baked</i> brood met gemiddelde volumereductie (%) t.o.v. <i>par-baked</i> brood, bij de gebruikte bak- en bewaarcondities	56
TABEL 16: Gemiddelde korstkrokantheid ($n = 6$) van <i>fully baked</i> brood bij de gebruikte bak- en bewaarcondities bekomen met de <i>Texture Analyzer</i>	60

Inleiding

Tarwebrood is wereldwijd zeer sterk aanwezig in het voedingspatroon maar heeft als negatieve eigenschap zijn beperkte houdbaarheid. Voor de consument zal onder andere de optredende broodveroudering een bepalende factor zijn om het brood al dan niet nog te consumeren. Hierdoor wordt het brood snel weggegooid, doorgaans nog voordat microbiologisch bederf optreedt. Het verlengen van de houdbaarheid van broodproducten is dan ook een van de belangrijkste *targets* waar in de bakkerijsector aandacht aan wordt besteed. Om deze verspilling tegen te gaan is de *par-baking* technologie een gerichte oplossing. Door broodproducten vooraf gedeeltelijk te bakken en te verpakken, kan de consument of retailer op een snelle en efficiënte manier PB brood afbakken op het moment dat vers brood gewenst is. De *par-baking* technologie, met synoniemen als *part-baking* of *partially baking*, is hierdoor een snelle en efficiënte manier om op elk moment van de dag vers brood te bekomen.

Van *par-baked* producten wordt een lange houdbaarheid verwacht maar ten gevolge van het hoge vochtgehalte zijn deze producten zelf gevoelig voor microbiologisch bederf. Het gebruik van chemische conserveermiddelen zal de houdbaarheid verlengen maar eveneens de consument ook afschrikken. Tegenwoordig is men geen voorstander van E-nummers op het etiket en gaat de consument op zoek naar *clean label* alternatieven. Het gebruik van zuurdesem als *clean label* conserveerstrategie is een mogelijke oplossing om de houdbaarheid van *par-baked* brood te verlengen.

In deze masterproef wordt getracht de houdbaarheid van *par-baked* brood te optimaliseren door het gebruik van zuurdesem en wordt onderzocht of de microbiële kwaliteit van deze producten wordt beïnvloedt door het wijzigen van de *par-baking* bakcondities (temperatuur, tijd en stoomvolume) en/of de bewaaromstandigheden (verpakking met lucht of gewijzigde atmosfeer). Als aanvulling van de proefopzet wordt eveneens de invloed van zuurdesem en de wijzigende bak- en bewaarcondities op de technologische kwaliteit van *par-baked* brood in kaart gebracht.

Deze thesis kan opgedeeld worden in drie delen. In het eerste deel wordt de *par-baking* technologie uit de doeken gedaan en worden de eigenschappen van een half-afgebakken product beschreven aan de hand van een literatuuronderzoek. In een tweede deel wordt de probleem- en doelstelling geschetst, gevolgd door de proefopzet en de bijhorende materiaal en methoden. In het derde en laatste deel worden de bekomen resultaten van praktische labogedeelte weergegeven en vergeleken met de verworven kennis uit het literatuuronderzoek. Ten slotte wordt een conclusie gevormd en een antwoord gegeven op de onderzoeksvraag van deze thesis.

1 Literatuurstudie

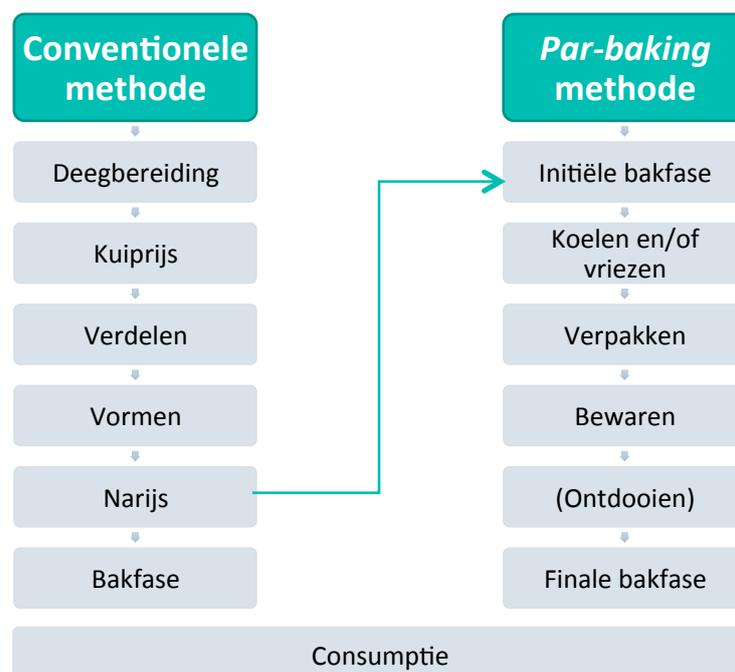
1.1 Wat is *par-baking* technologie?

De *par-baking* technologie maakt het mogelijk om brood gedeeltelijk te bakken en vervolgens tijdelijk op te slaan bij bepaalde bewaaromstandigheden (Debonne *et al*, 2017). Op het moment dat vers brood gewenst is, kan het brood verder afgebakken worden met als gevolg een aanzienlijke tijdsbesparing voor de consument. Deze technologie heeft met andere woorden als doel om in een korte tijdspanne vers brood te verwezenlijken.

Het afbakken op het moment van consumptie heet de *bake-off* technologie, en werd voor het eerst gebruikt in de jaren '50 als alternatief voor diepgevroren bakkerijproducten. In de Verenigde Staten werden '*Brown-and-serve*'-producten op de markt gebracht, waarbij voornamelijk horecazaken de half-afgebakken producten enkel nog moesten 'kleuren' in de oven. Hierdoor werd op een snelle en efficiënte manier vers brood bekomen. Deze technologie waaide in 1990 over naar Frankrijk, waardoor *par-baked* stokbrood de Europese markt veroverde (Suas, 2009).

1.1.1 Principe van *par-baking*

De broodbereiding van een volledig afgebakken brood en een *par-baked* (PB) brood zijn zeer gelijklopend. Alleen vindt er een procesonderbreking plaats bij het produceren van PB brood, wat schematisch wordt voorgesteld in Figuur 1. Deze onderbreking speelt zich af tijdens het bakproces. Hierdoor blijven de deegbereiding en het rijsp proces dezelfde, maar worden er bij de PB technologie twee bakfases uitgevoerd (Almeida *et al*, 2016).



FIGUUR 1: Procesflow van conventionele en *par-baked* broodbereiding (Karaoğlu, 2015)

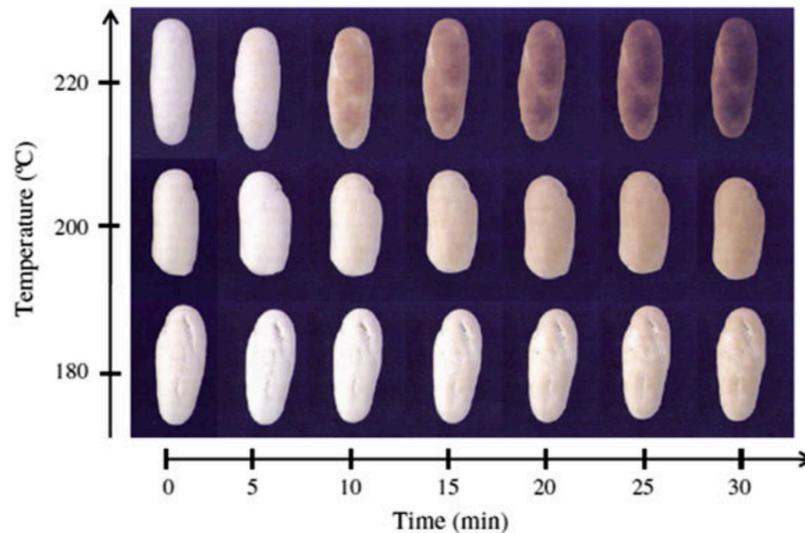
In de **initiële bakfase**, of de *par-baking* fase, wordt het gerezen en opgemaakte deeg gebakken tot de kruimstructuur voldoende is gevormd, maar de bruinkleuring minimaal blijft. Het is met andere woorden van belang om een evenwicht te vinden tussen de optimale kruimontwikkeling onder invloed van zetmeelgelificatie, glutenontwikkeling en waterretentie enerzijds, en het vermijden van de Maillard reactie anderzijds. Deze fase heeft als doel om een half-afgebakken product te bekomen dat voldoende gebakken is en voldoende stabiel blijft om bewaring voor langere periode mogelijk te maken. Op deze manier bestaat steeds de mogelijkheid om *par-baked* brood een tweede bakfase te laten doorlopen om vers brood te bekomen, waar en wanneer de consument dit wenst (Karaoğlu, 2015; Rosell, 2015). De eerste bakfase kan bestaan uit twee delen wat bijvoorbeeld het geval is bij de productie van stokbrood. De ideale bakfase bestaat uit een zeer korte baktijd bij een heel hoge temperatuur in een oven gevuld met stoom, bijvoorbeeld 3 minuten bij 270 °C in het geval van een stuk deeg van 170 gram. Vervolgens wordt er verder gebakken zonder stoominjectie bij een temperatuur van 250 °C gedurende 7 minuten. Deze methode geeft de meeste optimale structuur aan het half-afgebakken product (Cauvain & Young, 2007).

De tweede bakfase, of de **finale bakfase**, vindt plaats wanneer de consument/retailer vers brood wenst. Het half-afgebakken brood wordt uit de opslag gehaald en ondergaat een laatste bakfase. Deze fase heeft als doel het brood een bruine kleur te geven, de korst en aroma's te vormen en de kruimstructuur te finaliseren (Almeida *et al*, 2016). Daarnaast wordt het broodkruim opnieuw 'vers'. Hiermee wordt bedoeld dat het centrum van het broodkruim opnieuw een temperatuur bereikt van minimaal 60 °C, waardoor de amylopectinekristallen weer afsmelten. Deze kristallen werden gevormd tijdens opslag van het brood en maken deel uit van de broodveroudering. Doordat deze kristallen opnieuw afsmelten, wordt opnieuw een zachter broodkruim bekomen. In bepaalde gevallen wanneer half-afgebakken brood diepgevroren wordt opgeslagen, is het van belang dat deze eerst ontdooid wordt. Indien dit niet gebeurt, zal de temperatuur van 60 °C nooit bereikt worden in de kern van het brood. Dit heeft als gevolg dat de amylopectinekristallen in de kern niet smelten, en het broodkruim slechts deels wordt ververst (Karaoğlu, 2015).

1.1.2 Invloed van bakparameters

Tijdens de initiële fase, zijn de baktijd en baktemperatuur de twee belangrijke parameters die tevens met elkaar in verband staan. De **temperatuur** moet voldoende hoog zijn zodat de kruimstructuur gevormd kan worden, maar tevens de inactivatie van enzymen en gisten kan plaatsvinden. Wanneer de temperatuur te hoog is, zal reeds bruinkleuring (zie Figuur 2) en aromavorming plaatsvinden en daalt het vochtgehalte aan het broodoppervlak. Hierdoor zal vochtmigratie van het kruim naar de korst optreden tijdens de opslag van het half-afgebakken brood. Dit zorgt voor een droger finaal product dat gevoeliger is voor retrogradatie. De baktemperatuur van PB brood zal dus lager liggen dan de temperatuur tijdens het

conventionele bakproces (Karaoğlu, 2015). Wanneer een lagere baktemperatuur wordt gehanteerd, is een langere baktijd noodzakelijk. Indien deze extra baktijd niet wordt ingebouwd, wordt een zachter brood bekomen na de tweede bakfase (Rosell, 2015).



FIGUUR 2: Relatie tussen temperatuur en tijd, en de kleurvorming van *par-baked* brood (Karaoğlu, 2015)

De optimale **baktijd** van een *bake-off* product bedraagt volgens een statistische voorspelling van Fik & Surwka (2002) tussen de 74 % en de 86 % van de conventionele baktijd. Binnen deze range blijven de kerntemperatuur en het broodvolume constant en wordt het meest stabiele product bekomen. Wanneer het PB brood in diepvriesomstandigheden wordt opgeslagen, zorgt 71 % van de conventionele baktijd voor de beste sensorische en texturele kwaliteit na afbakken. Deze waarden werden geobserveerd bij broden van 500 g tarwebloem, en gelden niet voor ieder *bake-off* product. Volgens onderzoek van Karaoğlu & Kotancilar (2006) zorgt de baktijd voor een significante invloed op het vochtgehalte, specifiek volume, kruimzachtheid en kleur van het brood.

Een derde bakparameter is de **stoomtijd en -hoeveelheid**. Warme stoom verhit het koude broodoppervlak en veroorzaakt versneld warmtetransport naar de kern van het deeg. Dit zorgt voor snellere kruimontwikkeling (Almeida *et al*, 2016). Tevens condenseert de hete stoom tegen het koude broodoppervlak en maakt het oppervlak nat. Wanneer er geen stoom wordt gebruikt, wordt de korstvorming reeds te snel ingezet, nog voordat het brood de ovenrijs heeft doorlopen. De stoominjectie wordt met andere woorden gebruikt om de *oven spring* of *oven kick* te controleren (Karaoğlu, 2015). *Oven spring* is een term die gehanteerd wordt om de deegexpansie tijdens het bakproces te benoemen. Door de temperatuurstijging zal het gas expanderen en het deeg rijzen (Van Bockstaele, 2011). Daarnaast beïnvloedt stoom de kleur, glans en de korst (Debonne *et al*, 2017). Een overmaat aan stoom zorgt enerzijds voor kleurverlies, een daling in de stevigheid en kracht van het kruim, maar anderzijds wordt de

glans bevorderd (Karaoğlu, 2015). Volgens Cauvain & Young (2007) is het gebruik van stoom slechts enkele seconden nodig. Te lang stomen zou verschrompeling van het product teweegbrengen.

Tijdens de finale bakfase zijn nog steeds de tijd en temperatuur de twee meest invloedrijke parameters. De broodstructuur wordt gefinaliseerd, maar de nadruk ligt op de vorming en kleuring van de korst, en het bereiken van min. 60 °C in de broodkern. Deze fase vereist bijgevolg een korte baktijd om te veel waterverlies te voorkomen en een hoge temperatuur (zonder stoomgebruik) (Rosell, 2015; Almeida, Steel, & Chang, 2016).

1.1.3 Formulatie van par-baked brood

1.1.3.1 Hoofdingrediënten

Bij de broodbereiding zijn vier hoofdingrediënten noodzakelijk, nl. bloem, water, gist en zout. Deze vier ingrediënten worden intens vermengd en door het toevoegen van energie tijdens het mix-proces wordt een deeg bekomen met de gewenste visco-elastische eigenschappen (Dewettinck *et al*, 2008; Van Bockstaele, 2011).

Bij de bereiding van *par-baked* brood wordt medium sterke **tarwebloem** gebruikt om een te groot volume te voorkomen (Almeida *et al*, 2016). Daarnaast is **water** essentieel tijdens de ontwikkeling van het glutennetwerk en de gelificatie van het zetmeel. De hoeveelheid water is afhankelijk van het waterabsorberend vermogen van de gebruikte bloem (Van Bockstaele, 2011; De Leyn, 2017). Aangezien *par-baked* brood in twee bakfasen wordt geproduceerd, verliest het een grotere hoeveelheid water waardoor er extra water moet worden toegevoegd aan de receptuur in vergelijking met de conventionele broodbereiding (Almeida *et al*, 2016).

Bakkersgist, ofwel *Saccharomyces cerevisiae*, zorgt voor de fermentatie van de koolhydraten. Hierbij worden ethanol, welke verdwijnt tijdens het bakproces, en CO₂ geproduceerd. Het geproduceerde gas zorgt voor de rijs van het deeg, waarbij een poreuze broodstructuur wordt bekomen (De Leyn, 2017). Vervolgens heeft de gistfermentatie een invloed op de deegreologie en smaak van het brood (Cauvain & Young, 2007).

De hoeveelheid **zout** in brood is bij wet bepaald, namelijk max. 2% zout op droge stof. Zout is niet alleen een smaakmaker, maar speelt tevens een rol bij de regeling van de osmotische druk bij gisten. Tevens is zout essentieel tijdens de glutenontwikkeling (Van Bockstaele, 2011; De Leyn, 2017).

1.1.3.2 Specifieke ingrediënten

Naast de vier hoofdingrediënten worden extra componenten toegevoegd aan de formulatie van *par-baked* brood zoals mout, rijpingsagenten, enzymen, emulgatoren, hydrocolloïden of extra gluten (De Leyn, 2017; Almeida *et al*, 2016).

Aangezien een lange houdbaarheid wordt verwacht van *par-baked* brood, worden conserverende ingrediënten toegevoegd om dit te bewerkstelligen. Volgens verordening (EG) 1333/2008 is het toevoegen van additieven toegelaten voor gedeeltelijk gebakken brood. Sorbinezuur en zijn zouten alsook propionzuur en zijn zouten zijn toegestaan in een maximale hoeveelheid van 2000 mg/kg. **Sorbinezuur (E200) en sorbaten** zoals kaliumsorbaat en calciumsorbaat, hebben een sterk antifungale werking, maar zijn ook actief tegen gisten en bacteriën. In de bakkerijsector worden concentraties gebruikt van 0,001 % tot 0,3 %. Hogere dosissen brengen een negatieve smaakverandering met zich mee. Verdere nadelen zijn een negatief effect op de gist, een plakkerig en moeilijk verwerkbaar deeg en een verlaagd broodvolume. Sorbaten hebben echter wel een synergetische werking met natriumchloride, calcium- en natriumpropionaat en citroenzuur, met als gevolg een verlengde houdbaarheid van het brood (Saranraj & Geetha, 2012). **Propionzuur (E280) en propionaten** (natrium-, calcium- en kaliumpropionaat) hebben eveneens een antifungale werking en zijn ook actief tegen lengbacteriën, maar zijn minder krachtig dan sorbinezuur en zijn derivaten (Saranraj & Geetha, 2012). Calciumpropionaat wordt het meest toegepast vanwege zijn optimale werking bij een pH lager dan 5,5. Eveneens heeft dit conserveermiddel geen invloed op de gistwerking en is daarom uiterst geschikt voor gerezen broden (Katsinis *et al*, 2008). Het zorgt echter wel voor een verlaging van het korstvochtgehalte, specifiek volume en de kruimzachtheid (Almeida *et al*, 2016).

Een ander conserveermiddel gebruikt in de broodindustrie is **ethylalcohol**. Door het vers gebakken brood te besproeien met ethanol voordat het verpakt wordt, of de verpakking te vullen met een kleine hoeveelheid ethanol, wordt een verlengde houdbaarheid bekomen welke tweemaal zo lang is na toepassing van een concentratie van 0,5 % (op broodgewicht). Op sensorisch gebied wordt ethanol als negatief ervaren vanaf een concentratie van 1 %. (Cauvain & Young, 2007).

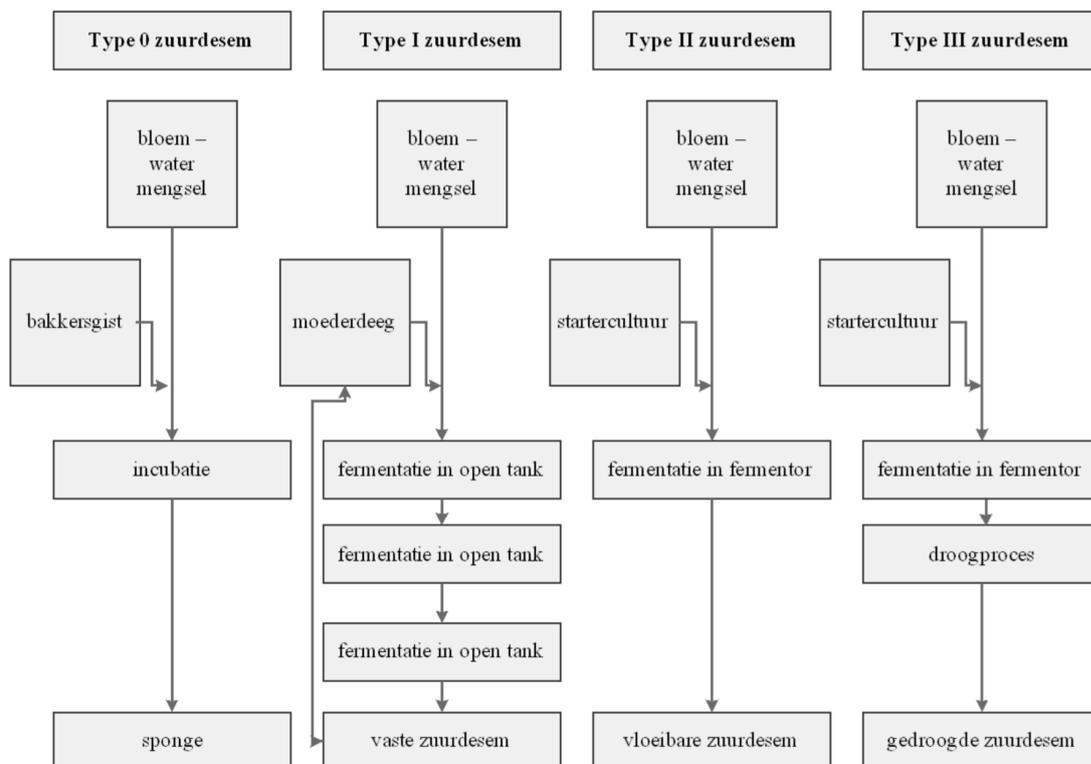
1.1.3.3 Zuurdesem

Meer en meer wordt zuurdesem toegevoegd aan de receptuur van *par-baked* brood omwille van zijn rustieke smaak, maar eveneens als *clean label* conserveermiddel. Een traditionele zuurdesem is een mengsel van water en bloem die spontaan gefermenteerd is door de microflora uit de omgeving en uit de bloem. Het toevoegen van zuurdesem aan brooddeeg heeft als doel een gashoudend deeg te ontwikkelen zonder het gebruik van gist (Decock & Cappelle, 2005; Arendt, Ryan, & Dal Bello, 2007). Zuurdesembrood wint tegenwoordig opnieuw aan populariteit door de stijgende vraag naar natuurlijke en gezonde voeding (Arendt, Ryan, & Dal Bello, 2007; Poutanen, Flander, & Katina, 2009).

Een zuurdesem is een verzameling van micro-organismen in een deeg van water en bloem. De microbiologische samenstelling hiervan bestaat uit bacteriën en gisten die in symbiose samenwerken. Meer dan 50 species melkzuurbacteriën (voornamelijk *Lactobacillus*) zijn

aanwezig in het deeg, tussen de $1.10^9 - 3.10^9$ kve/g zuurdesem. Daarnaast zijn er 25 species gisten (voornamelijk *Saccharomyces* en *Candida*) welke voorkomen in een range van $1.10^6 - 5.10^7$ kve/g zuurdesem (Arendt *et al*, 2007). De gemiddelde verhouding melkzuurbacteriën en gisten is 100:1 (Sadeghi, 2008), maar deze kan ook sterk variëren.

Er bestaan vier types zuurdesem, namelijk type 0, I, II en III, waarvan de productie *flowchart* wordt weergegeven in Figuur 3. Wanneer een nieuwe zuurdesem wordt vervaardigd door water en bloem te mengen, en de spontane fermentatie te laten plaatsgrijpen, heet dit een **type 0** zuurdesem. Een **type I** zuurdesem wordt bekomen door een deel van de ‘moederdesem’ (type 0) te gebruiken als startercultuur, en dagelijks te vermengen (ook *backslopping* genoemd) met water en bloem om de microbiologische activiteit in stand te houden. Dit wordt een ‘traditionele’ zuurdesem genoemd. Een vloeibare mengsel van water en bloem gefermenteerd door starterculturen is een **type II** zuurdesem. Deze is makkelijk te gebruiken in industriële bakkerijen daar deze beter verpompt kan worden. De meest gebruikte zuurdesem toegepast in een industriële bakkerij is een **type III** zuurdesem. Deze gedroogde variant heeft voornamelijk als doel een authentieke smaak te geven aan het brood. Door de uniformiteit van de zuurdesem binnen elke batch, is de kwaliteit constant in alle eindproducten (Sadeghi, 2008; Decock & Cappelle, 2005; De Vuyst & Neysens, 2005).



FIGUUR 3: Procesflow productie types 0, I, II en III zuurdesembrood (Huysentruyt, 2017)

Een kwalitatieve zuurdesem is afhankelijk van de samenstelling en de microbiële activiteit waarbij een gecontroleerde fermentatie van groot belang is. Deze fermentatie komt tot stand onder invloed van verschillende parameters (Hansen, 2006). Zo is de samenstelling van de microflora bepalend voor de fermentatie maar ook voor het aroma. Er zijn twee groepen micro-organismen die hier een rol in spelen; de hetero- en homofermentatieve melkzuurbacteriën en de gisten. De heterofermentatieve melkzuurbacteriën produceren meerdere eindproducten tijdens fermentatie, waarbij melkzuur en azijnzuur een sensorische bijdrage geven aan de zuurdesem. De homofermentatieve melkzuurbacteriën produceren enkel melkzuur. De verhouding geproduceerd melkzuur en azijnzuur wordt gedefinieerd als het fermentatiequotiënt (FQ) en is een parameter die de samenstelling van een zuurdesem kan beschrijven. Een laag FQ representeert een desem waar meer azijnzuur dan melkzuur wordt geproduceerd, en een hoog FQ andersom. Deze ratio kan beïnvloed worden door het wijzigen van de procesparameters tijdens productie van de zuurdesem, of door de aanwezige flora (De Vuyst & Neysens, 2005; Neysens & De Vuyst, 2005). Een standaard zuurdesem bezit een FQ van ongeveer 4,0 - 5,5 (Hui *et al*, 1995), maar om sensorische redenen wordt gestreefd naar een ratio van 2,0 - 3,0 bij brood (Gerez *et al*, 2009).

Tevens is de consistentie van het deeg een belangrijke eigenschap, wat afhankelijk is van de verhouding water en bloem, uitgedrukt als '*dough yield*' (DY). Dit is het totale gewicht van het deeg in verhouding met de hoeveelheid bloem (zie onderstaande vergelijking).

$$DY = \frac{(\# \text{ bloem} + \# \text{ water}) \times 100}{\# \text{ bloem}}$$

Een zuurdesem met DY 160 is eerder stug, terwijl een desem met DY 200 vloeibaar is. De DY-waarde zal mee het smaakprofiel van de zuurdesem bepalen. Zo produceren de micro-organismen in een stugge desem, met een lage DY-waarde, meer azijnzuur en minder melkzuur. Deze geven respectievelijk snel een zure smaak en traag een milde smaak aan de desem (Decock & Cappelle, 2005). Een volgende parameter die de fermentatie van de zuurdesem bepaald, is het bloemtype. Een zuurdesem bestaande uit tarwebloem zal sterk verschillen van een desem geproduceerd met roggebloem. Tenslotte spelen de procesparameters tijdens de fermentatie een belangrijke rol. De temperatuur, pH en de fermentatietijd zijn uniek voor de ontwikkelende microflora. Bij het produceren van een type I zuurdesem, zal namelijk de temperatuur, pH en tijd van de eerste fermentatie nauwgezet dezelfde moeten zijn bij de volgende fermentaties. Bij proceswijzigingen verandert dus de microflorasamenstelling en bij gevolg ook de smaak van de zuurdesem (Hansen, 2006; Decock & Cappelle, 2005).

1.1.4 Belangrijke productiestappen na de par-baking bakfase

Om een finaal product te verkrijgen met de gewenste eindkwaliteit, zijn de processtappen na de *par-baking* stap van cruciaal belang. De koelstap, de wijze van verpakken en de bewaaromstandigheden bepalen samen de eindkwaliteit van het product.

1.1.4.1 Koeling

Het afkoelen van *par-baked* brood tot kamertemperatuur is een fundamentele stap in het productieproces. Het half-afgebakken brood heeft geen korst die bescherming kan bieden tegen beschadiging of fysicochemische reacties, waardoor het brood zeer fragiel is (Almeida *et al*, 2016). Wanneer na afkoelen geopteerd wordt om het brood diepgevroren te bewaren, is het van belang het brood vooraf te koelen tot minstens kamertemperatuur om kwaliteitsproblemen te voorkomen. Bij onvoldoende afkoelen is de kerntemperatuur van het brood namelijk te hoog, en droogt vervolgens de korst uit tijdens het diepvriezen waardoor deze later loskomt van het kruim. Met een Engelse term wordt dit “*the crust flaking phenomenon*” genoemd (Rosell, 2015). Tijdens het afkoelen condenseert namelijk de omgevingslucht tegen het broodoppervlak. Het oppervlak zal bijgevolg schilferen en het broodkruim zal krimpen in volume waardoor de korst loskomt van het kruim (Almeida *et al*, 2016). De koelparameters zijn met andere woorden cruciaal om korstschildering in te perken. Le Bail *et al* (2005) voerde onderzoek uit naar de impact van koelparameters op de korstschildering. Dit onderzoek concludeerde dat een hogere temperatuur aan de ingang van de vriezer (55 °C of 35 °C) de korstschildering positief beïnvloedde.

Om dit kwaliteitsgebrek tegen te gaan, kan geopteerd worden voor vacuümkoelen. Deze snelle methode koelt in enkele minuten het brood af zonder condensatievorming, en eveneens zonder schilfering of kruimverkleining. Een nadeel aan deze koeltechniek is de drukval na het koelen (Rosell, 2015; Almeida, Steel, & Chang, 2016). Le Bail *et al* (2011) toonden aan dat deze koeltechniek zorgde voor een verdubbeling van de snelheid van het ‘oudbakken’ worden van brood.

1.1.4.2 Bewaarcondities

Half-afgebakken brood kan op vier manieren bewaard worden; in luchtatmosfeer bij kamertemperatuur, gekoeld of diepgevroren, en in een gemodificeerde atmosfeer. Het verschil tussen deze vier mogelijkheden uit zich in een verschil in houdbaarheid, welke kan variëren van enkele dagen tot enkele maanden (Almeida *et al*, 2016).

Par-baked brood dat in niet-gemodificeerde atmosfeer verpakt is en bij **kamertemperatuur** bewaard wordt, heeft een beperkte *shelf life*. Na reeds vijf dagen geeft schimmelgroei het einde aan van de houdbaarheid door de hoge a_w -waarde en temperatuur. Daarnaast is het brood na vijf dagen zijn verse broodaroma's verloren (Karaoğlu, 2015; Almeida, Steel, & Chang, 2016).

In tegenstelling tot broodjes bewaard bij kamertemperatuur, heeft **gekoeld** *par-baked* brood een langere houdbaarheid. Na een onderzoek van Lainez, Vergara, & Bárcenas (2008) werd geconcludeerd dat een verlaging van de temperatuur de houdbaarheid verlengt. Broodjes gekoeld tot 7 °C vertoonden microbiële groei na 9 dagen. Desalniettemin werd na slechts 28 dagen schimmelgroei opgemerkt wanneer de half-afgebakken broodjes werden bewaard bij 1 °C. Enig nadeel bij gekoelde bewaring is het versnellen van het verouderingsproces van brood, wat een daling in kwaliteit met zich meedraagt. Dit wordt echter teniet gedaan wanneer het brood de tweede bakfase doorloopt.

Daarnaast bezaten de PB broodjes (10 minuten voorgebakken en koel bewaard gedurende 7 en 14 dagen) een zachtere kruim in vergelijking met het referentiebrood (niet *par-baked*). Daarnaast heeft gekoelde bewaring ook een negatief effect op half-afgebakken broodjes. Een te lange bewaring bij een temperatuur van 4 °C zorgt voor vocht- en volumeverlies (Karaoğlu, 2006). Echter spreken Lainez, Vergara, & Bárcenas (2008) dit tegen. Dit onderzoek stelde vast dat de bewaartijd bij 4 °C geen invloed had op het vochtgehalte, specifiek volume en de verhouding breedte/hogte van *par-baked* brood. Toch speelt de bewaartemperatuur een rol op de kwaliteit. Zo blijkt de sensorische kwaliteit lager bij PB brood bewaard bij 1 °C in vergelijking met 7 °C. Wanneer gekoelde bewaring wordt vergeleken met bewaring bij kamertemperatuur, wordt bovendien ook een verschil bij de korst vastgesteld. Bij kamertemperatuur wordt PB brood na één dag zacht, terwijl bij koelere bewaring het brood nog enige kroktheid bezit na meer dan twee dagen. Ook na de tweede bakfase blijkt een verschil bij de korst. Gekoeld PB brood geeft na afbakken een impressie dat het brood verser en krokanter is, tegenover brood bewaard bij kamertemperatuur (Lainez *et al*, 2008).

De voornaamste bewaarmethode van *par-baked* brood is bewaring bij **diepvriestemperatuur**. Desalniettemin is deze methode zeer duur en verbruikt de productie van diepgevroren PB brood meer dan dubbel zoveel energie als conventionele broodproductie. Toch is deze bewaarmethode zeer populair omdat het de chemische en enzymatische reacties tijdens bewaring voorkomt, en de ontwikkeling van micro-organismen stopt omdat er geen vrij water beschikbaar is bij vriestemperaturen. Nog een belangrijk voordeel is dat er geen retrogradatie plaatsvindt tijdens diepgevroren opslag (Almeida *et al*, 2016). Zoals reeds werd aangehaald, is korstschildering het meest voorkomende kwaliteitsgebrek bij diepgevroren PB brood. Aan deze bewaarmethode zijn nog andere nadelen verbonden. De gevormde ijskristallen hinderen de complexe structuur van het broodkruim en het glutennetwerk waardoor de finale kruimtextuur van mindere kwaliteit is. Hierdoor wordt een lager volume bekomen en eveneens een hogere hardheid van het kruim (Rosell, 2015).

Wanneer diepvriesbewaring wordt vergeleken met gekoelde opslag, wordt een groter volume en een lagere hardheid van het kruim bekomen met gekoelde opslag in vergelijking met diepvriesbroden. Eveneens behouden gekoelde PB broden beter het aroma, maar scoren deze

lager als het gaat over smaak en textuur, in vergelijking met diepgevroren broden (Rosell, 2015; Almeida, Steel, & Chang, 2016). Toch wegen deze kwaliteitsgebreken niet op tegen feit dat een zeer lange houdbaarheid mogelijk is met diepgevroren PB producten. De kwaliteitsgebreken kunnen namelijk beperkt worden door het gebruik van bloem- en broodverbeteraars (Cauvain & Young, 2007).

Een vierde en laatste manier om PB brood te bewaren is door het gebruik van een **gemodificeerde atmosfeer (MAP-verpakking)**. De afgekoelde voorgebakken producten worden verpakt waarbij vervolgens de luchtsamenstelling wordt aangepast. In het geval van brood bestaat deze samenstelling uit 60 - 70 % CO₂, 30 – 40 % N₂ en een O₂-gehalte lager dan 1%. Door het gebrek aan zuurstof in de verpakking, wordt de microbiële groei geremd en wordt een langere houdbaarheid verwezenlijkt met een *shelf life* tot enkele maanden bij kamertemperatuur. Het is van groot belang bij MAP-verpakking dat postcontaminatie wordt voorkomen en dat de gassamenstelling goed wordt gemonitord. Doulia *et al* (2000) toonden aan dat MAP-verpakking de beste conserveringsstrategie was voor Frans stokbrood. In deze studie werden namelijk de *shelf life* opgevolgd voor brood in MAP-verpakking, brood met ethanol en met chemische conserveermiddelen, ultraviolet stralen en pasteurisatie. Tevens speelt de bewaartemperatuur van de MAP-verpakte broodjes ook een rol op de houdbaarheid. Hoe lager de temperatuur, hoe langer de *shelf life*. Binnen dit onderzoek werd een houdbaarheid van 100 dagen bekomen bij 27 °C en slechts 71 dagen bij 35 °C. Voor een verlengde houdbaarheid kan MAP-verpakking gecombineerd worden met andere conserveringsstrategieën (Almeida *et al*, 2016). De kwaliteit van PB brood wordt tevens bevorderd door deze verpakkingstechniek. Het hoge CO₂-gehalte remt de broodveroudering (Rosell, 2015).



FIGUUR 4: MAP-verpakt *par-baked* brood (Schär)

Een MAP-verpakking wordt in de bakkerijsector frequent toegepast voor *bake-off* producten die niet gekoeld bewaard moeten worden. Dit vanwege de hoge investeringskost voor apparatuur, gassamenstelling en verpakkingsmateriaal (Cauvain & Young, 2007). Daarnaast heeft een gemodificeerde atmosfeer nadelige effecten op het brood. Volgens Knorr & Tomlins (1985) wordt de kruimstevigheid verzwakt door de aanwezigheid van CO₂. Gelijkaardige bevindingen kwamen voor in het onderzoek van Cencic, Bressa en DallaRosa (1996). Doch

wordt deze conclusie door andere onderzoekers tegengesproken, waaronder Rasmussen & Hansen (2001). Volgens dit onderzoek heeft de atmosfeer geen invloed op de kruimstevigheid.

1.1.5 Alternatieve conserveringsstrategieën

Naast de *par-baking* technologieën (*brown-and-serve* en *frozen par-baked* brood) zijn er nog andere *clean label* methodes om een verlengde opslag van broodproducten mogelijk te maken. Zo bestaat de optie om het ongebakken brooddeeg te diepvriezen (***frozen dough technology***). Deze techniek is niet aan te raden voor de productie van gerezen brood, aangezien rauw deeg een zeer hoog watergehalte heeft en de glutenstructuur verstoord wordt door het grote aantal ijskristallen. Na ontdooien en afbakken wordt hierdoor een brood bekomen met een lagere kwaliteit dan een vers brood of een *par-baked* brood. Deze techniek wordt wel toegepast in de bakkerijsector bij de productie van koffiekoeken en koekjes waar geen goede glutenkwaliteit vereist is. Een andere methode ter verlenging van de bewaartijd is het **diepvriezen van gebakken brood**. Hierbij wordt het diepgevroren brood ontdooid vlak voordat het brood verkocht wordt in bijvoorbeeld supermarkten, bakkerijen of horeca. Deze techniek wordt in praktijk echter niet frequent toegepast. Deze methode wordt toch gehanteerd door de consument zelf. Door vers afgebakken brood in te vriezen, heeft de consument na ontdooien een vers brood. Nadelig aan deze techniek is een versnelde broodveroudering na ontdooien (Karaoğlu, 2015). Een vergelijking van de *clean label* bewaarmethodes wordt weergegeven in Tabel 1.

TABEL 1: Alternatieven voor vers brood: *clean label*-conserveringsmethode (Karaoğlu, 2015)

	Applicatie	Voordelen	Nadelen
<i>Par-baked brood</i>	<i>Brown-and-serve</i>	Verse broodaroma's Makkelijke opslag	Alleen kleine broodvolumes Baktemperatuur en -tijd cruciaal tijdens tweede bakfase
	<i>Frozen</i>	Snel en gemakkelijk	Duur Veel plaats nodig voor opslag
<i>Frozen dough</i>	Ongerezen deeg	Klein volume om diepvries te bewaren	Niet flexibel: rekening houden met rijs- en dooitijd
	Gerezen deeg	Snel en makkelijk	Groot volume voor opslag Na afbakken kleiner volume
<i>Frozen bread</i>	<i>Thaw-and-sell</i>	Spreiding van broodverkoop is mogelijk	Extra kosten voor vriezen en opslag Lagere kwaliteit

1.2 Kwaliteit van *par-baked* brood

De *par-baking* technologie wint steeds meer aan populariteit door de vele voordelen voor de retailer/consument. Deze technologie kan in theorie toegepast worden op eender welk bakkerijproduct, doch is dit in de praktijk niet zo. Een half-afgebakken broodproduct heeft namelijk andere eigenschappen dan een volledig afgebakken product waardoor de microbiologische en technologische kwaliteit op een andere manier dienen te worden benaderd.

1.2.1 Microbiële kwaliteit van *par-baked* brood

Brood is wereldwijd prominent aanwezig in het dagelijks voedingspatroon waardoor de vraag naar brood met een langere houdbaarheid stijgt. Aangezien brood een gunstige omgeving is voor de ontwikkeling van bepaalde micro-organismen (pH 5,6 - 6,0 en a_w tussen 0,94 - 0,97), zal microbiel bederf een grote factor zijn in het kader van broodhoudbaarheid. Wanneer brood de oven verlaat, zorgt de hoge temperatuur van het bakproces ervoor dat het brood steriel is van schimmels en gisten. De bakkerij-omgeving is echter geen steriele omgeving, waardoor post-contaminatie in grote mate voorkomt tijdens het afkoelen, verpakken en bewaren. Schimmelgroei vormt het grootste probleem, namelijk 90 % van het totale bederf. Bepaalde bacteriën zorgen voor een tweede vorm van microbiel bederf en in mindere maten gisten (Cauvain & Young, 2007; Saranraj & Sivasakthivelan, 2015).

1.2.1.1 Schimmels

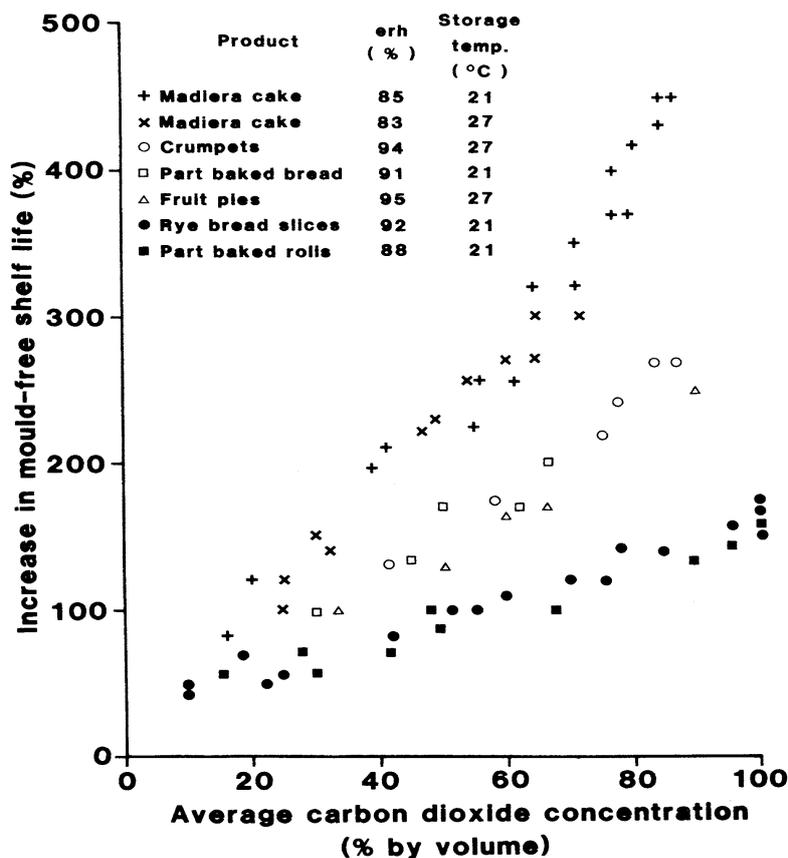
Schimmelsporen zijn van nature aanwezig in bloem en contamineren de lucht van de bakkerij-omgeving tijdens het opslaan en verwerken van deze bloem. Eén gram bloem bevat tot 8 000 schimmelsporen. Na het bakproces wordt het brood gecontamineerd met schimmelsporen die aanwezig zijn in de omgeving, en zorgen na verloop van tijd voor schimmelgroei op het broodoppervlak. Op zich is de droge korst van brood een slechte matrix voor schimmelgroei en fungeert het als barrière door zijn laag vochtgehalte (3 – 5 %). Wanneer brood echter verpakt bewaard wordt, zijn de omstandigheden gunstiger voor schimmelgroei. Het brood staat namelijk vocht af aan de omgeving binnenin de verpakking, waardoor de relatieve vochtigheid in de verpakking stijgt en schimmelgroei wordt bevorderd. Tevens is versneden brood gevoeliger aan schimmelgroei doordat de machinale versnijding ook het broodkruim contamineert. Op deze manier is verpakt versneden brood een goede groeiomgeving voor schimmels (Cauvain & Young, 2007).

In vergelijking met conventioneel brood, is *par-baked* brood nog meer onderhevig aan schimmelgroei. Doordat het bakproces wordt stopgezet net voordat de korst wordt ontwikkeld, vormt de korst geen barrière meer tegen microbiel bederf. Het oppervlak van PB brood heeft door het verkorte bakproces eveneens een hoog vochtgehalte zoals het kruim (40 - 45 %), waardoor de omgeving gunstiger is voor schimmelontwikkeling (Rosell, 2015; Debonne et al., 2018).

De meest dominante schimmels bij broodbederf zijn *Penicillium* spp., *Eurotium* en *Aspergillus* spp. (Saranraj & Sivasakthivelan, 2015). Daarnaast zijn *Cladosporium*, *Mucorales* en *Neurospora* ook waargenomen bij schimmelbederf van brood. Deze laatste (*Neurospora sitophila*) komt voornamelijk voor bij een hoog vochtgehalte, wat meestal wordt veroorzaakt door het brood te warm te verpakken. Een zeer opmerkelijke broodschimmel is *Rhizopus (nigricans) stolonifer*. Deze schimmel heeft een pluizig uitzicht en heeft een zwarte kleur (Cauvain & Young, 2007).

Wanneer PB brood bewaard wordt in een verpakking met **gemodificeerde atmosfeer**, dan zal het microbiel bederf wijzigen door het lage gehalte aan zuurstof. Een groot deel van de bederfmicro-organismen hebben namelijk zuurstof nodig om te overleven en zich te vermenigvuldigen. Bij een MAP-verpakking wordt de zuurstofhoeveelheid geminimaliseerd en vervangen door andere gassen. Deze gemodificeerde atmosfeer is niet de natuurlijke omgeving waar bederfororganismen groeien. Vanaf een concentratie van 20 % bezit CO₂ de eigenschap om de uitgroei van schimmels te vertragen (S. Cauvain & Young, 2007). Hoe hoger deze concentratie, hoe langer de schimmelontwikkeling uitgesteld wordt. Bij concentraties van 40, 60 en 90 % CO₂ werd na onderzoek een verlengde *shelf-life* van brood bekomen van respectievelijk 100, 200 en 300 %. Bij *par-baked* brood wordt bij een concentratie van ongeveer 60 % CO₂ een schimmelvrije opslag bekomen die tweemaal zo lang is, wat weergegeven wordt in Figuur 5 (Seiler, 1993).

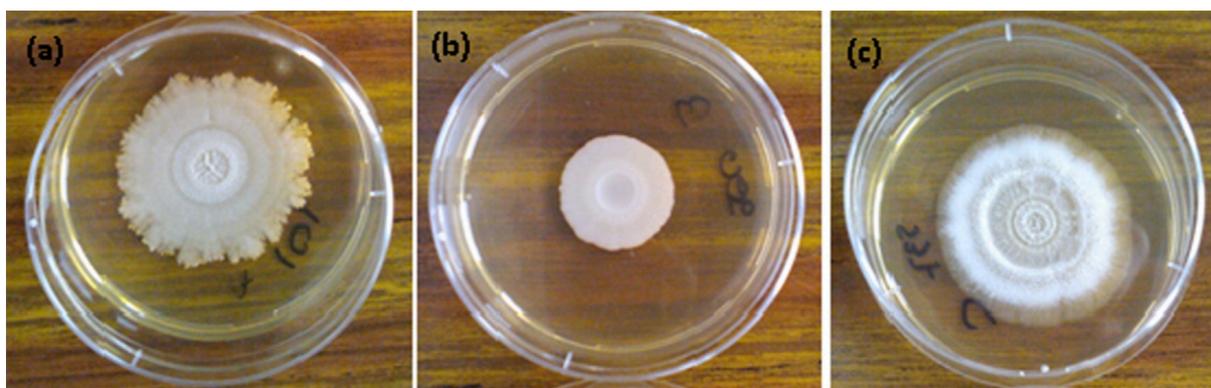
Om beschadiging van de verpakking te voorkomen, wordt CO₂-gas gecombineerd met het vulgas N₂. Ondanks dat N₂ geen antimicrobiële werking bezit, heeft het toch een inhiberende werking tegen aerob bederf doordat zuurstof wordt verdreven binnen de verpakking (Khoshakhlagh *et al*, 2014).



FIGUUR 5: Percentage schimmelvrije opslag van verscheidene producten in functie van de concentratie CO₂ (□: *par-baked* brood) (Seiler, 1993)

1.2.1.2 Gisten

Net zoals schimmels, overleven gisten het bakproces niet, waardoor bederf teweeg gebracht door gisten te wijten is aan post-contaminatie. Er zijn twee soorten gistbederf, waarvan de eerste vorm van bederf veroorzaakt wordt door de fermentatieve gisten die een onaangename geur voortbrengen. Meerdere gistsoorten kunnen aan de basis liggen van dit defect, maar de meest voorkomende is de bakkersgist of *Saccharomyces cerevisiae*. De tweede vorm van bederf is te vinden bij de filamenteuze of draderige gisten, beter bekend als kalkgisten. Deze gisten produceren een wit draderige product wat vaak wordt verward met een schimmel. Toch worden ze beschouwd tot de gistfamilie vanwege hun manier van voortplanting. De meest voorkomende en meest problematische kalkgist is *Hypopichia burtonii* (Cauvain & Young, 2007; Saranraj & Sivasakthivelan, 2015). Andere kalkgisten zijn *Wickerhamomyces anomalus* en *Saccharomycopsis fibuligera*, weergegeven in Figuur 6 (Rosell, 2015).



FIGUUR 6: Kalkgisten na 7 dagen, gekweekt bij 25°C, 0,995 aw en pH 5,7
 a) *Hyphopichia burtonii*, b) *Wickerhamomyces anomalus*, c) *Saccharomycopsis fibuligera* (Burgain *et al*, 2015)

1.2.1.3 Bacterieel bederf

Gisten en schimmels worden afgedood tijdens het bakproces, maar hitteresistente bacteriële sporen kunnen deze hoge temperatuur overleven. Deze kunnen namelijk reeds aanwezig zijn in de bloem of in andere ingrediënten zoals granen en pitten. De sporen kunnen eveneens aanwezig zijn op oppervlaktes of in de lucht van de productieomgeving (Cauvain & Young, 2007). Hoewel de groei van bacteriën in brood gelimiteerd is door de lage a_w en pH, kunnen hitteresistente sporen het bakproces toch overleven en kan bacterieel bederf optreden in de kern van het brood. Dit type bederf wordt binnen de broodsector aangeduid als leng (EN: *rope*). Deze vorm van bederf wordt veroorzaakt door *Bacillus*-species, voornamelijk *Bacillus subtilis*, maar ook *B. licheniformis* en *B. mesentericus* worden gelinkt aan leng (Saranraj & Sivasakthivelan, 2015). Deze micro-organismen vertonen optimale groei bij 35 - 45°C, een pH hoger dan 5,3 en een vochtige omgeving. Om deze reden komt dit probleem voornamelijk tijdens de zomermaanden voor, wanneer de temperaturen en de luchtvochtigheid hoger liggen in de bakkerij. Tevens komt leng ook frequenter voor bij voorverpakt brood, vanwege een hogere vochtigheid binnenin de verpakking (Saranraj & Sivasakthivelan, 2015; Cauvain & Young, 2007).

Leng wordt waarneembaar 12 - 24 uur na het verlaten van de oven. Het kruim krijgt een andere kleur en een slijmerig uitzicht. Dit wordt veroorzaakt door microbiële amylasen en proteasen die het zetmeel in het kruim afbreken met een slijmerige structuur als gevolg (zie Figuur 7). Tevens heeft het brood een fruitige geur (ananas/meloen) die lijkt op rottend fruit en kan een bittere smaak ook indicatie geven (Saranraj & Sivasakthivelan, 2015).



FIGUUR 7: Slijmvorming in broodkruim door bacterieel bederf veroorzaakt door *Bacillus subtilis* (Vast, 2017)

Leng kan voorkomen worden door goede hygiëne- en verwerkingspraktijken toe te passen. Omdat lengveroorzakende bacteriën zeer gevoelig zijn aan een lage pH, wordt een verzuring aangewend om deze vorm van bederf te bestrijden. Deze verzuring kan gebeuren aan de hand van chemische conserveermiddelen, maar ook door middel van biologische conservering. Het gebruik van starterculturen of een zuurdesem worden tegenwoordig toegepast om een *clean label*-conservering te bekomen (Saranraj & Sivasakthivelan, 2015). In een onderzoek van Rumeus & Turtoi (2013) werd de invloed van zuurdesem bestudeerd op de ontwikkeling van leng in brood. Daarbij werd brood met verschillende verhoudingen zuurdesem (10, 15 en 20 %) geïncubeerd bij 37 °C. Na 24, 48 en 72 uur werd het brood gecontroleerd op leng. Na 48 uur werden de eerste tekenen van leng (onaangename fruitgeur) opgemerkt bij het referentiestaal zonder zuurdesem. Na 72 uur werd nog steeds geen vorming van leng gedetecteerd bij de zuurdesembroden. Hieruit werd geconcludeerd dat het gebruik van zuurdesem een inhiberend effect heeft op de ontwikkeling van lengveroorzakende micro-organismen (Rumeus & Turtoi, 2013).

Par-baked brood is door het verkorte bakproces gevoelig aan bacterieel bederf, aangezien de kern slechts een korte periode een voldoende hoge temperatuur bereikt om bacteriën af te doden. De kans is dus groter dat hitteresistente bacteriële sporen het verkorte bakproces overleven in vergelijking met een volledig gebakken brood.

Het bewaren van brood in een **MAP-verpakking** heeft eveneens een invloed op de bacteriële groei. CO₂-gas zorgt voor een vertraging van de bacteriegroei en de afwezigheid van zuurstof inhibeert de aerobe bacteriegroei. Door een combinatie van gemodificeerde atmosfeer en een lage temperatuur, is het mogelijk om bacterieel bederf te voorkomen. In een onderzoek van Leuschner, O'Callaghan en Arendt (1999) werd onder andere de invloed van de verpakkingswijze op de microbiële kwaliteit onderzocht van Iers soda brood. *B. subtilis* was verantwoordelijk voor lengvorming bij brood bewaard bij luchtatmosfeer en kamertemperatuur. Bij MAP-verpakte broden (40 % CO₂/60 % N₂) was dit niet het geval.

Daarnaast was ook schimmelgroei visueel zichtbaar na 15 dagen bij broden verpakt in luchtatmosfeer, en slechts na 13 weken verpakt bij gemodificeerde atmosfeer.

1.2.1.4 Invloed van zuurdesem op microbiologische kwaliteit

Het toevoegen van zuurdesem aan een brooddeeg kan dienst doen als een natuurlijk rijsmiddel. Echter is een zuurdesem meer dan alleen dat. Door de productie van organische zuren door micro-organismen, wordt er een specifieke zure smaak aan het brood gegeven en bovendien zorgt dit voor een pH-daling. Op deze manier wordt een zuurdesem bekomen met een pH tussen 3,5 en 4,3 en wordt finaal door toevoeging van 20 % zuurdesem, een brood verkregen met een pH variërend tussen 4,7 en 5,4 (Arendt *et al*, 2007).

Meerdere onderzoekers gingen op zoek naar effecten van een zuurdesem op de microbiologische houdbaarheid van brood. In Debonne *et al* (2018) werd aangetoond dat een specifieke geteste zuurdesem zorgde voor een verlengde houdbaarheid van brood. Het microbiële bederf (gisten en schimmels) van zuurdesembrood ontstond namelijk later dan bij conventioneel tarwebrood. Dit was echter niet te wijten aan de specifieke pH en a_w van de zuurdesem. De werkelijke antifungale werking kon niet worden verklaard. In de literatuur worden meerdere factoren aangehaald die de oorzaak kunnen zijn van dit fenomeen. Volgens Coda *et al* (2011, 2013) is dit eventueel te verklaren door de antifungale werking van bepaalde gisten zoals *Wyckerhamomyces anomalus* en *Meyerozyma guilliermondii*. Deze gisten produceren ethylacetaat en ethanol tijdens de zuurdesemvorming. Eveneens produceren melkzuurbacteriën, zoals reeds vermeld, verschillende metabolieten waaronder melkzuur en azijnzuur. Deze organische zuren zorgen voor een daling van de zuurtegraad waardoor het microbiële bederf mogelijks geremd wordt.

1.2.2 Technologische kwaliteit van par-baked brood

Naast de microbiologische kwaliteit, speelt de technologische kwaliteit van het brood ook een rol voor de consument. Tijdens bewaring zal namelijk het brood door fysicochemische reacties een textuurwijziging ondergaan, wat voor de consument als een kwaliteitsdaling wordt ervaren. Daarnaast spelen technologische parameters als het volume en de kleur van het brood ook een rol in het aankoopgedrag van de consument.

1.2.2.1 Textuur

De verzameling van alle veranderingen (zowel chemische als fysische) die optreden in broodproducten na het bakproces, waardoor de consument het product minder aanvaardbaar vindt, heet broodveroudering of 'oudbakken' worden. Deze verzameling van reacties wordt met een Engelse term *staling* genoemd. Dit fenomeen kan opgedeeld worden in twee grote groepen. Aan de ene kant is er het proces dat zorgt voor het verzachten van de broodkorst (vochtmigratie van kruim naar de korst). En aan de andere kant zijn er de processen met

kruimverharding als gevolg. Deze laatste groep heeft het meeste invloed op het oudbakken worden van brood (Karaoğlu, 2015).

De fysicochemische reactie die het grootste deel uitmaakt van de broodveroudering is de retrogradatie. Ten gevolge van retrogradatie verliest het kruim deels zijn elasticiteit en wordt het kruim brokkelig en hard. Een harde kruim wordt door de consument opgevat als een kwaliteitsgebrek (Karaoğlu, 2015). De termen retrogradatie en broodveroudering worden in sommige literatuur aan elkaar gelijk gesteld, omdat retrogradatie de belangrijkste factor is binnen de broodveroudering.

Het negatieve effect van retrogradatie kan opgeheven worden door het brood opnieuw te verhitten. De zetmeelmoleculen transformeren dan opnieuw naar de amorfe structuur, en lijkt het brood opnieuw vers. Van deze techniek wordt gebruik gemaakt bij *par-baking* om de opgetreden retrogradatie tijdens tussentijdse opslag opnieuw om te keren. Na de finale bakfase zal de retrogradatie van het afgebakken product echter sneller verlopen dan bij conventioneel vers brood. Om dit nadeel enigszins te beperken kan het toevoegen van zuurdesem een oplossing bieden, aangezien dit de retrogradatie vertraagt.

Daarnaast kan men zich afvragen of het bakproces eventueel een rol speelt in de uiteindelijke textuur van het eindproduct. In Debonne *et al* (2017) werd de invloed van de PB bak- en bewaarcondities op de textuur van PB broodjes onderzocht. Tijdens dit onderzoek werd vastgesteld dat een snellere bakfase (kortere baktijd en hogere baktemperatuur) zorgt voor een droger en harder/steviger brood. Daarnaast heeft de bewaartemperatuur ook een duidelijke invloed, zoals in 1.1.4.2. reeds aangehaald. PB brood bewaard bij diepvriestemperatuur had finaal een zachter kruim en een meer samenhangende textuur, in vergelijking met de bewaring bij kamertemperatuur. In het onderzoek werd het meest harde kruim bekomen bij brood gebakken met 600 ml stoom en bewaard bij kamertemperatuur, en het zachtste kruim bekomen na bakken met 200 ml stoom en na diepvriesbewaring.

1.2.2.2 Gewicht, volume en kleur

Het gewicht, het volume en de kleur van par-baked broodjes hangen af van, zoals eerder vermeld, de gebruikte bakparameters. Hoe langer de broodjes in de oven verblijven, hoe meer water verdampt, en hoe lager het eindgewicht is van de broodjes. Eveneens zal het brood bruiner zijn bij een langere verblijftijd in de oven door de Maillard en karamelisatiereactie. Het volume van *par-baked* broodjes wordt in de eerste plaats beïnvloed tijdens de rijspanies, voornamelijk de bolrijis. Toch kan het volume nog vergroot worden door te trachten om de ovenrijis te verlengen. Dit kan, zoals reeds vermeld in 1.1.2, door stoominjectie tijdens de bakfase. Hierdoor wordt de korstvorming uitgesteld, en wordt een grotere ovenrijis bewerkstelligd (Karaoğlu, 2015).

In een onderzoek van Debonne *et al* (2017) werd de invloed van de bakparameters uitgeoefend op de technologische kwaliteit van *par-baked* broodjes in kaart gebracht. Het volume, het gewicht en de kleur werden onderzocht die mogelijks beïnvloed werden door de baktemperatuur (150/170/200 °C) en baktijd (8/13 min.) tijdens de tweede fase van de *par-baking* fase, en het stoomvolume (200/600 ml) tijdens de eerste fase. Eveneens werd ook een statistisch model gemaakt om de massa, het volume en de kleur onder invloed van de bakcondities te voorspellen (Tabel 2). Volgens dit model is de baktemperatuur significant bij het bepalen van het volume. Broodjes gebakken bij 200 °C hadden een significant groter volume dan broodjes gebakken bij 150 °C. Er werd geen significant verschil aangetoond tussen het volume van broodjes gebakken bij 175 en 200 °C. Ondanks beschreven in andere literatuur werd geen invloed van stoomvolume aangetoond tussen 200 en 600 ml stoom.

TABEL 2: GLM van de kwaliteitsparameters van *par-baked* brood (yi: volume (V), gewicht (W) en L*, a*, b*) in functie van de *par-baking* bakcondities (xi: T, time, steam: baktemperatuur, baktijd en stoom gebruikt tijdens de tweede PB fase) (Debonne *et al*, 2017)

	V (mL)	W (g)	L*	a*	b*
Intercept	150.6	80.5	87.7	-9.6	-26.8
T	0.57	-0.08	-0.02 ^A	0.05	0.26
time		-0.62 ^A	2.77	-1.60	0.73
steam		-0.04	-0.00 ^B		
T*time		0.00 ^{A,B}	-0.02	0.01	
T*steam		0.00 ^B			
time*steam		0.00 ^B			
T*time*steam		-0.00 ^B			
R ²	0.17	0.91	0.84	0.92	0.64

^A Ondanks dat er geen sign. effect werd aangetoond, wordt deze parameter toch opgenomen in het model om de R² acceptabel te houden.

^B Ondanks dat de coëfficiënt nul is, kan deze interactie niet verwijderd worden uit het model ($p < 0,05$).

Wanneer de parameter gewicht in beschouwing wordt genomen is de baktemperatuur opnieuw significant in het voorspellingsmodel. Broodjes gebakken bij een temperatuur van 200 °C geven een significant lager broodgewicht doordat meer water verdampt tijdens de bakfase. Ondanks het feit dat de baktijd geen grote bijdrage levert aan het voorspellingsmodel, werden wel significant lichtere broodjes bekomen wanneer 13 minuten gebakken werd bij 175 en 200 °C. De kleur wordt vooral beïnvloed door de baktijd. Broodjes gebakken gedurende 8 minuten waren significant lichter van kleur (hogere L*-waarde) dan broodjes gebakken gedurende 13 minuten.

1.2.2.3 Invloed zuurdesem op technologische kwaliteit

Het effect van de verhouding zuurdesem op de kwaliteit en technologische houdbaarheid van zuurdesembrood werd reeds in kaart gebracht in verscheidene onderzoeken. De voornaamste bevindingen van Debonne *et al* (2018) waren dat bij een verhouding van 30 g/100 g deeg, het brood langer houdbaar was in vergelijking met 15 g/100g deeg. Volgens Corsetti *et al* (2000) worden, naast het broodvolume en de *shelf life*, ook de kruimstructuur verzacht en de korsthardheid bevorderd. In Catzeddu (2011) staat omschreven dat het biologische verzuringsproces bepaalde enzymen zoals onder andere proteasen en amylasen bevorderen vanwege de pH-verlaging. Deze enzymen werken in op de broodstructuur en werken in op het glutennetwerk, met een verzachtend effect van het kruim als gevolg. Daarnaast beschrijven Gobbetti, Angelis, Di Cagno, & Rizzello (2008) dat de verzuring door de aanwezigheid van organische zuren zorgt voor een hogere oplosbaarheid van structuurcomponenten als gluten, zetmeel en proteïnen, waardoor een zachter broodkruim bekomen wordt. Eveneens hebben metaboliëten als exopolysacchariden (EPS), geproduceerd door de melkzuurbacteriën, een gelijkaardig effect als hydrocolloïden. Deze verzachten het kruim en zorgen voor een groter broodvolume (Torrieri *et al*, 2014). Ten slotte heeft zuurdesem een positieve invloed op de biobeschikbaarheid van mineralen en helpt het bij de afbraak van gluten in het kader van coeliakie (Sadeghi, 2008).

2 Probleem- en doelstelling

Het verlengen van de houdbaarheid van bakkerijproducten is een van de belangrijkste *targets* waar in de bakkerijsector aandacht aan wordt besteed. Voor de consument zal namelijk de optredende broodveroudering de bepalende factor zijn om het brood al dan niet te consumeren. Om deze reden wordt het brood snel weggegooid, nog voordat het microbiologisch bederf optreedt. Om deze verspilling tegen te gaan is de *par-baking* technologie een gerichte oplossing. De consument of retailer kan namelijk op een snelle en efficiënte manier PB brood afbakken op het moment dat vers brood gewenst is. De houdbaarheid van dit half-afgebakken product wordt echter niet bepaald door de fysicochemische reacties die optreden, maar wel door het microbiologische bederf (uitgroei schimmels, gisten en bacteriën). Vandaar dat de receptuur van *par-baked* brood vaak conserveermiddelen bevat om de houdbaarheid te verlengen. Echter is de consument geen voorstander van chemische conserveermiddelen en E-nummers op het etiket, maar daartegenover is een '*clean label*' meer en meer gewenst. In het kader van *clean label* conserveerstrategieën is het gebruik van zuurdesem een mogelijkheid om de houdbaarheid van half-afgebakken brood te verlengen.

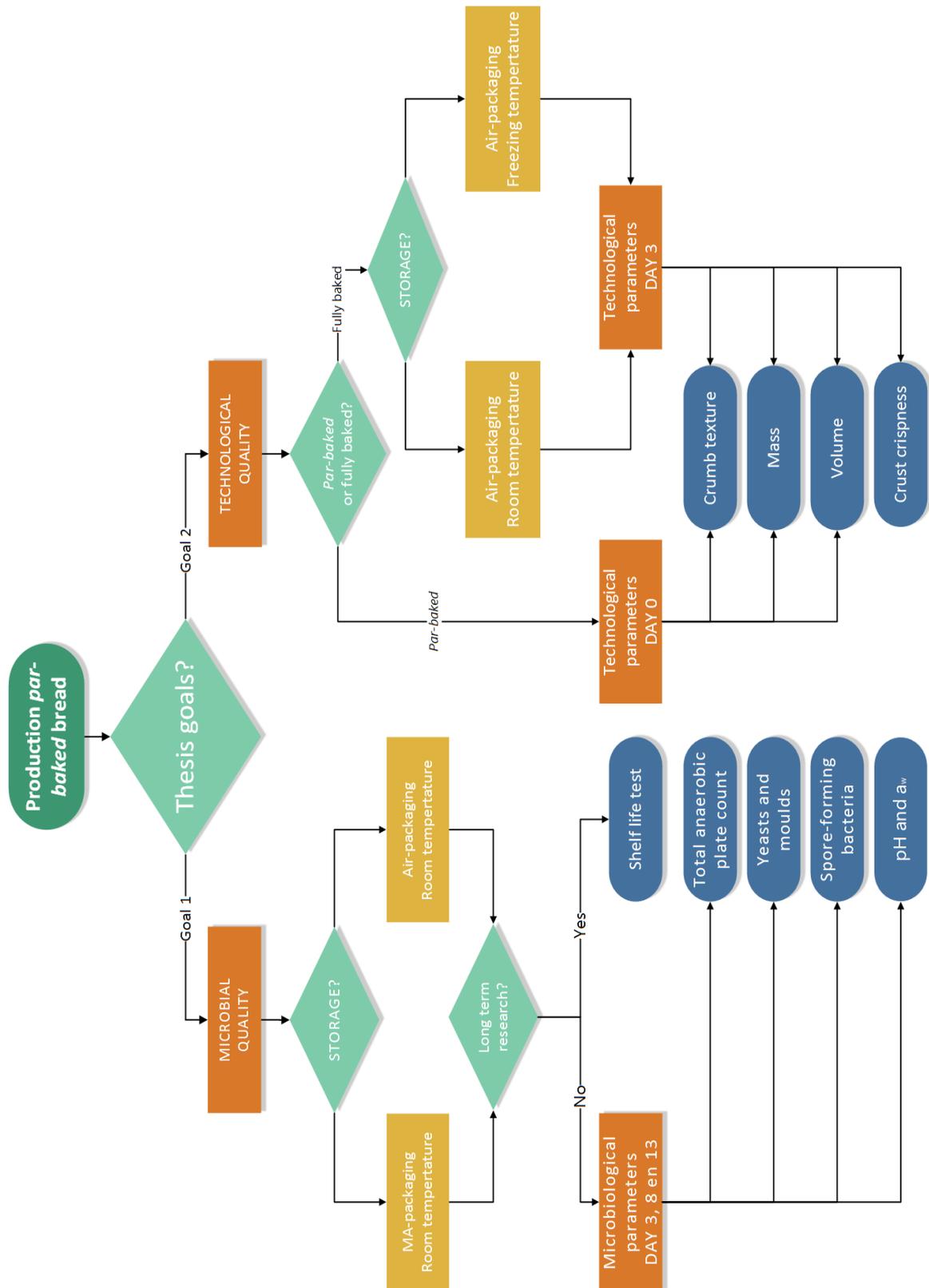
Door deze probleemstelling is er nood aan het verkrijgen van extra informatie over de impact van zuurdesem op de houdbaarheid van *par-baked* brood. Daarnaast wordt gestreefd naar het verwerven van inzicht in de microbiële houdbaarheid en de eventuele verlenging van de houdbaarheid in relatie tot de procesparameters tijdens de *par-baking* fase en opslagfase.

Het algemene einddoel van dit onderzoek is de bakkerijsector te ondersteunen bij de zoektocht naar de geschikte implementatie van de *par-baking* technologie, met het oog op een maximale *shelf life* zowel op technologisch als microbiologisch vlak.

3 Algemene proefopzet

In deze masterproef worden verscheidene bakparameters toegepast om *par-baked* tarwebrood en zuurdesembrood te bekomen. Door het hanteren van twee uiterste waarden voor elke parameter kan de invloed op de microbiële en technologische kwaliteit worden geëvalueerd. De gebruikte parameters zijn: stoomvolume (200 ml of 600 ml) tijdens de eerste fase van de *par-baking* fase, baktemperatuur (fase 1: 170 °C of 220 °C, en fase 2: 150 °C of 200 °C), baktijd (fase 1: 2 minuten en fase 2: 8 of 13 minuten), al dan niet toevoegen van zuurdesem (30 g zuurdesem/ 100 g deeg) en de bewaaromstandigheden (luchtatmosfeer of gemodificeerde atmosfeer). Een schematische voorstelling van de proefopzet wordt weergegeven in Figuur 8.

In een eerste luik wordt de microbiologische kwaliteit van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood opgevolgd in de tijd. Het totaal anaeroob kiemgetal, het aantal gisten en schimmels, en het voorkomen van hitteresistente bacteriële sporen van *Bacillus subtilis* worden in kaart gebracht. Vervolgens wordt een *shelf-life* test uitgevoerd door visueel het microbiologisch bederf op te volgen. Aanvullend wordt de pH en a_w -waarde gemeten. Dit eerste luikje wordt uitgevoerd voor zowel PB broodjes bewaard bij luchtatmosfeer als in een MAP-verpakking. In een tweede luik wordt ter aanvulling van deze proefopzet ook de technologische kwaliteit van de *par-baked* tarwe- en zuurdesembroodjes geëvalueerd. Het volume, het gewicht en de textuur van het kruim worden gemeten. Vervolgens wordt dit herhaald op volledig gebakken broodjes na opslag bij kamertemperatuur of bij diepvriestemperatuur.



FIGUR 8: Schematische voorstelling van de proefopzet

4 Materiaal en methoden

4.1 Luik 1: Microbiologische kwaliteit

4.1.1 Proefopzet

Binnen deze proefopzet werden tarwebroodjes (type pistolet) geproduceerd en half-afgebakken onder verscheidene *par-baking* condities. Er werd gevarieerd met drie bakparameters: baktijd (8 of 13 minuten; resp. 40 % en 64 % van totale baktijd), baktemperatuur (170 - 150 °C of 220 - 200 °C) en stoomhoeveelheid (200 of 600 ml), waarbij telkens twee extreme waarden werden gehanteerd om de impact van de parameter aan te tonen. Deze waarden zijn gebaseerd op Debonne *et al* (2017). Door combinatie van de verscheidene bakcondities worden acht bakprogramma's bekomen, die worden weergegeven in Tabel 3.

TABEL 3: De acht gehanteerde bakprogramma's bekomen door combinatie van drie verschillende bakparameters

			Bakprogramma							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Bakparameter	Stoomvolume (ml)	Fase 1: 200 Fase 2: 0								
		Fase 1: 600 Fase 2: 0								
	Temperatuur (°C)	Fase 1: 170 Fase 2: 150								
		Fase 1: 220 Fase 2: 200								
	Tijd (min)	Fase 1: 2 Fase 2: 8								
		Fase 1: 2 Fase 2: 13								

Deze acht bakprogramma's werden toegepast op zowel tarwebrood als zuurdesembrood waarbij 30 g zuurdesem werd toegevoegd bij 100 g brooddeeg, gebaseerd op Debonne *et al.* (2018). Daarnaast werden de tarwe- en zuurdesembroodjes verpakt bij luchtatmosfeer of bij een gemodificeerde atmosfeer. Op deze manier werden 16 groepen bekomen: 8 bakprogramma's x 2 verpakkingscondities, en ook 32 subgroepen vanwege het al dan niet gebruiken van 30 % zuurdesem (16 groepen x 2 concentraties zuurdesem).

Elk bakprogramma werd in tweevoud geëvalueerd via een baktest waarbij 30 broodjes werden geproduceerd van 70 g deeg. Vervolgens werden de afgebakken broodjes in twee groepen opgedeeld: 15 broodjes werden bij luchtatmosfeer bewaard en 15 bij gemodificeerde atmosfeer, beiden bij 22 °C kamertemperatuur.

Tijdens bewaring vond een staalname plaats van de 32 subgroepen na 3, 8 en 13 dagen. Deze stalen werden tweemaal microbiologisch geanalyseerd op volgende parameters: totaal

mesofiel anaeroob kiemgetal, gisten en schimmels, en sporevormende bacteriën. Alle microbiologische experimenten werden eveneens in tweevoud uitgevoerd.

Parallel met de microbiologische analyse, werd een *shelf life* test uitgevoerd, waarbij de 32 subgroepen (bewaard bij kamertemperatuur) op dagelijkse basis visueel werden gecontroleerd op aanwezigheid van schimmels en/of gisten. Wanneer schimmel- en of gistgroei visueel gedetecteerd werd, duidde dit op het einde van de *shelf life* van het product.

4.1.2 Broodbereiding

4.1.2.1 Ingrediënten

Voor de productie van pistolets werd Epi B tarwebloem (type 55) gebruikt van Brabomills NV (België). Deze bloem bezit volgende eigenschappen: max. 15,5 g vocht/ 100 g bloem, 12-13 g eiwit/ 100 g bloem, max. 0,68 g as/ 100 g bloem en een waterabsorptie van 60,3 g water/ 100 g bloem (gemeten met de farinograaf van Brabender). De ingrediënten van de broodjes, uitgedrukt in percentage op bloemgewicht, bestonden uit 60,3 % water, 1,5 % zout, 1,0 % gist (instant droge bakkersgist; Algist Bruggeman), 0,3 % mout en 50 ppm ascorbinezuur.

Wanneer pistolets met zuurdesem werden geproduceerd, werd 30 g zuurdesem toegevoegd per 100 deeg. De gebruikte zuurdesem werd verkregen van L'Atelier du Pain uit Ninove en is een type I zuurdesem met volgende karakteristieken: DY 166,5; pH $4,49 \pm 0,25$; a_w $0,967 \pm 0,009$ (n = 6). Op microbiëel vlak bestond de zuurdesem uit $9,2 \pm 0,2$ log melkzuurbacteriën en $6,0 \pm 0,4$ log gisten (n = 12). De meest dominante melkzuurbacterie is *Lactobacillus sanfranciscensis* (98,5 %), en de aanwezige gisten waren *Kazachstania humilis* (syn. *Candida humilis*) (96,8 %), *Saccharomyces* (genus) (0,8 %), *K. exigua* (0,7 %), *Kluyveromyces marxianus* (0,5 %), *Saccharomyces barnettii* (0,4 %), *S. cerevisiae* (0,3 %), *K. turicensis* (0,2 %) and *Candida sp.* (0,1 %). Omdat *K. Humilis* niet in staat is om maltose af te breken, zal maltose het meest aanwezig zijn in de zuurdesem. Desalniettemin verbruikt *L. sanfranciscensis* dit suiker wel, en breekt deze af tot glucose en fructose, wat opnieuw gemetaboliseerd wordt door *K. Humilis* (Van Kerrebroeck, Maes, & De Vuyst, 2017).

Het water, de bloem en de zuurdesem werden gewogen op een Sartorius balans met een nauwkeurigheid van 1 g. Het zout, de mout en de gist werden afgewogen op een meer nauwkeurige balans van Sartorius KERN met een nauwkeurigheid van 0,01 g. Het ascorbinezuur werd afgewogen op een analytische balans van METTLER TOLEDO NewClassic MS met een nauwkeurigheid van 0,0001 g.

4.1.2.2 Deegbereiding en bakproces

De droge ingrediënten (bloem, mout en gist) werden vermengd met het water waarin het ascorbinezuur en het zout zijn opgelost. Deze werden intens vermengd gedurende 7 minuten met de Danieli spiraalmixer (Verhoest Machinery, België). Het bekomen deeg onderging een eerste rijfsfase van 10 minuten bij 30 °C en 80 – 90 % relatieve vochtigheid in een rijstkast

(Panimatic, België). Vervolgens werd het deeg verdeeld in 30 stukjes van telkens 70 ± 1 g, en opgebold met de Brabender Rounder. De deegstukken werden op twee ingevette geperforeerde bakplaten geplaatst en ondergingen een tweede rijperiode van 90 minuten bij $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $80 - 90\%$ RV. Na de rijperiode werden de bakplaten in de oven geplaatst (MIWE aeromat FB12 (oven type 4.64); Buitenafmeting: breedte = 90 cm; diepte = 85 cm; hoogte = 71 cm) en startte de bakfase met bakparameters afhankelijk van het programma (zie Tabel 3). De ventilatie van de oven werd ingesteld op de maximale ventilatiesnelheid.

De bakfase gebeurde zoals aangegeven in Tabel 3 in twee fases. In de eerste korte fase van 2 minuten vond de stoominjectie (200 of 600 ml) plaats. De stoomuitlaatklep bleef in deze fase toe, en er werd gebakken bij 170 of $220\text{ }^{\circ}\text{C}$. In een tweede fase werd bij een lagere temperatuur gebakken, namelijk resp. 150 of $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. De stoomuitlaatklep blijft tijdens deze fase open, en er wordt geen nieuwe stoom toegevoegd. De baktijd in deze fase varieerde tussen 8 en 13 minuten. Tijdens deze studie werd bij het refereren naar baktijd en baktemperatuur steeds de tijd en temperatuur van de tweede bakfase bedoeld.

4.1.2.3 Verpakking

Na het bakproces werden de broodjes afgekoeld bij kamertemperatuur in de bakkerij, wat leidde tot een natuurlijke post-contaminatie van de broodjes met gisten en schimmels aanwezig in de lucht van de bakkerij-omgeving. Vervolgens werden de broodjes per twee bewaard bij kamertemperatuur ($22\text{ }^{\circ}\text{C}$) in enerzijds gesealde plastic verpakkingen (PA/PE/20/70) (PA: polyamide; PE: polyethyleen), of anderzijds in een MAP-verpakking met een gassamenstelling van 70% CO_2 en 30% N_2 , met behulp van een *Tray Sealer* (DECA Packaging Group, Herentals, België). De gassamenstelling werd vooraf gecontroleerd met de Checkmate 3 (Dansensor, Denemarken). De *tray* van de MAP-verpakking had een volume van 632 ml en bestond uit PP/EVOH/PP (PP: polypropyleen; EVOH: ethyleen vinylalcohol) met een *sealing* opgebouwd uit OPA/PE/EVOH/PE/PP (OPA: Orientated polyamide).

4.1.3 Microbiële parameters

De microbiologische kwaliteit van de *par-baked* broodjes werd geëvalueerd na 3, 8 en 13 dagen bewaartijd. Om een verdunningsreeks aan te maken, werd 10 g van het staal afgewogen en tienmaal verdund in een stomacherzak (Novolab NV A11048) met steriele peptonzoutoplossing ($8,5\text{ g/l NaCl} + 1\text{ g/l bacteriologisch pepton (Oxoid LP0037)}$) en vervolgens gehomogeniseerd. De gewenste verdere verdunningen werden aangemaakt en aangebracht in petriplaten, welke met het gewenste medium werden gevuld volgens de gietplaattechniek.

4.1.3.1 Totaal mesofiel anaeroob kiemgetal

De broodjes werden geanalyseerd op *Plate Count Agar* (PCA, Oxoid CM0325) om het totaal anaeroob kiemgetal te bepalen. De verdunningsreeks (1 tot 4) werd uitgeplaat op PCA

gietplaten en werden vervolgens in een luchtdichte container (Oxoid) met een Anaerogen zakje (2,5 l, Oxoid) geïncubeerd, om de anaerobe omgeving te garanderen, gedurende 3 dagen bij 30 °C. Na incubatie werden de platen geteld, waarbij het aantal kolonievormende eenheden tussen 20 en 300 kve per plaat beschouwd werden als telbaar. De overeenkomstige detectielimieten waren als ondergrens (LL) 2,3 log kve/g (20 kve bij verdunning 1) en als bovengrens (UL) 6,48 log kve/g (300 kve/plaat bij verdunning 4).

4.1.3.2 Gisten en schimmels

Om het aantal gisten en schimmels te bepalen, werden de broodjes geanalyseerd op Oxytetracycline Glucose Yeast extract agar (OGY, Oxoid CM0545) met OGYE supplement (Oxoid SR0073). De verdunningsreeks van 1 tot 4 wordt uitgeplaat op OGY gietplaten en geïncubeerd bij 25 °C gedurende 3 dagen. Na incubatie werden de platen geteld, waarbij het aantal kolonies eveneens tussen 20 en 300 kve per plaat beschouwd werden als telbaar. De overeenkomstige detectielimieten zijn dezelfde als bij het totaal mesofiel anaeroob kiemgetal.

4.1.3.3 Sporevormende bacteriën

Net zoals bij het totaal mesofiel anaeroob kiemgetal werd PCA als medium gebruikt om het aantal sporevormende bacteriën te detecteren. Hierbij werden echter de verdunningen onderworpen aan een hittebehandeling van 10 minuten bij 80 °C in een warmwaterbad. Na het uitplaten van de eerste verdunning, werden de PCA platen eveneens 3 dagen geïncubeerd bij 30 °C.

4.1.4 A_w en pH bepaling

De pH van het kruim van de *par-baked* broodjes werd in kaart gebracht met een draagbare pH meter (model HI 83141, Hanna Instruments) door de probe in het kruim te plaatsen. De a_w van het kruim van de broodjes werd gemeten met de LabMaster-Aw (Novasina). Zoals beschreven in Debonne et al. (2018) is er geen verschil in pH en a_w -waarde tussen het broodkruim en de broodkorst van *par-baked* brood.

4.1.5 Dataverwerking

Met behulp van het statistisch dataverwerkingsprogramma SPSS Statistics version 24 werden de bekomen data beoordeeld en verwerkt met een significantieniveau van 95% ($p < 0,05$). Na het verwijderen van eventuele *outliers*, werd getracht om het verschil aan te tonen tussen de bekomen resultaten voor verscheidene parameters (totaal anaeroob kiemgetal, gisten en schimmels, sporevormende bacteriën, *shelf-life*, a_w en pH). De normaliteit en de gelijkheid van varianties van de data werden nagegaan met respectievelijk de Shapiro-Wilk test en de Levene's test. Als beide voorwaarden voldaan waren, werd overgegaan op een One-Way ANOVA, gevolgd door een Post-Hoc analyse om de eventuele verschillen aan te duiden. Indien niet aan beide voorwaarden werd voldaan ($p < 0,05$), werd overgestapt op niet-parametrische testen: de Kruskal-Wallis test gevolgd door de Dunn test.

Om de invloed van de bak- en bewaarcondities en hun interacties na te gaan werden voorspellingsmodellen opgesteld voor de verscheidene parameters (totaal anaeroob kiemgetal, gisten en schimmels, sporevormende bacteriën, *shelf-life*, a_w en pH).

4.2 Luik 2: Technologische kwaliteit

4.2.1 Proefopzet

In deze proefopzet werden opnieuw tarwebroodjes (type pistolet) geproduceerd en half-afgebakken onder verscheidene *par-baking* condities. Er werd gevarieerd met slechts twee van de drie bakparameters: baktijd (8 of 13 minuten) en baktemperatuur (170 - 150 of 220 - 200 °C). De stoomhoeveelheid werd in deze proefopstelling constant gehouden (200 ml). Deze waarden zijn eveneens gebaseerd op Debonne *et al* (2017). Door combinatie van de verscheidene bakcondities worden vier bakprogramma's bekomen, die worden weergegeven in Tabel 4. Deze vier bakprogramma's werden toegepast op zowel tarwebrood als op zuurdesembrood waarbij 30 g zuurdesem wordt toegevoegd bij 100 g brooddeeg, gebaseerd op Debonne *et al* (2018). Op deze manier worden 8 subgroepen bekomen: 4 bakprogramma's x 2 concentraties zuurdesem (0 % en 30 %).

TABEL 4: Vier bakprogramma's uit proefopzet van luik 2

			Bakprogramma			
			1	2	3	4
Bakparameter	Tijd (°C)	Fase 1: 170 Fase 2: 150				
		Fase 1: 220 Fase 2: 200				
	Temperatuur (min)	Fase 1: 2 Fase 2: 8				
		Fase 1: 2 Fase 2: 13				

Elk bakprogramma werd in tweevoud geëvalueerd via een baktest waarbij telkens 30 *par-baked* broodjes geproduceerd werden van 70 g deeg. Vervolgens werden de PB broodjes in drie groepen opgedeeld: 10 broodjes werden onmiddellijk geanalyseerd, 10 broodjes werden bewaard bij luchtatmosfeer bij kamertemperatuur (22 °C) en 10 broodjes werden bewaard bij luchtatmosfeer bij diepvriestemperatuur (-18 °C). Deze laatste twee groepen ondergingen na drie dagen bewaring de finale bakfase, om de technologische kwaliteit in kaart te brengen van volledig afgebakken brood bewaard bij twee verschillende temperaturen.

Wanneer de technologische kwaliteit werd geanalyseerd, werd enerzijds het gewicht, de pH en het volume gemeten, en anderzijds werd een textuuranalyse uitgevoerd op het kruim. Deze kwaliteitsanalyses werden verricht op zowel *par-baked* als op volledig gebakken broodjes. Een extra technologische kwaliteitsparameter die in deze proefopzet werd opgemeten is de krokantheid van de korst van volledig gebakken broodjes.

4.2.2 Broodbereiding

Bij de broodbereiding van PB om de technologische kwaliteit te testen, werden dezelfde ingrediënten gebruikt als in luik 1. De deegbereiding verliep eveneens op dezelfde manier, net zoals het bakproces van de broodjes. Echter bleef de stoominjectie bij alle bakprogramma's constant bij 200 ml.

Wanneer de PB broodjes de finale bakfase doorliepen, werden volgende bakparameters gehanteerd: baktemperatuur van 220 °C gedurende 1 minuut en 400 ml stoom, 200 °C gedurende 8 minuten en 210 °C gedurende 2 minuten. De totale baktijd van afbakken was 11 minuten. Na het bakken en afkoelen werden 20 van de 30 broodjes per vijf bewaard in een dicht gesealde plastic verpakking (PA/PE/20/70).

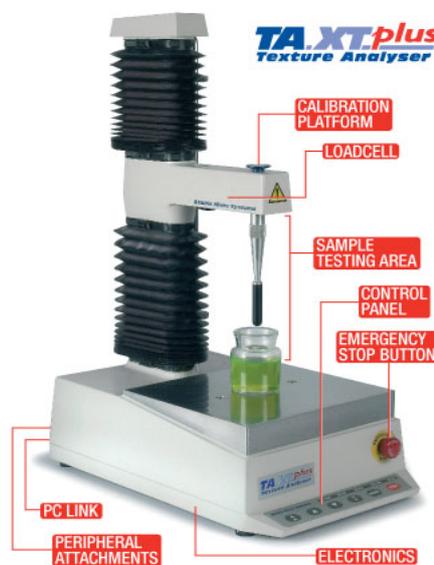
4.2.3 Technologische parameters

4.2.3.1 Gewicht en volume

Het wegen van de broodjes gebeurde met een Sartorius KERN balans met een nauwkeurigheid van 0,01 g. Het broodvolume werd bepaald door de Volscan Profiler 600 (Stable Micro System). De gewichts- en volumebepaling gebeurde één uur na het verlaten van de oven.

4.2.3.2 Textuuranalyse

Bij het meten van de textuur van de PB en volledig gebakken broodjes werd gebruik gemaakt van de TA.XTplus Texture Analyzer (Stable Micro Systems), geïllustreerd op Figuur 9. Hierbij werd een *load cell* gebruikt van 5 kg. De textuuranalyse van de broodjes gebeurde twee uur na het verlaten van de oven.



FIGUUR 9: Texture analyzer TA.Xtplus (Stable Micro Systems)

A. TPA test van het kruim

Een *Texture Profile Analysis* (TPA) werd uitgevoerd op het kruim van zowel half-afgebakken als volledig afgebakken broodjes. Bij deze test worden de eerste twee kauwbewegingen gesimuleerd om de *hardness*, *springiness*, *cohesiveness*, *adhesiveness*, *chewiness* en de *resilience* van het kruim in kaart te brengen. De kauwbeweging werd nagebootst met behulp van een cilindrische probe uit plexiglas met een diameter van 25 mm (P/25P) (zie Figuur 10, links). Drie sneetjes brood met een dikte van telkens 9 mm, worden 11 mm ingedruwd met een testsnelheid van 1,7 mm/s. De pre- en post-testsnelheid zijn respectievelijk 1,0 en 10 mm/s.



FIGUUR 10: Cilindrische probe (links) gebruikt voor TPA- test ter analyse van het broodkruim en wigprobe (rechts) gebruikt ter analyse van de korstkrokantheid met de Texture Analyzer

B. Krokantheid van de broodkorst

Om de korstkrokantheid van de volledig gebakken broodjes te analyseren, werd een wigprobe met een hoek van 30° (zie Figuur 10, rechts) gemonteerd op de *Texture analyzer*. Deze probe daalde naar beneden aan een snelheid van 1 mm/s, wanneer de probe de korst raakte wijzigde de testsnelheid naar 40 mm/s. Vervolgens werd de probe 10 mm in het product gedrukt waarbij de kracht (g) werd gemeten in functie van de tijd, wat in relatie staat met de krokantheid van de korst. Na de meting migreerde de probe uit het product aan een snelheid van 10 mm/s.

4.2.4 Dataverwerking

Met behulp van het statistisch dataverwerkingsprogramma SPSS Statistics version 25 werden de bekomen data beoordeeld en verwerkt met een significantieniveau van 95 % ($p < 0,05$). Na het verwijderen van eventuele *outliers*, werd getracht om het verschil aan te tonen tussen de bekomen resultaten voor de verschillende parameters (gewicht, volume, pH, kroktheid, hardheid, springiness, cohesie, adhesie, kauwbaarheid en veerkracht). De normaliteit en de gelijkheid van varianties van de data werden nagegaan met respectievelijk de Shapiro-Wilk test en de Levene's test. Wanneer aan beide voorwaarden werd voldaan, werd overgegaan op One-Way ANOVA, gevolgd door een Post-Hoc test om de eventuele verschillen aan te duiden. Indien niet aan beide voorwaarden werd voldaan ($p < 0,05$), werd gekozen voor een niet-parametrisch alternatief: de Kruskal-Wallis test gevolgd door de Dunn's test.

Om de invloed van de bak- en bewaarcondities en hun interacties na te gaan, werden voorspellingsmodellen opgesteld voor de verscheidene parameters (gewicht, volume, pH, kroktheid, *hardness*, *springiness*, *cohesiveness*, *adhesiveness*, *chewiness* en de *resilience*).

5 Resultatenbespreking en discussie

5.1 Luik 1: Microbiologische kwaliteit

5.1.1 Invloed van bakcondities en zuurdesem op de pH van par-baked brood

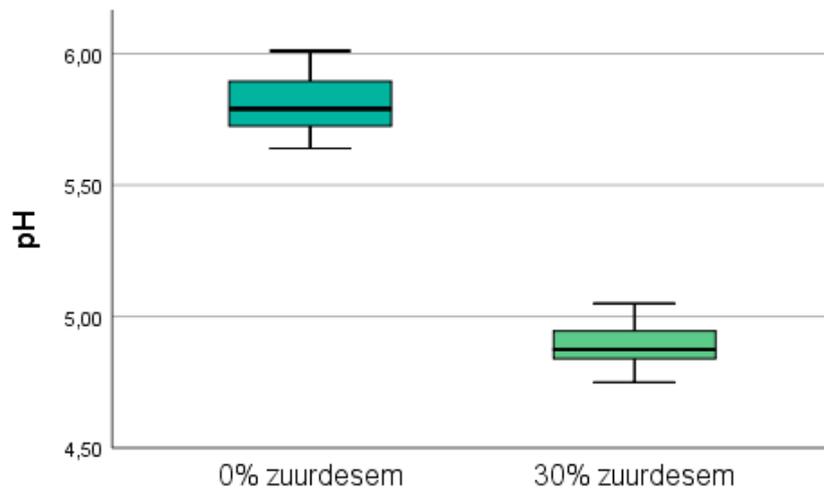
pH is een van de belangrijkste intrinsieke factoren die de microbiële groei beïnvloedt. Brood bezit een pH van 5,4 - 6,0 en is daarom een geschikte omgeving voor de ontwikkeling van micro-organismen. Om de invloed van zuurdeseminmenging, bewaarcondities en bakcondities op de microbiële kwaliteit in kaart te brengen, wordt eveneens de link gelegd met de eventuele pH-wijziging die deze variërende parameters met zich meedragen.

De resultaten van de pH-meting worden weergegeven in Tabel 5. Er wordt geen significant verschil in pH waargenomen tussen de acht bakprogramma's ($p = 0,780$), aangezien de drie parameters geen significante invloed uitoefenen ($p_T = 0,904$; $p_t = 0,677$; $p_s = 0,692$). De pH is namelijk een intrinsieke factor en is dus eigen aan het product en de gebruikte ingrediënten, waardoor een hittebehandeling geen wijziging aanbrengt.

TABEL 5: Gemiddelde pH (n = 4) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities

ZD (%)	Stoom (ml)	T (°C)	t (min)	pH	
0	200	150	8	5,8375 ± 0,04479 ^a	
			13	5,8250 ± 0,05123 ^a	
	600	150	8	5,7875 ± 0,07192 ^a	
			13	5,8425 ± 0,04854 ^a	
	600	200	150	8	5,7825 ± 0,06762 ^a
				13	5,7800 ± 0,02858 ^a
		200	200	8	5,8400 ± 0,07326 ^a
				13	5,7525 ± 0,00854 ^a
30	200	150	8	4,8875 ± 0,04029 ^b	
			13	4,8850 ± 0,04444 ^b	
		200	8	4,8825 ± 0,04498 ^b	
			13	4,9400 ± 0,04416 ^b	
	600	150	8	4,8500 ± 0,02041 ^b	
			13	4,9125 ± 0,01797 ^b	
		200	8	4,8875 ± 0,06005 ^b	
			13	4,9075 ± 0,04768 ^b	

De pH van het half-afgebakken brood wordt duidelijk significant verlaagd ($p = 0,000$) van gemiddeld 5,81 naar 4,89 door toevoeging van 30 g zuurdesem op 100 g deeggewicht, en wordt visueel weergegeven in Figuur 11. Deze pH-daling werd ook ervaren in o.a. *Arendt et al* (2007) en *Debonne et al* (2018). In *Debonne et al* (2018) werd een pH-daling bekomen van $5,9 \pm 0,2$ naar $4,7 \pm 0,2$ door toevoeging van 30 g zuurdesem per 100 g brooddeeg. Deze verzuring wordt teweeg gebracht door de aanwezigheid van organische zuren, geproduceerd door melkzuurbacteriën.



FIGUUR 11: Boxplot van de pH van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood

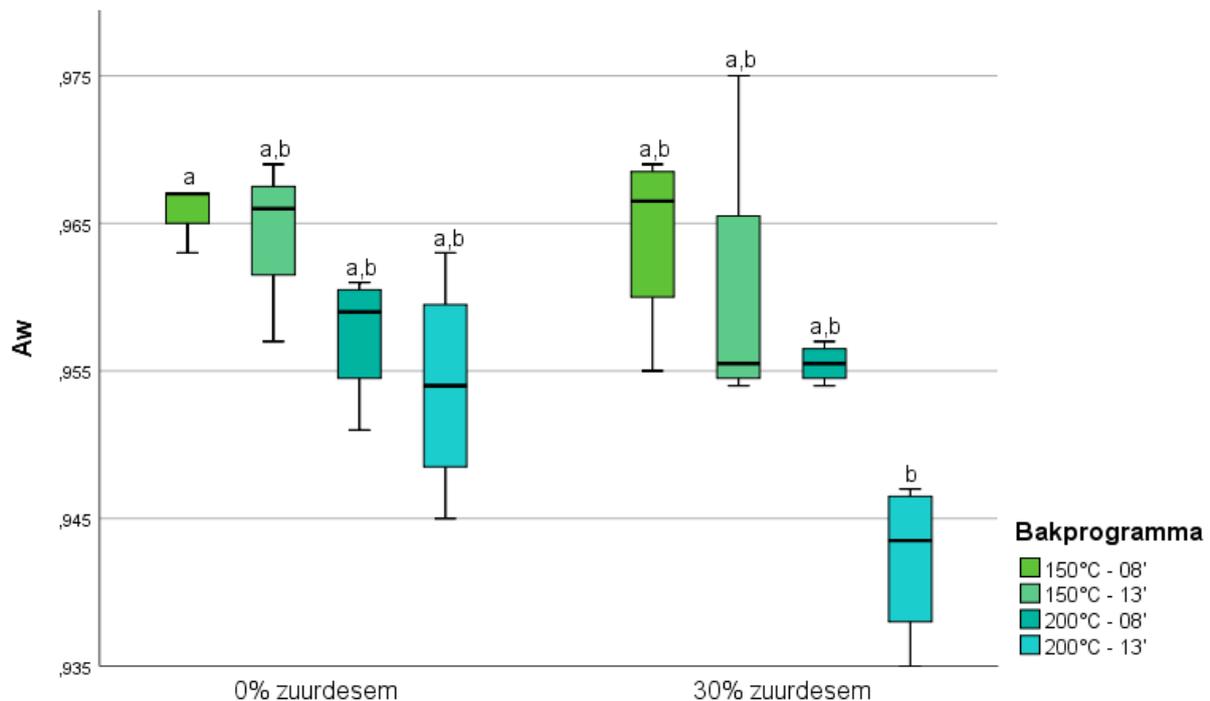
5.1.2 Invloed van bakcondities en zuurdesem op de wateractiviteit

Naast de pH is de wateractiviteit (a_w) een even belangrijke factor in de ontwikkeling van micro-organismen. De a_w -waarde van *par-baked* brood bedraagt tussen de 0,94 en 0,97, wat een gunstige omgeving is voor de ontwikkeling van gisten en schimmels. In deze proefopzet werd de a_w gemeten als belangrijke intrinsieke factor om het eventuele verschil in microbiële groei te verklaren. De gemeten wateractiviteit wordt weergegeven in Tabel 6.

TABEL 6: Gemiddelde a_w ($n = 2$) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities

ZD (%)	Stoom (ml)	T (°C)	t (min)	a_w
0	200	150	8	$0,96500 \pm 0,002000$
			13	$0,96750 \pm 0,001500$
		200	8	$0,95950 \pm 0,001500$
			13	$0,95400 \pm 0,009000$
	600	150	8	$0,96700$ (n=1)
			13	$0,95700$ (n=1)
		200	8	$0,95550 \pm 0,004500$
			13	$0,95400 \pm 0,002000$
30	200	150	8	$0,96000 \pm 0,005000$
			13	$0,95450 \pm 0,000500$
		200	8	$0,95550 \pm 0,001500$
			13	$0,94100 \pm 0,006000$
	600	150	8	$0,96850 \pm 0,000500$
			13	$0,96550 \pm 0,009500$
		200	8	$0,95550 \pm 0,000500$
			13	$0,94350 \pm 0,002500$

De wateractiviteit wordt significant beïnvloed door de baktemperatuur ($p = 0,001$) en baktijd ($p = 0,048$), maar de parameter stoomvolume oefent geen significante invloed uit op de wateractiviteit ($p = 0,950$). In Figuur 12 wordt de wateractiviteit weergegeven voor de bakcondities met variërende temperatuur en baktijd voor tarwe- en zuurdesembrood. Zuurdesem blijkt echter geen significante invloed te hebben op de a_w ($p = 0,169$). Door de grote standaarddeviatie wordt geen significant verschil aangetoond tussen de vier bakomstandigheden, maar is visueel een dalende trend van de wateractiviteit waarneembaar bij stijgende temperatuur en langere baktijd. De gemiddelde a_w -waarden verwerkt in Figuur 12 zijn te vinden in bijlage 1.



FIGUUR 12: Boxplot van de a_w -waarde van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood gebakken bij vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd tijdens de tweede fase van de *par-baking* fase
 * Waarden met gelijke letter zijn niet significant verschillend ($p = 0,05$)

In het voorspellingsmodel (Tabel 7) opgesteld voor de wateractiviteit wordt het stoomvolume als enige parameter niet opgenomen in het model, terwijl eveneens geen significantie werd aangetoond voor de parameter zuurdesem en deze wel wordt toegevoegd aan het model. De twee andere bakcondities hebben volgens het model wel een effect op de a_w -waarde ($p < 0,05$). De wateractiviteit van *par-baked* brood wordt volgens de voorspelling verlaagd door het verhogen van de baktemperatuur, verlengen van de baktijd en toevoeging van zuurdesem. De gecorrigeerde correlatiecoëfficiënt R^2 bedraagt slechts 0,52, wat er op duidt dat de wateractiviteit niet louter op basis van de baktijd, baktemperatuur en zuurdesemgehalte kan voorspeld worden.

TABEL 7: Voorspellingsmodel voor de a_w van *par-baked* broodjes (y_i : a_w) in functie van de bakparameters in de tweede fase van de PBfase (x_i : baktijd (min), baktemperatuur (°C), stoom (ml)) en zuurdesem (g/ 100 g deeg)

	a_w
Intercept	1,017508
Baktijd	-0,001187
Baktemperatuur	-0,000227
Zuurdesem	-0,004952
R^2	0,568
R^2_{adj}	0,518

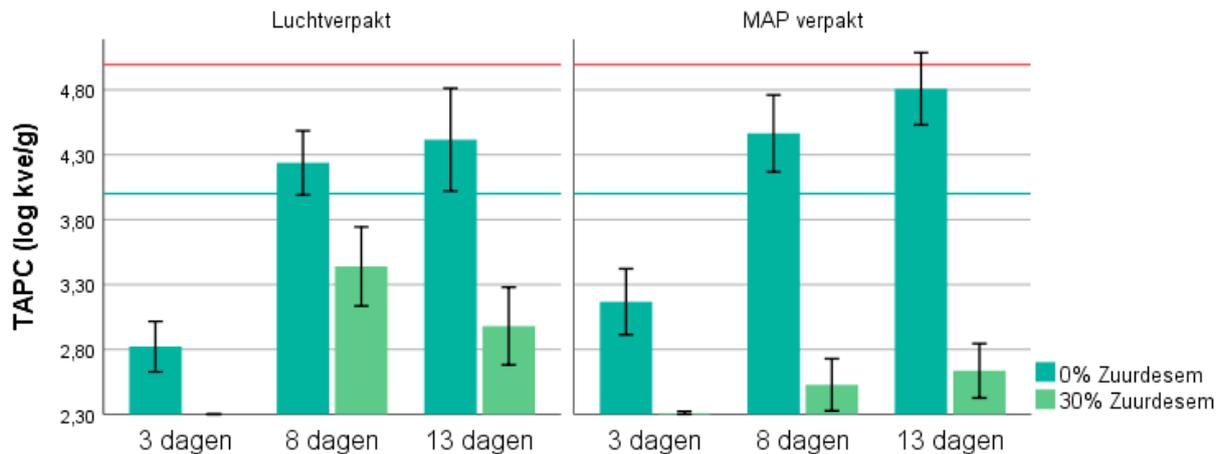
5.1.3 Invloed van bak-, bewaarcondities en zuurdesem op de microbiële kwaliteit

5.1.3.1 Totaal anaeroob kiemgetal

Par-baked brood wordt vaak verpakt in een zuurstofarme atmosfeer om de *shelf life* te verlengen. Vandaar dat in deze proefopzet het totaal anaeroob kiemgetal (TAPC) als parameter wordt gebruikt om het totaal kiemgetal te bepalen van de anaerobe flora. Het TAPC van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood werd in kaart gebracht na 3, 8 en 13 dagen bewaring bij lucht- of gewijzigde atmosfeer bij 22 °C, en weergegeven in bijlage 2.

Na statistisch onderzoek blijkt dat de bewaarconditie geen invloed heeft op het kiemgetal ($p_3 = 0,082$; $p_8 = 0,147$; $p_{13} = 0,292$). Hierbij moet opgemerkt worden dat het effect van de MAP-verpakking wordt verlaagd omwille van de aanwezige zuurstof in het brood wanneer het verpakt wordt. De verpakking wordt namelijk niet eerst luchtvrij gemaakt door bv. een vacuümstap, wanneer de gewijzigde gassamenstelling in de verpakking wordt gebracht. Hierdoor zal zuurstof welke in het broodkruim aanwezig, een invloed uitoefenen op de groei van de anaerobe flora.

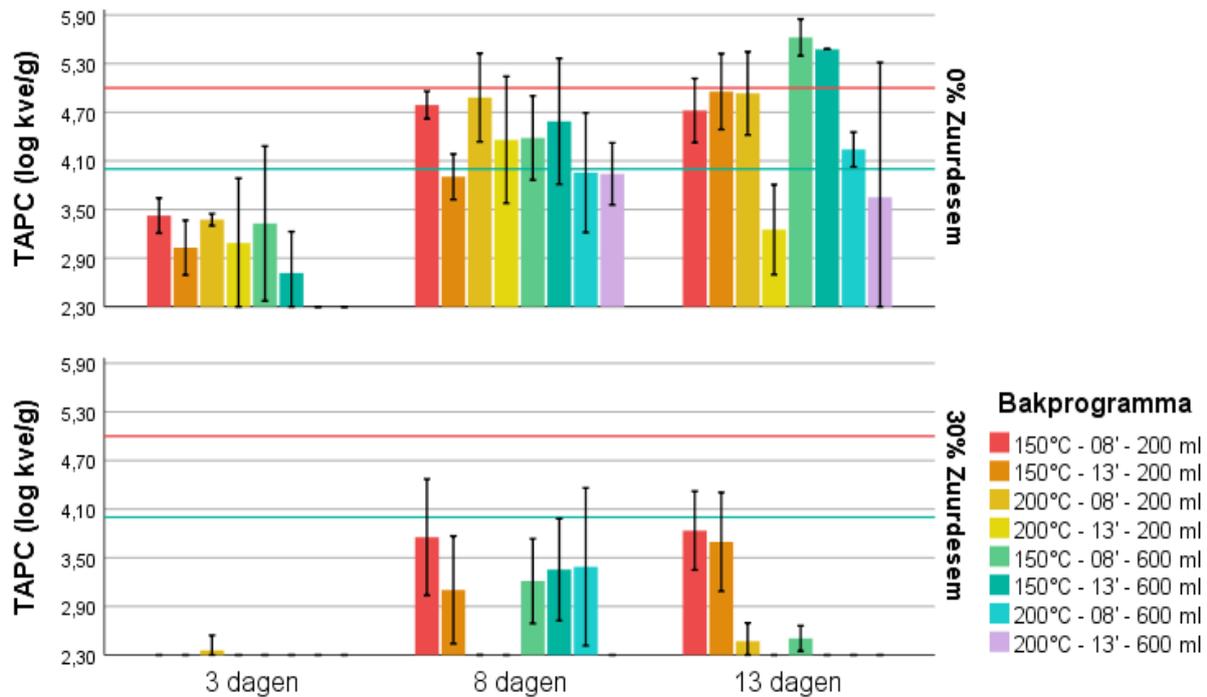
In Figuur 13 wordt het totaal anaeroob kiemgetal (log kve/g) visueel voorgesteld na 3, 8 en 13 dagen voor *par-baked* tarwebrood en zuurdesembrood. Deze broodjes werden bewaard bij ofwel luchtatmosfeer ofwel gewijzigde atmosfeer. Door het gebruik van zuurdesem wordt een lagere pH bekomen, met als gevolg een significant lager kiemgetal ($p < 0,001$). Voor luchtverpakte broodjes wordt door zuurdesem 1 logreductie bewerkstelligd na 13 dagen bewaring, en voor MAP-verpakt brood een 2 logreductie. Ondanks de afwezigheid van een significante invloed van de verpakkingswijze, moet wel opgemerkt worden dat de combinatie zuurdesem en MAP-verpakking toch een opmerkelijk groter effect heeft op de verlaging van het totaal anaeroob kiemgetal. Er wordt met andere woorden een lager kiemgetal bekomen door de implementatie van twee hordes.



FIGUUR 13: Staafdiagram van het totaal anaeroob kiemgetal van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood na 3, 8 en 13 dagen bewaard bij luchtatmosfeer en gewijzigde atmosfeer bij 22 °C
 Limieten voor TAPC van de broodkwaliteit (m = 4 log kve/g (groene lijn); M = 5 log kve/g (rode lijn))

Door het toevoegen van zuurdesem wordt een eindproduct bekomen die voldoet aan de limieten omtrent microbiologische broodkwaliteit (TAPC) opgesteld door het FAVV en komen de tarwebroodjes in de gevarezone. Deze limieten aangegeven op Figuur 13, voorgesteld door de groene lijn op (m = 4 log kve/g brood) en de rode lijn (M = 5 log kve/g brood), representeren respectievelijk de limiet waar de broodkwaliteit gegarandeerd wordt en de maximale toegelaten bovengrens betreffende het totaal anaeroob kiemgetal. Echter moet wel opgemerkt worden dat deze limieten zijn opgesteld voor volledig gebakken brood en niet voor *par-baked* brood. Tijdens de finale bakfase zal de microbiële flora opnieuw afnemen.

In Figuur 14 wordt het totaal anaeroob kiemgetal weergegeven na 3, 8 en 13 dagen bewaring bij 22 °C voor tarwebrood en zuurdesembrood gebakken met behulp van acht verschillende bakcondities waarbij telkens de baktemperatuur en –tijd tijdens de tweede fase van de PB fase en het stoomvolume tijdens de eerste fase van PB fase wijzigen. Hierop is te zien dat het totaal anaeroob kiemgetal het laagst is bij de tarwebroodjes gebakken bij een temperatuur van 200 °C gedurende 13 minuten, wat zorgt voor een aanvaardbare microbiologische kwaliteit welke vergelijkbaar is met zuurdesembrood. Na statistisch onderzoek kan dan ook bevestigd worden dat beide parameters een significante verlaging van het TAPC teweegbrengen bij het verhogen van de temperatuur en verlengen van de baktijd ($p_T = 0,000$ en $p_t = 0,001$). De parameter stoomvolume lijkt visueel geen invloed te hebben op het TAPC, echter blijkt deze toch significant ($p = 0,001$). Bij zuurdesembrood wordt voornamelijk anaerobe microflora aangetroffen wanneer bij de laagste temperatuur (150 °C) wordt voorgebakken. Bij een voorbaktemperatuur van 200 °C wordt het kiemgetal sterk geïnhibeerd. Het lagere kiemgetal kan gelinkt worden aan de lagere a_w -waarde die waargenomen werd bij het brood voorgebakken bij 200 °C.



FIGUUR 14: Staafdiagram van het totaal anaeroob kiemgetal van *par-baked* tarwebrood (boven) en zuurdesembrood (onder) na 3, 8 en 13 dagen bewaring bij 22 °C, gebakken met acht verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur, baktijd en stoomvolume
Limieten voor TAPC van de broodkwaliteit ($m = 4 \log \text{kve/g}$ (groene lijn); $M = 5 \log \text{kve/g}$ (rode lijn))

Om het totaal anaeroob kiemgetal te voorspellen werd een model opgesteld, weergegeven in Tabel 8. Net zoals significant werd aangetoond, hebben de drie bakparameters een invloed op het totaal anaeroob kiemgetal en worden deze bijgevolg opgenomen in het voorspellingsmodel. Door het gebrek aan een significant effect wordt de parameter 'verpakking' niet opgenomen in het voorspellingsmodel. De gecorrigeerde correlatiecoëfficiënt R^2 bedraagt slechts 0,646 wat er op duidt dat het totaal anaeroob kiemgetal niet louter op basis van de baktijd, baktemperatuur, stoom en zuurdesemgehalte kan voorspeld worden.

TABEL 8: Voorspellingsmodel voor het totaal anaeroob kiemgetal (log kve/g) na 13 dagen van *par-baked* broodjes (y_i : TAPC) in functie van de bakparameters (x_i : baktijd (min), baktemperatuur (°C), stoom (ml)) en zuurdesem (g/ 100 g deeg)

	TAPC
Intercept	9,0262
Zuurdesem	-0,0617
Baktemperatuur	-0,01999
Stoom	-0,00084
Baktijd	-0,0593
R^2	0,656
R^2_{adj}	0,646

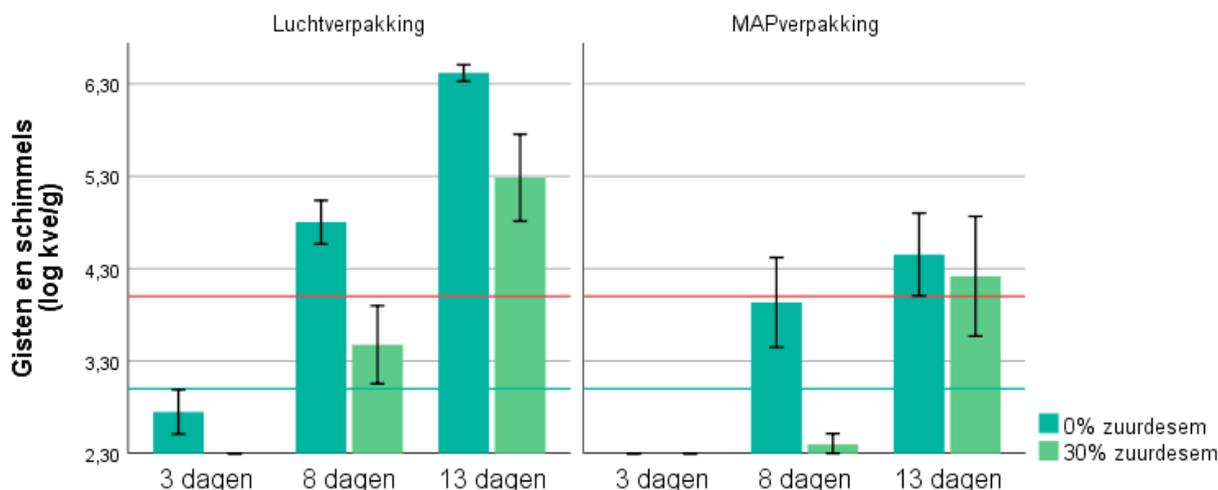
5.1.3.2 Gisten en schimmels

Schimmelgroei is de meest voorkomende vorm van microbiel bederf bij *par-baked* brood. Daarom is het van belang inzicht te verwerven omtrent de invloed van zuurdesem en de bak- en bewaarcondities op de groei van gisten en schimmels. Het aantal kolonievormende eenheden van de gisten en schimmels werd afzonderlijk geteld en zijn te vinden in Bijlage 3 en 4.

Op deze manier werd statistisch aangetoond dat zuurdesem een inhiberende werking heeft op de schimmelgroei ($p = 0,000$) maar niet op de ontwikkeling van gisten ($p = 0,674$). Het gebruik van zuurdesem zorgt met andere woorden voor een vertraagde schimmelgroei (langere lagfase), zichtbaar in Figuur 15. In de literatuur wordt beschreven dat deze antifungale activiteit niet specifiek te wijten is aan het pH-verlagend effect aangezien gisten en schimmels zich kunnen ontwikkelen in een groot pH-bereik. De vertraagde groei wordt bewerkstelligd door onder andere de aanwezigheid van organische zuren (Arendt *et al*, 2007) of ethylacetaat en ethanol geproduceerd door bepaalde gisten en bacteriën (Coda *et al*, 2011, 2013).

Om de broodkwaliteit te beoordelen kan gerefereerd worden naar de grenswaarden opgesteld door het FAVV omtrent gisten en schimmels. Voor de parameter gisten en schimmels geldt: $m = 3 \log \text{kve/g}$ en $M = 4 \log \text{kve/g}$ (resp. groene en rode lijn op Figuur 15). Aangezien deze grenswaarden gelden voor gisten en schimmels samen, werden de getelde kolonies van de gisten en de schimmels bij elkaar opgeteld om de kwaliteit te beoordelen, waarvan de data worden weergegeven in bijlage 5. In Figuur 15 wordt de groei van gisten en schimmels weergegeven voor PB tarwebrood en zuurdesembrood bewaard in een luchtverpakking of een MAP-verpakking. Op deze figuur is inderdaad te zien dat een MAP-verpakking een inhiberende effect heeft ($p = 0,000$). Het aantal gisten en schimmels daalt gemiddeld met 2 log kve/g bij tarwebrood, en met 1 log kve/g voor zuurdesembrood. De verlaagde zuurstofconcentratie zorgt namelijk voor een groeiremming van de schimmels (Cauvain & Young, 2007). Zuurdesem heeft opmerkelijk een groter effect bij luchtverpakt brood in vergelijking met MAP-verpakt brood, aangezien de groei ook wordt geremd door de verpakking.

Ondanks de aangetoonde significante invloed van de MAP-verpakking en de zuurdesem, werd toch een slechte broodkwaliteit bekomen na 13 dagen. De grens die het einde aangeeft van een aanvaardbare kwaliteit wordt overschreden door de gemiddelde waarden voor gisten en schimmels. Deze hoge waarden werden veroorzaakt door post-contaminatie van het brood na de bakfase in de bakkerij waar een natuurlijke omgevingsflora aanwezig is. *Par-baked* brood wordt doorgaans geproduceerd in een industriële bakkerij-omgeving waar post-contaminatie liefst wordt vermeden, waardoor een eindproduct met een betere houdbaarheid zal bekomen worden dan in deze proefopzet.

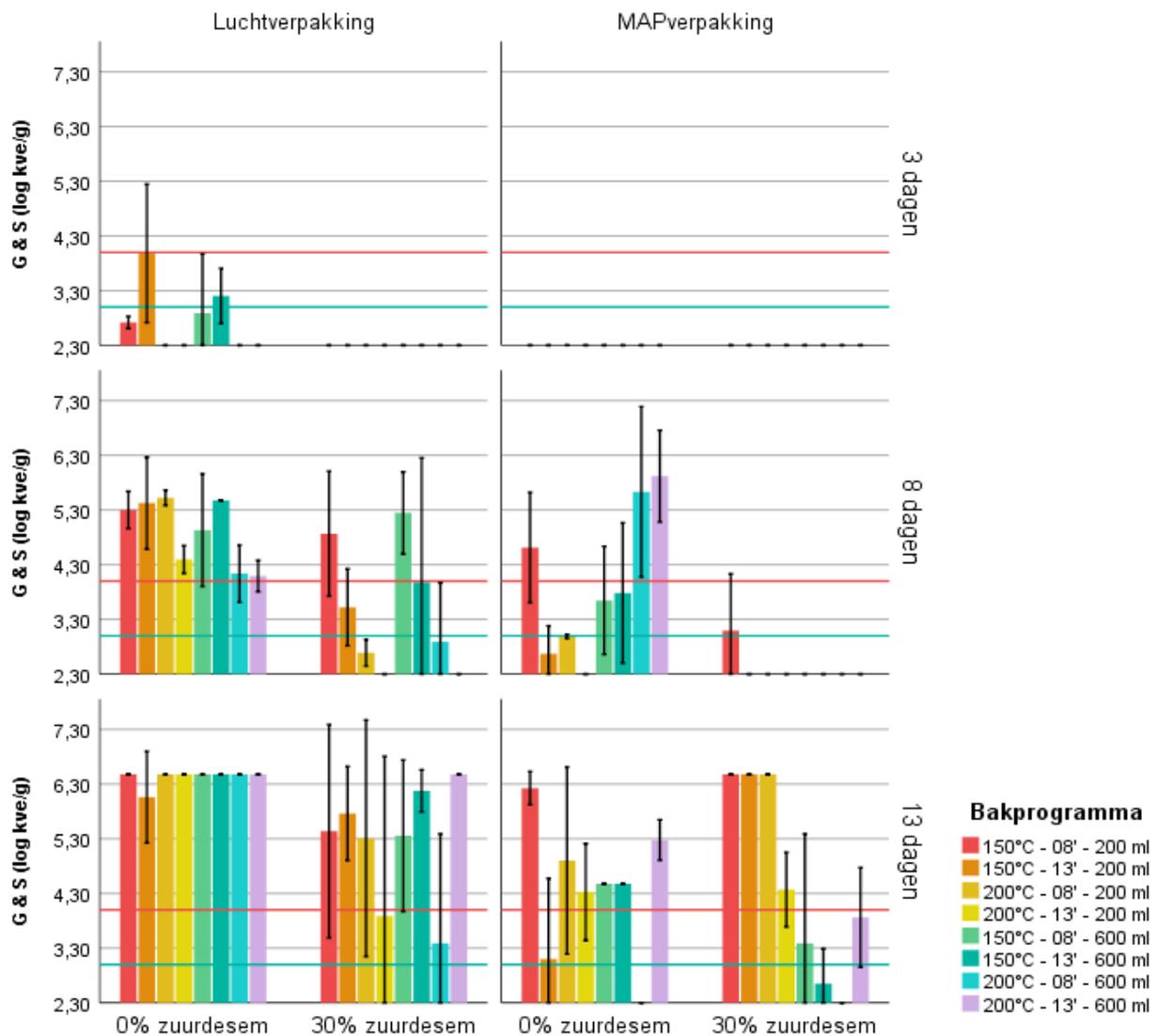


FIGUUR 15: Staafdiagram van gisten en schimmels (log kve/g) van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood na 3, 8 en 13 dagen bewaard bij luchtatmosfeer en gewijzigde atmosfeer bij 22 °C.

Limieten voor gisten van de broodkwaliteit ($m = 3 \log \text{kve/g}$ (groene lijn); $M = 4 \log \text{kve/g}$ (rode lijn))

Eveneens kan dezelfde bemerking gemaakt worden omtrent de microbiologische limieten als bij het totaal anaeroob kiemgetal, waarbij de opgestelde limieten enkel gelden voor volledig gebakken brood en niet voor *par-baked* brood. Wanneer het brood de finale bakfase doorloopt zal de flora gisten en schimmels namelijk opnieuw dalen.

Ongeacht de hoge contaminatiegraad door gisten en schimmels, blijken deze gemiddelde waarden sterk te variëren door de verschillende bakprogramma's. Na statistisch onderzoek blijkt de baktemperatuur de enige bakparameter die het aantal gisten en schimmels significant kan reduceren ($p = 0,020$). Baktijd en stoomvolume hebben geen significant effect ($p_t = 0,456$; $p_s = 0,128$). Op Figuur 16 wordt het aantal log kve/g gisten en schimmels weergegeven na 3, 8 en 13 dagen bewaring voor PB tarwe- en zuurdesembrood gebakken met acht verschillende bakprogramma's. Hierop is te zien dat de contaminatiegraad inderdaad varieert naar gelang de drie wijzigende parameters: baktemperatuur, baktijd en het stoomvolume. Wanneer een hogere temperatuur en baktijd wordt gehanteerd blijkt het aantal kve gisten en schimmels lager. Dit kan verklaard worden door de lagere a_w -waarde van brood voorgebakken bij 200 °C. Echter is deze stelling niet van toepassing bij elke situatie in Figuur 16. Vanuit dit opzicht kan besloten worden dat de onderlinge interacties tussen de drie bakparameters te complex zijn om via deze proefopzet te beoordelen, maar dat deze interacties zeker een invloed hebben op de groei van gisten en schimmels.



FIGUUR 16: Staafdiagram van gisten en schimmels (log kve/g) van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood na 3, 8 en 13 dagen bewaring bij luchtatmosfeer (links) en gemodificeerde atmosfeer (rechts) bij 22 °C, gebakken met acht verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur, baktijd en stoomvolume

Het voorspellingsmodel voor gisten en schimmels bezit een gecorrigeerde correlatiecoëfficiënt R^2 kleiner dan 0,5 wat er op wijst dat deze parameter niet correct voorspeld kan worden met alleen bakparameters, zuurdesem of verpakkingwijze.

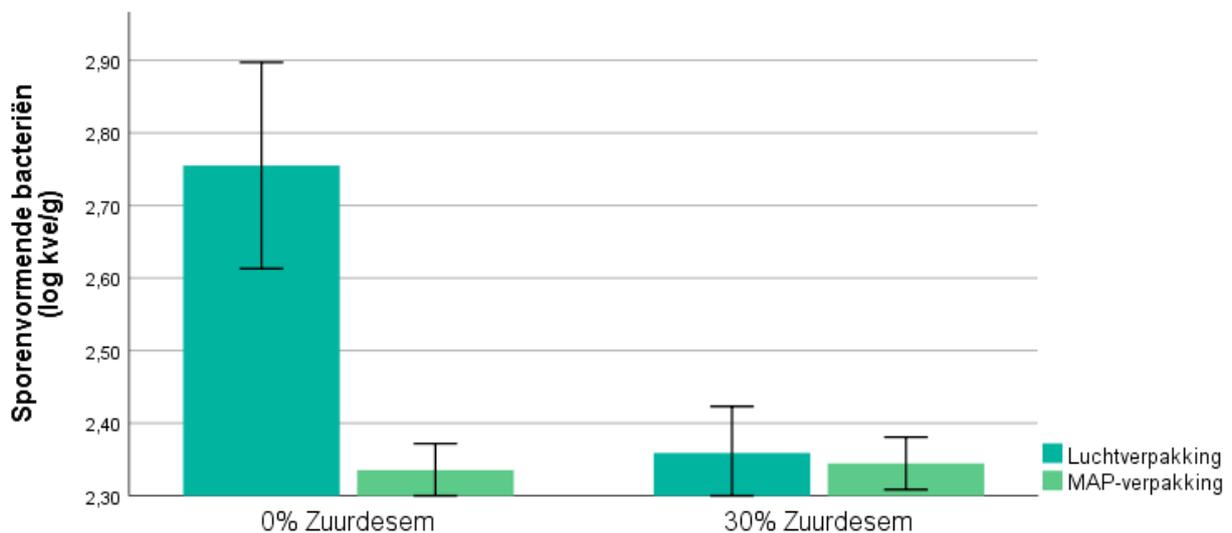
5.1.3.3 Sporevormende bacteriën

Hitteresistente sporen gevormd door bacteriën zoals *Bacillus subtilis* kunnen het bakproces overleven en vervolgens bacterieel bederf induceren. Het aantal log kve/g sporevormende bacteriën geanalyseerd bij *par-baked* broodjes voor alle bak- en bewaarcondities wordt weergegeven in bijlage 6.

Door het gebruik van 30 % zuurdesem kan de groei van deze bacteriën zo goed als helemaal geïnhibeerd worden ($p = 0,000$). Deze waarneming werd reeds gedaan in een onderzoek van Saranraj & Geetha (2012) waar de groei van lengbacteriën kon geïnhibeerd worden vanaf 20

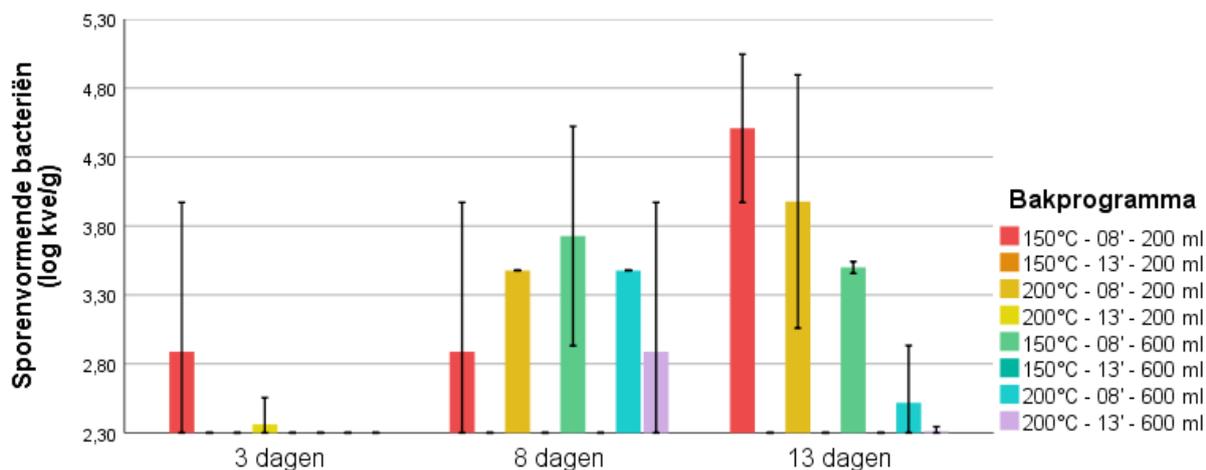
% zuurdesem. Volgens Rumeus & Turtoi (2013) kon reeds na inmenging van 10% zuurdesem een inhibitie van *Bacillus* species bekomen worden.

Wanneer de broodjes verpakt worden in MAP-omstandigheden wordt eveneens een inhiberend effect bekomen ($p = 0,000$), omwille van de lage zuurstofconcentratie, zoals reeds beschreven door Leuschner et al. (1999). Combinatie van beide hordes verschilt echter niet van het gebruik van slechts één horde ($p_{\text{verpakking}} = 0,657$; $p_{\text{zuurdesem}} = 0,134$). De invloed van zuurdesem en de verpakkingwijze op de groei van sporevormende bacteriën wordt daarnaast visueel weergegeven in Figuur 17.



FIGUUR 17: Staafdiagram van sporevormende bacteriën (log kve/g) van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood bewaard bij luchtatmosfeer en gewijzigde atmosfeer bij 22 °C

Wanneer geen gebruik wordt gemaakt van zuurdesem of een MAP-verpakking als horde, is de invloed van de bakparameters zichtbaar, zoals weergegeven in Figuur 18. Op deze figuur is waarneembaar dat de baktijd de grootste invloed heeft op de aanwezigheid van sporevormers. Wanneer de tarwebroodjes worden vorgebakken gedurende 2 minuten bij 170 of 220 °C en vervolgens 13 minuten bij 150 of 200 °C, was dit voldoende om alle sporevormers te reduceren. Wanneer de baktijd slechts 8 minuten bedroeg in de tweede fase van de PB bakfase, werden sporevormers opgemerkt.



FIGUUR 18: Staafdiagram van de sporevormende bacteriën (log kve/g) van *par-baked* tarwebrood na 3, 8 en 13 dagen bewaring in luchtatmosfeer bij 22 °C, gebakken met acht verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur, baktijd en stoomvolume

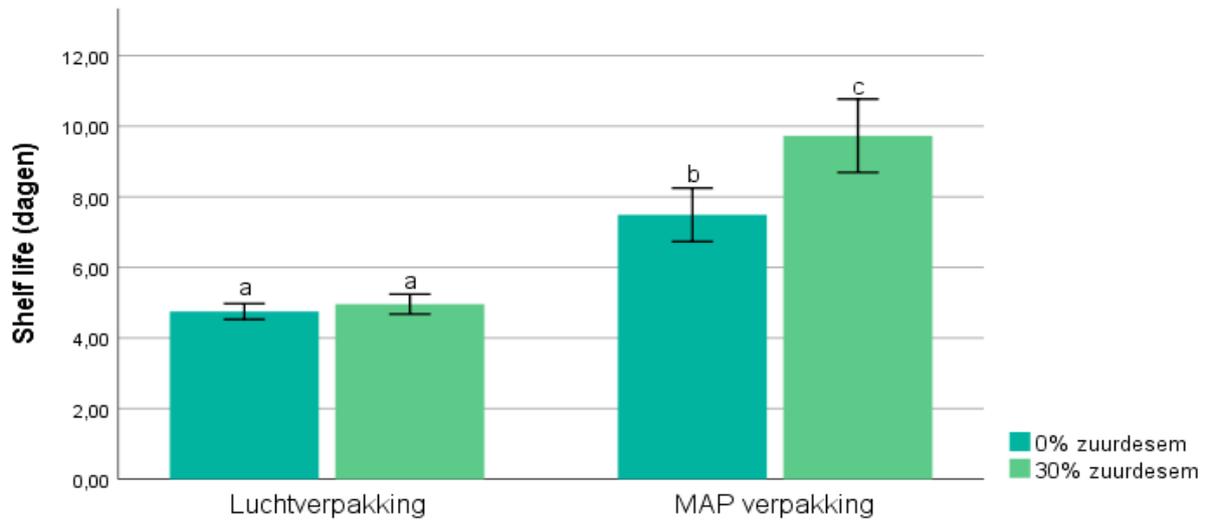
De gecorrigeerde correlatiecoëfficiënt R^2 van het voorspellingsmodel voor sporevormende bacteriën bedraagt minder dan 0,5 wat er op wijst dat deze parameter niet correct voorspeld kan worden met enkel bakparameters, zuurdesem of verpakkingswijze, waardoor dit model niet wordt weergegeven.

5.1.4 Invloed van zuurdesem, bak- en bewaarcondities op de shelf-life

Niet-MAP-verpakt *par-baked* brood bewaard bij kamertemperatuur heeft een beperkte *shelf life* (Karaoğlu, 2015; Almeida, Steel, & Chang, 2016). Zoals reeds vermeld is schimmelgroei het microbiële bederf dat vaak als eerste optreedt bij *par-baked* brood. Om vervolgens de *shelf life* te beoordelen, zullen dan ook gelijkaardige redenen aangehaald worden als voor de schimmelgroei (5.1.3.2) aangezien in deze proefopzet het begrip *shelf life* wordt gebruikt als 'de houdbaarheid zonder de ontwikkeling van zichtbare gisten en/of schimmels'. Wanneer visueel bederf optreedt wordt de *shelf life* aanzien als verlopen. De gemiddelde *shelf life* van het *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood met variërende bak- en bewaarcondities wordt weergegeven in bijlage 7.

De houdbaarheid van de PB tarwebrood, met een gemiddelde houdbaarheid van 4 dagen, wordt verlengd met gemiddeld 3 dagen door het gebruik van een MAP-verpakking, en wordt geïllustreerd in Figuur 19. De lage zuurstofconcentratie en de hoge concentratie CO_2 zal namelijk de schimmelgroei trager laten verlopen (Cauvain & Young, 2007). Voor zuurdesembrood wordt een verlenging van de houdbaarheid bewerkstelligd van ongeveer 5 dagen door bewaring in gewijzigde atmosfeer. Ondanks deze vaststelling wordt toch geen significant langere *shelf life* bekomen door toevoeging van zuurdesem wanneer het brood luchtverpakt wordt ($p = 0,565$), wat echter wel het geval bleek in een studie van Debonne *et al* (2018) na toevoeging van 30 % zuurdesem. Er kan geconcludeerd worden dat de combinatie

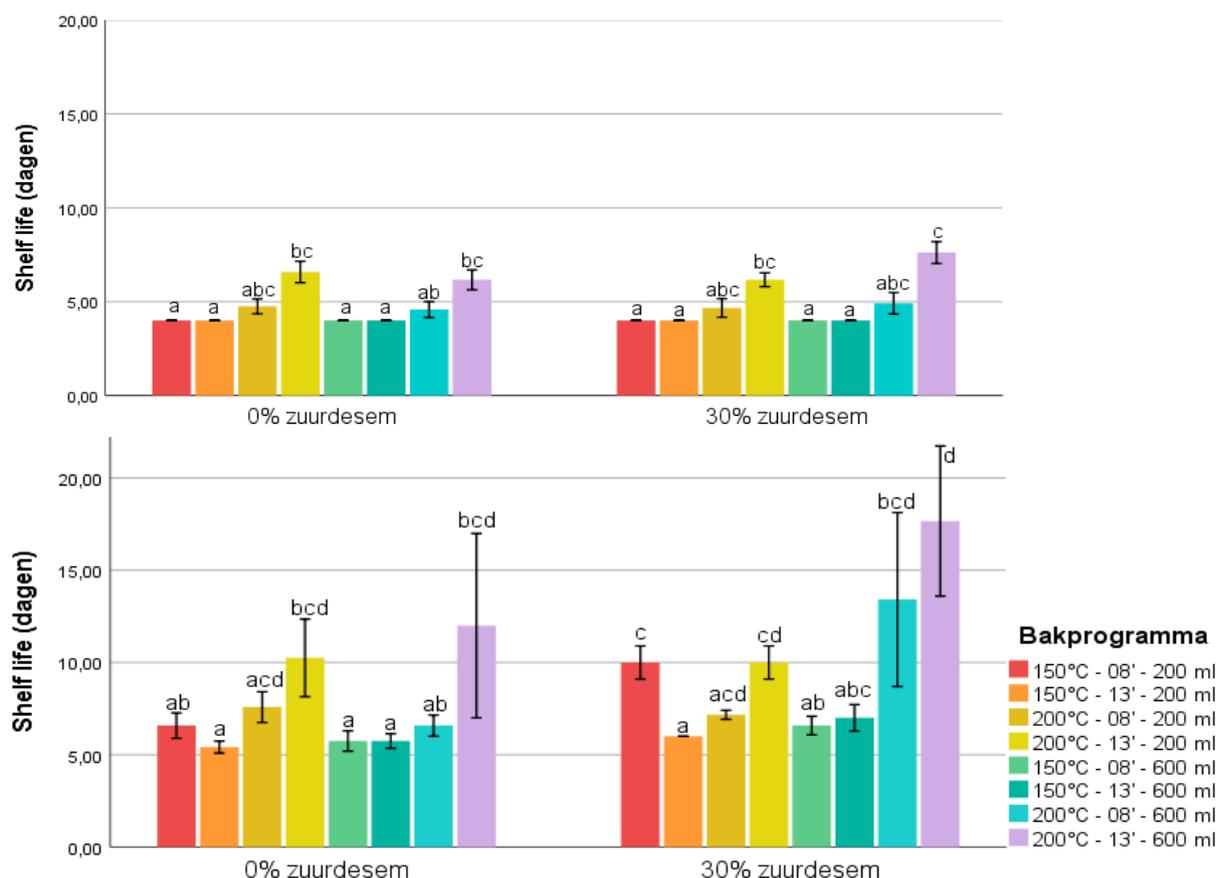
van het gebruik van zuurdesem en een verpakking met MAP-omstandigheden optimaal is ter verlenging van de *shelf life*.



FIGUUR 19: Staafdiagram van *shelf life* (dagen) van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood bewaard bij luchtatmosfeer en gewijzigde atmosfeer bij 22 °C

* Waarden met gelijke letter zijn niet significant verschillend ($p = 0,05$)

De *shelf life* van luchtverpakte en MAP-verpakte broodjes en de eventuele invloed van de bakparameters wordt weergegeven in Figuur 20. Hierop is te zien dat de baktemperatuur en baktijd een significante invloed uitoefenen op de *shelf life* ($p_t = 0,001$; $p_T = 0,000$) en dat het stoomvolume geen effect heeft ($p_s = 0,969$). *Par-baked* brood voorgebakken bij een temperatuur van 150°C hebben reeds een beperkt *shelf life*, waarbij na ongeveer 4 dagen visuele schimmelgroei en/of gistontwikkeling werd waargenomen. Wanneer een langere baktijd en hogere baktemperatuur werden gehanteerd, wordt een significant langere *shelf life* bekomen van 6 dagen voor luchtverpakt tarwebrood en 7 dagen voor luchtverpakt zuurdesembrood. MAP-verpakt brood volgt een analoge trend, maar omwille van de gewijzigde atmosfeer wordt een langere houdbaarheid bekomen van gemiddeld 12 dagen voor tarwebrood en gemiddeld 17 dagen voor zuurdesembrood. Langere *shelf life*, of de vertraagde ontwikkeling van schimmels, kan verklaard worden door de lagere a_w -waarde van het *par-baked* brood bekomen door het voorbakken bij een temperatuur van 220 °C en 200 °C gedurende respectievelijk 2 en 13 minuten.



FIGUUR 20: Staafdiagram van de *shelf life* (dagen) van *par-baked* tarwe- en zuurdesem brood bewaard in luchtatmosfeer (boven) en gewijzigde atmosfeer (onder) bij 22 °C, gebakken met acht verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur, baktijd en stoomvolume

* Waarden met gelijke letter binnen eenzelfde grafiek zijn niet significant verschillend ($p = 0,05$)

In Tabel 9 wordt het model weergegeven om de *shelf life* te voorspellen van *par-baked* broodjes. In dit voorspellingsmodel worden alle variërende parameters opgenomen maar is de R^2 te laag, omwille van het feit dat gecombineerde interacties tussen de parameters niet in acht worden genomen. Hierdoor kan besloten worden dat de voorspelling van de *shelf life* aan de hand van de vijf parameters eerder complex is.

TABEL 9: Voorspellingsmodel voor de *shelf life* (dagen) na 13 dagen van *par-baked* broodjes (y_i : *Shelf life*) in functie van de bakparameters (x_i : baktijd (min), baktemperatuur (°C), stoom (ml)), zuurdesem (g/ 100 g deeg) en verpakking.

	<i>Shelf life</i>
Intercept	-2,410
Verpakking	-3,758
Baktemperatuur	0,056
Zuurdesem	1,197
Baktijd	0,225
Stoom	0,002
R^2	0,427
R^2_{adj}	0,419

5.1.5 Tussentijds besluit: microbiologische kwaliteit

De microbiële kwaliteit van *par-baked* brood wordt sterk beïnvloed door toevoeging van **zuurdesem**. Deze zorgt enerzijds voor een pH-daling van 5,81 naar 4,89, wat een significante reductie van het totaal anaeroob kiemgetal met zich meebrengt. Bovendien werd een langere lagfase opgemerkt bij de schimmelgroei door de aanwezigheid van organische zuren en metabolieten in de zuurdesem. Er werd echter geen significante invloed van zuurdeseminmenging ondervonden op de ontwikkeling van gisten. Zuurdesem zorgde eveneens voor een volledige inhibitie van sporenvormende bacteriën.

Daarnaast heeft de implementatie van een **verpakking** met gewijzigde atmosfeer ook een duidelijke invloed op de groei van gisten en schimmels op half-afgebakken brood, met een reductie van 2 log kve/g als resultaat en een verlengde *shelf life* van 3 dagen. Bovendien werd een gecombineerd effect ervaren met zuurdesem waardoor een langere *shelf life* van 5 dagen werd bekomen. Overigens zorgt een MAP-verpakking er voor dat geen sporenvormende bacteriën zich kunnen ontwikkelen.

Ten slotte bleek eveneens de keuze van de **bakparameters** een invloed te hebben op de microbiële kwaliteit van *par-baked* brood. Door het gebruik van een hogere temperatuur en langere baktijd wordt een dalende trend van de a_w -waarde waargenomen van 0,965 naar 0,949 door vochtverlies tijdens het bakproces. Deze lagere wateractiviteit zorgt voor een lager totaal anaeroob kiemgetal, een tragere ontwikkeling van gisten en schimmels en een langere houdbaarheid. Eveneens is een baktijd van 13 minuten voldoende om alle sporenvormende bacteriën af te doden bij luchtverpakt *par-baked* tarwebrood.

Naar de microbiologische normen opgesteld door het FAVV, wordt een geschikte kwaliteit bekomen op gebied van het totaal anaeroob kiemgetal bij zowel zuurdesembrood als bij tarwebrood *par-baked* bij 200 °C gedurende 13 minuten. Wanneer het gaat over de normen betreffende gisten en schimmels wordt de beste kwaliteit bekomen bij MAP-verpakt zuurdesembrood.

Algemeen kan gesteld worden dat voor het totaal anaeroob kiemgetal de parameters zuurdesem en baktemperatuur de grootste invloed hebben. De grootste impact op de parameter gisten en schimmels werd waargenomen voor de verpakkingswijze en zuurdesem. Voor de sporenvormende bacteriën zorgen de verpakkingswijze en zuurdesem, maar alsook de baktijd voor het grootste effect.

5.2 Luik 2: Technologische kwaliteit

5.2.1 Technologische kwaliteit van *par-baked* brood

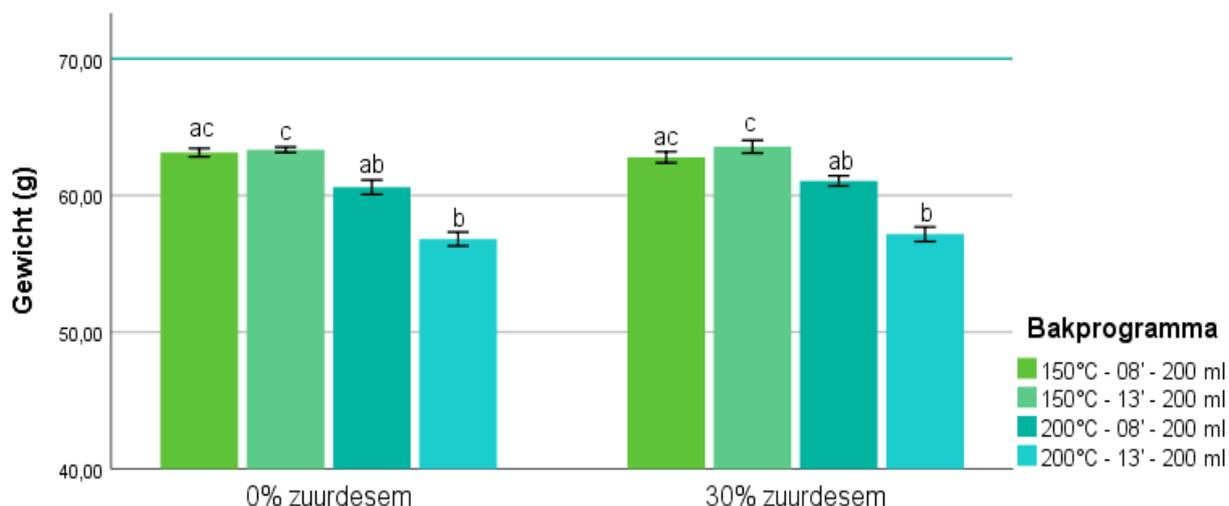
5.2.1.1 Invloed van zuurdesem en bakcondities op het broodgewicht

Bij de productie van *par-baked* brood werden deegstukken afgewogen van 70 ± 1 g (groene referentielijn op Figuur 21). Tijdens het bakproces migreert water van de kern naar buiten waar het verdampt. Hierdoor zal het gewicht van het vorgebakken brood lager liggen dan het oorspronkelijke deeggewicht. Het gewicht van het *par-baked* brood wordt weergegeven in Tabel 10.

TABEL 10: Gemiddeld gewicht (n = 10) van *par-baked* brood bij de gebruikte bakcondities

Zuurdesem (%)	Baktemperatuur (°C)	Baktijd (min)	Gewicht (g)
0	150	8	$63,1400 \pm 0,13255^{a,b}$
		13	$63,3480 \pm 0,08721^b$
	200	8	$60,6056 \pm 0,22930^{a,c}$
		13	$56,8130 \pm 0,22265^c$
30	150	8	$62,7960 \pm 0,18049^{a,b}$
		13	$63,5690 \pm 0,20652^b$
	200	8	$61,0640 \pm 0,16396^{a,c}$
		13	$57,1640 \pm 0,23455^c$

Er wordt geconcludeerd dat zuurdesem geen significant effect uitoefent op het gewicht ($p = 0,784$) wat visueel wordt weergegeven in Figuur 21. In deze figuur is eveneens de invloed van de baktemperatuur en baktijd waarneembaar. Een verlenging van de baktijd blijkt geen significante gewichtsverlaging teweeg te brengen ($p = 0,310$), waar een hogere temperatuur dat wel verwezenlijkt ($p = 0,000$). Bij een langere baktijd (13 min) in combinatie met een hogere temperatuur (200 °C) wordt echter wel een significant lager gewicht bekomen van gemiddeld 57,0 g omdat meer water kan verdampen bij een hogere temperatuur in een langere tijdsperiode. Volgens Cauvain (2012) wordt het vochtverlies direct gerelateerd aan de verhouding baktijd-baktemperatuur, aangezien deze verhouding de hoeveelheid energie-input bepaalt en vervolgens ook de mate van het waterverlies. In een onderzoek van Debonne *et al* (2017) werd eveneens een kleine significante correlatie waargenomen op het gewicht van *par-baked* brood bij het verhogen van de baktemperatuur.



FIGUUR 21: Staafdiagram van gewicht (g) van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood (n = 10) voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml) (Referentielijn: afgewogen deeggewicht)

(* Waarden met gelijke letter zijn niet significant verschillend (p = 0,05))

Er werd in een voorspellingsmodel (Tabel 11) nagegaan welke parameters mogelijks een invloed uitoefenen op het gewicht van het *par-baked* brood. In dit model worden baktemperatuur en baktijd aangegeven als meest invloedrijk. Een stijgende temperatuur en langere baktijd zorgen inderdaad voor een lager broodgewicht. Het gebruik van zuurdesem heeft volgens dit model geen effect op het gewicht.

TABEL 11: Voorspellingsmodel voor het gewicht (g) van *par-baked* broodjes (y_i : gewicht) in functie van de bakparameters (x_i : baktijd (min) en baktemperatuur (°C)) en zuurdesem (g/ 100 g deeg)

	Gewicht
Intercept	70,021
Baktemperatuur	-4,323
Baktijd	-1,657
R ²	0,780
R ² _{adj}	0,774

5.2.1.2 Invloed van zuurdesem en bakcondities op het volume

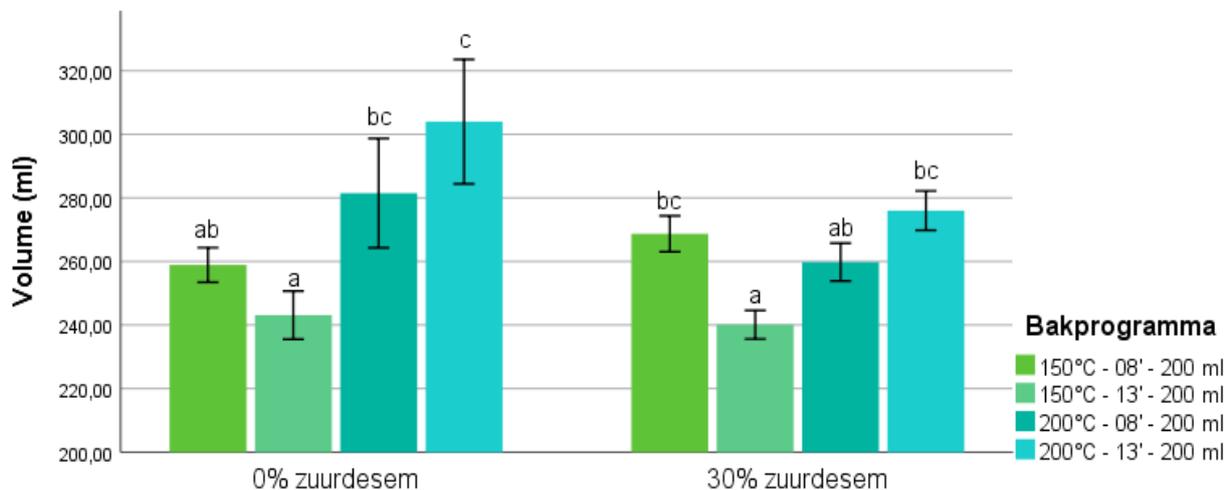
Gedurende de bakfase ondergaan de deegstukken tijdens de ovenrijs een gasexpansie, wat zorgt voor een volumevergroting. Het volume van het brood gemeten na de *par-baking* fase wordt weergegeven in Tabel 12.

TABEL 12: Gemiddeld volume (n = 10) van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood bij de gebruikte bakcondities

Zuurdesem (%)	Baktemperatuur (°C)	Baktijd (min)	Volume (ml)
0	150	8	258,9000 ± 2,40578 ^{a,b}
		13	243,1000 ± 3,35145 ^{a,d}
	200	8	281,5000 ± 7,60300 ^{b,c}
		13	304,0000 ± 8,65640 ^c
30	150	8	268,7000 ± 2,49911 ^{b,c}
		13	240,1000 ± 1,98018 ^{a,d}
	200	8	259,8000 ± 2,62805 ^{b,d}
		13	276,0000 ± 2,73658 ^{b,c}

In deze proefopzet werd geen significante invloed van zuurdesem waargenomen op het volume van *par-baked* broodjes ($p = 0,281$). In de literatuur wordt nochtans beschreven hoe toevoeging van zuurdesem een volumetoename teweeg brengt (Corsetti *et al*, 2000; Arendt *et al*, 2007; Jitrakbumrung & Therdthai, 2014). De gebruikte fermentatietijden binnen deze proefopzet van het zuurdesemdeeg waren echter onvoldoende voor een optimale rijactiviteit en volumetoename (4 uur voor type I zuurdesem). De rijstijd werd ingekort om de vergelijking met het controlebrood (tarwebrood) mogelijk te maken.

Aangezien de ingrediënten (afgezien van de zuurdesem), de deegbereiding en de twee rijfasen hetzelfde verliepen voor alle stalen, zal een mogelijks verschil in volume te wijten zijn aan het variërende bakproces, met name de ovenrijs. Een hogere temperatuur resulteert in een PB brood met een significant groter volume ($p = 0,000$), aangezien de ovenrijs sneller plaats grijpt. De baktijd op zich oefent geen directe significante invloed uit ($p = 0,346$), maar een combinatie van hoge temperatuur en langere baktijd zorgt toch voor een stijgende trend in het volume. Dit wordt voorgesteld in Figuur 22.



FIGUUR 22: Staafdiagram van volume (ml) van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood bewaard gebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml) (* Waarden met gelijke letter zijn niet significant verschillend ($p = 0,05$))

Deze bevindingen werden bevestigd door een onderzoek van Debonne *et al* (2018), waar de ovenrijs versterkt werd door stijging van de baktemperatuur. Volgens beschrijvingen van Karaoğlu & Kotancilar (2006) heeft de baktijd tijdens de *par-baking* fase een significante invloed op het specifiek volume, waarbij langere baktijden een groter volume realiseerden.

5.2.1.3 Invloed van zuurdesem en bakcondities op de kruimtextuur

Om de kwaliteit van het kruim van de *par-baked* broodjes te evalueren, werden met behulp van een TPA-test zes textuurparameters gemeten. Er werd geverifieerd of de additie van zuurdesem of een wijziging van bakcondities een positieve invloed hebben op de textuur. De resultaten worden weergegeven in Tabel 13.

TABEL 13: Gemiddelde textuurparameters (n = 10) van *par-baked* broodkruim bij de gebruikte bakcondities bekomen via TPA-test met de Texture Analyzer

ZD (%)	T (°C)	t (min)	Hardness (g)	Adhesiveness (g.s)	Springiness (g.s)
0	150	8	317,3650 ± 26,98526 ^{a,b}	-7,1005 ± 0,83215 ^{a,b,c}	0,9424 ± 0,00994 ^{a,b}
		13	287,8840 ± 10,53637 ^a	-5,2973 ± 0,48594 ^{a,b}	0,9224 ± 0,01064 ^a
	200	8	251,8148 ± 13,86370 ^{a,c}	-2,0278 ± 0,47381 ^{b,c}	0,9586 ± 0,00474 ^{a,b}
		13	237,6700 ± 15,20265 ^{a,c}	-1,9549 ± 0,38831 ^c	0,9504 ± 0,00631 ^{a,b}
30	150	8	207,5143 ± 9,86730 ^c	-2,8922 ± 0,38831 ^{a,c}	0,9482 ± 0,01201 ^{a,b}
		13	239,8381 ± 10,08286 ^{a,c}	-2,0493 ± 0,57227 ^{b,c}	0,9401 ± 0,00750 ^{a,b}
	200	8	235,5426 ± 9,82877 ^{a,c}	-2,6057 ± 0,48819 ^{a,c}	0,9436 ± 0,01053 ^{a,b}
		13	231,0159 ± 10,14915 ^{b,c}	-0,9424 ± 0,00994 ^c	0,9596 ± 0,00540 ^b
ZD (%)	T (°C)	t (min)	Cohesiveness (g.s)	Chewiness (g.s)	Resilience (g.s)
0	150	8	0,7958 ± 0,01019 ^{a,b}	235,5418 ± 14,93775 ^a	0,4086 ± 0,01222 ^{a,b}
		13	0,7949 ± 0,00385 ^a	211,1784 ± 8,45345 ^a	0,4048 ± 0,00647 ^{a,b}
	200	8	0,8233 ± 0,00459 ^{a,c}	198,7509 ± 11,37469 ^{a,b}	0,4489 ± 0,00553 ^{a,b}
		13	0,8266 ± 0,00480 ^{b,c}	186,3821 ± 11,31139 ^{a,b}	0,4522 ± 0,00919 ^{a,b}
30	150	8	0,8212 ± 0,00075 ^{a,c}	161,7697 ± 8,75061 ^b	0,4420 ± 0,00268 ^{a,b}
		13	0,8214 ± 0,00226 ^{a,c}	185,3209 ± 8,29867 ^{a,b}	0,4440 ± 0,00544 ^a
	200	8	0,8210 ± 0,00240 ^{a,c}	182,7933 ± 8,74463 ^{a,b}	0,4351 ± 0,00286 ^a
		13	0,8380 ± 0,00508 ^c	185,4948 ± 7,15839 ^{a,b}	0,4625 ± 0,00942 ^a

De eerste parameter *hardness*, ofwel de hardheid van het kruim, stelt de kracht voor bij maximale compressie tijdens de eerste beet. De kruimhardheid wordt door de consument liefst zo laag mogelijk ervaren, aangezien een zacht kruim wordt geprefereerd. De hardheid van het kruim werd significant beïnvloed door het toevoegen van zuurdesem (p = 0,000) met een zachter kruim als resultaat (zie Figuur 23a). Deze constatering werd eveneens gemaakt door Jitrakbumrung & Therdthai (2014) en Corsetti *et al* (2000). Het verzachtende effect van zuurdesem is volgens Catzeddu (2011) te wijten aan de stimulatie van proteasen en amylasen door de lagere pH waardoor deze enzymen inwerken op het glutennetwerk. Daarnaast beschrijven Gobbetti, Angelis, Di Cagno, & Rizzello (2008) dat de verzuring door de aanwezigheid van organische zuren zorgt voor een hogere oplosbaarheid van

structuurcomponenten als gluten, zetmeel en proteïnen. Ten slotte heeft een wijziging van de bakparameters noch effect op PB zuurdesembrood ($p = 0,055$), noch op PB tarwebrood ($p = 0,234$). Uit onderzoek van Debonne *et al* (2017) en Karaoğlu (2006) bleek echter dat de baktijd een significante invloed heeft op de hardheid van het broodkruim. Bij een lagere baktijd constateerden Fik & Surwka (2002) eveneens een zachter broodkruim.

De parameter *adhesiveness* (Figuur 23b) wordt aan de hand van een negatieve waarde uitgedrukt, aangezien dit het oppervlak is onder de TPA-curve, wat de mate van adhesie met een andere stof weergeeft, ofwel de mate waarin het staal aan de probe blijft kleven. Deze parameter kan de indicatie geven of het kruim voldoende is ontwikkeld. Toevoeging van zuurdesem zorgt voor een significant lagere adhesie ($p = 0,013$). Het kruim is met andere woorden minder plakkerig, en indiceert een voldoende ontwikkeling van het kruim. Het *par-baked* brood vorgebakken bij 150 °C gedurende 8 minuten heeft de grootste adhesie, wat gelinkt wordt aan een kruim dat nog niet voldoende ontwikkeld is.

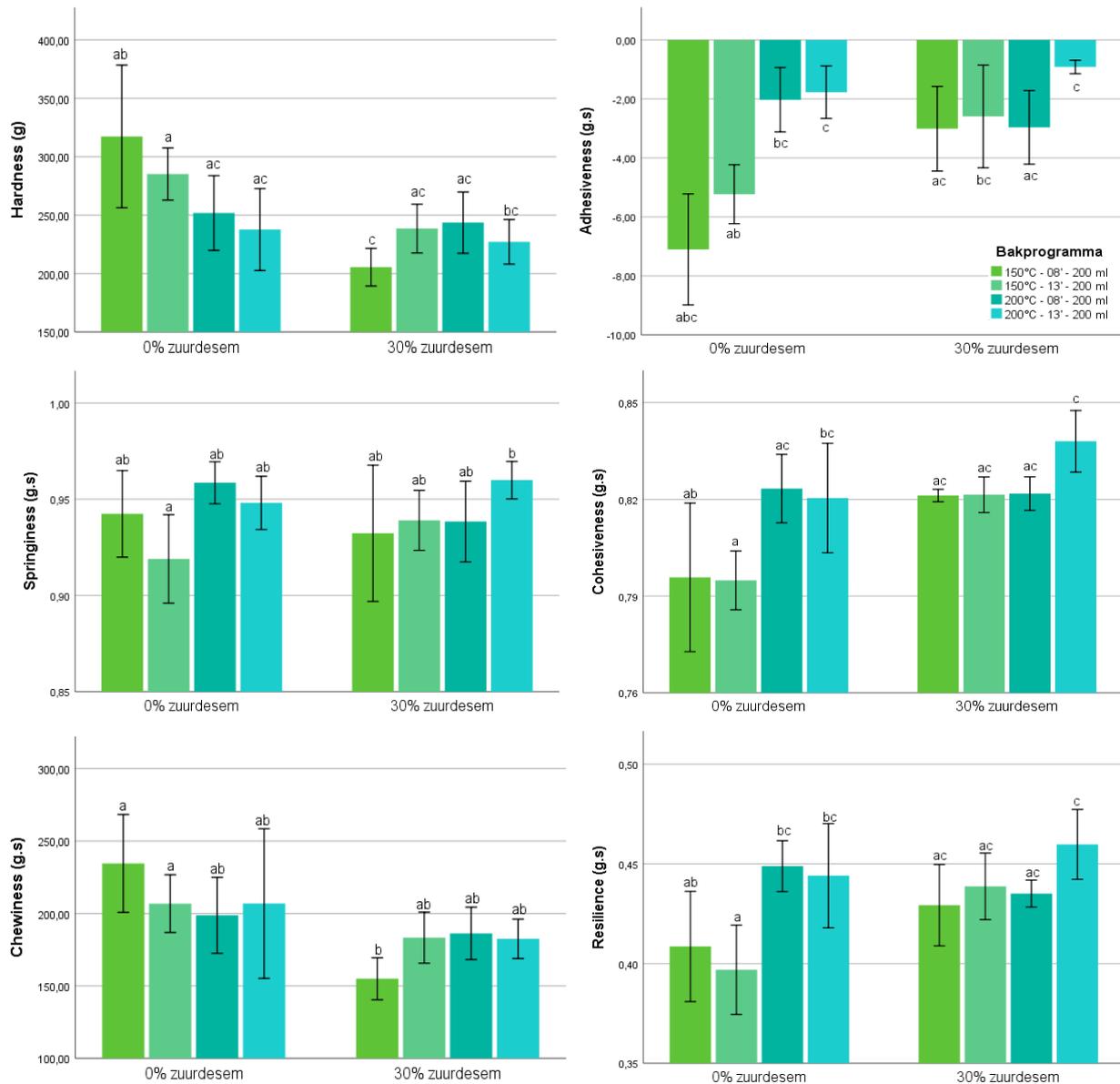
De *springiness* (Figuur 23c) meet de mate waarin het kruim zich heeft hersteld na de eerste beet, en kan vergeleken worden met een beschrijving van het elastisch gedrag. Deze parameter wordt noch beïnvloed door het gebruik van zuurdesem ($p = 0,724$), noch door wijziging van de bakcondities. Daarentegen werd in Fik & Surwka (2002) wel een verhoogde *springiness* ervaren bij een langere baktijd of door toevoeging van zuurdesem (Jitrakbumrung & Therdthai, 2014).

De samenhang van het kruim wordt beoordeeld door het meten van de *cohesiveness* (Figuur 23d). Wanneer gebruik wordt gemaakt van zuurdesem wordt een hogere cohesie bekomen ($p = 0,001$). In de studie van Jitrakbumrung & Therdthai (2014) werd door inmenging van zuurdesem een meer sponsachtige structuur bekomen met een verhoogde *springiness* en cohesie als gevolg. Daarnaast wordt de samenhang van het kruim ook bevorderd door een stijgende temperatuur en een verlenging van het bakproces. Het kruim is meer ontwikkeld bij hogere temperatuur en langere baktijd, wat zorgt voor een verhoogde cohesie zoals ook beschreven in Fik & Surwka (2002). In Debonne *et al* (2017) werd eveneens door een langere baktijd een broodkruim bekomen met een significant hogere cohesie.

De kauwbaarheid of het mondgevoel tijdens kauwen wordt in kaart gebracht door de parameter *chewiness* (Figuur 23e). Een hoge *chewiness* correspondeert met een taaiër broodkruim, en wordt door de consument als niet gewenst ervaren. Deze parameter staat eveneens in verband met de hardheid van het kruim. Een zachter en minder taai broodkruim wordt bekomen door toevoeging van zuurdesem, net zoals reeds geconcludeerd werd bij de parameter *hardness*. Er werd geen significant verschil in kauwbaarheid waargenomen tussen de verschillende bakprogramma's ($p = 0,000$), net zoals bevonden door Debonne *et al* (2017).

De laatste en courant gebruikte parameter in de broodsector, is de *resilience* of veerkracht van het kruim (Figuur 23f). Omdat het kruim nog prematuur was bij de voorbakfase bij 150 °C, bleek de veerkracht significant lager bij *par-baked* tarwebrood. Bij een hogere voorbaktemperatuur (200 °C) was het broodkruim voldoende gevormd (en eveneens de elastische eigenschappen) met een hogere veerkracht als gevolg. Uit onderzoek van Fik & Surwka (2002) bleek eveneens een significant verhoogde *resilience* waarneembaar bij een langere baktijd. Eventuele toevoeging van zuurdesem zorgde niet voor een meer veerkrachtig broodkruim ($p = 0,071$), wat echter wel werd vastgesteld in het onderzoek van Jitrakbumrung & Therdthai (2014).

Uit deze analyses kan geconcludeerd worden dat de textuur positief beïnvloedt wordt door toevoeging van zuurdesem, daar de kruimhardheid en de *chewiness* worden verlaagd en de cohesie toeneemt. De bakparameters hadden eveneens een positieve invloed op de textuurparameters hardheid, *adhesiveness*, *cohesiveness* en veerkracht.



FIGUUR 23: Staafdiagram van textuurparameters (n = 10) van *par-baked* tarwe- en zuurdesembrood gebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)

a) *Hardness* (g), b) *Adhesiveness* (g.s), c) *Springiness* (g.s), d) *Cohsiveness* (g.s), e) *Chewiness* (g.s) en f) *Resilience* (g.s)

(* Waarden met gelijke letter zijn niet significant verschillend (p = 0,05))

5.2.1.4 Kleurevaluatie van *par-baked* brood

In deze proefopzet werden voor elke bakparameter twee uiterste waarden gekozen om de invloed van de parameter in kaart te brengen (150 of 200 °C en 40 % of 64 % van de totale baktijd). Op deze manier werden broodjes bekomen met enerzijds een bleek uitzicht vanwege de lage baktemperatuur, en werden anderzijds broodjes bekomen waar reeds kleurvorming opgetreden was door de hoge baktemperatuur. De bekomen korstkleur van de *par-baked* broodjes gebakken met acht verschillende bakprogramma's wordt weergegeven in Figuur 24.



FIGUUR 24: Luchtverpakt *par-baked* brood met wijzigende korstkleur afhankelijk van de gekozen bakcondities.

Aangezien het *par-baking* proces wordt onderbroken net voordat de korst- en kleurvorming start, is een bleek uiterlijk eigen aan een half-afgebakken broodproduct. Omwille van deze reden kan brood geproduceerd met bakprogramma 3, 4, 7 of 8 (bij 200 °C) door de consument ervaren worden als 'te bruin'. Eveneens wordt verwacht dat deze broodjes na de finale afbakfase een ongewenst donkerbruin uiterlijk zullen hebben. De kleur van broodjes geproduceerd met bakprogramma 1, 2, 5 of 6 (bij 150 °C) hebben wel de gewenste kleur. Er werden geen foto's genomen van het zuurdesembrood maar deze volgden dezelfde trend als het tarwebrood. Echter bleek uit de kruimevaluatie van PB brood vorgebakken bij 150 °C dat het kruim nog niet voldoende gevormd was en daarnaast tijdens de opslag het brood in elkaar zakte. De optimale *par-baking* condities voor een eindproduct met een voldoende ontwikkeld kruim maar toch nog steeds een bleke kleur, zullen zich ergens tussenin de gebruikte parameters bevinden. Waarbij een langere baktijd wordt gehanteerd van eventueel ± 71 % van de volledige baktijd, naar de vaststellingen van Fik & Surwka (2002) en eveneens een lagere temperatuur wordt gehanteerd om de kleurontwikkeling te voorkomen.

5.2.2 Technologische kwaliteit van afgebakken brood

Om de technologische kwaliteit van volledig afgebakken broodjes in kaart te brengen, werden de *par-baked* tarwe- en zuurdesembroodjes luchtverpakt en drie dagen bewaard bij kamertemperatuur of diepvriestemperatuur. Zowel de invloed van de bewaarcondities als de invloed van de zuurdesem, als de invloed van de bakcondities worden opgemeten op gebied van de technologische kwaliteit.

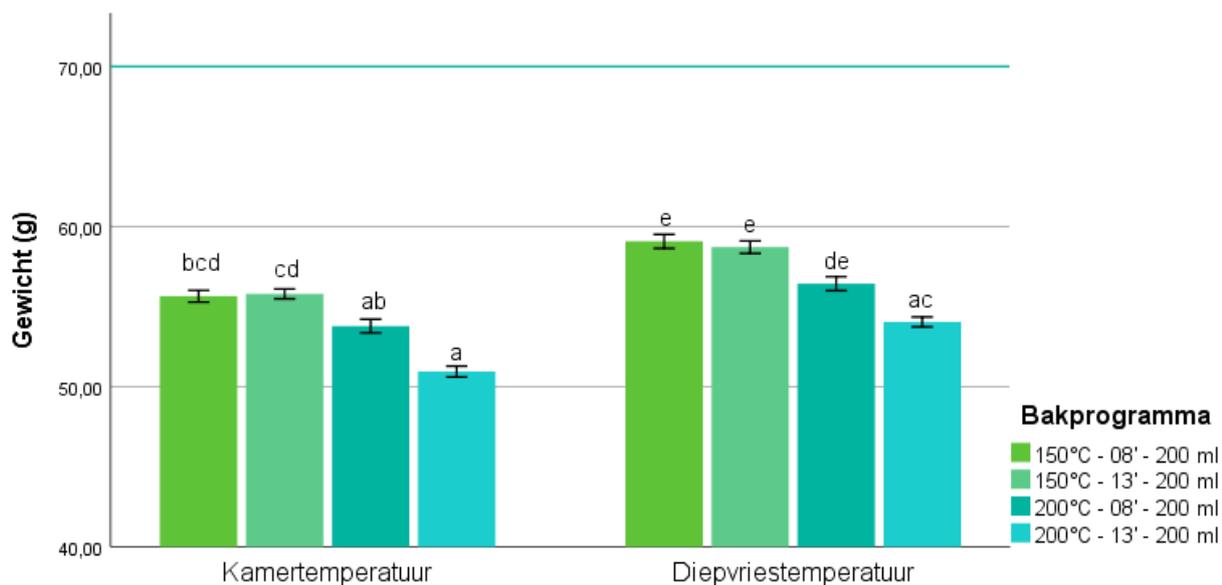
5.2.2.1 Invloed van zuurdesem, bak- en bewaarcondities op het gewicht

Tijdens de finale bakfase zal verder water onttrokken worden aan het brood en zal hierdoor het eindgewicht lager liggen dan het gewicht van het *par-baked* product. Het eindgewicht van de afgebakken broodjes worden weergegeven in Tabel 14 met eveneens het gemiddeld gewichtsverlies in vergelijking met het *par-baking* brood uit Tabel 10.

TABEL 14: Gemiddeld gewicht (n = 10) van *fully baked* brood met gemiddeld gewichtsverlies (%) t.o.v. *par-baked* brood, bij de gebruikte bak- en bewaarcondities

ZD (%)	T (°C)	t (min)	Gewicht (g)	
			Diepvriestemperatuur	Kamertemperatuur
0	150	8	59,8060 ± 0,20598 - 5,3 %	55,9570 ± 0,23296 - 11,4 %
		13	59,1220 ± 0,24009 - 6,7 %	55,9660 ± 0,14976 - 11,7 %
	200	8	56,9210 ± 0,22226 - 6,1 %	53,8110 ± 0,35500 - 11,2 %
		13	53,9540 ± 0,25952 - 5,0 %	51,1290 ± 0,24475 - 10,0 %
30	150	8	58,3400 ± 0,15269 - 7,1 %	55,3410 ± 0,23634 - 11,9 %
		13	58,3040 ± 0,22905 - 8,3 %	55,6230 ± 0,25462 - 12,5 %
	200	8	55,9390 ± 0,28104 - 8,4 %	53,7530 ± 0,22029 - 12,0 %
		13	54,1340 ± 0,14865 - 5,3 %	50,7610 ± 0,20836 - 11,2 %

Het gewicht van *par-baked* brood werd niet beïnvloed door toevoeging van zuurdesem, en dit blijft nog steeds het geval voor afgebakken brood (p = 0,163). In Figuur 25 wordt het eindgewicht van de afgebakken broodjes weergegeven bewaard bij enerzijds kamertemperatuur, en anderzijds diepvriestemperatuur, gebaseerd op de data uit bijlage 8. Er werd een gewichtsverlies opgemerkt bij *par-baked* brood naar mate gebakken werd bij een hogere temperatuur (p = 0,000) en een langere baktijd (p = 0,004). Deze significatie is nog steeds zichtbaar na de finale bakfase. Het *par-baked* brood bewaard bij kamertemperatuur heeft een lager gewicht (p = 0,000) aangezien tijdens bewaring bij 22 °C vocht zal overgaan van het product naar de atmosfeer in de verpakking. Bij diepgevroren brood blijft het vocht behouden in vaste vorm en zal dit niet verloren gaan bij het openen van de verpakking of bij ontdooien. In Almeida *et al* (2016) wordt deze vaststelling bevestigd, waar vermeld wordt dat de bewaarconditie een significante invloed heeft op het gewicht van het eindproduct, net zoals in deze proefopzet.



FIGUUR 25: Staafdiagram van gewicht (g) van *fully baked* brood 3 dagen bewaard bij kamertemperatuur (links) en diepvriestemperatuur (rechts), voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml) (Referentielijn: afgewogen deeggewicht) (* Waarden met gelijke letter zijn niet significant verschillend ($p = 0,05$))

5.2.2.2 Invloed van zuurdesem, bak- en bewaarcondities op het volume

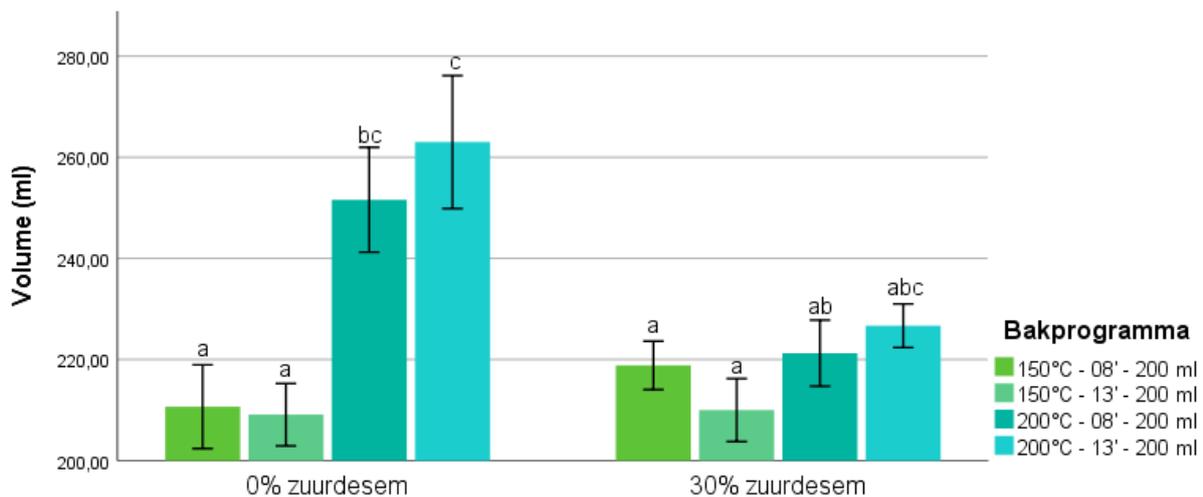
Het eindvolume van de afgebakken broodjes wordt weergegeven in Tabel 15. Wanneer de *par-baked* broodjes de finale bakfase hebben doorlopen blijkt het volume sterk gedaald. Deze bevinding werd eveneens gemaakt door Debonne *et al* (2017), maar konden niet verklaard worden. De volumereductie is echter te omvangrijk om enkel en alleen aan vochtverlies tijdens de bakfase te wijten te zijn. Tijdens de bewaring is er een zeker mate van krimp in de structuur van brood. Daarnaast hebben de stalen mogelijks druk ondervonden tijdens opslag en werden de broodjes ingedrukt.

TABEL 15: Gemiddeld volume ($n = 6$) van *fully baked* brood met gemiddelde volumereductie (%) t.o.v. *par-baked* brood, bij de gebruikte bak- en bewaarcondities

ZD (%)	T (°C)	t (min)	Volume (ml)	
			Diepvriestemperatuur	Kamertemperatuur
0	150	8	207,1667 ± 6,84795 - 20,0%	214,1667 ± 3,26003 - 17,3%
		13	205,1667 ± 2,95992 - 15,6%	213,0000 ± 4,43471 - 12,4%
	200	8	251,1667 ± 7,90113 - 10,8%	252,0000 ± 5,92734 - 10,5%
		13	263,4000 ± 5,37215 - 13,4%	262,6667 ± 10,42007 - 13,6%
30	150	8	223,6667 ± 2,36173 - 13,0%	214,0000 ± 2,43584 - 20,4%
		13	207,6667 ± 4,75161 - 13,5%	212,3333 ± 3,23179 - 11,6%
	200	8	225,1667 ± 3,33803 - 13,3%	217,3333 ± 4,64519 - 12,4%
		13	227,3333 ± 2,43128 - 17,6%	226,0000 ± 3,27618 - 18,1%

De bewaarcondities zorgen in het algemeen niet voor een significant verschil in volume ($p = 0,817$). Toch werd door Majzoobi, Farahnaky, & Agah (2011) bewezen dat de bewaaromstandigheden van *par-baked* brood een significante invloed hebben op het eindvolume van het afgebakken product. PB brood bewaard bij kamertemperatuur zal na reeds 3 dagen bewaring en na afbakken een significant lager volume vertonen t.o.v. een niet-*par-baked* brood. Eveneens werd een volumereductie waargenomen bij diepvriesbewaard PB brood, maar deze reductie was pas significant na twee maanden bewaring. In deze proefopzet was de opslagperiode slechts 3 dagen, wat mogelijks te kort is om significantie van de bewaarmethode te ondervinden.

De afwezigheid van een significante invloed van zuurdesem op het volume blijft behouden. Eveneens is een stijgend trend van het volume van *par-baked* brood nog steeds zichtbaar bij het verhogen van de baktemperatuur ($p = 0,000$). Opmerkelijk is het significant hoger volume van tarwebrood na het bakken bij een temperatuur van 200 °C (Figuur 26). De parameter baktijd heeft op opnieuw geen direct effect op het volume ($p = 0,660$), toch is de trend van volumetoename door het verlengen van de baktijd nog steeds zichtbaar.



FIGUUR 26: Staafdiagram van volume (ml) van *fully baked* tarwe- en zuurdesembrood voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml) (* Waarden met gelijke letter zijn niet significant verschillend ($p = 0,05$))

5.2.2.3 Invloed van zuurdesem, bak- en bewaarcondities op de kruimtextuur

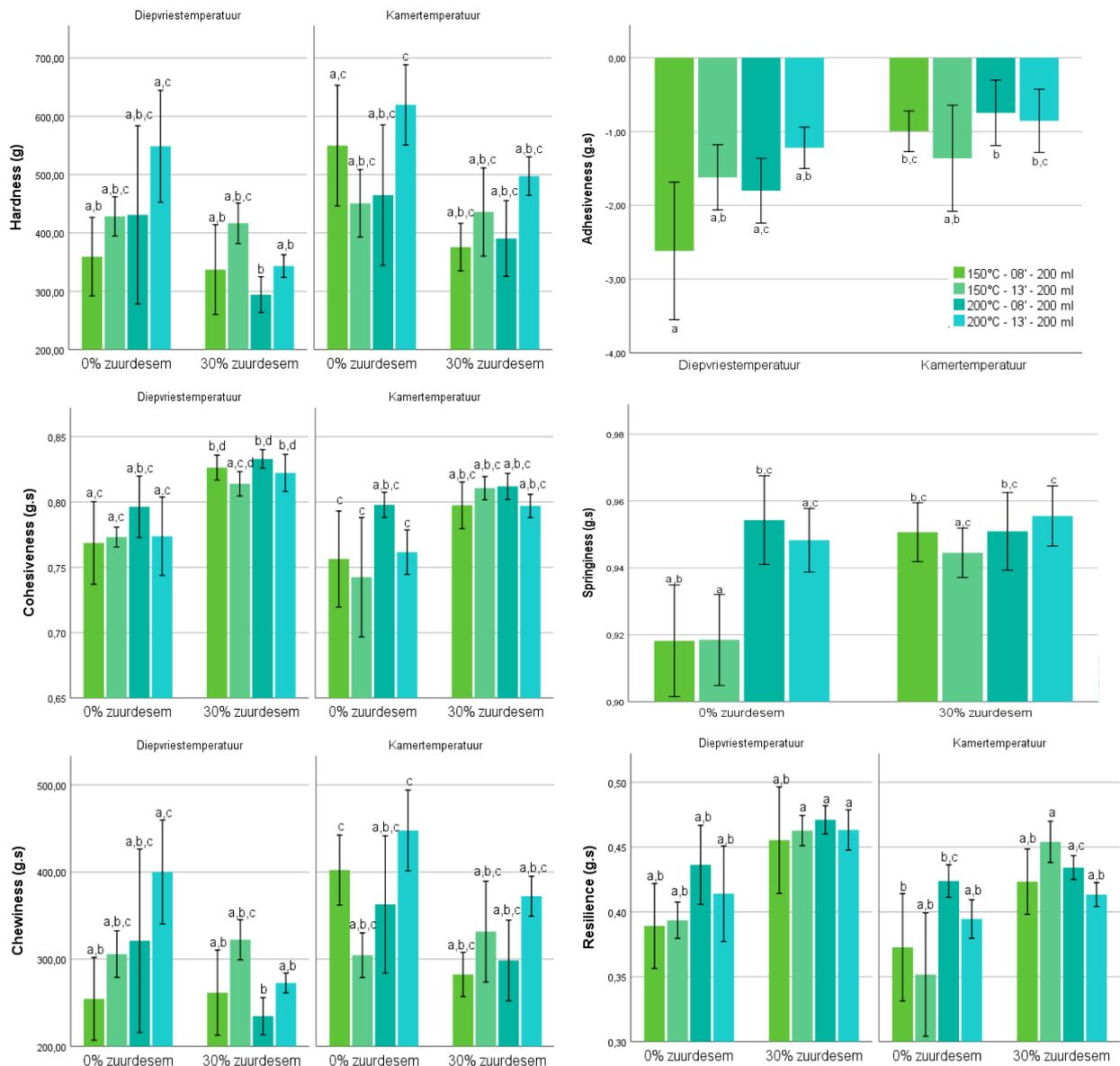
Almeida *et al* (2016) beschreven dat tijdens de finale bakfase de kruimstructuur verder wordt gevormd en eveneens de korst wordt ontwikkeld en gekleurd. Tijdens deze fase wordt eveneens opnieuw water onttrokken aan het broodkruim, waardoor de kruimtextuur zal wijzigen in vergelijking met *par-baked* brood. De hardheid van het kruim stijgt namelijk en de *chewiness* daalt door het vochtverlies. Daarnaast daalt de plakkerigheid (*adhesiveness*) van het kruim aangezien het kruim gefinaliseerd wordt. Hierdoor stijgt ook de *springiness*, *cohesiveness* en *resilience* stijgen. De bekomen resultaten zijn te vinden in bijlage 9.

De invloed van zuurdesem en de bakparameters blijft ongeveer dezelfde. Zo zorgt zuurdesem nog steeds voor een verlaging van de hardheid ($p = 0,002$) en *chewiness* ($p = 0,000$), en een verhoging van de *cohesiveness* ($p = 0,000$). Een hogere baktemperatuur en een langere baktijd zorgen nog steeds voor een stijging van de hardheid, *cohesie* en *resilience* zoals reeds besproken in 5.2.1.3. Het effect van zuurdesem blijkt na de finale bakfase toch significant voor de parameters *resilience* ($p = 0,000$) en *springiness* ($p = 0,005$), wat nu wel aansluit bij de bevindingen van Jitrakbumrung & Therdthai (2014).

Het meten van de kruimtextuur van afgebakken brood werd voornamelijk uitgevoerd om de invloed van de bewaaromstandigheden te evalueren. Er blijkt een duidelijk verschil in kruimtextuur (zie Figuur 27), daar een significanter zacht broodkruim werd bekomen wanneer bij diepvriestemperatuur werd bewaard ($p = 0,000$). Rosell (2015) rapporteerde daarentegen een harder broodkruim van afgebakken brood welke in de *par-baking* fase bij diepvriestemperatuur werden opgeslagen in vergelijking met conventioneel brood, door de verstoring van het glutennetwerk door ijskristallen tijdens langere opslag. Doch bleek uit een studie van Majzoobi *et al* (2011) dat de hardheid van het *fully baked* broodkruim bewaard bij $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (PB) niet significant verschilde van brood bewaard bij kamertemperatuur, terwijl dit in *par-baking* fase na opslag wel significant verschilde. De onderzoekers verklaarden dit fenomeen door het omkeerbaarheid van retrogradatie door de finale bakstap. Echter is de kruimhardheid afhankelijk van meerdere factoren dan alleen zetmeelretrogradatie, namelijk ook van de watermigratie van het kruim naar de korst.

De korte opslagperiode in deze proefopzet zorgt ervoor dat het glutennetwerk niet wordt beïnvloedt door ijskristallen, en dat de vochtmigratie de hoofdreden is dat afgebakken brood, PB bewaard bij kamertemperatuur, een harder kruim heeft. Daarnaast heeft de eindtextuur van diepvriesbewaard brood een verlaagde *chewiness* ($p = 0,000$) en een hogere *cohesie* ($p = 0,006$) en veerkracht ($p = 0,000$). Volgens Debonne *et al* (2017) wordt naast de hardheid de *cohesie* het meest beïnvloedt door de bewaartemperatuur. Bewaring bij $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ zorgde namelijk voor een zachter kruim met meer *cohesie*, en eveneens een verlaging van de *chewiness* en verhoging van de *resilience*. In Bosmans *et al* (2013) staat inderdaad vermeld dat een lage bewaartemperatuur resulteert in een steviger en meer elastisch kruim.

Uit deze proefopzet blijkt bewaring bij diepvriestemperatuur de beste optie voor een betere kruimtextuur in vergelijking met brood bewaard bij kamertemperatuur. Toch heeft deze bewaarmethode ook enkele nadelen zoals de hoge kostprijs en het intensieve energieverbruik, maar deze wegen niet op tegen de vele voordelen (Almeida *et al*, 2016).



FIGUUR 27: Staafdiagram van textuurparameters van *fully baked* tarwe- en zuurdesembrood 3 dagen bewaard bij kamertemperatuur of diepvriestemperatuur, en voorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)

a) *Hardness* (g), b) *Adhesiveness* (g.s), c) *Springiness* (g.s), d) *Cohsiveness* (g.s), e) *Chewiness* (g.s) en f) *Resilience* (g.s)

(* Waarden met gelijke letter zijn niet significant verschillend ($p = 0,05$))

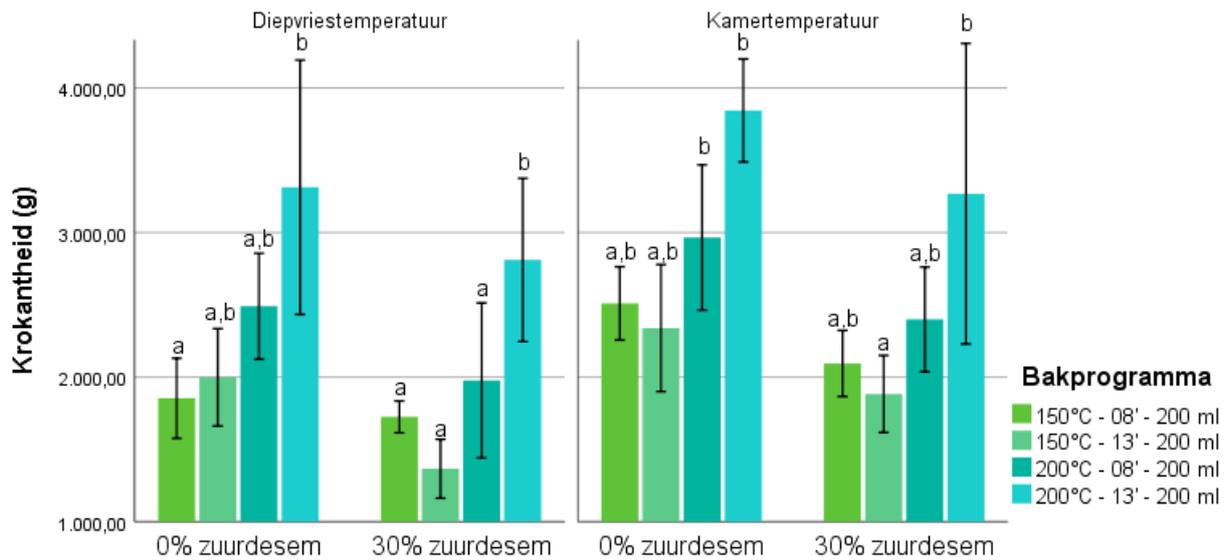
5.2.2.4 Invloed van zuurdesem, bak- en bewaarcondities op de korstkrokantheid

Het hoofddoel van de finale bakfase is de korst- en kleurontwikkeling. In Tabel 16 wordt de korstkrokantheid weergegeven voor tarwe- en zuurdesembrood, welke na drie dagen bewaring bij ofwel kamertemperatuur (22 °C) ofwel bij diepvriestemperatuur (-18 °C) de finale bakfase hebben ondergaan.

TABEL 16: Gemiddelde korstkrokantheid (n = 6) van *fully baked* brood bij de gebruikte bak- en bewaarcondities bekomen met de *Texture Analyzer*

Zuurdesem (%)	T (°C)	t (min)	Korstkrokantheid (g)	
			Diepvriestemperatuur	Kamertemperatuur
0	150	8	1853,6517 ± 107,90964	2509,8986 ± 103,63415
		13	1998,4150 ± 131,18472	2338,9217 ± 171,00386
	200	8	2490,2367 ± 142,55152	2965,7783 ± 195,55860
		13	3312,9550 ± 342,37504	3844,5117 ± 138,68201
30	150	8	1725,0683 ± 42,86175	2094,0733 ± 88,90730
		13	1365,9960 ± 73,38903	1883,5350 ± 103,62981
	200	8	1977,3067 ± 208,5538	2398,9433 ± 140,84987
		13	2810,9250 ± 219,74137	3268,3500 ± 404,36304

Net zoals bij de kruimtextuur zorgt zuurdesem ook voor een verzachtend effect van de hardheid van de korst ($p = 0,002$). Door het vochtverlies tijdens bewaring heeft het brood bewaard bij kamertemperatuur een significante krokantere/hardere korst ($p = 0,001$), wat eveneens geïllustreerd wordt door Figuur 28. Daarnaast zorgt een stijging van de temperatuur voor een significant krokantere korst ($p = 0,000$) en heeft de baktijd geen significante invloed op de hardheid van de korst ($p = 0,116$). Toch blijkt uit Figuur 29 wel een stijgende trend van de korstkrokantheid bij een langere baktijd, wat gelijkaardig is met de bevindingen van Fik & Surwka (2002) waar de *par-baking* tijd als meest bepalend bevonden werd op de korsthardheid. De meest krokante korst werd bekomen bij tarwebrood gebakken bij 200 °C gedurende 13 minuten en drie dagen bewaard bij kamertemperatuur. De zachtste broodkorst werd verkregen bij diepvriesbewaard zuurdesembrood gebakken bij 150 °C gedurende 13 minuten. In Debonne *et al* (2017) werd echter geen significant verschil in korstkrokantheid waargenomen door een verschil in bewaartemperatuur.

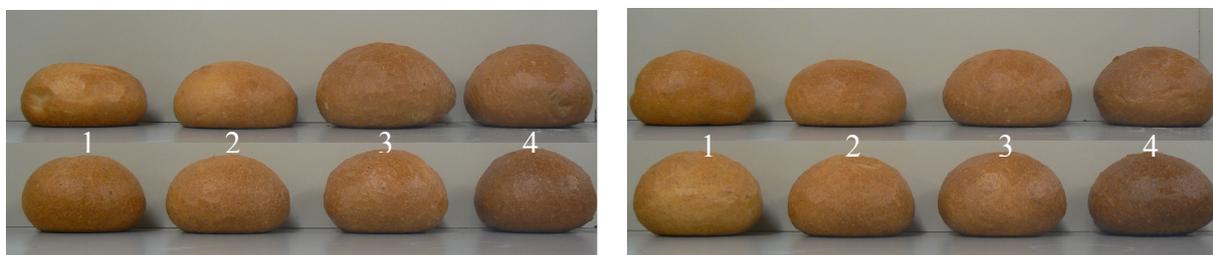


FIGUUR 28: Staafdiagram van gewicht (g) van *fully baked* tarwe- en zuurdesembrood, 3 dagen bewaard bij diepvriestemperatuur (links) en kamertemperatuur (rechts), vorgebakken met vier verschillende bakprogramma's met wijzigende baktemperatuur en baktijd, en constant stoomvolume (200 ml)

* Waarden met gelijke letter zijn niet significant verschillend ($p = 0,05$)

5.2.2.5 Visuele kleurevaluatie

De kleur van de *par-baked* broodjes werd geëvalueerd in 5.2.1.4, waar geconcludeerd werd dat broodjes gebakken bij 200 °C reeds een te bruine kleur hadden ontwikkeld, en niet voldeden aan de verwachting van een half-afgebakken product. Na de finale afbakfase werd de kleur opnieuw beoordeeld (zie Figuur 29). De kleur van het brood vorgebakken bij 200 °C werd opnieuw als te bruin ervaren, het volume van het brood is echter wel groter. In Figuur 29 is te zien dat het gebruik van zuurdesem aanleiding geeft tot een groter volume, al is dit niet statistisch aangetoond in 5.2.2.2 maar werd eerder wel aangetoond in de literatuur.



FIGUUR 29: Volledig gebakken tarwebrood (boven) en zuurdesembrood (onder), 2 dagen bewaard bij diepvriestemperatuur (links) en kamertemperatuur (rechts), vorgebakken met vier verschillende bakprogramma's (constant stoomvolume van 200 ml)

1) 150 °C en 8 min., 2) 150 °C en 13 min., 3) 200 °C en 8 min., 4) 200 °C en 13min.

5.2.3 Tussentijds besluit: technologische kwaliteit

De technologische kwaliteit varieert niet voor elke gemeten parameter door het gebruik van **zuurdesem**. Zo oefent zuurdeseminmenging geen invloed uit op het gewicht en volume van *par-baked* en *fully baked* brood, maar heeft wel een duidelijk positief effect op de kruimtextuur. Zuurdesembrood heeft namelijk een significant zachter en minder taai kruim met een hogere *springiness*, *cohesiveness* en *resilience* in vergelijking met het referentiebrood. Daarnaast zal de finale broodkorst minder krokant zijn door het toevoegen van zuurdesem.

De keuze van de **bakparameters** hebben een belangrijk effect op de technologische kwaliteit van zowel *par-baked* als *fully baked* brood. Bij een hogere temperatuur en langere baktijd verdampt meer vocht, start de ovenrijs sneller en gaat deze langer door met een significant hoger volume en lager gewicht als resultaat. Uit de kruimtextuuranalyse van het *par-baked* brood wordt vastgesteld dat het kruim zich nog niet voldoende had ontwikkeld bij het gebruik van een baktemperatuur van 150 °C aangezien dit kruim te plakkerig was. Ook na de finale bakfase blijkt een verschil in textuureigenschappen door het wijzigen van de bakparameters. Brood gebakken bij hogere temperatuur heeft een harder kruim met hogere cohesie en veerkracht, en heeft eveneens een meer krokante en bruine korst.

Aangezien meer vocht verloren gaat wanneer *par-baked* brood bewaard wordt bij kamertemperatuur dan bij diepvriestemperatuur, heeft dit als gevolg dat de technologische kwaliteit na 3 dagen bewaring en afbakken sterk zal afhangen van de **bewaaromstandigheden**. Het brood bewaard bij diepvriestemperatuur heeft de beste kwaliteit in vergelijking met bewaring bij kamertemperatuur. Het broodvolume is significant groter met eveneens een minder krokante korst door een beperking van het vochtverlies. Daarnaast scoort de kruimtextuur beter voor diepvriesbewaard PB brood, door een zachter en minder taai broodkruim met een hogere cohesie en veerkracht.

6 Algemene conclusie

Het gebruik van zuurdesem is een geschikte *clean label* conserveringsstrategie vermits het pH-verlagend effect en de aanwezigheid van organische zuren en antifungale stoffen. Hierdoor wordt een reductie van totaal anaeroob kiemgetal, een vertraging van de schimmelgroei en de inhibitie van sporenvormende bacteriën bekomen. In verder onderzoek kan nagegaan worden wat het specifiek mechanisme is dat inwerkt op de groei van gisten en schimmels door de gebruikte zuurdesem. Daarnaast wordt een synergetisch effect verworven door combinatie van zuurdesem en een MAP-verpakking, met als resultaat een gemiddelde *shelf life* verlenging van 5 dagen. Tevens zorgt de wijziging van de bakparameters (verhoging van de temperatuur en verlenging van de baktijd) voor een dalende wateractiviteit, wat resulteert in een verlaagde uitgroei van micro-organismen bij *par-baked* brood. Opmerkelijk is de inhibitie van sporenvormende bacteriën na een bakproces van 15 minuten (fase 1: 2' en fase 2: 13') ongeacht de gebruikte temperatuur.

Op gebied van technologische kwaliteit kan geconcludeerd worden dat zuurdesem de kruimstructuur positief beïnvloedt en dat broodbewaring bij diepvriestemperatuur meer voordan nadelen bezit in vergelijking met bewaring bij kamertemperatuur. Toch draagt deze bewaarmethode enkele belangrijke financiële en ecologische nadelen met zich mee die niet uit het oog verloren mogen worden. Belangrijke bemerking wordt gemaakt bij het feit dat het broodkruim onvoldoende gevormd is wanneer een baktemperatuur van 170 - 150 °C wordt gehanteerd gedurende 10 of 15 minuten. Bij de toepassing van een hogere temperatuur (220 - 200 °C) wordt vervolgens een te bruin uiterlijk bekomen na de *par-baking* fase. Het streven naar een optimaal evenwicht tussen kruimontwikkeling en kleurvorming zorgt ervoor dat in de toekomst gekozen moet worden voor een lagere temperatuur dan 200 °C en een langere baktijd dan 13 minuten.

Wanneer met een kritische blik naar het geheel wordt gekeken, kunnen de receptuur, verpakkingswijze en bakcondities worden geselecteerd om zowel een goede microbiologische als technologische kwaliteit te verkrijgen van het *par-baked* product en het eindproduct. Indien geen gebruik wordt gemaakt van zuurdesem of een MAP-verpakking, moet een *par-baking* tijd worden gehanteerd van minstens 15 minuten ter inhibitie van de sporenvormende bacteriën. Om de wateractiviteit te verlagen, kan een temperatuur worden toegepast hoger dan 150 °C, maar lager dan 200 °C om bruinkleuring te voorkomen. Vervolgens kan een hogere stoomhoeveelheid benut worden dan 200 ml ter verbetering van het volume zoals beschreven in de literatuur. Wanneer mogelijk kan het product MAP-verpakt worden, voorafgaand met een vacuümstap, waardoor de microbiële groei kan beperkt worden. Om dezelfde reden kan het gebruik van zuurdesem een oplossing bieden, die bovendien een positieve invloed zal uitoefenen op de kruimtextuur. Hierdoor wordt een product bekomen met een langere *shelf life* en een goede technologische kwaliteit.

Bibliografie

- Almeida EL, Steel CJ & Chang YK (2016) Par-baked Bread Technology: Formulation and Process Studies to Improve Quality. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **56**: 70–81
- Arendt EK, Ryan LAM & Dal Bello F (2007) Impact of sourdough on the texture of bread. *Food Microbiol.* **24**: 165–174
- Le Bail A, Leray G, Perronnet A & Roelens G (2011) Impact of the chilling conditions on the kinetics of staling of bread. *J. Cereal Sci.* **54**: 13–19 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2010.10.007>
- Le Bail A, Monteau JY, Margerie F, Lucas T, Chargelegue A & Reverdy Y (2005) Impact of selected process parameters on crust flaking of frozen partly baked bread. *J. Food Eng.* **69**: 503–509
- Van Bockstaele F (2011) Changes in rheology and microstructure of bread dough. *PhD thesis*
- Burgain A, Bensoussan M & Dantigny P (2015) Validation of a predictive model for the growth of chalk yeasts on bread. *Int. J. Food Microbiol.* **204**: 47–54 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.026>
- Catzeddu P (2011) Flour and breads and their fortification in health and disease prevention. In *Sourdough breads*, Preedy VR Watson RR & Patel VB (eds) pp 37–46. Elsevier
- Cauvain S (2012) Breadmaking: Improving quality Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84902219028&partnerID=tZOtx3y1>
- Cauvain S & Young L (2007) Technology of breadmaking New York: Springer Science & Business Media
- Cencic L, Bressa F & DallaRosa M (1996) Influence of modified atmosphere on bread staling during storage. *Ind. Aliment.:* 20–24
- Coda R, Cassone A, Rizzello CG, Nionelli L, Cardinali G & Gobbetti M (2011) Antifungal activity of *Wickerhamomyces anomalus* and *Lactobacillus plantarum* during sourdough fermentation: Identification of novel compounds and long-term effect during storage of wheat bread. *Appl. Environ. Microbiol.* **77**: 3484–3492
- Coda R, Rizzello CG, Di Cagno R, Trani A, Cardinali G & Gobbetti M (2013) Antifungal activity of *Meyerozyma guilliermondii*: Identification of active compounds synthesized during dough fermentation and their effect on long-term storage of wheat bread. *Food Microbiol.* **33**: 243–251 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2012.09.023>
- Corsetti A, Gobbetti M, De Marco B, Balestrieri F, Paoletti F, Russi L & Rossi J (2000) Combined effect of sourdough lactic acid bacteria and additives bread firmness and staling. *J. Agric. Food Chem.* **48**: 3044–3051
- Debonne E, Van Bockstaele F, De Leyn I, Devlieghere F & Eeckhout M (2018) Validation of in-vitro antifungal activity of thyme essential oil on *Aspergillus niger* and *Penicillium paneum* through application in par-baked wheat and sourdough bread. *LWT - Food Sci.*

Technol. **87**: 368–378 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.09.007>

- Debonne E, Van Bockstaele F, Philips E, De Leyn I & Eeckhout M (2017) Impact of par-baking and storage conditions on the quality of par-baked and fully baked bread. *LWT - Food Sci. Technol.* **78**: 16–22
- Decock P & Cappelle S (2005) Bread technology and sourdough technology. *Trends Food Sci. Technol.* **16**: 113–120
- Dewettinck K, Van Bockstaele F, Kühne B, Van de Walle D, Courtens TM & Gellynck X (2008) Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *J. Cereal Sci.* **48**: 243–257
- Fik M & Surwka K (2002) Effect of prebaking and frozen storage on the sensory quality and instrumental texture of bread. *J. Sci. Food Agric.* **82**: 1268–1275
- Gerez CL, Torino MI, Rollán G & Font de Valdez G (2009) Prevention of bread mould spoilage by using lactic acid bacteria with antifungal properties. *Food Control* **20**: 144–148
- Gobbetti M, Angelis MD, Di Cagno R & Rizzello CG (2008) Soudough and lactic acid bacteria. In *Gluten free cereal products and beverages*, Elke EK & Bello FD (eds) pp 267–283. Burlington, VSA: Academic Press
- Hansen A (2006) Sourdough bread. In *Handbook of food science, technology and engeneering.*, Hui YH (ed) pp 573–589. Taylor & Francis Group
- Huysentruyt A (2017) Het gebruik van zuurdesem in de zoektocht naar antifungale conserveringsmiddelen voor brood.
- Jitrakbumrung S & Therdthai N (2014) Effect of Addition of Sourdough on Physicochemical Characteristics of Wheat and Rice Flour Bread. *Kasetsart J.* **969**: 964–969
- Karaoğlu MM (2006) Effect of baking procedure and storage on the pasting properties and staling of part-baked and rebaked wheat bran bread. *Int. J. Food Sci. Technol.* **41**: 77–82
- Karaoğlu MM (2015) Part-Baked Products. In *Minimally Processed Foods: Technologies for Safety, Quality, and Convenience*, Siddiqui MW & Rahman MS (eds) pp 151–172. Erzurum: Springer International Publishing Switzerland Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-10677-9>
- Karaoğlu MM & Kotancilar HG (2006) Effect of partial baking, storage and rebaking process on the quality of white pan bread. *Int. J. Food Sci. Technol.* **41**: 108–114
- Katsinis G, Rigas F & Doulia D (2008) Synergistic effect of chemical preservatives with ethanol on the microbial shelf life of bread by factorial design. *Int. J. Food Sci. Technol.* **43**: 208–215
- Khoshakhlagh K, Hamdami N, Shahedi M & Le-Bail A (2014) Quality and microbial characteristics of part-baked Sangak bread packaged in modified atmosphere during storage. *J. Cereal Sci.* **60**: 42–47 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.014>

- Knorr D & Tomlins R (1985) Effect of Carbon Dioxide Modified Atmosphere on the Compressibility of Stored Baked Goods. *J. Food Sci.* **50**: 1172–1173
- Lainez E, Vergara F & Bárcenas ME (2008) Quality and microbial stability of partially baked bread during refrigerated storage. *J. Food Eng.* **89**: 414–418
- Leuschner RGK, O’Callaghan MJ a. & Arendt EK (1999) Moisture Distribution and Microbial Quality of Part Baked Breads as Related to Storage and Rebaking Conditions. *J. Food Sci.* **64**: 543–546 Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15081.x>
- De Leyn I (2017) Graantechnologie: Theorie en oefeningen.
- Majzoobi M, Farahnaky A & Agah S (2011) Properties and shelf-life of part-and full-baked flat bread (Barbari) at ambient and frozen storage. *J. Agric. Sci. Technol.* **13**: 1077–1090
- Neysens P & De Vuyst L (2005) Kinetics and modelling of sourdough lactic acid bacteria. *Trends Food Sci. Technol.* **16**: 95–103
- Poutanen K, Flander L & Katina K (2009) Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiol.* **26**: 693–699 Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002009001749> [Accessed October 13, 2017]
- Rasmussen PH & Hansen A (2001) Staling of Wheat Bread Stored in Modified Atmosphere. *LWT - Food Sci. Technol.* **34**: 487–491 Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643801907935>
- Rosell CM (2015) Processing, Quality and Storage of Part-Baked Products. In *Minimally Processed Foods*, Siddiqui MW & Rahman MS (eds) pp 173–192. Paterna: Springer International Publishing Switzerland Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-10677-9>
- Rumeus I & Turtoi M (2013) Influence of sourdough use on rope spoilage of wheat bread. *J. Agroaliment. Process. Technol.* **19**: 94–98
- Sadeghi A (2008) The secrets of sourdough; a review of miraculous potentials of sourdough in bread shelf life. *Biotechnology* **7**: 413–417
- Saranraj P & Geetha M (2012) Microbial Spoilage of Bakery Products and Its Control by Preservatives. *Int. J. Pharm. Biol. Arch.* **3**: 38–48
- Saranraj P & Sivasakthivelan P (2015) Microorganisms involved in spoilage of bread and its control measures. *Bread Its Fortif. Nutr. Heal. benefits*: 132–147
- Schär Afbeelding: Glutenvrij baguette. Available at: <https://www.schaer.com/nl-nl/p/baguette> [Accessed April 6, 2018]
- Seiler D (1993) Basic guide to product spoilage and hygiene Chorleywood Digest Nr 121 (ed) UK: Chipping Campden
- Stable Micro Systems TA.XTplus Texture analyzer. Available at:

<http://www.stablemicrosystems.com.cn/xtplus-detail.jpg> [Accessed April 5, 2018]

Suas M (2009) Alternative baking process. In *Advanced bread and pastry: a professional approach*. pp 162–167. Delmar cenpage learning

Torrieri E, Pepe O, Ventorino V, Masi P & Cavella S (2014) Effect of sourdough at different concentrations on quality and shelf life of bread. *LWT - Food Sci. Technol.* **56**: 508–516
Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.005>

Vast J (2017) An overview of the possible spoilage types in bakery products. *Biscuit people*
Available at: <https://www.biscuitpeople.com/magazine/post/shelf-life-introduction>
[Accessed December 12, 2017]

De Vuyst L & Neysens P (2005) The sourdough microflora: Biodiversity and metabolic interactions. *Trends Food Sci. Technol.* **16**: 43–56

Bijlagen

Bijlage 1: Gemiddelde a_w -waarde (n = 4) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities

ZD (%)	Stoom (ml)	T (°C)	t (min)	<i>Shelf life (dagen)</i>
0	200	150	8	$0,96567 \pm 0,001333^a$
			13	$0,96400 \pm 0,003606^{a,b}$
		200	8	$0,95750 \pm 0,002255^{a,b}$
			13	$0,95400 \pm 0,003764^{a,b}$
30	200	150	8	$0,96425 \pm 0,003198^{a,b}$
			13	$0,96000 \pm 0,005017^{a,b}$
		200	8	$0,95550 \pm 0,000645^{a,b}$
			13	$0,94225 \pm 0,002750^b$

Bijlage 2: Gemiddeld log totaal kiemgetal (n = 8) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities na 3, 8 en 13 dagen

ZD (%)	Stoom (ml)	T (°C)	t (min)	Dag 3 (kve/g)	Dag 8 (kve/g)	Dag 13 (kve/g)	
0	200	150	8	3,4247 ± 0,10019	4,7899 ± 0,07179	4,7216 ± 0,17472	
			13	3,0291 ± 0,15147	3,9041 ± 0,12426	4,9549 ± 0,19779	
		200	8	3,3741 ± 0,03140	4,8820 ± 0,23064	4,9325 ± 0,22678	
			13	3,0857 ± 0,33829	4,3600 ± 0,34589	3,2521 ± 0,24928	
	600	150	8	3,3271 ± 0,39028	4,3834 ± 0,21939	5,6229 ± 0,09612	
			13	2,7166 ± 0,20863	4,5880 ± 0,32847	5,4771 ± 0,00000	
		200	8	2,3000 ± 0,00000	3,9540 ± 0,31212	4,2404 ± 0,08774	
			13	2,3000 ± 0,00000	3,9399 ± 0,16181	3,6503 ± 0,52370	
30	200	150	8	2,3000 ± 0,00000	3,7541 ± 0,30356	3,8349 ± 0,22475	
			13	2,3000 ± 0,00000	3,1039 ± 0,29360	3,6961 ± 0,26924	
			200	8	2,3579 ± 0,05787	2,3001 ± 0,00015	2,4721 ± 0,09508
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
	600	150	8	2,3000 ± 0,00000	3,2122 ± 0,23752	2,5047 ± 0,07106	
			13	2,3000 ± 0,00000	3,3536 ± 0,27801	2,3000 ± 0,00000	
		200	8	2,3000 ± 0,00000	3,3886 ± 0,41144	2,3000 ± 0,00000	
			13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	

Bijlage 3: Gemiddelde log gisten (n = 8) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities na 3, 8 en 13 dagen

Bewaarmethode	Stoom (ml)	T (°C)	t (min)	Dag 3 (kve/g)	Dag 8 (kve/g)	Dag 13 (kve/g)	
Lucht	200	150	8	2,4875 ± 0,07549	2,5943 ± 0,07179	4,6877 ± 0,21950	
			13	2,7039 ± 0,18194	3,3615 ± 0,12426	4,0845 ± 0,23301	
	200	200	8	2,3000 ± 0,00000	2,3443 ± 0,23064	3,7945 ± 0,34899	
			13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,7250 ± 0,27823	
	600	150	8	2,5944 ± 0,19262	3,3886 ± 0,21939	3,8461 ± 0,40095	
			13	2,3000 ± 0,00000	2,8443 ± 0,32847	3,5397 ± 0,78426	
		200	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	
			13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	
	MAP	200	150	8	2,3000 ± 0,00000	3,2831 ± 0,24602	4,1164 ± 0,05967
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	3,1165 ± 0,34157
			200	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	3,4610 ± 0,37206
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
600		150	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,8443 ± 0,35632	
			13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	
		200	8	2,3000 ± 0,00000	3,6067 ± 0,52055	2,3000 ± 0,00000	
			13	2,3000 ± 0,00000	3,2924 ± 0,37949	2,3000 ± 0,00000	

Bijlage 4: Gemiddelde log schimmels (n = 4) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities na 3, 8 en 13 dagen

Bewaarmethode	ZD (%)	Stoom (ml)	T (°C)	t (min)	DAG 3	Dag 8	Dag 13	
Luchtverpakking	0	200	150	8	2,3426 ± 0,03523	5,3009 ± 0,10677	5,3406 ± 0,07881	
				13	3,1737 ± 0,18864	4,4213 ± 0,11971	4,7029 ± 0,46646	
		200	150	8	2,3000 ± 0,00000	5,4771 ± 0,00000	6,4771 ± 0,00000	
				13	2,3000 ± 0,00000	4,3944 ± 0,08016	6,4771 ± 0,00000	
		600	150	150	8	2,3000 ± 0,00000	4,9316 ± 0,32358	4,8521 ± 0,24906
					13	3,2029 ± 0,15867	5,4771 ± 0,00000	5,9142 ± 0,32524
	200		150	8	2,3000 ± 0,00000	4,1357 ± 0,21315	6,4771 ± 0,00000	
				13	2,3000 ± 0,00000	4,0924 ± 0,11164	6,4771 ± 0,00000	
	30	200	150	150	8	2,3000 ± 0,00000	4,2782 ± 0,11488	4,6630 ± 1,07107
					13	2,3000 ± 0,00000	3,1284 ± 0,30068	3,6930 ± 0,25489
			200	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,6890 ± 0,07634	4,5920 ± 0,42452
					13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	3,8886 ± 0,91716
		600	150	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,9460 ± 0,16826	5,2008 ± 0,34782
					13	2,3000 ± 0,00000	2,8886 ± 0,33981	6,2181 ± 0,15889
			200	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,8886 ± 0,33981	3,3886 ± 0,62840
					13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	6,4771 ± 0,00000
MAP verpakking		0	200	150	8	2,3000 ± 0,00000	3,1148 ± 0,06481	4,6630 ± 1,07107
					13	2,3000 ± 0,00000	2,6701 ± 0,16067	3,6930 ± 0,25489
	200			150	8	2,3000 ± 0,00000	2,9886 ± 0,01144	4,5920 ± 0,42452
					13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	3,8886 ± 0,91716
	600		150	150	8	2,3000 ± 0,00000	3,6461 ± 0,35567	5,2008 ± 0,34782
					13	2,3000 ± 0,00000	3,7826 ± 0,40260	6,2181 ± 0,15889
			200	150	8	2,3000 ± 0,00000	3,3136 ± 0,38005	3,3886 ± 0,62840
					13	2,3000 ± 0,00000	3,9331 ± 0,35197	6,4771 ± 0,00000
	30		200	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,6258 ± 0,18912	6,4771 ± 0,00000
					13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	5,7481 ± 0,00776
			200	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	6,4771 ± 0,00000
					13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	4,3693 ± 0,21382
	600	150	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,6503 ± 0,20192	
		200	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,6503 ± 0,20192	
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	

Bijlage 5: Gemiddelde log gisten en schimmels (n = 4) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities na 3, 8 en 13 dagen (som van bijlage 3 en 4)

Bewaarmethode	ZD (%)	Stoom (ml)	T (°C)	t (min)	DAG 3	Dag 8	Dag 13
Luchtverpakking	0	200	150	8	2,7176 ± 0,03508	5,3009 ± 0,10677	6,4771 ± 0,00000
				13	3,9815 ± 0,39783	5,4250 ± 0,26464	6,2374 ± 0,36053
			200	8	2,3000 ± 0,00000	5,5228 ± 0,04381	6,4771 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	4,3944 ± 0,08016	6,4771 ± 0,00000
		600	150	8	2,8888 ± 0,33966	4,9316 ± 0,32358	6,4771 ± 0,00000
				13	3,2029 ± 0,15867	5,4771 ± 0,00000	6,4771 ± 0,00000
			200	8	2,3000 ± 0,00000	4,1357 ± 0,21315	6,4771 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	4,0924 ± 0,11164	6,4771 ± 0,00000
	30	200	150	8	2,3000 ± 0,00000	4,8667 ± 0,35870	6,4071 ± 1,07025
				13	2,3000 ± 0,00000	3,5207 ± 0,27332	5,8256 ± 0,38358
			200	8	2,3000 ± 0,00000	2,6890 ± 0,07634	5,8171 ± 0,97331
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	3,8886 ± 0,91716
		600	150	8	2,3000 ± 0,00000	5,2466 ± 0,23564	5,3550 ± 0,43534
				13	2,3000 ± 0,00000	3,9771 ± 0,71446	6,2181 ± 0,15889
			200	8	2,3000 ± 0,00000	2,8886 ± 0,33981	3,3886 ± 0,62848
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	6,4771 ± 0,00000
MAP verpakking	0	200	150	8	2,3000 ± 0,00000	4,6128 ± 0,31704	6,2256 ± 0,09591
				13	2,3000 ± 0,00000	2,6701 ± 0,16067	3,1013 ± 0,46270
			200	8	2,3003 ± 0,00034	2,9886 ± 0,01144	4,9776 ± 0,61148
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	4,3269 ± 0,27893
		600	150	8	2,3000 ± 0,00000	3,6461 ± 0,35567	4,4771 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	3,7826 ± 0,40260	4,4771 ± 0,00000
			200	8	2,3000 ± 0,00000	5,9178 ± 0,66034	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	5,9178 ± 0,30139	5,2774 ± 0,11626
	30	200	150	8	2,3000 ± 0,00000	3,0940 ± 0,32630	6,4771 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	6,4771 ± 0,00000
			200	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	6,4771 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	4,3693 ± 0,21382
		600	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	3,3886 ± 0,62848
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,6503 ± 0,20192
			200	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	3,8618 ± 0,28614

Bijlage 6: Gemiddelde log sporevormende bacteriën (n = 4) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities na 3, 8 en 13 dagen

Bewaarmethode	ZD (%)	Stoom (ml)	T (°C)	t (min)	Dag 3 (kve/g)	Dag 8 (kve/g)	Dag 13 (kve/g)
Luchtverpakking	0	200	150	8	2,8886 ± 0,33981	2,8886 ± 0,33981	4,5077 ± 0,16881
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
			200	8	2,3000 ± 0,00000	3,4771 ± 0,00000	3,9771 ± 0,28868
				13	2,3610 ± 0,06102	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
		600	150	8	2,3000 ± 0,00000	3,7271 ± 0,25000	3,4991 ± 0,01337
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
			200	8	2,3000 ± 0,00000	3,4771 ± 0,00000	2,5182 ± 0,13047
				13	2,3000 ± 0,00000	2,8886 ± 0,33981	2,3106 ± 0,01061
	30	200	150	8	3,5396 ± 0,54128	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
			200	8	2,3106 ± 0,01061	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
		600	150	8	2,4566 ± 0,08411	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3056 ± 0,00555	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
			200	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
MAP verpakking	0	200	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
			200	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
		600	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,3287 ± 0,02874	2,5407 ± 0,13916
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
			200	8	2,3000 ± 0,00000	2,8886 ± 0,33981	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
	30	200	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
			200	8	2,9771 ± 0,28868	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,4807 ± 0,00356	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
		600	150	8	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
			200	8	2,3245 ± 0,02449	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000
				13	2,4995 ± 0,11517	2,3000 ± 0,00000	2,3000 ± 0,00000

Bijlage 7: Gemiddelde *shelf life* (n = 12) bij de gebruikte bak- en bewaarcondities

Verpakking	ZD (%)	Stoom (ml)	T (°C)	t (min)	<i>Shelf life</i> (dagen)	
MAP	0	200	150	8	6,5833 ± 0,31282	
				13	5,4167 ± 0,14865	
		600	150	8	7,5833 ± 0,37856	
				13	10,2500 ± 0,95446	
		200	200	8	5,7500 ± 0,25000	
				13	5,7500 ± 0,17944	
	30	200	150	8	6,5833 ± 0,25990	
				13	12,0000 ± 2,26969	
		600	150	8	10,0000 ± 0,40825	
				13	6,0000 ± 0,00000	
		200	200	8	7,1667 ± 0,11237	
				13	10,0000 ± 0,40825	
	Lucht	0	200	150	8	6,5833 ± 0,22891
					13	7,0000 ± 0,32567
			600	150	8	13,4167 ± 2,14072
					13	17,6667 ± 1,84774
			200	200	8	4,0000 ± 0,00000
					13	4,0000 ± 0,00000
30	200	150	8	4,7500 ± 0,17944		
			13	6,5833 ± 0,25990		
	600	150	8	4,0000 ± 0,00000		
			13	4,0000 ± 0,00000		
	200	200	8	4,5833 ± 0,19300		
			13	6,1667 ± 0,24100		
Lucht	30	200	150	8	4,0000 ± 0,00000	
				13	4,0000 ± 0,00000	
		600	150	8	4,6667 ± 0,22473	
				13	6,1667 ± 0,16667	
		200	200	8	4,0000 ± 0,00000	
				13	4,0000 ± 0,00000	
600	150	8	4,9167 ± 0,25990			
		13	7,6154 ± 0,26647			

Bijlage 8: Gemiddeld gewicht (n = 20) en volume (n = 12) van *fully baked* brood bij de gebruikte bak- en bewaarcondities

Bewaarmethode	ZD (%)	T (°C)	t (min)	Gewicht (g)	Volume (ml)	
Diepvriestemperatuur	0	150	8	59,0730 ± 0,20940 ^a	210,6667 ± 3,76655 ^a	
			13	58,7130 ± 0,18677 ^a	209,0833 ± 2,80275 ^a	
	200	200	8	56,4300 ± 0,20759 ^{a,b}	251,5833 ± 4,71049 ^{b,c}	
			13	54,0440 ± 0,14701 ^{c,d}	263,0000 ± 5,90531 ^c	
	30	150	8		218,8333 ± 2,17713 ^a	
			13		210,0000 ± 2,82843 ^a	
		200	200	8		221,2500 ± 2,96986 ^{a,b}
				13		226,6667 ± 1,95531 ^{a,b,c}
Kamertemperatuur	0	150	8	55,6490 ± 0,17628 ^{b,c,e}		
			13	55,7945 ± 0,14905 ^{b,c}		
		200	200	8	53,7820 ± 0,20344 ^{d,e}	
				13	50,9450 ± 0,16202 ^d	
	30	150	8			
			13			
		200	200	8		
				13		

Bijlage 9: Gemiddelde textuurparameters (n = 6) van *fully baked* broodkruim bij de gebruikte bak- en bewaarcondities bekomen via TPA-test met de *Texture Analyzer*

Bewaring	ZD (%)	T (°C)	t (min)	Hardness (g)	Adhesiveness (g.s)	Springiness (g.s)	
-18°C	0	150	8	359,3560 ± 24,22132 ^{a,b}	-2,6183 ± 0,42380 ^a	0,9182 ± 0,00750 ^a	
			13	428,3014 ± 12,14104 ^{a,b,c}	-1,6210 ± 0,19548 ^{a,b}	0,9185 ± 0,00611 ^{a,b}	
		200	8	430,9073 ± 59,43040 ^{a,b,c}	-1,8014 ± 0,19940 ^{a,c}	0,9542 ± 0,00601 ^{a,c}	
			13	548,5547 ± 37,25822 ^{a,c}	-1,2203 ± 0,12760 ^{a,b}	0,9482 ± 0,00431 ^{a,b}	
	30	150	8	337,1307 ± 29,91539 ^{a,b}		0,9507 ± 0,00400 ^a	
			13	416,5965 ± 13,56782 ^{a,b,c}		0,9445 ± 0,00335 ^{a,b}	
		200	8	294,1730 ± 11,97687 ^b		0,9509 ± 0,00528 ^{a,c}	
			13	343,2723 ± 7,58411 ^{a,b}		0,9555 ± 0,00408 ^{a,b}	
	22°C	0	150	8	549,7071 ± 42,22640 ^{a,c}	-0,9961 ± 0,12372 ^{b,c}	
				13	450,7857 ± 22,48981 ^{a,b,c}	-1,3623 ± 0,32676 ^{a,b}	
			200	8	464,8581 ± 49,22570 ^{a,b,c}	-0,7473 ± 0,19947 ^b	
				13	619,5690 ± 26,80069 ^c	-0,8546 ± 0,19217 ^{b,c}	
30		150	8	375,6367 ± 15,85348 ^{a,b,c}			
			13	435,9462 ± 29,40359 ^{a,b,c}			
		200	8	390,4198 ± 25,29254 ^{a,b,c}			
			13	497,5620 ± 11,86700 ^{a,b,c}			
Bewaring		ZD (%)	T (°C)	t (min)	Cohesiveness (g.s)	Chewiness (g.s)	Resilience (g.s)
-18°C		0	150	8	0,7687 ± 0,01230 ^{a,c}	254,4638 ± 17,0978 ^{a,b}	0,3892 ± 0,01271 ^{a,b}
				13	0,7732 ± 0,00273 ^{a,c}	305,7428 ± 9,63332 ^{a,b,c}	0,3936 ± 0,00503 ^{a,b}
			200	8	0,7963 ± 0,00915 ^{a,b,c}	321,1023 ± 40,97856 ^{a,b,c}	0,4363 ± 0,01185 ^{a,b}
	13			0,7738 ± 0,01165 ^{a,c}	399,9840 ± 23,17944 ^{a,c}	0,4140 ± 0,01432 ^{a,b}	
	30	150	8	0,8264 ± 0,00344 ^{b,d}	261,4773 ± 19,02772 ^{a,b}	0,4553 ± 0,01597 ^{a,b}	
			13	0,8140 ± 0,00363 ^{a,c,d}	322,2295 ± 8,95493 ^{a,b,c}	0,4627 ± 0,00454 ^a	
		200	8	0,8330 ± 0,00277 ^{b,d}	234,5870 ± 8,28496 ^b	0,4710 ± 0,00426 ^a	
			13	0,8223 ± 0,00552 ^{b,d}	272,6770 ± 4,39813 ^{a,b}	0,4632 ± 0,00603 ^a	
	22°C	0	150	8	0,7564 ± 0,01502 ^c	402,2304 ± 16,40175 ^c	0,3727 ± 0,01692 ^b
				13	0,7425 ± 0,01779 ^c	304,5045 ± 9,96395 ^{a,b,c}	0,3517 ± 0,01851 ^{a,b}
			200	8	0,7979 ± 0,00393 ^{a,b,c}	362,7927 ± 32,19458 ^{a,b,c}	0,4237 ± 0,00513 ^{b,c}
				13	0,7617 ± 0,00662 ^c	447,6718 ± 18,02042 ^c	0,3945 ± 0,00577 ^{a,b}
30		150	8	0,7975 ± 0,00694 ^{a,b,c}	282,4025 ± 9,87956 ^{a,b,c}	0,4233 ± 0,00980 ^{a,b}	
			13	0,8107 ± 0,00347 ^{a,b,c}	331,5552 ± 22,51749 ^{a,b,c}	0,4540 ± 0,00620 ^a	
		200	8	0,8120 ± 0,00388 ^{a,b,c}	298,5192 ± 17,99345 ^{a,b,c}	0,4342 ± 0,00352 ^{a,c}	
			13	0,7970 ± 0,00347 ^{a,b,c}	372,1862 ± 8,27752 ^{a,b,c}	0,4133 ± 0,00359 ^{a,b}	