

# **Backmittel mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden**

**Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades  
der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)**

**Fakultät Naturwissenschaften  
Universität Hohenheim**

Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie  
Fachgebiet Lebensmittelmikrobiologie und -hygiene

vorgelegt von

Michael Friedrich Hermann Seitter

aus Böblingen

2021

Dekan: Prof. Dr. Uwe Beifuss  
1. berichtende Person: PD. Dr. Christian Hertel  
2. berichtende Person: Prof. Dr. Herbert Schmidt

Eingereicht am: 24.01.2021 Mündliche Prüfung am: 28.04.2021

Die vorliegende Arbeit wurde am 28.01.2021 von der Fakultät Naturwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften“ angenommen

*meiner Familie gewidmet*



# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
1.1.	Die Bedeutung von Cerealien und Sauerteig auf die menschliche Ernährung und Brotherstellung .....	1
1.2.	Die Mikrobiota von Sauerteigen.....	3
1.3.	Wasserbindung in Teigen .....	3
1.4.	Brotalterungsprozess und Ansätze zur Verzögerung des Altbackenwerdens.....	4
1.5.	Exopolysaccharide von Milchsäurebakterien und Bildung von Exopolysacchariden in Teigen .....	7
1.6.	Zielsetzung der Arbeit .....	10
2.	Material.....	11
2.1.	Eingesetzte Mehle.....	11
2.2.	Hydrokolloide und weitere Zutaten .....	12
3.	Methoden .....	13
3.1.	Kultivierung und Anzucht von Hefen und Milchsäurebakterien.....	13
3.2.	Screening von Milchsäurebakterien auf Exopolysaccharid Bildung.....	14
3.3.	Exopolysaccharid Anreicherung und Herstellung von Exopolysaccharid Rohextrakten .....	15
3.4.	Analytik zur Bestimmung relevanter Parameter in den eingesetzten Mehlen.....	15
3.5.	Teigführung und Herstellung von Teigen.....	16
3.5.1.	Direkte Teigführung .....	17
3.5.2.	Vorteige und Sauerteige .....	17
3.5.3.	Teige mit Exopolysaccharid, Guar und Xanthan.....	18
3.5.4.	Tiefkühl (TK) Teige .....	19
3.6.	Untersuchungen zur Teig rheologie.....	19
3.6.1.	Gasbildung und Gashaltevermögen von Teigen.....	19
3.6.2.	Klebrigkeit von Teigen .....	20
3.6.3.	Dehnbarkeit von Teigen .....	20
3.6.4.	Viskose und elastische Eigenschaften von Teigen .....	20
3.6.5.	Verkleisterungseigenschaften der Stärke.....	21
3.7.	Durchführung von Backversuchen .....	22
3.7.1.	Herstellung von Broten.....	23
3.7.2.	Untersuchung der hergestellten Brote .....	24

3.8.	High Performance Liquid Chromatography (HPLC) zur Untersuchung von Metaboliten in Teigen und Brotkrumen .....	26
3.8.1.	Analytik von Exopolysacchariden .....	26
3.8.2.	Analytik von lyophilisierten Teigen .....	27
3.9.	Herstellung eines Backmittels aus walzengetrockneten Sauerteig .....	27
4.	Ergebnisse .....	29
4.1.	Screening von Milchsäurebakterien auf Exopolysaccharid-Bildung .....	29
4.2.	Untersuchungen zur Teig rheologie .....	35
4.2.1.	Erfassung der Gasbildung, des Gashaltevermögens sowie der Stabilität von Teigen mit und ohne Zusatz von Hydrokolloiden und Vorteigen mit dem Rheofermentometer .....	35
4.2.2.	Effekte von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Teigausbeute und Kneteigenschaften .....	37
4.2.3.	Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf das Breite-Höhe-Verhältnis von Teigen .....	38
4.2.4.	Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die viskoelastischen Eigenschaften von Teigen .....	39
4.2.5.	Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Teigklebrigkeit .....	42
4.2.6.	Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf das Dehnverhalten von Teigen .....	48
4.2.7.	Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Verkleisterungseigenschaften von Weizenmehlen .....	52
4.3.	Einsatz von Hydrokolloiden, Exopolysacchariden und Vorteigen bei Tiefkühlbackwaren .....	58
4.3.1.	Erfassung der Teigeigenschaften von TK-gelagerten Teigen mit dem Rheofermentometer .....	58
4.3.2.	Klebrigkeit von Tiefkühl-gelagerten Teigen .....	59
4.3.3.	Extensogramme von Tiefkühl-gelagerten Teigen .....	60
4.3.4.	Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die viskoelastischen Eigenschaften von Tiefkühl gelagerten Teigen .....	61
4.4.	Untersuchungen zum Altbackenwerden – Staling .....	63
4.4.1.	Einfluss der Mehlqualität auf das Altbackenwerden bei direkter Teigführung .....	63
4.4.2.	Einfluss eines "anti-staling"-Enzyms auf das Altbackenwerden .....	64
4.4.3.	Einfluss der Mehlqualität auf das Altbackenwerden bei Einsatz von Vorteigen .....	68
4.4.4.	Einfluss von kommerziellen Hydrokolloiden auf das Altbackenwerden .....	69
4.4.5.	Einfluss von isolierte Exopolysaccharid auf das Altbackenwerden .....	70
4.4.6.	Einfluss der Vorteigführung auf das Altbackenwerden von Weizenbrot .....	71
4.4.7.	Einfluss der Gefrierlagerung auf Volumen und Textur von Weizenbrot .....	81

4.5.	Einsatz von gefriergetrockneten Vorteigen .....	82
4.6.	Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf die Rheologie von Weizenteigen .....	84
4.6.1.	Einfluss des Backmittels auf die viskoelastischen Eigenschaften von Weizenteigen .....	84
4.6.2.	Einfluss des Backmittels auf die Teigentwicklung und Gashaltevermögen von Weizenteigen .....	85
4.7.	Einsatz eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden bei direkt geführten Weizenbrot.....	90
4.7.1.	Charakteristika des Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden .....	90
4.7.2.	Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf das Altbackenwerden von Weizenbrot .....	91
4.7.3.	Sensorische Untersuchung von direkt geführten Weizenbrot mit und ohne Zusatz von Backmitteln mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden .....	94
5.	Diskussion.....	96
5.1.	Einfluss von Exopolysacchariden auf die Eigenschaften von Teigen .....	97
5.2.	Einfluss von Exopolysacchariden auf das Altbackenwerden von Brot .....	101
5.3.	Einsatz des Backmittel mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden .....	103
6.	Zusammenfassung / Summary .....	105
6.1.	Zusammenfassung .....	105
6.2.	Summary .....	107
7.	Publikationsliste.....	109
7.1.	Originalarbeiten in Peer-Review-Journalen. ....	109
7.2.	Weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen .....	109
7.3.	Vorträge auf Fachkongressen .....	109
7.4.	Posterpräsentationen auf Fachkongressen .....	110
7.5.	Angaben zum Eigenanteil der Publikation .....	111
8.	Literaturverzeichnis .....	112
	Anhang .....	123
	Eidesstattliche Versicherung über die eigenständig erbrachte Leistung .....	124
	Danksagungen .....	126



# 1. Einleitung

## 1.1. Die Bedeutung von Cerealien und Sauerteig auf die menschliche Ernährung und Brotherstellung

Seit mehr als 12.000 Jahren sind Cerealien Bestandteil der menschlichen Ernährung. Dies kann anhand der Funde von Mahlwerkzeugen aus der Gegend des heutigen Syrien belegt werden (Katz and Voigt, 1986). Dabei wurden die Körner der Cerealien vermutlich unzerkleinert oder als Brei zerkleinert verzehrt. Nachfolgend wird vermutet, dass spontane Fermentationen von Cerealien der Ursprung von Sauerteig und Bier sind. So ist das erste Braurezept für Bier aus dem 3. Jahrtausend v. Chr. aus Mesopotamien überliefert (Katz and Voigt, 1986). Ebenso wurde die Sauerteigfermentation bereits im alten Ägypten beherrscht, was anhand der Herstellung von gelockerten Broten in professionellen Bäckereien hervorgeht (Rothe *et al.*, 1974). Bis heute zählt in der Vielzahl der Kulturkreise der Einsatz von gelockertem Brot als wichtiger Bestandteil des Speiseplans und bildet zusammen mit anderen kohlenhydratreichen Nahrungsmitteln wie unter anderem Teigwaren oder Produkten aus Nicht-Brotgetreiden die Basis der menschlichen Ernährung (Behera and Ray, 2015; Camara-Salim *et al.*, 2020; Hammes *et al.*, 2005; Montemurro *et al.*, 2019).

In den Anfängen der Brotherstellung war Sauerteig unverzichtbar infolge der Teig- und Brotlockerungseigenschaften (De Vuyst *et al.*, 2017; Kline and Sugihara, 1971). Die Bedeutung von Sauerteig als Triebmittel ist jedoch durch die Verwendung von Bier- bzw. Backhefe zur Teiglockerung stark zurückgegangen. Heutzutage erfolgt der Einsatz von Sauerteig hauptsächlich in Broten mit mehr als 20% Roggenanteil (Behera and Ray, 2015). Dies ist insbesondere auf die unterschiedliche Amylaseaktivität von Weizen- und Roggenmehl zurückzuführen (Perten, 1964). Die in Weizen vorkommenden Amylasen weisen ein Temperaturoptimum von 60-70°C (Kulp, 1988) auf. Hingegen haben die Amylasen des Roggens ihr Optimum bei 50-52°C (Lee and Unrau, 1969) und liegen somit im Bereich der Verkleisterungstemperatur der nativen Stärke bei 49-56°C (Hoseney *et al.*, 1971). Im Zuge einer Sauerteigfermentation und der damit verbundenen pH-Absenkung wird das pH-Optimum der Roggenamylasen bei pH 5,0 schnell unterschritten und der Abbau von Stärke somit verhindert (Lee and Unrau, 1969). Im Wesentlichen weisen moderne Roggensorten eine niedrigere Amylaseaktivität als Roggensorten vor 60 Jahren auf, so dass die Teigsäuerung technologisch deshalb nicht mehr zwingend notwendig ist (Neumann *et al.*, 2006). Im Gegensatz hierzu wird allerdings noch häufig die Verwendung von Sauerteigen durch die

verbesserten Qualitätsaspekte in Folge der biologischen Säuerung praktiziert (Brandt, 2006). Brot, das durch die Verwendung von Sauerteig hergestellt wurde, bringt verbesserte ernährungsphysiologische Eigenschaften mit sich. Zum einen ist nach dem Verzehr von biologisch gesäuertem Brot ein langsamerer Anstieg des Blutzuckerspiegels zu verzeichnen als nach dem Verzehr von ungesäuertem Brot (Liljeberg and Bjorck, 1994; Liljeberg *et al.*, 1995). Hierfür ist hauptsächlich die Milchsäurebildung verantwortlich (Östman *et al.*, 2002). Infolge der pH-Absenkung im Teig ist die Aktivität der mehleigenen Phytasen erhöht, die zu einem verstärkten Abbau von Phytat sowie damit verbunden einer verbesserten Verfügbarkeit von Mineralstoffen führt (Camara-Salim *et al.*, 2020; Fretzdorf and Brümmer, 1992). Des Weiteren wird durch die Verwendung von Sauerteig das Auskeimen hitzeresistenter *Bacillus subtilis*- bzw. *Bacillus vallismortis*- Sporen effektiv verhindert (Francis *et al.*, 2003; Rosenquist and Hansen, 1998), die für den als „Fadenziehen“ bekannten Brotverderb verantwortlich sind (Rosenkvist and Hansen, 1995). Ebenso tritt bei mittels Sauerteig hergestellten Brot seltener Schimmelbefall im Vergleich zu ungesäuerten Broten ein (Barber *et al.*, 1992; Corsetti *et al.*, 1998b). Insbesondere wurde für Weizenbrote gezeigt, dass die Verwendung von Sauerteig bei der Weizenbrotherstellung eine verbesserte Frischhaltung mit sich bringt (Corsetti *et al.*, 1998a) und das Brotaroma positiv beeinflusst wird (Spicher *et al.*, 1980; Thiele *et al.*, 2002).

Entsprechend der Definition sind Vorteige und oder Sauerteige Teigbereitungen welche über ein Stehzeit von mehreren Stunden mit Hilfe von Mikroorganismen fermentiert werden. Gemäß den Leitsätzen für Brot und Backwaren definiert sich ein Sauerteig als ein Teig, dessen Mikroorganismen (z.B. Milchsäurebakterien, Hefen) aus Sauerteig oder Sauerteigstartern sich in aktivem Zustand befinden oder reaktivierbar sind. Sie sind nach Zugabe von Getreideerzeugnissen und Wasser zur fortlaufenden Säurebildung befähigt. Teile eines Sauerteiges werden als Anstellgut für neue Sauerteige verwendet. Die Lebenstätigkeit der Mikroorganismen wird erst durch Backen oder Heißextrudieren beendet. Die Säurezunahme des Sauerteigs beruht ausschließlich auf dessen Gärungen. Den Säuregehalt (Säuregrad) beeinflussende Zutaten, ausgenommen Sauerteigbrot, werden nicht verwendet (Anonym, 1994).

## 1.2. Die Mikrobiota von Sauerteigen

Bei Sauerteig handelt es sich um ein fermentiertes Produkt, das als Zwischenprodukt der Brotproduktion in der Regel nicht selbst verzehrt wird. Entsprechend der Definition des Deutschen Lebensmittelbuches ist Sauerteig ein fermentierter Teig, der bereits eine metabolisch aktive Mikrobiota aufweist oder dessen Mikrobiota nach Mehl- und Wasserzugabe wieder aktiv wird (Anonym, 1994). Dabei setzt sich die typische Mikrobiota von traditionellen, d.h. kontinuierlich geführten Sauerteigen aus Milchsäurebakterien (MSB) und Hefen zusammen. Die Mikroflora an MSB, die häufig in Sauerteigen vorkommen, besteht vor allem aus den Spezies *Lactobacillus (L.) pontis*, *L. panis*, *L. plantarum*, *L. frumenti* und *L. sanfranciscensis* (De Vuyst *et al.*, 2017; Hammes *et al.*, 2005; Ripari *et al.*, 2016; Vogel *et al.*, 1994). Dabei werden durch die MSB in den Teigen Keimzahlen von  $10^8$  -  $10^9$  KBE/g Teig erreicht (Brandt *et al.*, 2004). Entsprechend wird in mehrstufigen Sauerteigführungen, wie Typ I Sauerteige, welche durch eine fortlaufende Führung bei Temperaturen von 25 – 35°C über maximal 16 bis 24 Stunden verwendet werden (Brandt, 2006), durch die dominierende Mikrobiota das Wachstum gram negativer Keime effektiv unterdrückt (Gobbetti *et al.*, 2016; Minervini *et al.*, 2014). Zu den wichtigsten Stoffwechselprodukten von heterofermentativen MSB zählen Ethanol, Kohlendioxid sowie Milch- und Essigsäure, die zu einer pH-Wertabsenkung im Teig führen (Gaenzle *et al.*, 2007). Als dominierende Hefespezies wurden die Spezies *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida humilis* und *Saccharomyces exiguus* beschrieben (De Vuyst *et al.*, 2017; Kline and Sugihara, 1971; Minervini *et al.*, 2014; Ripari *et al.*, 2016; Spicher, 1980). In dreistufigen Sauerteigen (Typ I Sauerteig) wird bei entsprechender Führung eine derartige Triebkraft erzeugt, so dass auf den Einsatz von weiterer Backhefe bei den Teigen verzichtet werden kann (Brandt *et al.*, 2004).

## 1.3. Wasserbindung in Teigen

Ursächlich für die Wasserbindung in Weizenteigen sind in erster Linie die strangartig vorliegenden Proteinfractionen Gliadin und Glutenin (Ortolan and Steel, 2017; Wieser, 2007). Anschließende Quellungsprozesse des Teiges und eine mechanische Beanspruchung durch das Kneten des Teiges führen zur Bildung eines durchgängigen dreidimensionalen Proteinfilmes, der Kleber genannt wird, und im Teig die sich bildenden Gasblasen ähnlich wie ein Gerüst umgibt (Ortolan and Steel, 2017). Währendem der Teig gebacken wird gehen aus den enthaltenen Stärkepartikeln zum einen verstärkt Amylose und Amylopektin in Lösung. Zum

anderen erfolgt ein Aufplatzen der Stärkekörner infolge von eindringendem Wasser, das vom denaturierenden Kleber abgegeben wird (Ortolan and Steel, 2017). Somit entsteht durch die denaturierten Proteine und die gequollene bzw. verkleisterte Stärke die stabile Krumenstruktur von gebackenen Weizenbroten (Miyazaki *et al.*, 2006). Im Gegensatz hierzu können aufgrund des fehlenden Klebers die Proteine in Roggenmehl keine Kleberstruktur ausbilden. In Teigen aus Roggenmehl übernehmen Pentosane, die in Roggen in größeren Mengen als in Weizen vorkommen (Henry, 1985), die Wasserbindung und Gashaltfunktion in Teigen (Clarke and Arendt, 2005).

#### **1.4. Brotalterungsprozess und Ansätze zur Verzögerung des Altbackenwerdens**

Die Frische von Brot und Backwaren ist für die Akzeptanz des Verbrauchers ein wichtiges Kriterium. Altbackenes Brot wird vom Konsumenten abgelehnt und somit ist mit einer Verlängerung der Frischhaltung ein ökonomischer Vorteil verbunden (Plessas *et al.*, 2013). Aus diesem Grund nehmen Untersuchungen zum Altbackenwerden von Brot- und Backwaren und damit verbunden die Suche nach Möglichkeiten einer Verlängerung der Brotfrischhaltung viel Raum in der Forschung ein. Bereits während des Abkühlvorgangs von frisch gebackenem Brot beginnt dessen Alterung durch die Rekristallisation der gequollenen Stärke (Retrogradation). Infolge der resultierenden Veränderungen der Brotkrume durch die Retrogradation wird entscheidend Einfluss auf den Brotalterungsprozeß genommen (Amigo *et al.*, 2016a; Amigo *et al.*, 2016b; Fadda *et al.*, 2014; Schiraldi and Fessas, 2018). Anhand unterschiedlicher Modelle können die der Alterung zugrunde liegenden Mechanismen detaillierter beschrieben werden. Während in älteren Arbeiten als Ursache für das Altern von Brot in erster Linie die Retrogradation der Amylosefraktion als ursächlich genannt wurde (Fadda *et al.*, 2014; Schoch and French, 1947), führen neuere Arbeiten die Retrogradation des Amylopektins als hauptsächliche Ursache für das Aushärten der Krume zurück. Untersuchungen zum Altbackenwerden beschreiben unter anderem die Theorie, dass das reorganisierte Amylopektin quervernetzend zwischen gequollenen Stärkekörnern und gelösten Polymeren in der Gelstruktur agiert. Im Verlauf der Lagerung von Brot und Backwaren entstehen durch die zunehmende Retrogradation des Amylopektins vermehrt Quervernetzungen infolgedessen die Brotkrume hart wird (Zobel and Kulp, 1996). Ebenso ist als eine weitere Theorie für das Festwerden der Krume von Weizenbrot die Zunahme von Wechselwirkungen zwischen Gluten

und Stärke im Verlauf der Lagerung beschrieben (Martin and Stewart, 1991). Generell ist davon auszugehen, dass alle Theorien Teilaspekte der Brotalterung beschreiben und es sich beim Alterungsprozess von Brot und Backwaren um ein Zusammenspiel von verschiedenen Aspekten handelt (Fadda *et al.*, 2014; Schiraldi and Fessas, 2018).

Eine gängige Methode zur Verzögerung des Altbackenwerdens stellt der Zusatz von Lebensmittelzusatzstoffen wie Hydrokolloiden dar (Azizi and Rao, 2004; Bárcenas and Rosell, 2005; Gray and Bemiller, 2003; Maleki and Milani, 2013; Rosell *et al.*, 2001; Sim *et al.*, 2011). Unter anderem wurde eine Verbesserung der Krumenfrischhaltung sowie eine verbesserte Verarbeitbarkeit der Teige durch den Einsatz von Xanthan oder Guarkernmehl beschrieben (Azizi and Rao, 2004; Bruemmer and Stephan, 1984). Ebenso weisen Emulgatoren, wie Monoglyceride, Natrium- oder Calciumstearoyl-2-laktylat einen positiven Einfluss auf die Krumenweichheit durch Bildung von Stärke-Lipid-Komplexen und durch Erhöhung der Verkleisterungstemperatur auf (Krog, 1971; Ravi *et al.*, 1999). Als weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Krumenweichheit über die Lagerzeit infolge einer definierten Hydrolyse des Amylopektins werden Enzyme wie z.B. maltogene Amylasen eingesetzt (Amigo *et al.*, 2016a). Diese aufgezählten Möglichkeiten zur Verzögerung des Altbackenwerdens finden insbesondere Anwendung, da die Herstellung von Brot und Backwaren in den vergangenen Jahrzehnten einem grundlegenden Wandel unterworfen war. Unterem anderem führt der Trend hin zur industriellen Produktion und damit verbunden größerem Produktionsmaßstab und längeren Vertriebswegen (Vorderwülbecke *et al.*, 2018). Ebenso verlangt der zunehmende Verkauf von Backwaren durch Supermärkte und Handelsketten nach Backwaren mit längerer Haltbarkeit. Insbesondere werden über diese neuen Vertriebswege verstärkt Produkte mit "Convenience"-Charakter angeboten zu denen unter anderem verpackte Backwaren, halbgebackene und Tiefkühl (TK)-Backwaren zählen (Vorderwülbecke *et al.*, 2018). Darüber hinaus sind die damit verbundenen erhöhten Anforderungen an die Haltbarkeit und Frischhaltung von Brot und Backwaren durchaus auch von ökonomischer Bedeutung. Laut einer WWF Studie wurden 2015 4,9 Millionen Tonnen Backwaren in Deutschland hergestellt, wobei 1,7 Millionen Tonnen als Verluste zu verzeichnen waren. Der größte Anteil dieser Verluste entfiel mit 49% auf die Haushalte (Jaeger, 2018). Eine EU Studie zeigt, dass 53% des entstehenden Lebensmittel Mülls in der EU in Haushalten anfällt und sich auf 173kg pro Person und Jahr beläuft (Stenmarck *et al.*, 2016). Durch die Verlängerung der Haltbarkeit sowie der Frischhaltung kann hierbei ein Beitrag zur Reduzierung des Anteils an Müll sowie zur nachhaltigen Nutzung von Ressourcen geleistet werden (Vorderwülbecke *et al.*, 2018). Neben dem Einfluss auf das Altbackenwerden

von Brot und Backwaren führt der Einsatz von Hydrokolloide ebenfalls zu verbesserten Teig- und Verarbeitungseigenschaften sowie einen verbesserten Brotqualität in Bezug auf Textur und Brotvolumen (Azizi and Rao, 2004; Bárcenas *et al.*, 2004; Bárcenas and Rosell, 2005; Maleki and Milani, 2013). Ebenfalls ist zu erwähnen, dass in Bäckereien häufig Probleme aufgrund des Klebens der Teige an Maschinenteilen auftreten. Eine Folge sind aufgerissene Oberflächen der Teiglinge, ein erhöhter Reinigungsaufwand verbunden mit erhöhten Reinigungskosten und somit generell erhöhten Produktionskosten. Um dies zu verhindern werden Teige häufig zu fest gehalten und somit mit weniger Flüssigkeit hergestellt als es für die Erzielung eines optimalen Backergebnisses notwendig ist (Wassermann, 1999). Aus diesem Grund werden vielfach in Backmitteln Hydrokolloide eingesetzt um den Flüssigkeitsanteil in Teigen zu erhöhen (Azizi and Rao, 2004; Bruemmer and Stephan, 1984). Ebenso spielen Hydrokolloide bei der Herstellung von "Convenience"-Produkten und "Functional Food" eine wichtige Rolle, um unter anderem die Haltbarkeit von TK-Backwaren zu gewährleisten (Larson *et al.*, 1983) sowie ballaststoffangereicherte Brote oder Produkte mit präbiotischen Eigenschaften herzustellen (Schmitz *et al.*, 2002; Tuohy *et al.*, 2001). Hinsichtlich des Einsatzes von Hydrokolloiden wird ausgehend von deren Gewinnung und Herstellung zwischen verschiedenen Hydrokolloiden unterschieden. Unter den im Backwarenbereich eingesetzten Hydrokolloiden pflanzlicher Herkunft sind Guarkernmehl, Carragenane, Alginate, modifizierte Stärken und Zellulose sowie Inulin, das ebenfalls präbiotische und funktionelle Eigenschaften aufweist, aufzuzählen (Ferrero, 2017; Schmitz *et al.*, 2002). Ergänzend hierzu findet unter anderem das mittels des Mikroorganismus *Xanthomonas campestris* mikrobiologisch fermentativ erzeugte Hydrokolloid Xanthan eine breite Anwendung als Zusatzstoff in vielfältigen Lebensmitteln wie z.B. Brot und Backwaren, Milchprodukten, Fleischprodukten oder gefrorenen Lebensmitteln (De Mònaco Lopes *et al.*, 2015; Habibi and Khosravi-Darani, 2017). Ergänzend zu den positiven Wirkungen der bereits in der Backwarenherstellung eingesetzten Hydrokolloide gibt es ebenfalls Untersuchungen, die sich mit der Thematik auseinandersetzen und ähnliche Resultate mittels durch von MSB hergestellten Exopolysacchariden (EPS) auf die Qualität von Brot und Backwaren zu erreichen (Brandt *et al.*, 2003; Decock and Cappelle, 2005; Kaditzky *et al.*, 2008; Seitter *et al.*, 2020; Tieking *et al.*, 2003).

## 1.5. Exopolysaccharide von Milchsäurebakterien und Bildung von Exopolysacchariden in Teigen

Charakteristisch stellen Exopolysaccharide (EPS) lineare oder verzweigte Biopolymere dar, welche von Mikroorganismen gebildet werden. Sie bestehen aus glykosidisch verknüpften Sacchariden und werden entweder direkt in die Umgebung abgegeben oder haften der Zellwand an indem sie eine Art Kapsel bilden (Oleksy and Klewicka, 2018). Unter anderem wurde die Bildung von EPS für eine Vielzahl von Bakterien, wie z.B. Laktobazillen, beschrieben (Caggianiello *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2019). Dabei umfasst das Spektrum der Polymere sowohl Heteropolymere als auch Homopolymere wie z.B. Dextran aus *Leuconostoc mesenteroides* oder  $\beta$ -Glukan aus *Pediococcus damnosus* (de Vuyst and Degeest, 1999). Eine Übersicht über die von Laktobazillen gebildeten EPS geben (de Vuyst and Degeest, 1999; Galle and Arendt, 2014; Oleksy and Klewicka, 2018).

Die Forschungsaktivitäten in Bezug auf Charakterisierung und Anwendung von EPS in Lebensmittelmatrixen haben sich in der Vergangenheit weitgehend auf die durch die Starterkulturen der Milchindustrie gebildeten Hydrokolloide konzentriert. Insbesondere ist in der Milchindustrie der Einsatz von *in situ* gebildeten EPS durch Milchsäurebakterien bei der Herstellung von Joghurt und damit verbunden zur Qualitätsverbesserung bereits Stand der Technik (Xu *et al.*, 2019). Bei der Joghurtherstellung werden die Hydrokolloide von Milchsäurebakterien typischerweise in geringen Mengen von weniger als 0,5 g pro kg Produkt gebildet. Dabei werden die rheologischen Eigenschaften fermentierter Milchprodukte bereits durch diese geringen Mengen an Hydrokolloiden beeinflusst (Oleksy and Klewicka, 2018). Im Allgemeinen ist allerdings festzustellen, dass sich die rheologischen Einflüsse von Hydrokolloiden in einer bestimmten Lebensmittelmatrix nicht ohne weiteres auf andere Lebensmittelmatrixen übertragen lassen. Daher kann beispielsweise nicht basierend auf den Wechselwirkungen der in Milch enthaltenen Proteine auf mögliche Einflüsse von Hydrokolloiden in stärkereichen Cerealien rückgeschlossen werden. Ebenso ist am Beispiel der Lebensmittelmatrix Milch ersichtlich, dass verschiedene Polysaccharide große Unterschiede in der wirksamen Konzentration aufweisen (Oleksy and Klewicka, 2018). Des Weiteren sind für im Substrat fermentativ erzeugte Polysaccharide stärkere Einflüsse in der Lebensmittelmatrix zu verzeichnen als mittels in gleicher Menge zugesetzter Polysaccharide (Zoon and Tuinier, 2001).

Exopolysaccharide von getreideassoziierten MSB können in zwei Klassen eingeteilt werden, den Homopolysacchariden (HoPS) und den Heteropolysacchariden (HePS) (Galle and Arendt,

2014). Die HoPS werden extrazellulär durch Glycosyl- oder Fructosyltransferasen aus Saccharose synthetisiert. Dabei wird entweder Glukose oder Fruktose auf ein Glykosylakzeptormolekül transferiert. HoPS bestehen nur aus einem Monosaccharidtyp. Im Gegensatz zu den HoPS werden HePS intrazellulär basierend auf Zuckernukleotidvorstufen aus 3-8 Einheiten regelmäßig oder unregelmäßig alternierend synthetisiert (Tieking and Gänzle, 2005). Im Zuge eines Screening von verschiedenen MSB hinsichtlich ihres Vermögens zur Bildung von EPS wurde gezeigt, dass Getreide-assoziierte Laktobazillen und vor allem Stämme der Gattungen *L. sanfranciscensis*, *L. pontis*, *L. frumenti* und *L. reuteri* ebenfalls ein Potential zur Bildung von Glukanen und Fruktanen haben (Tieking *et al.*, 2003). Dabei wurde anhand der Bestimmung der Monomerzusammensetzung wasserlöslicher Polysaccharide in Weizensauerteigen sowie dem Einsatz stabil markierter Isotope die Bildung von technologisch relevanten Mengen an EPS während der Sauerteigfermentation durch alle Stämme, die *in vitro* EPS-bildeten, nachgewiesen. Unter anderem werden während einer Sauerteigfermentation durch *L. sanfranciscensis* unter Praxisbedingungen mit Weizen- oder Roggenmehlen mehr als 10 g hochpolymeres EPS pro kg Mehl gebildet (Korakli *et al.*, 2001; Tieking *et al.*, 2003; Tieking *et al.*, 2005). In diesem Kontext ist zu erwähnen, dass bereits eine Verbesserung der rheologischen Teigeigenschaften von Weizenteigen bzw. der Brotqualität nach erfolgter Zugabe von Fruktanen oder Fruktoseoligosacchariden in verschiedenen Patenten beschrieben wurde (Larson and Van Lengerich, 1998; Takehiro *et al.*, 1994).

Die positiven Wirkungen der in der Backwarenherstellung eingesetzten Hydrokolloide sind ebenfalls mit Hilfe von Exopolysacchariden (EPS), die von Milchsäurebakterien gebildet werden, zu erreichen. Beispielsweise wird *in situ* gebildetes Dextran von *Leuconostoc mesenteroides* in kommerziellen Backmitteln eingesetzt und u.a. bei der Herstellung von Panettone verwendet. Durch den Einsatz resultieren in der Folge die fibrilliäre Krumenstruktur, die großen Löcher und die lange Frische des Gebäcks (Decock and Cappelle, 2005). Ebenso ist eine verbesserte Qualität von Roggen- und Toastbrot durch Zugabe von Dextran beschrieben (Decock and Cappelle, 2005). Zudem wurde der positive Einfluss auf die Teigrheologie und die Brotqualität anhand von in Teigen gebildeten EPS aufgezeigt (Brandt *et al.*, 2003; Decock and Cappelle, 2005; Kaditzky *et al.*, 2008; Seitter *et al.*, 2020; Tieking *et al.*, 2003). Letztlich könnte durch die Erzeugung und Einsatz eines Backmittels, das mit Hilfe von EPS-bildenden MSB in Nährmedien auf Getreidebasis hergestellt wurde, die Produktion von Backwaren wirtschaftlicher und deklarationsfreundlicher erfolgen und so zu Produkten mit verbesserter Verbraucherakzeptanz führen. Die Grundlagen für den Einsatz von MSB mit dem Potential zur

EPS-Bildung bei der Herstellung von Backmitteln wurden bereits in den vergangenen Jahren durch die Charakterisierung der EPS-Bildung von getreideassoziierten Laktobazillen, den Nachweis der Bildung von EPS im Teigen sowie die Untersuchung der technologischen Wirksamkeit der gebildeten EPS in Teigen geschaffen (Kaditzky *et al.*, 2008; Korakli *et al.*, 2001).

### 1.6. Zielsetzung der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit soll daher, das Potential von MSB zur EPS-Bildung für die Herstellung von Backmitteln untersucht werden. Insbesondere wird dabei auf die technologische Wirkung von mikrobiellen Exopolysacchariden auf eine verlängerte Haltbarkeit von Brot und Backwaren, sowie verbesserte Verarbeitungseigenschaften von Teigen zum potentiellen Einsatz in Backmitteln eingegangen.

Zu diesem Zweck wurden getreide-assoziierten MSB hinsichtlich ihrer EPS Bildung einem Screening unterzogen, potente EPS-Produzenten selektioniert sowie die gebildeten Polysaccharide charakterisiert. Im Folgenden soll die EPS-Bildung auf Basis des physiologischen und molekularen Verständnisses der Biosynthese in Fermentationsmedien sowie auf Getreidebasis optimiert werden. Die Anwendung der Polysaccharide sowie der EPS-bildenden Stämme in Backwaren wird untersucht, indem eine Charakterisierung der Produkte im Hinblick auf technologisch relevante Parameter wie Teigeigenschaften, Textur, sensorische Qualität, und Haltbarkeit erfolgt. Letztlich sollen durch diese Untersuchungen die Grundlagen für die Erzeugung eines Backmittels unter optimierten Fermentationsbedingungen und zur Anwendung bei Backwaren sowie TK-Produkten geschaffen werden.

Ziel der Arbeit ist es die Grundlagen für die biotechnologische Produktion von EPS durch MSB zu untersuchen und damit die Erzeugung eines Backmittels zu ermöglichen. Dabei soll insbesondere die Bildung von EPS charakterisiert und die *in situ*-Produktion optimiert werden. Ebenso sollte die Wirkung von EPS auf das rheologische Verhalten sowie die Verarbeitung berücksichtigt werden. Weiterhin wurden die Einflüsse von EPS auf die Haltbarkeit und die Textur von Broten ermittelt. Abschließend soll die Anwendbarkeit von EPS-enthaltenden Backmitteln zur Verbesserung der Brotqualität z.B. in Form eines getrockneten Backmittels demonstriert werden.

## 2. Material

### 2.1. Eingesetzte Mehle

Zum Einsatz kamen Weizenmehle, die sich durch den Proteingehalt in ihrer Mehlqualität unterscheiden haben. Abhängig von dem Proteingehalt wurde zwischen Weizenmehlen schwacher (wenig enthaltenes Protein), mittlerer und starker (viel enthaltenes Protein) Mehlqualität unterschieden. Als Mehl mit schwacher und starker Qualität kam kommerzielles unbehandeltes Weizenmehl der Type 550 ohne Zusatz von Ascorbinsäure, das bei der Oberen Mühle GmbH & Co. KG, Tannenweg 21, 71134 Aidlingen erworben wurde, zum Einsatz. Mehl mittlerer Qualität wurde durch Verschneiden von Mehl mit starker und schwacher Mehlqualität im Verhältnis 0,4:0,6 erreicht. Die Charakteristika der eingesetzten Mehle sind in Tabelle 1 aufgeführt. Im Zuge dieser Arbeit wurde der Einfluss der Mehlqualität auf die Brotalterung betrachtet. Aus den Ergebnissen (siehe Kapitel 4.4.1) wurde entschieden die weiteren Versuche (siehe Kapitel 4.4.2 ff) unter Verwendung von Mehl mittlerer und starker Mehlqualität durchzuführen. Bei Versuchen, die unter Zusatz des walzengetrockneten Sauerteigpräparates durchgeführt worden sind (siehe Kapitel 4.6), wurden Mehle mit mittlerer und starker Mehlqualität in die Untersuchungen einbezogen.

**Tabelle 1:** Charakteristika der verwendeten Weizenmehle Type 550.

Charakteristikum	Messwerte Weizenmehl		
	schwach	mittel	stark
Protein (Nx5,7) (%)	9,8	10,3	12,4
Feuchtkleber (%)	25,0	27,5	32,8
Feuchte (%)	12,4	11,9	13,1
TA (500 FE)	61,2	59,8	58,8
Fallzahl (s)	258	341	363
Mineralstoff (%)	0,60	0,60	0,61
Säuregrad (SG)	4,4	4,3	4,2
Asc.säure (mg/kg)	>5	>5	>5

Bei dem für die Versuche eingesetzten Roggenmehl handelte es sich um kommerziell verfügbares unbehandeltes Roggenmehl der Type 1150 ohne Zusatz von Ascorbinsäure,

welches ebenfalls bei der Oberen Mühle GmbH & Co. KG (Tannenweg 21, 71134 Aidlingen) erworben wurde. Die Charakteristika des eingesetzten Roggenmehles sind in Tabelle 2 aufgelistet.

**Tabelle 2:** Charakteristika des verwendeten Roggenmehls der Type 1150.

Charakteristikum	Messwert
Verkleisterungsmaximum (AE)	410
Verkleisterungsendtemperatur (°C)	70,2
Protein (Nx5,7) (%)	11,6
Feuchte (%)	10,8
TA (300 FE)	75,2
Fallzahl (s)	198
Mineralstoff (%)	1,25
Säuregrad (SG)	4,9

## 2.2. Hydrokolloide und weitere Zutaten

Sofern bei der Herstellung von Teigen erforderlich (siehe Kapitel 3.7.1) wurden in der vorliegenden Arbeit die Hydrokolloide Guar (Carl Roth GmbH, Karlsruhe; Artikelnummer 3527.1) und Xanthan aus *Xanthomonas campestris* (Sigma-Aldrich, Darmstadt; Artikelnummer 43708) verwendet.

Als weitere in geringen Konzentrationen eingesetzte Zutaten kamen Speisesalz, Hefe, Calciumpropionat und Ascorbinsäure zum Einsatz. Bei dem eingesetzten Speisesalz handelte es sich um kommerziell erwerbbares Speisesalz ohne Zusatz von weiteren Bestandteilen wie beispielsweise Fluorid. Um eine gleichbleibende Qualität des Triebmittels zu gewährleisten wurde die Trockenhefe „Instant yeast red“ (Uniferm, Werne) verwendet. Sofern erforderlich wurde den Teigen bei der Teigbereitung Calciumpropionat (Merck KGaA, Darmstadt) zur Konservierung und Vermeidung von Schimmelbefall zugesetzt. Um die Gehalte an Ascorbinsäure, die in handelsüblich erwerbbareren Mehlen vorhanden sind, zu standardisieren wurden Mehle ohne Ascorbinsäure (siehe Kapitel 2.1) bezogen. Während der Teigherstellung (siehe Kapitel 3.7.1) wurden standardisierte Gehalte an Ascorbinsäure (Sigma-Aldrich, Darmstadt) eingesetzt.

### 3. Methoden

#### 3.1. Kultivierung und Anzucht von Hefen und Milchsäurebakterien

In der vorliegenden Arbeit kamen verschiedene Milchsäurebakterienstämme unterschiedlicher Spezies zum Einsatz. Es wurden mehr als 190 Stämme verschiedener Spezies der Gattungen *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* und *Weissella*, die vornehmlich aus dem Habitat Sauerteig, aber auch aus anderen Habitaten stammen, der Stammsammlung des Instituts für Lebensmittelmikrobiologie und -hygiene der Universität Hohenheim untersucht. Die eingesetzten Milchsäurespezies und Angaben zu den einzelnen Stämmen (LTH) sind in Tabelle 6 aufgeführt. Des Weiteren wurde als Hefespezies *Torulaspora delbrueckii* H 242 eingesetzt.

Zur Stammhaltung und Anzucht wurden MSB auf mMRS 5 Medium kultiviert (De Man *et al.*, 1960; Stolz *et al.*, 1995). Das Medium enthielt pro Liter: 10 g Trypton, 5 g Fleischextrakt, 5 g Hefeextrakt, 10 g Maltose, 5 g Fruktose, 5 g Glukose, 4 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 2,6 g  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3 \text{H}_2\text{O}$ , 0,1 g  $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ , 0,05 g  $\text{MnSO}_4 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ , 0,5 g Cystein-HCl, 1 g Tween 80, pH 5,5. Die Kultivierung von MSB wurde bei 30° für mesophile, respektive 37°C für thermophile Milchsäurebakterien unter modifizierter Atmosphäre (88%  $\text{N}_2$ , 10%  $\text{CO}_2$ , 2%  $\text{O}_2$ ) durchgeführt. Die Bestimmung der Lebendkeimzahl wurde durch seriell Verdünnen in steriler Saline Trypton Lösung durchgeführt, welche 8,5g Natrium Chlorid und 1,0 g Trypton enthielt. Der pH wurde auf 5,9 eingestellt. Kultivierung der mittels serieller Verdünnung erzielten Verdünnungsstufen erfolgte ebenfalls auf mMRS 5 Agar Platten (Zusammensetzung mMRS 5 Medium + 15 g Agar pro Liter). Die Inkubation der inokulierten mMRS 5 Agarplatten erfolgte analog den für mMRS 5 Medium aufgeführten Inkubationsbedingungen.

Für die Stammhaltung und Anzucht von Hefen wurde YGC-Medium (Anonym, 1980) verwendet, welches bei 25°C aerob inkubiert wurde. Die Erfassung der Lebendkeimzahl wurde ebenfalls durch seriell Verdünnen in steriler Saline Trypton Lösung sowie anschließender Kultivierung der auf dem YGC-Agar (Zusammensetzung YGC Medium + 15 g Agar pro Liter) ausgebrachten Verdünnungsstufen durchgeführt. Die inokulierten YGC Agarplatten wurden ebenfalls bei 25°C aerob inkubiert.

### 3.2. Screening von Milchsäurebakterien auf Exopolysaccharid Bildung

Für das Screening der Milchsäurebakterien (MSB) auf Exopolysaccharid (EPS) Bildung wurde modifiziertes Homohiochii-Medium eingesetzt (Kitahara *et al.*, 1957; Stolz, 1995). Das Medium enthielt pro Liter: 10 g Trypton, 2 g Fleischextrakt, 7 g Hefeextrakt, 100 g Saccharose, 2 g Kaliumgluconat, 5 g Natriumacetat, 5 g Diammoniumcitrat, 2,5 g  $K_2HPO_4 \times 3 H_2O$ , 0,2 g  $MgSO_4 \times 7 H_2O$ , 0,1 g  $MnSO_4 \times 4 H_2O$ , 0,05 g  $FeSO_4 \times 7 H_2O$ , 0,5 g Cystein-HCl, 1 g Tween 80, pH 5,5. Als Kohlenstoffquelle wurden dem Medium 20 g/L Saccharose zugegeben. Nach erfolgtem Beimpfen der Stämme aus Tabelle 6 auf Homohiochii-Agar Platten (Zusammensetzung modifiziertes Homohiochii-Medium + 15 g Agar pro Liter) und anschließender Inkubation bei 30°C bzw. 37°C unter mikroaerophilen Bedingungen (2% O<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub>, 88% N<sub>2</sub>) wurden die Kolonien hinsichtlich der Bildung von Schleim qualitativ bewertet. Für die Bewertung wurden die in Tabelle 3 aufgeführten Kriterien herangezogen. Um die Fähigkeit von MSB EPS zu bilden zu untersuchen wurden Stämme einen Agarplattenscreening unterzogen. Zu diesem Zweck wurden Stämme von MSB der Stammsammlung des Instituts für Lebensmittelmikrobiologie und Hygiene an der Universität Hohenheim untersucht. Die Selektion der MSB erstreckte sich vorwiegend auf Spezies die Sauerteig assoziiert sind, jedoch wurden auch andere Habitate untersucht.

**Tabelle 3:** Bewertung der Schleimbildung auf modifiziertem Homohiochii-Medium

Wachstum auf modifiziertem Homohiochii-Medium	Schleimbildung
kein Wachstum/keine Schleimbildung	(-)
keine Aussage	(-/+)
Schleimbildung, glänzende Kolonien	(+)
starke Schleimbildung, stark glänzende Kolonien; nach Kippen der Agarplatte <u>kein</u> Verlaufen des Schleimes	(++)
sehr starke Schleimbildung, stark glänzende Kolonien nach Kippen der Agarplatte Verlaufen des Schleimes	(+++)

### **3.3. Exopolysaccharid Anreicherung und Herstellung von Exopolysaccharid Rohextrakten**

Zur EPS-Gewinnung durch MSB wurde modifiziertes Homohiochii Medium (mHH) verwendet (Kitahara *et al.*, 1957; Stolz, 1995). Zu diesem Zweck wurden MSB Stämme aus Reinkultur in 50 ml Homohiochii Medium (siehe Kapitel 3.2) mit 5g Saccharose pro Liter bis zur logarithmischen Phase unter modifizierter Atmosphäre bei 30°C inkubiert. Nach erfolgter Inkubation wurden diese Vorkulturen steril in das mHH mit 100g Saccharose pro Liter überführt und weiter bei 30°C inkubiert. Während der Inkubation und dem daraus resultierendem Wachstum wurde der pH durch Zugabe von 1 molarer Natriumhydroxid Lösung konstant bei 5,5 gehalten. Die Inkubation erfolgte über einem Zeitraum von 48 Stunden unter modifizierter Atmosphäre (88% N<sub>2</sub>, 10% CO<sub>2</sub>, 2% O<sub>2</sub>). Im Anschluss an die Inkubation wurden die Zellen durch Zentrifugation (3,500 x g, 10 min, 4°C) vom Medium getrennt. Der resultierende Zellüberstand wurde mit 2,5 fachen eiskalten 96% igen Ethanol versetzt um das enthaltene EPS aus dem Überstand zu fällen. Nach Durchführung der Fällung bei 4°C für 48h wurde das EPS mittels Zentrifugation bei 15,000 x g, 30 min, 4°C abgetrennt. Der erhaltene Zentrifugationsrückstand wurde in destilliertem Wasser suspendiert und die dadurch erhaltene Lösung für 48 Stunden unter Verwendung von Dialyseschläuche mit einem cut off von 12-14 kDa (SERVA Electrophoresis GmbH, Heidelberg, Deutschland) gegen destilliertes Wasser bei einer Temperatur von 4°C dialysiert. Während der Dialyse wurde das destillierte Wasser dreimal täglich gewechselt. Nach erfolgter Dialyse wurde die resultierende EPS Lösung bei -20°C eingefroren und lyophilisiert (LYOVAC GT"/GT"-E, Finn-Aqua). Der Endpunkt der Lyophilisation wurde erreicht, wenn die Temperatur des zu trocknenden Produktes die Temperatur der Stellfläche erreicht hat.

### **3.4. Analytik zur Bestimmung relevanter Parameter in den eingesetzten Mehlen**

Alle Mehle wurden bevor diese für die Herstellung von Teigen herangezogen wurden einer Analytik hinsichtlich der Parameter Proteingehalt, Feuchtkleber, Mehlfeuchte, Wasseraufnahme, Fallzahl, Verkleisterungstemperatur, Mineralstoffgehalt, Säuregrad und Ascorbinsäuregehalt unterzogen. Die Qualität von Mehlen wird anhand der Parameter Protein bzw. Feuchtkleber bewertet, da diese einen direkten Einfluss auf die daraus hergestellten Teige nehmen. Aus diesem Grund wurde die Mehle einer Bestimmung des Proteingehaltes (N\*5,70)

nach Methode ICC Standard No. 105/2 (ICC, 1996b) sowie des Feuchtklebergehaltes nach Methode ICC Standard No. 106/02 (ICC, 1996c) unterzogen. Bei der Analytik von Mehlparameter ist zu beachten, dass sich diese häufig auf den Trockensubstanzgehalt der Mehle beziehen. Daher wurde die Mehlfeuchte nach der Methode ICC Standard No. 110/01 ermittelt (ICC, 1996e). Die Wasseraufnahme bei der Teigbereitung wird auch als Teigausbeute bezeichnet. Anhand der Bestimmung der Teigausbeute kann ein Rückschluss auf den Effekt von in Teigen eingesetzten Hydrokolloiden geschlossen werden. Zur Bestimmung der Wasseraufnahme wurde die Methode ICC Standard No. 115/01 verwendet (ICC, 1996f). Die Qualität von Mehlen kann ebenfalls durch Untersuchung der Fallzahl bewertet werden. Bei der Bestimmung der Fallzahl wird der Einfluss die Aktivität der endogenen Enzyme in Mehlen mittels der Methode ICC Standard No. ICC 107/1 bestimmt (ICC, 1996d). Der Zusammenhang zwischen endogener Enzymaktivität und der Verkleisterungstemperatur von Mehlen kann mittels Amylograph ermittelt werden. Dabei werden die Verkleisterungsendtemperatur sowie das Verkleisterungsmaximum nach Methode ICC Standard No. ICC 126/1 bestimmt (ICC, 1996g). Die Typenzahl in Mehlen spiegelt den Mineralstoffgehalt wieder und wurde mittels Methode ICC Standard No. 104/01 untersucht (ICC, 1996a). Durch Untersuchung des Säuregrades kann ebenfalls ein Rückschluss auf die Mehlqualität gezogen werden und es wird ersichtlich, ob es sich bei den untersuchten Mehlen um mühlenwarme Mehle oder überlagerte Mehle handelt. Die Bestimmung des Säuregrades erfolgte mittels Methode ICC Standard No. 145 (ICC, 1996h). Die Bestimmung des pH Wertes erfolgte mittel AAC Standard Methode No. 02-52 (AACC, 2000a). Um einen Nachweis zu erbringen, ob das eingesetzte Mehl frei von Ascorbinsäure ist und den Zusatz von Ascorbinsäure zu standardisieren wurde der Ascorbinsäuregehalt durch die Methode AACC Standard No. 86-10 (AACC, 2000f) ermittelt. Alle Untersuchungen wurden mindestens in Dreifachbestimmung durchgeführt und gemittelt (technische Replikate)

### **3.5. Teigführung und Herstellung von Teigen**

In der vorliegenden Arbeit wurden unterschiedliche Teige aus Weizen- sowie Roggenmehl hergestellt, um den Einfluss der Teigführung (Vorteige/ direkte Teigführung) sowie von mikrobiellen EPS und kommerziellen Hydrokolloiden auf die Rheologie von Teigen zu untersuchen. Eine Übersicht über die unterschiedlichen Versuche gibt Tabelle 4 in Kapitel 3.7.

### 3.5.1. Direkte Teigführung

Bei Anwendung der direkten Teigführung wurden alle Zutaten direkt in den Knetkessel eingebracht sowie gleichzeitig vermischt und verknetet. Die direkte Teigführung wird auch als „All-in-Verfahren“ bezeichnet (Schuenemann and Treu, 2002). Im Gegensatz hierzu wird die indirekte Teigführung unterschieden. Bei Anwendung dieser Teigführung wurden die Teige stufenweise hergestellt, indem bei der Teigherstellung jeweils 10% gereifter Vorteig oder Sauerteig zugesetzt wurden (Schuenemann and Treu, 2002). Vor Teigbereitung wurde optimale Wassermenge bezogen auf die Mehleinwaage mit einer Mehlfuchte von 14% mittels Farinographen unter Verwendung der (ICC, 1996f) erfasst.

### 3.5.2. Vorteige und Sauerteige

Bei der Herstellung von Sauerteigen kamen Starterkulturen zum Einsatz, die durch Kultivierung von ausgewählter MSB gewonnen wurden. Hierzu wurde eine Reinkultur des entsprechenden MSB Stammes von einer mMRS 5 Agarplatte in mMRS 5 Flüssigmedium überführt (De Man *et al.*, 1960; Stolz, 1995, modifiziert) und anschließend unter modifizierter Atmosphäre bei 30°C inkubiert wurde. Nach erfolgter Inkubation wurden die Zellen zentrifugiert (3,500 x g, 10 min, 4°C) und in Saline Trypton Lösung aufgenommen. Die Keimzahl der auf diese Weise erhaltenen Zellsuspension sowie die Reinheit wurde mittels Zählkammer (Thoma Kammer) überprüft (Panzer, 1950). Die Herstellung von Sauerteigen erfolgte durch das Mischen von Weizenmehl, Wasser und 10 ml Starterkultur. Dabei wurde die Teigausbeute (TA;  $TA = \text{Teigmenge} \cdot 100 / \text{Mehlmenge}$ ) auf 200, bezogen auf 14% Mehlfuchte, eingestellt und mit  $10^7$  KBE/g Teig der Starterkultur inokuliert. Die Inkubation der Sauerteige erfolgte für 22 Stunden bei 30°C. Von den fermentierten Sauerteigen wurde jeweils eine qualitative und quantitative Bestimmung von MSB und Hefen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden serielle Verdünnungen in steriler Saline Trypton Lösung hergestellt sowie anschließend auf mMRS 5 und YGC Agarplatten ausplattiert und inkubiert (siehe Kapitel 3.1). Der Verlauf der Fermentation wurde durch Messen des pH-Wertes sowie erfassen des Säuregrades (siehe Kapitel 3.4) kontrolliert.

Chemisch gesäuerte Vor- bzw. Sauerteige wurden durch das Mischen von Weizenmehl mit Wasser, das mit einer Essig-Milchsäuremischung versetzt war, hergestellt. Dabei wurde die Teigausbeute auf 200, bezogen auf 14% Mehlfuchte, eingestellt. Für die Herstellung der Essig-Milchsäure Mischung wurde Essigsäure und Milchsäure (beides, Sigma Aldrich, Darmstadt, Germany), 60:40, w/w gemischt. Um ein mikrobiologisches Wachstum von Bakterien bzw.

Hefen in den Teigen zu unterrücken wurde diesen 200 mg/kg Chloramphenicol bzw. 100 mg/kg Cycloheximid (beides, Sigma Aldrich, Darmstadt, Germany) zugegeben. Um den Einfluss der Zugabe von Sauerteigen bzw. die vorhandenen Quellungsvorgänge in den Teigen zu simulieren wurden Vor- und Sauerteige hergestellt, die pH Werte von 6,2, 5,6 und 3,6 aufwiesen, und jeweils für 22 Stunden bei 30°C inkubiert wurden. Bei der Teigbereitung wurden 10% der auf diese Weise hergestellten Vor- oder Sauerteige zugegeben. Zudem wurden die Vorteige entweder mit dem Laktobazillenstamm *L. sanfranciscensis* LTH 1729 oder mit der Hefe *Torulasporea delbrueckii* H 242 sowie mit beiden Stämmen in Kombination für 22h bei 30°C fermentiert.

Die chemisch gesäuerten Vor- bzw. Sauerteige wurden sowohl direkt als Vor- oder Sauerteig eingesetzt als auch in getrockneter Form. Hierzu wurden die inkubierten Teige bei -20°C eingefroren und lyophilisiert (LYOVAC GT"/GT"-E, Finn-Aqua). Der Endpunkt der Lyophilisation wurde erreicht, wenn die Temperatur des zu trocknenden Produktes die Temperatur der Stellfläche erreicht hat. Im Anschluss gemörsert und bis zum Einsatz bei -18°C gelagert.

### **3.5.3. Teige mit Exopolysaccharid, Guar und Xanthan**

Um die Herstellung von Backwaren technologisch zu vereinfachen, bzw. um gewünschte Effekte wie z.B. Frischhaltung zu erhalten werden Backmittel während der Herstellung zugesetzt. Diese Backmittel sind gemäß den Leitsätzen für Brot und Backwaren definiert als Mischungen von Lebensmitteln einschließlich Zusatzstoffen, die dazu bestimmt sind, die Herstellung von Backwaren zu erleichtern oder zu vereinfachen, die wechselnden Verarbeitungseigenschaften der Rohstoffe auszugleichen und die Qualität der Backwaren zu beeinflussen. Sie werden meist in einer Menge von weniger als 10 Prozent (auf Mehl berechnet) bei der Teigherstellung zugegeben. (Anonym, 1994). In der Arbeit sollte der Einfluss von Hydrokolloiden betrachtet werden und on diese durch in situ gebildete EPS ersetzt werden können. Aus diesem Grund wurden direkten Teigen, siehe Kapitel 3.5.1, Konzentrationen von 0,3 – 1,0% Guar, Xanthan sowie den isolierten getrocknetem EPS, siehe Kapitel 3.3, hergestellt und rheologisch wie in 3.6 untersucht.

Die Herstellung der Brote erfolgte wie in Kapitel 3.7.1 beschrieben.

#### **3.5.4. Tiefkühl (TK) Teige**

TK-Teige gewinnen immer mehr an Bedeutung im Backgewerbe (siehe Kapitel 1.4). Aus diesem Grund wurde im Zuge der vorliegenden Arbeit die Wirkung des Zusatzes von EPS bei TK-Teigen auf die rheologischen Eigenschaften von Weizenteigen und das Altbackenwerden von aus TK-gelagerten Teigen hergestellten Broten untersucht werden. Hierbei wurden auch Vorteige mit fermentativ angereicherten EPS, siehe Kapitel 3.5.2, mit der direkten Zugabe von isoliertem EPS, siehe Kapitel 3.5.3, sowie kommerziellen Hydrokolloiden, siehe Kapitel 3.5.3, verglichen. Die Teigproben wurden analog der gleichen Rezeptur wie in Tabelle 5 aufgeführt hergestellt sowie unmittelbar nach Teigbereitungsende bei  $-40^{\circ}\text{C}$  für 30 Minuten schockgefrostet (Koma, B.V. Roermond). Nach erfolgter Schockfrostung wurden die Teige in einen Lagerfroster überführt und für 10 Tage bei  $-18^{\circ}\text{C}$  gelagert. Im Anschluss an die Lagerung wurden die Teige über Nacht im Kühlschrank bei  $+8^{\circ}\text{C}$  aufgetaut. Die aufgetauten Teige wurden anschließend im Thermoschrank auf  $25^{\circ}\text{C}$  temperiert und mittels Rheofermentometer wie in 3.6.1 beschrieben vermessen. Die Herstellung der Brote erfolgte wie in 3.7.1 beschrieben.

### **3.6. Untersuchungen zur Teig rheologie**

Um den Einfluss von mikrobiellem EPS, kommerziellen Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Rheologie von Teigen zu untersuchen und entsprechend Rückschlüsse auf das Verhalten während der Aufarbeitung zu bekommen, wurden unterschiedliche Messgeräte und Methoden verwendet.

#### **3.6.1. Gasbildung und Gashaltevermögen von Teigen**

Die Untersuchung der Gasbildung sowie des Gashaltevermögens von Teigen erfolgte mittels Rheofermentometer nach der Methode AACC Standard No. 89-01 (AACC, 2000g). Anhand dieser Ergebnisse kann neben dem Gashaltevermögen ebenfalls auf die Gärtolleranz, das Teigverhalten während der Fermentation und Gare sowie zu erwartende Volumenausbeuten zurückgeschlossen werden. Daten wurden aus 3 unabhängigen Versuchen (biologische Replikate) erhoben welche gemessen wurden (technisches Replikat).

### 3.6.2. Klebrigkeit von Teigen

Die Bestimmung der Klebrigkeit (Stickiness) anhand der Klebrigkeit von Teigen nach (Chen and Hosenev, 1995). Hierzu wurden Messungen mittels Texture Analyzer XT/2 (Stable Microsystems, Godalming, UK) durchgeführt und Daten von jeweils 5 unabhängigen Versuchen (biologische Replikate) erfasst, die aus 20 Messungen (technische Replikate) bestanden. Im Zuge der Auswertung der Ergebnisse wurden die Messungen gemittelt und eine statistische Auswertung mittels SigmaStat vers. 8.0 (Systat Software Inc., Chicago, IL) durchgeführt. Die Ermittlung der statistischen Signifikanz ( $p < 0,05$ ) erfolgte hierbei mittels Varianzanalyse (ANOVA). Für die Fälle in denen keine ANOVA Analyse anwendbar war wurde ein Parameterfreier Test nach Kruskal-Wallis durchgeführt (Kruskal and Wallis, 1952). Die Berechnungen wurden unter Verwendung der statistischen Software SigmaStat vers. 8.0 (Systat Software Inc., Chicago, IL, USA) durchgeführt.

### 3.6.3. Dehnbarkeit von Teigen

Zur Bestimmung der Dehnbarkeit von Teigen wurden sowohl Untersuchungen im Extensograph mittels Methode AACC Method 54-10 (AACC, 2000c) und Mikrozugversuche zur Bestimmung der uniaxialen Zugeigenschaften von Weizenteigen durchgeführt (Kieffer *et al.*, 1981). Für die entsprechenden Messungen wurden der Texture Analyzer XT/2 (Stable Microsystems, Godalming, UK) herangezogen und dabei Daten von jeweils 5 unabhängigen Versuchen (biologische Replikate) erfasst, die aus 13-15 Einzelmessungen (technische Replikate) bestanden. Zur weiteren Auswertung wurden die Messungen gemittelt und einer statistische Auswertung mittels SigmaStat vers. 8.0 (Systat Software Inc., Chicago, IL) unterzogen. Die Ermittlung der statistischen Signifikanz ( $p < 0,05$ ) erfolgte mittels ANOVA Analyse bzw. durch einen Parameterfreien Test nach Kruskal-Wallis (Kruskal and Wallis, 1952), sofern keine ANOVA Analyse anwendbar war.

### 3.6.4. Viskose und elastische Eigenschaften von Teigen

Für die Untersuchung der viskosen und elastischen Eigenschaften von Teigen wurde das schubspannungsgesteuerte Bohlin-Rheometer verwendet (Weipert, 1990). Dabei wurden zur Durchführung der Messung zwei geriffelte Platten verwendet, wobei die obere Platte einen Durchmesser von 2,5cm und eine Spaltbreite von 2 mm aufgewiesen hat und die untere Platte fest Bohlin-Rheometer verbunden war. Für den Oszillationstest wurden folgende Parameter

gewählt: Frequenzsweep bei 30°C, 5 Frequenzen logarithmisch zwischen 0,1 Hz und 10 Hz. Direkt im Anschluss an den Oszillationstest wurde mit demselben Teig ebenfalls bei einer Temperatur von 30°C die Kriech-Erholungsmessung durchgeführt. Abschließend schloss sich nach einer Kriechzeit von 5 min und einer Schubspannung von 300 Pa eine Erholungszeit von weiteren 5 min bei 0 Pa an. Für jeden untersuchten Teig wurden mindesten 3 voneinander unabhängige Messungen (biologische Replikate) durchgeführt für die jeweils ein neuer Teig im Farinograph hergestellt wurde. Hierzu wurden die Teige jeweils 4 min im Farinographen geknetet und nach einer Teigruhe von 20 min bei 25°C wurden 1,5 g Teig ins Gerät zur weiteren Untersuchung eingespannt. Die Oszillationsmessung startete jeweils erst nach einer 10 minütigen Ruhepause. Ebenso erfolgte der Start des Kriechtestes erst nach einer einminütigen Pause zur Entspannung des Teiges nach erfolgter Oszillationsmessung. Des Weiteren wurde das Breite-Höhe-Verhältnis untersucht und damit in wieweit sich die Teige während der Teigruhe entspannen dieser Parameter gibt Aufschluss, über die zu erwartende Form und Volumen des resultierenden Gebäckes. Hierzu wurden, im Anschluss an den Knetvorgang im Farinograph, 100 g Teig abgewogen, zur Kugel geformt und zugedeckt auf die Arbeitsfläche gelegt. Alle 30 min wurde über einen Zeitraum von 3 Stunden die Höhe und zweimal kreuzweise der Durchmesser der Teigkugel mittels einer Schieblehre gemessen. Es wurden drei Versuche (biologische Replikate) jeweils in Doppelbestimmung (technische Replikate) durchgeführt.

### **3.6.5. Verkleisterungseigenschaften der Stärke**

Um die Verkleisterungseigenschaften der Stärke zu bestimmen wurde der Rapid Visco Analyzer (RVA, Newport Scientific, Warriewood, AU) unter Anwendung der AACC Method 76-21 (AACC, 2000e) verwendet. Der Zusatz von Hydrokolloiden, siehe Kapitel 2.2, und EPS, siehe Kapitel 3.3, zu den Mehlen erfolgte in den angegebenen Konzentrationen (0,3%; 1,0%; 1,5% und 2%), bezogen auf das Getreidemahlerzeugnis. Der Einsatz von Vorteig erfolgte in Form des gefriergetrockneten, vermahlenden Sauerteiges, siehe Kapitel 3.5.2, mit 20% und 30% bezogen auf das Getreidemahlerzeugnis. Das Backmittel, siehe Kapitel 3.9, wurde mit 3% und 5% bezogen auf das Getreidemahlerzeugnis eingesetzt. Die Durchführung der Versuche erfolgte jeweils in Dreifachbestimmung (biologische Replikate) analog zu Kapitel 3.5.2.

### 3.7. Durchführung von Backversuchen

In der vorliegenden Arbeit wurden Teige unterschiedlicher Zusammensetzung hergestellt, um den Einfluss der Teigführung sowie dem Zusatz von mikrobiellem EPS und kommerziellen Hydrokolloiden auf die Rheologie der Teigen zu untersuchen (siehe Kapitel 3.6). Ein Überblick zum experimentellen Design der hergestellten Teige zur Durchführung von Backversuchen ist in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4:** Experimentelles Design hergestellten Teige für die Durchführung der Backversuche.

Versuch	Modifikation	Inkubation 22h, 30°C	Anti- biotika	pH	Mikroorganismus
1	direkte Teigführung	-	-	-	-
2	direkte Teigführung + Amylase	-	-	-	-
3	Vorteig ohne Mikroorganismen	+	A+C	6,2	-
4	Vorteig chem. gesäuert	+	A+C	5,6	-
5	Vorteig chem. gesäuert	+	A+C	3,6	-
6	Vorteig chem. gesäuert + 0,03% EPS 1729	+	A+C	3,6	-
7	Vorteig chem. gesäuert + 0,03% EPS 2590	+	A+C	3,6	-
8	direkte Teigführung + 0,3% Guar	-	-	-	-
9	direkte Teigführung + 0,5% Guar	-	-	-	-
10	direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	-	-	-	-
11	direkte Teigführung + 0,3% EPS 1729	-	-	-	-
12	direkte Teigführung + 0,3% EPS 2590	-	-	-	-
13	Vorteig 1729 ohne Saccharose	+	A	3,6	<i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729
14	Vorteig 1729 mit 10% Saccharose	+	A	3,5	<i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729
15	Vorteig 2590 ohne Saccharose	+	A	3,5	<i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590
16	Vorteig 2590 mit 10% Saccharose	+	A	3,5	<i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590

Abk.: A = Actidion® (Cycloheximid); C = Chloramphenicol

Ausgehend von der direkten Teigführung (Versuch 1) und mit Zusatz einer maltogenen Amylase (Versuch 2), wurde der Einfluss von Quellungsvorgängen (Versuch 3), endogenen Enzymaktivitäten (Versuch 4), sowie der Einfluss von pH-Wert durch rein chemische Säuerung (Versuch 5) auf das Alterungsverhalten von Backwaren untersucht. Weiterhin wurde der Einsatz kommerzieller Hydrokolloide (Versuch 8-10) mit dem von isoliertem EPS (Versuch 11+12) aus Laktobazillenstämmen verglichen. Außerdem wurden Vorteige mit (durch Zugabe von Saccharose) und ohne angereichertes EPS (Versuch 13-16) auf das Altbackenwerden untersucht. Um die Wirkung auf das EPS zurückzuführen, wurden rein chemisch gesäuerte Vorteige mit isoliertem EPS (Versuch 6+7) versetzt. Die Vorteigzugabe erfolgte bei allen durchgeführten Versuchen in Höhe von 10%.

### 3.7.1. Herstellung von Broten

Die Herstellung der Weizenbrote erfolgte nach der in Tabelle 5 aufgeführten Rezeptur unter Verwendung eines Spiralknetter (Oase, Osnabrück, Germany). Dabei wurde die Temperatur der Schüttflüssigkeit so gewählt, dass eine Teigtemperatur nach dem Kneten von 24-26°C erreicht war. Nach erfolgter Teigruhe von 15 min. wurden Teigstücke von jeweils 600g abgewogen, rundgewirkt und maschinell langgerollt (Rondomat, Burgdorf, Schweiz). Die Teiglinge wurden in gefettete Toastbrot 4er Verbände überführt und bei 30°C und 80% rel. Luftfeuchtigkeit für 1 Stunde auf Gare gegeben. Anschließend wurden die Toastbrot 4er Verbände mit einem Deckel versehen, in einen Etagenofen (Wachtel, Hilden, Deutschland) eingeschossen und mit Dampf bei 230°C unter geschlossenem Zug für 1 Stunde gebacken. Nach einer Abkühlzeit von 2 Stunden wurden die Brote in Wasserdampfdichte PE Folie (0,2 mm, VWR, Darmstadt, Deutschland) eingeschweißt und bei 25°C im Klimaschrank gelagert.

**Tabelle 5:** Rezeptur für die Herstellung von Weizenbrot

Zutat	Menge (%)
Mehl Type 550	100,0
Wasser	Auf 500 FE
Vorteig oder Sauerteig/ lyophilisierter Sauerteig	10,0 / 5,0
Hydrokolloid	0,3/0,5
Vorteig Backmittel	5,0/10,0
Salz	1,8
Trockenhefe	1,2
Calciumpropionat	0,3

### 3.7.2. Untersuchung der hergestellten Brote

Zur Evaluierung der Backversuche wurden bei den Broten das Volumen, das Spezifische Volumen sowie der Backverlust ermittelt. Des Weiteren wurde das Altbackenwerden und abschließend eine sensorische Beurteilung durchgeführt.

#### 3.7.2.1 Bestimmung von Brotvolumen und spezifischen Gebäckvolumen

Das Brotvolumen wurde nach AACC Method 10-05 (AACC, 2000b) bestimmt. Um die Versuche untereinander vergleichen zu können, wurde der standardisierte Parameter des spezifischen Gebäckvolumens ermittelt. Dieses ist als Quotient des Gebäckvolumens geteilt durch das Gebäckgewicht definiert. Die Bestimmung wurde mit drei Broten eines Versuches in Doppelbestimmung durchgeführt.

#### 3.7.2.2 Ermittlung des Backverlustes

Zur Untersuchung der Effekte von Hydrokolloiden auf die Wasserbindung während der Lagerung wurde der Backverlust der Backwaren bestimmt. Der Backverlust errechnet sich aus der Differenz zwischen dem Gewicht vor und nach dem Backen und wird in % angegeben. Die Bestimmung wurde mit drei Broten eines Versuches in Doppelbestimmung durchgeführt.

### 3.7.2.3 Untersuchung des Altbackenwerdens durch Textur-Profil-Analyse (TPA) und Dynamische Differenz Kalorimetrie (DSC)

Die Bestimmung der Krumenweichheit erfolgte durch Ermittlung des Parameter „Hardness“ mittels TPA unter Verwendung der AACC Standard Methode 74-09 (AACC, 2000d).

Zur Bestimmung der Retrogradation der Stärke wurden Messungen mittels Dynamischen Differenz Kalorimetrie (DSC) unter Verwendung der DSC-6 von Perkin Elmer durchgeführt. Hierfür wurden von den Brotteigen nach erfolgter Gare Proben genommen und geteilt. Ein Teil wurde bis zur Messung mittels DSC im Kühlschrank aufbewahrt, der Rest bei  $-20^{\circ}\text{C}$  eingefroren und für zur Bestimmung von Metaboliten (siehe Kapitel 3.8.1) lyophilisiert (siehe Kapitel 3.3). Anschließend wurden jeweils 20-30 mg der Teigproben in Probengefäße aus Edelstahl (capsules; P.E. 0319-0218) eingewogen. Als Referenz wurde ein leeres Probengefäß verwendet. Das Backen der Teigproben in den DSC Probengefäßen erfolgte zeitgleich zu dem Backen der Brote im Ofen. Das Temperaturprofil des simulierten Backvorganges mittels DSC war wie folgt: 1.  $30^{\circ}\text{C}$  für 2 min., 2. ein Temperaturanstieg von  $30^{\circ}\text{C}$  auf  $100^{\circ}\text{C}$  mit  $10^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ , 3. eine Haltezeit bei  $100^{\circ}\text{C}$  für 5 min., 4. ein Abkühlen auf  $25^{\circ}\text{C}$  mit  $25^{\circ}\text{C}/\text{min.}$  Im Anschluss wurden die in der DSC gebackenen Proben bei  $25^{\circ}\text{C}$  im Klimaschrank gelagert um den Brotalterungsprozess zu simulieren. Zur Bestimmung der Brotalterung wurden die Proben nach 2, 4 und 8 Tagen in Form einer Doppelbestimmung vermessen. Für die Messung wurde folgendes Temperaturprofil verwendet: 1.  $20^{\circ}\text{C}$  für 2 min., 2. ein Temperaturanstieg von  $25^{\circ}\text{C}$  auf  $110^{\circ}\text{C}$  mit  $10^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ , 3. ein Abkühlen auf  $25^{\circ}\text{C}$  mit  $50^{\circ}\text{C}/\text{min.}$  Im Zuge der Messungen mittels DSC wurden die Parameter Anfangstemperatur ( $T_0$ ), Peak Temperatur ( $T_p$ ), Endtemperatur ( $T_c$ ), sowie die Verkleisterungs- ( $\Delta H_g$ ) und Retrogradations-Enthalpien ( $\Delta H_r$ ), welche in  $\text{mJ}/\text{mg}$  Trockenmasse erfasst wurden, bestimmt. Der Retrogradation-Index der Stärke wurde definiert als Verhältnis zwischen Retrogradations- und Verkleisterungs-Enthalpie ( $\Delta H_r/\Delta H_g$ ). Der Schmelztemperaturbereich des retrogradierten Materials ( $\Delta T_r$ ) wurde als Differenz zwischen Anfangs- und Endtemperatur ( $T_c - T_0$ ) gewählt (Barcenas and Rosell, 2007). Zur Erfassung des Retrogradation-Index wurde der Amylopektin Peak unter Verwendung der Avrami Gleichung (Russell, 1983) ausgewertet.

$$(A_L - A_t) / (A_L - A_0) = \exp(-kt^n)$$

Dabei sind  $A_0$ ,  $A_t$  und  $A_L$  die Retrogradation-Indexe zur Zeit 0, t und unendlich, bzw. der maximal Wert,  $n$  der Avrami-Exponent und  $k$  die Retrogradationsrate.

Um die Messmethodik DSC- und TPA zu kalibrieren sowie einen Vergleich gegenüber eines Stand der Technik eingesetzten Enzyms zur Krumenweichhaltung festzulegen wurde eine Versuchsreihe mit direkter Teigführung durchgeführt, in der eine kommerzielle maltogene Amylase (Novamyl 10000 BG, Novozymes A/S, DK; 100 ppm) eingesetzt wurde.

#### **3.7.2.4 Sensorische Beurteilung von Backwaren**

Die sensorischen Beurteilung der hergestellten Backwaren wurde anhand eines Rangzahltests nach DIN 10974 durchgeführt und ausgewertet (DIN ISO 10974:2008-12). Dabei wurden die sensorischen Beurteilungen von einer Gruppe >10 Personen durchgeführt. Der Fragebogen zur sensorischen Beurteilung ist im Anhang zu finden. Bei dem Test handelt es sich um ein hedonisches Prüfverfahren welche die Akzeptanz oder Präferenz von Produkten beim Verbraucher misst und einen Aufschluss gibt über die Spontanakzeptanz und Spontanpräferenz eines Produktes. Als Akzeptanz wird hierbei die Einstellung einer bestimmten Einzelperson oder Personengruppe zu einem Produkt, welches zu einem gegebenen Zeitpunkt und Kontext bezüglich seiner sensorischen Eigenschaften positiv beurteilt wurde. Als Präferenz wird die Empfindung oder affektive (gefühlbetonte) Reaktion eines Befragten zu einem gegebenen Zeitpunkt und einem bestimmten Kontext einem Produkt vorzieht definiert. Als hedonische Prüfung im Sinne der ISO Norm ist eine Prüfung definiert, die mit dem Ziel durchgeführt wird, die mehr oder weniger große Beliebtheit eines Produktes zu messen (DIN ISO 10974:2008-12).

### **3.8. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) zur Untersuchung von Metaboliten in Teigen und Brotkrumen**

EPS-Gehalte sowie Metabolite von Sauerteigen und Brotkrumen wurden einer Analytik mittels HPLC unterzogen.

#### **3.8.1. Analytik von Exopolysacchariden**

Die Quantifizierung von EPS in Sauerteigen wurde durch Isolierung von wasserlöslichen Polysacchariden wie von (Kaditzky *et al.*, 2008) beschrieben durchgeführt. Die im Mehl enthaltenen wasserlöslichen Polysaccharide (WPS) wurden basierend auf dem Monomer Glukose oder Fruktose berechnet indem diese Monomere als Nullwerte abgezogen wurden. Zur

Normalisierung der Teige wurden die chemisch gesäuerten Kontrollteige herangezogen, indem die erhaltenen Werte für diese Teige bei den ermittelten Werten für fermentierte Teige abgezogen wurden. Die Hydrolyse und Analyse von wasserlöslichen Polysacchariden wurde wie von (Korakli *et al.*, 2001) beschrieben durchgeführt.

### 3.8.2. Analytik von lyophilisierten Teigen

Die Anwendung der HPLC kam zu Einsatz, um Metabolite und Polysaccharide von wässrigen Extrakten aus lyophilisierten Teigen (siehe Kapitel 4.2.5) zu analysieren. Die Extrakte wurden unter Verwendung von 2 Teilen doppelt deionisiertes Wasser und einem Teil lyophilisierten Teig (siehe Kapitel 3.7.2.3) hergestellt. Anschließend wurden die in den Extrakten enthaltenen Feststoffe durch Zentrifugation (7.500 x g, 30 min) sowie die enthaltenen Proteine durch Fällung mittels 5%iger HClO<sub>4</sub> abgetrennt und steril filtriert. Die Quantifizierung von organischen Säuren wurde mittels einer OAKC Säule (Merck, Darmstadt, Deutschland) gekoppelt an einen Brechungsindexdetektor (Gynkotec, Germering, Deutschland) nach (Korakli *et al.*, 2001) durchgeführt. Zur HPLC Bestimmung der Zusammensetzung von Kohlenhydraten in Teigen kam die Hochleistungs-Anionenaustauschchromatographie mit gepulster elektrochemischer Detektion (HPAEC-PED) zum Einsatz. Hierzu wurde eine CarboPac PA 1 Säule (Dionex, Germering, Germany) sowie ein gepulster elektrochemischer Detektor (Gynkotec, Germering, Germany) verwendet (Kaditzky *et al.*, 2008). Als Injektionsvolumen wurden 20 µL der gereinigten und filtrierten Extrakte unter Verwendung von 0,1 mol NaOH als mobile Phase bei einer Flussrate von 0,6 mL/min eingesetzt. Die Kohlenhydrate wurden mittels externem Standard von Glukose, Fruktose, Maltose Saccharose und Mannitol (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) wie von (Korakli *et al.*, 2001) beschrieben identifiziert und quantifiziert. Die ermittelten Daten der quantitativen Analytik von Metaboliten in fermentierten Teigen basieren auf zwei unabhängigen Experimenten (biologische Replikate) welche extrahiert und in dreifacher Bestimmung (technische Replikate) analysiert wurden.

### 3.9. Herstellung eines Backmittels aus walzengetrockneten Sauerteig

Basierend auf der in dieser Arbeit erfolgten Charakterisierung der EPS-Bildung von MSB (siehe Kapitel 4.1) sowie der optimierten EPS-Bildung in getreideassoziierten Medien (Kaditzky *et al.*, 2008) wurde ein Backmittel mit fermentativ angereicherten EPS hergestellt.

Zu diesem Zweck wurde unter optimierten Bedingungen für die EPS-Bildung ein Teig mit dem Stamm LTH 1729 entsprechen (Kaditzky *et al.*, 2008) hergestellt und anschließend unter Verwendung eines Walzentrockners bei der Firma Böcker (Minden, Deutschland) im Technikumsmaßstab getrocknet. Das hierdurch erhaltene walzengetrocknete Sauerteigpräparat wurde in Teigen mit direkter Teigführung eingesetzt (siehe Kapitel 4.6). Die Anwendbarkeit des walzengetrocknetes Sauerteigpräparates für den Einsatz als EPS-enthaltenden Backmittels zur Verbesserung der Brotqualität wurde anhand den Untersuchungen zum Einfluss auf das rheologische Verhalten von Teigen (analog Kapitel 3.6) sowie den Versuchen zur Haltbarkeit und Textur von Broten (analog Kapitel 3.7.2) demonstriert.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Screening von Milchsäurebakterien auf Exopolysaccharid-Bildung

Die Ergebnisse des Agarplattenscreening hinsichtlich der Bildung von EPS durch Milchsäurebakterien sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Hierbei zeigten 28% der untersuchten Stämme eine starke oder sehr starke EPS-Bildung. Als Entscheidungskriterien welche Organismen und Stämme in die weiteren Untersuchungen miteinbezogen wurden dienten folgende Kriterien:

- Hohe Befähigung an EPS Bildung im Agarplattenscreening
- Vorkommen in Sauerteigen
- einfache und stabile Kultivierbarkeit in Sauerteigen
- einfache kommerzielle Verfügbarkeit als Starterkultur

Unter Berücksichtigung der EPS Bildung (siehe Tabelle 6), des Vorkommens in Sauerteigen (z.B. (Gobbetti *et al.*, 2016; Hammes *et al.*, 2005; Vogel *et al.*, 2011), der Kultivierbarkeit (z.B. (Vogel *et al.*, 2011) und der kommerziellen Verfügbarkeit in Starterkulturen (z.B. Produkte wie Böcker Reinzuchtsauerteig, Ernst Böcker GmbH & Co.KG, Minden) wurden aus den untersuchten Stämmen die Stämme *L. sanfranciscensis* LTH 1729 und *L. sanfranciscensis* LTH 2590 für die weiteren Untersuchungen im Zuge der vorliegenden Arbeit ausgewählt.

**Tabelle 6:** EPS-Bildung bei getreideassoziierten MSB auf mod. Homohiochii Medium

Spezies / Subspezies <sup>1</sup>	Inkubations- temperatur (°C)	Stamm <sup>2</sup>	Schleimbildung <sup>3</sup>
<i>L. acidophilus</i>	37	1660	++
		479	+
<i>L. amylophilus</i>	37	5785 <sup>T</sup>	+
<i>L. amylovorus</i>	37	1359	+
<i>L. brevis</i>	30	2495	+
		5289	+
		5301	+++
<i>L. brevis ssp. lindneri</i>	30	4212	+
<i>L. brevis ssp. brevis</i>	30	2601	+
<i>L. buchneri</i>	30	1208	+
		3880	+++
<i>L. casei</i>	37	2090	+
		3875	+
<i>L. curvatus</i>	30	2029	+++
		3763	+
		3979	+
		5981	++
<i>L. crispatus</i>	37	5529	+
<i>L. cornyformis</i>	37	4815	+
<i>L. delbrueckii</i>	37	4810	+
<i>L. delbrueckii ssp. lactis</i>	37	508	+
		1221	+
		484	+
<i>L. farciminis</i>	30	2569	+
		3761	+
		4812	+
		4824	+
		5735	+++
		1130	+++
<i>L. ferintoshensis</i>	30	1051	-
		3125	-
		3126	+
		4814	+
		5071	-
		5072	-
		5073	-
		5074	-
		5091	-
		5103	-
		5290	+++
<i>L. fermentum</i>	30	5295	+

**Tabelle 6 (Forts.):** EPS-Bildung bei getreideassoziierten MSB auf mod. Homohiochii Medium

Spezies / Subspezies <sup>1</sup>	Inkubations- temperatur (°C)	Stamm <sup>2</sup>	Schleimbildung <sup>3</sup>
<i>L. fermentum</i>	30	5536	++
		5756	++
<i>L. frumenti</i>	30	5252	+
		5253	++
		5530	+
<i>L. gallinarum</i>	37	5759	+
<i>L. mindensis</i>	30	5527	-
<i>L. helveticus</i>	37	1406	+
<i>L. johnsonii</i>	37	4580	+
		4908	+
		5211	+
		5411	+++
		5414	+++
		5533	+
<i>L. panis</i>	30	4913	+
		5052 <sup>T</sup>	+++
		5053	++
		5534	+
<i>L. paracasei</i>	30	5270	+++
		5762	+++
<i>L. paralimentarius</i>	37	5763	+++
<i>L. parabuchneri</i>	30	4910	+
		5450	++
<i>L. pentosus</i>	30	293	+
		482	+
<i>L. perolens</i>	30	5494	++
		5761	++
<i>L. plantarum</i>	30	969	+
		1129	+++
		4827	+
		4813	+
		4936	+
		3764	+
		4213	+
<i>L. pontis</i>	30	1735	-
		3569	+
		3879	-
		4428	-
		4431	-
		4432	-
		4433	-

**Tabelle 6 (Forts.):** EPS-Bildung bei getreideassoziierten MSB auf mod. Homohiochii Medium

Spezies / Subspezies <sup>1</sup>	Inkubations- temperatur (°C)	Stamm <sup>2</sup>	Schleimbildung <sup>3</sup>
<i>L. pontis</i>	30	4796	-
		4811	-
		4819	-
		4997	-
		5039	-
<i>L. reuteri</i>	37	476	+
		970	+
		2584	+
		2688	+
		3569	+
		5140	++
		5180	+
		5234	-
		5235	-
		5236	++
		5296	+
		5297	++
		5298	++
		5299	+++
		3596	+
5448	++		
5531	+		
5532	+		
5982	++		
5983	-		
<i>L. sakei</i>	30	1203	+
		3762	+
		4480	+++
		5461	+
		5729	+
<i>L. sanfranciscensis</i>	30	5926	+
		1721 <sup>T</sup>	++
		1729	++
		1730	-
		2324	-
		2581	-
		2582	-
		2583	+
		2590	+++
		2591	++
2592	++		

**Tabelle 6 (Forts.):** EPS-Bildung bei getreideassoziierten MSB auf mod. Homohiochii Medium

Spezies / Subspezies <sup>1</sup>	Inkubations- temperatur (°C)	Stamm <sup>2</sup>	Schleimbildung <sup>3</sup>
<i>L. sanfranciscensis</i>	30	2325	-
		3578	-
		3583	-
		4153	+
		4418	++
		4453	+
		4464	+
		4466	+
		4469	-
		4475	+
		4582	+
		4807	++
		4809	+
		4818	++
		4878	++
		4939	+++
		5307	+++
<i>L. spec.</i>	30	3012	++
		3014	+
		3016	+
		3020	+++
		3025	++
		3030	+
		3031	+
		3065	+
		3094	+
		3121	+
		4124	+
		4126	+++
		4128	+
		4130	+
		4802	+++
		4816	++
		4817	+
		4825	+
		4911	++
		4927	+
4928	-		
4935	+		
5033	++		
5036	+		

**Tabelle 6 (Forts.):** EPS-Bildung bei getreideassoziierten MSB auf mod. Homohiochii Medium

Spezies / Subspezies <sup>1</sup>	Inkubations- temperatur (°C)	Stamm <sup>2</sup>	Schleimbildung <sup>3</sup>
<i>L. spec.</i>	30	5041	+
		5042	-
		5045	-
		5304	++
		5313	+
		5544	+
<i>L. spicheri</i>	30	5753	++
<i>Lc. lactis ssp. cremoris</i>	30	860	-
<i>Lc. lactis ssp. lactis</i>	30	2153	+
<i>Leuc. mesenteroides ssp. dextranicum</i>	30	653	+
		1393	+
<i>Leuc. dextranicum</i>	30	2745	+++
<i>P. acidilactici</i>	30	1412	+
<i>P. pentosaceus</i>	30	413	+
		767	+
		1413	+
		1436	+
		4166	+
<i>P. cerevisiae</i>	30	1667	+
<i>P. acidilactici</i>	30	371	+
		4909	+
<i>W. confusa</i>	30	1285	+++
		1403	+++
		2270	+
<i>W. viridescens</i>	30	1400	+
		3695	+
		1149	+

<sup>1</sup> *L.*, *Lactobacillus*; *Lc.*, *Lactococcus*; *Leuc.*, *Leuconostoc*; *P.*, *Pediococcus*; *W.*, *Weissella*; *spec.*, *Spezies*; *ssp.*; *Subspezies*; <sup>1</sup>- Typstamm

<sup>2</sup> Stämme der Stammsammlung des Institutes für Lebensmittelmikrobiologie und -hygiene, Universität Hohenheim (LTH-Nummer).

<sup>3</sup> +, glänzende, schleimige Kolonien; ++, stark glänzende, glatte und schleimige Kolonien; +++, stark glänzende Kolonien mit verlaufendem Schleim.

## 4.2. Untersuchungen zur Teig rheologie

Der Einfluss von mikrobiellem EPS, kommerziellen Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Rheologie von Teigen wurde untersucht um Rückschlüsse hinsichtlich des Verhaltens von Teigen während der Aufarbeitung zu bekommen (siehe Kapitel 3.6).

### 4.2.1. Erfassung der Gasbildung, des Gashaltevermögens sowie der Stabilität von Teigen mit und ohne Zusatz von Hydrokolloiden und Vorteigen mit dem Rheofermentometer

Die Einflüsse des Zusatzes von Hydrokolloiden, mikrobiellem EPS und Vorteigen auf die Gasbildung, das Gashaltevermögen sowie die Stabilität der Weizenteige wurden mittels Rheofermentometer untersucht (AACC, 2000g) und ist in

**Tabelle 7** zusammengefasst. Dabei war festzustellen, dass der Zusatz von Guar die Teigstabilität verbesserte, während Xanthan und zugesetzte Vorteige diese verschlechtern. Bei Zusatz von EPS aus dem Stamm LTH 1729 verhielt sich der Teig wie die Kontrolle der direkten Teigführung. Der Zusatz von 0,03% EPS zu chemisch gesäuerte Vorteigen bewirkte stabilere Teige. Mit mikrobiell gesäuertem Vorteig wurden die Teige im Allgemeinen weicher, es zeigte sich aber, dass EPS angereicherte Teige stabiler waren. Die Teigstabilität dieser Teige war innerhalb der Standartabweichung mit jenen des direkten Kontrollteiges vergleichbar.

**Tabelle 7:** Einfluss des Zusatzes von Hydrokolloiden, EPS und Vorteigen auf Parameter der Teigentwicklung und Gasbildung (Rheofermentometer).

Versuch	Teigentwicklungskurve			Gasbildungskurve			
	Max. Höhe Hm (mm)	Zeit T1 bei Hm (min)	Höhe nach 3h (mm)	Max. Höhe H'm (mm)	Zeit T1' bei H'm (min)	Beginn Porosität (min)	Gesamtgasvolumen (mL)
1 Direkte Teigführung	<b>48,7 ± 7,2</b>	<b>149 ± 8</b>	<b>37,7 ± 4,1</b>	<b>61,2 ± 5,1</b>	<b>95 ± 35</b>	<b>91 ± 10</b>	<b>1490 ± 123</b>
5 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6	<b>44,8 ± 2,3</b>	<b>123 ± 7,2</b>	<b>31,9 ± 7,2</b>	<b>58,8 ± 7,2</b>	<b>75 ± 7</b>	<b>79 ± 7</b>	<b>1524 ± 39</b>
6 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 mit 0,03% EPS aus LTH 1729	<b>44,8 ± 0,8</b>	<b>132 ± 8</b>	<b>33,3 ± 10,0</b>	<b>58,2 ± 14,7</b>	<b>77 ± 22</b>	<b>80 ± 22</b>	<b>1530 ± 39</b>
7 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 mit 0,03% EPS aus LTH 2590	<b>47,2 ± 0,5</b>	<b>139 ± 3</b>	<b>36,5 ± 1,2</b>	<b>59,1 ± 1,3</b>	<b>81 ± 6</b>	<b>85 ± 3</b>	<b>1545 ± 37</b>
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	<b>52,3 ± 2,7</b>	<b>150 ± 0</b>	<b>42,4 ± 2,3</b>	<b>59,7 ± 0,4</b>	<b>120 ± 13</b>	<b>106 ± 4</b>	<b>1383 ± 82</b>
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	<b>38,8 ± 3,7</b>	<b>113 ± 28</b>	<b>28,7 ± 2,7</b>	<b>55,1 ± 1,7</b>	<b>96 ± 30</b>	<b>88 ± 4</b>	<b>1424 ± 57</b>
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 1729	<b>53,0 ± 2,7</b>	<b>143 ± 2</b>	<b>34,7 ± 6,2</b>	<b>64,3 ± 0,3</b>	<b>90 ± 4</b>	<b>94 ± 4</b>	<b>1467 ± 8</b>
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 2590	<b>43,8 ± 6,9</b>	<b>110 ± 23</b>	<b>31,6 ± 1,8</b>	<b>60,9 ± 2,4</b>	<b>90 ± 4</b>	<b>87 ± 3</b>	<b>1519 ± 36</b>
13 Vorteig 1729 ohne Saccharose	<b>44,9 ± 1,6</b>	<b>125 ± 8</b>	<b>23,7 ± 2,7</b>	<b>61,0 ± 3,6</b>	<b>85 ± 38</b>	<b>87 ± 15</b>	<b>1557 ± 118</b>
14 Vorteig 1729 mit 10% Saccharose	<b>47,4 ± 0,8</b>	<b>137 ± 11</b>	<b>32,3 ± 4,4</b>	<b>60,3 ± 0,6</b>	<b>81 ± 8</b>	<b>94 ± 4</b>	<b>1490 ± 23</b>
15 Vorteig 2590 ohne Saccharose	<b>42,0 ± 4,2</b>	<b>126 ± 5</b>	<b>14,2 ± 5,8</b>	<b>54,9 ± 7,5</b>	<b>111 ± 36</b>	<b>89 ± 9</b>	<b>1424 ± 150</b>
16 Vorteig 2590 mit 10% Saccharose	<b>47,6 ± 1,6</b>	<b>146 ± 16</b>	<b>29,6 ± 8,2</b>	<b>57,4 ± 7,3</b>	<b>102 ± 7</b>	<b>99 ± 17</b>	<b>1542 ± 58</b>

#### 4.2.2. Effekte von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Teigausbeute und Kneteigenschaften

Mit Hilfe des Farinographen wurden die Wasseraufnahme der Teige, der Knetwiderstand und die Teigentwicklung ermittelt (ICC, 1996f). Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 8 dargestellt. Grundsätzlich wurde beobachtet, dass die Teige mit zunehmender Konzentration an Hydrokolloiden eine höhere Teigausbeute aufwiesen als die Kontrolle mit direkter Teigführung. Hinsichtlich der Zugabe von EPS aus dem Stamm LTH 2590 war dieser Effekt am stärksten ausgeprägt. Bei Zugabe von chemisch gesäuerten Vorteigen und Vorteigen mit *L. sanfranciscensis* und Saccharose war ebenfalls eine Tendenz zu leicht erhöhten Teigausbeuten ersichtlich. Bei Vorteigen mit Saccharose wurde ursprünglich davon ausgegangen, dass *L. sanfranciscensis* die Saccharose vollständig verstoffwechselt und keine Rest-Saccharosegehalte in Teigen vorliegen, die einen Einfluss auf die Teigeigenschaften nehmen können. Durch Nachweis der Rest-Saccharosegehalte in den Vorteigen (siehe Kapitel 3.8) wurde diese Annahme widerlegt (siehe Tabelle 12). Die Untersuchungen mittels Farinogramm zeigen (ICC, 1996f), dass das Vorhandensein von Saccharose in den Teigen eine erniedrigte TA bewirkt und dieser Effekt durch das gebildete EPS aufgehoben wird (siehe Tabelle 8). Ebenso wurde die Teigstabilität bei Zugabe von Hydrokolloiden bzw. Vorteig mit mikrobiell gebildetem EPS leicht erhöht. Während sich jeglicher Zusatz von Vorteigen negativ auf die Teigstabilität ausübt, zeigte der Zusatz von Vorteigen mit angereicherten EPS eine Erhöhung der Teigstabilität im Vergleich zur chemisch gesäuerten Kontrolle mit pH 3.6.

**Tabelle 8:** Einfluss des Zusatzes von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Teigausbeute, Teigentwicklung und Teigstabilität.

Versuch	Teig- ausbeute	Teigent- wicklung (min)	Teigstabilität (min)
1 Direkte Teigführung	<b>159,8</b> ± 0,1	1,6	10,2
3 Vorteig ohne Mikroorganismen pH 6,2	<b>160,6</b> ± 0,4	2,0	9,7
4 Vorteig chem. gesäuert pH 5,6	<b>160,5</b> ± 0,4	4,2	9,7
5 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6	<b>160,6</b> ± 0,2	1,5	7,9
6 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 1729	<b>161,3</b> ± 0,4	2,1	7,4
7 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 2590	<b>160,7</b> ± 0,4	1,3	8,4
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	<b>160,3</b> ± 0,1	1,6	8,9
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	<b>161,1</b> ± 0,4	3,5	12,5
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 1729	<b>160,9</b> ± 0,3	3,0	10,6
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 2590	<b>161,3</b> ± 0,6	4,0	9,8
13 Vorteig mit LTH 1729 ohne Saccharose	<b>160,3</b> ± 0,6	1,3	8,0
14 Vorteig mit LTH 1729 mit 10% Saccharose	<b>160,5</b> ± 0,6	1,6	9,7
15 Vorteig mit LTH 2590 ohne Saccharose	<b>159,9</b> ± 0,3	1,5	6,3
16 Vorteig mit LTH 2590 mit 10% Saccharose	<b>160,3</b> ± 0,3	1,6	7,0

#### 4.2.3. Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf das Breite-Höhe-Verhältnis von Teigen

Die Untersuchung des Breite-Höhe-Verhältnis von verschiedenen Teigen (siehe Kapitel 3.6.4) zeigte für alle Teige, bis auf den Teig mit Zugabe von Xanthan, ähnliche Effekte (siehe Tabelle 9). Für den Teig mit Zugabe von Xanthan war festzustellen, dass dieser als einziger Teig weniger breit lief (siehe Tabelle 9). Alle anderen Teige liefen innerhalb von 3 Stunden auf ein Breite-Höhe Verhältnis von 2,4 breit. Dies entsprach einer Höhe von ca. 3 cm und einem Durchmesser von ca. 7 cm. Die Breite-Höhe-Verhältnisse unterschieden sich dabei innerhalb der 3 Stunden kaum auf eine Einstellung der Teige im Farinogramm auf 500 FE zurückgeführt wurde. Dadurch wurden die Effekte der Zugabe von Guar und EPS zu den Teigen ausgeglichen, so dass allein die Zugabe von Xanthan zu den Teigen eine festere und weniger elastische Teigstruktur bewirkte.

**Tabelle 9:** Breite-Höhe-Verhältnisse von Teigen mit und ohne Zusatz von Hydrokolloiden bzw. Vorteigen.

Versuch	Durchmesser/Höhe						
	0 h	0,5 h	1 h	1,5 h	2 h	2,5 h	3 h
1 Direkte Teigführung	1,6	1,8	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3
5 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6	1,5	1,9	2,0	2,2	2,3	2,3	2,3
6 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 1729	1,6	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3
7 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 2590	1,6	1,9	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	1,5	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	1,5	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 1729	1,5	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 2590	1,5	1,8	1,9	2,1	2,2	2,2	2,3
13 Vorteig mit LTH 1729 ohne Saccharose	1,5	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3
14 Vorteig mit LTH 1729 mit 10% Saccharose	1,5	1,9	2,0	2,2	2,3	2,3	2,4
15 Vorteig mit LTH 2590 ohne Saccharose	1,6	1,9	2,0	2,2	2,3	2,3	2,4
16 Vorteig mit LTH 2590 mit 10% Saccharose	1,5	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4

#### 4.2.4. Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die viskoelastischen

##### Eigenschaften von Teigen

Zur Untersuchung der Effekte des Zusatzes von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die viskoelastischen Eigenschaften von Teigen wurde das Bohlin-Rheometer eingesetzt (siehe Kapitel 3.6.4). In Tabelle 10 sind die Mittelwerte der Ergebnisse der Oszillations- und Kriech-Erholungsmessungen mit dem Bohlin-Rheometer von Teigen mit Hydrokolloiden und Vorteigen aufgezeigt. Die untersuchten Teige verhielten sich insgesamt einander sehr ähnlich und zeigten vor allem im Oszillationstest, insbesondere beim Phasenwinkel, nur geringe Unterschiede. Dabei sind die geringen Unterschiede auch darauf zurückzuführen, dass die Teige auf gleiche Festigkeit im Farinographen unter Verwendung der ICC Standard Methode 115/1 (ICC, 1996f) eingestellt wurden. Die untersuchten Teige mit Zugabe von Guar und Xanthan waren im Vergleich zu den Kontrollteigen mit direkter Teigführung fester und weniger elastisch (siehe Tabelle 10). Diese Einflüsse verstärkten sich beim Einsatz von erhöhten

Konzentrationen an Guar und Xanthan. Dagegen waren die Teige mit Zugabe von EPS, bei ebenfalls erhöhter Wasseraufnahme, weicher und elastischer. Bei Zugabe von Vorteigen waren in Abhängigkeit von dem eingesetzten Vorteig unterschiedliche Effekte zu beobachten. Bei Teigen mit chemisch gesäuertem Vorteig (pH 3,6) bewirkte der Zusatz von EPS aus dem Stamm LTH 2590 einen festeren und weniger elastischen Teig als EPS aus dem Stamm LTH 1729. Bei Vorteigen mit *L. sanfranciscensis* zeichnete sich die Tendenz ab, dass Teige mit Vorteig mit LTH 1729 mit Saccharose etwas weicher waren als ohne Saccharose; bei Vorteig mit LTH 2590 war es umgekehrt. Die Ergebnisse der Oszillationstest und des Kriechtest korrelierten bei allen Messungen miteinander.

**Tabelle 10:** Einfluss des Zusatzes von Hydrokolloiden und Vorteigen auf Parameter der Oszillations- und Kriech-Erholungsmessungen mit dem Bohlin-Rheometer.

Versuch	Oszillationstest (10 Hz)		Kriech-Erholungsmessung		
	Komplexmodul $ G^* $ (Pa)	Phasenwinkel $\delta$ (°)	Max. Kriechkomplianz (1/Pa)	Erholungskomplianz (1/Pa)	Relative Erholung
1 Direkte Teigführung	<b>1,40•10<sup>4</sup></b> ± 0,03•10 <sup>4</sup>	<b>22,9</b> ± 0,4	<b>5,99•10<sup>-3</sup></b> ± 0,46•10 <sup>-3</sup>	<b>4,30•10<sup>-3</sup></b> ± 0,91•10 <sup>-3</sup>	<b>0,71</b>
3 Vorteig ohne Mikroorganismen pH 6,2	<b>1,37•10<sup>4</sup></b> ± 0,03•10 <sup>4</sup>	<b>23,2</b> ± 0,1	<b>7,49•10<sup>-3</sup></b> ± 0,52•10 <sup>-3</sup>	<b>5,95•10<sup>-3</sup></b> ± 0,57•10 <sup>-3</sup>	<b>0,80</b>
4 Vorteig chem. gesäuert pH 5,6	<b>1,27•10<sup>4</sup></b> ± 0,11•10 <sup>4</sup>	<b>23,6</b> ± 0,4	<b>8,59•10<sup>-3</sup></b> ± 1,32•10 <sup>-3</sup>	<b>6,91•10<sup>-3</sup></b> ± 1,17•10 <sup>-3</sup>	<b>0,80</b>
5 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6	<b>1,32•10<sup>4</sup></b> ± 0,04•10 <sup>4</sup>	<b>23,7</b> ± 0,2	<b>9,24•10<sup>-3</sup></b> ± 0,92•10 <sup>-3</sup>	<b>7,86•10<sup>-3</sup></b> ± 1,17•10 <sup>-3</sup>	<b>0,83</b>
6 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 1729	<b>1,36•10<sup>4</sup></b> ± 0,12•10 <sup>4</sup>	<b>23,8</b> ± 0,1	<b>8,83•10<sup>-3</sup></b> ± 1,71•10 <sup>-3</sup>	<b>7,24•10<sup>-3</sup></b> ± 1,62•10 <sup>-3</sup>	<b>0,82</b>
7 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 2590	<b>1,41•10<sup>4</sup></b> ± 0,02•10 <sup>4</sup>	<b>23,6</b> ± 0,1	<b>7,38•10<sup>-3</sup></b> ± 0,15•10 <sup>-3</sup>	<b>5,86•10<sup>-3</sup></b> ± 0,16•10 <sup>-3</sup>	<b>0,79</b>
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	<b>1,71•10<sup>4</sup></b> ± 0,11•10 <sup>4</sup>	<b>23,2</b> ± 0,5	<b>4,31•10<sup>-3</sup></b> ± 1,34•10 <sup>-3</sup>	<b>3,11•10<sup>-3</sup></b> ± 0,16•10 <sup>-3</sup>	<b>0,71</b>
Direkte Teigführung + 1,0% Guar	<b>2,21•10<sup>4</sup></b> ± 0,03•10 <sup>4</sup>	<b>23,9</b> ± 0,3	<b>3,49•10<sup>-3</sup></b> ± 0,21•10 <sup>-3</sup>	<b>2,45•10<sup>-3</sup></b> ± 0,34•10 <sup>-3</sup>	<b>0,70</b>
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	<b>1,61•10<sup>4</sup></b> ± 0,21•10 <sup>4</sup>	<b>23,1</b> ± 0,6	<b>3,84•10<sup>-3</sup></b> ± 0,64•10 <sup>-3</sup>	<b>2,63•10<sup>-3</sup></b> ± 0,46•10 <sup>-3</sup>	<b>0,68</b>
Direkte Teigführung + 1,0% Xanthan	<b>1,86•10<sup>4</sup></b> ± 0,02•10 <sup>4</sup>	<b>21,4</b> ± 0,2	<b>1,77•10<sup>-3</sup></b> ± 0,61•10 <sup>-3</sup>	<b>1,02•10<sup>-3</sup></b> ± 0,53•10 <sup>-3</sup>	<b>0,58</b>
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 1729	<b>1,34•10<sup>4</sup></b> ± 0,08•10 <sup>4</sup>	<b>23,4</b> ± 0,4	<b>7,98•10<sup>-3</sup></b> ± 1,46•10 <sup>-3</sup>	<b>6,38•10<sup>-3</sup></b> ± 1,38•10 <sup>-3</sup>	<b>0,80</b>
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 2590	<b>1,35•10<sup>4</sup></b> ± 0,04•10 <sup>4</sup>	<b>23,9</b> ± 0,3	<b>8,83•10<sup>-3</sup></b> ± 1,11•10 <sup>-3</sup>	<b>7,92•10<sup>-3</sup></b> ± 0,93•10 <sup>-3</sup>	<b>0,82</b>
13 Vorteig mit LTH 1729 ohne Saccharose	<b>1,52•10<sup>4</sup></b> ± 0,02•10 <sup>4</sup>	<b>23,3</b> ± 0,5	<b>5,65•10<sup>-3</sup></b> ± 0,88•10 <sup>-3</sup>	<b>4,31•10<sup>-3</sup></b> ± 0,87•10 <sup>-3</sup>	<b>0,76</b>
14 Vorteig mit LTH 1729 mit 10% Saccharose	<b>1,48•10<sup>4</sup></b> ± 0,16•10 <sup>4</sup>	<b>23,9</b> ± 0,1	<b>6,80•10<sup>-3</sup></b> ± 1,72•10 <sup>-3</sup>	<b>5,43•10<sup>-3</sup></b> ± 1,55•10 <sup>-3</sup>	<b>0,80</b>
15 Vorteig mit LTH 2590 ohne Saccharose	<b>1,33•10<sup>4</sup></b> ± 0,16•10 <sup>4</sup>	<b>23,8</b> ± 0,4	<b>8,59•10<sup>-3</sup></b> ± 1,29•10 <sup>-3</sup>	<b>7,12•10<sup>-3</sup></b> ± 1,38•10 <sup>-3</sup>	<b>0,81</b>
16 Vorteig mit LTH 2590 mit 10% Saccharose	<b>1,48•10<sup>4</sup></b> ± 0,15•10 <sup>4</sup>	<b>23,7</b> ± 0,3	<b>7,03•10<sup>-3</sup></b> ± 1,77•10 <sup>-3</sup>	<b>5,60•10<sup>-3</sup></b> ± 1,61•10 <sup>-3</sup>	<b>0,79</b>

#### **4.2.5. Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Teigklebrigkeit**

Bei der Untersuchung des Einflusses von Hydrokolloiden bzw. Vorteig auf die Klebrigkeit (Stickiness) von Teigen mittels Texture Analyser nach gemessen (siehe Kapitel 3.6.2) wurde ebenfalls die zur Teigherstellung eingesetzte Mehlqualität berücksichtigt (siehe Kapitel 2.1). Die Ergebnisse zur Auswirkung der Zugabe von Hydrokolloiden und Vorteigen für Mehle mit mittlerer und starker Mehlqualität sind in Tabelle 11 zusammengefasst. Dabei war generell festzustellen, dass beim Einsatz von Mehlen mit mittlerer Mehlqualität im Vergleich zu Mehlen mit starker Mehlqualität die Teige weniger klebrig waren.

##### **4.2.5.1. Teigklebrigkeit bei Zugabe von direkt geführten Teigen**

Zur Untersuchung des Einflusses von Hydrokolloiden und EPS auf die Klebrigkeit von Teigen wurde verschiedene Konzentrationen an Hydrokolloiden und isoliertem EPS den direkt geführten Weizenteigen zugesetzt (siehe Kapitel 3.5.3). Dabei zeigte sich mit zunehmender Konzentration von Hydrokolloiden bzw. isoliertem EPS zu den direkt geführten Teigen ein Anstieg der Teigausbeute und eine Abnahme der Klebrigkeit (Tabelle 11). Somit kann bei gleicher Teigfestigkeit mehr Wasser geschüttet (Tabelle 8 und Tabelle 11) und dabei die Klebrigkeit der Teige verringert werden. Diese Ergebnisse konnten bei beiden verwendeten Mehlqualitäten beobachtet werden.

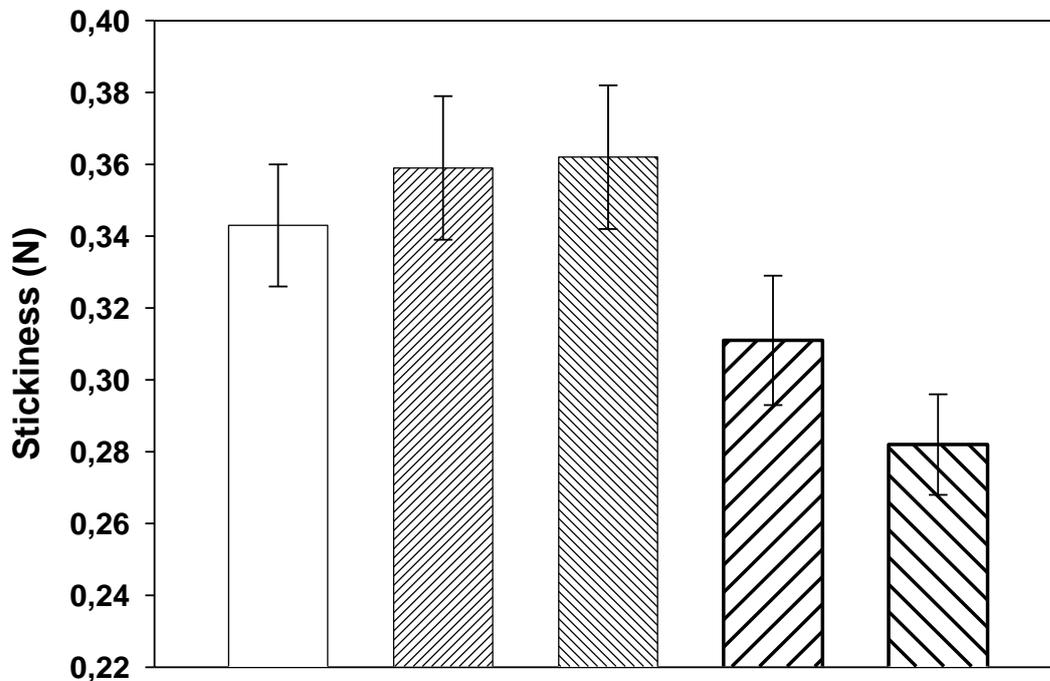
**Tabelle 11:** Einfluss des Zusatzes von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Klebrigkeit von Weizenteigen bei verschiedenen Mehlqualitäten.

Versuch	Klebrigkeit	
	mittlere Mehlqualität (N)	starke Mehlqualität (N)
1 Direkte Teigführung	<b>0,328</b> ± 0,017	<b>0,336</b> ± 0,028
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	<b>0,261</b> ± 0,020	<b>0,327</b> ± 0,023
Direkte Teigführung + 0,5% Guar	<b>0,248</b> ± 0,010	<b>0,286</b> ± 0,019
Direkte Teigführung + 1,0% Guar	<b>0,236</b> ± 0,013	<b>0,282</b> ± 0,022
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	<b>0,257</b> ± 0,018	<b>0,339</b> ± 0,019
Direkte Teigführung + 0,5% Xanthan	<b>0,265</b> ± 0,016	<b>0,344</b> ± 0,018
Direkte Teigführung + 1,0% Xanthan	<b>0,262</b> ± 0,012	-
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 1729	<b>0,288</b> ± 0,019	<b>0,301</b> ± 0,020
Direkte Teigführung + 1,0% EPS aus LTH 1729	<b>0,269</b> ± 0,018	-
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS aus LTH 2590	<b>0,270</b> ± 0,019	<b>0,298</b> ± 0,021
Direkte Teigführung + 1,0% EPS aus LTH 2590	<b>0,261</b> ± 0,020	-
3 Vorteig ohne Mikroorganismen pH 6,2	<b>0,344</b> ± 0,016	-
4 Vorteig chem. gesäuert pH 5,6	<b>0,359</b> ± 0,020	-
5 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6	<b>0,362</b> ± 0,020	<b>0,379</b> ± 0,025
6 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 1729	<b>0,318</b> ± 0,028	-
7 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 2590	<b>0,298</b> ± 0,028	-
13 Vorteig mit LTH 1729 ohne Saccharose	<b>0,311</b> ± 0,018	<b>0,339</b> ± 0,010
14 Vorteig mit LTH 1729 mit 10% Saccharose	<b>0,335</b> ± 0,016	<b>0,362</b> ± 0,021
15 Vorteig mit LTH 2590 ohne Saccharose	<b>0,287</b> ± 0,015	<b>0,322</b> ± 0,022
16 Vorteig mit LTH 2590 mit 10% Saccharose	<b>0,312</b> ± 0,017	<b>0,375</b> ± 0,027
Vorteig mit LTH 1729 ohne Saccharose mit Zusatz von Restzucker	<b>0,323</b> ± 0,018	-
Vorteig mit LTH 2590 ohne Saccharose mit Zusatz von Restzucker	<b>0,326</b> ± 0,019	-
-	Werte nicht ermittelt	

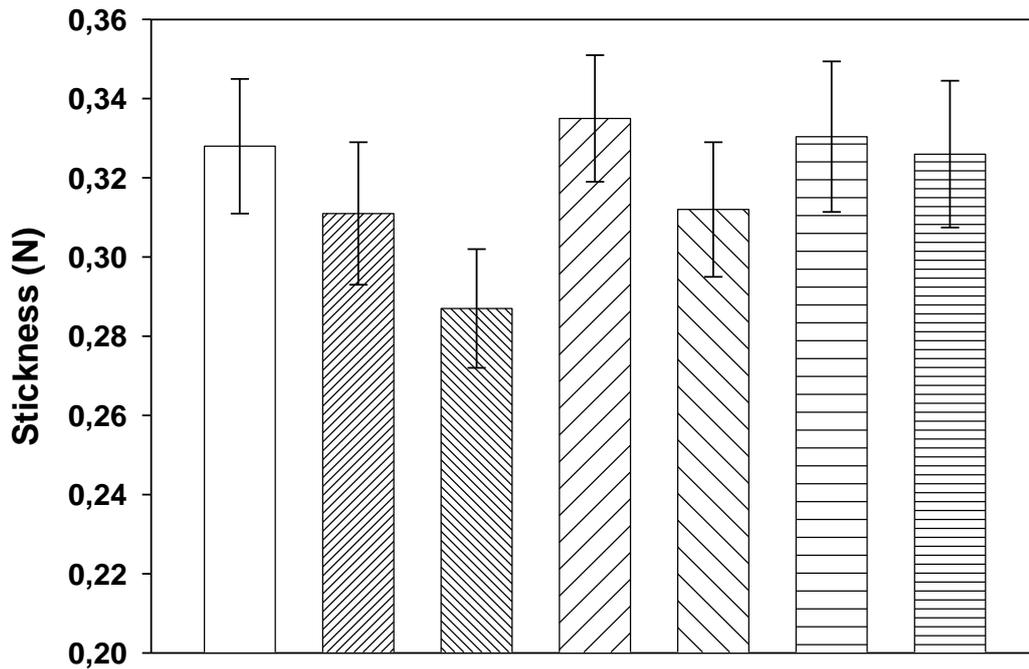
#### 4.2.5.2. Teigklebrigkeit bei Zugabe von Vorteigen

Um die Wirkung von EPS im biologisch gesäuerten Vorteig nachweisen zu können, wurden zunächst Kontrollversuche mit chemisch gesäuerten Weizenvorteigen durchgeführt (siehe Kapitel 3.5.2). Dabei zeigte sich, dass mit sinkenden pH-Wert die Klebrigkeit von Teigen generell zunahm (siehe Abbildung 1). Dieser Effekt ließ sich durch Zusatz von isoliertem EPS in chemisch gesäuerten Vorteigen aufheben bzw. verringern (Abbildung 1). Daher ist davon auszugehen, dass EPS auch bei pH-Absenkung, wie z.B. in Sauerteigen, die Wirkung hinsichtlich der Klebrigkeit von Teigen behält. Weiterhin wurden Vorteige unter Verwendung der beiden EPS-bildenden Laktobazillen ohne Saccharose hergestellt um den Einfluss der erhöhten EPS Bildung zu erfassen (siehe Kapitel 3.5.2) und nach erfolgter Zugabe zu Teigen der Einfluss auf die Klebrigkeit von diesen gemessen. Dabei konnte eine leichte Verringerung der Klebrigkeit aufgezeigt werden (siehe Abbildung 2). Die Bestimmung der EPS-Konzentration in den Vorteigen (siehe Kapitel 3.8.1) zeigte, dass ca. die 5-6 fache EPS-Menge im Vorteig bei der Zugabe von 10% Saccharose gebildet wird (siehe Tabelle 12). Demzufolge ist davon auszugehen, dass durch eine EPS-Anreicherung im Vorteig abermals die Klebrigkeit der Teige verringert werden kann. Im Zuge der durchgeführten Versuche konnte diese Annahme jedoch nicht bestätigt werden, da die Messung der Klebrigkeit von Weizenteigen, welche mit EPS-angereicherten Vorteigen hergestellt wurden, eine Erhöhung der Klebrigkeit bewirkte (siehe Abbildung 2). Da diese Ergebnisse jedoch im Widerspruch zu den erhaltenen Ergebnissen der direkten bzw. chemisch gesäuerten Vorteigführungen standen (siehe Abbildung 1), wurden daraufhin wurden die Vorteige auf Substratverbrauch bzw. Produktbildung untersucht (siehe Kapitel 3.8.2). Dabei war ersichtlich, dass bei Fermentationsende noch Restzuckergehalte von Glucose, Saccharose und Maltose von ca. 0,7-1,2% sowie erhöhte Mengen an Mannit in den Teigen vorhanden waren (siehe Tabelle 12). Um die Erhöhung der Klebrigkeit auf die unterschiedlichen Gehalte an Zucker bzw. Mannit in den Vorteigen zurückführen zu können, wurden weitere Untersuchungen an Weizenteigen durchgeführt, welche mit Vorteigen ohne EPS-Anreicherung hergestellt wurden (siehe Kapitel 3.5.2). Hierzu wurde bei der Teigbereitung neben dem Vorteig die Differenz an Restzucker um den gleichen Gehalt an Zucker bei Ende der Fermentation zu erreichen, zugegeben. Die anschließenden Untersuchungen zur Klebrigkeit der Teige zeigten eine vergleichbare Zunahme der Klebrigkeit der Weizenteige, wie es bei Teigen, welche mit EPS-angereicherten Vorteigen hergestellt wurden, der Fall war (siehe Abbildung 2). Demzufolge wurde die Annahme bestätigt, dass die Erhöhung der Klebrigkeit von Weizenteigen, welche

mit EPS-angereicherten Vorteigen hergestellt wurden, auf noch vorhandenen Restzuckergehalten in den Teigen resultiert.



**Abbildung 1:** Einfluss des pH-Wertes im Vorteig mit und ohne Zusatz von EPS auf die Klebrigkeit von Weizenteigen. (□), direkte Teigführung; (▨), chemisch gesäuerter Vorteig pH 5,7; (▩), chemisch gesäuerter Vorteig pH 3,6; (▧), chemisch gesäuerter Vorteig pH 3,6 + EPS aus LTH 1729; (▦), chemisch gesäuerter Vorteig pH 3,6 + EPS aus LTH 2590.



**Abbildung 2:** Einfluss der EPS-Bildung in Vorteigen auf die Klebrigkeit von Weizenteigen. (□), Kontrolle; (▨), LTH 1729 ohne EPS-Anreicherung; (▩), LTH 2590 ohne EPS-Anreicherung; (▧), LTH 1729 ohne EPS-Anreicherung; (▦), LTH 2590 mit EPS-Anreicherung; (▨), LTH 1729 ohne EPS-Anreicherung mit Restzucker; (▩), LTH 2590 mit EPS-Anreicherung mit Restzucker.

**Tabelle 12:** Substratverbrauch und Produktbildung in Weizenvorteigen nach 22h Fermentation bei 30°C.

Vorteig	pH	(mMol)							(g/kg) Fruktan *
		Saccharose	Maltose	Glukose	Fruktose	Mannitol	Laktat	Acetat	
Chemisch gesäuert	3,6	<b>0,29</b> ±0,01	<b>1,37</b> ±0,03	<b>0,14</b> ±0,00	<b>0,07</b> ±0,01	<b>n.n.</b>	-	-	-
<i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 ohne Saccharose	3,6	<b>n.n.</b>	<b>9,84</b> ±0,38	<b>3,22</b> ±0,08	<b>0,25</b> ±0,02	<b>2,14</b> ±0,04	<b>157,7</b> ±0,20	<b>21,2</b> ±0,20	<b>1,06</b> ±0,10
<i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 mit 10% Saccharose	3,5	<b>3,27</b> ±0,13	<b>12,00</b> ±0,27	<b>17,70</b> ±0,26	<b>n.n.</b>	<b>10,40</b> ±0,36	<b>123,4</b> ±0,20	<b>59,8</b> ±0,20	<b>6,24</b> ±0,21
<i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 ohne Saccharose	3,5	<b>n.n.</b>	<b>8,71</b> ±0,47	<b>2,11</b> ±0,12	<b>0,08</b> ±0,04	<b>2,15</b> ±0,07	<b>153,4</b> ±0,20	<b>17,5</b> ±0,20	-
<i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 mit 10% Saccharose	3,5	<b>2,99</b> ±0,11	<b>10,20</b> ±0,41	<b>17,57</b> ±0,57	<b>n.n.</b>	<b>9,98</b> ±0,47	<b>131,9</b> ±0,20	<b>54,7</b> ±0,20	<b>5,19</b> ±1,25

\* Differenzwert (8,63 g/kg) abzüglich chemisch gesäuertes Kontrolle.

### 4.2.5.3. Teigklebrigkeit bei Roggenteigen

Beispielhaft wurden Untersuchungen der Klebrigkeit auch an Roggen- und Roggenmischteigen durchgeführt (siehe Kapitel 3.6.2) um den Einfluss des Einsatzes von EPS und EPS angereicherten Vorteigen unter Verwendung von Anteilen von Roggenmehl zu erfassen. Bei der Herstellung von Roggenteigen konnte im Gegensatz zu Roggenmischteigen durch Zusatz von Vorteigen die Wasseraufnahme erhöht werden (siehe Tabelle 13). Die Ergebnisse der Klebrigkeitsmessung (siehe Kapitel 3.6.2) von Roggen- und Roggenmischteigen verhält sich vergleichbar wie die Ergebnisse zur Klebrigkeitsmessung von Weizenteigen (siehe Tabelle 14 und Tabelle 11). Dabei war ebenfalls durch Zusatz von Vorteigen, welche mit EPS-bildenden Laktobazillen ohne Saccharose fermentiert wurden, eine abnehmende Klebrigkeit der Teige festzustellen. Somit ist davon auszugehen, dass sowohl in Weizen- als auch in Roggenteigen durch den Einsatz von EPS bildenden Laktobazillen in Vorteigen die Klebrigkeit positiv beeinflusst werden kann.

**Tabelle 13:** Teigausbeute von Roggenteigen bei direkter Teigführung und bei Vorteigführung.

Mehlmischung	Teigausbeute		
	direkt	Vorteig mit LTH 1729	Vorteig mit LTH 2590
T 1150; 100%	<b>175,0<sup>1</sup> ± 0,1</b>	<b>176,7<sup>1</sup> ± 0,5</b>	<b>177,1<sup>1</sup> ± 0,5</b>
T 1150:T550; 1:1	<b>169,0<sup>2</sup> ± 0,3</b>	<b>167,9<sup>2</sup> ± 0,6</b>	<b>168,6<sup>2</sup> ± 0,3</b>

<sup>1</sup>300 FE nach 10 min.; <sup>2</sup>400 FE nach 8 min.

**Tabelle 14:** Einfluss der Vorteigführung auf die Klebrigkeit von Roggen- und Roggenmischteigen.

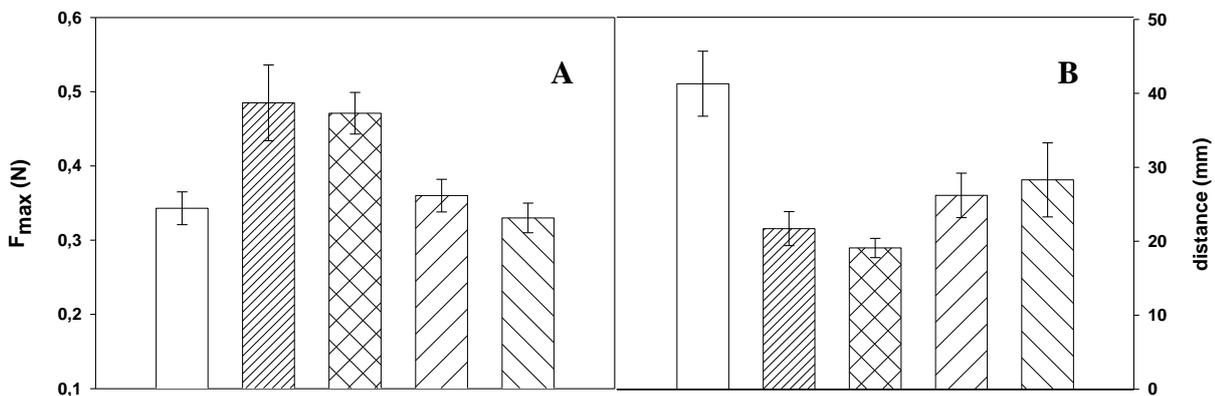
Versuch	Klebrigkeit (N)	
	Roggenmehl (T1150)	Roggenmehl (T 1150) : Weizenmehl (T 550); 1:1
Direkte Teigführung	<b>0,333 ± 0,018</b>	<b>0,369 ± 0,019</b>
Vorteig mit LTH 1729	<b>0,315 ± 0,012</b>	<b>0,354 ± 0,027</b>
Vorteig mit LTH 2590	<b>0,295 ± 0,015</b>	<b>0,345 ± 0,022</b>

#### 4.2.6. Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf das Dehnverhalten von Teigen

In Tabelle 15 und Tabelle 16 sind der maximale Dehnwiderstand  $F_{\max}$  und der Dehnungsweg bis zu  $F_{\max}$  bei der mittleren bzw. starken Mehlqualität dargestellt. Allgemein kann gesagt werden, dass bedingt durch den höheren Klebergehalt des starken Mehles die Werte für das Extensogramm im Vergleich zu dem kleberschwächeren Mehl insgesamt höher ausfallen. Dies wird auch durch das Verhältnis von Dehnwiderstand zu Dehnbarkeit ( $R/E$ ) verdeutlicht.

##### 4.2.6.1. Dehnverhalten bei Zugabe von direkt geführten Teigen

Durch den Einsatz der kommerziellen Hydrokolloide Guar oder Xanthan wurde im Vergleich zur Kontrolle der Dehnwiderstand erhöht und die Dehnbarkeit erniedrigt. Dieser Effekt vergrößerte sich bei ansteigender Konzentration des jeweiligen Hydrokolloids (siehe Abbildung 3). Dies äußerte sich spürbar in den Teigen, welche mit steigender Hydrokolloidzugabe kürzer und fester wurden, bis eine eher zähe Teigstruktur erreicht wurde, welche sich negativ auf die Aufarbeitung, das Volumen und somit die Gebäckqualität der daraus hergestellten Gebäcke auswirkt (vgl. siehe Tabelle 25 und Tabelle 26 in Kapitel 4.4.2).



**Abbildung 3:** Einfluss des Hydrokolloidzusatzes auf den Dehnwiderstand (A) und die Dehnbarkeit (B) von direkt geführten Weizenteigen. (□), Kontrolle; (▨), Guar, 1%; (⊠), Xanthan, 1%; (▩), EPS aus LTH 1729, 1%; (▮), EPS aus LTH 2590, 1%.

**Tabelle 15:** Dehnverhalten von Teigen mit Zusatz von Hydrokolloiden und Vorteigen (mittlere Mehlqualität).

Versuch	Extensogrammparameter		
	F <sub>max</sub> (N)	Weg bis F <sub>max</sub> (mm)	Verhältnis- zahl R/E
1 Direkte Teigführung	<b>0,343</b> ± 0,022	<b>41,3</b> ± 4,4	0,0083
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	<b>0,226</b> ± 0,011	<b>59,0</b> ± 5,1	0,0038
Direkte Teigführung + 0,5% Guar	<b>0,441</b> ± 0,031	<b>24,8</b> ± 2,5	0,0178
Direkte Teigführung + 1,0% Guar	<b>0,485</b> ± 0,051	<b>21,7</b> ± 2,3	0,0224
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	<b>0,212</b> ± 0,014	<b>53,2</b> ± 4,7	0,0040
Direkte Teigführung + 0,5% Xanthan	<b>0,429</b> ± 0,030	<b>24,2</b> ± 1,3	0,0177
Direkte Teigführung + 1,0% Xanthan	<b>0,471</b> ± 0,028	<b>19,1</b> ± 1,3	0,0247
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 1729	<b>0,318</b> ± 0,014	<b>38,1</b> ± 3,5	0,0084
Direkte Teigführung + 1,0% EPS 1729	<b>0,360</b> ± 0,008	<b>26,2</b> ± 3,0	0,0137
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 2590	<b>0,286</b> ± 0,033	<b>51,1</b> ± 7,8	0,0056
Direkte Teigführung + 1,0% EPS 2590	<b>0,330</b> ± 0,020	<b>28,3</b> ± 5,0	0,0117
3 Vorteig ohne Mikroorganismen pH 6,2	<b>0,300</b> ± 0,026	<b>40,4</b> ± 3,9	0,0074
4 Vorteig chem. gesäuert pH 5,6	<b>0,255</b> ± 0,015	<b>45,4</b> ± 4,6	0,0056
5 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6	<b>0,219</b> ± 0,017	<b>45,7</b> ± 6,0	0,0048
6 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 1729	<b>0,299</b> ± 0,024	<b>36,0</b> ± 2,4	0,0083
7 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 2590	<b>0,281</b> ± 0,025	<b>34,6</b> ± 2,9	0,0081
13 Vorteig mit LTH 1729 ohne Saccharose	<b>0,188</b> ± 0,022	<b>53,5</b> ± 3,0	0,0035
14 Vorteig mit LTH 1729 mit 10% Saccharose	<b>0,284</b> ± 0,029	<b>39,3</b> ± 4,5	0,0072
15 Vorteig mit LTH 2590 ohne Saccharose	<b>0,234</b> ± 0,020	<b>45,4</b> ± 5,2	0,0052
16 Vorteig mit LTH 2590 mit 10% Saccharose	<b>0,276</b> ± 0,021	<b>40,6</b> ± 5,0	0,0068
Vorteig mit LTH 1729 ohne Saccharose Zusatz mit Restzucker	<b>0,334</b> ± 0,034	<b>28,4</b> ± 3,9	0,0118
Vorteig mit LTH 2590 ohne Saccharose Zusatz mit Restzucker	<b>0,296</b> ± 0,015	<b>25,0</b> ± 2,8	0,0118

Die Verhältniszahl R/E gibt den Quotienten aus Dehnwiderstand (resistance) und Dehnbarkeit (extensibility) an.

**Tabelle 16:** Dehnverhalten von Teigen mit Zusatz von Hydrokolloiden und Vorteigen (starke Mehlqualität).

Versuch	Extensogrammparameter		
	$F_{\max}$ (N)	Weg bis $F_{\max}$ (mm)	Verhältnis- zahl R/E
1 Direkte Teigführung	<b>0,486</b> ± 0,032	<b>33,6</b> ± 3,2	0,0145
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	<b>0,481</b> ± 0,025	<b>27,1</b> ± 1,6	0,0178
Direkte Teigführung + 0,5% Guar	<b>0,683</b> ± 0,043	<b>25,8</b> ± 2,3	0,0265
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	<b>0,488</b> ± 0,040	<b>29,8</b> ± 2,9	0,0164
Direkte Teigführung + 0,5% Xanthan	<b>0,437</b> ± 0,027	<b>29,5</b> ± 4,2	0,0148
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 1729	<b>0,441</b> ± 0,049	<b>34,3</b> ± 4,8	0,0129
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 2590	<b>0,442</b> ± 0,015	<b>33,3</b> ± 4,6	0,0133
5 Vorteig chem. gesäuert pH 3,6	<b>0,355</b> ± 0,025	<b>48,8</b> ± 2,6	0,0205
13 Vorteig 1729 ohne Saccharose	<b>0,375</b> ± 0,034	<b>50,6</b> ± 5,0	0,0074
14 Vorteig 1729 mit 10% Saccharose	<b>0,421</b> ± 0,032	<b>39,7</b> ± 4,9	0,0106
15 Vorteig 2590 ohne Saccharose	<b>0,372</b> ± 0,027	<b>40,9</b> ± 5,3	0,0091
16 Vorteig 2590 mit 10% Saccharose	<b>0,402</b> ± 0,022	<b>40,0</b> ± 9,0	0,0100

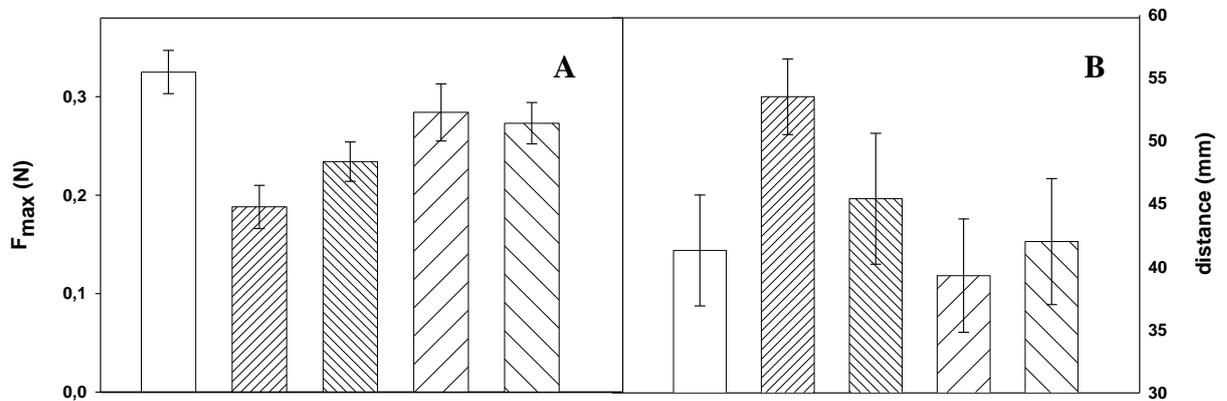
Die Verhältniszahl R/E gibt den Quotienten aus Dehnwiderstand (resistance) und Dehnbarkeit (extensibility) an.

#### 4.2.6.2. Dehnverhalten bei Zugabe von Vorteigen

Bei chemisch gesäuerten Vorteigen, zeigte sich, der negative Einfluss der pH-Wert-Absenkung im Vorteig. Dieser Einfluss ist vor allem bei den Ergebnissen der Messung des Dehnwiderstandes ( $F_{\max}$ ; N) bzw. der Dehnbarkeit (Weg bis  $F_{\max}$ ; mm) zu erkennen indem die Teige weicher und dehnbarer werden (siehe Tabelle 15 und Tabelle 16). Der Einfluss der Absenkung des pH-Wertes wird auch durch die abnehmenden Verhältniszahlen (R/E) verdeutlicht (siehe Tabelle 15 und Tabelle 16). Dieser Effekt der pH Absenkung kann durch eine EPS-Zugabe zum Vorteig wiederum abgeschwächt bzw. aufgehoben werden, was mit einem Ansteigen der Verhältniszahlen einhergeht.

In Bezug auf die Dehnfähigkeit bei Vorteigen zeigte sich, dass bei Vorteigen ohne EPS-Anreicherung der Dehnwiderstand ( $F_{\max}$ ; N) etwas ab- und die Dehnbarkeit (Weg bis  $F_{\max}$ ; mm) zunimmt (siehe Abbildung 4). Dies äußert sich in den Teigen mit einem geringeren Stand bzw. Neigung zum Breitlaufen (siehe Kapitel 4.2.3). Dagegen waren bei Teigen mit Anreicherung

von EPS im Vorteig kaum Unterschiede zur direkten Teigführung zu beobachten (siehe Tabelle 15 und Tabelle 16).



**Abbildung 4:** Einfluss der Vorteigführung auf den Dehnwiderstand (A) und die Dehnbarkeit (B) von direkt geführten Weizenteigen. (□), Kontrolle; (▨), Vorteig *L. sanfranciscensis* LTH 1729, 0% Saccharose; (▩), Vorteig *L. sanfranciscensis* LTH 2590, 0% Saccharose (▧); Vorteig *L. sanfranciscensis* LTH 1729, 10% Saccharose (▦); Vorteig *L. sanfranciscensis* LTH 2590, 10% Saccharose.

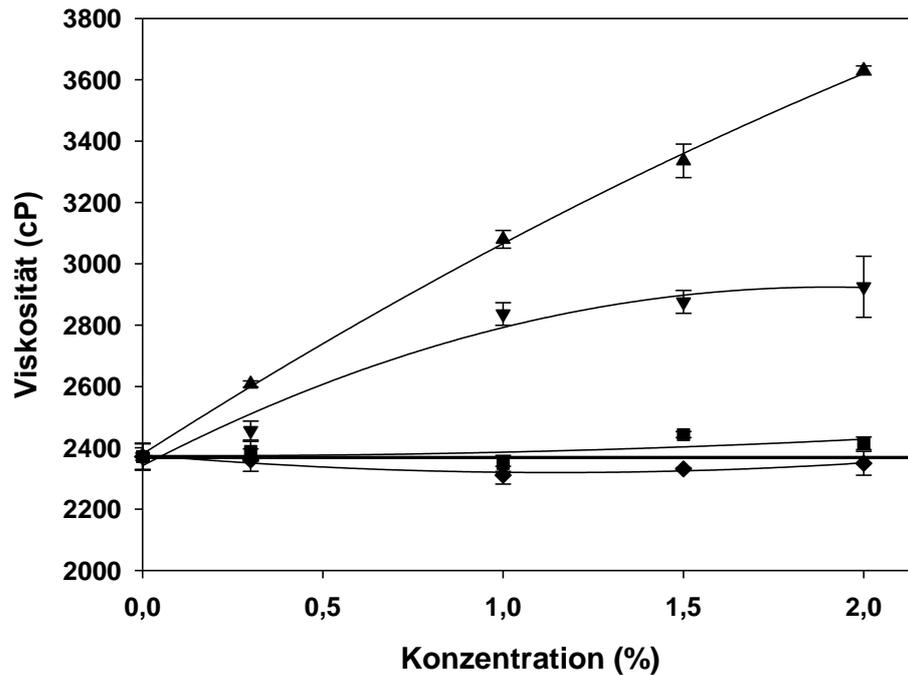
#### **4.2.7. Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Verkleisterungseigenschaften von Weizenmehlen**

Um die Verkleisterungseigenschaften der Stärke von Weizenmehlen zu bestimmen wurden RVA Messungen durchgeführt. Hierbei wird das Verkleisterungsverhalten der Stärke während des Koch bzw. Backprozesses viskosimetrisch erfasst. Welches Rückschlüsse auf die Mehqualität, Auswuchsschäden oder die Krumbildung zulässt.

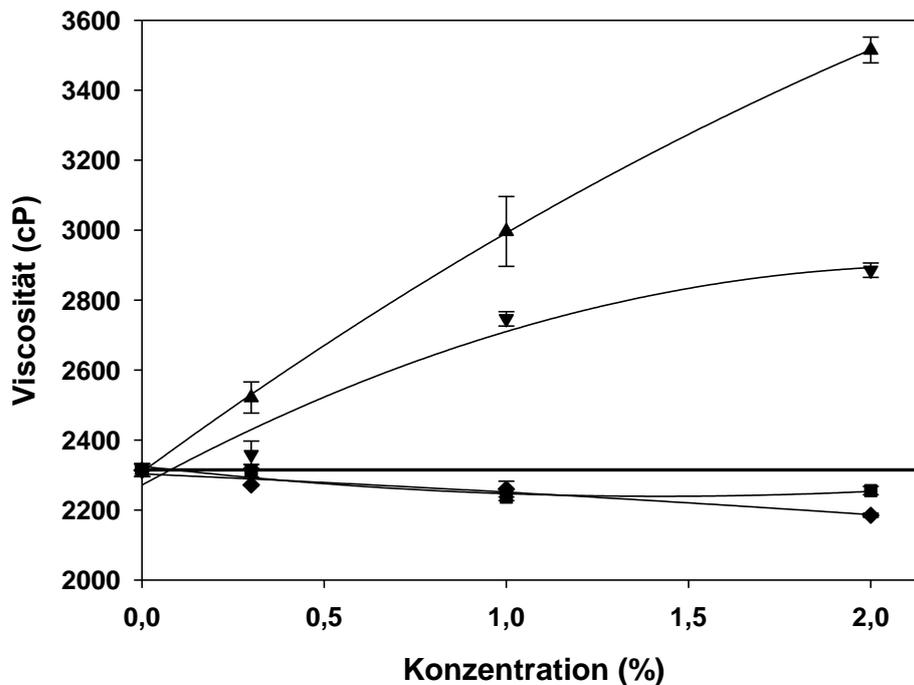
##### **4.2.7.1. Einfluss von Hydrokolloiden auf die Verkleisterungseigenschaften von Weizenmehlen**

Die Verkleisterungseigenschaften von den eingesetzten Mehlen wurden mittels RVA erfasst. Hierbei wurden verschiedenen Zusätze an Hydrokolloiden, EPS sowie getrockneten Vorteigen verglichen (siehe Kapitel 3.6.5). Die Ergebnisse der mittleren Mehqualität sind in Tabelle 17, die der starken in Tabelle 18, respektive, zusammengefasst.

Die Untersuchungen bei der Zugabe verschiedener Konzentrationen an Hydrokolloiden (0,3%, 1%, 2% bezogen auf Mehl) ergaben spezifische Änderungen der Verläufe der Verkleisterungskurven im RVA. Die Zugabe von Guar und Xanthan bewirkte eine Erhöhung des Verkleisterungspeaks sowie der Endviskosität des Stärkegels, sowohl bei der starken als auch bei der mittleren Mehqualität (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6). Bei einer Zugabe von 0,3% EPS aus *L. sanfranciscensis* LTH 1729 und LTH 2590 waren bei beiden Mehqualitäten keine Effekte auf die Peakviskosität zu beobachten. Die Zugabe von höheren EPS-Konzentrationen (1% und 2%) bewirkte eine geringe Absenkung des Verkleisterungspeaks während die Sattelhöhe, Endviskosität und Peakzeit annähernd gleich (siehe Tabelle 17 und Tabelle 18).



**Abbildung 5:** Einfluss ansteigender Hydrokolloidkonzentrationen auf den Verkleisterungspeak der Stärke von Weizenmehlen im RVA (starke Mehlqualität). (—), ohne Zusatz; (▲) Guar; (▼), Xanthan; (■) EPS aus LTH 1729; (◆), EPS aus LTH 2590.



**Abbildung 6:** Einfluss ansteigender Hydrokolloidkonzentrationen auf den Verkleisterungspeak der Stärke von Weizenmehlen im RVA (mittlere Mehlqualität). (—), ohne Zusatz; (▲) Guar; (▼), Xanthan; (■) EPS aus LTH 1729; (◆), EPS aus LTH 2590.

#### **4.2.7.2. Einfluss von Vorteigen auf die Verkleisterungseigenschaften von Weizenmehlen**

Analog zu Hydrokolloiden wurden von getrockneten Vorteigen die Verkleisterungseigenschaften von Weizenmehlen erfasst. Die detaillierten Messergebnisse der RVA-Analyse der Starken sowie mittleren Weizenmehlqualitäten sind in Tabelle 17 und Tabelle 18 zusammengefasst. Der Einsatz von fermentativ gesäuerten Vorteigen mit und ohne EPS-Anreicherung ergab ebenfalls kaum eine Änderungen des Viskositätspeaks gegenüber der Kontrolle ohne Zusatz, die Peakviskositäten waren in allen Versuchen geringer als die Kontrolle ohne Zusatz von Vorteigen (Abbildung 7). Die Ergebnisse korrelieren mit den Ergebnissen des direkten Zusatzes von EPS, siehe Abbildung 5 und Abbildung 6.

**Tabelle 17:** Ergebnisse der RVA-Untersuchung bei Weizenmehl der Type 550 (starke Mehlqualität) mit verschiedenen Zusätzen.

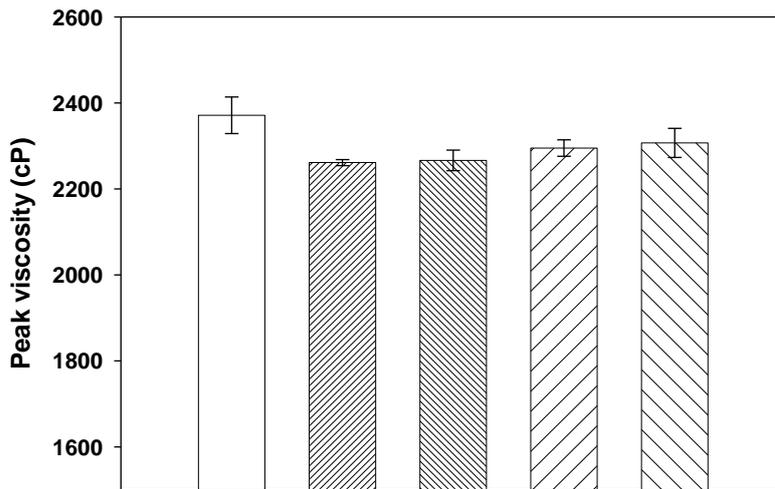
Versuch	Viskosität (cP) <sup>1</sup>			
	Peak	Peak Time	Trough	Final
Kontrolle	2371±42	5,95±0,03	1180±35	2307±48
Guar; 0,3%	2608±14	6,12±0,04	1305±18	2493±12
Guar; 1,0%	3080±46	6,18±0,04	1472±48	2745±58
Guar; 1,5%	3336±54	6,10±0,10	1524±76	2902±94
Guar; 2,0%	3631±15	6,20±0,02	1706±17	3168±10
Xanthan; 0,3%	2456±31	6,00±0,02	1216±23	2478±44
Xanthan; 1,0%	2836±37	6,20±0,02	1580±48	2710±32
Xanthan; 1,5%	2876±37	6,05±0,09	1757±49	2802±53
Xanthan; 2,0%	2925±87	5,92±0,08	1880±41	2929±56
EPS aus LTH 1729; 0,3%	2388±33	6,02±0,09	1238±29	2422±26
EPS aus LTH 1729; 1,0%	2349±26	5,97±0,07	1210±38	2395±20
EPS aus LTH 1729; 1,5%	2443±10	5,79±0,02	1241±14	2478±41
EPS aus LTH 2590; 0,3%	2415±20	6,00±0,05	1272±2	2493±29
EPS aus LTH 2590; 1,0%	2360±37	6,04±0,06	1202±25	2361±18
EPS aus LTH 2590; 1,5%	2311±29	6,02±0,09	1209±10	2385±39
Vorteig chem. gesäuert pH 5,7	2814±47	6,11±0,03	1466±14	2756±24
Vorteig chemisch gesäuert pH 3,6	2747±11	6,01±0,07	1340±47	2657±7
Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 1729	2666±25	5,97±0,15	1318±51	2664±12
Vorteig chem. gesäuert pH 3,6 + 0,03% EPS aus LTH 2590	2635±15	6,07±0,02	1363±10	2654±19
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 ohne Saccharose	2331± 5	5,86±0,10	1211±29	2399±2
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 mit 10% Saccharose	2350±39	5,83±0,02	1227±43	2441±25
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 ohne Saccharose	2211± 7	5,94±0,03	1049±18	2160±16
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 mit 10% Saccharose	2235±19	5,90±0,12	1108±23	2280±36

<sup>1</sup>centipoise

**Tabelle 18:** Ergebnisse der RVA-Untersuchung bei Weizenmehl der Type 550 (mittlere Mehlqualität) mit verschiedenen Zusätzen.

Versuch	Viskosität (cP) <sup>1</sup>			
	Peak	Peak Time	Trough	Final
Kontrolle	2313±18	5,97±0,03	1266±20	2448±31
Guar; 0,3%	2522±45	6,07±0,08	1316±59	2556±13
Guar; 1,0%	2997±99	6,13±0,05	1489±89	2828±73
Guar; 2,0%	3515±37	6,19±0,03	1752±63	3190±51
Xanthan; 0,3%	2359±39	5,97±0,05	1244±43	2551±45
Xanthan; 1,0%	2747±21	6,26±0,05	1611±71	2691±15
Xanthan; 2,0%	2886±21	6,00±0,07	1937±23	2938±45
EPS aus LTH 1729; 0,3%	2312±18	5,94±0,01	1230± 2	2478±4
EPS aus LTH 1729; 1,0%	2237±10	6,04±0,01	1234± 8	2448±27
EPS aus LTH 1729; 2,0%	2256±12	6,04±0,10	1270±18	2496±8
EPS aus LTH 2590; 0,3%	2272±2	6,03±0,14	1263±77	2483±39
EPS aus LTH 2590; 1,0%	2260±23	6,02±0,05	1214± 8	2474±27
EPS aus LTH 2590; 2,0%	2185±6	6,09±0,03	1236± 7	2454± 6
Vorteig chem. ges.; pH 5,7	3219±47	6,08±0,04	1611±11	3093±9
Vorteig chem. ges.; pH 3,6	3196±18	6,16±0,03	1598±16	3042±21
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 ohne Saccharose	2920±13	6,07±0,09	1510±39	2909± 8
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 mit 10% Saccharose	2925±2	6,11±0,04	1517±25	2933±31
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 ohne Saccharose	2965±23	6,15±0,02	1570±31	2975±37
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 mit 10% Saccharose	2973±23	6,11±0,04	1583± 4	3000±11

<sup>1</sup>centipoise



**Abbildung 7:** Peakviskositäten von Weizenmehl mit Zusatz von fermentativ gesäuerten Vorteigen. (□), direkte Führung; (▨), Vorteig LTH 1729 ohne Saccharose; (▩), Vorteig LTH 2590 ohne Saccharose; (▧), Vorteig LTH 1729 mit 10% Saccharose; (▦) Vorteig LTH 2590 mit 10% Saccharose.

#### 4.2.7.3. Einfluss von Hydrokolloiden auf die Verkleisterungseigenschaften von Roggenmehlen

Es wurden Roggenmehl der Type 1150 wurde mit und ohne Zusatz von 20 bzw. 30% getrockneten Vorteigen auf dessen Verkleisterungseigenschaften im RVA untersucht (siehe Kapitel 4.2.7). Die Ergebnisse der Verkleisterungviskositäten sind in Tabelle 19 zusammengefasst. Das Verhalten von Roggenmehl im RVA korreliert mit den Ergebnissen, die mit Weizenmehlen (siehe Kapitel 4.2.7.2) erhalten wurden. Bei Zusatz von getrockneten Vorteigen zeigt eine Abnahme der Peakviskosität und End-Viskosität im RVA gegenüber der Kontrolle ohne Zusatz von getrocknetem Vorteig (Tabelle 19). Durch Steigerung der EPS-Bildung im Vorteig konnte eine weitere Abnahme bewirkt werden.

**Tabelle 19:** Ergebnisse der RVA-Untersuchung bei Roggenmehl der Type 1150 mit Zusatz verschiedener getrockneter Vorteige.

Versuch	Viskosität (cP) <sup>1</sup>			
	Peak	Peak Time	Trough	Final
Kontrolle	1075±68	5,01±0,06	307±49	937±35
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 ohne Saccharose	864±28	4,95±0,04	204±6	593±12
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 mit 10% Saccharose	776±23	4,96±0,01	160±16	525±30
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 ohne Saccharose	780± 5	4,93±0,01	158±14	529±24
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 mit 10% Saccharose	766± 4	4,95±0,07	177± 8	552±24

<sup>1</sup> centipoise

### 4.3. Einsatz von Hydrokolloiden, Exopolysacchariden und Vorteigen bei Tiefkühlbackwaren

Der Produktion von Tiefkühl (TK)-Teiglingen für Bäckereien, SB-Aufbackfilialen und den Direktverkauf nimmt jedes Jahr zu. Die Qualität von Backwaren wird jedoch bei TK-Lagerung des Teiges erheblich beeinträchtigt (Bail *et al.*, 1999; Ribotta *et al.*, 2003). Es wurde die Wirkung von EPS und Vorteigen (Stufe 1-Backmittel) auf die rheologischen Eigenschaften von TK-Weizenteigen und die Textur von daraus hergestellten Backwaren vergleichend mit und ohne TK-Lagerung (-22°C, 10 Tage) untersucht.

#### 4.3.1. Erfassung der Teigeigenschaften von TK-gelagerten Teigen mit dem Rheofermentometer

Bei Einsatz verschiedener Hydrokolloide in TK-gelagerten Teigen zeigte sich, dass die Verluste des Gesamtgasvolumens durch das Einfrieren und Lagern von Teigen sehr unterschiedlich waren (Tabelle 20). Teige mit 0,3% Guar zeigten die höchsten Volumenverluste, wohingegen bei Einsatz von 0,3% Xanthan eine geringere Abnahme des Gesamtgasvolumens zu verzeichnen war.

**Tabelle 20:** Einfluss der TK-Lagerung bei Zusatz von Hydrokolloiden, EPS und Vorteigen auf die Parameter der Teigentwicklung und Gasbildung. Die dargestellten Werte sind Differenzwerte zwischen vor und nach TK-Lagerung.

Zusatz	Teigentwicklung			Gasbildung			
	Max. Höhe Hm (mm)	Zeit T1 bei Hm (min)	Höhe nach 3h (mm)	Max. Höhe Hm (mm)	Zeit T'1 bei Hm (min)	Beginn Porosität (min)	Gesamtgasvolumen (mL)
Direkte Teigführung	<b>-1,9</b> ± 3,9	<b>-35</b> ± 9	<b>-19,5</b> ± 7,7	<b>+8,5</b> ± 1,1	<b>+17</b> ± 9	<b>+8</b> ± 15	<b>-44</b> ± 37
Direkte Teigführung + 0,3% Guar	<b>-4,7</b> ± 3,3	<b>-25</b> ± 7,5	<b>-17,5</b> ± 4,6	<b>0</b> ± 3,1	<b>+11</b> ± 6,5	<b>-40</b> ± 12,5	<b>-185</b> ± 21
Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	<b>-1,1</b> ± 2,4	<b>-6</b> ± 3	<b>-2,1</b> ± 2,8	<b>+1,2</b> ± 3,3	<b>+34</b> ± 16	<b>+44</b> ± 22	<b>-62</b> ± 35
Direkte Teigführung + 0,3% EPS 1729	<b>+1,0</b> ± 1,8	<b>-3</b> ± 10	<b>-4,0</b> ± 11,1	<b>+3,4</b> ± 8,6	<b>-3</b> ± 18	<b>+28</b> ± 16	<b>+24</b> ± 40
Direkte Teigführung + 0,3% EPS 2590	<b>-0,4</b> ± 1,5	<b>-27</b> ± 8	<b>-13,4</b> ± 1,6	<b>-9,0</b> ± 1,6	<b>+11</b> ± 8	<b>+14</b> ± 8	<b>-5</b> ± 30
Vorteig 1729 ohne Saccharose	<b>-8,8</b> ± 2,1	<b>-11</b> ± 8	<b>-8,2</b> ± 2,5	<b>+8,9</b> ± 1,0	<b>+6</b> ± 8	<b>+16</b> ± 19	<b>-195</b> ± 31
Vorteig 1729 mit 10% Saccharose	<b>-4,0</b> ± 6,6	<b>-22</b> ± 10	<b>-14,7</b> ± 6,4	<b>-6,7</b> ± 2,1	<b>+6</b> ± 8	<b>+16</b> ± 19	<b>-176</b> ± 45
Vorteig 2590 ohne Saccharose	<b>-13,0</b> ± 1,8	<b>-6</b> ± 13	<b>-6,4</b> ± 4,4	<b>-12,7</b> ± 1,8	<b>+30</b> ± 10	<b>+14</b> ± 22	<b>-282</b> ± 45
Vorteig 2590 mit 10% Saccharose	<b>-8,1</b> ± 2,1	<b>-10</b> ± 8	<b>-11,7</b> ± 2,3	<b>-10,1</b> ± 0,9	<b>+16</b> ± 2	<b>+22</b> ± 14	<b>-259</b> ± 39

#### 4.3.2. Klebrigkeit von Tiefkühl-gelagerten Teigen

Messungen der Klebrigkeit von Tiefkühl (TK)-gelagerten Teigen zeigten, dass generell die Klebrigkeit nach der Lagerung zunahm (Tabelle 21). Während steigende Konzentrationen von Guar nach TK mit zu klebrigeren Teigen führte, zeigte der Zusatz von Xanthan mit steigender Konzentration keine Änderung der Klebrigkeit. Ebenfalls konnte bei Zusatz von isoliertem EPS aus Laktobazillen kein geringeres Ansteigen der Klebrigkeit gegenüber der Kontrolle beobachtet werden. Bei Einsatz von Vorteigen mit fermentativ angereichertem EPS in TK-gelagerten Teigen zeigte sich eine geringere Zunahme der Klebrigkeit als ohne EPS-Anreicherung (Tabelle 21). Die Klebrigkeit der Teige nahm trotz vorhandener Rest-Saccharose weniger zu als bei allen anderen TK-Teigen, was im Widerspruch zu den erhaltenen Ergebnissen der Klebrigkeitsmessungen bei nicht TK-gelagerten Teigen steht (siehe Tabelle 21). Dies ist möglicherweise auf die verlängerten Teigruhezeiten während des Einfrierens bzw. Auftauens des Teiges zurückzuführen, bei denen die vorhandenen Zuckergehalte durch die Stoffwechselaktivität der Backhefe verbraucht wurden.

### 4.3.3. Extensogramme von Tiefkühl-gelagerten Teigen

Messungen der Dehnfähigkeit von TK-gelagerten Teigen zeigten, dass generell nach der Lagerung der Dehnwiderstand ab- und die Dehnbarkeit zunimmt (Tabelle 21). Die Erhöhung der Dehnbarkeit der Teige geht einher mit einem schlechten Stand auf Gare und Neigung zum Breitlaufen. Der Zusatz der Hydrokolloide Guar und Xanthan und von EPS in einer Konzentration von 0,3% zeigte die geringsten Ab- bzw. Zunahmen im Extensogramm gegenüber den Teigen vor der TK-Lagerung. Dies deutet darauf hin, dass in Bezug auf Dehnfähigkeit alle eingesetzten Hydrokolloide geeignet sind, die Teige über die TK-Lagerung hinweg elastisch und dehnbar zu halten und die negativen Effekte, die eine Gefrierlagerung mit sich bringt, zu minimieren. Bei Konzentrationserhöhung von 0,3 auf 1% zeigten die Teige mit Guar und Xanthan eine Abnahme des Dehnwiderstandes und eine Zunahme der Dehnbarkeit (Tabelle 21). Bei Einsatz von Vorteigen mit EPS-bildenden Laktobazillen konnten sowohl mit als auch ohne EPS-Anreicherung eine geringe Abnahme des Dehnwiderstandes und Zunahme der Dehnbarkeit beobachtet werden. Lediglich die TK-Teige, welche unter Verwendung von Vorteig mit LTH 1729 ohne Saccharose hergestellt wurden, zeigten eine erhöhte Zunahme des Dehnwiderstands. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass auch Vorteige mit EPS-bildenden Laktobazillen in Bezug auf die Dehnfähigkeit geeignet sind, die negativen Effekte bei TK-gelagerten Teigen zu minimieren.

**Tabelle 21:** Einfluss der Tiefkühlagerung auf die Klebrigkeit und Dehnfähigkeit von Weizenteigen bei Zusatz von Hydrokolloiden und Vorteigen (mittlere Mehlqualität). Die dargestellten Werte sind Differenzwerte zwischen vor und nach TK-Lagerung.

Versuch	Klebrigkeit	Extensogramm	
	(N)	F <sub>max</sub> (N)	Weg bis F <sub>max</sub> (mm)
1 Direkte Teigführung	+0,108 ± 0,014	-0,121 ± 0,015	+4,9 ± 1,2
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	+0,127 ± 0,013	-0,030 ± 0,016	+1,3 ± 0,8
Direkte Teigführung + 1,0% Guar	+0,264 ± 0,015	-0,157 ± 0,019	+5,0 ± 1,0
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	+0,137 ± 0,014	-0,012 ± 0,023	+2,6 ± 1,2
Direkte Teigführung + 1,0% Xanthan	+0,131 ± 0,015	-0,186 ± 0,032	+4,7 ± 1,0
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 1729	+0,104 ± 0,012	-0,005 ± 0,024	+2,2 ± 1,1
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 2590	+0,096 ± 0,009	-0,077 ± 0,027	+1,6 ± 1,2
13 Vorteig 1729 ohne Saccharose	+0,126 ± 0,017	-0,188 ± 0,022	+1,2 ± 1,0
14 Vorteig 1729 mit 10% Saccharose	+0,063 ± 0,013	-0,050 ± 0,017	+2,5 ± 1,0
15 Vorteig 2590 ohne Saccharose	+0,114 ± 0,015	-0,034 ± 0,018	+2,1 ± 0,9
16 Vorteig 2590 mit 10% Saccharose	+0,061 ± 0,015	-0,054 ± 0,013	+3,3 ± 1,0

#### 4.3.4. Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die viskoelastischen Eigenschaften von Tiefkühl gelagerten Teigen

Auch die TK-gelagerten Teige wurden mit dem Bohlin-Rheometer auf ihre Teigeigenschaften untersucht und die Ergebnisse mit jenen der ungefrorenen Teige verglichen (siehe Tabelle 22). Die Oszillationsmessungen erbrachten einheitlich ein niedrigeres Komplexmodul und einen höheren Phasenwinkel, was auf weichere, weniger elastische Teige hindeutet. Bei der Kriech-Erholungsmessung verhalten sich die Teige analog mit höherer Kriechkomplianz und niedrigerer Relativer Erholung, was wiederum weicheren, aber weniger elastischen Teigen entspricht. Am wenigsten werden hier wiederum die Teige mit EPS-Zusatz beeinträchtigt.

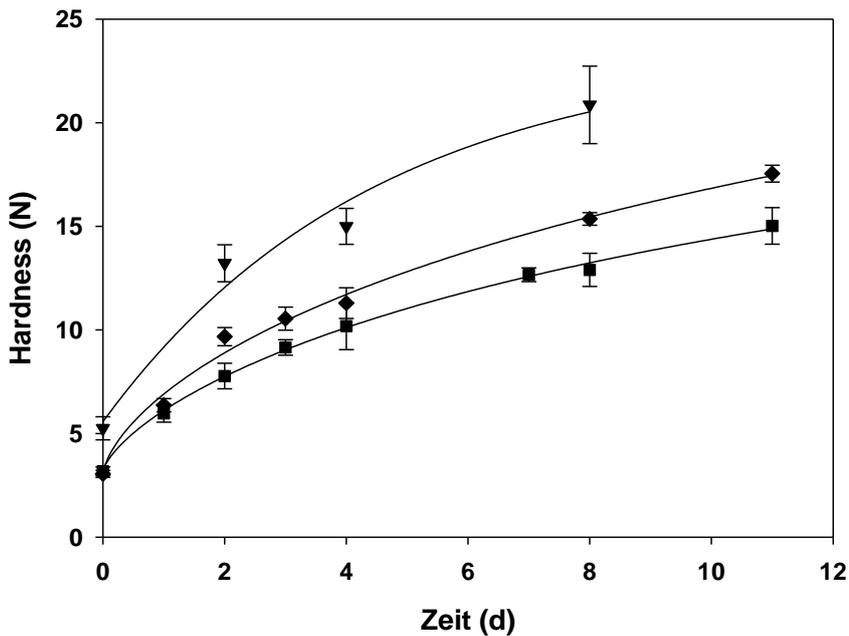
**Tabelle 22:** Einfluss der Tiefkühlagerung bei Zusatz von Hydrokolloiden und Vorteigen auf Parameter der Oszillations- und Kriech-Erholungsmessungen mit dem Bohlin-Rheometer (mittlere Mehlqualität). Die dargestellten Werte sind Differenzwerte zwischen vor und nach TK-Lagerung.

Zusatz	Oszillation (10 Hz)		Kriech-Erholungsmessung		
	Komplex- modul $ G^* $ (Pa)	Phasen- winkel $\delta$ (°)	Max. Kriechkom- plianz (1/Pa)	Erholungs- komplianz (1/Pa)	Relative Erholung
1 Direkte Teigführung	<b>-0,16•10<sup>4</sup></b>	<b>+0,3</b>	<b>+2,93•10<sup>-3</sup></b>	<b>+2,48•10<sup>-3</sup></b>	<b>+0,05</b>
	$\pm 0,01 \cdot 10^4$	$\pm 0,3$	$\pm 1,23 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1,12 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,03$
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	<b>-0,14•10<sup>4</sup></b>	<b>+0,6</b>	<b>+1,09•10<sup>-3</sup></b>	<b>+0,81•10<sup>-3</sup></b>	<b>-0,01</b>
	$\pm 0,05 \cdot 10^4$	$\pm 0,4$	$\pm 1,46 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1,37 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,04$
Direkte Teigführung + 1,0% Guar	<b>-1,03•10<sup>4</sup></b>	<b>+2,8</b>	<b>-2,14•10<sup>-3</sup></b>	<b>-1,40•10<sup>-3</sup></b>	<b>-0,08</b>
	$\pm 0,05 \cdot 10^4$	$\pm 0,3$	$\pm 0,16 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,22 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,04$
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	<b>-0,31•10<sup>4</sup></b>	<b>+0,9</b>	<b>+2,63•10<sup>-3</sup></b>	<b>+2,13•10<sup>-3</sup></b>	<b>+0,04</b>
	$\pm 0,05 \cdot 10^4$	$\pm 0,3$	$\pm 0,85 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,78 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,03$
Direkte Teigführung + 1,0% Xanthan	<b>-0,39•10<sup>4</sup></b>	<b>+1,5</b>	<b>+1,41•10<sup>-3</sup></b>	<b>+1,06•10<sup>-3</sup></b>	<b>+0,05</b>
	$\pm 0,05 \cdot 10^4$	$\pm 0,3$	$\pm 0,33 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,32 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,03$
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 1729	<b>-0,07•10<sup>4</sup></b>	<b>+0,3</b>	<b>-1,07•10<sup>-3</sup></b>	<b>-0,78•10<sup>-3</sup></b>	<b>-0,05</b>
	$\pm 0,06 \cdot 10^4$	$\pm 0,2$	$\pm 1,59 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1,30 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,02$
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 2590	<b>±0</b>	<b>±0</b>	<b>+1,78•10<sup>-3</sup></b>	<b>+0,94•10<sup>-3</sup></b>	<b>+0,02</b>
	$\pm 0,01 \cdot 10^4$	$\pm 0,02$	$\pm 0,36 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,43 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,03$
13 Vorteig 1729 ohne Saccharose	<b>-0,08•10<sup>4</sup></b>	<b>+0,2</b>	<b>+0,19•10<sup>-3</sup></b>	<b>+0,26•10<sup>-3</sup></b>	<b>-0,05</b>
	$\pm 0,05 \cdot 10^4$	$\pm 0,2$	$\pm 1,50 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1,03 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,03$
14 Vorteig 1729 mit 10% Saccharose	<b>+0,01•10<sup>4</sup></b>	<b>-0,1</b>	<b>-3,78•10<sup>-3</sup></b>	<b>-3,97•10<sup>-3</sup></b>	<b>-0,10</b>
	$\pm 0,03 \cdot 10^4$	$\pm 0,1$	$\pm 1,31 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1,30 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,04$
15 Vorteig 2590 ohne Saccharose	<b>-0,20•10<sup>4</sup></b>	<b>+0,7</b>	<b>-0,43•10<sup>-3</sup></b>	<b>-0,81•10<sup>-3</sup></b>	<b>-0,01</b>
	$\pm 0,06 \cdot 10^4$	$\pm 0,3$	$\pm 0,30 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,31 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,04$
16 Vorteig 2590 mit 10% Saccharose	<b>-0,22•10<sup>4</sup></b>	<b>+0,5</b>	<b>-1,40•10<sup>-3</sup></b>	<b>-1,71•10<sup>-3</sup></b>	<b>-0,05</b>
	$\pm 0,04 \cdot 10^4$	$\pm 0,2$	$\pm 1,27 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,32 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,03$

## 4.4. Untersuchungen zum Altbackenwerden – Staling

### 4.4.1. Einfluss der Mehlqualität auf das Altbackenwerden bei direkter Teigführung

In Vorversuchen des AIF/FEI Projektes 13240N – Mikrobiologisch definierte Vorteigfermentation zur Steigerung der Qualität von Vor- und Zwischenprodukten für die Backwarenherstellung (nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit) wurde beobachtet, dass die Mehlqualität einen Einfluss auf das Alterungsverhalten von Weizenbroten haben kann. Aus diesem Grund wurde der Einfluss der Mehlqualität auf das Altbackenwerden von Weizenbroten, die mit direkter Teigführung und standardisierten Mehlen hergestellt wurden (siehe Kapitel 0), näher untersucht. Wie in Abbildung 8 ersichtlich, nimmt die Krumenfestigkeit von Weizenbroten mit abnehmendem Feuchtklebergehalt schneller zu und erreicht einen höheren Wert, so dass Weizenbrote, die mit schwächerem Mehl hergestellt wurden, auch schneller altbacken werden. In Tabelle 23 sind die berechneten Avrami-Parameter  $k$  der DSC und TPA-Messungen der Lagerung von Weizenbrote bei 25°C aufgeführt. Auch für die  $k$ -Werte der DSC konnte eine Zunahme bei sinkendem Feuchtklebergehalt beobachtet werden, so dass bei schwachen Mehlen eine stärkere Retrogradation der Stärke stattfindet. Aufgrund der Abhängigkeit des Altbackenwerdens von der Mehlqualität wurden im weiteren Verlauf des Projektes die in Tabelle 1 genannten Mehlqualitäten soweit möglich berücksichtigt, um mögliche Einflüsse der Mehlqualität auf die Wirkung von Hydrokolloiden und Vorteigen auf das Altbackenwerden von Weizenbroten mit zu erfassen.



**Abbildung 8:** Einfluss verschiedener Mehlqualitäten auf die Krumenfestigkeit von Weizenbrotten bei direkter Teigführung während der Lagerung bei 25°C. Mehlqualität: (■), stark; (▼), mittel; (◆), schwach (siehe Tabelle 1).

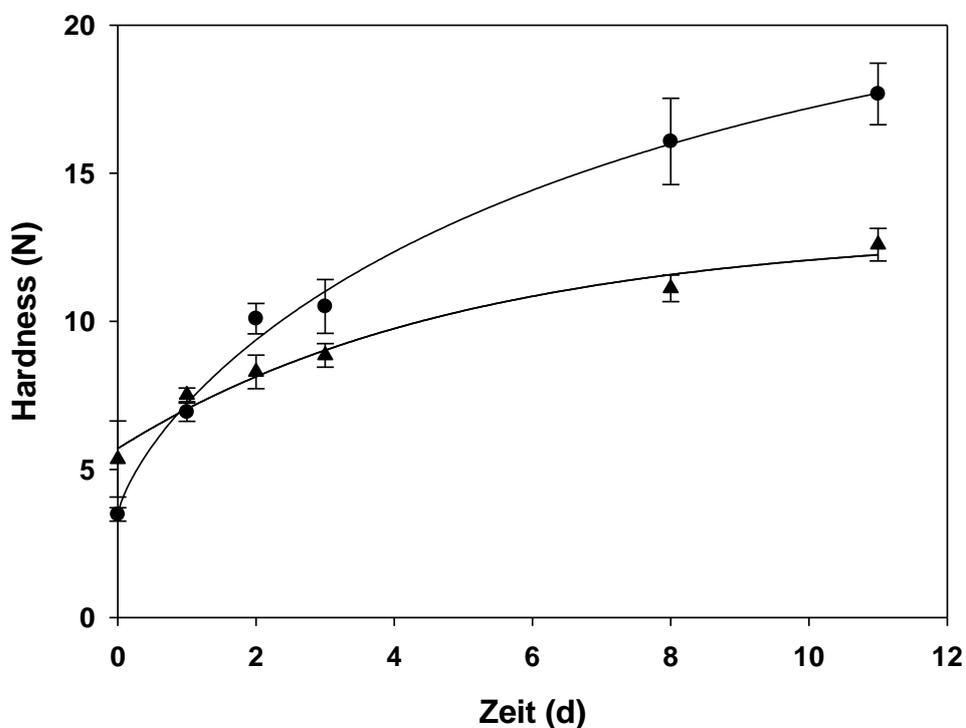
**Tabelle 23:** Maximale Enthalpie ( $\Delta H_{\infty}$ ) bzw.  $F_{\infty}-F_0$  Wert und Avrami-Parameter  $k$  der DSC- bzw. TPA-Analyse von Weizenbrotten, die mit unterschiedlichen Mehlqualitäten bei direkter Teigführung hergestellt wurden, während der Lagerung bei 25°C.

Mehlqualität	DSC		TPA	
	$\Delta H_{\infty}$ (J/g)	$k$ (d <sup>-1</sup> )	$F_{\infty}-F_0$ (N)	$k$ (d <sup>-1</sup> )
stark	1,27 ± 0,04	0,194 ± 0,007	11,64 ±1,09	0,2736 ±0,0025
mittel	1,28 ± 0,16	0,211 ± 0,008	14,49 ±0,47	0,3057 ±0,0024
schwach	1,27 ± 0,09	0,527 ± 0,017	15,61 ±1,87	0,3159 ±0,0018

#### 4.4.2. Einfluss eines "anti-staling"-Enzyms auf das Altbackenwerden

Die durchgeführten Versuche auf das Altbackenwerden mittels direkter Teigführung unter Einsatz einer maltogenen Amylase (siehe Kapitel 3.7.2.3) zeigten eine positive Auswirkung auf das Altbackenwerden durch Erhöhung der Elastizität und Verringerung der Festigkeit der

Krume ab dem zweiten Tag der Lagerung. In Abbildung 9 sind die Ergebnisse bei Verwendung einer mittleren Mehlqualität dargestellt. Im Vergleich zur Kontrolle ist eine deutlich verringerte Zunahme der Krumenfestigkeit von Weizenbroten, die mit maltogener Amylase hergestellt wurden, während der Lagerdauer bei 25°C zu beobachten. Dies spiegelt sich auch in der Abnahme der berechneten Avrami-Parameter  $k$  für die TPA und DSC-Analyse wider (Tabelle 24 und Tabelle 25). Somit konnte nachgewiesen werden, dass die in dieser Arbeit eingesetzten Methoden und das experimentelle Design (siehe Kapitel 3.7.2.3) geeignet sind, positive Einflüsse auf das Altbackenwerden von Weizenbroten zu erfassen.



**Abbildung 9:** Einfluss einer maltogenen Amylase (100 ppm) auf die Krumenfestigkeit von Weizenbroten bei direkter Teigführung während der Lagerung der Brote bei 25°C. (●), Kontrolle; (▲)

**Tabelle 24:** pH-Werte und Säuregrade (SH) von Vorteigen sowie Volumen, Gewichtsverlust, Enthalpie ( $\Delta H_{\infty}$ ) und durchschnittliche Avrami-Parameter  $k$  der TPA- und DSC-Analysen von Weizenbrot (mittlere Mehlqualität) während der Lagerung bei 25°C.

Versuch	Vorteig		Teig	Weizenbrot									
	pH	SH <sup>1</sup>	TA <sup>2</sup>	Volumen		Spez. Volumen cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	Backverlust (24 h)		TPA <sup>3</sup>		DSC <sup>4</sup>		
				mL	%		g	%	F <sub>∞</sub> -F <sub>0</sub> N	$k$ days <sup>-1</sup>	$\Delta H_{\infty}$ J/g	$k$ days <sup>-1</sup>	
1	Direkte Teigführung	6,2	-	<b>159,8</b> ±0,1	<b>2002</b> ±18	-	<b>3,86</b> ±0,11	<b>530,7</b> ±1,9	-	<b>14,49</b> ±0,47	<b>0,3057</b> ±0,0024	<b>1,28</b> ±0,16	<b>0,211</b> ±0,008
2	Direkte Teigführung mit Enzym	-	-	<b>159,8</b> ±0,1	<b>2030</b> ±17	+1,4	<b>3,74</b> ±0,04	<b>530,1</b> ±2,5	<b>+0,1</b>	<b>7,24</b> ±0,25	<b>0,1854</b> ±0,0042	<b>0,26</b> ±0,06	<b>0,147</b> ±0,030
3	Vorteig ohne Mikroorganismen pH 6,2	6,2	-	<b>160,0</b> ±0,1	<b>1811</b> ±8	-9,5	<b>3,28</b> ±0,02	<b>532,0</b> ±1,0	<b>-0,2</b>	<b>16,51</b> ±0,98	<b>0,3724</b> ±0,0041	<b>1,14</b> ±0,04	<b>0,212</b> ±0,019
4	Vorteig chem. gesäuert pH 5,6	5,6	<b>4,2</b> ±0,06	<b>160,5</b> ±0,4	<b>1810</b> ±15	-9,6	<b>3,37</b> ±0,03	<b>529,6</b> ±0,7	<b>+0,2</b>	<b>20,67</b> ±1,68	<b>0,4797</b> ±0,0045	<b>1,04</b> ±0,07	<b>0,224</b> ±0,017
5	Vorteig chem. gesäuert pH 3,6	3,6	<b>9,3</b> ±0,02	<b>160,6</b> ±0,2	<b>1820</b> ±18	-9,1	<b>3,42</b> ±0,04	<b>529,3</b> ±3,2	<b>+0,3</b>	<b>23,33</b> ±2,03	<b>0,4623</b> ±0,0052	<b>1,31</b> ±0,04	<b>0,266</b> ±0,029
6	Vorteig chem. gesäuert pH 3,6+ EPS LTH 1729	3,6	-	<b>161,3</b> ±0,4	<b>1842</b> ±11	-8,0	<b>3,48</b> ±0,01	<b>530,0</b> ±2,5	<b>+0,1</b>	<b>17,95</b> ±0,64	<b>0,2526</b> ±0,0053	<b>1,20</b> ±0,20	<b>0,156</b> ±0,003
7	Vorteig chem. gesäuert pH 3,6+ EPS LTH 2590	3,6	-	<b>160,7</b> ±0,4	<b>1839</b> ±31	-8,1	<b>3,47</b> ±0,05	<b>530,1</b> ±1,2	<b>+0,1</b>	<b>18,04</b> ±0,69	<b>0,2412</b> ±0,0056	<b>1,29</b> ±0,23	<b>0,183</b> ±0,003
8	Direkte Teigführung + Guar; 0,3%	-	-	<b>160,3</b> ±0,1	<b>1993</b> ±19	-0,5	<b>3,57</b> ±0,08	<b>528,5</b> ±2,9	<b>+0,4</b>	<b>14,05</b> ±1,41	<b>0,2982</b> ±0,0015	<b>1,46</b> ±0,11	<b>0,189</b> ±0,093
9	Direkte Teigführung + Guar; 0,5%	-	-	<b>160,4</b> ±0,0	<b>1982</b> ±13	-1,0	<b>3,69</b> ±0,03	<b>536,3</b> ±0,6	<b>-1,1</b>	<b>11,98</b> ±0,62	<b>0,2979</b> ±0,0013	<b>1,45</b> ±0,11	<b>0,133</b> ±0,030
10	Direkte Teigführung + Xanthan; 0,3%	-	-	<b>161,1</b> ±0,4	<b>1807</b> ±24	-9,7	<b>3,34</b> ±0,05	<b>527,3</b> ±2,5	<b>+0,6</b>	<b>12,32</b> ±1,02	<b>0,3754</b> ±0,0036	<b>1,87</b> ±0,71	<b>0,363</b> ±0,020
11	Direkte Teigführung + EPS LTH 1729; 0,3%	-	-	<b>160,9</b> ±0,3	<b>2052</b> ±20	+2,5	<b>3,78</b> ±0,05	<b>531,3</b> ±1,5	<b>+0,1</b>	<b>12,69</b> ±0,99	<b>0,2774</b> ±0,0160	<b>1,75</b> ±0,11	<b>0,249</b> ±0,004
12	Direkte Teigführung + EPS LTH 2590; 0,3%	-	-	<b>161,3</b> ±0,6	<b>2077</b> ±14	+3,8	<b>3,91</b> ±0,1	<b>530,0</b> ±2,0	<b>+0,1</b>	<b>11,13</b> ±0,76	<b>0,2937</b> ±0,0036	<b>1,26</b> ±0,03	<b>0,157</b> ±0,035
13	Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 ohne Saccharose	3,5	<b>12,8</b> ±0,01	<b>160,3</b> ±0,6	<b>1892</b> ±28	-5,5	<b>3,62</b> ±0,08	<b>522,3</b> ±2,2	<b>+1,6</b>	<b>20,01</b> ±1,39	<b>0,4036</b> ±0,0475	<b>1,26</b> ±0,56	<b>0,323</b> ±0,019
14	Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 mit 10% Saccharose	3,5	<b>12,8</b> ±0,03	<b>160,5</b> ±0,6	<b>2098</b> ±29	+4,8	<b>3,75</b> ±0,08	<b>535,1</b> ±0,3	<b>-0,8</b>	<b>10,48</b> ±0,54	<b>0,2216</b> ±0,0121	<b>1,46</b> ±0,11	<b>0,133</b> ±0,030
15	Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 ohne Saccharose	3,5	<b>11,9</b> ±0,04	<b>159,9</b> ±0,3	<b>1908</b> ±10	-4,7	<b>3,63</b> ±0,05	<b>524,3</b> ±0,6	<b>0,0</b>	<b>21,45</b> ±0,95	<b>0,3744</b> ±0,0162	<b>1,23</b> ±0,06	<b>0,206</b> ±0,009
16	Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 mit 10% Saccharose	3,5	<b>11,1</b> ±0,05	<b>160,3</b> ±0,3	<b>2117</b> ±56	+5,7	<b>3,77</b> ±0,08	<b>537,0</b> ±1,5	<b>-1,2</b>	<b>12,47</b> ±0,47	<b>0,2593</b> ±0,0057	<b>1,26</b> ±0,02	<b>0,119</b> ±0,024

<sup>1</sup>Säuregrad, <sup>2</sup>Teigausbeute, <sup>3</sup>Textur Profil Analyse, <sup>4</sup>Differential Scannig Calorimetry.

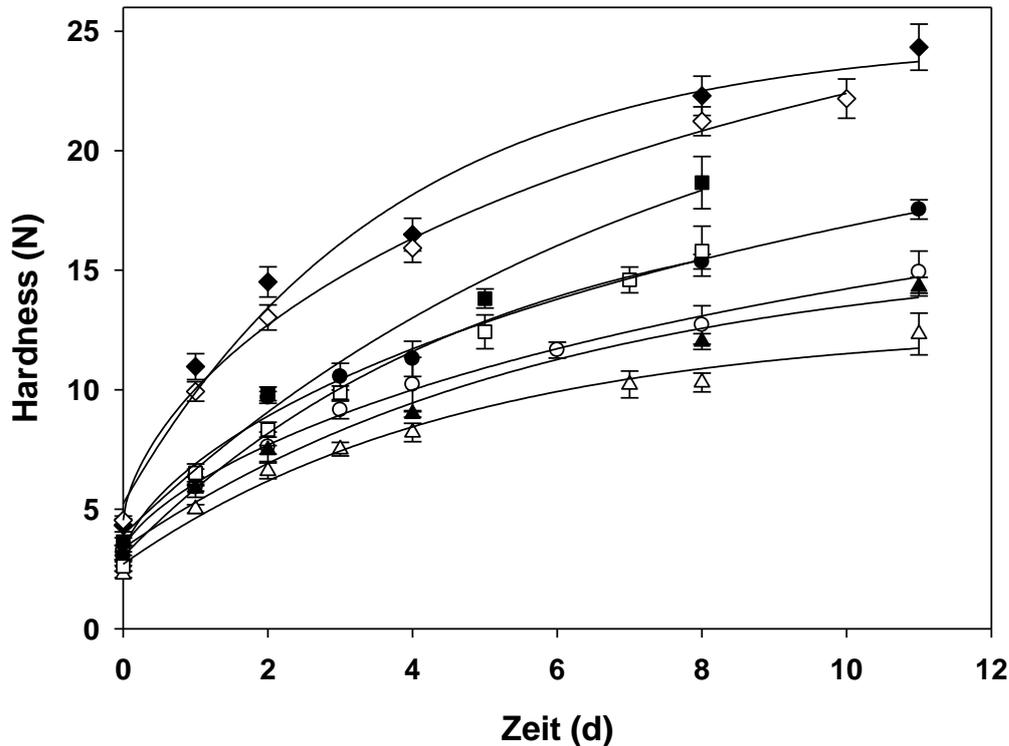
**Tabelle 25:** pH-Werte und Säuregrade (SG) von Vorteigen sowie Volumen, Gewichtsverlust, Enthalpie ( $\Delta H_{\infty}$ ) und durchschnittliche Avrami-Parameter  $k$  der TPA- und DSC-Analysen von Weizenbrot (starke Mehlqualität) während der Lagerung bei 25°C.

Versuch	Vorteig		Teig	Weizenbrot								
	pH	SH <sup>1</sup>	TA <sup>2</sup>	Volumen		Spez. Volumen cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	Backverlust (24 h)		TPA <sup>3</sup>		DSC <sup>4</sup>	
				mL	%		g	%	F <sub>∞</sub> -F <sub>0</sub> N	$k$ days <sup>-1</sup>	$\Delta H_{\infty}$ J/g	$k$ days <sup>-1</sup>
1	Direkte Teigführung	6,2	-	<b>158,8</b>	<b>2114</b>	<b>3,49</b>	<b>532,7</b>	-	<b>11,64</b>	<b>0,2736</b>	<b>1,27</b>	<b>0,194</b>
			±0,1	±10	-	±0,92	±1,2	-	±1,09	±0,0025	±0,04	±0,007
2	Direkte Teigführung mit Enzym	-	-	<b>2061</b>	<b>2061</b>	<b>3,34</b>	<b>530,7</b>	-0,4	<b>12,80</b>	<b>0,2052</b>	<b>0,32</b>	<b>0,114</b>
				±18	-2,5	±0,05	±1,9		±0,62	±0,0080	±0,11	±0,071
3	Vorteig ohne Mikroorganismen pH 6,2	6,1	<b>1,9</b>	<b>159,9</b>	<b>1811</b>	<b>3,03</b>	<b>532,0</b>	-0,1	<b>21,72</b>	<b>0,2750</b>	<b>1,49</b>	<b>0,300</b>
			±0,1	±0,1	±8	14,3	±0,03	±1,0	±1,97	±0,0100	±0,04	±0,000
5	Vorteig chem. gesäuert pH 3,6	3,6	<b>10,4</b>	<b>158,3</b>	<b>1820</b>	<b>3,04</b>	<b>523,3</b>	+1,3	<b>19,05</b>	<b>0,4149</b>	<b>0,96</b>	<b>0,356</b>
			±0,05	±0,2	±18	13,9	±0,06	±1,2	±0,93	±0,0035	±0,28	±0,015
8	Direkte Teigführung + Guar; 0,3%	-	-	<b>159,2</b>	<b>2052</b>	<b>3,56</b>	<b>528,5</b>	-0,8	<b>14,45</b>	<b>0,3284</b>	<b>1,37</b>	<b>0,409</b>
				±0,3	±10	-2,9	±0,01	±2,9	±0,92	±0,0021	±0,19	±0,005
8	Direkte Teigführung + Guar; 0,5%	-	-	<b>160,0</b>	<b>1984</b>	<b>3,33</b>	<b>519,4</b>	-2,5	<b>15,30</b>	<b>0,2488</b>	<b>1,04</b>	<b>0,208</b>
				±0,3	±21	-6,2	±0,04	±4,4	±0,93	±0,0032	±0,07	±0,045
10	Direkte Teigführung + Xanthan; 0,3%	-	-	<b>161,2</b>	<b>1564</b>	<b>2,60</b>	<b>532,3</b>	-0,1	<b>19,84</b>	<b>0,4376</b>	<b>1,01</b>	<b>0,326</b>
				±0,2	±34	26,0	±0,06	±2,1	±3,05	±0,029	±0,11	±0,020
	Direkte Teigführung + Xanthan; 0,5%	-	-	<b>160,3</b>	<b>1567</b>	<b>2,61</b>	<b>535,6</b>	+0,5	<b>25,97</b>	<b>0,3669</b>	<b>0,99</b>	<b>0,369</b>
				±0,3	±12	25,9	±0,06	±3,8	±2,19	±0,0060	±0,02	±0,026
13	Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 ohne Saccharose	3,5	<b>13,1</b>	<b>161,0</b>	<b>2042</b>	<b>3,40</b>	<b>521,0</b>	-2,2	<b>21,27</b>	<b>0,3039</b>	<b>1,26</b>	<b>0,205</b>
			±0,0	±0,2	±22	-3,4	±0,04	±2,0	±0,54	±0,0046	±0,56	±0,017
14	Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 mit 10% Saccharose	3,5	<b>13,2</b>	<b>161,4</b>	<b>2207</b>	<b>3,68</b>	<b>525,0</b>	-1,5	<b>18,41</b>	<b>0,2735</b>	<b>1,43</b>	<b>0,135</b>
			±0,1	±0,3	±50	+4,4	±0,08	±3,0	±0,64	±0,0021	±0,04	±0,009
15	Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 ohne Saccharose	3,5	<b>12,9</b>	<b>157,7</b>	<b>1996</b>	<b>3,33</b>	<b>527,3</b>	-1,0	<b>21,07</b>	<b>0,3345</b>	<b>1,23</b>	<b>0,206</b>
			±0,2	±0,3	±69	-5,6	±0,12	±2,5	±0,59	±0,0019	±0,06	±0,004
16	Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 mit 10% Saccharose	3,5	<b>12,8</b>	<b>160,1</b>	<b>2156</b>	<b>3,59</b>	<b>524,0</b>	-1,6	<b>19,73</b>	<b>0,2777</b>	<b>1,26</b>	<b>0,134</b>
			±0,1	±0,2	±17	+2,0	±0,03	±1,7	±0,70	±0,0043	±0,02	±0,014

<sup>1</sup>Säuregrad, <sup>2</sup>Teigausbeute, <sup>3</sup>Textur Profil Analyse, <sup>4</sup>Differential Scannig Calorimetry.

#### 4.4.3. Einfluss der Mehlqualität auf das Altbackenwerden bei Einsatz von Vorteigen

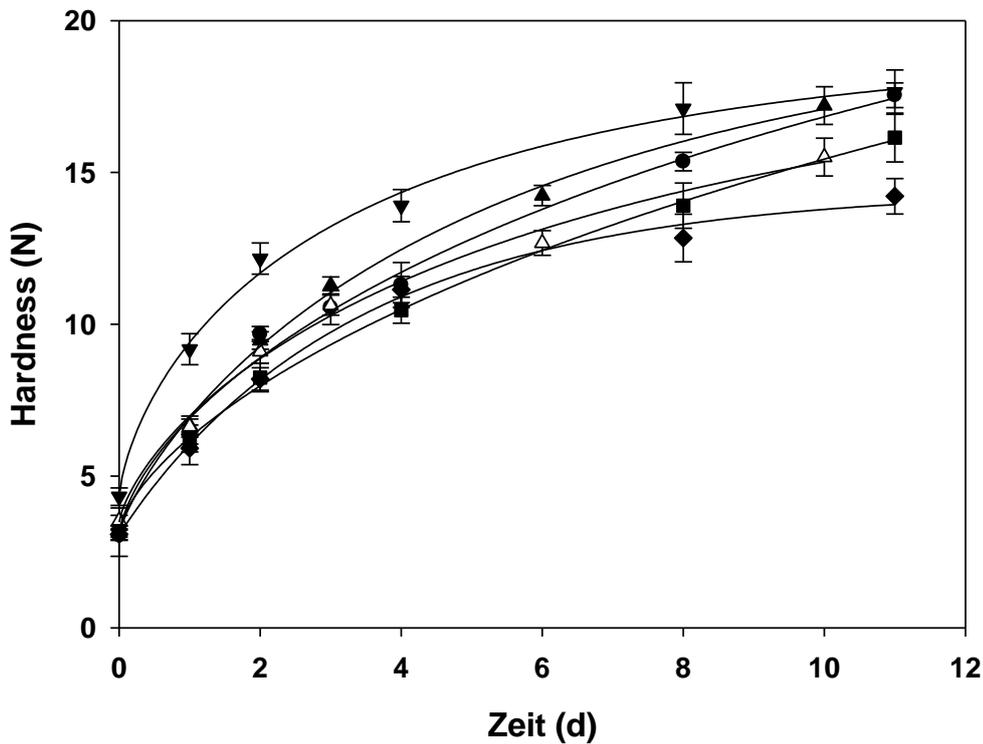
Um den Einfluss der Mehlqualität auf das Altbackenwerden bei Einsatz von Vorteigen zu untersuchen, wurden Weizenbrote unter Verwendung von Vorteigen hergestellt, die mittels schwachen und starken Mehlqualitäten zubereitet wurden (siehe Kapitel 2.1) und entweder mit dem Laktobazillenstamm *L. sanfranciscensis* LTH 1729 oder mit der Hefe *Torulasporea delbrueckii* H 242 sowie mit beiden Stämmen in Kombination fermentiert (siehe Kapitel 3.5.2) wurden. Weizenbrote, die unter Verwendung von Vorteigen mit dem Stamm LTH 1729 hergestellt wurden, zeigten sowohl bei der schwachen als auch bei der stärker Mehlqualität ein beschleunigtes Altbackenwerden gegenüber den entsprechenden Kontrollen mit direkter Teigführung (siehe Abbildung 10). Andererseits wiesen Weizenbrote, die unter Verwendung von Vorteigen, die mit dem Hefestamm H 242 fermentiert wurden, generell ein langsames Altbackenwerden auf (siehe Abbildung 10). Bei Verwendung von Vorteigen, die mit der Zugabe von Vorteigen die mit den Stämmen *L. sanfranciscensis* LTH 1729 und *T. delbrueckii* H 242 hergestellt wurden, waren beim Einsatz von Mehlen mit schwacher Mehlqualität ebenfalls geringere Krumenfestigkeiten bei Weizenbroten über die Lagerdauer im Vergleich zur Kontrolle (Einsatz von direkt geführten Teigen) zu beobachten.



**Abbildung 10:** Einfluss der Mehlqualität auf die Krumenfestigkeiten von Weizenbrotten bei verschiedenen Vorteigführungen während der Lagerung bei 25°C. (geschlossene Symbole), schwaches Mehl; (offene Symbole), starkes Mehl; (●, ○), Kontrolle direkte Teigführung; (◆, ◇), Vorteig mit *L. sanfranciscensis* LTH 1729; (▲, △), Vorteig mit *T. delbrueckii* H 242; (■, □), Vorteig mit *L. sanfranciscensis* LTH 1729 und *T. delbrueckii* H 242.

#### 4.4.4. Einfluss von kommerziellen Hydrokolloiden auf das Altbackenwerden

Zur Untersuchung des Einflusses von kommerziellen Hydrokolloiden auf das Altbackenwerden von Weizenbrotten wurden Guarkernmehl (Guar) und Xanthan in verschiedenen Konzentrationen (0,3% und 0,5%) bei der Teigherstellung eingesetzt (siehe Kapitel 3.5.1). Die Alterungskinetiken der TPA (siehe Kapitel 3.7.2.3) von Weizenbrotten mit direkter Teigführung unter Zusatz von Hydrokolloiden sind in Abbildung 11 aufgezeigt. Hierbei zeigte sich, dass durch den Einsatz des Hydrokolloids Guar, im Vergleich zur direkten Kontrolle, eine Verzögerung des Altbackenwerdens bewirkt wurde.



**Abbildung 11:** Einfluss von Hydrokolloiden und EPS auf die Krumenfestigkeit von Weizenbrot bei direkter Teigführung während der Lagerung der Brote bei 25°C. (●), Kontrolle; (■), 0,3% EPS von *L. sanfranciscensis* LTH 2590; (◆), 0,3% EPS von *L. sanfranciscensis* LTH 1729; (▲), 0,3% Guar; (Δ), 0,5% Guar; (▼), 0,3% Xanthan.

#### 4.4.5. Einfluss von isoliertem Exopolysaccharid auf das Altbackenwerden

Um den Einfluss von EPS auf das Altbackenwerden von Weizenbrot zu untersuchen und mit den kommerziell erhältlichen Hydrokolloiden Guar und Xanthan zu vergleichen, wurde EPS aus Überständen von Laktobazillenkulturen isoliert und dem Weizenbrotteig bzw. chemisch gesäuertem Vorteig zugesetzt. Im Vergleich zur direkt geführten Kontrolle und zu den Weizenbroten mit Guar und Xanthan zeigte der Einsatz von 0,3% isoliertem EPS aus den beiden *Lactobacillus*-Stämmen eine geringere Zunahme der Krumenfestigkeiten über die Lagerdauer (siehe Abbildung 11). Die Avrami-Parameter  $k$  der TPA der Weizenbrote mit Hydrokolloiden lagen über denen der Weizenbrote mit Zusatz von isoliertem EPS. Die Ergebnisse der TPA konnten durch die DSC-Analyse nur teilweise bestätigt werden. Während die Weizenbrote mit isoliertem EPS aus dem Stamm LTH 2590 erwartungsgemäß geringere Werte für den Avrami-Parameter  $k$  aufwiesen, zeigten die Weizenbrote mit EPS aus dem Stamm LTH 1729 einen höheren Wert als die Kontrolle (direkte Teigführung).

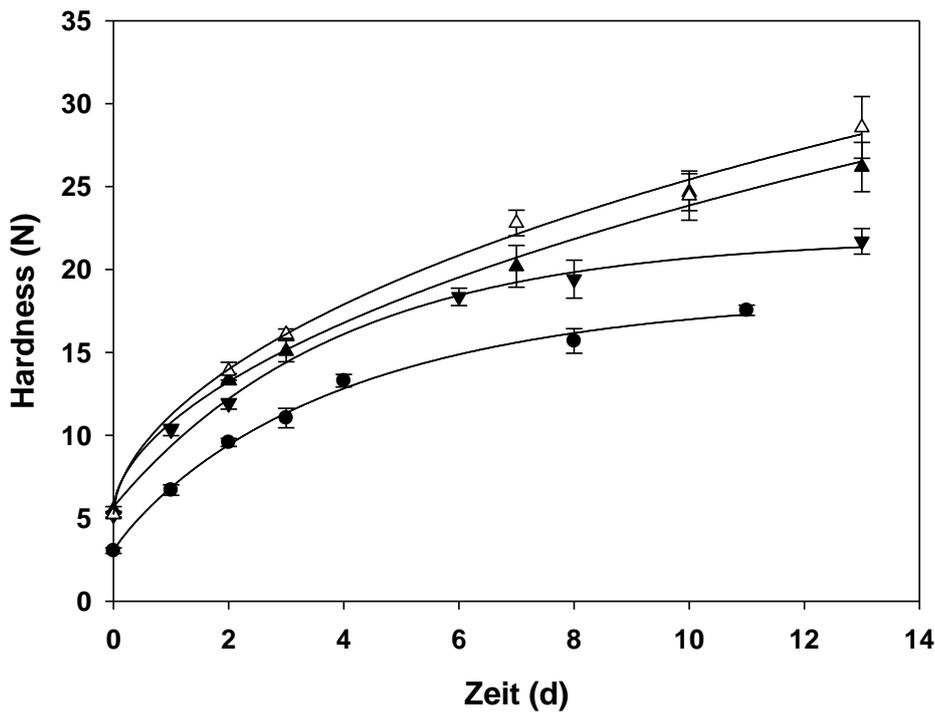
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass isoliertes EPS aus den beiden Laktobazillenstämmen wirkungsvoller hinsichtlich der Verzögerung des Altbackenwerdens ist als die kommerziellen Hydrokolloide Guar und Xanthan. Erst durch Erhöhung des Guar-Zusatzes auf 0,5% waren die Krumenfestigkeiten der Weizenbrote am Ende der Lagerung vergleichbar mit denen der Weizenbrote, die mit 0,3% EPS vom Stamm LTH 2590 hergestellt wurden. Weiterhin zeigten Weizenbrote, die mit EPS vom Stamm LTH 1729 hergestellt wurden, eine bessere Alterungskinetik im Gegensatz zu Weizenbroten mit EPS vom Stamm LTH 2590, was eventuell auf die Kettenlänge oder den Verzweigungsgrad des EPS zurückgeführt werden könnte. Um hierzu genauere Aussagen machen zu können, müssten Untersuchungen zur Aufklärung der molekularen Struktur des EPS durchgeführt werden.

#### **4.4.6. Einfluss der Vorteigführung auf das Altbackenwerden von Weizenbroten**

Um den positiven Einfluss von isoliertem EPS sowie den Einfluss von in Vorteigen gebildeten EPS auf die Alterung von Weizenbroten zu untersuchen, wurden chemisch gesäuerte Vorteige sowie mittels Starterkulturen hergestellte Vorteige mit und ohne EPS Anreicherung untersucht.

##### **4.4.6.1. Einfluss von chemischer Säuerung auf das Altbackenwerden**

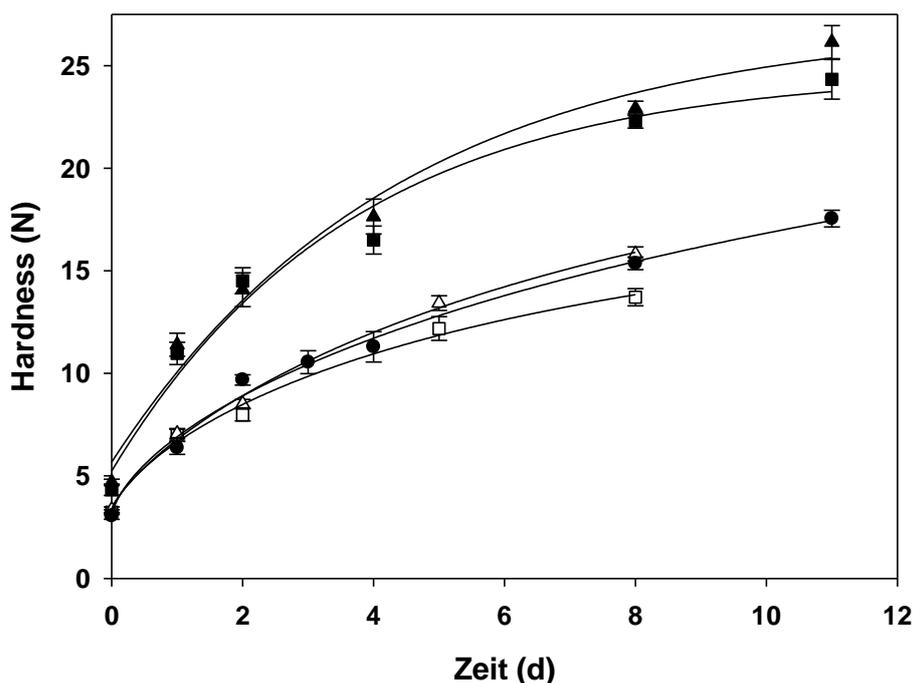
Bevor der Einfluss der EPS-Bildung auf das Altbackenwerden bei Vorteigführung untersucht werden sollte, wurden zuerst die Einflüsse von Quellungsvorgängen bzw. endogenen Enzymaktivitäten von Vorteigen auf das Altbackenwerden geklärt. Zu diesem Zweck wurden chemisch gesäuerte (Milchsäure : Essigsäure, 1:1) und mit Antibiotika versetzte (0,2 g/kg Chloramphenicol, 0,1 g/kg Actidion®) Vorteige verwendet. Die chemisch gesäuerten Vorteige wurden unter den gleichen Bedingungen hergestellt wie die fermentierten Vorteige (TA 200, 30°C, 22 h). Die Zugabe des chemisch gesäuerten Vorteiges erfolgte in Höhe von 10%. Die Verläufe der Krumenfestigkeiten von Weizenbroten, die mit chemisch gesäuerten Vorteigen hergestellt wurden, über eine Lagerdauer von bis zu 13 Tagen sind in Abbildung 12 dargestellt. Die Krumenfestigkeiten der Weizenbrote mit chemischer Säuerung lagen stets über denen der Kontrolle mit direkter Teigführung. Aus den Kurvenverläufen ist ersichtlich, dass mit sinkendem pH-Wert das Altbackenwerden der Weizenbrote zunahm. Die Alterungskinetiken der verschiedenen chemisch gesäuerten Vorteige konnten mittels der DSC-Analyse bestätigt werden (Tabelle 25 und Tabelle 26).



**Abbildung 12:** Einfluss von chemischer Säuerung bei Vorteigen auf die Krumenfestigkeit von Weizenbrot während der Lagerung bei 25°C (mittlere Mehlqualität). (●), Kontrolle direkter Teig; (▼), pH 6,2; (▲), pH 5,6; (△), pH 3,6.

#### 4.4.6.2. Einfluss von fermentativ gebildetem Exopolysaccharid auf das Altbackenwerden

Um den Einfluss von fermentativ gebildetem EPS auf die Textur und das Altbackenwerden von Weizenbrot zu untersuchen, wurden Weizenbrote unter Verwendung von Vorteigen hergestellt. Diese Vorteige wurden mit den beiden EPS-bildenden Stämmen *L. sanfranciscensis* LTH 1729 und LTH 2590 für 22h bei 30°C fermentiert. Die Vorteige wurden sowohl ohne als auch mit Zusatz von 10% Saccharose hergestellt, so dass unterschiedliche EPS-Konzentrationen im Teig erhalten wurden, da die Saccharose im Mehl auch schon zur Bildung von geringen EPS-Mengen führt. Aufgrund der benutzten Führungsparameter enthielten die Vorteige mit Zusatz von Saccharose nach abgeschlossener Fermentation noch Restmengen an Saccharose (siehe Tabelle 12), welche jedoch während der Gärphase der Weizenbrote durch die Hefe verbraucht wurde.



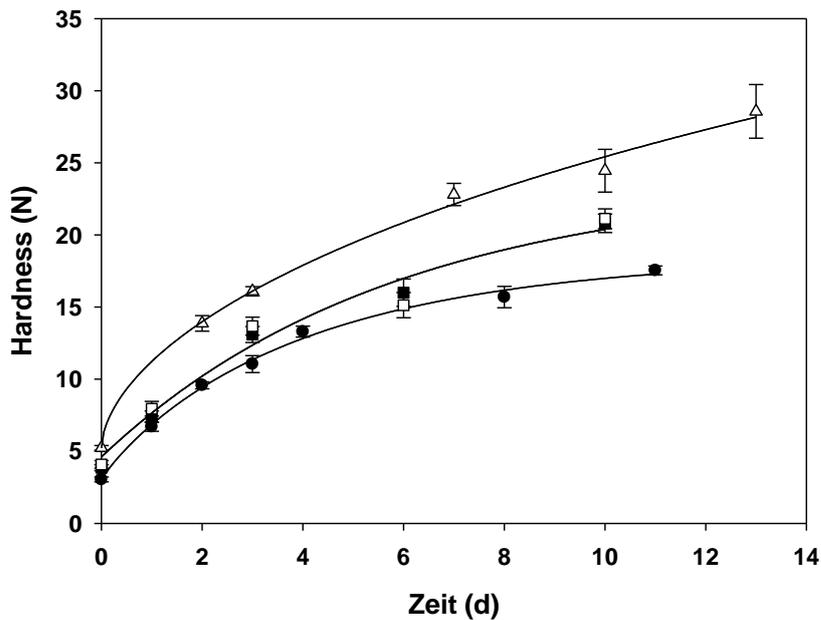
**Abbildung 13:** Einfluss der Vorteigführung auf die Krumenfestigkeit von Weizenbroten während der Lagerung bei 25°C. (●), Kontrolle direkte Teigführung; (geschlossene Symbole), kein Saccharose-Zusatz zum Vorteig; (offene Symbole), 10% Saccharose-Zusatz zum Vorteig; (■, □), Vorteig mit *L. sanfranciscensis* LTH 1729; (▲, △), Vorteig mit *L. sanfranciscensis* LTH 2590.

Die Krumenfestigkeiten der Weizenbrote, die mit Vorteigen ohne Zusatz von Saccharose unter Verwendung der Stämme LTH 1729 und LTH 2590 hergestellt wurden, spiegeln die Ergebnisse von Weizenbrot wider, die mit chemisch gesäuerten Vorteigen hergestellt wurden (Abbildung 13). Sie lagen stets über denen der Weizenbrote der Kontrolle mit direkter Teigführung. Weiter konnte ein geringer Unterschied in der Zunahme der Krumenfestigkeiten zwischen den beiden *Lactobacillus*-Stämmen beobachtet werden. Weizenbrote, die unter Verwendung des Stammes LTH 1729 hergestellt wurden, zeigten ab dem 4. Tag eine Tendenz zu geringeren Krumenfestigkeiten im Vergleich zu den Weizenbrot aus Vorteigen, welche mit dem Stamm LTH 2590 fermentiert wurden. Auch hier konnten die Ergebnisse der TPA Messungen mittels DSC-Analyse bestätigt werden (Tabelle 25 und Tabelle 26). Die Weizenbrote mit fermentativ angereichertem EPS im Vorteig zeigten eine langsamere Brotalterung im Vergleich zur direkten Kontrolle (siehe Abbildung 13). Die erhaltenen Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch eine vermehrte Bildung von EPS in den Vorteigen mit Saccharose eine Verlangsamung des Altbackenwerdens bewirkt werden kann. Weiterhin

konnten über die Lagerdauer Unterschiede in den Krumenfestigkeiten von Weizenbroten, die unter Verwendung von Vorteigen, welche mit den beiden *Lactobacillus*-Stämmen hergestellt wurden, beobachtet werden. Weizenbrote, deren Vorteige unter Verwendung des Stammes LTH 1729 hergestellt wurden, zeigten in allen durchgeführten Versuchen ein langsames Alterungsverhalten gegenüber denen mit Stamm LTH 2590. Die berechneten Avrami-Parameter  $k$  der DSC-Analyse bestätigen wiederum die einzelnen Ergebnisse der TPA (Tabelle 25 und Tabelle 26). Durch Einsatz von Vorteigen mit fermentativ angereichertem EPS wurden im Vergleich zur direkten Kontrolle ca. 5% höhere Volumina erhalten (Tabelle 25 und Tabelle 26), während hingegen ohne EPS-Anreicherung die Volumina um ca. 5% sanken. Ebenso waren bei EPS-angereicherten Weizenbroten die Gewichtsverluste um 1% geringer. Die Ergebnisse konnten auch bei der starken Mehlqualität erhalten werden. Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass sich der Einsatz von Vorteigen mit fermentativ angereichertem EPS bei der Herstellung von Weizenbroten positiv auf die Krumenfestigkeiten bzw. Retrogradation der Stärke auswirkt, und somit das Altbackenwerden verzögert werden kann.

#### **4.4.6.3. Einfluss von chemischer Säuerung mit Zusatz von isoliertem Exopolysaccharid auf das Altbackenwerden**

Um die positive Wirkung des fermentativ gebildeten EPS auf das Altbackenwerden tatsächlich auf das EPS zurückführen zu können, wurden Weizenbrote mit chemisch gesäuerten Vorteigen und isoliertem EPS hergestellt. Es zeigte sich, dass der Zusatz von 0,3% isoliertem EPS zum chemisch gesäuerten Vorteig im Vergleich zum Vorteig ohne EPS eine geringere Zunahme der Krumenfestigkeiten von Weizenbroten über die Lagerdauer bewirkt (siehe Abbildung 14). Die berechneten Avrami-Parameter  $k$  für die TPA und DSC-Analyse bestätigen diese Ergebnisse (siehe Tabelle 24). Die Volumina bzw. Gewichtsverluste der Weizenbrote aus chemisch gesäuerten Vorteigen mit EPS-Zusatz fielen im Vergleich zu jenen ohne EPS-Zusatz höher bzw. niedriger aus. Im Vergleich zur Kontrolle mit direkter Teigführung konnte kein Unterschied festgestellt werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Verzögerung des Altbackenwerdens bei Einsatz von Vorteigen mit fermentativ angereichertem EPS tatsächlich auf das EPS zurückzuführen ist.



**Abbildung 14:** Einfluss von chemischer Säuerung mit EPS-Zusatz bei Vorteigen auf die Krumenfestigkeit von Weizenbroten während der Lagerung bei 25°C. (●), Kontrolle direkte Teigführung; (△), pH 3,6; (■), pH 3,6 mit EPS von *L. sanfranciscensis* LTH 1729; (□), pH 3,6 mit EPS von *L. sanfranciscensis* LTH 2590.

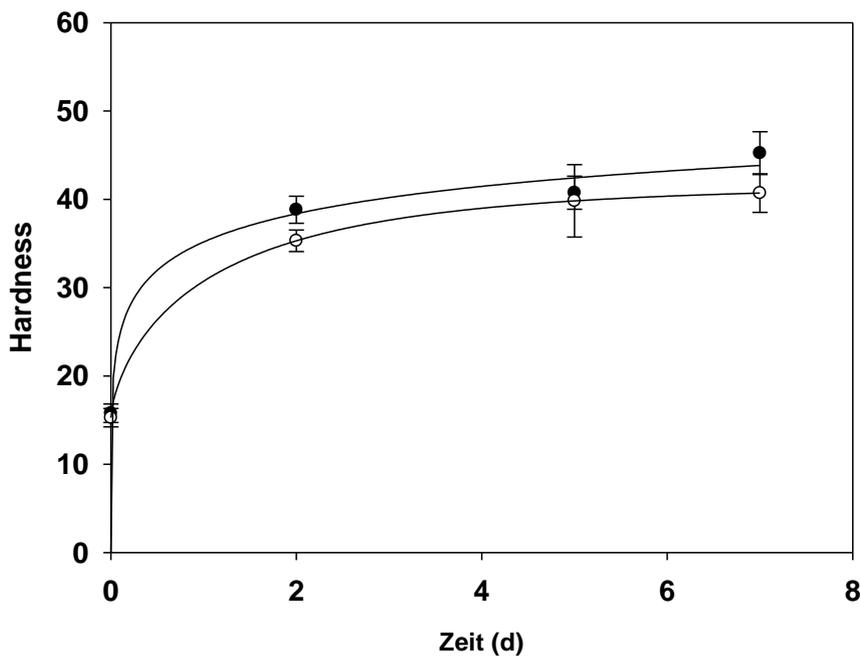
#### 4.4.6.4. Einfluss von fermentativ gebildetem Exopolysaccharid auf das Altbackenwerden von Mischbroten

Beispielhaft wurden Untersuchungen zum Einfluss von EPS auf das Altbackenwerden von Mischbroten (Roggen- und Weizenmehl im Verhältnis 50:50) unter Einsatz der beiden Stämme *L. sanfranciscensis* LTH 1729 und LTH 2590 in den Vorteigen durchgeführt. Die Mischbrote wurden jeweils nach derselben Rezeptur wie die Weizenbrote (siehe Tabelle 5), allerdings mit folgender Modifikation zubereitet: anstelle des Weizenmehls der Type 550 wurden gleiche Anteile an Weizen- und Roggenmehl eingesetzt und die Teige 8 min auf eine Festigkeit von 400 FE geknetet. Die Charakteristika der eingesetzten Weizen- bzw. Roggenmehle sind in Tabelle 1 bzw. Tabelle 2 dargestellt.

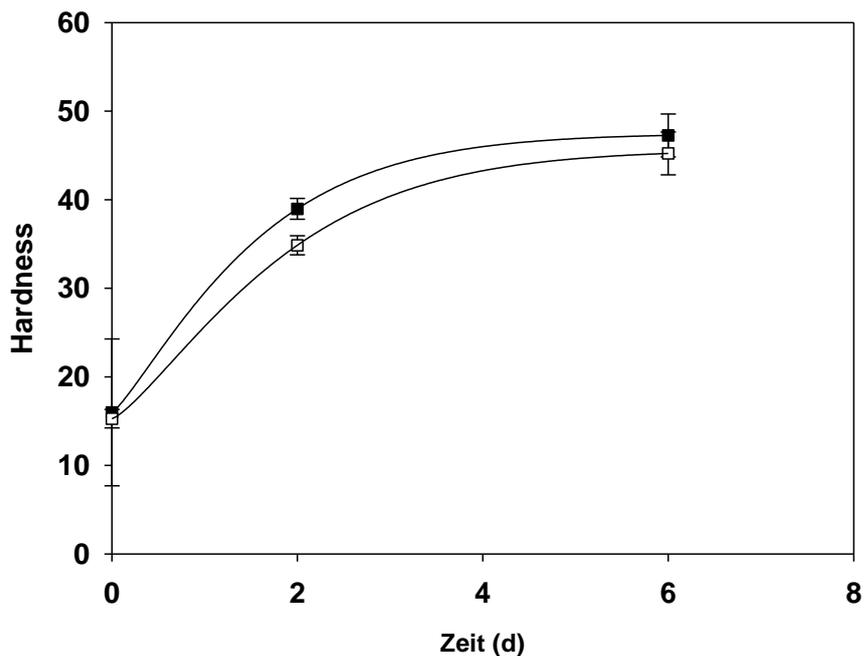
**Tabelle 26:** pH-Werte und Säuregrade (SG) von Vorteigen, Teigausbeuten der Brotteige sowie Volumen, Gewichtsverlust, Enthalpie ( $\Delta H_{\infty}$ ) und durchschnittliche Avrami-Parameter  $k$  der TPA- und DSC-Analysen von Mischbrotten (Roggen : Weizen, 50:50) während der Lagerung bei 25°C.

Versuch	Vorteig		Teig	Brot				
	pH	SG <sup>1</sup>	TA <sup>2</sup>	Volumen	TPA <sup>3</sup>		DSC <sup>4</sup>	
				mL	$F_{\infty}-F_0$ N	$k$ days <sup>-1</sup>	$\Delta H_{\infty}$ J/g	$k$ days <sup>-1</sup>
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 ohne Saccharose	3,6	17,5	<b>165,0</b>	1705±13	<b>29,45</b> ±1,38	<b>0,5700</b> ±0,0075	<b>1,11</b> ±0,02	<b>0,325</b> ±0,012
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 1729 mit 10% Saccharose	3,6	19,1	<b>165,0</b>	1743±26	<b>25,43</b> ±1,14	<b>0,5374</b> ±0,0075	<b>0,94</b> ±0,02	<b>0,258</b> ±0,009
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 ohne Saccharose	3,6	16,4	<b>165,0</b>	1690±16	<b>31,28</b> ±2,13	<b>0,6634</b> ±0,0087	<b>1,26</b> ±0,02	<b>0,315</b> ±0,006
Vorteig mit <i>L. sanfranciscensis</i> LTH 2590 mit 10% Saccharose	3,6	18,9	<b>165,0</b>	1723±23	<b>12,80</b> ±0,62	<b>0,3031</b> ±0,0045	<b>1,12</b> ±0,03	<b>0,306</b> ±0,020

<sup>1</sup>Säuregrad, <sup>2</sup>Teigausbeute, <sup>3</sup>Textur Profil Analyse, <sup>4</sup>Differential Scannig Calorimetry



**Abbildung 15:** Einfluss der Vorteigführung auf die Krumenfestigkeiten von Mischbrotten (Roggenmehl: Weizenmehl, 50:50) während der Lagerung bei 25°C. (●), Vorteig mit *L. sanfranciscensis* LTH 1729 ohne Saccharose; (○), Vorteig mit *L. sanfranciscensis* LTH 1729 mit 10% Saccharose.



**Abbildung 16:** Einfluss der Vorteigführung auf die Krumenfestigkeiten von Mischbrotten (Roggenmehl: Weizenmehl, 50:50) während der Lagerung bei 25°C. (■), Vorteig mit *L. sanfranciscensis* LTH 2590 ohne Saccharose; (□), Vorteig mit *L. sanfranciscensis* LTH 2590 mit 10% Saccharose.

In Abbildung 15 und Abbildung 16 sind die Krumenfestigkeiten der Mischbrote über die Dauer der Lagerung dargestellt. Es zeigte sich, dass bei den EPS-angereicherten Teigen lediglich geringe Tendenzen zu weicherer Krume und somit keine bedeutenden Unterschiede bezüglich des Altbackenwerdens der Krume zu beobachten waren. Wie aus Tabelle 26 ersichtlich wird, korrelieren die Avrami-Parameter  $k$  der DSC-Messungen mit den Messungen der Krumenfestigkeiten mittels TPA. Ebenso war beim Anschneiden von Mischbrotten optisch festzustellen, dass die Krume der unter Verwendung von EPS-angereicherten Vorteigen hergestellten Brote feuchter und klebriger war. Dadurch wirkten die Brote weniger altbacken im Gegensatz zu den Brotten, welche nicht mit EPS angereichert wurden und infolgedessen einen krümeligen und trockenen Anschein hatten. Diese Eigenschaften konnten für beide eingesetzten Laktobazillenstämme beobachtet werden und deuteten somit auf eine verlängerte Frischhaltung hin. Daraus lässt sich schließen, dass eine EPS-Anreicherung positive Auswirkungen auf die Alterung von Roggenmischbrotten hat.

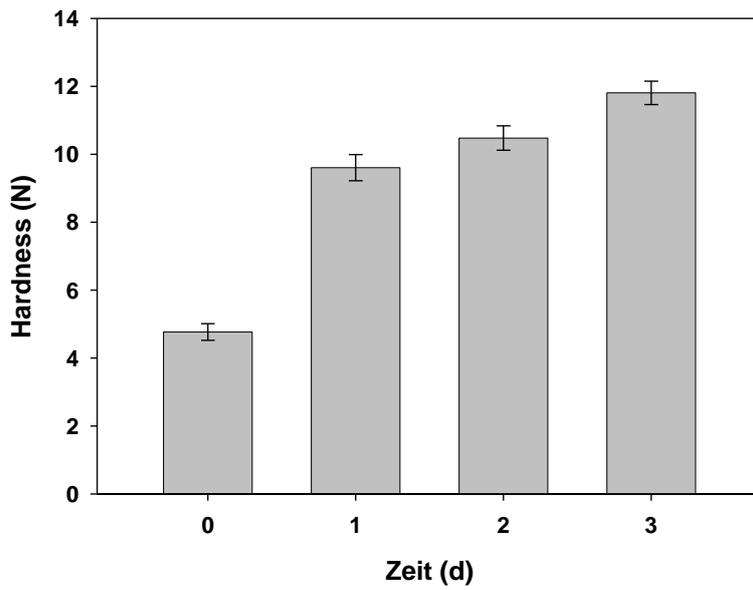
#### 4.4.6.5. Sensorische Untersuchung von direkt geführten Weizenbroten

Es wurde eine sensorische Verkostung von Weizenbroten, die mit unterschiedlicher Führungsweise hergestellt und verschieden lang gelagert wurden, durchgeführt. Um eine Aussage über die Versuche machen zu können, wurde eine Prüferanzahl von  $n > 10$  gewählt. Im ersten Teil der Verkostung wurden direkt geführte Weizenbrote verkostet, welche 1 bis 3 Tage alt waren. Die Weizenbrote sollten von den Prüfern nach Beliebtheit durch Riechen und Schmecken in eine Reihenfolge gebracht werden. Hierbei sollte besonders auf die Frische der Krume bzw. das Altbackensein geachtet werden. Die Versuche wurden zweimal mit 14 Personen durchgeführt. Wie in Tabelle 27 dargestellt, zeigt sich eine deutliche Abstufung der Weizenbrote nach ihrem Grad des Altbackenseins. Sehr gut ist die Tendenz zur Bevorzugung von Weizenbroten zu erkennen, welche nur einen Tag gelagert wurden. Somit zeigte sich, dass nicht geschulte Prüfer in der Lage sind, das Altbackenwerden durch sensorische Verkostung von Weizenbroten beurteilen zu können. Messungen von Krumenfestigkeiten der verkosteten Weizenbrote zeigten, dass die Personen Unterschiede von  $\sim 1$  N sensorisch erfassen konnten (siehe Abbildung 17). Dies deutet darauf hin, dass selbst geringe Unterschiede in der Krumenfestigkeit über den Eindruck des Altbackenwerdens von Weizenbroten entscheiden.

**Tabelle 27:** Ergebnisse der sensorischen Untersuchung auf Altbackenwerden von direkt geführten Weizenbroten mit unterschiedlicher Lagerdauer.

Lagerdauer der Weizenbrote	Rangzahl*	
	Gruppe 1	Gruppe 2
1 Tag	4,12	4,33
2 Tage	3,06	3,80
3 Tage	2,65	3,11

\* Je höher die Rangzahl, desto frischer wurde das Brot empfunden.

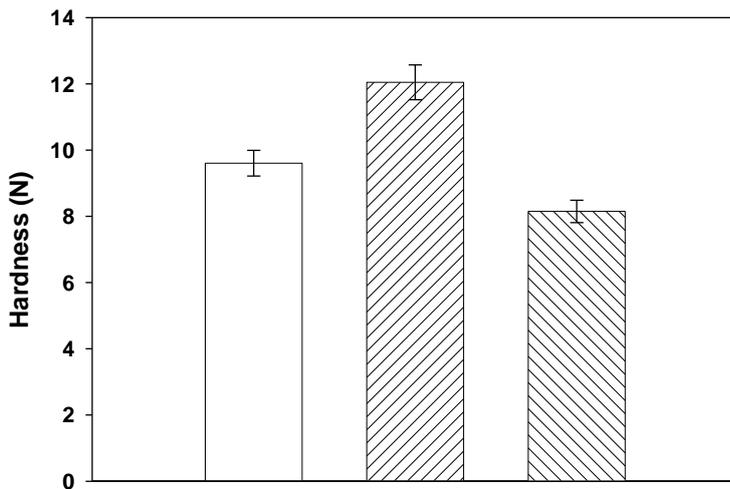


**Abbildung 17:** Krumenfestigkeiten der sensorisch verkosteten direkt geführten Weizenbrote über die Lagerdauer von 3 Tagen.

**Tabelle 28:** Ergebnisse der sensorischen Untersuchung auf Altbackenwerden von 1 Tag gelagerten Weizenbroten mit und ohne Vorteigführung.

Versuch	Rangzahl*	
	Gruppe 1	Gruppe 2
Kontrolle direkt	3,14	2,25
direkt + 0,3% Guar	3,21	2,69
Weizenvorteig LTH 1729	3,93	3,40

\* Je höher die Rangzahl, desto frischer wurde das Weizenbrot empfunden.



**Abbildung 18:** Krumenfestigkeiten der sensorisch untersuchten Weizenbrote. (□), Kontrolle direkte Teigführung; (▨), direkte Teigführung mit 0,3% Guar; (▩), Vorteigführung mit 10% Vorteig LTH 1729.

**Tabelle 29:** Ergebnisse der sensorischen Untersuchung von 1 Tag gelagerten Weizenbrot mit und ohne Vorteigführung auf Beliebtheit.

Versuch	Rangzahl*	
	Gruppe 1	Gruppe 2
Kontrolle direkt	1,93	1,74
direkt + 0,3% Guar	1,86	1,46
Weizenvorteig LTH 1729	2,21	1,69

\* Je höher die Rangzahl, desto beliebter war das Weizenbrot.

Im zweiten Teil der Verkostung wurden 1 Tag alte Weizenbrote, welche unter Verwendung verschiedener Teigführungen hergestellt wurden, verkostet. Ein Weizenbrot war direkt geführt, eines mit 0,3% Guar und das dritte mit Zusatz von 10% EPS-angereichertem Vorteig mit dem Stamm LTH 1729. Hier konnten die Prüfer keine Unterschiede im Altbackensein der einzelnen Weizenbrote finden. Dies bestätigt die Aussagekraft der sensorischen Untersuchungen, da alle Weizenbrote gleich lange gelagert wurden. Allerdings zeichnete sich bei beiden Versuchsgruppen eine leichte Tendenz ab, dass das Weizenbrot, welches mit Weizenvorteig hergestellt wurde (siehe Tabelle 28), als weniger altbacken empfunden wurde. Dies spiegelt sich auch in den gemessenen Krumenfestigkeiten der Weizenbrote wieder (siehe

Abbildung 18). Hier zeigten Weizenbrote mit Vorteig eine geringere Festigkeit gegenüber den direkt hergestellten. Auch die sensorische Prüfung auf Beliebtheit konnte keine eindeutige Aussage treffen. Jedoch zeigte sich bei Gruppe 1 eine Tendenz hin zu Weizenbroten, welche mit Weizenvorteig hergestellt wurden (siehe Tabelle 29).

#### **4.4.7. Einfluss der Gefrierlagerung auf Volumen und Textur von Weizenbroten**

Aus den Weizenbrotteigen vor und nach TK-Lagerung wurden Kastenweißbrote hergestellt und deren Volumen sowie die Textur erfasst. Die Ergebnisse der Volumenmessungen zeigten deutlich den negativen Effekt des Einfrierens auf das Volumen der Weizenbrote (Tabelle 30). Alle Weizenbrote aus gefriergelagertem Teig wiesen ein geringeres Volumen gegenüber ohne Gefrierlagerung hergestellt wurden. Weizenbrote, welche unter Verwendung von Vorteigen mit fermentativ angereichertem EPS hergestellt wurden, zeigten selbst nach TK-Lagerung der Teige höhere Volumina als die Kontrollbrote ohne TK-Lagerung und ohne EPS-Zusatz. Die Krumenfestigkeiten der Weizenbrote nach der TK-Lagerung der Teige stiegen ebenfalls an (Tabelle 30). Der Anstieg der Krumenfestigkeit ergab sich aus den geringeren Volumina der Weizenbrote, was zu einer verdichteten Krumenstruktur führte. Bei Zusatz von EPS-angereicherten Vorteigen wurden geringere Krumenfestigkeiten nach TK-Lagerung der Teige beobachtet als bei den Kontrollbroten ohne TK. Dies korreliert mit den Ergebnissen der Volumenmessung (Tabelle 31).

**Tabelle 30:** Einfluss der Tiefkühlagerung von Teigen mit Zusatz von Hydrokolloiden und Vorteigen auf das Volumen und das spezifische Volumen von direkt geführten Weizenbroten (mittlere Mehlqualität).

Versuch	Volumen (mL)		spez. Volumen (cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup> )	
	vor TK	nach TK	vor TK	nach TK
1 Kontrolle, direkte Teigführung	1948±27	1780±44	3,25±0,07	2,97±0,07
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	2092±34	1962±57	3,49±0,06	3,27±0,10
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	1907±31	1864±57	3,18±0,10	3,11±0,04
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 1729	2103±33	1936±41	3,51±0,07	3,23±0,07
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 2590	2121±14	1954±36	3,54±0,06	3,26±0,06
13 Vorteig 1729 ohne Saccharose	2021±11	1938±35	3,37±0,02	3,23±0,06
14 Vorteig 1729 mit 10% Saccharose	2193±44	2021±11	3,66±0,07	3,37±0,02
15 Vorteig 2590 ohne Saccharose	1989±26	1936±40	3,32±0,04	3,23±0,07
16 Vorteig 2590 mit 10% Saccharose	2198±18	2014±20	3,66±0,03	3,36±0,03

**Tabelle 31:** Einfluss der Tiefkühlagerung von Teigen mit Zusatz von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Krumenfestigkeiten von Weizenbroten (mittlere Mehlqualität).

Versuch	Hardness (N)	
	vor TK	nach TK
1 Direkte Teigführung	4,03±0,06	5,21±0,05
8 Direkte Teigführung + 0,3% Guar	2,68±0,07	4,49±0,11
10 Direkte Teigführung + 0,3% Xanthan	3,55±0,03	4,76±0,13
11 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 1729	3,23±0,02	4,01±0,10
12 Direkte Teigführung + 0,3% EPS 2590	3,11±0,02	4,09±0,09
13 Vorteig 1729 ohne Saccharose	3,24±0,07	4,65±0,14
14 Vorteig 1729 mit 10% Saccharose	2,86±0,09	3,98±0,09
15 Vorteig 2590 ohne Saccharose	3,56±0,05	4,73±0,01
16 Vorteig 2590 mit 10% Saccharose	3,12±0,04	3,98±0,10

#### 4.5. Einsatz von gefriergetrockneten Vorteigen

In vorbereitenden Versuchen zur Herstellung eines Backmittels mit EPS (siehe Kapitel 4.7) wurden EPS-angereicherte Vorteige mit den Stämmen LTH 1729 und LTH 2590 fermentiert und anschließend gefriergetrocknet (lyophilisiert) und dem Teig zugesetzt und Weizenbrote

---

nach Rezeptur (siehe Tabelle 5) verbacken. Parallel wurden diese lyophilisierten Proben zur Analyse der Metaboliten herangezogen (siehe Kapitel 3.8.2). Von den Teigen wurde die Teigrheologie sowie von den Broten das Altbackenwerden untersucht. Bei Einsatz der gefriergetrockneten Vorteige zeigten sich die gleichen Kinetiken für das Altbackenwerden, wie sie durch Einsatz von Vorteigen erhalten wurden (vgl. siehe Kapitel 4.4.3). Die berechneten Avrami-Parameter  $k$  der TPA und DSC Messungen lagen im Bereich der direkt geführten Kontrolle (siehe Tabelle 39), welche die Ergebnisse der Untersuchungen mit dem nicht getrockneten Vorteig bestätigt. Dies zeigt auch, dass die schonende Gefriertrocknung keinen Einfluss auf den Vorteig ausübt. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass auch keine Zerstörung oder Umsetzung des gebildeten EPS durch die Trocknung stattfand.

## 4.6. Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf die Rheologie von Weizenteigen

Auch Teige mit Zusatz des getrockneten Sauerteigpräparates (im folgenden Backmittel genannt) in technologisch relevanter Menge (3% und 5% bezogen auf Mehl) wurden mit den in Kapitel 4.2. beschriebenen Methoden auf die teigrheologischen Eigenschaften untersucht. Die Versuchsbedingungen waren hierbei identisch.

### 4.6.1. Einfluss des Backmittels auf die viskoelastischen Eigenschaften von Weizenteigen

Teige mit Backmittelzusatz wurden unter den gleichen Bedingungen wie in Kapitel 4.6.1 beschrieben hergestellt und im Bohlin-Rheometer untersucht (siehe Tabelle 32 und Tabelle 33). In der Oszillationsmessung unterscheiden sich die Ergebnisse bei beiden Mehlen kaum. Die Teigbeschaffenheit ändert sich hier also trotz höherer Teigausbeute nicht wesentlich. Allenfalls bewirkt der Zusatz von 5% Backmittel ein etwas höheres Komplexmodul, was auf einen festeren Teig hindeutet. In der Kriech-Erholungsmessung werden Teige mit 3% Backmittel deutlich weicher (höhere Kriechkomplianz) und elastischer (höherer Quotient der Relativen Erholung). Der Zusatz von 5% Backmittel bewirkt hier allerdings eine sehr niedrige Kriech- und Erholungskomplianz, was wiederum einen festeren Teig als Ursache hat. Beim starken Mehl zeichnet sich eine Tendenz ab, dass bei höherem Backmittelzusatz die Kriechkomplianz steigt, was mit weicheren Teigen einhergeht (siehe Tabelle 33).

**Tabelle 32:** Einfluss der Zugabe von Backmittel mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf Parameter der Oszillations- und Kriech-Erholungsmessungen mit dem Bohlin-Rheometer (mittlere Mehlqualität).

Zusatz BM (%)	Oszillation (10 Hz)		Kriech-Erholungsmessung		
	Komplex- modul $ G^* $ (Pa)	Phasen- winkel $\delta$ (°)	Max. Kriechkomplianz (1/Pa)	Erholungs- komplianz (1/Pa)	Relative Erholung
0	$1,40 \cdot 10^4$ $\pm 0,03 \cdot 10^4$	22,9 $\pm 0,4$	$5,99 \cdot 10^{-3}$ $\pm 0,46 \cdot 10^{-3}$	$4,30 \cdot 10^{-3}$ $\pm 0,91 \cdot 10^{-3}$	0,71
3	$1,37 \cdot 10^4$ $\pm 0,06 \cdot 10^4$	23,3 $\pm 0,2$	$7,20 \cdot 10^{-3}$ $\pm 0,30 \cdot 10^{-3}$	$5,86 \cdot 10^{-3}$ $\pm 0,25 \cdot 10^{-3}$	0,81
5	$1,63 \cdot 10^4$ $\pm 0,09 \cdot 10^4$	22,8 $\pm 0,3$	$5,05 \cdot 10^{-3}$ $\pm 0,94 \cdot 10^{-3}$	$3,91 \cdot 10^{-3}$ $\pm 0,81 \cdot 10^{-3}$	0,77

<sup>1</sup>Backmittel

**Tabelle 33:** Einfluss der Zugabe von Backmittel mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf Parameter der Oszillations- und Kriech-Erholungsmessungen mit dem Bohlin-Rheometer (starke Mehlqualität).

Zusatz BM <sup>1</sup> (%)	Oszillation (10 Hz)		Kriech-Erholungsmessung		
	Komplex- modul $ G^* $ (Pa)	Phasen- winkel $\delta$ (°)	Max. Kriechkomplianz (1/Pa)	Erholungs- komplianz (1/Pa)	Relative Erholung
<b>0</b>	<b>1,39•10<sup>4</sup></b> $\pm 0,01 \cdot 10^4$	<b>24,9</b> $\pm 0,2$	<b>6,92•10<sup>-3</sup></b> $\pm 0,27 \cdot 10^{-3}$	<b>5,27•10<sup>-3</sup></b> $\pm 0,56 \cdot 10^{-3}$	<b>0,76</b>
<b>3</b>	<b>1,46•10<sup>4</sup></b> $\pm 0,07 \cdot 10^4$	<b>24,3</b> $\pm 0,4$	<b>7,18•10<sup>-3</sup></b> $\pm 1,39 \cdot 10^{-3}$	<b>5,56•10<sup>-3</sup></b> $\pm 1,21 \cdot 10^{-3}$	<b>0,77</b>
<b>5</b>	<b>1,49•10<sup>4</sup></b> $\pm 0,03 \cdot 10^4$	<b>24,6</b> $\pm 0,4$	<b>10,42•10<sup>-2</sup></b> $\pm 0,46 \cdot 10^{-3}$	<b>8,55•10<sup>-3</sup></b> $\pm 0,91 \cdot 10^{-3}$	<b>0,60</b>

<sup>1</sup>Backmittel

#### 4.6.2. Einfluss des Backmittels auf die Teigentwicklung und Gashaltevermögen von Weizenteigen

Ein Teil des Weizenbrotteiges mit und ohne Zusatz von Backmittel, welcher zur Untersuchung des Altbackenwerdens verwendet wurde, wurde jeweils auch im Rheofermentometer auf Teigentwicklung und Gasbildung bzw. Gashaltevermögen getestet. Hier wurde nur mit der mittleren Mehlqualität gearbeitet. Die Teigentwicklungskurve verläuft mit zunehmender Konzentration an Backmittel flacher (Tabelle 34). Der höchste Teigstand wird bei 3% Backmittelzusatz später erreicht als bei der Kontrolle, die Höhe nach 3h verringert sich nicht. Dies deutet insgesamt bei 3% Backmittelzusatz auf einen mehr dehnbaren und stabileren Teig hin, was auch korreliert mit den Ergebnissen vom Bohlin-Rheometer. Der Zusatz von 5% Backmittel verschlechtert dagegen die Teigstruktur deutlich, was mit der höheren eingebrachten Menge an organischen Säuren begründet werden kann. Die Gasbildung verläuft bei beiden Backmittelkonzentrationen gleichmäßiger als bei der Kontrolle, der Beginn der Porosität des Teiges verschiebt sich wesentlich nach hinten.

**Tabelle 34:** Einfluss des Zusatzes von Backmittel mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf Parameter der Teigentwicklungs- und Gasbildung, die mit dem Rheofermentometer gemessen wurden (mittlere Mehlqualität).

Zusatz BM <sup>1</sup> (%)	Teigentwicklung			Gasbildung			
	Max. Höhe Hm (mm)	Zeit T1 bei Hm (min)	Höhe nach 3h (mm)	Max. Höhe Hm (mm)	Zeit T'1 bei Hm (min)	Beginn Porosität (min)	Gesamt- Gasvolu- men (mL)
<b>0</b>	<b>48,7</b> ± 7,2	<b>149</b> ± 8	<b>37,7</b> ± 4,1	<b>61,2</b> ± 5,1	<b>95</b> ± 35	<b>90</b> ± 10	<b>1490</b> ± 123
<b>3</b>	<b>46,5</b> ± 6,5	<b>158</b> ± 20	<b>37,3</b> ± 6,4	<b>64,3</b> ± 4,8	<b>183</b> ± 1	<b>145</b> ± 6	<b>1357</b> ± 98
<b>5</b>	<b>40,0</b> ± 7,2	<b>135</b> ± 8	<b>24,5</b> ± 4,1	<b>59,5</b> ± 5,1	<b>105</b> ± 35	<b>139</b> ± 10	<b>1259</b> ± 123

<sup>1</sup>Backmittel

#### 4.6.2.1. Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf die Klebrigkeit von Weizenteigen

Messungen der Klebrigkeit wurden ebenfalls in den zwei technologisch relevanten Konzentrationen an Backmittel mit zwei verschiedenen Mehlqualitäten durchgeführt. Es zeigte sich, dass sich die Klebrigkeit bei Einsatz des Sauerteigpräparates von 3% verringerte. Dies war beim starken Mehl im Vergleich zur mittleren Mehlqualität ausgeprägter (siehe Tabelle 35). Bei Konzentrationserhöhung auf 5% nahmen bei beiden Mehlqualitäten die Klebrigkeit-Werte zu, sowohl im Vergleich zur Kontrolle, als auch zum Zusatz von 3% Backmittel.

**Tabelle 35:** Einfluss des Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf die Klebrigkeit von Weizenteigen bei verschiedener Mehlqualität.

Zusatz BM <sup>1</sup> (%)	Klebrigkeit (N)	
	Mehlqualität	
	mittel	stark
<b>0</b>	<b>0,328</b> ± 0,017	<b>0,336</b> ± 0,028
<b>3</b>	<b>0,317</b> ± 0,025	<b>0,313</b> ± 0,024
<b>5</b>	<b>0,363</b> ± 0,031	<b>0,372</b> ± 0,028

<sup>1</sup>Backmittel

#### 4.6.2.2. Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf das Dehnverhalten von Weizenteigen

Bei Zusatz des Sauerteigpräparates bei der mittleren Mehlqualität, zeigte sich sowohl bei 3% als auch bei 5%, kaum eine Änderung im Dehnwiderstand, während die Dehnbarkeit mit steigender Konzentration an getrocknetem Sauerteig abnahm (siehe Tabelle 36). Dies wird auch durch die steigende Verhältniszahl verdeutlicht. Bei der proteinreicheren, starken Mehlqualität zeigte sich im Gegensatz dazu, dass durch steigenden Zusatz an Sauerteigpräparat der Dehnwiderstand sinkt, bei zunehmender Dehnbarkeit. Dies wird auch durch die sinkende Verhältniszahl verdeutlicht. Hier zeigte der Zusatz von 3% Sauerteigpräparat einen elastischen dehnbaren Teig, welcher optimale Eigenschaften aufweist. Der Teig ließ sich gut verarbeiten zeichnete sich durch hohes Volumen und eine gut gelockerte Krume aus.

**Tabelle 36:** Einfluss des Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf die Extensogrammparameter von Weizenteigen bei verschiedener Mehlqualität.

Zusatz BM <sup>1</sup> (%)	Extensogrammparameter					
	Mittlere Mehlqualität			Starke Mehlqualität		
	F <sub>max</sub> (N)	Weg bis F <sub>max</sub> (N)	Verhältnis- zahl R/E ( )	F <sub>max</sub> (N)	Weg bis F <sub>max</sub> (N)	Verhältniszahl R/E
<b>0</b>	<b>0,343</b> ±0,022	<b>41,3</b> ± 4,4	0,0083	<b>0,486</b> ± 0,032	<b>33,6</b> ± 3,2	0,0145
<b>3</b>	<b>0,332</b> ±0,052	<b>34,1</b> ± 8,7	0,0097	<b>0,418</b> ± 0,062	<b>34,7</b> ± 9,2	0,0121
<b>5</b>	<b>0,352</b> ±0,047	<b>29,8</b> ± 7,1	0,0118	<b>0,324</b> ± 0,044	<b>38,7</b> ± 7,6	0,0084

<sup>1</sup>Backmittel; Die Verhältniszahl R/E gibt den Quotienten aus Dehnwiderstand und Dehnbarkeit an.

#### 4.6.2.3. Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf das Verkleisterungsverhalten von Weizenteigen

Wie schon beim Einsatz von isoliertem EPS und gefriergetrockneten Vorteigen beobachtet wurde, zeigte der Einsatz des Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden in den Konzentrationen 3% und 5% keine signifikanten Abweichungen der Werte für die Peakviskosität im RVA, im Vergleich zum Mehl ohne Zusatz. Dies konnte sowohl bei der mittleren als auch starken Mehlqualität beobachtet werden (siehe Tabelle 37 und Tabelle 38).

Daraus lässt sich schließen, dass durch die Trocknungsart (Walzentrocknung bzw. Gefriertrocknung) keine Einflüsse auf das fermentierte Produkt hinsichtlich der Viskosität im RVA bewirkt wurden.

**Tabelle 37:** Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf das Verkleisterungsverhalten von Weizenteigen (mittlere Mehlqualität).

Zusatz BM <sup>1</sup> (%)	Viskosität (cP) <sup>2</sup>			
	Peak	Peak Time	Trough	Final
<b>0</b>	2313±18	5,97±0,03	1266±20	2448±31
<b>3</b>	2299±14	5,95±0,06	1257±26	2522±34
<b>5</b>	2330±20	6,03±0,03	1273±25	2569±18

<sup>1</sup>Backmittel, <sup>2</sup> centipoise

**Tabelle 38:** Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf das Verkleisterungsverhalten von Weizenteigen (starke Mehlqualität).

Zusatz BM <sup>1</sup> (%)	Viskosität (cP) <sup>2</sup>			
	Peak	Peak Time	Trough	Final
<b>0</b>	2371±42	5,95±0,03	1180±35	2307±48
<b>3</b>	2370±23	5,98±0,04	1221±64	2486±9
<b>5</b>	2369±38	6,07±0,01	1248±42	2534±42

<sup>1</sup>Backmittel, <sup>2</sup>cP: centipoise

**Tabelle 39:** Einfluss von 5% gefriergetrocknetem Sauerteigpräparat mit fermentativ angereichertem EPS auf Teigausbeute, Brotvolumen, Gewichtsverlust, Enthalpie ( $\Delta H_\infty$ ) und Avrami-Parameter  $k$  der TPA und DSC-Analysen von direkt geführten Weizenbroten (mittlere Mehlqualität) während der Lagerung bei 25°C.

Zusatz	Teig		Weizenbrot					
	TA <sup>1</sup>	Volumen		Spez. Volumen cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	TPA <sup>2</sup>		DSC <sup>3</sup>	
		mL	%		F <sub>∞</sub> -F <sub>0</sub> N	$k$ days <sup>-1</sup>	$\Delta H_\infty$ J/g	$k$ days <sup>-1</sup>
direkt, Kontrolle	<b>159,8</b> ±0,1	<b>2002</b> ±18	-	<b>3,34</b> ±0,02	<b>14,49</b> ±0,47	<b>0,3057</b> ±0,0024	<b>1,28</b> ±0,16	<b>0,211</b> ±0,008
Stamm LTH 1729	<b>162,9</b> ±0,3	<b>1977</b> ±12	<b>-1,3</b>	<b>3,30</b> ±0,02	<b>19,28</b> ±0,84	<b>0,2982</b> ±0,0081	<b>1,33</b> ±0,13	<b>0,227</b> ±0,078
Stamm LTH 2590	<b>162,5</b> ±0,7	<b>2001</b> ±9	<b>-0,1</b>	<b>3,34</b> ±0,02	<b>17,71</b> ±1,41	<b>0,3041</b> ±0,002	<b>1,31</b> ±0,15	<b>0,225</b> ±0,049

<sup>1</sup>Teigausbeute, <sup>2</sup>Textur Profil Analyse, <sup>3</sup>Differential Scannig Calorimetry

## 4.7. Einsatz eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden bei direkt geführten Weizenbrot

Das hergestellte Backmittel mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden wurde zunächst einer Analytik hinsichtlich seiner Charakteristika unterzogen. Im Folgenden wurde das Backmittelpräparat Teigen zugesetzt, um die Einflüsse auf das Altbackenwerden von Weizenbrot und die sensorische Beeinflussung zu untersuchen.

### 4.7.1. Charakteristika des Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden

Das hergestellte Backmittel (siehe Kapitel 3.9) wurde wie in Kapitel 3.4 und Kapitel 3.8 hinsichtlich seiner Charakteristika und enthaltener Metaboliten untersucht. Die in Tabelle 40 aufgeführten Charakteristika pH-Wert und Säuregrad sind vergleichbar zu den Charakteristika die üblich in Sauerteigen vorherrschen (siehe Tabelle 4). Die Restfeuchte von 3,1% ist dabei auf den Trocknungsprozess mittels Walzentrocknung zurückzuführen. Des Weiteren zeigte die Analytik des Sauerteigpräparates das Vorhandensein von Saccharose, Maltose, Glukose und Mannitol sowie das im Sauerteig gebildete EPS Fruktan (siehe Tabelle 41).

**Tabelle 40:** Charakteristika des getrockneten Sauerteigpräparates mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden.

Charakteristika	Sauerteigpräparat
Feuchte (%)	3,1
pH	3,6
Säuregrad (SH)	35

**Tabelle 41:** Analysenwerte des Sauerteigpräparates mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden.

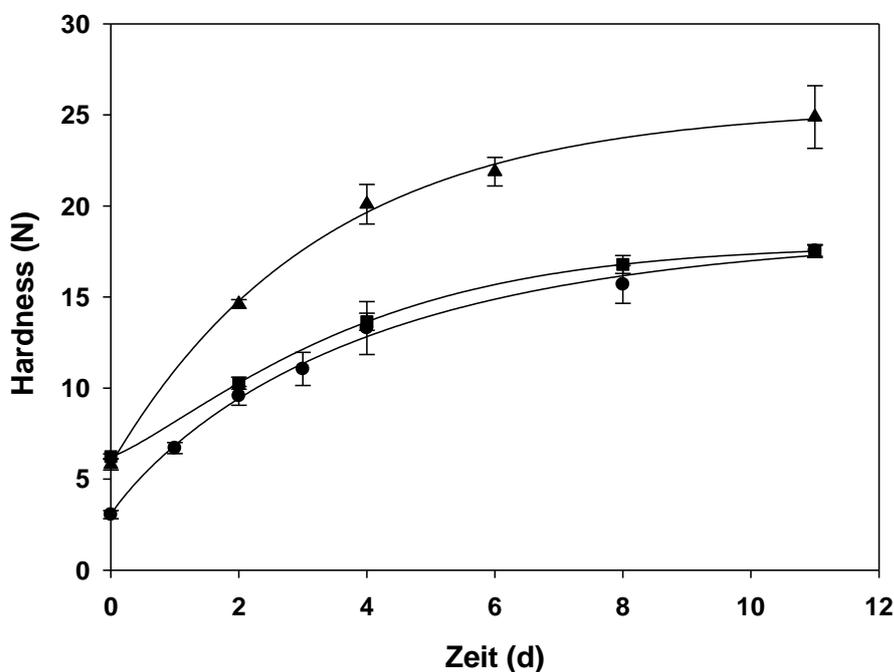
	Konzentration (mMol)					(g/kg)
	Saccharose	Maltose	Glukose	Fruktose	Mannitol	Fruktan
Sauerteigpräparat	<b>0,08</b> ±0,02	<b>0,59</b> ±0,10	<b>2,41</b> ±0,09	<b>n.n.*</b>	<b>2,19</b> ±0,18	<b>10,43</b> ±1,25

\*nicht nachweisbar

#### 4.7.2. Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf das Altbackenwerden von Weizenbrot

Um den Einfluss des Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf die Textur und das Altbackenwerden von Weizenbrot zu untersuchen, wurden Weizenbrote unter Verwendung des walzengetrockneten Sauerteigpräparates in zwei technologisch relevanten Konzentrationen (3% und 5%) hergestellt.

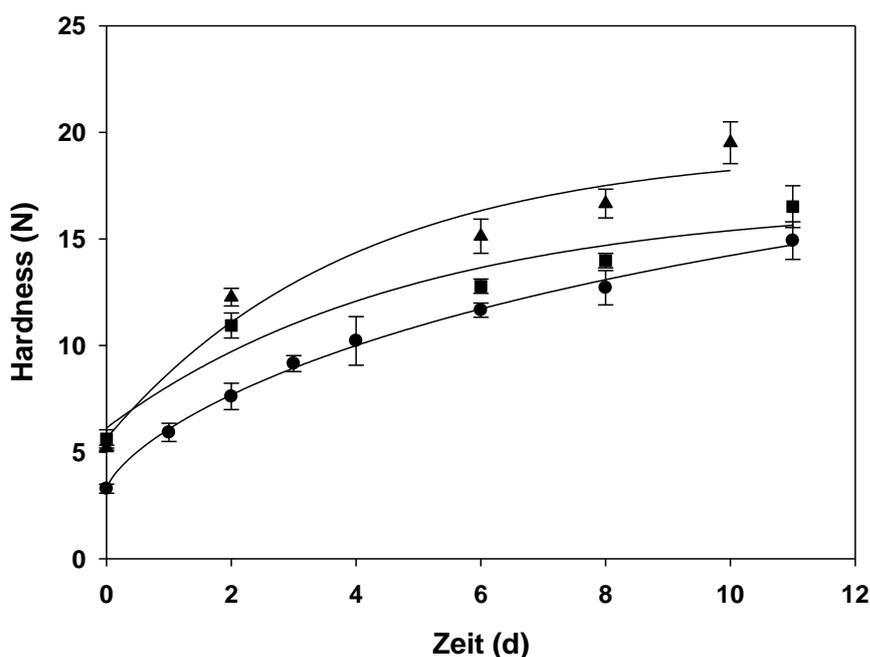
Die Krumenfestigkeiten der Weizenbrote, die mit Backmittel unter Verwendung der mittleren Mehlqualität hergestellt wurden, zeigten eine konzentrationsabhängige Wirkung des Sauerteigpräparates (siehe Abbildung 19). Bei Einsatz von 5% Backmittel stiegen die Krumenfestigkeiten signifikant an und es resultierten Weizenbrote, welche viel schneller altbacken waren als Weizenbrote mit Zusatz von 3% Backmittel. Der Einsatz von 3% des walzengetrockneten Sauerteiges ergab bessere Ergebnisse hinsichtlich des Altbackenwerdens, die Kinetik lag im Bereich der direkt geführten Kontrolle.



**Abbildung 19:** Einfluss des Einsatzes eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf die Krumenfestigkeiten bei direkt geführten Weizenbrot, während der Lagerung über 11 Tage bei 25°C (mittlere Mehlqualität). (●), Kontrolle; (■), 3% Zusatz; (▲) 5% Zusatz.

Die berechneten Avrami-Parameter  $k$  der TPA- und DSC-Analyse zeigten bei der mittleren Mehlqualität einen leichten Anstieg des Avrami Parameters  $k$  (siehe Tabelle 42) bei Erhöhung der Konzentration an Sauerteigpräparat von 3% auf 5%. Ebenso wirkte sich die Zugabe von Backmittel negativ auf das Volumen der daraus hergestellten Weizenbrote aus, welches bei der mittleren Mehlqualität um 3,7% bzw. 5,6% abnahm, während bei Verwendung der starken Mehlqualität die Volumina um 3,3% bzw. 2,2% stiegen. Hier zeigte der Zusatz von 3% Sauerteigpräparat eine deutliche Erhöhung des Volumens im Vergleich zu den Weizenbroten, welche ohne Zusatz von Backmittel hergestellt wurden. Die Avrami-Parameter  $k$  der TPA- bzw. DSC-Messungen zeigten bei der starken Mehlqualität eine eindeutige Verringerung des Altbackenwerdens bei Zusatz von 3% Sauerteigpräparat (siehe Tabelle 43). Bei Konzentrationserhöhung auf 5% steigen die Werte für  $k$  über die der Kontrolle an, was auf eine erhöhte Rate des Altbackenwerdens hindeutet.

In Bezug auf die Wasseraufnahme lässt sich der Schluss ziehen, dass durch Zugabe von getrocknetem Sauerteig eine Erhöhung der Teigausbeute resultiert, welche abhängig der Backmittelkonzentration ist. Es konnte durch eine Zugabe von 3% bzw. 5% Backmittel eine Erhöhung der Wasserabsorption um 1,9 TA bzw. 3,1 TA bei Verwendung der mittleren und starken Mehlqualität erreicht werden. Dies ist auch mit damit begründet, dass es sich um ein getrocknetes Präparat handelt. Bei Messung des Gewichtsverlusts über 24h ergaben sich keine Unterschiede bei beiden untersuchten Mehlqualitäten bei Einsatz zwischen 0 und 5% an getrocknetem Sauerteigpräparat.



**Abbildung 20:** Einfluss eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden auf die Krumenfestigkeiten bei direkt geführten Weizenbroten während der Lagerung über 11 Tage bei 25°C (starke Mehlqualität). (●), Kontrolle; (■), 3% Zusatz; (▲) 5% Zusatz.

**Tabelle 42:** Einfluss des Sauerteigpräparates mit fermentativ angereichertem EPS auf Teigausbeute, Brotvolumen, Gewichtsverlust, Enthalpie ( $\Delta H_{\infty}$ ) und Avrami-Parameter  $k$  der TPA und DSC-Analysen von direkt geführten Weizenbroten (mittlere Mehlqualität) während der Lagerung bei 25°C.

Zusatz BM <sup>1</sup> (%)	Teig		Weizenbrot							
	TA <sup>2</sup>	Volumen		Spez. Volumen cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	Backverlust 24h		TPA <sup>3</sup>		DSC <sup>4</sup>	
		mL	%		g	%	F <sub>∞</sub> -F <sub>0</sub> N	$k$ days <sup>-1</sup>	$\Delta H_{\infty}$ J/g	$k$ days <sup>-1</sup>
0	<b>159,8</b> ±0,1	<b>2002</b> ±18	-	<b>3,34</b> ±0,02	<b>530,7</b> ±1,9	-	<b>14,49</b> ±0,47	<b>0,3057</b> ±0,0024	<b>1,28</b> ±0,16	<b>0,211</b> ±0,008
3	<b>161,7</b> ±0,3	<b>1929</b> ±8	<b>-3,7</b>	<b>3,22</b> ±0,01	<b>529,3</b> ±3,2	<b>-0,3</b>	<b>19,28</b> ±0,84	<b>0,3082</b> ±0,0081	<b>1,38</b> ±0,07	<b>0,221</b> ±0,010
5	<b>162,9</b> ±0,7	<b>1890</b> ±6	<b>-5,6</b>	<b>3,15</b> ±0,01	<b>530,2</b> ±2,8	<b>-0,1</b>	<b>17,71</b> ±1,41	<b>0,324</b> ±0,002	<b>1,34</b> ±0,01	<b>0,239</b> ±0,009

<sup>1</sup>Backmittel, <sup>2</sup>Teigausbeute, <sup>3</sup>Textur Profil Analyse, <sup>4</sup>Differential Scannig Calorimetry

**Tabelle 43:** Einfluss des Sauerteigpräparates mit fermentativ angereichertem EPS auf Teigausbeute, Brotvolumen, Gewichtsverlust, Enthalpie ( $\Delta H_{\infty}$ ) und Avrami-Parameter  $k$  der TPA und DSC-Analysen von direkt geführten Weizenbroten (starke Mehlqualität) während der Lagerung bei 25°C.

Zusatz BM <sup>1</sup> (%)	Teig		Weizenbrot							
	TA <sup>2</sup>	Volumen		Spez. Volumen cm <sup>3</sup> g <sup>-1</sup>	Backverlust 24h		TPA <sup>3</sup>		DSC <sup>4</sup>	
		mL	%		g	%	F <sub>∞</sub> -F <sub>0</sub> N	$k$ days <sup>-1</sup>	$\Delta H_{\infty}$ J/g	$k$ days <sup>-1</sup>
0	<b>158,8</b> ±0,1	<b>2114</b> ±10	-	<b>3,52</b> ±0,01	<b>532,7</b> ±1,2	-	<b>11,64</b> ±1,09	<b>0,2353</b> ±0,0068	<b>1,20</b> ±0,22	<b>0,239</b> ±0,013
3	<b>160,4</b> ±0,3	<b>2183</b> ±7	<b>+3,3</b>	<b>3,64</b> ±0,01	<b>527,0</b> ±0,6	<b>-1,1</b>	<b>18,89</b> ±0,98	<b>0,2238</b> ±0,0026	<b>1,29</b> ±0,06	<b>0,200</b> ±0,02
5	<b>161,6</b> ±0,7	<b>2160</b> ±20	<b>+2,2</b>	<b>3,60</b> ±0,02	<b>530,3</b> ±2,5	<b>-0,5</b>	<b>12,31</b> ±0,98	<b>0,2633</b> ±0,0012	<b>1,20</b> ±0,03	<b>0,247</b> ±0,082

<sup>1</sup>Backmittel, <sup>2</sup>Teigausbeute, <sup>3</sup>Textur Profil Analyse, <sup>4</sup>Differential Scanning Calorimetry

#### 4.7.3. Sensorische Untersuchung von direkt geführten Weizenbroten mit und ohne Zusatz von Backmitteln mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden

Es wurden sensorische Verkostungen von Weizenbroten durchgeführt, bei welchen 24h gelagerte Weizenbrote mit und ohne Backmittel mit frisch gebackenen Weizenbroten verglichen werden sollten. Bei den Verkostungen sollten die Prüfer (n=16) das Altbackensein der Weizenbrote ermitteln sowie eine Reihenfolge der Beliebtheit angeben. Die Verkostungen zeigten, dass die Prüfer das frische Weizenbrot sehr gut erkannten (DIN ISO 10974:2008-12). Die 24h gelagerten Weizenbrote mit getrocknetem Weizensauerteig wurden eindeutig als weniger altbacken beurteilt als gleichlang gelagerte Weizenbrote ohne Zusatz von Backmittel. Hinsichtlich der Beliebtheit zeigte sich, dass klar die frischen Weizenbrote beim Verzehr bevorzugt wurden (siehe Tabelle 44), allerdings zeigten auch die Weizenbrote, welche 24h gelagert und mit getrocknetem Weizensauerteig hergestellt wurden, eine starke Akzeptanz bei den Prüfern (siehe Tabelle 45). Im Gegensatz dazu wurden die 24h gelagerten Weizenbrote ohne Zusatz von getrocknetem Sauerteig als am wenigsten beliebt eingestuft. Bei Messung von Krumenfestigkeiten der sensorisch verkosteten Weizenbrote konnte kein Unterschied zwischen den 24h gelagerten Weizenbroten mit und ohne Zusatz des getrockneten Sauerteigpräparats festgestellt werden. Weizenbrote, welche 3h gelagert wurden, zeigten jedoch signifikant geringere Krumenfestigkeiten, worauf sich auch die eindeutige Bevorzugung der frischen Weizenbrote begründet (siehe Abbildung 21).

**Tabelle 44:** Ergebnisse der sensorischen Untersuchung direkt geführten Weizenbrotten auf Altbackenwerden.

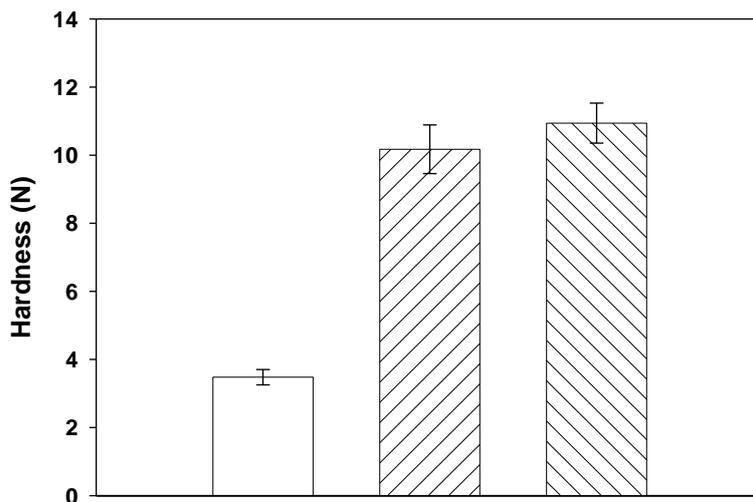
Alter	Rangzahl*
3 h	5,22
28 h	2,75
28 h, mit 3% Backmittel	3,91

\*Je höher die Rangzahl, desto frischer wurde das Weizenbrot empfunden.

**Tabelle 45:** Ergebnisse der sensorischen Untersuchung von direkt geführten Weizenbrotten auf Beliebtheit.

Alter	Rangzahl*
3 h	2,50
28 h	1,38
28 h, mit 3% Backmittel	2,06

\*Je höher die Rangzahl, desto beliebter war das Weizenbrot.



**Abbildung 21:** Krumenfestigkeiten der sensorisch verkosteten Weizenbrote. (□), 3h alt; (▨), 28h alt; (▩), 28h alt, mit 3% Backmittel.

## 5. Diskussion

Der Pro-Kopf-Verbrauch an Brot und Kleingebäck wird jährlich durch die Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) ermittelt, er belief sich in der Bundesrepublik Deutschland 2019 auf 56,5 kg, wobei Weizen den überwiegenden Anteil trägt (ZDB, 2020). Jedoch wird nicht die gesamte Menge der produzierten Backwaren auch letztlich konsumiert. Es werden in Deutschland ca. 1,7 Mio. t/a, 2015 als Verluste verbucht, wobei der größte Anteil auf Haushalte (49%) und Retouren von Bäckereien (36%) entfällt (Leverenz and Hafner, 2018), da sie innerhalb der Akzeptanzfrist nicht verkauft oder konsumiert werden. Mit einer verlängerten Haltbarkeit von Backwaren könnten einerseits die Kosten für Retouren von Backwaren gesenkt werden, andererseits könnte durch den zusätzlichen ernährungsphysiologischen Nutzen von Brot und Backwaren die Verbraucherakzeptanz erhöht werden, was die Wettbewerbsfähigkeit der noch überwiegend kleinen und mittelständischen Backbetriebe fördert.

Es ist seit langem bekannt, dass mit Hilfe von Sauerteig hergestellte Brote sich neben dem verbesserten Aroma durch eine besonders lange Frischhaltung gegenüber in direkter Führung hergestellten Broten auszeichnen (Brandt, 2006; Hadaegh *et al.*, 2017; Torrieri *et al.*, 2014). Aus Kostengründen wird jedoch zum Teil auf Mehrstufen-Sauerteigführungen in vielen Backbetrieben verzichtet, da sie zeit- und personalintensiv sind, des Weiteren ein hohes Maß an Expertise erfordern. Zur Erhaltung und Erhöhung der Produktqualität werden daher oft Backmittel eingesetzt. Die Ergebnisse der Arbeit zeigen einen Weg auf, die einfache Anwendung von Backmitteln mit der haltbarkeitsverlängernden, teigrheologischen und sensorischen Wirkung EPS-bildender Kulturen zu kombinieren, so dass es den Backmittel- und Backgrundstoffherstellern die Möglichkeit eröffnet wird, in deklarationsfreundliche Backmittel anzubieten. Für die wirtschaftliche Anwendung von Backmitteln mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden sollten diese in einer Dosierung von 1-5% technologisch wirksam sein. Dieses Ziel wurde erreicht, bereits die Zugabe von 3% des entwickelten Backmittels zeigt technologische und sensorische Wirkung. Das Backmittel ist somit vergleichbar mit bereits auf dem Markt eingeführten Produkten. Auch preislich wird das Backmittel mit bereits auf dem Markt befindlichen Produkten konkurrieren können, denn getrocknete Teige werden vielfach eingesetzt und durch die Umsetzung der durch das Projekt erhaltenen Ergebnisse werden die Herstellungskosten des Backmittels nur gering belastet. Des Weiteren, wird ein Teil der Kosten kompensiert da der Einsatz von Lebensmittelzusatzstoffen zur Erhaltung der Krumenweichheit wie Emulgatoren und oder Hydrokolloide, nicht eingesetzt

werden müssen. Als weiteren Vorteil ist der deklarationsfreundliche Ansatz zu nennen der als Premium an die Kunden weitergegeben werden kann und dadurch einen Mehrwert sowohl bei den Grundstoff-, als auch bei den Backmittelhersteller generiert.

Darüber hinaus können durch die fermentative Anreicherung von Hydrokolloiden in Backmitteln neben der spezifischen positiven Wirkung dieser Hydrokolloide auf die Textur von Backwaren auch die bereits bekannten positiven Aspekte eines Backmittels auf Sauerteigbasis (verbessertes Aroma und Verzögerung des mikrobiellen Verderbs) genutzt werden.

### **5.1. Einfluss von Exopolysacchariden auf die Eigenschaften von Teigen**

Anhand der Ergebnisse des Agarplatten-Screening zur Bildung von EPS durch Milchsäurebakterien wurde ersichtlich, dass 28% der Stämme eine starke oder sehr starke EPS-Bildung aufweisen (siehe Tabelle 6). Dabei zeigte sich im Vergleich zu den Ergebnissen von Tieking et. al. (2003), dass mit 82% aller Stämme ein höherer Anteil der Milchsäurebakterienstämme in der Lage war EPS unter den Bedingungen des Screenings zu produzieren. Die Untersuchungen der Zugabe von Hydrokolloiden und Vorteigen, unter anderem hergestellt mit EPS-bildenden Milchsäurebakterienstämmen, auf die Teigausbeute und Kneteigenschaften von Teigen zeigen, dass die Teige grundsätzlich mit zunehmender Konzentration an Hydrokolloiden eine höhere Teigausbeute als die Kontrollteige mit direkter Teigführung aufwiesen (siehe Tabelle 7 und Tabelle 8). Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit entsprechen dabei den Ergebnissen von Azizi and Rao (2004) bei denen ebenfalls eine verlängerte Teigstabilität bei Zugabe von Xanthan beobachtet wurde. Bei Zusatz von EPS aus dem Stamm LTH 1729 verhielt sich der Teig wie die Kontrolle der direkten Teigführung. Der Zusatz von 0,03% EPS zu chemisch gesäuerte Vorteigen bewirkte stabilere Teige. Mit mikrobiell gesäuertem Vorteig wurden die Teige im Allgemeinen weicher, es zeigte sich aber, dass EPS angereicherte Teige stabiler waren. Die Teigstabilität dieser Teige war innerhalb der Standardabweichung mit jenen des direkten Kontrollteiges vergleichbar. Ferner konnten bei TK Lagerung von Teigen unter Einsatz von 0,3% EPS aus *Lactobacillus sanfranciscensis* LTH 1729 eine geringe Volumenzunahme beobachtet werden, während bei Zusatz von 0,3% EPS aus *Lactobacillus sanfranciscensis* LTH 2590 kaum eine Änderung des Gasvolumens vor und nach der TK-Lagerung zu verzeichnen war. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass EPS aus Laktobazillen einen schützenden Effekt beim Einfrieren auf die Hefen ausübt und somit die Aktivitätsminderung geringer ausfällt als ohne Zusatz von EPS. Bei Einsatz von Vorteigen mit

und ohne EPS-Anreicherung zeigten alle Teige eine starke Abnahme des Gesamtgasvolumens nach der TK-Lagerung (siehe Tabelle 20). Diese Volumenabnahme kann durch die tiefen pH-Werte der verwendeten Sauerteige begründet sein, welche sich negativ auf die Hefetätigkeit der Weizenteige bei TK-Lagerung auswirkt. Eine fermentative Anreicherung von EPS in Sauerteig zeigte bei beiden verwendeten Stämmen eine geringfügige Kompensation dieser Abnahme. Die Gashaltung verschlechterte sich durch die Tiefkühlung bei allen Teigen außer bei Guar (siehe Tabelle 20).

Bei der Teigentwicklung fand durchweg eine Verschlechterung der Teigstabilität durch die TK-Lagerung statt; sowohl die maximale Höhe als auch die Höhe nach 3h nahm deutlich ab. Diese negativen Effekte konnte auch Bail *et al.* (1999) und Bárcenas *et al.* (2004) beobachten. Diese Abnahme fiel bei Zusatz von EPS am geringsten aus bzw. fand nicht statt. Auch bei Zugabe von Vorteigen wirkte sich gebildetes EPS positiv aus.

Zur Messung der Auswirkungen von Hydrokolloiden und Vorteigen auf die Klebrigkeit von Teigen wurden ausschließlich Modellteige ohne Backhefe- Zugabe verwendet (siehe Kapitel 3.6.2). Ursächlich hierfür war die Annahme, dass bei einer Zugabe von Hefe zu den Weizenteigen würden die Restzuckergehalte durch die Hefe innerhalb der Teigruhe aufgebraucht werden. Diese Annahme konnte anhand der hergestellten Weizenteige für die Lagerversuche bestätigt werden (siehe Kapitel 4.4.6.4). Dabei war festzustellen, dass nach erfolgtem Kneten bei Teigen mit EPS- Anreicherung eine etwas klebrige und plastische Teigoberfläche vorhanden war, welche jedoch innerhalb der Teigruhe zu einer geringeren Klebrigkeit führen, jedoch viskoelastische Eigenschaften (siehe Kapitel 3.6.4) erhalten bleiben. (Ahmed and Thomas, 2018) wurden bei Zusatz von Xanthan und Guar vergleichbare Ergebnisse in Bezug auf Teigklebrigkeit, jedoch in Bezug auf die viskoelastischen Eigenschaften eine deutliche Verringerung der Dehnbarkeit bei Erhöhung des Dehnwiderstandes, aufgezeigt. Im Gegensatz dazu, sind bei Einsatz des EPS Anforderungen für ein großes Gebäckvolumen gegeben. Die Teige lassen sich leichter aufarbeiten und besitzen ein sehr gutes Dehnverhalten (siehe Kapitel 3.5.3). Weiter ist davon auszugehen, dass angereicherte Vorteige mit EPS-bildenden Laktobazillen, während der Teigruhe, die Klebrigkeit der Teige verringern können, wobei die enthaltenen Restzuckergehalte durch die Hefe m werden.

Die Ergebnisse der Hydrokolloidzugabe korrelieren mit Ergebnissen von Guarda *et al.* (2004), die bei steigender Hydrokolloidzugabe abnehmende Brotvolumen fanden. Den größten Dehnungswiderstand zeigten die Teige mit Guar, gefolgt von Xanthan. Im Gegensatz dazu

konnten bei Teigen mit isoliertem EPS keine nennenswerten Unterschiede im Dehnwiderstand festgestellt werden; innerhalb der Standardabweichung zeigte die Zugabe an EPS kaum Änderung des Dehnwiderstandes. Die Dehnbarkeit von Weizenteigen unter Zugabe von isoliertem EPS zeigte eine geringe Verkürzung im Dehnungsweg, jedoch nicht in dem Ausmaß, wie es bei Guar oder Xanthan der Fall war (siehe Tabelle 15 und Tabelle 16). Durch Zusatz von isoliertem EPS werden folglich die rheologische Eigenschaften von Weizenteigen weit weniger beeinflusst als durch Zusatz von Guar und Xanthan. Dies spiegelt sich auch in den Verhältniszahlen (R/E) wieder (siehe Kapitel 3.6.4). Anhand der Untersuchung von rheologische Eigenschaften (siehe Kapitel 4.2) wurde gezeigt, dass der Einsatz von Vorteigen mit EPS, trotz erhöhter Teigausbeute, zu keinerlei Änderungen der rheologische Eigenschaften in Bezug auf Dehnwiderstand und Dehnbarkeit im Vergleich zu direkt geführten Weizenteigen führt (siehe Tabelle 15 und Tabelle 16). Aus den erhaltenen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass fermentativ gebildetes EPS eine sinnvolle Alternative zu kommerziellen Hydrokolloiden darstellt, da durch EPS die Klebrigkeit der Weizenteige ebenfalls wie bei Zusatz von Hydrokolloiden gesenkt werden kann, das Dehnverhalten wird dabei aber kaum verändert. Die Untersuchung des Breite-Höhe Verhältnisses von Teigen hergestellt mit Zusatz von Hydrokolloiden und Vorteigen war festzustellen, dass allein Xanthan eine festere und weniger elastische Teigstruktur bewirkte (siehe Kapitel 4.2.3, Tabelle 9). Vergleichbare Ergebnisse wurden auch in der Arbeit von Azizi and Rao (2004) beschrieben. Entsprechend kann aus den Ergebnissen geschlossen werden, dass sich ein Einsatz von Vorteigen, die mit EPS-bildenden Laktobazillen hergestellt wurden, positiv auf den Teigstand auswirkt.

Die Untersuchungen bei der Zugabe verschiedener Konzentrationen an Hydrokolloiden (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6) zeigte sich eine Zunahme der Verkleisterung als auch Peakviskosität. Dies entspricht den Ergebnissen aus der Arbeit von Azizi and Rao (2004) in der für die Zugabe von Guar zu Weizenstärke ähnliche Beobachtungen gemacht wurden. Die Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass die auftretenden synergistischen Wechselwirkungen bei Zugabe von Guar oder Xanthan zwischen dem Hydrokolloid und der Stärke demnach bei der Zugabe von EPS nicht entstehen. Dementsprechend ist auch keine Erhöhung der Peakviskosität während der Verkleisterung, wie bei der Zugabe von Guar oder Xanthan Weizenmehl nicht zu verzeichnen. Zusammen mit den erhaltenen Ergebnissen der Brotvolumina (siehe Tabelle 24 und Tabelle 25) korrelieren geringere Peakviskosität während der Verkleisterung mit einem erhöhtem Backvolumen, respektive spezifischen Volumen. Dies lässt vermuten, dass bedingt durch die geringe Viskosität während der Verkleisterung die

Gärgase der Hefe, sowie verdampfendes Wasser gegen einen geringen Widerstand der sich bildenden Teigkrume arbeiten und sich dadurch ein höheres Volumen einstellt. Vergleichbare Ergebnisse wurden dabei auch in der Arbeit von Fard *et al.* (2017) beschrieben in der bei Einsatz von EPS isoliert aus Kefir ein erhöhtes Brotvolumen zu beobachten war. Die Autoren schlossen hierbei jedoch auf eine Steigerung in der Stabilität der Teigstruktur während der Gare und daraus auf eine Erhöhung des Gashaltevermögens zurück. Des Weiteren konnte eine leichte Erniedrigung des Viskositätspeaks gegenüber der Kontrolle ohne Zusatz beobachtet werden. Eine Erklärung könnte der mikrobielle Stärkeabbau, bzw. zusätzlich der pH shift bedingt durch die Säuerung während der Vorteiggärung sein. Hierbei könnte es unter anderem zu einer Säurehydrolyse kommen, die partiell die Stärke angreift erklärt werden kann.

Wie bereits durch Gräber and Kuhn (1994) und Ribotta *et al.* (2004) beschrieben, zeigten alle Weizenbrote aus gefriergelagertem Teig ein geringeres Volumen gegenüber jenen, welche ohne Gefrierlagerung hergestellt wurden. Weizenbrote, welche unter Verwendung von Vorteigen mit fermentativ angereichertem EPS hergestellt wurden, zeigten selbst nach TK-Lagerung der Teige höhere Volumina als die Kontrollbrote ohne TK-Lagerung und ohne EPS-Zusatz. Es zeigte sich, dass die Gasbildung im Teig durch den Einsatz von Hydrokolloiden, bis auf die Ansätze mit Xanthan, deutlich gesteigert werden konnte. Dies korreliert auch mit den Messergebnissen von Bárcenas *et al.* (2004), in dessen Arbeit auch eine verminderte Produktion von CO<sub>2</sub> beim Zusatz von Xanthan aufgezeigt wurde. Ebenso war eine verbesserte Gärstabilität zu verzeichnen die sich in der Steigerung des Retentionskoeffizienten wiedergespiegelt hat. Ein ähnlicher Effekt wurde auch durch den Einsatz von EPS angereicherten Vorteigen aufgezeigt. Des Weiteren waren durch das gebildete Gasvolumen vergrößerte Brotvolumina zu verzeichnen (siehe Tabelle 22). Als ursächlich hierfür kann der fortgeschrittene Stärkabbau im Vorteig und der damit erhöhten Anteil an verwertbaren Nährstoffen für die Hefen herangezogen werden. Ebenso erhöhte der Restzuckeranteil im Vorteig bei den Ansätzen mit Zusatz von Saccharose das Nährstoffangebot der Hefen und führte zu gesteigerter Hefetätigkeit im Teig. Im Gegensatz hierzu zeichnete sich die gärunterbrochene Teigführung durch eine Reduktion der Gebäckvolumina von 12%-15% aus. Diese Reduktion wird infolge der Schädigung der Hefezellen durch die Eiskristallbildung beim Einfrierprozess des Teiges zurückgeführt, die analog zu den Erkenntnissen von Ribotta *et al.* (2003), Ribotta *et al.* (2004) sowie Schuenemann and Treu (2002) ist und auch innerhalb der vorliegenden Arbeit bestätigt werden konnte

## 5.2. Einfluss von Exopolysacchariden auf das Altbackenwerden von Broten

Der Einsatz einer maltogenen Amylase zu Teigen (siehe Kapitel 3.7.2.3) zeigten eine positive Auswirkung auf das Altbackenwerden von aus den Teigen hergestellten Broten durch Erhöhung der Elastizität und Verringerung der Festigkeit der Krume ab dem zweiten Tag der Lagerung. Ähnliche Effekte wurden bereits in anderen Veröffentlichungen aufgezeigt (Amigo *et al.*, 2016b; Fiszman *et al.*, 2005; Martin and Stewart, 1991). Ebenso konnte der positive Einfluss von Vorteigen auf das Altbackenwerden von Weizenbrot bestätigt werden (siehe Abbildung 10) und korrelierte mit den Untersuchungen in der Arbeit von Corsetti *et al.* (2000) die ebenfalls aufzeigt, dass der Einsatz von Hefen und Laktobazillen in Vorteigen eine Verringerung der Retrogradation der Stärke bedingt. Des Weiteren wurde innerhalb der vorliegenden Arbeit bei Verwendung eines starken Mehles unter direkter Teigführung, ebenfalls ein positiver Effekt auf das Altbackenwerden beobachtet. Dieser fiel jedoch im Vergleich zum schwachen Mehl unter Verwendung von Vorteigen geringer aus. Ebenso zeigen die Ergebnisse, dass die eingesetzte Mehqualität die Alterungskinetiken von Weizenbrot beeinflusst und das Ausmaß der Änderung im Vergleich zur Kontrolle bei Verwendung des schwachen Mehles stärker ausgeprägt war.

Hinsichtlich des Einflusses der Teigführung ist eine deutliche Zunahme des Avrami-Parameters  $k$  von 0,211 bei dem direkt geführten Teig im Vergleich zu 0,266 bei dem chemisch gesäuerten Vorteig (pH 3,6) zu beobachten, die mit den Ergebnissen aus der Arbeit von Corsetti *et al.* (2000) korrelierte. In Bezug auf Volumen und den Gewichtsverlust innerhalb von 24h kann gesagt werden, dass die Volumina bzw. Gewichtsverluste der Weizenbrote mit sinkendem pH-Wert abnahmen bzw. zunahm (siehe Tabelle 24 und Tabelle 26). Die chemische Säuerung hat somit einen negativen Einfluss auf das Gashaltvermögen der Teige. Diese Annahme wird durch die Untersuchungen in der Arbeit von Clarke *et al.* (2002) gestützt und legt den Schluss nahe, dass Quellvorgänge und endogene Enzymaktivitäten bei länger als 22h geführten Vorteigen keinen positiven Einfluss auf das Altbackenwerden von Weizenbrot haben. Hingegen wird in der Literatur jedoch über den positiven Einfluss von fermentierten Vorteigen auf das Altbackenwerden von Weizenbrot berichtet (Barber *et al.*, 1990; Corsetti *et al.*, 2000). Dies legt die Hypothese nahe, dass an diesem positiven Einfluss letztlich Mikroorganismen bzw. deren Stoffwechselaktivitäten beteiligt sind. Um diese Hypothese zu stärken, wurden weitere Backexperimente mit fermentierten Vorteigen durchgeführt (siehe Kapitel 4.4.6).

Der Einsatz Guar zu direkt geführten Teigen zeigte sowohl bei den TPA- als auch DSC-Messungen (siehe Kapitel 3.7.2.3) eine Verzögerung des Altbackenwerdens. Die Ergebnisse entsprechen der Beobachtung aus der Arbeit von Davidou *et al.* (1996), in der durch den Einsatz von Guar eine langsamere Alterung von Weizenbrot aufgezogen wurde. Ebenfalls wurde in diesem Zusammenhang eine Korrelation der Ergebnisse der DSC-Analyse mit den Ergebnissen der TPA aufgezeigt (siehe Tabelle 25 und Tabelle 26). Dabei wurde für die TPA bei Erhöhung der Guar-Konzentration in den Teigen von 0,3% auf 0,5% eine Verzögerung des Altbackenwerdens beobachtet. Die durchschnittlichen Werte des Avrami-Parameters  $k$  nahmen durch die Konzentrationserhöhung von 0,3% auf 0,5% leicht ab (0,189 auf 0,133), jedoch lagen die Krumenfestigkeiten am Ende der Lagerung bei Einsatz von 0,5% Guar um ca. 2 N niedriger als bei Einsatz von 0,3%. Diese geringeren Krumen Festigkeit stellen ein Indiz für eine längere Frischhaltung dar (siehe Tabelle 25). Außerdem zeigen die Ergebnisse der Backversuche (siehe Kapitel 4.4.6.3), dass eine Erhöhung der Guar-Konzentration zu einer Volumenzunahme der aus den Teigen hergestellten Brote um 52 mL führte (siehe Tabelle 25 und Tabelle 26). Die vorliegenden Ergebnisse korrelieren dabei mit den Ergebnissen von (Azizi and Rao, 2004), wohingegen der Gewichtsverlust bei 25°C Lagerung über 24h von 0,4% auf 1,4% stieg (siehe Tabelle 25).

Im Vergleich zu Weizenbrot, hergestellt aus Teigen mit Zugabe von Guar, zeigten Weizenbrote die aus Teigen mit der Zugabe von Xanthan hergestellt wurden, gleich zu Beginn der Lagerung einen starken Anstieg der Krumenfestigkeiten. Zu Ende der Lagerung lagen die gemessenen Werte in etwa auf dem Niveau der direkt geführten Kontrolle. Dies spiegelt sich auch in dem Avrami-Parameter  $k$  der untersuchten Weizenbrote wieder (siehe Kapitel 4.4.4). Dieser lag sowohl für die TPA als auch DSC-Analyse im Vergleich zu Brot hergestellt aus Teigen mit Einsatz von Guar höher. Vergleichbare Ergebnisse waren auch bei Guarda *et al.* (2004) infolge einer Zunahme der Krumenfestigkeiten von Weizenbrot, während der Lagerung nach erfolgter Zusatz von Xanthan bei der Teigherstellung zu beobachten. In der vorliegenden Arbeit führte außerdem der Zusatz von Xanthan bei der Teigherstellung zu den geringsten Brotvolumina bei allen durchgeführten Versuchen. Dieser Effekt wird auf eine Verringerung der Teigstabilität zurückgeführt (siehe Tabelle 25 und Tabelle 26). Beispielsweise führte die Zugabe von Xanthan in den Teigen bei den daraus hergestellten Weizenbrot zu einem höheren Gewichtsverlust im Vergleich zu den Weizenbrot mit der Zugabe der gleichen eingesetzten Konzentration von Guar in den Teigen.

### 5.3. Einsatz des Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden

Der Einsatz des Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden zeigte bei 3%iger Dosierung keine Änderung der viskoelastischen Parameter von Teigen, jedoch eine erhöhte Teigausbeute. Im Gegensatz hierzu resultierte eine 5% iger Dosierung in einer Erhöhung des Dehnwiderstandes der Teige. Vergleichbare Ergebnisse wurden von (Ahmed and Thomas, 2018) für den Zusatz des Hydrokolloides Guar aufgezeigt. Des Weiteren ergaben Messungen zur Klebrigkeit von Weizenteigen bei Zusatz von 3% des Backmittels eine Erniedrigung, während bei 5% es zu einer Erhöhung der Klebrigkeit kam. Im Gegensatz hierzu bewirkte der Zusatz von steigenden Konzentrationen des Hydrokolloids Guar eine stetige Verringerung der Teigklebrigkeit.

Bei Einsatz eines Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden konnte eine konzentrationsabhängige Änderung der Alterungskinetik der Brote aufgezeigt werden. Dabei wurde dieser Effekt sowohl mittels Messung der Krumenfestigkeiten der Brote als auch anhand der Retrogradation der Stärke belegt. Bedingt durch das geringere Volumen der Brote bei 5% iger Dosierung stiegen die Krumenfestigkeiten während der Lagerung deutlich an. Ähnliche Ergebnisse wurden ebenfalls in der Arbeit von Gómez *et al.* (2003) im Zuge einer Lagerung erhalten. Ebenso war festzustellen, dass die positiven Effekte der Vorteigführung (siehe Kapitel 4.4.6.4) bei Einsatz des Backmittels innerhalb der Standardabweichungen nicht wiederholt werden konnten. Des Weiteren zeigten sich bei Einsatz der starken Mehlqualität nahezu vergleichbare Verläufe der Alterungskinetik, wie es bei der mittleren Mehlqualität der Fall war (siehe Abbildung 20). Bei Zusatz von 5% des getrockneten Backmittels mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden zeigte sich eine Zunahme des Altbackenwerdens gegenüber der Kontrolle, während diese Zunahme bei 3%iger Zugabe nicht in dem Maße verzeichnet werden konnte.

Anhand von Untersuchungen zu sensorischen Eigenschaften von direkt geführten Weizenbrot mit und ohne Zusatz von Vorteigen (siehe Kapitel 4.4.6.5) wurde gezeigt, dass Weizenbrote mit Vorteig präferiert wurden. Dabei wiesen diese Weizenbrote eine bessere Frischhaltung sowie sensorisch deutliche Vorteile auf. Die positiven Ergebnisse des Einsatzes von Vorteigen bei der Brotherstellung wurden auch in weiteren Studien belegt. (Barcenas and Rosell, 2007; Campo *et al.*, 2016; Gezginc and Kara, 2019; Rizzello *et al.*, 2010). Des Weiteren wurden die positiven Effekte der Vorteigführung (siehe Kapitel 4.7.3) bestätigt. Dadurch wird

der Schluss nahegelegt, dass nicht die Form des Zusatzes an Vorteig die positiven Effekte erzeugt, sondern die Fermentation mittels geeigneter Starterkultur an sich.

## 6. Zusammenfassung / Summary

### 6.1. Zusammenfassung

Bei der Fermentation von Sauerteigen sind Milchsäurebakterien (MSB) beteiligt und in der Lage Exopolysaccharide (EPS) zu bilden. Das Screening von 190 MSB unterschiedlicher Spezies und Gattungen ergab, dass 82% der Stämme EPS bildeten. Dabei war bei 28% eine starke oder sehr starke EPS-Bildung vorhanden. Als gute EPS-Produzenten erwiesen sich Stämme der Spezies *L. reuteri*, *L. sanfranciscensis*, *L. frumenti* und *L. pontis*. Das Molekulargewicht der synthetisierten EPS war größer  $5 \cdot 10^6$  Dalton. Glukan wurde fast ausschließlich von *L. reuteri*-Stämmen gebildet. Um den Einfluss von fermentativ gebildetem EPS im Vergleich zu kommerziellen Hydrokolloiden auf das Altbackenwerden von Backwaren zu untersuchen, wurden Weizenbrote gebacken und die Parameter Krumenfestigkeit (Textur-Profil-Analyse) und Retrogradation der Stärke ("Differential Scanning Calorimetry") zur Erfassung des Altbackenwerdens ausgewählt. Das Altbackenwerden war grundsätzlich von der Mehlqualität abhängig, wobei bei direkter Teigführung mit schwachen Mehlen ein schnelleres Altbackenwerden stattgefunden hat. Der Zusatz von isoliertem EPS aus *L. sanfranciscensis* LTH 1729 (Glu/Fru Verhältnis: 1:6) und LTH 2590 (Glu/Fru Verhältnis: 1:45) war wirkungsvoller hinsichtlich der Verzögerung des Altbackenwerdens als der Zusatz der vergleichsweise eingesetzten Hydrokolloide Guarkernmehl und Xanthan. Backversuche mit chemisch gesäuerten Vorteigen zeigten, dass Quellungsvorgänge und endogene Enzymaktivitäten keinen positiven Einfluss auf das Altbackenwerden von Weizenbrot haben. Währenddessen war bei Broten mit fermentativ angereichertem EPS im Vorteig eine etwas langsamere Brotalterung zu verzeichnen. Dieser Effekt konnte auch in Mischbrot (Roggen : Weizen, 50:50) nachgewiesen werden. Eine Tiefkühlagerung der Teige hatte keinen Einfluss auf das Altbackenwerden der Brote. Letztlich wurde mit dem Stamm LTH 1729 unter optimierten Fermentationsbedingungen ein getrocknetes Sauerteigpräparat (Backmittel) mit EPS hergestellt. Die Zugabe von 3% dieses Backmittels bewirkte ein ebenso schnelles Altbackenwerden wie die bei der Kontrolle, jedoch bei um 2% erhöhter Wasserabsorption. Dementsprechend bewirkte der Zusatz von Hydrokolloiden bzw. EPS eine Erhöhung der Wasseraufnahme (Farinograph) um 1-1,5%. Das Breite-Höhe-Verhältnis war bei allen Teigen vergleichbar bis auf dem mittels Xanthan hergestellten Teig. Bei den Messungen mit dem Bohlin-Rheometer verhielten sich alle Teige ähnlich, nachdem diese auf 500 FE eingestellt wurden. Generell waren Teige mit Hydrokolloiden und EPS weniger klebrig. Vorteige mit angereichertem EPS waren klebriger als Teige ohne EPS. Dies ist auf den Restgehalte an

Saccharose, welche für die EPS-Bildung zugesetzt wurde, zurückzuführen. Im Extensogramm beeinflusste zugesetztes EPS das Dehnverhalten der Teige weniger als Guarkernmehl und Xanthan. Bei Verwendung von Vorteigen mit angereichertem EPS wurde der negative Einfluss der Vorteigführung auf die Teigstruktur kompensiert. Im Rapid-Visco-Analyzer bewirkten der Einsatz von Guarkernmehl und Xanthan eine Viskositätssteigerung bei dem Teigen, EPS und EPS-haltige Vorteige hatten hingegen keinen Effekt auf die Viskosität. Nach 10-tägiger Tiefkühlung war bei den Teigen generell eine schlechtere Teigstabilität und Gashaltung gegeben. Die Teige waren weicher und weniger elastisch (Bohlin-Rheometer), die Klebrigkeit nahm generell zu, der Dehnwiderstand ab und die Dehnbarkeit zu. Beim Zusatz von EPS wurden diese Tendenzen kompensiert und das Gesamtgasvolumen (Rheofermentometer) war zudem nahezu vergleichbar wie bei nicht gefrorenen Teigen. Bei Zugabe von 3% Backmittel mit EPS stieg die Wasseraufnahme bei mittlerer Mehlqualität um 2% an, während sich im Bohlin-Rheometer jedoch kaum Änderungen der Teigtheologie ergaben. Die Teigstabilität und das Gashaltevermögen wurden deutlich verbessert. Ebenso wurde die Teigklebrigkeit verringert und der Dehnwiderstand war geringer als beim Kontrollteig. Im RVA verursachte der Einsatz des Backmittels keine Viskositätsunterschiede. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die Herstellung und Anwendung eines durch optimierte Fermentation hergestellten EPS reichen „clean label“ Backmittels zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften und Frischhaltung von Backwaren.

## 6.2. Summary

Lactic acid bacteria (LAB) are involved in fermentation of sourdoughs and able to produce exopolysaccharides (EPS). Screening of 190 LAB of different species and genera showed that 82% are able to produce EPS. Whereby, 28% a strong or very strong production exhibited. It becomes evident that strains of species *L. reuteri*, *L. sanfranciscensis*, *L. frumenti* and *L. pontis*, could be identified as effective EPS producer. The molecular weight of the synthesized EPS was larger than  $5 \cdot 10^6$  Dalton. Glucan was formed almost of *L. reuteri* strains. To identify the effect of commercial hydrocolloids on bread staling, baking trials were performed. The parameter crumb hardness using Texture-Profile-Analysis and retrogradation of starch using Differential Scanning Calorimetry were chosen. Staling of wheat breads was dependent on the flour quality. Breads produced using weak flours and straight dough method showed faster staling. Addition of isolated EPS produced by *L. sanfranciscensis* LTH 1729 (Glu/Fru ratio: 1:6) and LTH 2590 (Glu/Fru ratio: 1:45) was more effective in retarding the rate of staling compared to hydrocolloids guar gum and xanthan. Baking trials with chemical acidified sponges showed that swelling and endogenous enzyme activities exerts no positive effect on the rate of staling. In contrast to sponges with fermentative enriched EPS, which exhibits a delayed rate of staling. This effect could be verified in mixed wheat breads (rye : wheat, 50:50). Frozen storage of doughs revealed no influence on the rate of staling. Production of an EPS enriched dried sourdough (baking improver) using optimized fermentation conditions was performed using *L. sanfranciscensis* LTH 1729. 3% dosage of the baking improver showed similar staling rate compared to control, however with 2% higher water absorption. Thus, addition of hydrocolloids and EPS, respectively, leads to an increase in dough yield of 1-1.5%. The width-height ratio was comparable in all doughs, except the xanthan supplemented. After adjusting the doughs to 500 FE, all doughs showed similar results in measurements with Bohlin-Rheometer. Doughs with added hydrocolloids as well as EPS were less sticky. Fermented sponge doughs with enriched EPS showed higher stickiness compared to not enriched. This could be traced back to residual not metabolized amounts of sucrose. EPS addition affects extensibility of doughs less compared to gum guar and xanthan. Negative influence on dough structure using acidic sponges was compensated with EPS enriched ones. Addition of guar gum and xanthan effect in a viscosity increase during gelatinization. Whereas, EPS and EPS containing sponges showed no effect on viscosity.

Frozen storage of 10 days reveals lower dough stability and gas retention. Doughs were less elastic and stickier. Dough resistance decreased and elasticity increased. By addition of EPS these effects could be compensated. The gas retention capability of EPS supplemented frozen

doughs was identical not frozen ones. Addition of 3% baking improver produced by spray dried EPS enriched sourdough to doughs increased the water absorption by 2%, whereas almost no change on dough rheological parameters resulted. Dough stability and gas retention was considerably improved. Dough stickiness and resistance decreased. No effect in viscosity during gelatinization. Summarized, the results of the present work show the optimization and manufacturing of a “clean label” baking improver, produced thru EPS enriched fermentation of sourdoughs. As well as the application of the improver and the impact of on dough processing and fresh keeping of frozen dough and baked goods.

## 7. Publikationsliste

Die verschiedenen Teile dieser Arbeit wurden in Fachjournalen publiziert oder auf Fachkongressen vorgestellt. Die Erstautorenschaft bzw. präsentierende Person wurden nachfolgend durch Unterstreichung hervorgehoben.

### 7.1. Originalarbeiten in Peer-Review-Journalen.

Kaditzky, S., Seitter, M., Hertel, C., Vogel, R., F., (2008) Performance of *Lactobacillus sanfranciscensis* TMW 1.392 and its levansucrase deletion mutant in wheat dough and comparison of their impact on bread quality. Eur Food Res Technol 227:433–442

Seitter, M., Fleig, M., Schmidt, H., Hertel, C., (2020) Effect of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus sanfranciscensis* on the processing properties of wheat doughs. Eur Food Res Technol 246, 461–469

### 7.2. Weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen

Neben den oben genannten Veröffentlichungen wurden weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen in Peer-Review-Journalen im Bearbeitungszeitraum der Dissertation veröffentlicht, die nicht Bestandteil der vorliegenden Dissertation sind.

Vogelmann, S., Seitter, M., Singer, U., Brand, M., Hertel, C., (2009) Adaptability of lactic acid bacteria and yeasts to sourdoughs prepared from cereals, pseudocereals and cassava and use of competitive strains as starters. Int. J. Food Microbiol 130, 3:205 – 212.

Hammes, W., Brandt, M., Francis, K., Rosenheim, J., Seitter, M., Vogelmann, S., (2005) Microbial ecology of cereal fermentations. Trends in Food Science & Technology Volume 16, Issues 1–3, Pages 4-11

### 7.3. Vorträge auf Fachkongressen

Seitter, M., Hertel, C., Backmittel mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden. GDL-Symposium Hydrokolloide VI, Köln, 2008

**Seitter, M., Flaig, M., Vogelmann, S., Schober, T., Hertel C.,** Einfluss bakterieller Exopolysaccharide auf die Rheologie von Weizenteigen. 57. Tagung für Getreidechemie, Detmold, Juni 2006.

**Seitter, M., Brandt, M., Hertel C.,** Einfluss der Vorteigführung auf die Brotqualität von Weizenbrot. 56. Tagung für Getreidechemie, Detmold, Juni 2005.

**Seitter, M., Vogelmann, S., Resch, M., Hertel, C.,** Effekt von Sauerteig bei Backwaren. Workshop Sauerteig 4. DGE-BaWü-Forum Getreide Hohenheim, März 2005.

#### **7.4. Posterpräsentationen auf Fachkongressen**

**Kaditzky, S., Seitter, M. Hertel, C., Vogel, R.F.,** Performance of *Lactobacillus sanfranciscensis* and its levansucrase deletion mutant in wheat dough and comparison of its impact on bread quality. 3<sup>rd</sup> International Symposium on Sourdough, Bari, October 2006.

**Seitter, M.F.H., Brandt, M.J., Hammes, W.P., Hertel, C.:** Effects of preferments on bread staling. 3rd Young Cereal Scientists Workshop, Dublin, Juli 2004.

**Seitter, M., Vogelmann, S., Brandt, Markus, Hammes, Walter P., Hertel, C.,** Charakterisierung der Fermentationsflora von Sauerteig aus Cerealien und Pseudocerealien – Teil III Milchsäurebakterien. 56. DGHM Tagung Suhl 2004

**Vogelmann, S., Seitter, M., Brandt, M., Hammes, W., Hertel, C.,** Charakterisierung der Fermentationsflora von Sauerteig aus Cerealien und Pseudocerealien – Teil II: Hefen. 56. DGHM Tagung Suhl 2004.

## 7.5. Angaben zum Eigenanteil der Publikation

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zwei Veröffentlichungen erstellt.

Die Veröffentlichung mit dem Titel „Performance of *Lactobacillus sanfranciscensis* TMW 1.392 and its levansucrase deletion mutant in wheat dough and comparison of their impact on bread quality“ wurde von Dr. Susanne Kaditzky als Erstautor erstellt; die die Versuche durchführte. Ich selbst war in das Versuchsdesign der Backversuche, die anwendungstechnische Betreuung der Versuche und die Erstellung und Korrektur der Veröffentlichung eingebunden. Prof. Dr. Rudi F. Vogel und PD Dr. Christian Hertel waren ebenfalls bei der Erstellung und Korrektur der Veröffentlichung eingebunden.

Bei der Veröffentlichung mit dem Titel “Effect of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus sanfranciscensis* on the processing properties of wheat doughs” waren mehrere Co-Autoren beteiligt. Alle Versuche, mit Ausnahme der Versuche zu TK-Teigen, wurden von mir selbst durchgeführt und ausgewertet sowie die Veröffentlichung erstellt. Markus Fleig führte die Versuche zu TK-Teigen durch. Prof. Dr. Herbert Schmidt und PD Dr. Christian Hertel waren bei der Erstellung und Korrektur der Veröffentlichung eingebunden.

---

Ort und Datum

---

Unterschrift

## 8. Literaturverzeichnis

- AACC, 2000a. AACC Method 02-52. Approved methods of the AACC, 10th edn. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
- AACC, 2000b. AACC method 10-05. Approved methods of the AACC, 10th edn. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
- AACC, 2000c. AACC method 54-10. Approved methods of the AACC, 10th edn. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
- AACC, 2000d. AACC Method 74-09. Approved methods of the AACC, 10th edn. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
- AACC, 2000e. AACC Method 76-21. Approved methods of the AACC, 10th edn. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
- AACC, 2000f. AACC Method 86-10. Approved methods of the AACC, 10th edn. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
- AACC, 2000g. AACC Method 89-01. Approved methods of the AACC, 10th edn. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN.
- Ahmed, J., Thomas, L., 2018. Effect of xanthan and guar gum on the pasting, stickiness and extensional properties of brown wheat flour/ $\beta$ -glucan composite doughs. *LWT - Food Science and Technology* 87, 443-449.
- Amigo, J.M., del Olmo, A., Engelsen, M.M., Lundkvist, H., Engelsen, S.B., 2016a. Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic  $\alpha$ -amylases. Part 2: Monitoring the staling process by using near infrared spectroscopy and chemometrics. *Food Chemistry* 297, 124946.
- Amigo, J.M., Del Olmo Alvarez, A., Engelsen, M.M., Lundkvist, H., Engelsen, S.B., 2016b. Staling of white wheat bread crumb and effect of maltogenic  $\alpha$ -amylases. Part 1: Spatial distribution and kinetic modeling of hardness and resilience. *Food Chemistry* 208, 318-325.
- Anonym, 1980. L01.00-37 In: Bundesgesundheitsamt (Hrsg.): Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach §35 LMBG, Beuth Verlag, Berlin.
- Anonym, 1994. Leitsätze für Brot und Kleingebäck.  
[https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/\\_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzeBrot.html](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ernaehrung/Lebensmittel-Kennzeichnung/LeitsaetzeBrot.html) (abgerufen am 10.01.2021)
- Azizi, M.H., Rao, G.V., 2004. Effect of surfactant gel and gum combinations on dough rheological characteristics and quality of bread. *Journal of Food Quality* 27, 320-336.

- Bail, A.L., Grinand, C., Cleach, S.L., Martinez, S., Quilin, E., 1999. Influence of storage conditions on frozen French bread dough. *Journal of Food Engineering* 39, 289-291.
- Barber, B., Ortola, C., Barber, S., Fernandez, F., 1992. Storage of packaged white bread - III. Effects of sour dough and addition of acids on bread characteristics. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 194, 442-449.
- Barber, B., Ortola, C., Spicher, G., 1990. Lagerung von verpacktem Brot. II. Mitteilung: Einfluß der Zugabe von Sauerteig und der Hitzebehandlung auf die Beschaffenheit des Weizenbrotes. *Getreide, Mehl und Brot* 44.
- Barcenas, M., E., Rosell, C.M., 2007. Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: Low temperatures and hydrocolloid addition. *Food Chemistry* 100, 1594-1601.
- Bárcenas, M.E., Benedito, C., Rosell, C.M., 2004. Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. *Food Hydrocolloids* 18, 769-774.
- Bárcenas, M.E., Rosell, C.M., 2005. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids* 19, 1037-1043.
- Behera, S.S., Ray, R.C., 2015. Sourdough bread. In: Rosell, C.M., Bajerska, J., El Sheiha, A., F. (Eds.), *Bread and its Fortification: Nutrition and Health Benefits*. CRC Press, Taylor & Francis Group; Boca Raton, FL, pp. 53-67.
- Brandt, M., J., Hammes, W., P., Gänzle, M., G., 2004. Effects of process parameters on growth and metabolism of *Lactobacillus sanfranciscensis* and *Candida humilis* during rye sourdough fermentation. *European Food Research and Technology* 218, 333-338.
- Brandt, M.J., 2006. *Handbuch Sauerteig*. Behrs Verlag GmbH, Hamburg.
- Brandt, M.J., Münscher, I., Hammes, W.P., 2003. Effect of lactobacilli from sour dough on wheat dough properties. *Getreide, Mehl und Brot* 57, 15-17.
- Bruemmer, J.M., Stephan, H., 1984. Praxisnahes rheologisches Verfahren zur Auswahl von Hydrokolloiden fuer die Frischhaltung von Brot. *Brot-&-Backwaren* 32(9).
- Caggianiello, G., Kleerebezem, M., Spano, G., 2016. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: from health-promoting benefits to stress tolerance mechanisms. *Applied Microbiology and Biotechnology* 100, 3877-3886.
- Camara-Salim, I., Almeida-Garcia, F., Gonzalez-Garcia, S., Romero-Rodriguez, A., Ruiz-Nogueiras, B., Pereira-Lorenzo, S., Feijoo, G., Moreira, M.T., 2020. Life cycle assessment of autochthonous varieties of wheat and artisanal bread production in Galicia, Spain. *Science of The Total Environment* 713, 136720.

- Campo, E., del Arco, L., Urtasun, L., Oria, R., Ferrer-Mairal, A., 2016. Impact of sourdough on sensory properties and consumers' preference of gluten-free breads enriched with teff flour. *Journal of Cereal Science* 67, 75-82.
- Chen, W.Z., Hoseney, R.C., 1995. Development of an objective method for dough stickiness. *LWT - Food Science and Technology* 28, 467-473.
- Clarke, C.I., Arendt, E.K., 2005. A Review of the Application of Sourdough Technology to Wheat Breads. In 'Advances in Food and Nutrition Research' pp. 137-161.
- Clarke, C.I., Schober, T.J., Arendt, E.K., 2002. Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and on bread quality. *Cereal Chemistry* 79, 640-647.
- Corsetti, A., Gobbetti, M., Balestrieri, F., Paoletti, F., Russi, L., Rossi, J., 1998a. Sourdough lactic acid bacteria effects on bread firmness and staling. *Journal of Food Science* 63(2), 347-351.
- 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 on Bread Firmness and Staling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 3044-3051.
- Corsetti, A., Gobbetti, M., Rossi, J., Damiani, P., 1998b. Antimould activity of sourdough lactic acid bacteria: identification of a mixture of organic acids produced by *Lactobacillus sanfrancisco* CB1. *Applied Microbiology and Biotechnology* 50, 253-256.
- Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E., Bekaert, D., 1996. A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid. *Food Hydrocolloids* 10, 375-383.
- De Man, J.C., Rogosa, M., Sharpe, M.E., 1960. A Medium for Cultivation of *Lactobacilli*. *Journal of Applied Bacteriology* 23, 130-135.
- De Mònaco Lopes, B., Lopes Lessa, V., Moré Silva, B., Da Silva Carvalho Filho, M.A., Schnitzler, E., Lacerda, L.G., 2015. Xanthan gum: properties, production conditions, quality and economic perspective. *Journal of Food and Nutrition Research* 54, 185-194.
- de Vuyst, L., Degeest, B., 1999. Heteropolysaccharides from lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Reviews* 23(2), 153-177.
- De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., Leroy, F., Sariaslani, S., Gadd, G.M., 2017. Chapter Two - Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation. In: (Eds.), *Advances in Applied Microbiology*. Academic Press, pp. 49-160.
- Decock, P., Cappelle, S., 2005. Bread technology and sourdough technology. *Trends in Food Science & Technology* 16, 113-120.
- DIN ISO 10974:2008-12, S.A.-V. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Germany

- Fadda, C., Sanguinetti, A.M., Del Caro, A., Collar, C., Piga, A., 2014. Bread Staling: Updating the View. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13, 473-492.
- Fard, M., S., Alami, M., Mahoonak, A., S., 2017. Effect of Exopolysaccharide Extracted from Iranian Kefir Grains on Bread Quality Properties of Medium Protein Wheat. *EC Nutrition* 8.4, 152-159.
- Ferrero, C., 2017. Hydrocolloids in wheat breadmaking: A concise review. *Food Hydrocolloids* 68, 15-22.
- Fiszman, S.M., Salvador, A., Varela, P., 2005. Methodological developments in bread staling assessment: application to enzyme-supplemented brown pan bread. *European Food Research and Technology* 221, 616-623.
- Francis, K., L., Brandt, M., J., Hammes, W.P., 2003. Die Anwendung von Reutericyclin bildenden Starterkulturen zur Verhinderung des Fadenziehens in Weizenbrot. Tagungsband GDL-Kongress, Stuttgart Hohenheim.
- Fretzdorf, B., Brümmer, J., . M., 1992. Reduction of phytic acid during bread baking of whole-meal-bread. *Cereal Chemistry* 69, 260-270.
- Gaenzle, M.G., Vermeulen, N., Vogel, R.F., 2007. Carbohydrate, peptide and lipid metabolism of lactic acid bacteria in sourdough. *Food Microbiology* 24, 128-138.
- Galle, S., Arendt, E.K., 2014. Exopolysaccharides from Sourdough Lactic Acid Bacteria. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54, 891-901.
- Gezginc, Y., Kara, Ü., 2019. The effect of exopolysaccharide producing *Lactobacillus plantarum* strain addition on sourdough and wheat bread quality. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods* 11, 95-106.
- Gobbetti, M., Minervini, F., Pontonio, E., Di Cagno, R., De Angelis, M., 2016. Drivers for the establishment and composition of the sourdough lactic acid bacteria biota. *International Journal of Food Microbiology* 239, 3-18.
- Gómez, M., Ronda, F., Blanco, C.A., Caballero, P.A., Apesteguía, A., 2003. Effect of dietary fibre on dough rheology and bread quality. *European Food Research and Technology* 216(1), 51-56.
- Gräber, S., Kuhn, M., 1994. Rheologie von Weizenmehlteigen vor und nach dem Frosten. *Getreide, Mehl und Brot* 48, 33-37.
- Gray, J.A., Bemiller, J.N., 2003. Bread Staling: Molecular Basis and Control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2, 1-21.

- Guarda, A., Rosell, C.M., Benedito, C., Galotto, M.J., 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids* 18, 241-247.
- Habibi, H., Khosravi-Darani, K., 2017. Effective variables on production and structure of xanthan gum and its food applications: a review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 10, 130-140.
- Hadaegh, H., Seyyedain Ardabili, S.M., Tajabadi Ebrahimi, M., Chamani, M., Azizi Nezhad, R., 2017. The Impact of Different Lactic Acid Bacteria Sourdoughs on the Quality Characteristics of Toast Bread. *Journal of Food Quality* 2017, 7825203.
- Hammes, W., Brandt, M., Francis, K., Rosenheim, J., Seitter, M., Vogelmann, S., 2005. Microbial ecology of cereal fermentations. *Trends in Food Science & Technology* 16, 4-11.
- Henry, R.J., 1985. A comparison of the non-starch carbohydrates in cereal grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36, 1243-1253.
- Hoseney, R.C., Finney, K., F., Pomeranz, Y., Shogren, M.D., 1971. Functional (Breadmaking) and Biochemical Properties of Wheat Flour Components. VIII. Starch. *Cereal Chemistry* 48, 189-191.
- ICC, 1996a. ICC Standard No. 104/1. Approved method. International Association for Cereal Science and Technology. <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview>.
- ICC, 1996b. ICC Standard No. 105/2. Approved method. International Association for Cereal Science and Technology. <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview>.
- ICC, 1996c. ICC Standard No. 106/2. Approved method. International Association for Cereal Science and Technology. <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview>.
- ICC, 1996d. ICC Standard No. 107/1. Approved method. International Association for Cereal Science and Technology. <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview>.
- ICC, 1996e. ICC Standard No. 110/1. Approved method. International Association for Cereal Science and Technology. <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview>.
- ICC, 1996f. ICC Standard No. 115/1. Approved method. International Association for Cereal Science and Technology. <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview>.

- ICC, 1996g. ICC Standard No. 126/1. Approved method. International Association for Cereal Science and Technology. <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview>.
- ICC, 1996h. ICC Standard No. 145. Approved method. International Association for Cereal Science and Technology. <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview>.
- Jaeger, S., 2018. Unser täglich Brot - Von überschüssigen Brotkanten und wachsenden Brotbergen. [https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Studie-Unser-taeglich-Brot\\_Von-ueberschuessigen-Brotkanten-und-wachsenden-Brotbergen\\_102018.pdf](https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Studie-Unser-taeglich-Brot_Von-ueberschuessigen-Brotkanten-und-wachsenden-Brotbergen_102018.pdf) (abgerufen am 10.01.2021)
- Kaditzky, S., Seitter, M., Hertel, C., Vogel, R.F., 2008. Performance of *Lactobacillus sanfranciscensis* TMW 1.392 and its levansucrase deletion mutant in wheat dough and comparison of their impact on bread quality. *European Food Research and Technology* 227, 433-442.
- Katz, S.H., Voigt, M.M., 1986. Bread and beer : the early use of cereals in the human diet. *Expedition*. 28, 23-35.
- Kitahara, K., Kaneko, T., Goto, O., 1957. Taxonomic Studies On the Hiochi-Bacteria, Specific Saprophytes of Sake I. Isolation and Grouping of Bacterial Strains. *The Journal of General and Applied Microbiology* 3, 102-110.
- Kline, L., Sugihara, T.F., 1971. Microorganisms of the San Francisco sour dough bread process. II. Isolation and characterization of undescribed bacterial species responsible for the souring activity. *Applied microbiology* 21, 459-465.
- Korakli, M., Rossmann, A., Gänzle, M.G., Vogel, R.F., 2001. Sucrose metabolism and exopolysaccharide production in wheat and rye sourdoughs by *Lactobacillus sanfranciscensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(11), 5194-5200.
- Krog, N., 1971. Amylose Complexing Effect of Food Grade Emulsifiers. *Starch - Stärke* 23, 206-210.
- Kruskal, W.H., Wallis, W.A., 1952. Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47, 583-621.
- Kulp, K., 1988. Bread industry and process. Chapter 6. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Larson, M., K., Van Lengerich, B., 1998. Cereal products with inulin and methods of preparation.

- Larson, R.W., Lou, W.C., De vito, V.C., Neidinger, K.A., 1983. Method of producing and baking frozen yeast leavened dough.
- Lee, W.Y., Unrau, A.M., 1969. Alpha-Amylase of a Synthetic Cereal Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 17, 1306-1311.
- Leverenz, D., Hafner, G., 2018. Chancen und Grenzen bei der Vermeidung von Backwarenverlusten. [https://refowas.de/images/Material\\_Abschlusskonferenz/04---REFOWAS\\_Bckereien-Final.pdf](https://refowas.de/images/Material_Abschlusskonferenz/04---REFOWAS_Bckereien-Final.pdf). (abgerufen am 10.01.2021)
- Liljeberg, H., Bjorck, I., 1994. Bioavailability of starch in bread products. Postprandial glucose and insulin responses in healthy subjects and in vitro resistant starch content. *European Journal of Clinical Nutrition* 48, 151-163.
- Liljeberg, H.G.M., Lonner, C.H., Bjorck, I.M.E., 1995. Sourdough fermentation or addition of organic acids or corresponding salts to bread improves nutritional properties of starch in healthy humans. *Journal of Nutrition* 125, 1503-1511.
- Maleki, G., Milani, J.M., 2013. Effect of guar gum, xanthan gum, CMC and HPMC on dough rheology and physical properties of Barbari bread. *Food Science and Technology Research* 19, 353-358.
- Martin, D.J., Stewart, B.G., 1991. Contrasting dough surface properties of selected wheats. *Cereal Foods World* 36, 502-504.
- Minervini, F., De Angelis, M., Di Cagno, R., Gobbetti, M., 2014. Ecological parameters influencing microbial diversity and stability of traditional sourdough. *International Journal of Food Microbiology* 171, 136-146.
- Miyazaki, M., Van Hung, P., Maeda, T., Morita, N., 2006. Recent advances in application of modified starches for breadmaking. *Trends in Food Science and Technology* 17, 591-599.
- Montemurro, M., Coda, R., Rizzello, C.G., 2019. Recent advances in the use of sourdough biotechnology in pasta making. *Foods* 8.
- Neumann, H., Stephan, H., Brümmer, J., . M., 2006. *Handbuch Sauerteig*. Behrs Verlag GmbH, Hamburg.
- Oleksy, M., Klewicka, E., 2018. Exopolysaccharides produced by *Lactobacillus* sp.: biosynthesis and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 58, 450-462.
- Ortolan, F., Steel, C.J., 2017. Protein Characteristics that Affect the Quality of Vital Wheat Gluten to be Used in Baking: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16, 369-381.

- Östman, E.M., Nilsson, M., Liljeberg Elmstahl, H.G.M., Molin, G., Björck, I.M.E., 2002. On the effect of lactic acid on blood glucose and insulin responses to cereal products: Mechanistic studies in healthy subjects and in vitro. *Journal of Cereal Science* 36, 339-346.
- Panzer, W., 1950. Counting bacteria and yeast cells in dough and bread with Thoma's counter. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 91, 93-100.
- Perten, H., 1964. Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase activity. *Cereal Chemistry* 41, 127-140.
- Plessas, S., Alexopoulos, A., Bezirtzoglou, E., 2013. Bread health and consumption. In: (Eds.), *Bread Consumption and Health*. pp. 45-55.
- Ravi, R., Sai Manohar, R., Haridas Rao, P., 1999. Use of Rapid Visco Analyser (RVA) for measuring the pasting characteristics of wheat flour as influenced by additives. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 79, 1571-1576.
- Ribotta, P.D., Leon, A.E., Anon, M.C., 2003. Effects of yeast freezing in frozen dough. *Cereal Chemistry* 80, 454-458.
- Ribotta, P.D., Perez, G.T., Leon, A.E., Anon, M.C., 2004. Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance of frozen bread dough. *Food Hydrocolloids* 18, 305-313.
- Ripari, V., Gänzle, M., G., Berardi, E., 2016. Evolution of sourdough microbiota in spontaneous sourdoughs started with different plant materials. *International Journal of Food Microbiology* 232, 35-42.
- Rizzello, C.G., Nionelli, L., Coda, R., Di Cagno, R., Gobbetti, M., 2010. Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread. *European Food Research and Technology* 230, 645-654.
- Rosell, C.M., Rojas, J.A., Benedito de Barber, C., 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids* 15, 75-81.
- Rosenkvist, H., Hansen, A., 1995. Contamination profiles and characterisation of *Bacillus* species in wheat bread and raw materials for bread production. *International Journal of Food Microbiology* 26, 353-363.
- Rosenqvist, H., Hansen, A., 1998. The antimicrobial effect of organic acids, sour dough and nisin against *Bacillus subtilis* and *B. licheniformis* isolated from wheat bread. *Journal of Applied Microbiology* 85, 621-631.
- Rothe, M., Schneeweiss, R., Ehrlich, R., 1974. The historical development of grain processing and grain consumption. *ERNAHRUNGSFORSCH.* 18, 249-284.

- Russell, P.L., 1983. A kinetic study of bread staling by differential scanning calorimetry and compressibility measurements. The effect of different grists. *Journal of Cereal Science* 1, 285-296.
- Schiraldi, A., Fessas, D., 2018. Mechanism of staling: An overview. In: (Eds.), *Bread Staling*. pp. 1-18.
- Schmitz, K., 2003 Einsatz von Inulin in Hefe- und Hefefeinteigen - Analytische, fermentative, rheologische und backtechnische Untersuchungen. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, <http://elpub.bib.uni-wuppertal.de/edocs/dokumente/fb09/diss2003/schmitz>. (abgerufen am 10.01.2021)
- Schoch, T., J., French, D., 1947. Studies on bread staling. I. The role of starch. *Cereal Chemistry* 24, 231-249.
- Schuenemann, C., Treu, G., 2002. *Technologie der Backwarenherstellung: fachkundliches Lehrbuch für Bäcker und Bäckerinnen*. Gildebuchverlag GmbH, Alfeld (Leine), Germany
- Seitter, M., Fleig, M., Schmidt, H., Hertel, C., 2020. Effect of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus sanfranciscensis* on the processing properties of wheat doughs. *European Food Research and Technology* 246, 461-469.
- Sim, S. Y., Noor Aziah, A.A., Cheng, L.H., 2011. Characteristics of wheat dough and Chinese steamed bread added with sodium alginates or konjac glucomannan. *Food Hydrocolloids* 25, 951-957.
- Spicher, G., 1980. Die Mikroflora des Sauerteigs. XXII Mitteilung: Die in Weizensauerteigen vorkommende Lactobacillen. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 184, 300-303.
- Spicher, G., Schröder, R., Stephan, H., 1980. The microflora of sourdough - X. Communication: The baking-performance of the lactic acid bacteria occurring in starter cultures ("Reinzuchtsauer"). *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 171, 119-124.
- Stenmarck, A., Jensen, C., Quested, T., Moates, G., 2016. Estimates of European food waste levels.
- Stolz, P., 1995. Untersuchungen des Maltosemetabolismus von Laktobazillen aus Sauerteig.
- Stolz, P., Böcker, G., Hammes, W.P., Vogel, R.F., 1995. Utilization of electron acceptors by lactobacilli isolated from sourdough - I. *Lactobacillus sanfrancisco*. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 201, 91-96.
- Takehiro, U., N., Teruro, W., Akemi, U., Terumi, U., 1994. Modifier for frozen bread dough and production of frozen bread dough.

- Thiele, C., Gänzle, M.G., Vogel, R.F., 2002. Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor. *Cereal Chemistry* 79, 45-51.
- Tieking, M., Gänzle, M.G., 2005. Exopolysaccharides from cereal-associated lactobacilli. *Trends in Food Science & Technology* 16, 79-84.
- Tieking, M., Korakli, M., Ehrmann, M.A., Gänzle, M.G., Vogel, R.F., 2003. In situ production of exopolysaccharides during sourdough fermentation by cereal and intestinal isolates of lactic acid bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 69(2), 945-952.
- Tieking, M., Kühnl, W., Gänzle, M.G., 2005. Evidence for formation of heterooligosaccharides by *Lactobacillus sanfranciscensis* during growth in wheat sourdough. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 2456-2461.
- 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 Science and Technology* 56, 508-516.
- Tuohy, K.M., Kolida, S., Lustenberger, A.M., Gibson, G.R., 2001. The prebiotic effects of biscuits containing partially hydrolysed guar gum and fructo-oligosaccharides - a human volunteer study. *British Journal of Nutrition* 86, 341-348.
- Vogel, R.F., Bocker, G., Stolz, P., Ehrmann, M., Fanta, D., Ludwig, W., Pot, B., Kersters, K., Schleifer, K.H., Hammes, W.P., 1994. Identification of lactobacilli from sourdough and description of *Lactobacillus pontis* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology* 44, 223-229.
- Vogel, R.F., Pavlovic, M., Ehrmann, M.A., Wiezer, A., Liesegang, H., Offschanka, S., Voget, S., Angelov, A., Böcker, G., Liebl, W., 2011. Genomic analysis reveals *Lactobacillus sanfranciscensis* as stable element in traditional sourdoughs. *Microbial Cell Factories* 10 Suppl 1, S6.
- Vorderwülbecke, A., Korflür, I., Löckener, R., 2018. Branchenanalyse Brot- und Backwarenindustrie. In: *Branchentrends und ihre Auswirkungen auf Beschäftigung und Arbeitsbedingungen*. Düsseldorf, Germany, pp. 154.
- Wassermann, L., 1999. *Handbuch Backmittel und Backgrundstoffe* Behrs Verlag GmbH, Hamburg.
- Weipert, D., 1990. The Benefits of Basic Rheometry in Studying Dough Rheology. *Cereal Chemistry* 67, 331-317.
- Wieser, H., 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology* 24, 115-119.

- Xu, Y., Cui, Y., Yue, F., Liu, L., Shan, Y., Liu, B., Zhou, Y., Lü, X., 2019. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and Bifidobacteria: Structures, physiochemical functions and applications in the food industry. *Food Hydrocolloids* 94, 475-499.
- ZDB, Zentralverband des Deutschen Bäckerhandwerks e. V. 2020. Pro Kopf Verbrauch an Brot und Backwaren. <https://www.baeckerhandwerk.de/baeckerhand-werk/zahlen-fakten/> (abgerufen am 10.01.2021)
- Zobel, H., F., Kulp, K., 1996. In: *Baked Goods Freshness: Technology, Evaluation, and Inhibition of Staling*. Eds. Hebeda, E. and Zobel, H., New York: Marcel Dekker
- Zoon, P., Tuinier, R., 2001. The physical properties of isolated exopolysaccharides in relation to the texture of fermented products. In: De Vuyst, L. & Degeest, B. (2001). *Book of Abstracts First International Symposium on Exopolysaccharides from Lactic Acid Bacteria: from Fundamentals to Applications*, Brussels, ISBN 90-9014903-1

## Anhang

### Rangordnungsprüfung auf das Altbackenwerden von Weizenbroten:

Das Merkmal Frische hat bei Brot und Backwaren eine große Bedeutung. Bitte beurteilen Sie die drei Weizenbrotscheiben vor Ihnen nach ihrer Frische und Brotalterung. Bitte verwenden Sie folgende Differenzierung:

Rangzahl:	Eindruck:
6	sehr frisch
5	frisch
4	noch frisch
3	leicht altbacken
2	altbacken
1	sehr altbacken

Brotprobe:	123	614	325
Rangzahl:			

Bemerkungen, Eindrücke:

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

**Eidesstattliche Versicherung über die eigenständig erbrachte Leistung  
gemäß § 18 Absatz 3 Satz 5 der Promotionsordnung der Universität Hohenheim für die  
Fakultäten Agrar-, Natur- sowie Wirtschafts- und Sozialwissenschaften**

1. Bei der eingereichten Dissertation zum Thema

„Backmittel mit fermentativ angereicherten Hydrokolloiden“

handelt es sich um meine eigenständig erbrachte Leistung.

2. Ich habe nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich keiner unzulässigen Hilfe Dritter bedient. Insbesondere habe ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht.

3. Ich habe nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung oder -beratung in Anspruch genommen.

4. Die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und der strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung sind mir bekannt.

Die Richtigkeit der vorstehenden Erklärung bestätige ich. Ich versichere an Eides Statt, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit erkläre und nichts verschwiegen habe.

---

Ort und Datum

---

Unterschrift



## **Danksagungen**

An dieser Stelle möchte ich mich bei den Personen bedanken, die auf die eine oder andere Art und Weise Einfluss auf diese Promotionsarbeit über die lange Zeit genommen haben.

### **Ich möchte mich bedanken bei**

Herrn PD Dr. Christian Hertel für die Überlassung des Themas, die zahlreichen Anregungen, die immer stete Bereitschaft zur fachlichen und persönlichen Diskussion, das mir über die lange Zeit entgegengebrachte Vertrauen sowie die Erstellung des Erstgutachtens.

Herrn Prof. Dr. Herbert Schmidt für die Anregungen, fachlich kompetente Unterstützung und Betreuung bei der Fortführung und dem Abschluss meiner Arbeit.

Meinen Doktorandenkollegen Steffi Vogelmann und Marion Seitter, geb. Resch, für die Freundschaft und die schöne gemeinsame Zeit innerhalb und außerhalb des Labors.

Meinem damaligen Diplomanden Markus Fleig. Danke für die Zusammenarbeit und vor allem für die Arbeit. Sowie heute für die gelegentlichen Treffen zum Austausch in Ulm.

Frau Dr. Wolf und Herr Dr. Kicherer für die stete Bereitschaft zur Diskussion sowie die Reaktivierung und den Aufbau der HPLC Anlage, inkl. Troubleshooting.

Claudia Lis, Markus Kranz und Johanna Hinrichs für die sehr gute Zusammenarbeit und die fachliche, technische und freundschaftliche Unterstützung sowie Eure stetige Hilfsbereitschaft.

**und vor allem bei**

Dir, Marion, dass Du mich stets unterstützt hast und immer hinter mir stehst. Danke für Deine Hilfsbereitschaft und Motivation in allen Lebenslagen seit unserer gemeinsamen Zeit in Hohenheim. Es gibt keine Worte die diese Leistung beschreiben.

Meiner Schwiegermutter Eva, dass Du uns immer stets tatkräftig und liebevoll unterstützt hast, wenn immer nötig, insbesondere mit Lara und Lukas Zeit verbracht hast, um mir die Fertigstellung dieser Arbeit zu ermöglichen.

Meinen Kindern Lara und Lukas, die mir immer ein Quell von Ansporn und Energie sind.

Meiner Mutter, meinem Vater, meinem Schwiegervater Kurt , sowie Tante Heinricke und Ruth, die immer an mich geglaubt haben und die Fertigstellung meiner Arbeit leider nicht miterleben dürfen. Danke, dass Ihr mich begleitet habt und für eure stetig motivierenden Worte. Ich werde Euch immer in liebevoller Erinnerung behalten.

Schließlich ein letzter großer Dank an die, die mich von Anfang an begleitet, an mich geglaubt und sich mit immerwährendem Interesse nach dem Fortschritt meiner Arbeit erkundigt haben - meiner Familie.

*Vielen Dank für alles!*

Die Arbeit wurde aus Mitteln des FEI (Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V., Bonn, Germany), dem AiF (Arbeitskreis industrieller Forschung) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Projekt Nr. AiF-FV 14037 N gefördert.