



Technikerarbeit

Charakterisierung der Verarbeitungseigenschaften ökologisch erzeugter Dinkelsorten mittels Kriech-Erholungsmessung



Alexander Veit

Sommer 2009

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort.....	5
2.	Aufgabenstellung	7
3.	Stand des Wissens	8
3.1	Entstehung von Dinkel.....	8
3.2	Dinkelanbau.....	9
3.3	Ausgewählte Dinkelsorten	9
3.4	Unterscheidung von Weizen und Dinkel	11
3.5	Rheologie	12
4.	Material und Methoden.....	13
4.1	Arbeitsgeräte	13
4.1.1	Rheometer MC 20	13
4.2	Brabender-Farinograph	18
4.3	Bio-Standardbackversuch.....	19
4.3.1	Fließschema des Bio-Standardbackversuches für Dinkeltypenmehl (Type 630).....	20
4.3.2	Fließschema des Bio-Standardbackversuches für Vollkornmehl.....	21
4.3.3	Berechnung der Qualitätszahl.....	22
5.	Vorversuche.....	23
5.1	Realteige bei 800 Pa Schubspannung.....	25
5.2	Realteige geknetet im Diosna Spiralkneter	26
5.3	Realteige bei 1200 Pa Schubspannung.....	27
5.4	Verwendung von Modellteigen	28
5.5	Realteige o. Triebmittel bei 300 Pa Schubspannung	29

5.6	Modellteige mit NaCl und Acerolakirschpulver	30
5.7	Modellteige mit Dinkelvollkornmehl.....	31
5.8	Fazit der Vorversuche.....	32
6.	Versuchsdurchführung	34
7.	Ergebnisse	35
7.1	Sortenunterschiede.....	35
7.1.1	Backverhalten der Sorten	36
7.2	Bio-Standardbackversuch.....	37
7.3	Kriech-Erholungsmessung Dinkeltypenmehl (630)	40
7.4	Kriech-Erholungsmessung Dinkelvollkornmehl.....	41
8.	Diskussion	42
8.1	Dinkeltypenmehl (630).....	45
8.2	Dinkelvollkornmehl.....	48
8.3	Konventionelle Rheologiewerte	49
9.	Zusammenfassung	50
10.	Summary	51
11.	Fazit	52

Anlagen:

Glossarium

Literaturverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Danksagung

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Alexander Veit, erkläre eidesstattlich, dass ich diese vorliegende Technikerarbeit selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel, Internetquellen und Literaturangaben als die hier angegeben verwendet habe.

Berlin, 17. April 2009

Alexander Veit

1. Vorwort

Dinkel (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) ist die bespelzte Form des Weizens (*Triticum aestivum*). Seine Geschichte begann vor vielen Tausend Jahren in der Vergangenheit, dabei ist Südostasien als Heimat des Dinkels anzusehen. Zahlreiche Funde aus der Bronzezeit um 1000 v.Chr. belegen, dass bereits zu dieser Zeit Dinkel in Mitteleuropa stark verbreitet war [17]. Kelten und Ägypter bedienten sich bereits dieses Getreides, um daraus Brot zu backen. Vor ca. 150 Jahren brachten Landwirte noch auf 400.000 Hektar Saatgut für Dinkel aus. Heute ist die Anbaufläche auf ca. 20.000 Hektar (um das Jahr 1995) zurückgegangen. Die Gründe hierfür sind die wesentlich geringere Ertragsleistung, die geringere Standfestigkeit, die Neigung zur Spindelbrüchigkeit und der deutlich höhere Arbeitsaufwand bei der Entspelzung des Dinkels gegenüber dem Weizen [5].

Der Verbrauch an Dinkelweizen war lange Zeit rückläufig. Seit einigen Jahren erfährt der Dinkel unter dem Trend zur Reform- und Vollkornkost wieder erhöhte Aufmerksamkeit durch den Verbraucher. Dies belegen die Anbauflächen die 2004 auf 22.833 ha Dinkel ausgeweitet werden konnten [4].

In vielen Angaben der Literatur wird dem Dinkel oft eine Wirkungsweise unterstellt, die sich positiv auf die Gesundheit auswirken soll. Dafür fehlen jedoch noch wissenschaftliche Beweise [17]. Vor allem wird dem Dinkel oft attestiert, dass er bei Zöliakie als Ersatzgetreide verwendet werden kann. Diese Aussagen beruhen allerdings nur auf Erfahrungsberichten und sind wissenschaftlich nicht anerkannt, da die Allergie vom Eitop ausgelöst wird, welches aus 6 - 8 Aminosäuren besteht. Das Eitop ist bei Weizen und Dinkel gleich.

Dinkelweizen besitzt einen höheren Proteingehalt als der Weichweizen. Allerdings weist Dinkelkleber eine andere Struktur auf und ist nicht so belastbar wie Weizenkleber. Die Ursache hierfür könnte eine mangelnde

Quervernetzung der kleberbildenden Proteine (Gliadin u. Glutenin) sein, die dem Teig die nötige Stabilität verschaffen. In vielen Bäckereien wird deshalb die Herstellung von Dinkelgebäcken kritisch betrachtet. Anlass hierfür könnten u.a. die kurze bzw. geringe Knet- u. Gärtoleranz (Sorten- und Standortabhängig) sein. Auch feuchte Teigoberflächen und nachlassende Teigelastizitäten tragen nicht zu verbesserten Verarbeitungseigenschaft bei.

Für Weizen- und Dinkelmehle gibt es zahlreiche Standardmethoden, die zur Untersuchung der Mehle und damit zur Rohstoffcharakterisierung eingesetzt werden. Hierzu zählen Methoden wie Farinogramm, Extensogramm, Sedimentationswert und Fallzahl. Allerdings liefern die Ergebnisse der aufgezählten Methoden nur indirekt eine Aussage über das zu erwartende Backverhalten der Mehle. Aus diesem Beweggrund heraus, entstand ein Kooperationsprojekt am Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel in Detmold. In dieser hier vorliegenden Arbeit wird die Thematik einer erweiterten rheologischen Untersuchung, im Bereich der Mehlanalytik, der Kriech-Erholungsmessung behandelt. Dabei wird neben den Standardmethoden versucht, die backtechnischen Eigenschaften von sortenreinem Dinkelmehl, aus ökologisch erzeugtem Anbau, zu ermitteln. Um einen hohen praxisgerechten Bezug zu ermöglichen, wurden Realteige¹ bei den Messungen verwendet. Die Backfähigkeit des Probenmaterials wurde bereits über einen Bio-Standardbackversuch ermittelt.

Die Herstellerhinweise der Fa. Physika Messtechnik GmbH zur Charakterisierung von Teigen mittels Kriech-Erholungsmessung ergaben keine reproduzierbaren Ergebnisse, so dass die Einstellungen der Untersuchungsvariablen entsprechend variiert und angepasst werden mussten.

¹ Realteig = praxisübliche Teigzusammensetzung, anstelle besonderer Backmittel wurden Fett, Zucker und Acerolakirschkpulver hinzugegeben.

2. Aufgabenstellung

Das Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, hat in einem 18-monatigen Forschungsprojekt am Standort Detmold einen neuen Bio-Standardbackversuch¹ für die Charakterisierung von Dinkeltypenmehl (Type 630) und Dinkelvollkornmehl aus biologischem Anbau entwickelt. In diesem Projekt wurde u.a. versucht, die Zusammenhänge zwischen den Mehlinhaltsstoffen des Dinkels und dem Backpotenzial von Dinkelmehl herzustellen. Hinsichtlich der Erkenntnisse, die aus dem Resultat der Versuche des Bio-Standardbackversuches hervorgingen, konnte eine genaue Prognose abgegeben werden, wie das Backergebnis des jeweiligen Mehles ausfallen würde. Bei den untersuchten Mustern handelt es sich vorwiegend um Dinkel der Sorten Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn².

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Backfähigkeit der sortenreinen Dinkeltypenmehle (Type 630) und Dinkelvollkornmehl mit Hilfe der Messmethode der Kriech-Erholungsmessung besser zu charakterisieren als mit bisher angewandten rheologischen Standardmethoden. Dabei wurde eine Korrelation mit den Ergebnissen der Kriech-Erholungsmessung mit denen des im Bio-Standardbackversuch erfassten Backverhalten angestrebt.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, mussten zu Beginn im Rahmen einer Reihe von Vorversuchen, die Einstellungsniveaus der Versuchsvariablen der Kriech-Erholungsmessung aufeinander abgestimmt werden, um eine Reproduzierbarkeit zu gewährleisten. Dabei wurde versucht, die Messungen an praxisgerechten Teigen durchzuführen, um eine höhere Prognosegenauigkeit der Verarbeitungseigenschaften von Dinkelmahlprodukten zu erzielen.

¹ Der von Unbehend und Neumann entwickelte Bio-Standardbackversuch wurde noch nicht publiziert.

² Die Ergebnisse der Entwicklungsarbeit wurden vom Max Rubner-Institut zur Verfügung gestellt.

3. Stand des Wissens

3.1 Entstehung von Dinkel

Dinkel (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) ist aus Bastardisierungen zwischen bespelzten Formen der tetraploiden Emmerreihe und des Wildgrases „*Aegilops squarrosa*“ entstanden. Er ist hexaploid und besitzt wie der Weichweizen (*Triticum aestivum*) das A-, B-, und D-Genom. Dabei wird er als Ausgangsform des hexaploiden Kulturweizens angesehen [17]. In Abbildung 4 ist die Verbindung der Genome veranschaulicht. Hierbei verband sich das Einkorngenom AA sich mit dem BB-Genom des *Aegilops speltoides* zum Emmer. Die Entstehung von *Triticum spelta* entstand durch eine weitere Einkreuzung des DD-Genoms von *Aegilops squarrosa*. Die Bespelzung des Dinkels ist genetisch lediglich auf ein Gen fixiert [12].

Tab. 1: Systematik der Gattung *Triticum* [9]

	Einkornreihe (diploide Weizen)	Emmerreihe (tetraploide Weizen)	Dinkelreihe (hexaploide Weizen)
Chromosomenzahl	2n = 14	2n = 28	2n = 42
Genome	AA	AABB	AABBDD
Wildform			
bespelzt	Wildeinkorn (<i>T. boeoticum</i>)	Wildemmer (<i>T. dicoccoides</i>)	macha-Typ ?
nackt	fehlend	fehlend	fehlend
Kulturformen			
bespelzt	Einkorn (<i>T. monococcum</i>)	Emmer (<i>T. dicoccum</i>)	Dinkel (<i>T. spelta</i>) (<i>T. macha</i> = organischer Dinkel)
nackt	nicht bekannt	Hartweizen (<i>t. durum</i>) u.a.	Weichweizen (= „Weizen“) (<i>T. aestivum</i>) u.a.

3.2 Dinkelanbau

Der Spelzweizen (Dinkel) zeigt im Vergleich zum Weichweizen eine größere Anspruchslosigkeit in Bezug auf Standort und Klima. Auf trockenen Kalkböden und in feuchten Hochlagen weist der Spelzweizen, trotz dieser Bedingungen einen relativ guten Ertrag bei der Ernte auf. Die Dinkelpflanze besitzt ein tieferes Wurzelwerk, wodurch eine verbesserte Nährstoffzufuhr ermöglicht wird. Der geringere Nährstoffbedarf und das bessere Stickstoff-Aneignungsvermögen sind auf das genetische Potenzial zurückzuführen. Bei ungünstigen Witterungsbedingungen kennzeichnet er sich durch eine hohe Widerstandsfähigkeit u.a. bei Frost. Die langen Halme sichern die Bestandsmikroflora, welche der Ausbreitung von Schadstoffpilzen entgegen wirkt. Allerdings kommt es aufgrund der langen Halme zu einer geringeren Standfestigkeit, daher kann der Einsatz von Wachstumsregulatoren zum Tragen kommen. Die Spelzen bieten zwar einen gewissen Schutz für die Getreidekörner, doch gegenüber Erregern von Halm- und Blattkrankheiten zeigt sich eine gleich hohe Anfälligkeit wie beim Weichweizen [17].

Dinkelsorten wie z.B. Oberkulmer Rotkorn und Franckenkorn sind nicht sonderlich ertragsstark im Gegensatz zu Dinkelsorten mit Weizeneinkreuzungen. Der Ertrag von Dinkel liegt bei ca. 45 dt/ha, während der Weizen einen Ertrag von ca. 81 dt/ha erzielt. Die geringeren Einkünfte veranlassen viele Landwirte vom Dinkelanbau abzusehen [10].

3.3 Ausgewählte Dinkelsorten

Bei diesen rheologischen Untersuchungen wurden die Dinkelsorten Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn verwendet. Im Folgenden werden die charakteristischen Eigenschaften und Herkunft der unterschiedlichen Sorten kurz beschrieben.

Franckenkorn

Franckenkorn ist eine Rückkreuzung von alten Dinkelsorten und derzeit die reinste¹ Dinkelsorte. Im Jahre 1994 wurde die Sorte vom Bundesortenamt zugelassen und besitzt dabei folgende Abstammung: (Rouquin x Altgold) x Altgold. Bei den Landwirten ist diese Sorte sehr beliebt, da sie langjährig einen hohen Ertrag aufweist und für eine sichere Ernte steht. Bei der Verarbeitung zeigt sich Franckenkorn ebenfalls von seiner guten Seite, da die Spelzen leicht und mit wenig Energie vom Korn abzulösen sind. Die Backfähigkeit ist befriedigend bis sehr gut, die Teige sind elastisch und trocken. Beim Backen stellt sich ein gutes Gashaltvermögen heraus, was eine hohe Volumenausbeute zur Folge hat [8] [9].

Oberkulmer Rotkorn

Oberkulmer Rotkorn ist die Selektion einer alten Schweizer Landsorte und wurde im Jahre 1948 zugelassen. Es handelt sich hierbei um eine robuste Pflanze mit guter Standfestigkeit allerdings nur mit mittlerem Ertrag. Bezüglich der Düngung ist die Sorte als genügsam zu bezeichnen. Oberkulmer Rotkorn besitzt im Durchschnitt mehr Rohprotein und Kleber als Franckenkorn. Die Backfähigkeit indessen ist aber von etwas geringerer Qualität (nicht befriedigend bis gut), da die Teigeigenschaften in Richtung feucht und nachlassend tendieren. Dies erfordert das gesamte Know-how eines Bäckers, da die Teige schwieriger zu handhaben sind [2] [9].

¹ Dinkelchtheit u.a. bestätigt von der unabhängigen Schweizer Eidgenössischen Forschungsanstalt Agrarökologie und Landbau – die zuständige öffentliche Forschungseinrichtung in einem Kerngebiet des traditionellen Dinkelanbaus.

Ernährungsphysiologie

Dem Dinkel werden oft „heilende Kräfte“ und Eigenschaften, welche sich positiv auf die Gesundheit auswirken nachgesagt. Vergleicht man allerdings die Nährstoffe der Typen- und Vollkornmehle von Dinkel und Weizen stellt man fest, dass es zwischen den beiden Getreidesorten nur geringe Abweichungen gibt. Die Gehalte an Kohlenhydraten und Vitaminen des Dinkels, bewegen sich dabei in einem Rahmen, der dem Weizen üblichen Werten. Der Gehalt an Mineralstoffen, Fett bzw. Fettsäuren unterscheidet sich nicht von den Werten des Weizens. Dinkel besitzt zwar einen höheren Proteingehalt und eine höhere Nährstoffdichte als Weizen. Jedoch ist die biologische Eiweißwertigkeit aufgrund des Lysingehaltes niedriger einzustufen. Der Ballaststoffgehalt von Dinkelvollkornmehl ist sogar geringer als der von Weizenvollkornmehl. Dies ist auf die Entspelzung der Dinkelkörner zurückzuführen, da hierbei große Teile der Schale mit entfernt werden [17] [9].

Tab. 2: Beispielhafte Zusammensetzung von Dinkeltypenmehl (Type 630), Weizentypenmehl (Type 550), Dinkel- und Weizenvollkornmehl [14]

Inhaltsstoffe	Dinkelmehl (Type 630)	Weizenmehl (Type 550)	Dinkelvoll- kornmehl	Weizenvoll- kornmehl
Wasser	12,50 %	13,70 %	9,84 %	13,20 %
Kohlenhydrate	63,25 %	70,76 %	64,01 %	60,97 %
Protein	10,76 %	9,84 %	13,33 %	11,73 %
Ballaststoffe	8,8 %	4,10 %	8,38 %	10,30 %
Fett	2,7 %	1,13 %	2,55 %	2,00 %
Mineralstoffe	1,99 %	0,47 %	1,89 %	1,80 %

3.4 Unterscheidung von Weizen und Dinkel

Zur Charakterisierung von Dinkelmehlen und Weizenmehlen wurden Farinogramme angefertigt. Aus den Messkurven konnten bereits erste Unterschiede festgestellt werden. Die weitere Auswertung ergab deutliche Unterschiede der Teigeigenschaften. In Bezug auf Stabilität und Teig-erweichung sind prägnante Abweichungen zu erkennen. Diese werden in den nachfolgenden Abbildungen (1 u. 2) aufgezeigt. In Tabelle 3 sind alle weiteren Ergebnisse dieses Vergleiches aufgeführt.

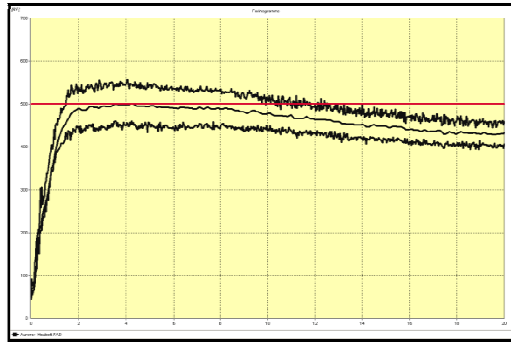


Abb. 2: Farinogramm Weizenmehl (Type 550)

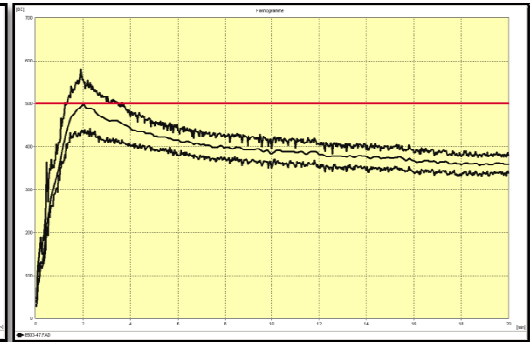


Abb. 1: Farinogramm Dinkelmehl (Type 630) Oberkulmer Rotkorn

Tab. 3: Auswertung der Farinogramme von Weizenmehl (550) und Dinkelmehl (630)

Weizenmehl [Type]	550	Dinkelmehl [Type]	630
Konsistenz [BE]	503	Konsistenz [BE]	520
Wasseraufnahme (500 BE) [%]	60,5	Wasseraufnahme (500 BE) [%]	58,6
Wasseraufnahme (14,0 %) [%]	60,1	Wasseraufnahme (14,0 %) [%]	58
Teigentwicklungszeit [min]	4,3	Teigentwicklungszeit [min]	2
Stabilität [min]	10,2	Stabilität [min]	2,2
Teigerweichung [BE]	22	Teigerweichung [BE]	116
Teigerweichung (ICC) [BE]	60	Teigerweichung (ICC) [BE]	124
Farinograph Qualitätszahl	111	Farinograph Qualitätszahl	28

3.5 Rheologie

Rheologie ist die Wissenschaft von der Deformation einschließlich des Fließens fluider und fester Körper unter der Einwirkung mechanischer Kräfte. Dabei kann eine Einteilung der Rheologie in verschiedene Teilgebiete vorgenommen werden. Der Begriff Deformation bedeutet, die relative Verschiebung der Teilchen eines Körpers, bei der sich das Volumen, die Gestalt oder beide ändern und der Zusammenhang des Körpers nicht zerstört wird. Die Größe und Art der Deformation hängen von den rheologischen Eigenschaften (Stoffwerten) des Körpers, seiner Form sowie der Art der Beanspruchung durch äußere Kräfte ab. Zu den Grundeigenschaften der Rheologie zählen Elastizität, Plastizität, Viskosität und Festigkeit, die das Deformationsverhalten eines Körpers beeinflussen [16].

4. Material und Methoden

4.1 Arbeitsgeräte

Zur Durchführung der Arbeiten wurden folgende Geräte verwendet:

- Rotations-, Schubspannungs-, Kriech- und Oszillationsrheometer
Rheometersystem RHEOLAB MC 20, der Fa. Physika
Messtechnik GmbH
- Farinograph (50 g), der Fa. Brabender
- Laborwaage, der Fa. Sartorius
- Stoppuhr

4.1.1 Rheometer MC 20

Das Rheometersystem RHEOLAB MC 20 findet Anwendung in Forschung, Entwicklung und Qualitätskontrolle. Über das System lassen sich Messungen der Viskosität NEWTON'scher Flüssigkeiten bei stationärer Scherströmung durchführen. Zusätzlich sind weitere Versuche bei in-stationärer Scherströmung möglich und damit die Messung visko-elastischer Stoffgrößen bei Oszillations-, Kriech-, Spann- und Relaxtionsvorgängen [7].

Messprinzip der Kriech-Erholungsmessung

Bei dieser Methode wird das Kriech- und Spannungsrelaxations- Verhalten des Probenmaterials bestimmt. Hierbei wird das Material unter einer definierten Kraft konstant belastet. Die Verformung, die daraus resultiert wird in vorgegebenen Zeitintervallen aufgezeichnet und in einem Kriech-Zeitdiagramm dargestellt. Nach Ende der Belastungsphase wird die Schubspannung, die auf den Körper wirkt, gestoppt. Handelt es sich um einen viskoelastischen Stoff tritt ein Relaxtionsverhalten ein. Dabei setzt der Stoff dem Messkörper eine gewisse Kraft entgegen, um wieder in seine Ausgangsposition zurückzukehren. Eine aufgeteilte Kriechkurve in Belastung- und Entlastungsphase, ist auf Abbildung 8 zu sehen [3].

1. Längenverstellbare Messachse
2. Fixierschraube (M4)
3. Feder
4. Standard-Abdeckhaube
5. Temperaturmessfühler (Pt 100)
6. Bohrung für Befestigungsschraube M5
7. Temperaturisolierende Distanzbolzen
8. Messplattenaufnahme
9. Zuleitung für Inertgas bzw. Luft
10. Pt 100 - Kabel
11. Thermostatisierflüssigkeit - Abfluss
12. Thermostatisierflüssigkeit - Zuleitung
13. Anschlussplatte
14. Austrittsbohrung für Intergas bzw. Luft
15. Dichtung
16. Spezialabdeckhaube (Glas)
17. Messplatte
18. Temperierspirale
19. Messkegel
20. Führungsstift

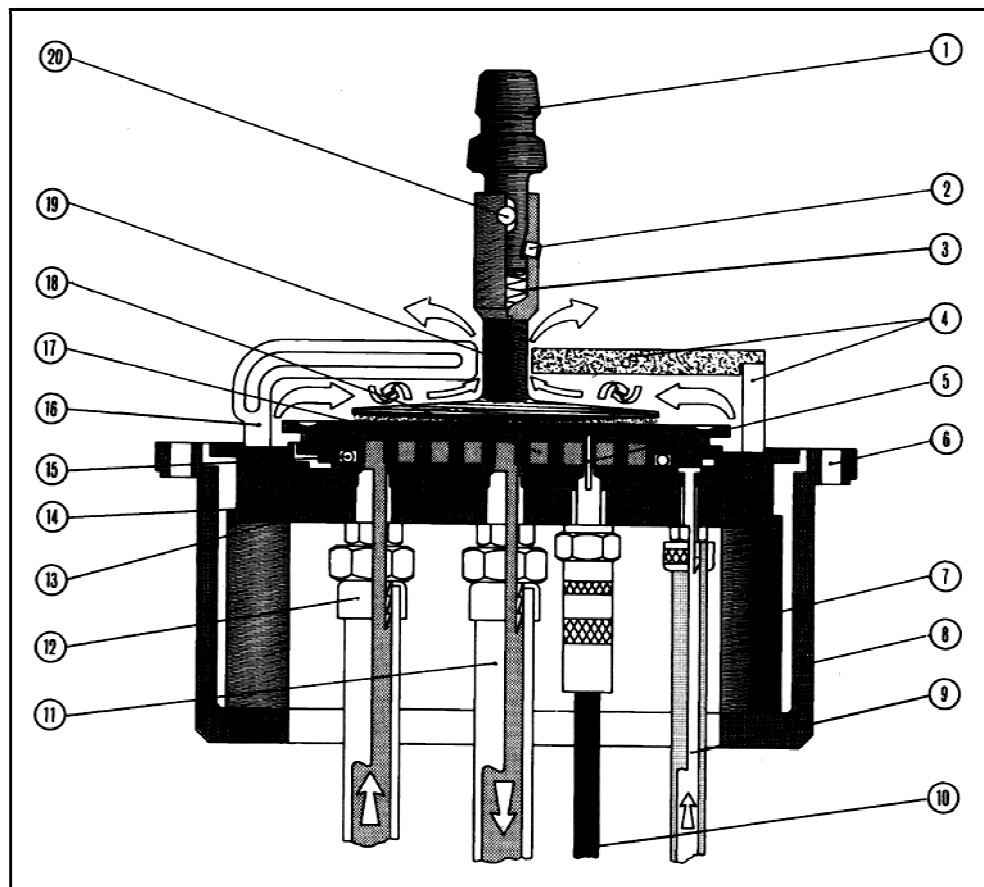


Abb. 3: Schnittbild des Kegel-/Platte Messsystems [3]

Auf der rechten Seite befinden sich drei Abbildungen des Rheometersystems RHEOLAB MC 20, Kegel-/Platte, mit dem die Versuche durchgeführt worden sind. Die Darstellung soll dem besseren Verständnis der Messmethode dienen, da die Verwendung eines solchen Gerätes bei rheologischen Untersuchungen überwiegend in Forschung und Entwicklung eingesetzt wird.

1. Verschlussadapter
2. Messkegel
3. Abstandskontrolle in mm
4. Messplatte (temperiert)
5. Messkörper (Teigling)

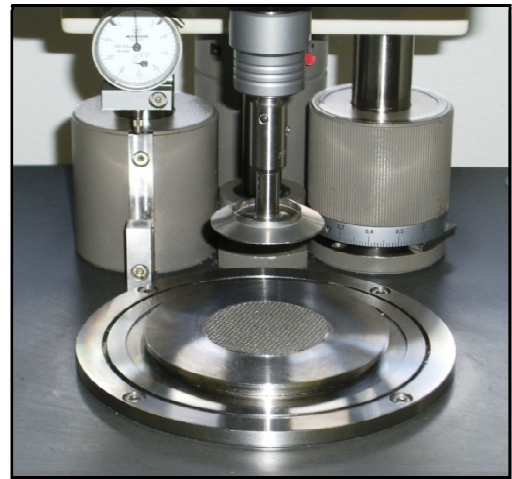


Abb. 4: Vorbereitetes Messsystem

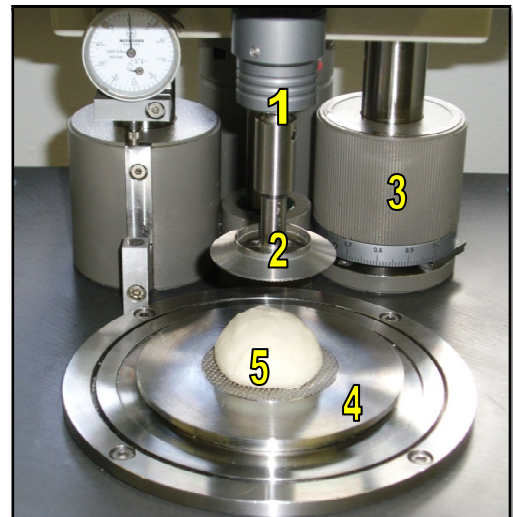


Abb. 5: Messsystem mit eingelegtem Messkörper (Teigling)

Messprozess

Der Messkörper (Teigling) wird mit definierter Schubspannung (Pa) belastet (Scherbeanspruchung). Die Messplatte (4) bleibt statisch, während der Messkegel (6) mit konstanter Schubspannung den Messkörper (Teigling) belastet.

6. Rotationsbewegung (Scherkräfte) des Messkegels

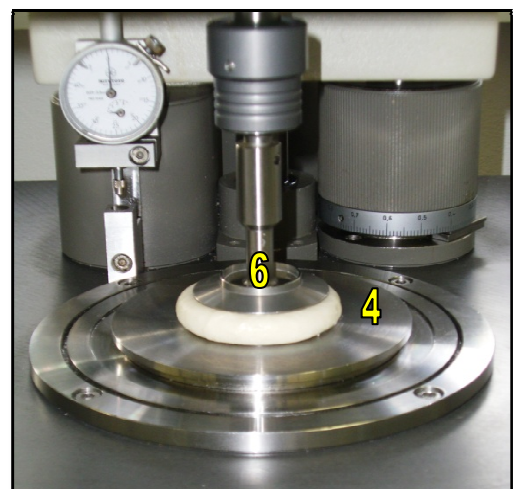


Abb. 6: Messung eines viskoelastischen Stoffes (Teigling)

Grundlage der Kriech-Erholungsmessung

Dabei definiert sich der Kriechversuch folgendermaßen:

- Kriechen ist das allmähliche Anwachsen der Deformation bei konstanter Belastung.
- Die Kriechnachgiebigkeit $J(t)$ ist der auf die Scherbeanspruchung τ bezogene Verschiebungsgradient $y(t)$ als Funktion der Zeit t .

Daraus ergibt sich folgende mathematische Beschreibung:

- Bei $\tau > 0$; $\tau = \text{konst.}$ gilt allgemein $J(t) = \frac{y(t)}{\tau}$

Die Grundlage der Kriech-Erholungsmessung bildet das mechanische Modell des Kelvin-Voigt Körpers (siehe Abb. 7). Hierbei wird versucht die Deformation, der viskoelastischen reversiblen Verformung zu beschreiben. Die vorhandene Viskoelastizität wird unter Verwendung gekoppelter HOOKE'scher und NEWTON'scher Elemente modelliert. Viskoelastische und plastoelastische Körper unterliegen gleichzeitig reversiblen elastischen irreversiblen viskosen bzw. plastischen Deformationen. Die mathematische Beschreibung des rheologischen Verhaltens kann erleichtert werden, wenn durch Abstraktion ideale Körper geschaffen

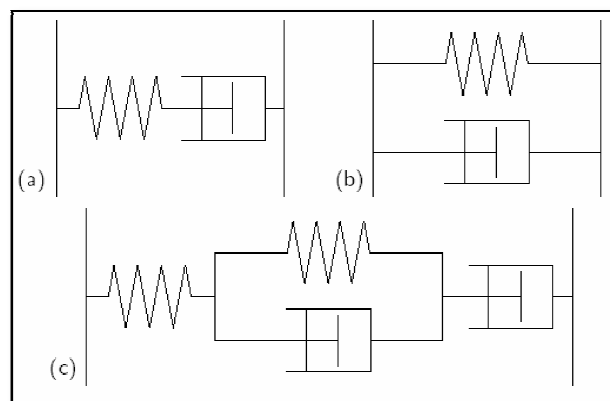


Abb. 7: Feder (Hooke)-Dämpfer-Modelle von ideal rheologischen Körpern

werden, die genau definierte rheologische Eigenschaften besitzen. Abbildung 7 stellt idealisierte Modellkörper dar, die in der Makrorheologie zugrunde gelegt werden [16].

- a) **Maxwell**-Modell: elastisch-plastisch
- b) **Kelvin-Voigt**-Modell: viskoelastisch
- c) **Burger**-Modell: allgemeiner Fall

Auswertung von Messdaten

Tab. 4: Messbare bzw. abgeleitete Größen

Drehzahl	n	$[\text{min}^{-1}]$
Schergeschwindigkeit	$\dot{\gamma}$	$[\text{s}^{-1}]$
Schubspannung	τ	$[\text{Pa}]$
Scherviskosität	η	$[\text{Pa}\cdot\text{s}]$
Deformation	γ	$[1]$
Komplianz	J	$[\text{Pa}^{-1}]$
Zeit	t	$[\text{s}]$
Komplexe Viskosität	η^*	$[\text{Pa}\cdot\text{s}]$

Hier wurden nur die Messgrößen aufgeführt, die zur Auswertung von Kriech-Kurven benötigt werden [7].

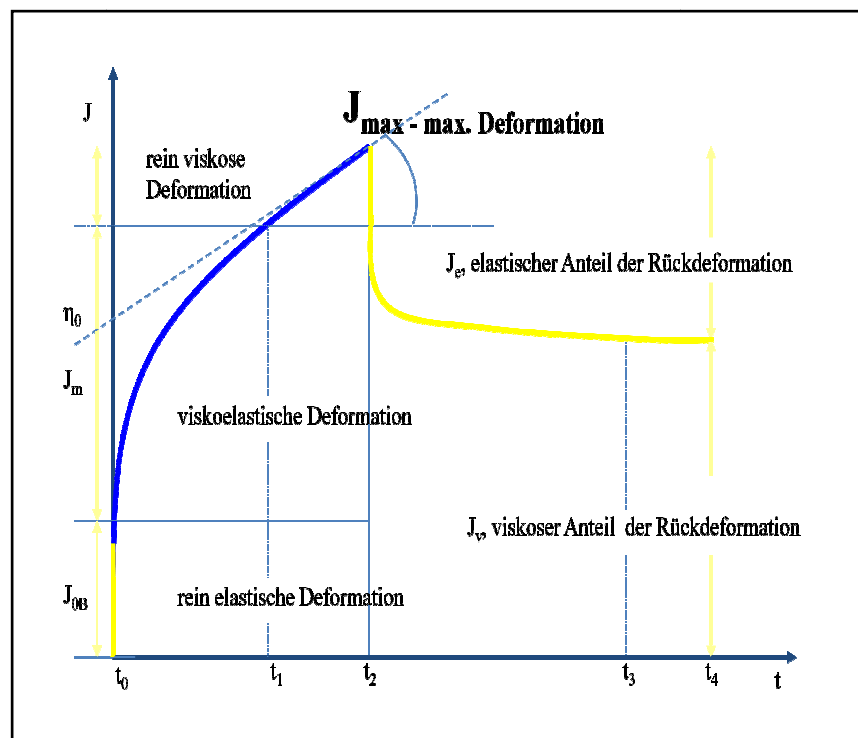


Abb. 8: Kriechkurve eines viskoelastischen Stoffes

Die Abbildung zeigt eine Kriech-Kurve, wie sie aus den Testreihen hervorgeht. Zusätzlich ist in der Grafik die Aufteilung einer Auswertung, die elektronisch erfolgt, dargestellt. Die Kurve teilt sich in zwei Bereiche, die blaue Krümmung stellt die Belastung und die gelbe Krümmung die Entlastung dar.

4.2 Brabender-Farinograph

Im Farinographen werden rheologische Eigenschaften von Teigen (überwiegend Weizenteige) ermittelt. Die Knetkurven, die über eine Messeinrichtung auf Papier oder digital auf einen PC übertragen werden, sollen Rückschlüsse über die zu erwartende Qualität und Prozessfähigkeit zulassen. Die Wasserabsorptionsfähigkeit lässt sich direkt bestimmen. Stabilität, Teigerweichung und die Teigentwicklungszeit lassen sich indirekt über die Auswertung der Kurven ermitteln. Die Durchführung erfolgt nach dem ICC-Standard Nr. 115/1 [1] [6].

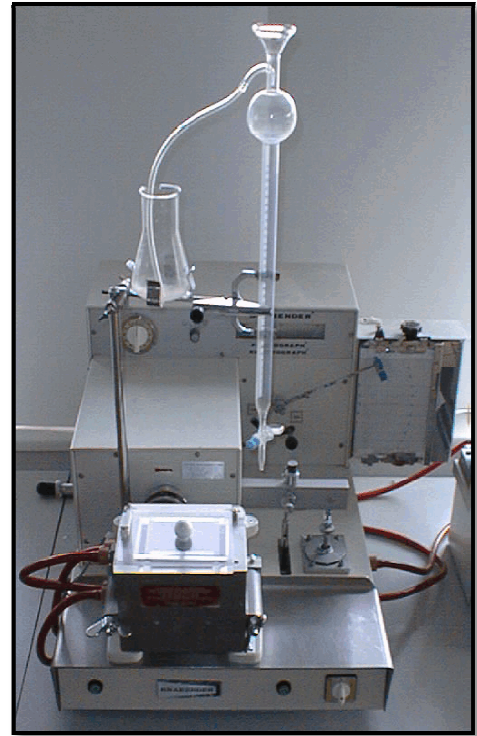


Abb. 9: Farinograph (50 g)

Prinzip des Farinographen

Das Messprinzip beruht darauf, dass der Widerstand, den das Probenmaterial (Teig) im Messknetter den rotierenden Schaufeln entgegensetzt, sichtbar gemacht wird. Der Knetwiderstand wird als Drehmoment gemessen und ist ein Maß für die Viskosität und Konsistenz. Die Einwaage des Mehles erfolgt auf Basis einer 14%igen Mehlfeuchte, bei einer maximalen Konsistenz von 500 FE (Farinographeinheiten). Weicht die Soll Mehlfeuchte ab, so muss das Mehl zu einem äquivalenten Teil entnommen werden [1] [6].

4.3 Bio-Standardbackversuch

Der von Unbehend und Neumann, am Max Rubner-Institut in Detmold, entwickelte Bio-Standardbackversuch, diente als Grundlage für die Einschätzung der zu erwartenden Backqualität ökologisch erzeugter Dinkelmehle. Da es sich um Bio-Standardbackversuche handelte, mussten ausschließlich Bio-zertifizierte Zutaten verwendet werden. In Abbildung 10 befindet sich das Fließschema des Backversuches für Dinkeltypenmehl 630.

Zuerst werden alle Trockenstoffe wie Mehl, Salz, Zucker, Palmfett, Hefe und Acerolakirschkpulver verwogen. Nach Abmessen der Schüttflüssigkeit können alle Teiginhaltsstoffe in einen Spiralkneter überführt werden. Die Knetzeit beträgt 6 min auf Stufe 1. Im Anschluss daran wird der Teig für 20 min bei 32 °C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von 80 % in den Garraum gelegt. Nach der Teigruhe kann mit der Aufarbeitung begonnen werden, d.h. Abwiegen und Rundwirken der Teiglinge. Anschließend folgt eine Ballengare von 10 min., bevor die Formgebung erfolgen kann. Um die Stabilität der Teigstruktur und später des Gebäckes besser beurteilen zu können, werden die Teiglinge nach einer Normal- und Übergare gebacken. Als letztes werden die Brote 15 - 20 h eingelagert, um am nächsten Tag eine Gebäckbeurteilung durchzuführen.

In Abbildung 11 ist das Fließschema des Bio-Standardbackversuches für Dinkelvollkornmehl abgebildet. Dabei kommt es zu diversen Änderungen, die bei der Herstellung mit berücksichtigt werden müssen.

4.3.1 Fließschema des Bio-Standardbackversuches für Dinkeltypenmehl (Type 630)

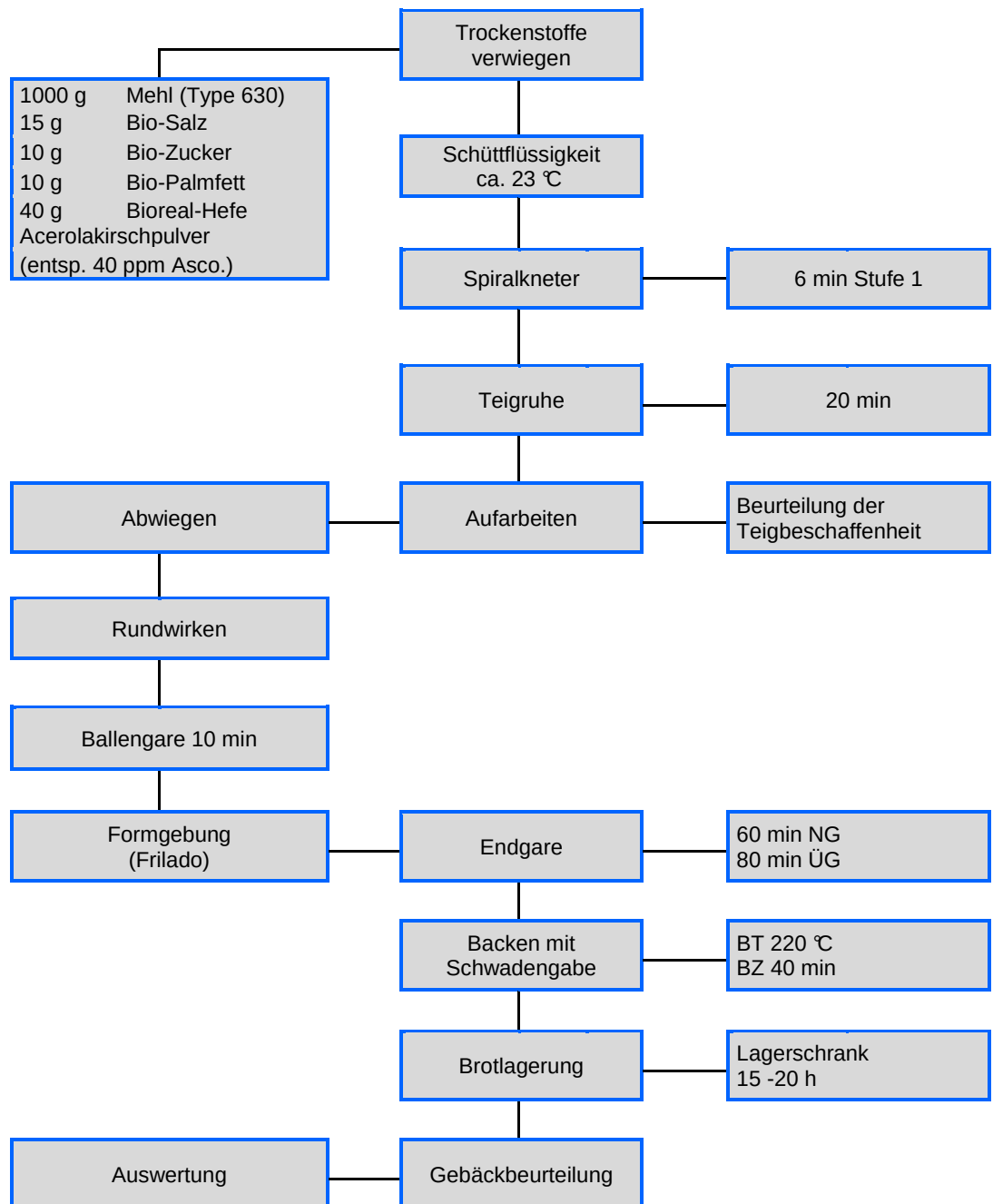


Abb. 10: Fließschema Bio-Standardbackversuch für Dinkeltypenmehl (Type 630) (Unbehend, Neumann)

4.3.2 Fließschema des Bio-Standardbackversuches für Vollkornmehl

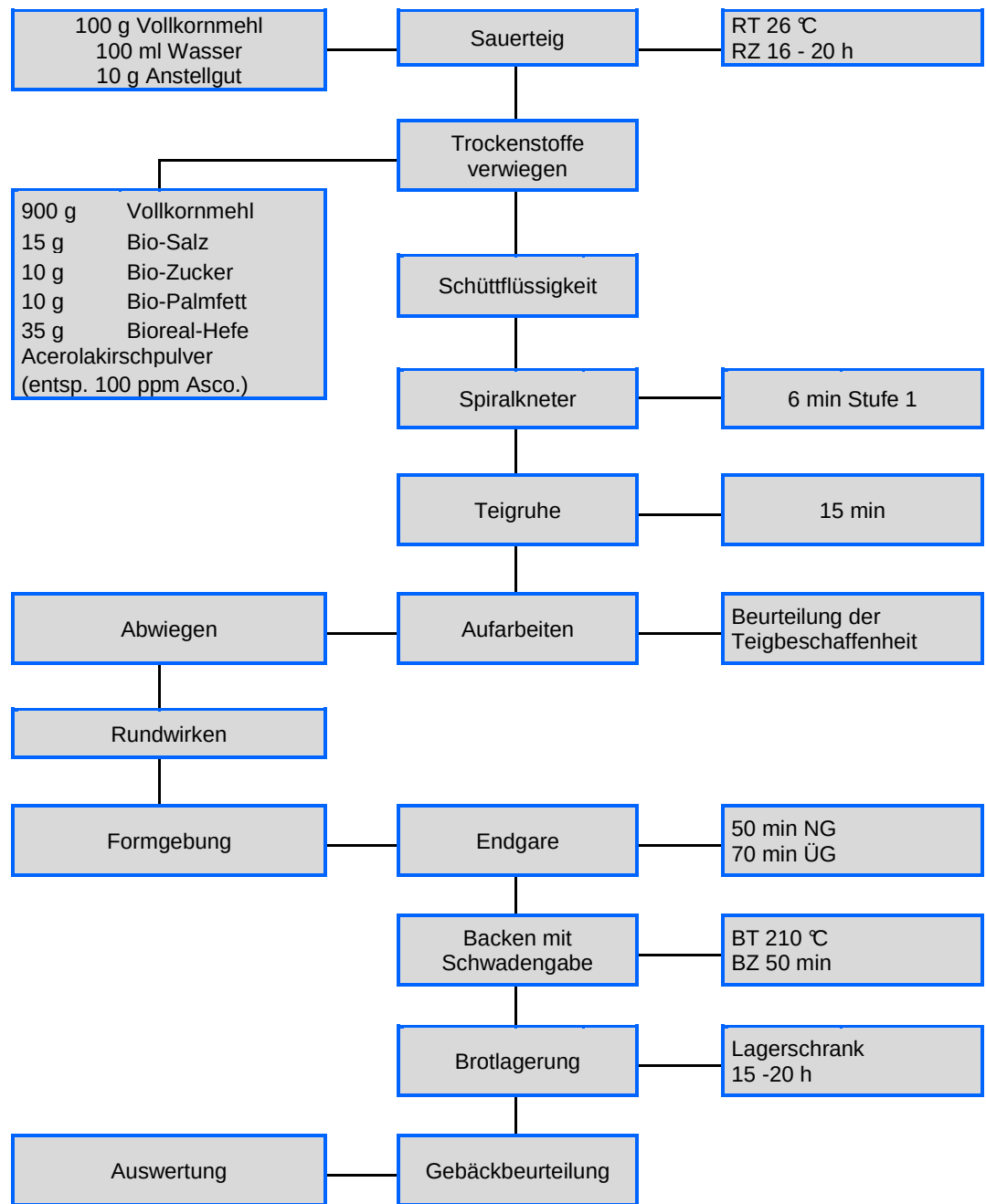


Abb. 11: Fließschema Bio-Standardbackversuch für Dinkelvollkornmehl (Unbehend, Neumann)

4.3.3 Berechnung der Qualitätszahl

Die Qualitätszahl ist das Ergebnis des Bio-Standardbackversuches, sie beinhaltet die Merkmalsausprägungen von Volumenausbeute, Gärstabilität, Krumenelastizität und Krumenbeschaffenheit. Die Auswertungsparameter sind unterschiedlich gewichtet und setzen sich im folgendem zusammen:

Tab. 5: Bewertungsmerkmale des Bio-Standardbackversuchs

Volumenausbeute Dinkeltypenmehl (630)	Stufe	Gewichtungsfaktor
560 - 600 ml/100 g Mehl	5	7
520 - 559 ml/100 g Mehl	4	
unter 520 ml/100 g Mehl	3	
unter 520 ml/100 g Mehl	2	
Volumenausbeute Dinkelvollkornmehl	Stufe	Gewichtungsfaktor
über 450 ml/100 g Mehl	5	7
400 - 450 ml/100 g Mehl	4	
350 - 399 ml/100 g Mehl	3	
unter 350 ml/100 g Mehl	2	
Gärstabilität	Stufe	Gewichtungsfaktor
gut	5	6
noch gut	4	
befriedigend	3	
nicht befriedigend	2	
Krumenelastizität	Stufe	Gewichtungsfaktor
gut	5	4
noch gut	4	
befriedigend	3	
mangelhaft	2	
Krumenbeschaffenheit	Stufe	Gewichtungsfaktor
gut	5	3
noch gut	4	
befriedigend	3	
nicht befriedigend	2	

Formel 1: Beispielberechnung der Qualitätszahl

$$\frac{\text{Gewichtete Gesamtbewertung}}{\text{Summe der Gewichtungsfaktoren}} = \frac{82}{20} = 4,10 \text{ Erzielte Qualitätszahl}$$

Tab. 6: Definition der Qualitätszahl

Qualitätszahl	Backverhalten
4,75 - 5,00	sehr gut
4,30 - 4,70	gut
4,00 - 4,25	befriedigend
unter 4,00	nicht befriedigend

5. Vorversuche

Am Max Rubner-Institut in Detmold wurden bisher Modellteige und in einem Forschungsprojekt Brezenteige mittels Kriech-Erholungsmessung untersucht. Da mit Dinkelteigen noch keine Erfahrungen vorlagen, wurden Vorversuche durchgeführt. Ziel der Vorversuche war es, geeignete Einstellungen für die Kriech-Erholungsmessung festzulegen, die später im Hauptversuch die Grundlage der Versuchsreihe darstellen sollten. Dadurch sollte es möglich sein, die Teigeigenschaften von Realteigen zu erfassen. Die Variablen waren Spaltbreite, Teigeinlage und Schubspannung [Pa]. In den Testreihen wurden mögliche Konstellationen experimentell auf die Auswirkungen des Versuches getestet.

Durch eine sensorische Bewertung (beim Bio-Standardbackversuch) der Teige, wurden unterschiedliche Teigelastizitäten und Oberflächenbeschaffenheiten festgestellt. Diese Kriterien bedienten sich der Spanne von „normal bis feucht-nachlassend“. Anhand dieser sehr unterschiedlichen Teigeigenschaften war es zunächst schwer, passende Einstellungen für die Kriech-Erholungsmessung zu finden, da die Differenzen innerhalb der Kriechkurven zu großen Abweichungen führten.

Die Reihenfolge und Nummerierung der Darstellungen spiegelt nicht die Abfolge der Versuche dar. Die Erkenntnisse die aus den Versuchen gewonnen wurden, flossen in die darauf folgenden Messungen mit ein. Es wurde in einigen Testreihen auch mit Weizenmehl gearbeitet, um herauszufinden, welches Störpotenzial vom Dinkelmehl ausging. Die Erfahrungen die mit Weizenmehl gemacht wurden, sollten auf den Dinkel übertragen werden.

Anmerkung zur Darstellung der Kriechkurven

In den folgenden Versuchen sind zu jeder Testreihe Kriechkurven abgebildet, die aus den Messungen hervorgingen. Dabei kommt es zu unterschiedlichen Skalierungen der Y-Achse. Dies ist notwendig, da es zu stark abweichenden Ergebnissen der einzelnen Kurven gekommen ist. Bei ein-

heitlicher Skalierung über alle Versuche hinweg, ließen sich viskose- und elastische Anteile der Deformation nur verzerrt darstellen. Dadurch käme es zu untypischen Kurvenverläufen, die nicht mit dem eines elasto-viskosen Körpers (vgl. Abb. 8) vergleichbar wären. Hierbei handelt es sich um eine optische Auswirkung, die Messwerte bleiben bei anderer Darstellung gleich.

Einstellungen der variablen Größen während der Vorversuche

Um einen besseren Überblick der variablen Einstellgrößen während der Vorversuche zu erhalten, sind in den Tabellen 7, 8 und 9 alle Angaben dazu aufgeführt.

Tab. 7: Versuchsvariablen der Kriech-Erholungsmessung während der Vorversuche

	Schubspannung [Pa]	Teigeinlage [g]	Spaltbreite [mm]
Testreihe 1	800	75	15
Testreihe 2	800	27	10
Testreihe 3	1200	27	10
Testreihe 4	300 - 600	15	5
Testreihe 5	300	15	5
Testreihe 6	300	15	5
Testreihe 7	300	15	5

Tab. 8: Art des Knetsystems incl. Knetzeit und Angaben zum verwendeten Mehl

	Knetsystem	Knetzeit	Mehl	Wasser¹
Testreihe 1	Z-Kneter ²	5 min	Dinkel ⁴	WA
Testreihe 2	Spiralkneter ³	6 min Stufe 1	Dinkel ⁴	WA
Testreihe 3	Spiralkneter ³	6 min Stufe 1	Dinkel ⁴	WA
Testreihe 4	Z-Kneter ²	5 min	Weizen ⁵	WA
Testreihe 5	Z-Kneter ²	5 min	Dinkel ⁴	WA
Testreihe 6	Z-Kneter ²	5 min	Dinkel ⁴	WA
Testreihe 7	Z-Kneter ²	5 min	Dinkel-VK	WA

Tab. 9: Zutaten der Teige während der Vorversuche

	Salz	Zucker	Hefe	Palmfett	Ace⁶
Testreihe 1	1,5 %	1,0 %	4,0 %	1,0 %	40 ppm
Testreihe 2	1,5 %	1,0 %	4,0 %	1,0 %	40 ppm
Testreihe 3	1,5 %	1,0 %	4,0 %	1,0 %	40 ppm
Testreihe 4	1,5 %	x	x	x	x
Testreihe 5	1,5 %	1,0 %	x	1,0 %	40 ppm
Testreihe 6	1,5 %	x	x	x	40 ppm
Testreihe 7 ⁷	1,5 %	x	x	x	40 ppm

Die Legende zu den Tabellen 7, 8 und 9 befindet sich auf Seite 33.

5.1 Realteige bei 800 Pa Schubspannung

In der ersten Testreihe wurden Versuche durchgeführt, eine relativ praxisgerechte Teigeinlage zu verarbeiten. Dabei wurde darauf geachtet, dass diese Charge maschinell aufgearbeitet werden konnte. Dazu wurden die Teige im Farinographkneter angeteigt und anschließend über den Kugelhomogenisator des Extensographen rundgewirkt. Dies sollte die manuellen Einflussfaktoren, z.B. per Hand rundwirken, minimieren.

Tab. 10: Versuchsparameter der ersten Testreihe

Testreihe 1	Knetsystem	Schubspannung	Teigeinlage	Spaltbreite
	Z-Kneter	800	75	15
Mehl	Dinkeltypenmehl (Type 630)			
Zutaten	Wasser, Hefe, Salz, Zucker, Palmfett, Acerolakirschkpulver			

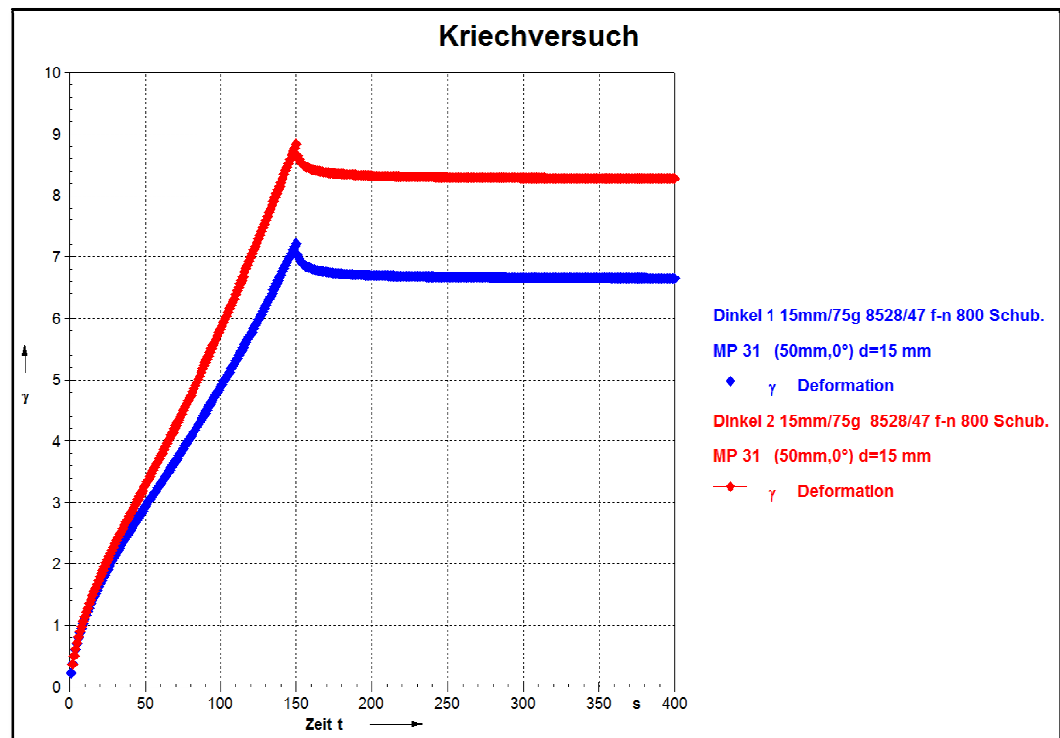


Abb. 12: Kriechkurven der ersten Versuchsreihe mit feucht, nachlassenden Teigeigenschaften des Dinkelteiges

Erkenntnis

Die in dem Versuch verwendete Teigmenge war für den kalibrierten Messspalt zu groß. Es konnte nicht die gewünschte Kompression der Teigeinlage hergestellt werden. Eine Verringerung des Messspaltes hätte zur Folge, dass der herausgedrückte Teig den Messkörper negativ beeinflusst. Die hohe Deformation ist gleichermaßen darauf zurückzuführen, da durch die geringe Kompression, nur an der Oberfläche eine Scherung des

Teiges stattgefunden hat. Zudem kam noch die relativ hohe Schubspannung hinzu, die das hohe Maximum der Deformation begünstigt hat.

5.2 Realteige geknetet im Diosna Spiralkneter

Der hohe Praxisbezug in puncto Teigmenge und Aufarbeitung stand in dieser Testreihe im Vordergrund. Dabei wurden die Teige im Diosna Spiralkneter hergestellt und nach den Ruhezeiten, des Bio-Standardbackversuches (20 min Teigruhe und 10 min Ballengare) jeweils manuell und maschinell aufgearbeitet.

Tab. 11: Versuchsparmeter der zweiten Testreihe

Testreihe 2	Knetsystem	Schubspannung	Teigeinlage	Spaltbreite
	Diosna Spiralkneter	800	27	10
Mehl	Dinkeltypenmehl (Type 630)			
Zutaten	Wasser, Hefe, Salz, Zucker, Palmfett, Acerolakirschkpulver			

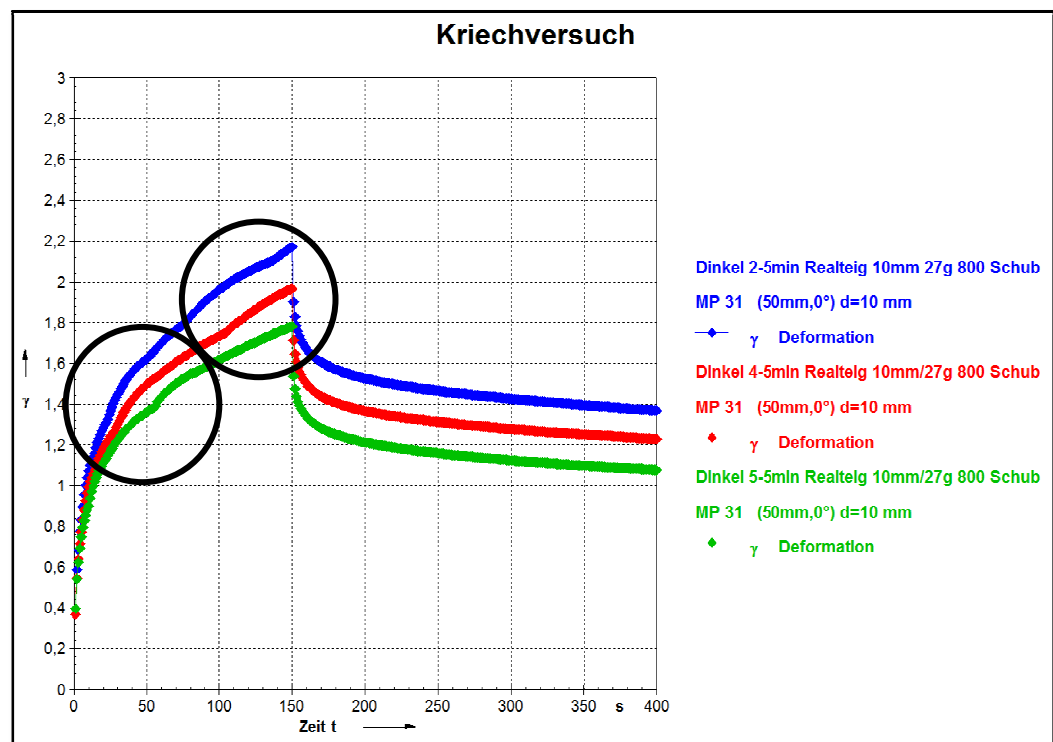


Abb. 13: Kriechkurven der zweiten Versuchsreihe mit Realteigen aus Dinkelmehl

Erkenntnis

In den Kriechkurven waren deutliche Unregelmäßigkeiten (Markierungen) zu registrieren. Da es sich hierbei um reale Teige handelte, wurde angenommen, dass der manuelle Einfluss (rundwirken) und die Gärtätigkeit der Hefe, Gründe für die Verursachung sein könnten. Schubspannung und

Teigeinlage standen indessen zusätzlich zur Diskussion, da der Einfluss auf die Messung dieser Einstellgrößen für Dinkelteige noch nicht ergründet worden war.

5.3 Realteige bei 1200 Pa Schubspannung

Um eine bessere Auflösung der Kurven zu erhalten, wurde die Schubspannung erhöht. Dadurch sollte es möglich sein, die Verläufe der Kriechkurven präziser darstellen zu können. D.h. gleichmäßiger Anstieg, ohne die bisherigen Unregelmäßigkeiten in der Belastungsphase der Kurve.

Tab. 12: Versuchsparameter der dritten Testreihe

Testreihe 3	Knetsystem	Schubspannung	Teigeinlage	Spaltbreite
	Diosna Spiralkneter	1200	27	10
Mehl	Dinkeltypenmehl (Type 630)			
Zutaten	Wasser, Hefe, Salz, Zucker, Palmfett, Acerolakirschkpulver			

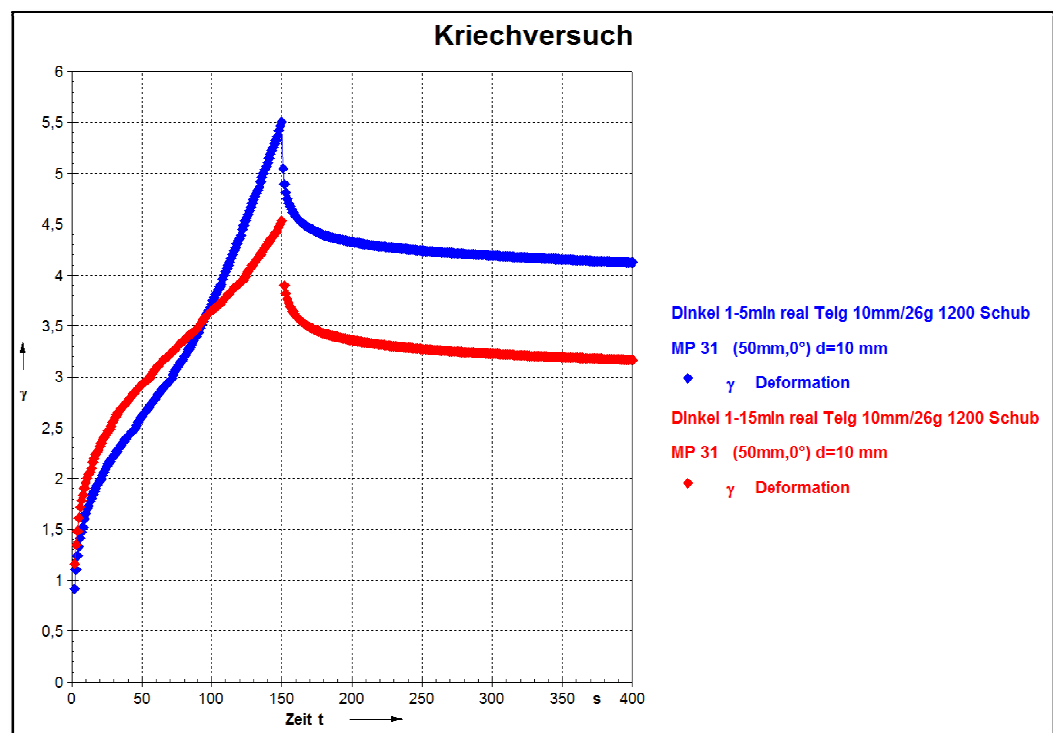


Abb. 14: Kriechkurven bei erhöhter Schubspannung (1200 Pa)

Erkenntnis

Angesichts der Erhöhung auf 1200 Pa Schubspannung konnte der unruhige Verlauf der Kriechkurven nicht beseitigt werden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass eine höhere Schubspannung die Präzision im vorliegenden Falle negativ beeinflusst.

5.4 Verwendung von Modellteigen

Diese Testreihe sollte in Erfahrung bringen, welche Auswirkung die Schubspannung auf den Kurvenverlauf während der Belastungsphase besitzt. Der Versuch findet auf der Basis eines Modellteiges aus Weizenmehl (Type 550) und dest. Wasser statt, um evtl. vorhandene Störfaktoren auszuschließen.

Tab. 13: Versuchsparameter der vierten Testreihe

Testreihe 4	Knetsystem	Schubspannung	Teigeinlage	Spaltbreite
	Z-Kneter	300 - 600	15	5
Mehl	Weizentypenmehl (Type 550)			
Zutaten	Wasser, Salz			

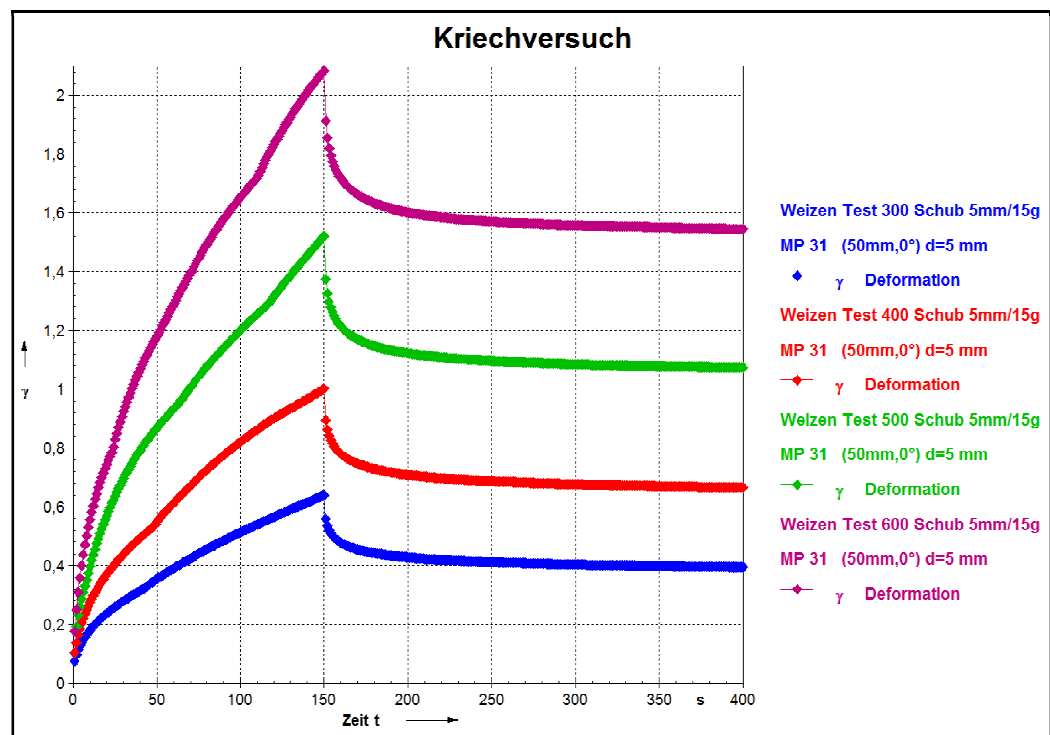


Abb. 15: Kriechkurven bei unterschiedlicher Schubspannung von 300 - 600 Pa

Erkenntnis

Die Auswertung dieser Versuchsreihe hat ergeben, dass eine Messung bei 300 Pa Schubspannung weitestgehend die zuverlässigste Reproduzierbarkeit ermöglicht. Der Kurvenverlauf in der Belastungsphase sieht durch die Skalierung der Y-Achse von 0 - 2,2 etwas untypisch aus, da die Kurven im Maximum der Deformation voneinander abweichen.

5.5 Realteige o. Triebmittel bei 300 Pa Schubspannung

Bei diesen Versuchen wurde die Schubspannung von 300 Pa auf Realteige ohne Triebmittel (Hefe) angewandt. Nachdem sich in den vorherigen Versuchen herausstellte, dass eine Schubspannung von 300 Pa eine gute Auflösung für die Belastungsphase zur Folge hatte.

Tab. 14: Versuchsparameter der fünften Testreihe

Testreihe 5	Knetsystem	Schubspannung	Teigeinlage	Spaltbreite
	Z-Kneter	300	15	5
Mehl	Dinkeltypenmehl (Type 630)			
Zutaten	Wasser, Salz, Zucker, Palmfett, Acerolakirschkpulver			

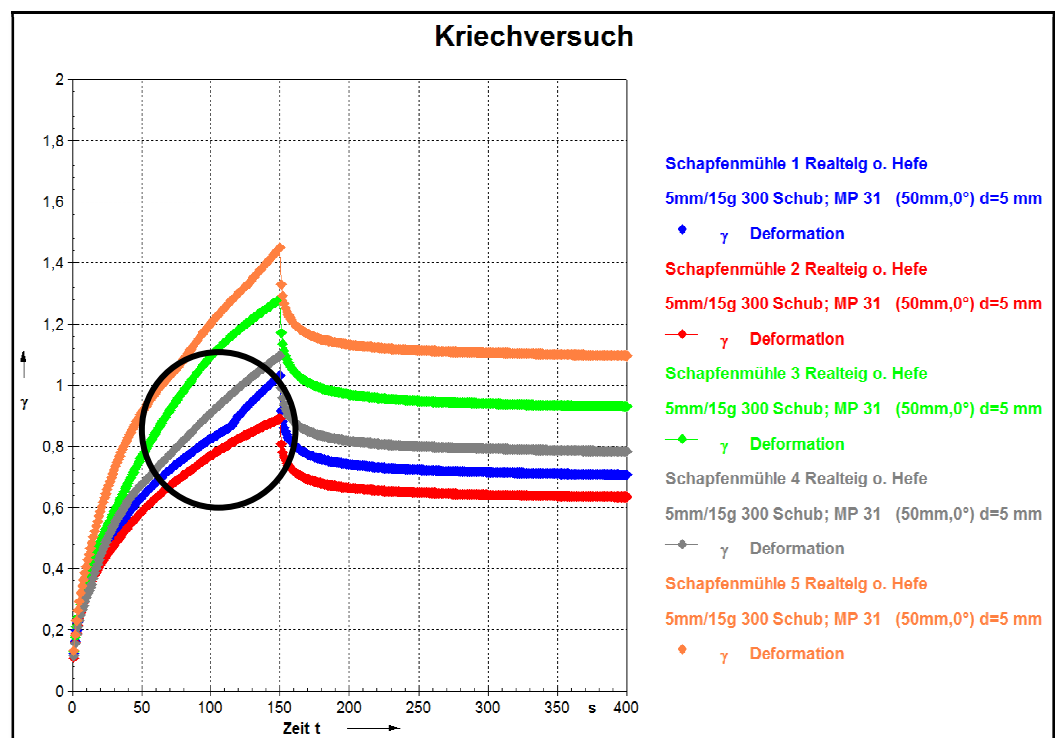


Abb. 16: Kriechkurven von Realteigen ohne Zusatz von Triebmittel

Erkenntnis

Bei der Versuchsanzahl ist gut erkennbar, dass es zu Abweichungen der maximalen Deformation kommt, die über der Standardabweichung von 10 % liegen. Die Einbrüche (Markierung) des Kurvenanstiegs (Belastungsphase) entsprachen nicht dem theoretisch optimalen Kurvenverlauf. Bei Auswertungen konnten die Einbrüche mittels Mittelwertkurven beseitigt werden. Somit handelte es sich hierbei um Messungenauigkeiten, die heraus gerechnet werden konnten. Aufgrund der

Schwankungsbreite an Ergebnissen, konnte keine Wiederholbarkeit erzielt werden.

5.6 Modellteige mit NaCl und Acerolakirschkpulver

Da die Messkurven der Realteige eingeschränkt reproduzierbar waren, wurden Modellteige zur Messung verwendet. Hierbei wurden lediglich dest. Wasser, Salz und Acerolakirschkpulver als Zutaten zum Teig hinzu gegeben. Triebmittel, Zucker und Palmfett wurden aus der Zutatenliste entfernt, weil davon ausgegangen wurde, dass diese Zusätze die Kriechkurven negativ beeinflussen.

Tab. 15: Versuchsparameter der sechsten Testreihe

Testreihe 6	Knetsystem	Schubspannung	Teigeinlage	Spaltbreite
	Z-Kneter	300	15	5
Mehl	Dinkeltypenmehl (Type 630)			
Zutaten	Wasser, Salz, Acerolakirschkpulver			

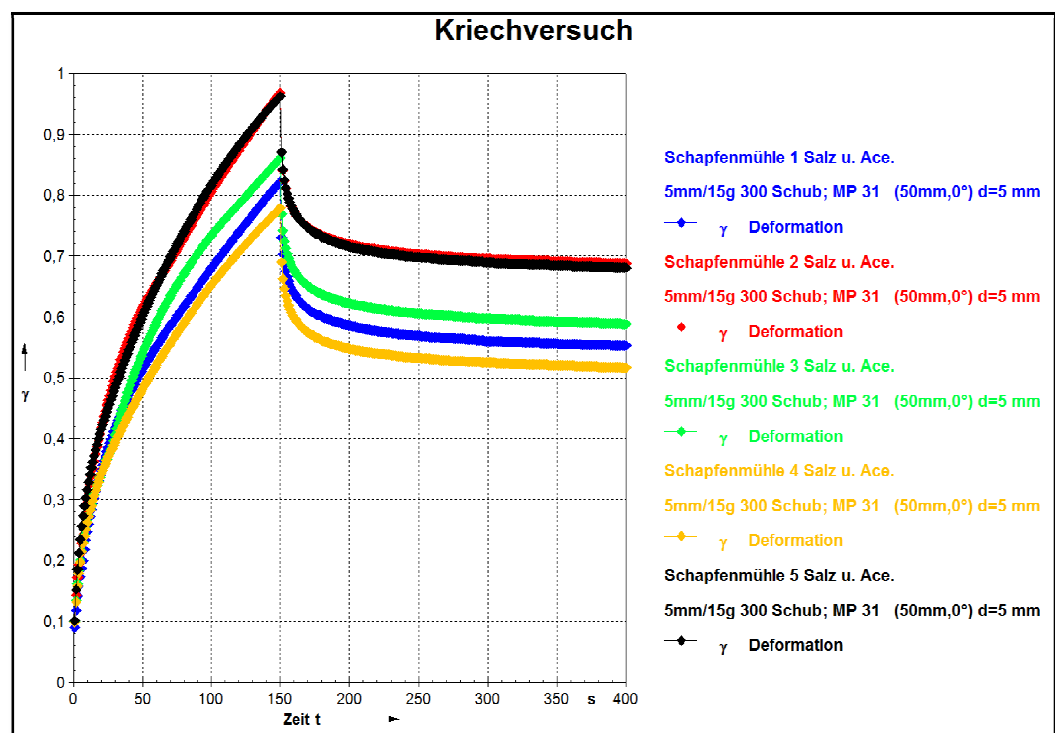


Abb. 17: Kriechkurven von Modellteigen unter Zusatz von Salz und Acerolakirschkpulver

Erkenntnis

Bei den Modellteigen konnte die Reproduzierbarkeit verbessert werden. Dies ist auf das Entfernen der oben genannten Zutaten zurückzuführen, da diese als Störfaktoren für die großen Abweichungen der einzelnen Messkurven ermittelt wurden. Die Kurvenverläufe in den Bereichen der

Belastungsphase besitzen eine gute Auflösung und das Deformationsmaximum liegt in diesem Falle unter der Standardabweichung von 10 %.

5.7 Modellteige mit Dinkelvollkornmehl

Hier wurde die Auswirkung, der bis zu diesem Zeitpunkt definierten Einstellgrößen, auf die Wirkung bei Vollkornmehlen untersucht. Auf der Grafik sind die beiden oberen Kurven mit 60 s, die unteren zwei mit einer Abstehtzeit von 15 min gemessen worden. Als Ersatz für Sauerteig wurden 3,8 ml Milchsäure hinzu gegeben um einen pH-Wert von 5,5 im Teig zu erhalten.

Tab. 16: Versuchsparameter der siebten Testreihe

Testreihe 7	Knetsystem	Schubspannung	Teigeinlage	Spaltbreite
	Z-Kneter	300	15	5
Mehl	Dinkeltypenmehl (Type 630)			
Zutaten	Wasser, Salz, Acerolakirschkpulver, Milchsäure			

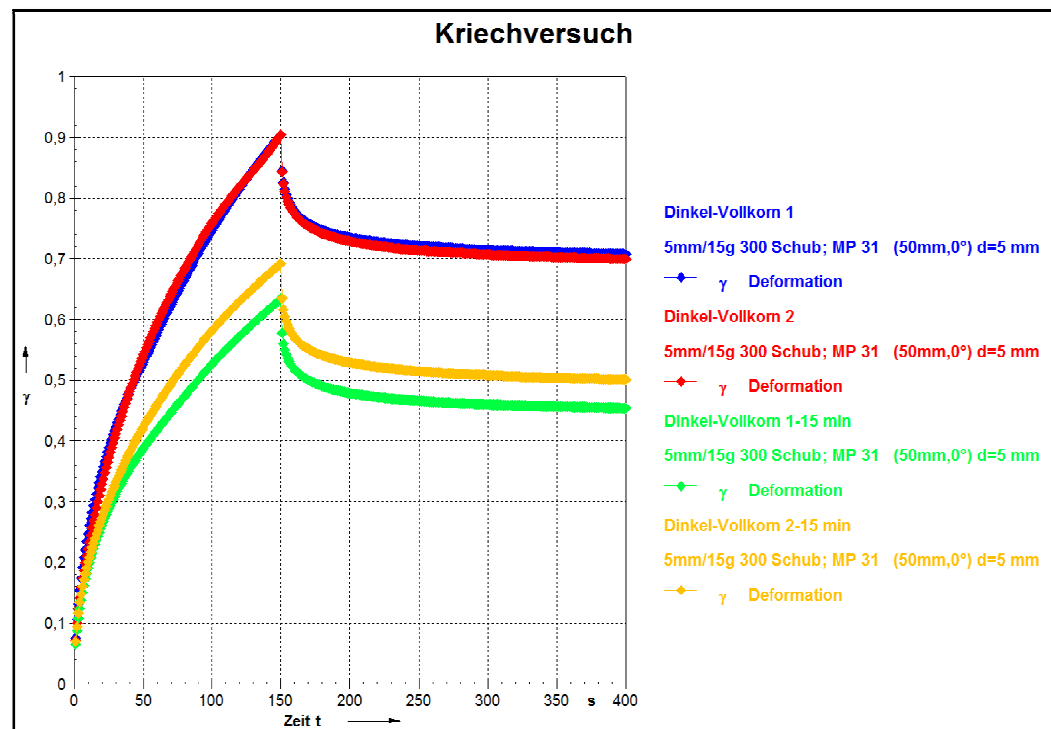


Abb. 18: Kriechkurven von Dinkelvollkornmehl, gemessen nach unterschiedlichen Abstehtzeiten (60 s u. 15 min)

Erkenntnis

Die geringen Abweichungen der einzelnen Kriechkurven untereinander bestätigten die empirischen Messergebnisse der Testreihen im Vorfeld.

Daher wurde davon ausgegangen, dass die angewendeten Versuchsvariablen auf alle anderen Versuche übertragen werden können.

5.8 Fazit der Vorversuche

Alle untersuchten variablen Einstellgrößen der verschiedenen Testreihen werden hier nochmals aufgeführt. Die sich daraus resultierenden Erkenntnisse der Vorversuche werden dabei kurz erläutert.

Mehlzusätze

Um die Reproduzierbarkeit zu verbessern wurden die Zusätze: Lockerungsmittel (Hefe), Zucker und Palmfett von der Teigherstellung ausgeschlossen. Eine Messung an Realteigen war indessen nur eingeschränkt möglich, da sich zu viele Störfaktoren im Teig befanden, die die Messung unpräzise machten.

Schubspannung

Ein wichtiger Bestandteil der Kriech-Erholungsmessung ist die Schubspannung. Diese wurde in den Vorversuchen empirisch ermittelt, dabei kristallisierte sich eine Schubspannung von 300 Pa heraus, die in den Hauptversuchen Verwendung fand.

Messspalt u. Teigeinlage

Die Empfehlung des Herstellers lautete: „2 g Teig je mm Messspalt“. Für die Messungen an den Dinkelteigen wurden aufgrund der Erfahrungen, die aus den Vorversuchen resultierten, 3 g Teig je mm Spaltbreite verwendet.

Knetter

Der Z-Knetter des Farinographen war mit seiner temperierten Knetkammer ideal für die Durchführung des Knetvorgangs, da hierdurch gleichbleibende Bedingungen in Bezug auf die Mehltemperatur geschaffen werden konnten. Durch die große Knetintensität die der Knetter aufwies, konnte ein relativ „homogener“ Teig zur Messung verwendet werden. Allerdings besitzt dieses Knetsystem kaum Bezug zur Praxis und findet

lediglich in Geräten Einsatz, die zu teigrheologischen Untersuchungen verwendet werden.

Abstehzeiten

In den Vorversuchen wurden die Teigruhezeiten auf 60 s und 15 min festgelegt, um einen Bezug zur Praxis zu ermöglichen. Dabei sollen die im Teig ablaufenden Prozesse während der Teigruhe, wie z.B. Teig-erweichung oder Teigstabilisierung erfasst werden.

Für die Durchführung der Hauptversuche konnten folgende Kriterien ermittelt werden:

Tab. 17: Resultat der empirisch ermittelten Ergebnisse der Vorversuche

Versuchsbedingungen der Hauptversuche	
Mehlzusätze [Type]	dest. Wasser, Salz, Acerolakirschkpulver, (Milchsäure beim Vollkornmehl)
Schubspannung [Pa]	300
Messspalt [mm]	5
Teigeeinlage [g]	15
Knetter	50 g Z-Knetter (Farinograph)
Abstehzeiten [sek] [min]	60 / 15
Knetzeit [min]	5

Tab. 18: Legende der Tabellen 7, 8 und 9

1. Zugabe an Wasser entsprach der Wasserabsorptionsfähigkeit des Mehles	
2. 50 g Brabender-Farinograph	3. Diosna Spiralknetter
4. Dinkeltypenmehl (Type 630)	5. Weizentypenmehl (Type 550)
6. Acerolakirschkpulver	
7. zur Angleichung des pH-Wertes wurden 3,8 ml Milchsäure zugesetzt	

6. Versuchsdurchführung

Die in den Vorversuchen kalibrierten Parameter konnten für die Messungen der Dinkeltypen- und Vollkornmehle verwendet werden. Der Versuchsablauf war dabei folgendermaßen aufgebaut:

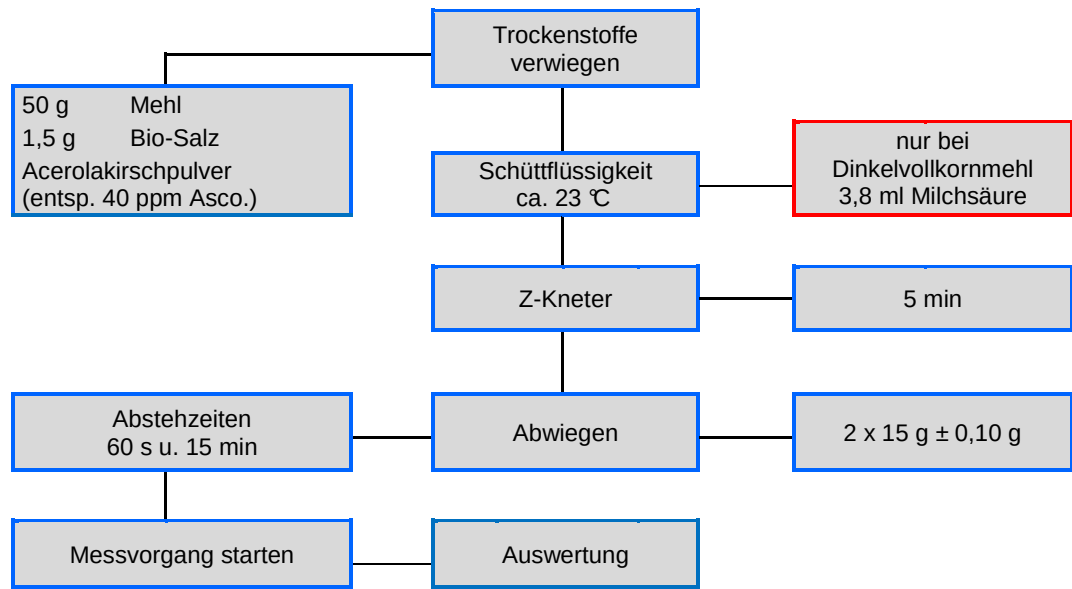


Abb. 19: Fließschema zur Versuchsdurchführung der Kriech-Erholungsmessung

Mehleinwaagen und Wasserzugaben wurden entsprechend der Berechnungsgrundlage des Farinographens an die Mehlfuchte bzw. die Wasserabsorptionsfähigkeit angepasst. Danach wurde das Salz hinzugegeben und alle Trockenstoffe im Farinographkneter temperiert. Als nächster Schritt konnte das dest. Wasser und die Acerolakirschlösung hinzugegeben werden. Nach der Knetzeit von 5 min wurden zwei Teiglinge mit einem Gewicht von $15 \text{ g} \pm 0,10 \text{ g}$ abgewogen. Nach den Abstehtzeiten von 60 s und 15 min konnten die Messungen durchgeführt werden. Dabei wurde darauf geachtet, dass der Teigling mit einer Abstehtzeit von 15 min bei konstanter Temperatur gelagert wurde. Jede Probe wurde dreibis viermal gemessen. Die sich daraus ableitenden Messdaten wurden elektronisch erfasst und ausgewertet. Um den pH-Wert anzugleichen, wurden den Dinkelvollkornmehlen zusätzlich 3,8 ml Milchsäure hinzugegeben, um die Wirkung von Sauerteig zu ersetzen.

7. Ergebnisse

In der Darstellung der Ergebnisse wurde eine Unterscheidung der verwendeten Sorten vorgenommen um die Charakteristik und das Backverhalten von Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn näher zu betrachten.

7.1 Sortenunterschiede

Bei der Gegenüberstellung der beiden Mehle aus den Sorten Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn kann man deutliche Qualitätsunterschiede erkennen. Die Teigentwicklungszeiten der Mehle sind beide relativ kurz, liegen aber für Dinkelteige im „normalen“ Bereich. Bei einem direkten Vergleich der beiden Farinogramme, ist die Abweichung der rechten Knetkurve deutlich zu erkennen. Diese unterschiedlichen Stabilitäten und Teigerweichungen bestätigten sich auch beim Aufarbeiten der Teige. Die festgestellten Unterschiede zwischen den verwendeten Dinkelsorten sind generell nicht auf andere Versuche übertragbar.

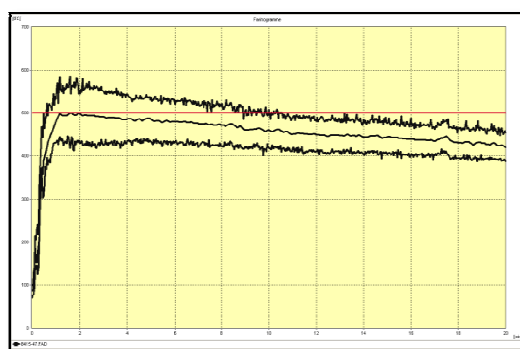


Abb. 21: Farinogramm Dinkelmehl (Type 630) Franckenkorn

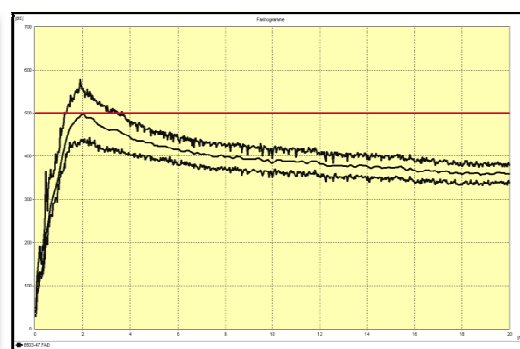


Abb. 20: Farinogramm Dinkelmehl (Type 630) Oberkulmer Rotkorn

Tab. 19: Auswertung der Farinogramme Dinkeltypenmehl (Type 630)

Dinkelmehl [Type]	630	Dinkelmehl [Type]	630
Konsistenz [BE]	492	Konsistenz [BE]	503
Wasseraufnahme (500 BE) [%]	53	Wasseraufnahme (500 BE) [%]	57,1
Wasseraufnahme (14,0 %) [%]	52,5	Wasseraufnahme (14,0 %) [%]	56,6
Teigentwicklungszeit [min]	1,7	Teigentwicklungszeit [min]	1,5
Stabilität [min]	9,8	Stabilität [min]	1,8
Teigerweichung [BE]	40	Teigerweichung [BE]	131
Teigerweichung (ICC) [BE]	55	Teigerweichung (ICC) [BE]	140
Farinograph Qualitätszahl	81	Farinograph Qualitätszahl	23

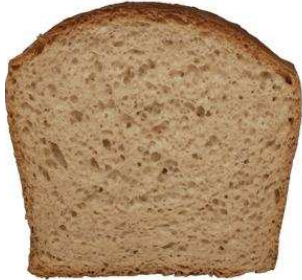
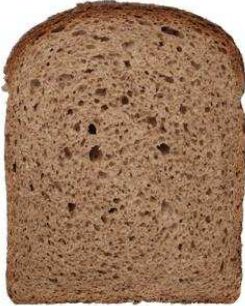
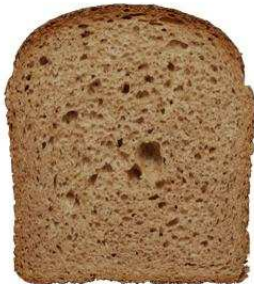
7.1.1 Backverhalten der Sorten

Das Backverhalten der beispielhaft aufgezeigten Sorten Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn wird hier durch Krumenbilder veranschaulicht. Als Merkmal dienen die durchschnittlichen Volumenausbeuten der verwendeten Mehle innerhalb der Versuchsreihe. Dabei ist sehr gut zu beobachten, dass die Sorte Oberkulmer Rotkorn zwar einen höheren Proteingehalt besitzt, dieser aber von geringerer Qualität zeugt. Durch das geringere Gashaltevermögen dieser Sorte, wurde im Vergleich mit der Sorte Franckenkorn eine geringere Volumenausbeute erzielt. Hohe Klebergehalte bei geringer Qualität führen zu sehr dehnbaren, jedoch wenig elastischen Teigen. Zur Beurteilung der Kleberqualität von Dinkel ist der Sedimentationstest deshalb kaum geeignet.

Tab. 20: Proteingehalte der Sorten Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn [9]

Sorte	Franckenkorn	Oberkulmer Rotkorn
Rohproteingehalt [%]	9,6 - 10,6	11,4 - 13,6

Tab. 21: Durchschnittliche Volumenausbeuten von Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn

Dinkeltypenmehl (Type 630)	
Franckenkorn	Oberkulmer Rotkorn
ø Volumenausbeute 547	ø Volumenausbeute 525
	
Dinkelvollkornmehl	
Franckenkorn	Oberkulmer Rotkorn
ø Volumenausbeute 454	ø Volumenausbeute 406
	

7.2 Bio-Standardbackversuch

Die dargestellten Ergebnisse basieren auf dem Bio-Standardbackversuch. Teigoberfläche und Teigelastizität wurden durch eine sensorische Beurteilung ermittelt. Die Qualitätszahl ist das Ergebnis des Backversuches. Sie beinhaltet die Merkmalsausprägung von Volumenausbeute, Gärstabilität, Krumenelastizität und Krumenbeschaffenheit.

Dinkeltypenmehl

Tab. 22: Sorte und Anbauort der Probennummern von Dinkeltypenmehl (Type 630)

Dinkelmehl (Type 630)			
Probennummer	Dinkelsorte	Anbauort	Postleitzahl
8446/47	Franckenkorn	Korbach	34497
8447/47	Franckenkorn	Betzendorf	21386
8448/47	Franckenkorn	Odelzhausen	85235
8449/47	Franckenkorn	Bad Hersfeld	36251
8450/47	Franckenkorn	Neu Eichenberg	37249
8451/47	Franckenkorn	Moringen	37186
8517/47	Oberkulmer Rotkorn	Gusterath	54317
8518/47	Oberkulmer Rotkorn	Gusterath	54317
8519/47	Oberkulmer Rotkorn	Gusterath	54317
8520/47	Oberkulmer Rotkorn	Natendorf	29587
8521/47	Oberkulmer Rotkorn	Natendorf	29587
8522/47	Oberkulmer Rotkorn	Gusterath	54317

Tab. 23: Ergebnisse des Bio-Standardbackversuches von Dinkeltypenmehl (Type 630)

Dinkelmehl (Type 630)			
Probennummer	Teigoberfläche	Teigelastizität	Qualitätszahl
8446/47	normal	normal	4,00
8447/47	etw. feucht	geschmeidig	3,20
8448/47	normal	etw. kurz	4,15
8449/47	normal	normal	4,15
8450/47	normal	normal	4,50
8451/47	normal	normal	4,00
8517/47	feucht	etw. nachlassend	3,20
8518/47	etw. feucht	geschmeidig	3,20
8519/47	feucht	geschmeidig	3,55
8520/47	normal	normal	3,85
8521/47	feucht	nachlassend	2,90
8522/47	feucht	normal	4,50

Tab. 24: Protein- und Feuchtklebergehalt, Sedimentationswert und der Dinkeltypenmuster

Dinkelmehl (Type 630)			
Probennummer	Proteingehalt	Sedimentationswert	Feuchtkleber
8446/47	13,1	56	29,9
8447/47	15,3	59	42,2
8448/47	13,0	55	30,7
8449/47	13,0	56	50,0
8450/47	13,7	60	32,7
8451/47	11,8	61	33,4
8517/47	13,6	46	32,5
8518/47	14,5	53	30,7
8519/47	13,7	53	32,7
8520/47	13,1	54	28,3
8521/47	14,9	46	38,9
8522/47	15,2	47	28,5

Dinkelvollkornmehl

Tab. 25: Sorte und Anbauort der Probennummern von Dinkelvollkornmehl

Dinkelvollkornmehl			
Probennummer	Dinkelsorte	Anbauort	Postleitzahl
8429/47	Franckenkorn	Aerzen-Grießem	31855
8440/47	Franckenkorn	Stöckendrebber	31535
8441/47	Franckenkorn	Stöckendrebber	31535
8518/47	Oberkulmer Rotkorn	Gusterath	54317
8519/47	Oberkulmer Rotkorn	Gusterath	54317
8520/47	Oberkulmer Rotkorn	Natendorf	29587
8521/47	Oberkulmer Rotkorn	Natendorf	29587
8535/47	Oberkulmer Rotkorn	Arzbach	85244
8536/47	Oberkulmer Rotkorn	Tübingen	72072
8537/47	Oberkulmer Rotkorn	Haiterbach	72221
8601/47	Sirino	Stockelsdorf	23617
8602/47	Sirino	Würzburg	97080

Tab. 26: Ergebnisse des Bio-Standardbackversuches mit Dinkelvollkornmehl

Dinkelvollkornmehl			
Probennummer	Teigoberfläche	Teigelastizität	Qualitätszahl
8429/47	normal	normal	3,90
8440/47	normal	normal	4,55
8441/47	normal	etw. kurz	3,75
8518/47	etw. feucht	geschmeidig	3,10
8519/47	etw. feucht	geschmeidig	3,10
8520/47	normal	etw. kurz	4,55
8521/47	feucht	nachlassend	3,10
8535/47	feucht	geschmeidig	3,45
8536/47	feucht	geschmeidig	3,10
8537/47	feucht	geschmeidig	3,45
8601/47	normal	kurz	3,60
8602/47	normal	kurz	3,60

Tab. 27: Protein- und Feuchtklebergehalt, Sedimentationswert und der Dinkelvollkornmuster

Dinkelvollkornmehl			
Probennummer	Proteingehalt	Sedimentationswert	Feuchtkleber
8429/47	13,7	65	32,3
8440/47	14,4	83	32,9
8441/47	14,1		31,2
8518/47	14,5	53	30,7
8519/47	13,7	53	32,7
8520/47	13,1	54	28,3
8521/47	14,9	46	38,9
8535/47	15,3	50	38,2
8536/47	14,4	52	36,0
8537/47	14,3	47	36,8
8601/47	11,4	36	22,0
8602/47	13,0	45	26,9

7.3 Kriech-Erholungsmessung Dinkeltypenmehl (630)

In der Darstellung der Ergebnisse, wurden lediglich die Werte $J_{\max}$; J_0 ; J_m ; und J_e aufgeführt. Die Ausprägung der Messdaten ϵ und J_m in der Belastungsphase und J_0 in der Erholungsphase wurden nicht dargestellt, da diese nicht ausreichend genug differenziert waren.

Tabellarische Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung nach 60 s und 15 min.

Tab. 28: Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung mit Dinkelmehl (Type 630) nach 60 s

	Belastungsphase		Erholungsphase	
Probennr.	$J_{\max} [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_0 [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_m [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_e/J_{\max} [\%]$
8446/47	47,0950	3,8110	4,7506	20,63
8447/47	90,5810	6,8800	8,5180	18,63
8448/47	40,2180	3,5485	4,9567	27,10
8449/47	21,9660	2,6493	2,8780	31,76
8450/47	30,7430	3,9021	3,7533	27,70
8451/47	17,6580	2,5177	2,6903	35,48
8517/47	52,6810	5,0406	5,5699	21,56
8518/47	81,1340	4,2620	7,8245	19,17
8519/47	81,2460	3,9514	7,0818	17,66
8520/47	16,6320	2,5505	2,2813	33,45
8521/47	108,1100	4,4939	7,9017	14,67
8522/47	87,5580	4,8731	7,1282	15,85

Tab. 29: Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung von Dinkelmehl (Type 630) nach 15 min

	Belastungsphase		Erholungsphase	
Probennr.	$J_{\max} [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_0 [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_m [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_e/J_{\max} [\%]$
8446/47	46,5580	3,9470	5,1472	22,13
8447/47	84,3390	4,9694	8,7751	20,47
8448/47	45,3570	4,3704	5,7916	26,44
8449/47	30,6170	3,0553	3,8062	26,33
8450/47	37,1040	3,4199	4,8240	27,09
8451/47	23,5020	3,0545	3,4551	31,55
8517/47	52,1580	3,6363	6,1292	24,40
8518/47	73,8860	5,2498	8,3810	21,63
8519/47	83,0610	6,8648	7,3255	18,34
8520/47	22,0360	2,6010	2,9683	30,79
8521/47	95,3850	5,0687	8,7170	17,79
8522/47	73,7330	6,4019	7,5337	20,15

7.4 Kriech-Erholungsmessung Dinkelvollkornmehl

Tabellarische Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Kriech-Erholungs-Messung nach 60 s und 15 min.

Tab. 30: Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung von Dinkelvollkornmehl nach 60 s

Probennr.	Belastungsphase		Erholungsphase	
	$J_{\max}[1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_0 [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_m [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_e/J_{\max}[\%]$
8429/47	7,2895	1,1604	1,2763	42,08
8435/47	15,1030	1,6065	2,4081	36,03
8440/47	13,9920	1,8789	1,6713	28,23
8441/47	8,6580	1,3041	1,2822	35,60
8518/47	16,9250	1,7693	2,6072	34,47
8519/47	19,4530	2,0904	2,6315	30,28
8520/47	11,2070	1,8247	1,6837	35,91
8521/47	20,1230	2,2040	2,9910	32,10
8536/47	14,8860	2,0237	2,2935	34,42
8537/47	13,9300	1,6436	2,1769	33,56
8601/47	14,0620	1,7622	1,7786	30,85
8602/47	9,4261	1,3866	1,2494	33,69

Tab. 31: Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung von Dinkelvollkornmehl nach 15 min

Probennr.	Belastungsphase		Erholungsphase	
	$J_{\max}[1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_0 [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_m [1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$	$J_e/J_{\max}[\%]$
8429/47	6,7658	1,0907	1,2098	41,83
8435/47	11,1650	1,4315	2,0128	39,86
8440/47	12,0930	1,6708	1,7486	32,60
8441/47	6,9334	1,3104	1,1555	39,60
8518/47	14,2440	2,0191	2,2671	34,95
8519/47	17,9580	2,0397	2,3120	31,06
8520/47	10,2640	1,6835	1,5014	32,75
8521/47	15,3890	1,4942	2,4289	34,34
8536/47	12,4210	1,4641	1,9962	35,54
8537/47	10,2220	1,2334	1,7115	38,09
8601/47	12,4630	1,5819	1,6849	31,75
8602/47	9,3772	1,3261	1,3139	35,05

8. Diskussion

Bei den untersuchten Proben handelt es sich um komplexdisperse Stoffsysteme (Dinkelteige), die unterschiedliche Eigenschaften in der Rheologie aufweisen. Dabei handelt es sich um eine Mischung von viskoelastischen und plastoelastischen Körpern. Viskoelastische Körper zeigen viskose und elastische Eigenschaften, besitzen keine Fließgrenze, sind nicht formstabil und die Deformation geht nach Aufhebung der Spannung nur teilweise und zeitlich verzögert zurück. Plastoelastische Körper zeigen elastische und plastische Eigenschaften, besitzen eine Fließgrenze und sind relativ formstabil [16].

Anlass der Untersuchungen von Dinkeltypenmehlen (Type 630) und Dinkelvollkornmehlen war, die sich in den Backversuchen zeigenden Qualitätsunterschiede sollten mittels der Kriech-Erholungsmessung erfasst werden. Um eine Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu gewährleisten, mussten die Einstellniveaus während der Vorversuche variiert werden. Dazu zählten u.a. Spaltbreite, Teigeinlage und Schubspannung (Pa). Zu Beginn wurde mit Realteigen gearbeitet. Aufgrund der Erkenntnisse, die sich aus den Ergebnissen der Vorversuchen ableiten ließen, wurden die Teigzugaben systematisch nach gegebenem Störpotenzial, aus der Zutatenliste entfernt.

Mit Hilfe des Bio-Standardbackversuches wurde die Backfähigkeit der Mehle untersucht. Damit konnte das Backverhalten bereits prognostiziert werden. Dabei ist der Bio-Standardbackversuch gegenwärtig die umfassendste Methode das Backverhalten zu bestimmen, was den Aussagewert betrifft. Der große Nachteil eines Backversuches ist die fehlende Zeit in der Praxis. In Mühlen sollte z.B. innerhalb von ca. 20-30 min eine Aussage getroffen werden, ob eine Getreidelieferung angenommen werden kann oder nicht. Eine Entscheidung wird in der Regel mit Hilfe der Standardmethoden wie Fallzahlen, Sedimentationswerten und

Farinographwerten getroffen, welche jedoch das Backverhalten nicht ausreichend beschreiben.

Bei den Untersuchungen wurden die Mahlerzeugnisse der Sorten Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn miteinander verglichen. Die Anbauggebiete der unterschiedlichen Mehle waren auf die Bundesrepublik Deutschland verteilt. Die beiden Sorten wurden jeweils in Dinkeltypenmehl (Type 630) und Dinkelvollkornmehl aufgeteilt, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Mehle zu untersuchen.

Bereits in den Backversuchen durch das Max Rubner-Institut in Detmold und den daraus resultierenden Ergebnissen wurde klar ersichtlich, dass die Sorte Franckenkorn eine höhere Backfähigkeit aufwies (vgl. Tabelle 19) als die Vergleichssorte Oberkulmer Rotkorn.

Bei Berechnung der Korrelation zwischen den Ergebnissen aus dem Bio-Standardbackversuch und der Kriech-Erholungsmessung sollte ein linearer Zusammenhang geschaffen werden. Zu dieser Art der Berechnung wurde der Korrelationskoeffizient aus den Zahlenreihen „Maximum der Deformation (y)“ mit der ermittelten „Qualitätszahl“ des Bio-Standardbackversuchs gebildet. Die Ergebnisse wurden auf die dritte Stelle nach dem Komma gerundet.

$$r_{\bar{x}, \bar{y}} = \pm \frac{\sum (x - \bar{x}) * (y - \bar{y})}{n * s_{\bar{x}} * s_{\bar{y}}}$$

Die Stärken des Korrelationskoeffizienten liegen in der Einfachheit seiner Anwendung. Dabei ist die Berechnung ein gutes Mittel um einen linearen Zusammenhang verschiedener Werte nachzuweisen. Nachteilig wirkt sich bei der Berechnung die Tatsache aus, dass sich lediglich nur eine Variable auf die Bezugsgröße (Qualitätszahl des Bio-Standardbackversuches) beziehen lässt. Somit lassen sich immer nur zwei Variablen miteinander vergleichen. Des Weiteren besteht auch die Möglichkeit, dass ein nicht linearer Zusammenhang bestehen kann. Das

Vorzeichen gibt einen Hinweis auf das gemeinsame Wachstum der beiden Merkmale. Wäre die Korrelation $= 1$ oder $= -1$, so lägen die Punkte auf einer steigenden oder fallenden Gerade. Dies bezeichnet einen starken, linearen Zusammenhang. Generell sind lineare Gleichungen einfacher zu berechnen, können aber ggf. ungenauer als nichtlineare Gleichungen sein.

Die Herstellung der Teige erfolgte bei den Versuchen ausschließlich im Farinograph Z-Kneter. Dieser Knetmechanismus besitzt in der Praxis keine Relevanz, er wird daher eigentlich nur bei teigrheologischen Untersuchungen eingesetzt. Die Teigentwicklungszeiten der verwendeten Mahlerzeugnisse lagen im Durchschnitt bei 1 - 2 min. Die Knetzeit der Teige entsprach allerdings der von 5 min. Der Einfluss der Knetzeit wurde in den Vorversuchen nicht untersucht, man kann allerdings davon ausgehen, dass gewisse Teigeigenschaften gefördert werden. So wäre es beispielsweise denkbar, dass die nachlassenden Teigeigenschaften unterstützt werden, indem sich das bis dahin gebildete Klebnetzwerk aus Gliadin und Glutinen durch die hohe Knetintensität des Kneters wieder zerstört werden würde.

Bei Nachuntersuchungen wurde von ausgewählten Mehlen eine Siebanalyse durchgeführt. Dabei sollte die Partikelgröße Aufschluss darüber geben, weshalb sich die Werte einzelner Mehle sehr unterschiedlich bei der Messung verhielten, obwohl ähnliche oder sogar gleiche Teigeigenschaften vorhanden waren. Die Ergebnisse der Siebanalyse brachten allerdings keine Erkenntnis darüber, weshalb sich die Mehle so differenziert verhielten. Aufgrund von unterschiedlichen Partikelgrößen kann z.B. eine veränderte Hydratation der Kleberbildenden (Gliadin und Glutinin) und Wasserbindenden Mehlbestandteile (Stärkekörner) beeinflusst werden. Dadurch können die Eigenschaften wie Plastizität und Elastizität eines Teiges verändert werden.

Die ermittelten Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind sehr differenziert zu betrachten. Sie besitzen eine eingeschränkte Aussagekraft, was auf eine

Probenanzahl von 12 Stk. je Dinkeltypenmehl (Type 630) und Dinkelvollkornmehl zurückzuführen ist. Die Tatsache, dass die Proben aus nur einem Erntejahr stammen, könnte als weiterer Schwachpunkt der Ergebnisse angesehen werden. Die unterschiedlichen Probennummern verteilten sich zwar über die Fläche der Bundesrepublik Deutschland, allerdings sind keine Daten über die Wetter- und Bodenverhältnisse der jeweiligen Anbauorte des Getreides bekannt.

Die Untersuchungsmethode der Kriech-Erholungsmessung sollte die Teigeigenschaften bzw. das Backverhalten an Realteigen messen. Im Laufe der Vorversuche musste allerdings von diesem Vorhaben abgesehen werden, um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Bei der Versuchsdurchführung kamen daher Modellteige zum Einsatz. Der erwünschte Praxisbezug, der zu Beginn der Versuchsdurchführungen angestrebt wurde, konnte daher nicht gehalten werden.

Durch die bewusste Auswahl an unterschiedlichen Mehlen in Bezug auf die Teigeigenschaften und Backergebnisse, sollte eine bessere Unterscheidung der Messergebnisse bei der Kriech-Erholungsmessung möglich werden. Die Ergebnisse der Versuche waren allerdings zu differenziert um konkrete Aussagen zu treffen. Die Ergebnisse wiesen Tendenzen auf, die möglicherweise als Hilfestellung für weitere Versuche verwendet werden können.

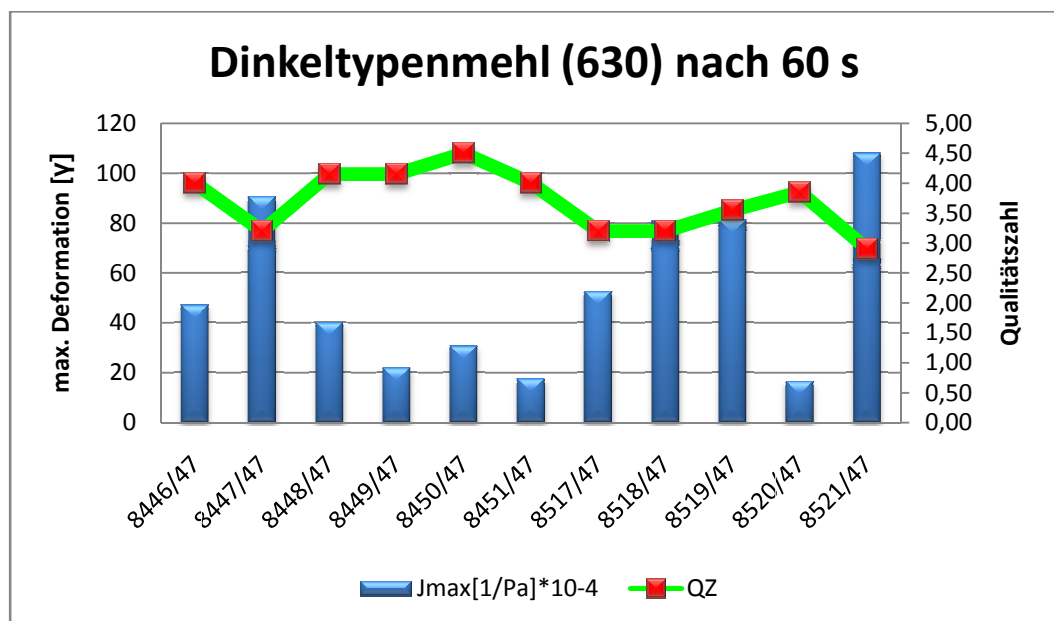
8.1 Dinkeltypenmehl (630)

Zur Bestimmung der Korrelation zwischen $J_{\max}$ und der QZ wurde folgende Probennummer nicht berücksichtigt:

- 8522/47

Nach der Abstehtzeit von 60 s, errechnete sich daraus ein Korrelationskoeffizient von -0,825. Nach 15 min Abstehtzeit ergab die Rechnung einen Korrelationskoeffizienten von -0,786.

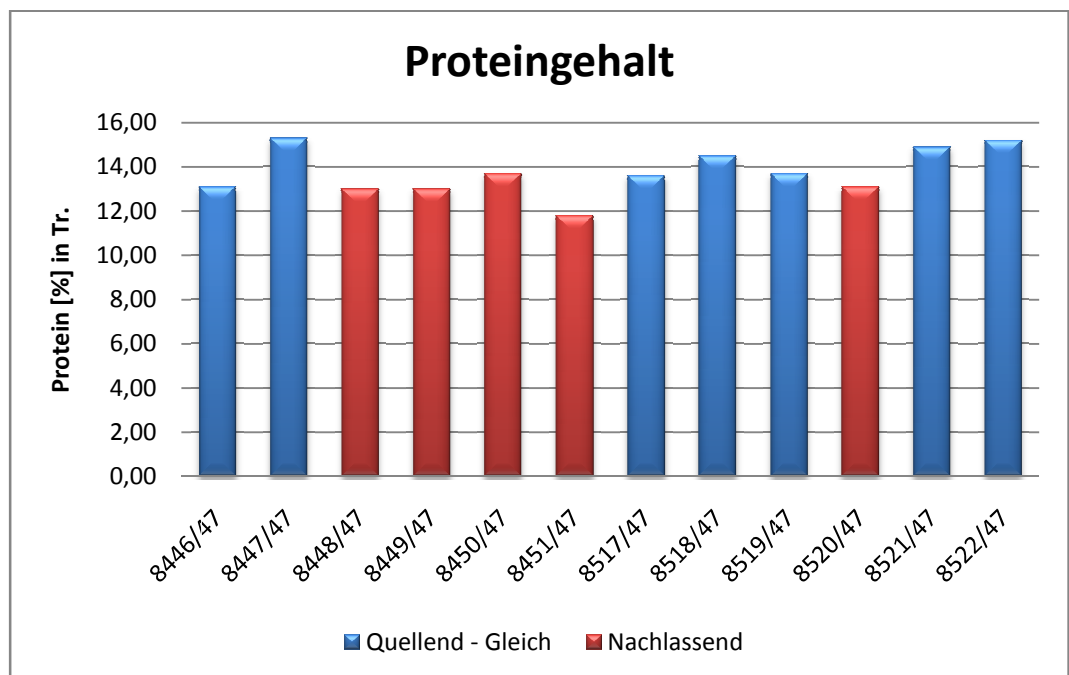
Bei der Probennummer 8522/47 handelt es sich um die Sorte Oberkulmer Rotkorn. Im Bio-Standardbackversuch wurde die Teigoberfläche als „feucht“ und die Teigelastizität als „normal“ beschrieben. Die Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung ergaben bei dieser Probe eine Deformation von 87,5580 im Maximum ($J_{\max}[1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$) und eine Qualitätszahl von 4,50. In den Versuchen mit Dinkeltypenmehl (Type 630) zeichnete sich jedoch eine Tendenz ab: je höher die Deformation im Maximum, desto geringer erwiesen sich die Qualitätszahlen des Bio-Standardbackversuches. Da es sich bei dieser Probe um eine Ausnahme handelte, wurde diese im Diagramm 1 nicht berücksichtigt. Bei Dinkeltypenmehl 630 lässt sich feststellen, dass der Grad der Deformation proportional zu dem plastischen Anteil im Dinkelmehl ansteigt. Der elastische Anteil sorgt in der Erholungsphase der Kriech-Erholungsmessung für die Rückdeformation in die ursprüngliche Form des Teiglings.



Dia. 1: Korrelation zwischen $J_{\max}$ und der Qualitätszahl des Backversuches nach einer Abstehtzeit von 60 s

Die Teigelastizitäten der Sorte Franckenkorn wurden bei der sensorischen Bewertung beim Bio-Standardbackversuch überwiegend als „normal“ beschrieben. Die Messungen zeigten allerdings, dass die Teige bei einer Abstehtzeit von 15 min eine nachlassende Teigelastizität aufwiesen. Oberkulmer Rotkorn zeigte bei der Kriech-Erholungsmessung eine quellende Wirkung, d.h. die Deformation im Maximum (J_{max}) war nach 15 min Abstehtzeit geringer. Vergleicht man die Proteinmengen der einzelnen Mehlsorten, so stellt man fest, dass die Teige mit steigendem Proteingehalt eine verbesserte Quellung aufweisen.

Franckenkorn besitzt in dieser Versuchreihe einen durchschnittlichen Proteingehalt von 13,32 %, während Oberkulmer Rotkorn einen durchschnittlichen Proteingehalt von 14,17 % besitzt. Bei einem Proteingehalt von ca. 13,5 % wurde die Eigenschaft einer nachquellenden Teigelastizität beobachtet.



Dia. 2: Auswirkung der Proteingehalte auf die Teigeigenschaften bei Dinkelmehl (Type 630)

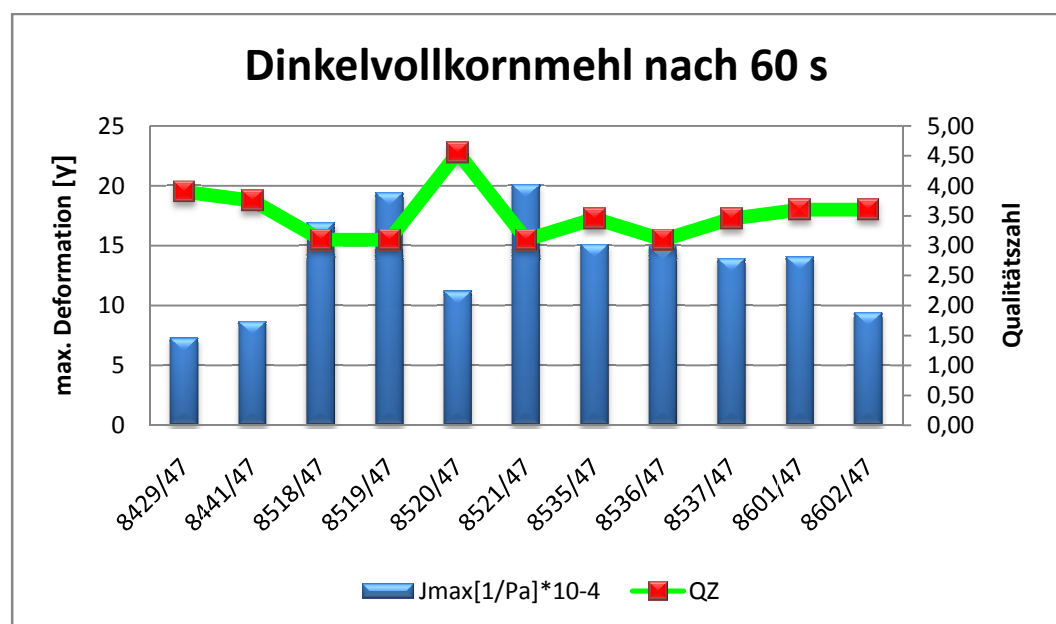
8.2 Dinkelvollkornmehl

Bei Dinkelvollkornmehl wurde die Probennummer

- 8440/47

nicht in die Berechnung der Korrelation mit einbezogen. Hieraus berechnete sich ein Korrelationskoeffizient nach einer Abstehtzeit von 60 s von -0,718. Nach einer Abstehtzeit von 15 min ergab sich ein Korrelationskoeffizient von -0,727

In der Versuchsreihe mit Vollkornmehl wurde die Probennummer 8440/47 im Diagramm 3 nicht berücksichtigt. Sowohl Teigoberfläche als auch Teigelastizität wurden als „normal“ bezeichnet. Die hohe Qualitätszahl von 4,55 ist demzufolge nicht ungewöhnlich, jedoch konnte bei der Deformation im Maximum ab 13,9 ($J_{\max}[1/\text{Pa}] \cdot 10^{-4}$) ein starker Abfall der Qualitätszahl festgestellt werden. Daher wurde die Probe als „Ausreißer“ interpretiert.



Dia. 3: Korrelation zwischen Jmax und der Qualitätszahl des Backversuches nach einer Abstehtzeit von 60 s

Beim Dinkelvollkornmehl konnte keine genaue Differenzierung der Messergebnisse vorgenommen werden. Die Unterschiede, welche sich beim Dinkeltypenmehl (Type 630) bei der maximalen Deformation zeigten, traten beim Vollkornmehl nicht mehr hervor. Es konnten zwar Unter-

schiede gemessen werden, allerdings waren diese zu gering und besaßen keine große Aussagekraft. Die Schalenbestandteile des Dinkelvollkornmehles sorgen für eine gute Verquellung der Teige. Das gebundene Wasser der Schalenbestandteile kann so von den anderen Inhaltsstoffen wie Stärke oder Protein nicht mehr so stark beansprucht werden. D.h. bei Dinkelteigen mit Vollkornmehl muss mit einer sehr hohen TA gearbeitet werden, um den gleichen Effekt wie beim Dinkeltypenmehl (Type 630) zu erzeugen. Diese hohe TA lässt sich i.d.R. nur mit einem Brühstück erzeugen.

8.3 Konventionelle Rheologiewerte

Um zu prüfen welche Aussagekraft Feuchtklebergehalt, Protein- und Sedimentationswerte besitzen, wurde die Korrelation der Werte mit dem Qualitätszahl des Backversuches berechnet.

Tab. 32: Korrelation zwischen der Qualitätszahl und den Mehlwerten bei Dinkeltypenmehl

Korrelation der Qualitätszahl mit den Mehlwerten bei Dinkeltypenmehl (Type630)			
	Proteingehalt	Sedimentationsw.	Feuchtkleber
Qualitätszahl aus dem Backversuch	-0,699	0,679	-0,090

Dinkeltypenmehl wies eine gewisse Korrelation zwischen dem Proteingehalt und dem Sedimentationswert auf. Inwiefern die erzielten Werte gewichtet werden können, ist nicht konkret zu beantworten. Da die Anzahl von 12 Probenmustern dieser Versuchsreihe zu gering ist.

Die Korrelation beim Vollkornmehl fällt etwas niedriger aus. Grund hierfür könnten die größeren Schalenbestandteile sein, welche die Messung zu stark beeinflussen.

Tab. 33: Korrelation zwischen der Qualitätszahl und den Mehlwerten bei Dinkelvollkornmehl

Korrelation der Qualitätszahl mit den Mehlwerten bei Dinkelvollkornmehl			
	Proteingehalt	Sedimentationsw.	Feuchtkleber
Qualitätszahl aus dem Backversuch	-0,429	0,219	-0,442

9. Zusammenfassung

Der Anbau von Dinkel (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) war lange Zeit rückläufig. Im Trend von gesunder Ernährung und ökologischen Anbau ist die Anbaufläche in den letzten Jahren wieder auf 22.833 ha gestiegen. Die rheologischen Untersuchungen nach den ICC-Standardmethoden wie z.B. Proteingehalt, Sedimentationswert und Farinograph besitzen beim Dinkel eine nicht genügende Aussagekraft bezüglich der Backfähigkeit. Die indirekten Methoden lassen keine genauen Prognosen bezüglich des Backverhaltens zu. Ziel dieser Arbeit war es, mit Hilfe der rheologischen Methode der Kriech-Erholungsmessung, eine genauere Charakterisierung der Verarbeitungsqualität der Mahlerzeugnisse aus Dinkel zu erstellen. Der vom Max Rubner-Institut in Detmold entwickelte Bio-Standardbackversuch und die sich daraus ergebenden Qualitätszahlen, dienten als Grundlage für die Untersuchung der Backfähigkeit der einzelnen Mehle. Die Versuche sollten an möglichst praxisorientierten Teigen durchgeführt werden, um einen hohen Bezug zu betrieblichen Rezepturen zu ermöglichen. Dies sollte die Prognosegenauigkeit der Messergebnisse erhöhen. Zur Durchführung der Versuche wurde ein 50 g Farinograph und ein Rotations- und Kriechrheometer verwendet. In der Versuchsreihe wurden dabei Mahlerzeugnisse aus Dinkelmehl (Type 630) und Dinkelvollkornmehl der Sorten Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn verwendet. Während der Vorversuche, in denen die Einstellniveaus des Rotations- und Kriechrheometers kalibriert wurden, sind die Zutaten der Teige aufgrund ihres möglichen Störpotenzials auf Salz und Acerolakirschkpulver reduziert worden. Die Korrelationen zwischen Qualitätszahl und Messwerten lag bei Dinkeltypenmehl (Type 630) bei -0,825 und bei Dinkelvollkornmehl bei -0,718. Die Werte besitzen allerdings einen begrenzten Aussagewert, da die Probenanzahl von 12 Stk. je Mehl zu gering ist. Man kann bei den erzielten Ergebnissen nicht von einer Regelmäßigkeit ausgehen. Die festgestellten Tendenzen können möglicherweise als Grundlage für weitere Versuche herangezogen werden.

10. Summary

The cultivation of spelt (*Triticum aestivum* ssp *spelta*) was decline by a long time. In the last couple of years the area under cultivation has risen to 22.833 ha. The rheological investigation by the ICC standard methods such as protein content, Zeleny and Farinograph don't have enough explanatory power regarding to the baking behavior. The indirect methods do not allow exact forecasts, concerning the baking ability. It was the aim of this work to construct a detailed characterization of the processing quality of meal products from spelt with the help of the rheological methods of creep-recovery-measurement. The Max Rubner-institute in Detmold developed a biology-standard baking attempt and the resulting quality number, served as a basis studying the ability of the single baking flour. To allow a high relation to operational recipes, he experiments should have been carried out in very practical orientated dough. This should have raised the forecast accuracy of the measurement results. A 50 g Farinograph and a rotation- creep rheometer were used for the realization of the attempts. In the test series were disposed meal products of spelt flour (Type 630) and spelt wholemeal flour of the kinds Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn. During the preattempts in which the set levels of the creep-recovery-measurement were calibrated the ingredients of the dough have been reduced on account of her possible sturgeon potential to salt and acerola-cherry-powder. The correlations between quality numbers and measuring values lay at spelt flour (Type 630) at -0,825 and by spelt wholemeal flour at -0,718. The data have a limited significance, because the number of samples of 12 pieces per meal is too low. The results of regularity may be unexpected. And can serve as a basis for further analysis.

11. Fazit

Vom Grundsatz der Rheologie ausgehend, müssten für alle rheologischen Messungen homogene Stoffsysteme vorhanden sein. Da alle Proben in der Praxis inhomogen sind, ist die Verarbeitung schwierig. Wenn man sich über das „Störpotential“, bedingt durch die Inhomogenität, bewusst wird, kann man entsprechende Maßnahmen ergreifen, die Auswirkungen des Störpotentials zu minimieren und trotz Einschränkung die Ergebnisse richtig interpretieren [13].

Beachtet man den Grundsatz der Rheologie, so kann man von div. Problemen bei rheologischen Messungen an Teigen ausgehen. Eine Inhomogenität bei Teigen ist dabei nicht zu vermeiden. Die Zukunft der Kriech-Erholungsmessung im Bereiche der Charakterisierung der Verarbeitungseigenschaften von Mehl, kann nicht genauer prognostiziert werden. Aufgrund der geringen Probenanzahl lassen sich keine genauen Aussagen treffen, die die Zusammenhänge von Messergebnissen der Kriech-Erholungsmessung mit den Analysenwerten der Inhaltsstoffe des Mehles und der Kennzahlen des Bio-Standardbackversuches wiedergeben.

Die Physica besitzt eine hohe Messgenauigkeit und viele Möglichkeiten viskoelastische Stoffe zu testen. Aufgrund dieser hohen Messgenauigkeit bedarf es einer sicheren Handhabungskompetenz dieser Methode, da evtl. bereits durch kleinste Veränderungen der Probe Messergebnisse beeinflusst werden können. Möglicherweise ist mit Hilfe von weiteren Forschungsprojekten eine Optimierung der Kriech-Erholungsmessung möglich.

Glossarium

Asco:	Ascorbinsäure
ca.:	circa
d.h.:	das heißt
dt.:	Dezitonne
div.:	diversen
eta0:	erster Datenpunkt der Krümmung
Fa.:	Firma
ggf.:	gegebenenfalls
ha.:	Hektar
ICC:	International Society for Cereal Chemistry, Internationale Gesellschaft für Getreidechemie
i.d.R.:	in der Regel
Je:	elastischer Anteil der Deformation
Jmax:	maximale Deformation; Maß der Nachgiebigkeit
Jm:	nicht reversible Verformung
J0:	reversible Verformung
min.:	Minuten
Nr:	Nummer
QZ:	Qualitätszahl aus dem Bio-Standardbackversuch
s:	Sekunden
u. a.:	unter anderem
z.B.:	zum Beispiel

Literaturverzeichnis

- [1] **ARBEITSGEMEINSCHAFT GETREIDEFORSCHUNG [Hrsg.]**
Standard-Methoden für Getreide und Brot, [Buch]. - Detmold :
Verlag Moritz Schäfer, 1978. - S. 125.
- [2] **Bio-Betrieb Roschelshof** [Online]. - 21. Februar 2009. -
<http://www.roschelshof.de/sorteninformation.htm>.
- [3] **GmbH PHYSICA Meßtechnik** Betriebsanleitung Universal
Meßeinrichtung UM [Buch]. - Stuttgart : [s.n.], 2006. - Bd. S. 18
ff.
- [4] **HAHN S. von** Vetragsanbau hat sich bei Dinkel bewährt
[Journal]. - [s.l.] : Ernährungsdienst , 2004. - Bde. Nr. 82, S. 3.
- [5] **KLING DEMETER**-Dinkel-symposium [Konferenz]. - 4.6.1996.
- [6] **LÖSCHE K.** Anleitung Farinograph [Online]. - 14. November
2008. -
[http://www1.hsbremerhaven.de/pll/assets/applets/Farinograph_A
nleitung.pdf](http://www1.hsbremerhaven.de/pll/assets/applets/Farinograph_Anleitung.pdf) .
- [7] **PHYSICA Meßtechnik GmbH [Hrsg.]** Betriebsanleitung für
Rheometer Elektronik Rheolab MC 20 [Buch]. - Stuttgart : [s.n.],
1992. - Bde. S. 4, 18, 21.
- [8] **PZO - Oberlimburg** [Online]. - 21. Februar 2009. -
[http://www.pzo-
oberlimpurg.de/pdf/dinkel_landessortenversuche_08.pdf](http://www.pzo-oberlimpurg.de/pdf/dinkel_landessortenversuche_08.pdf).

- [9] **REENTS H.-J., MÜCK, U. [Hrsg.]** Alte und neue Dinkelsorten [Buch]. - Darmstadt : Institut für biologische-dynamische Forschung, 1999. - Bd. 10.
- [10] **Schapfenmühle** [Online]. - 14.. Februar 2009. - http://www.schapfenmuehle.de/Content/_Deutsch/Die_schapfenmuehle/Wissenswertes_Dinkel/Anbau_Vermehrungsflaeche.php.
- [11] **SCHMITZ K.** [Online]. - 16. 11 2008. - <http://www.agfdt.de/loads/bt04/schmitz.pdf>.
- [12] **SCHMITZ K.** Dinkel - ein Getreide mit Zukunft [Journal]. - Ulm : Backmittelinstitut (bmi), 2006. - Sonderausgabe/ Oktober 2006.
- [13] **SCHRAMM G.** Einführung in die Rheologie und Rheometrie [Buch]. - Karlsruhe : Gebrüder Haake GmbH, 1995.
- [14] **SOUCI S.W., FACHMANN, W., KRAUT, H.** Die Zusammensetzung der Lebensmittel/ Nährwert Tabellen [Buch]. - [s.l.] : Verlag Medpharm. - Bd. S. 511 u. 513.
- [15] **TERNES W.** Naturwissenschaftliche Grundlagen der Lebensmittelzubereitung [Buch]. - Hamburg : Behr`s Verlag, 1994. - Bd. 2. Auflage.
- [16] **Tscheuschner H.-D., [Hrsg.]** Grundzüge der Lebensmitteltechnik [Buch]. - Hamburg : Behr`s Verlag.
- [17] **WILFRIED S. und WERNER S., [Hrsg.]** Spelz- und Schälgetreide [Buch]. - Hamburg : Behr`s Verlag, 1993. - S.19.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Systematik der Gattung Triticum [9]	8
Tab. 2: Beispielhafte Zusammensetzung von Dinkeltypenmehl (Type 630), Weizentypenmehl (Type 550), Dinkel- und Weizenvollkornmehl [14]	11
Tab. 3: Auswertung der Farinogramme von Weizenmehl (550) und Dinkelmehl (630)	12
Tab. 4: Messbare bzw. abgeleitete Größen.....	17
Tab. 5: Bewertungsmerkmale des Bio-Standardbackversuchs	22
Tab. 6: Definition der Qualitätszahl.....	22
Tab. 7: Versuchsvariablen der Kriech-Erholungsmessung während der Vorversuche	24
Tab. 8: Art des Knetsystems incl. Knetzeit und Angaben zum verwendeten Mehl	24
Tab. 9: Zutaten der Teige während der Vorversuche	24
Tab. 10: Versuchsparameter der ersten Testreihe	25
Tab. 11: Versuchsparameter der zweiten Testreihe	26
Tab. 12: Versuchsparameter der dritten Testreihe	27
Tab. 13: Versuchsparameter der vierten Testreihe	28
Tab. 14: Versuchsparameter der fünften Testreihe	29
Tab. 15: Versuchsparameter der sechsten Testreihe.....	30
Tab. 16: Versuchsparameter der siebten Testreihe.....	31
Tab. 17: Resultat der empirisch ermittelten Ergebnisse der Vorversuche	33
Tab. 18: Legende der Tabellen 7, 8 und 9.....	33
Tab. 19: Auswertung der Farinogramme Dinkeltypenmehl (Type 630)	35
Tab. 20: Proteingehalte der Sorten Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn [9]	36
Tab. 21: Durchschnittliche Volumenausbeuten von Franckenkorn und Oberkulmer Rotkorn	36
Tab. 22: Sorte und Anbauort der Probennummern von Dinkeltypenmehl (Type 630).....	37

Tab. 23: Ergebnisse des Bio-Standardbackversuches von Dinkeltypenmehl (Type 630).....	37
Tab. 24: Protein- und Feuchtklebergehalt, Sedimentationswert und der Dinkeltypenmuster.....	38
Tab. 25: Sorte und Anbauort der Probennummern von Dinkelvollkornmehl	38
Tab. 26: Ergebnisse des Bio-Standardbackversuches mit Dinkelvollkornmehl	39
Tab. 27: Protein- und Feuchtklebergehalt, Sedimentationswert und der Dinkelvollkornmuster	39
Tab. 28: Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung mit Dinkelmehl (Type 630) nach 60 s.....	40
Tab. 29: Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung von Dinkelmehl (Type 630) nach 15 min.....	40
Tab. 30: Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung von Dinkelvollkornmehl nach 60 s	41
Tab. 31: Ergebnisse der Kriech-Erholungsmessung von Dinkelvollkornmehl nach 15 min	41
Tab. 32: Korrelation zwischen der Qualitätszahl und den Mehlwerten bei Dinkeltypenmehl.....	49
Tab. 33: Korrelation zwischen der Qualitätszahl und den Mehlwerten bei Dinkelvollkornmehl.....	49
 Dia. 1: Korrelation zwischen Jmax und der Qualitätszahl des Backversuches nach einer Abstehtzeit von 60 s	46
Dia. 2: Auswirkung der Proteingehalte auf die Teigeigenschaften bei Dinkelmehl (Type 630).....	47
Dia. 3: Korrelation zwischen Jmax und der Qualitätszahl des Backversuches nach einer Abstehtzeit von 60 s	48
 Formel 1: Beispielberechnung der Qualitätszahl	22

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Farinogramm Dinkelmehl	12
Abb. 2: Farinogramm Weizemehl	12
Abb. 3: Schnittbild des Kegel-/Platte Messsystems [3]	14
Abb. 4: Vorbereitetes Messsystem	15
Abb. 5: Messsystem mit eingelegtem Messkörper (Teigling)	15
Abb. 6: Messung eines viskoelastischen Stoffes (Teigling)	15
Abb. 7: Feder (Hooke)-Dämpfer-Modelle von ideal rheologischen Körpern.....	16
Abb. 8: Kriechkurve eines viskoelastischen Stoffes.....	17
Abb. 9: Farinograph (50 g)	18
Abb. 10: Fließschema Bio-Standardbackversuch für Dinkeltypenmehl (Type 630) (Unbehend, Neumann)	20
Abb. 11: Fließschema Bio-Standardbackversuch für Dinkelvollkornmehl (Unbehend, Neumann)	21
Abb. 12: Kriechkurven der ersten Versuchsreihe mit feucht, nachlassenden Teigeigenschaften des Dinkelteiges	25
Abb. 13: Kriechkurven der zweiten Versuchsreihe mit Realteigen aus Dinkelmehl	26
Abb. 14: Kriechkurven bei erhöhter Schubspannung (1200 Pa).....	27
Abb. 15: Kriechkurven bei unterschiedlicher Schubspannung von 300 - 600 Pa	28
Abb. 16: Kriechkurven von Realteigen ohne Zusatz von Triebmittel	29
Abb. 17: Kriechkurven von Modellteigen unter Zusatz von Salz und Acerolakirschkpulver	30
Abb. 18: Kriechkurven von Dinkelvollkornmehl, gemessen nach unterschiedlichen Abstehtzeiten (60 s u. 15 min)	31
Abb. 19: Fließschema zur Versuchsdurchführung der Kriech- Erholungsmessung.....	34
Abb. 20: Farinogramm Dinkelmehl	35
Abb. 21: Farinogramm Dinkelmehl	35

Danksagung

Ich möchte mich bei all den Menschen bedanken, die mir bei der Anfertigung dieser Arbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Ganz besonders möchte ich Herrn Günter Unbehend vom Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, in Detmold danken. Durch die Betreuung während des Praktikums und die sehr konstruktiven Ratschläge, konnte diese Arbeit erst in dieser Form entstehen.

Ein herzliches Dankschön gilt auch den Mitarbeitern des Max Rubner-Instituts, Herrn Schröder und Herrn Luhmann, die mir bei der Versuchsdurchführung geholfen haben.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinem Fachlehrer Herrn Linster, der mich mit Anregungen und Korrekturen stets auf den richtigen Kurs brachte.

Ein riesiges Dankeschön fürs Korrekturlesen geht an Marlene Bergener und Franziska Mangold.

Bei meinen Eltern, Erika und Gerhard Veit und meiner Oma, Lina Fürstenhöfer möchte ich mich ganz besonders herzlich bedanken. Sie haben mich während der letzten beiden Jahre in allen Bereichen unterstützt, ohne sie wäre die Ausbildung in dieser Form nicht möglich gewesen. Auch meinen Geschwistern gilt ein herzliches Dankeschön, durch sie habe ich einen gewissen Rückhalt erhalten.