

Untersuchungen zur Alterung von Roggenmehlbrot

Von der naturwissenschaftlichen Fakultät
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des Grades eines
Doktor der Naturwissenschaften
Dr. rer. nat.
genehmigte Dissertation
von

Lebensmittelchemiker Jens Dreisörner

geboren am 13. August 1967 in Rahden

2008

Vorsitzender: Prof. Dr. Berger

Referent: Prof. Dr. Freund

Korreferent: Prof. Dr. Köhler

Tag der Promotion: 15.12.2008

Schlagworte:

Roggen, Brotalterung, Retrogradation

Rye, staling, retrogradation

Kurzzusammenfassung

Ausgehend von sortenreinen Roggengetreiden unterschiedlicher Anbauorte innerhalb Deutschlands wurden diese Getreide zu Mehlen vermahlen und jeweils zur Standardmehltype 997 gemischt. Zur mikroskopischen Untersuchung der Teige und Brotkrumen wurden unterschiedliche neuartige Untersuchungsmethoden entwickelt und angewendet. Mittels Environmental-Scanning-Electron-Microscope und Färbetechniken in der Lichtmikroskopie konnten signifikante Strukturänderungen vom Teig zum Brot erfasst werden. Die gebackenen Brote zeigten ferner deutliche Unterschiede hinsichtlich Aufbau der Porenwände. Ein Proteinnetzwerk wie bei Weizen lag bei den Roggenbroten nicht vor. Aggregierte Proteine konnten innerhalb der Krumenmatrix in Proteinnestern lokalisiert werden. Ferner sind von der Kruste zur Krumenmitte der Brote die Wände der Krumporen zunehmend intensiver mit einem Gel ausgekleidet, und scheinen hierdurch in der Krumenmitte den größten Verkleisterungsgrad aufzuweisen. Gravimetrische Messungen zeigten, dass während der ersten Phase des Backprozesses Wasser zunächst zur Krumenmitte diffundiert. Hierdurch steht der Stärke innerhalb der Krumenmitte der höchste Wassergehalt zur Verkleisterung zur Verfügung, was die mikroskopischen Ergebnisse erklärt. Neu entwickelte rheologische Methoden bestätigten die sichtbaren Verkleisterungsgradienten innerhalb einer Brotscheibe, von der Kruste zur Krumenmitte. Die Krumensysteme wurden mittels neu entwickelter Methoden sensorisch, sowie mittels Kriech-Erholungs-Messungen erfasst. Die Verfestigung der Krumensysteme mit zunehmender Lagerzeit erfolgte nicht linear, sondern anfangs sehr intensiv und dann zunehmend langsamer. Die Verfestigung isolierter Krumen konnte mathematisch signifikant beschrieben werden. Innerhalb eines Brotes/einer Brotscheibe existieren unterschiedliche Verkleisterungsgradienten und Wassergehalte, die unterschiedliche Alterungsintensitäten zueinander hervorrufen. Die Wanderung des Wassers erfolgte zudem während der Lagerung von der Krumenmitte zur Kruste, was die Krumenmitte weiter verfestigt und „austrocknete“. Die komplexe Bildung und Verfestigungen der Stärkegele, sowie Wasserwanderungen und lokaler Wasserverlust sind als die Ursachen der Brotalterung bei Roggenmehlbroten während der Lagerung anzusehen, wodurch resultiert, daß jede Zone eines Roggenmehlbrotes anders altern kann.

Abstract

Pure rye varieties from different parts of Germany were milled and individually blended to the standard flour type 997.

New methods have been developed and used for microscopic evaluations of the produced rye doughs and baked crumbs. Environmental-Scanning-Electron-Microscope and staining techniques in light microscopy, has made significant advancements in the investigation of structures, from dough to bread. Baked bread crumbs showed significant differences within the pore cell walls. Wheat-like protein networks did not exist in the baked rye breads. Aggregated rye proteins were located in protein crests within the starch matrix. When observing crust to center of crumb, it seems that the highest gelatinization degree is located in the crumb center, where the pore cell walls were more intensely built by voluminous gels.

Gravimetric measurements showed that during the first phase of the baking process water is moving from the crust to the center of the bread crumb. As a result, the starch located in the center has the highest amount of water available for gelatinization. This can explain the microscopic results. Newly developed rheological methods confirms the visible gelatinization grades within the bread; from crust to crumb center. The crumb system was measured by new developed sensory and creep-recovery tests. The hardening of crumb systems, with increased storage time was non-linear---fast at the beginning and declined with additional storage time. The hardening of isolated crumbs could mathematically be significantly described.

The hardening of isolated crumbs, within a bread slice, shows different gelatinization degrees and moisture content; this will result in different staling rates between these zones. The movement of water during storage from crumb center to the crust will result in an increased hardening and "dry out" of the crumb center.

The complex build up and hardening of the starch gels, as well as the water movement and local moisture loss, is the reason for the staling of rye flour breads during storage; this would mean that each area of a rye flour bread could stale at different rates.

1.0	Einleitung	1
1.1	Fragestellung	2
1.2	Zielsetzung	4
2.0	Grundlagen und wissenschaftlicher Kenntnisstand über den Rohstoff Roggengetreide, die Mehl-, Brotherstellung und die Frischhaltung von Roggenmehlbrot	5
2.1	Geschichtliche Entwicklung und Verbreitung des Roggens	5
2.2	Rohstoffqualität: Roggengetreide	7
2.2.1	Roggengetreide: Auswuchs	11
2.2.2	Getreidereinigung und Mehlherstellung	13
2.3	Stoffliche Zusammensetzung der Mehle	17
2.4	Grundlagen der Teig- und Brottechnologie zur Herstellung von Roggenmehlbrot nach der Detmolder Einstufen Führung	20
2.5	Grundlagen und wissenschaftlicher Kenntnisstand über die Frischhaltung von Backwaren	22
2.5.1	Wasserverlust und Brotalterung – J.B. Boussingault (1852)	24
2.5.2	Alterung von Stärke nach J.R. Katz (1928)	25
2.5.3	Modell der Stärkealterung nach T.J. Schoch und D. French (1947)	26
2.5.4	Modell der Brotalterung nach M.I. Knyaginichev (1965)	27
2.5.5	Modell nach S. R. Erlander und L. G. Erlander (1969)	29
2.5.6	Modell der Brotalterung nach E. M. A. Willhoft (1971)	31
2.5.7	Modell nach M. L. Martin, K. J. Zeleznak und R. C. Hosney et al. (1991)	32
2.5.8	Modell nach H. F. Zobel und K. Kulp (1996)	36
2.5.9	Modell: Wirkung von Lipiden und Emulgatoren	38
2.5.10	Einfluss der Lagertemperatur	41
2.5.11	Abschließende Zusammenfassung der Alterungsmodelle	42
3.0	Material und Methoden	43
3.1	Material	43
3.2	Untersuchungsmethoden	43
3.2.1	Bestimmung des Wassergehaltes in Roggenmehlproben	43
3.2.2	Bestimmung des Mineralstoffgehaltes	44

3.2.3	Bestimmung des Proteingehaltes	44
3.2.4	Bestimmung des Pentosangehaltes	44
3.2.5	Standard-Back-Versuch (SBV)	46
3.2.6	Bestimmung des Wassergehaltes von Krumenisolaten	48
3.2.7	Viscosimetrische Messungen an Krumenisolaten	49
3.2.8	Bestimmung der Verkleisterungspotentiale von Mehlen	51
3.2.9	Bestimmung der Fallzahl von Mehlen (ICC 107/1)	55
3.2.10	Brabender Amylograph (ICC 126/1)	55
3.2.11	Lichtmikroskopische Untersuchungen	55
3.2.12	Elektronenmikroskopische Untersuchungen	57
3.2.13	Sensorische Untersuchung von Brotkrumen	59
3.2.14	Mikro-Backversuch als Krumen-Plattenbackversuch	60
3.2.15	Kriecherholungsmessungen (KEM) an Krumensystemen	62
4.0	Ergebnisse und Diskussion	64
4.1	Sensorische Untersuchungen	64
4.2	Kriech-Erholungs-Messungen an gelagerten Krumen	74
4.3	Mikroskopische Untersuchungen	96
4.3.1	Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM) Untersuchungen an Teigen und Brotproben	96
4.3.2	Untersuchungen an Teigen und Brotproben mittels Lichtmikroskop	106
4.4	Wasserwanderung im Brot während des Backens und der Lagerung	112
4.5	Verkleisterungseigenschaften	118
4.5.1	Roggenstärke - Verkleisterungspotential	118
4.5.2	Krumen- Nachverkleisterungspotential	123
4.6	Auswertung rheologischer und stofflicher Parameter	129
5.0	Zusammenfassung	136
6.0	Literaturverzeichnis	141
7.0	Liste wissenschaftlicher Veröffentlichungen	148
8.0	Lebenslauf	150

1.0 Einleitung

Die Getreidearten zählen als Monokotyledonen zu den Gräsern (Poaceae) (Strasburger, S. 820 f). Die Früchte der Getreidearten sind Schließfrüchte (Kariopsen) und spielen seit Jahrtausenden für die menschliche Ernährung eine herausragende Rolle. In frühen Stadien der Entwicklung des Menschen vom Jäger und Sammler wurden die Getreidesamen roh und teilweise unreif verzehrt. Diese Verzehrform wechselte mit der Erfindung des Feuers. Hierdurch konnten Getreidekörner auf heißen Steinen in der Nähe der Flamme geröstet werden. Nach der Erfindung des Mahlsteines konnte durch das Anteigen zerstoßener Getreidekörner mit Wasser die Herstellung einfacher ungesäuerter Fladenbrote erfolgen, die auf heißen Steinen gebacken wurden (Adrian, S.19).

Der Wandel von der aneignenden Wirtschaft, die vornehmlich aus Jagd und Fischerei bestand, in die wiedererzeugende Wirtschaft des primitiven Pflanz- und Hackbaus trug dazu bei, den Menschen sesshaft zu machen. Getreidesamen waren dabei in ihrer Form ideal, boten sie doch hohe Gehalte an Stärke und Protein, relativ einfache Kultivierungsbedingungen, die jährlich wiederkehrende Verfügbarkeit und die recht einfache Möglichkeit der Anlage von Vorräten. Zudem waren sie als Tauschmittel gut geeignet und weithin akzeptiert. Getreidesamen, daraus gewonnene Produkte und einfache Fladenbrote bilden schon seit über 10 000 Jahren einen wesentlichen Beitrag zur menschlichen Ernährung. Brot zählt bis heute mit zu den wichtigsten und auch ältesten Grundnahrungsmitteln.

Dementsprechend hoch sind der kulturelle und religiöse Wert, sowie das Ansehen der Getreidearten, in allen Kulturen der Erde. Der Begriff „unser täglich Brot gib uns heute“ steht stellvertretend in der christlichen Religion für unsere Nahrung allgemein. Ungünstige klimatische Bedingungen, sowie durch Insekten oder Pilze verursachte Missernten, führen auch heute noch in zahlreichen Regionen der Welt zu Hungersnöten, kriegerischen Auseinandersetzungen und Entvölkerung ganzer Landstriche. Ein Mangel an Getreide und Brot bedeutet Hunger. Experten schätzen, dass die Zahl der Hungernden 2025 von derzeit 854 Millionen (2008) auf 1,2 Milliarden steigen werden, wenn weltweit Nahrungsmittel in großem Stil als Treibstoffe direkt oder indirekt als Agrotreibstoffe, wie „Bioethanol“ oder verbrannt werden (Brot für die Welt: Dilg, Bullian, Pressemitteilung). Brot ist daher ein kaum zu

ersetzendes Grundnahrungsmittel des Menschen. Neben Weizenbroten spielen Roggen/Weizen-Mischbrote und Roggenbrote in Deutschland eine wesentliche Rolle in der täglichen Brotvielfalt, bei einem Gesamtverbrauch pro Kopf von zur Zeit ca. 85 kg, wobei ca. 75% aller in Deutschland verzehrten Brote und Kleingebäcke Roggen enthalten (Gesellschaft für Konsumforschung, Pressemitteilung).

1.1 Fragestellung

Roggenmehlbrot besteht als komplexes Gemisch aus zahlreichen Bestandteilen unterschiedlicher chemischer Struktur und Funktionalität. Die Anteile und funktionellen Eigenschaften der Stoffkomponenten ändern sich von der Teigbereitung über die Fermentation bis zum fertigen Brot. Innerhalb der komplexen Brotmatrix kommt es während der Lagerung neben Aromaverlusten zu einer allgemein bekannten Verfestigung, der Brotalterung.

Für die Bewertung der Eigenschaften der Backwaren durch den Verbraucher stellen, neben dem Preis auch Aroma und Geschmack, Volumen und Lockerung, eine lang anhaltend elastische, weiche und „saftige“ Krume, wichtige und wesentliche Beurteilungs-, Kauf- und Konsumkriterien dar. Gealtertes Brot, das in seiner Textur verfestigt ist und eine trockene Krume aufweist, wird vom Verbraucher kaum gekauft, verzehrt oder akzeptiert. Diese durchaus verzehrsfähigen und nicht verdorbenen Lebensmittel werden zumeist weggeworfen oder, je nach Umfang, als Zusatz bei der Tierfütterung eingesetzt. Die Menge erneut der Teigbereitung zugeführten „Restbrot“ aus nicht verkauften Ladenbeständen ist begrenzt und im größeren Maßstab aus Gründen potentieller gesundheitlicher Gefahren, Logistik und arbeitstechnischem Aufwand und betriebswirtschaftlich nicht vorteilhaft. Im Handel werden vorverpackte, nicht verkaufte Brote, bereits vor Ablauf des Mindest-Haltbarkeits-Datums den Regalen entnommen und nur zu geringem Teil erneut der Teigbereitung oder auch der Tierfütterung (Mast) zugeführt. Der Abgabepreis als Tierfutterzusatz liegt allgemein ferner unter dem Herstellungspreis der Backwaren und ihrer Distributions- und Folgekosten. Fehlen Abnehmer des Altbrot und kann aufgrund der anfallenden Menge dieses nicht als Zugabe bei einer erneuten

Teigbereitung genutzt werden, so werden diese gealterten Backwaren z.T. der kostenintensiven Müllentsorgung zugeführt, alternativ zur Biogasherstellung eingesetzt. Die Folgekosten der Brotalterung werden aufgrund betriebswirtschaftlicher Gründe stets auf den Brotpreis umgelegt und werden indirekt vom Konsumenten getragen.

Die Frischhaltung von Brot allgemein, und damit auch von Roggenbrot, ist aufgrund der im Backgewerbe während der letzten Jahre zu verzeichnenden Ertragseinbußen und der stetig steigenden Logistik- und Distributionskosten von besonderer Bedeutung. Eine Senkung der Menge an „Restbrot“ durch eine Steigerung der Frischhaltungseigenschaften ist für den Hersteller, wie auch den Verbraucher, direkt von Vorteil.

Die Backeigenschaften von Roggenmehlen werden bislang nur in standardisierten Backversuchen mit Teigausbeute, Volumenausbeute und z.B. Krumenelastizität beschrieben. Die sich über die Lagerung vollziehende Alterung von Roggenmehlbrot ist in der Bewertung des Rohstoffes „Roggenmehl“ grundsätzlich nicht enthalten. Ob es durch gezielte Selektion spezieller Roggenpartien/Roggenmehle möglich ist, Brote mit längerer Krumenweichheit zu erhalten, ist unbekannt.

Backversuche sind in ihrer Durchführung sehr zeitaufwendig und stellen zudem extrem hohe Anforderungen aufgrund eng einzuhaltender standardisierter Bedingungen an Personal, Räumlichkeiten und Geräte, mit dort zusätzlich auftretenden Handlings- und Beurteilungsfehlern. Weiterhin sind diese Art der Backversuche für jede gehandelte Roggenpartie, aufgrund der enormen Anzahl der Roggenpartien, in der Praxis eindeutig nicht möglich.

Zuverlässige Werte der menschlichen Sinnes-Sensorik sind ferner ebenfalls nur unter besonderen Bedingungen und von besonders geschultem Personal zu erwarten. Eine weite Umsetzung gestaltet sich in der Praxis als schwierig bis unmöglich. Es existieren bislang für Roggenbrotsysteme keine instrumentellen Messmethoden, die einen direkten Zusammenhang zwischen den sensorischen Werten des Konsumenten

und physikalisch reproduzierbar messbaren Werten, in Bezug auf die Frischhaltung von Roggenmehlbroten, gestatten. Innovative Methoden, die umständliche und zeitaufwendige Backversuche und menschliche Sensorik durch einfache und schnelle physikalische Messungen ergänzen oder substituieren können, wären für die Praxis von großem Vorteil.

1.2 Zielsetzung

Das Alterungsverhalten aus Roggenmehlen gebackenen Broten soll systematisch untersucht und ausgewertet werden. Hierbei sind neben rheologischen auch bildgebende Verfahren zu berücksichtigen, um die strukturellen Veränderungen der Eigenschaften von Roggenbroten interdisziplinär zu erfassen.

Das Untersuchungsspektrum soll sich hierbei vom Teig bis zum gelagerten Brot erstrecken. Ziel ist es, Änderungen in Teig, Kruste und Krume zu erfassen und übergreifend Aussagen über

- ❖ Sensorisch und instrumentell erfassbare Alterungen von Brotkrumen
- ❖ Strukturen und strukturelle Änderungen in Teigen und Brotkrumen
- ❖ Zusammenhänge zwischen rheologischen Eigenschaften, Strukturen und Krumenalterung

anhand unterschiedlicher Untersuchungsverfahren darzulegen und zu vergleichen.

Insbesondere sollen Aussagen darüber angestrebt werden, inwieweit sich Roggenmehlbrotkrumen unterscheiden und wie sich diese in ihrer Frischhaltung während der Lagerung unter üblichen Lagerbedingungen verhalten.

Um allgemeine Aussagen treffen zu können, soll als Untersuchungsmaterial Roggengetreide aus Anbauversuchen unterschiedlicher Sorten, bundesweiter Standorte, Ernten und Qualitäten zur Mehltypen 997 vermahlen und in die Untersuchungen einbezogen werden.

Die für die Untersuchungen notwendigen Herstellungs- und Präparationsschritte, sowie mikroskopische, rheologische, sensorische und sonstige Untersuchungs- und Auswertemethoden, sollen entwickelt und entsprechend der Zielsetzung angewendet werden.

2.0 Grundlagen und wissenschaftlicher Kenntnisstand über den Rohstoff Roggengetreide, Mehlerstellung, Brotherstellung und die Frischhaltung von Roggenmehlbrot

2.1 Geschichtliche Entwicklung und Verbreitung des Roggens

Roggen ist nahezu ubiquitär verbreitet. Wildsorten finden sich in Russland ebenso wie in Marokko, in Südafrika und beispielsweise im Iran (Miedaner, S.8). Der in Europa angebaute Roggen entstammt ursprünglich aus der Region zwischen Euphrat und Tigris, einem Teil des fruchtbaren Halbmondes. Dort wurde er bereits um 8000 v. Chr. mit Weizen kultiviert. In seinem Jugendstadium ist Roggen, wie auch Hafer, nur schwer von Weizen und Gerste unterscheidbar. In der damals üblichen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsform wurde er neben Weizen und Gerste mit ausgesät und geerntet. Diese Mischform führte zwar nicht zu übermäßig großen Ernteerträgen, garantierte aber, aufgrund der Arten- und Sortenvielfalt, krankheits- und witterungsstabile Ernteergebnisse. Als Bestandteil dieser Saatmischung aus Getreidearten wanderte der Roggen nördlich entlang des Mittelmeeres nach Süd-, Mittel- und Nordeuropa. Ca. 1000 v. Chr. wurde er hier in Kultur genommen und stellt eine sekundäre Kulturpflanze dar. Die ältesten Roggenfunde in Deutschland stammen aus der Zeit von 1000 – 500 v. Chr. und finden sich in Westfalen und Thüringen. Roggen war im europäischen Raum für Slawen, Kelten und Germanen die am weitesten verbreitete Brotgetreideart (Seibel, 1988, S. 15). Ab ca. 1000 n. Chr. wurde der Anbau von Roggen stark intensiviert. Eine Ertragssteigerung wurde durch Winteranbau und 10-15-jährigen Dauerfeldanbau geschaffen (Körber-Grone, S. 42).

Der Anbau und seine Verwendung als Brotgetreide ist daher geschichtlich mit den Anbaubedingungen in diesen Gebieten begründet. Roggen ist unter den kultivierten Getreidearten diejenige mit den geringsten Standortansprüchen. Der Anbau von Roggen ist auch in kälterem Klima und auf kargen, sandigen Böden möglich, in denen andere Getreidearten auch bei fachgerechter Bewirtschaftung der Flächen keine oder nur geringe Erträge versprechen. Gründe dafür sind die natürliche Winterfestigkeit in frostharten Wintern gegenüber Weizen (Winterfeldfrucht) sowie die weit gründenden Wurzelsysteme des Roggens, die auch bei sandigen Böden und in Höhenlagen eine gute Versorgung der Pflanze mit Wasser und Nährstoffen gewährleisten (Szypa-Wolska, S.113 f). Es ist anzunehmen, dass sich der Roggen aufgrund dieser Klima- und Standortvorteile während des frühen Mittelalters allmählich von Jahr zu Jahr im Saatgut des Folgejahres anreicherte. In großen Teilen Deutschlands, wie beispielsweise den sandigen Böden Brandenburgs und Niedersachsens, oder auch Polens, der Ukraine, Skandinavien und in kargen Bergregionen stellt Roggen eines der wenigen ertragssicheren Agrarprodukte dieser Gebiete dar. Roggengetreide (*Secale cereale* L.) trägt hier, als landwirtschaftliches Grunderzeugnis, wesentlich zu einer stabilen Einkommenssicherung der Bevölkerung bei. Bis heute hat Roggen für die Bevölkerung dieser Regionen einen besonderen Stellenwert und leistet auch heute noch dort in der täglichen Ertrags- und Ernährungssicherung einen wesentlichen Beitrag. Betrachtet man die weltweite Produktion von Roggen, steht er aber an letzter Stelle der Weltgetreidearten (Tabelle 1).

Tabelle 1 :

Produktion der Getreidesorten im Jahr 2004 (Statistisches Jahrbuch für das Ausland, S. 299f)

	Reis	Mais	Weizen	Gerste	Hafer	Roggen
Weltweit	603368	724515	629873	153830	25828	17650

Angaben in 1000 t

Hauptanbauländer waren hierbei (vgl. Tabelle 1) Polen (4281), Deutschland (3830), die Russische Föderation (2872), Ukraine (1593) und Weißrussland (1397) (Angaben in 1000t). Somit erfolgt ca. 1/4-1/5 der Weltproduktion von Roggengetreide in Deutschland.

2.2 Rohstoffqualität : Roggengetreide

Roggen wird sowohl als Winter-, wie auch als Sommerfrucht angebaut. Der Anbau von Winterroggen überwiegt in Anbauflächen und Gesamtertrag. Sommerroggen wird zumeist nur auf Flächen angebaut, in denen aufgrund der Fruchtfolge, des Standortes und des späten Drillzeitpunktes (Aussaat), infolge des Erntezeitpunktes der Vorfrucht (z.B. Mais, Zuckerrübe), kein anderes Getreide angebaut werden kann. Winterroggen wird im September, Sommerroggen im November/Dezember gedrillt. Der Anbau von Sommerroggen spielt im konventionellen Anbau nur eine untergeordnete Rolle. Winterroggensorten sind entweder Populationssorten oder Hybridsorten, Sommerroggensorten stets Populationssorten. Der Ertrag pro Anbaufläche ist für Winterroggen höher als für Sommerroggen.

Die Roggenzüchtung verfolgt seit ihren frühesten Beginnen vor ca. 130 Jahren insbesondere die Ziele :

- a) Steigerung des Ertrages
- b) Erhöhung des Tausend-Korn-Gewichtes
- c) Verringerung von Auswuchs
- d) Reduktion des Mutterkornbefalls
- e) Erhöhung der Verkleisterungseigenschaften im Amylographen

Für den Anbau und die Gewinnung von Getreide werden zwei Typen der Getreidesorten allgemein unterschieden: Populationssorten und Hybridsorten. Populationssorten sind die klassischen Roggensorten, deren Erntegut potentiell neues Saatgut für die darauffolgende Ernte darstellt, während Hybridsaatgut jährlich neu beim Saatguthersteller generiert werden muss. Für die Sortentypen werden verschiedene Züchtungsverfahren angewendet (Miedaner, S.78, Erbe, S.68, Becker S. 10f).

Bei dem Verarbeitungswert einer Roggenpartie, in müllerei- und bäckerei-technologischer Sicht, spielte bis Mitte der 80er Jahre der Faktor Sorte eine wesentlich geringere Rolle als der Standort. Die bis zu diesem Zeitpunkt überwiegend

angebauten, offen bestäubenden Populationssorten, wiesen keine wesentlichen Unterschiede in ihren Verarbeitungsqualitäten auf.

1992 wurde das Bewertungsschema der Roggensorten des Bundessortenamtes erweitert. Zusätzlich wurden seitdem neben Ährenschieben, Reife und Pflanzenlänge, der Neigung zu Auswinterung, Lagerbildung und Halmknicken, den Krankheitsanfälligkeiten und Ertrageigenschaften, der Rohproteinwert, die maximale Viskosität im Amylogramm (ausgedrückt als Amylogramm-Einheiten) mit dazugehöriger Temperatur und die Fallzahl bestimmt (Bundessortenamt 1982, S 86, 1992, S. 104ff, 2000, S. 113ff, 2007 S. 60ff). Die Verkleisterung im Amylogramm soll modellhaft die Ofenphase beschreiben und deutet auf die Backqualität des Mehles/Schrotes hin. Die Populationssorte „Halo“ dient bei der Bewertung aller Sorten als Vergleichs- und Standardsorte, um sowohl lokale Unterschiede der Böden, wie auch jährliche Klimaunterschiede in Hinblick auf eine Vergleichbarkeit der Sortenernten, auszugleichen. Tabelle 2 und 3 zeigen exemplarisch geprüfte Winterroggensorten und das Beschreibungsschema für die Qualitätseigenschaften des Bundessortenamtes. Die Zahlenwerte der Tabelle 2 beschreiben den Grad der Eigenschaften nach Tabelle 3. Als Basisgröße (=100) wird die Populationssorte Halo definiert, die ebenfalls stets bei allen Anbauversuchen mit angebaut und geerntet wird und jeweils jährlich als Vergleich dient. Entsprechend werden die jeweiligen Einstufungswerte in Ausprägungsstufen, in relativ zur Vergleichssorte Halo sich ergebenden Einheiten, von 1-9 angegeben, wobei 1 niedrige Ausprägung und 9 hohe Ausprägung eines Merkmales nach Tabelle 3 bedeutet.

Tabelle 2: Vom Bundessortenamt zugelassene Roggensorten mit den jeweiligen Qualitätsbeschreibungen. P= Populationssorte, H= Hybridsorte; Zur Wertigkeit der Zahlenangaben s. Tabelle 3

Sorte	Korn- ertrag	Art		Eigenschaften			
		H	P	Fallzahl	Rohprotein	Viskosität im Verkleisterungs- maximum	Temperatur im Viskositäts-maximum
Winterroggen							
Amando	6	H		7	5	8	7
Amilo	4		P	8	6	6	8
Apart	7	H		6	4	4	4
Avanti	8	H		7	3	6	6
Borellus	4		P	6	6	5	5
Born	4		P	5	7	4	5
Canovus	5		P	5	6	4	4
Cilion	6		P	6	5	5	6
Clou	6	H		5	5	5	5
Danko	4		P	5	6	4	5
Dino	6	H		6	5	4	5
Esprit	7	H		7	5	6	6
Farino	8	H		7	3	9	5
Fernando	8	H		7	4	7	7
Gambit	6	H		4	5	5	4
Gamet	8	H		6	4	5	6
Goliath	7	H		7	4	9	6
Hacada	5		P	6	5	7	6
Halo	4		P	6	5	6	6
Locarno	7	H		6	5	8	6
Marlo	6	H		4	4	3	4
Nikita	5		P	6	6	4	6
Novus	7	H		5	5	4	6
Picasso	8	H		7	4	9	7
Ursus	8	H		6	3	6	5
Uso	7	H		6	4	4	6
Warko	5		P	5	6	5	6
Sommerroggen							
Ovid	6		P	5	9	3	4
Petka	5		P	5	9	3	4
Sorom	5		P	5	9	3	4

Tabelle 3: Beschreibungsschema für die Qualitätseigenschaften bei Roggen unter Einbeziehung der Sorte Vergleichssorte Halo (Bundessortenamt)

Eigenschaften	Ausprägungsstufen								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sehr niedrig	Sehr niedrig Bis niedrig	niedrig	Niedrig bis mittel	mittel	Mittel bis hoch	hoch	Hoch Bis sehr hoch	Sehr hoch
Fallzahl Halo = 100	< 46	46.0-57.9	58.0-69.9	70.0-81.9	82.0-93.9	HALO 94-105.9	106.0-117.9	118-129.9	> 129.9
Rohproteingehalt Halo = 100	< 86.0	86.0-89.9	90.0-93.9	94.0-97.9	HALO 98.0-101.9	102.0-105.9	106.0-109.9	110.0-113.9	> 113.9
Amylogramm: Viskosität im Verkleisterungsmaximum Halo = 100	< 46.0	46.0-57.9	58.0-69.9	70.0-81.9	82.0-93.9	HALO 94.0-105.9	106.0-117.9	118.0-129.9	> 129.9
Amylogramm: Temperatur im Verkleisterungsmaximum Halo = 100	< 91	91.0-92.9	93.0-94.9	95.0-96.9	97.0-98.9	HALO 99.0-100.9	101.0-102.9	103.0-104.9	> 104.9

Für Brotroggen werden keine dem Weizen analogen Qualitätsstufen vergeben. Die Qualitätsstufen des Weizens stehen in Bezug zum Proteingehalt, zur Kleberbildung und zum Backvolumen. Bei Weizen sind dies die Klassen:

E- Weizen (Eliteweizen, höchste Qualität)

A- Weizen (Aufmisch(Brot)weizen höherer Qualität als B-Weizen)

B- Weizen (normaler Brotweizen)

K- Weizen (Keksweizen)

C- Weizen (Futterweizen)

Dagegen stehen beim Roggen bei der Beurteilung der Backfähigkeit die Fallzahl und Amylogrammdata als Verkleisterungseigenschaften (s. Tabelle 3) der Gele im Vordergrund.

2.2.1 Roggengetreide: Auswuchs

Die seit dem Mittelalter, bis in unser Jahrhundert, übliche Erntetechnik führte oft zu sogenannten Auswucherscheinungen des Getreides. Während der Zeit der Gelbreife wurde das Getreide früher mit der Sense geschnitten und zum Trocknen und Abreifen des Getreidekornes auf dem Halm in Garben auf dem Feld zusammengestellt. Die Dauer der Trocknung auf dem Felde war vom Reifezustand des Getreides und von den Wetterverhältnissen abhängig. In feuchten Jahren war der geschnittene Roggen dabei von Anfang August bis Anfang September der Witterung ausgesetzt (Miedaner, S. 97). Reife Roggenkörner vermögen bei regenfeuchter und warmer Witterung, wie z.B. nach einem Sommergewitterschauer, schnell und ohne Keimruhe direkt auf dem Halm auszukeimen. Dieser Prozess des Auskeimens wird als „Auswuchs“ bezeichnet. Durch die Auswucherscheinungen bedingt, starten im Getreidekorn komplexe biochemische Mechanismen, was sich direkt auf die technologischen Eigenschaften der späteren Mehle und Schrote auswirkt (Seibel, Brümmer, Stephan 1983, S. 503). Insbesondere werden die Verkleisterungseigenschaften der Stärken hierdurch beeinflusst. Für die Herstellung von Roggenmehlbrot ist ein ausgewogener Gehalt an Amylasen wichtig; ist er zu hoch, kommt es zu einem Abbacken, ist er zu gering, resultieren dichte Porung und

entsprechende Lockerung daraus. Mit zunehmender Keimung steigt der Gehalt an korneigener α -Amylase im Getreidekorn, die dann entsprechend die im Korn enthaltene Stärke partiell abbaut. Auswuchsgeschädigte Roggenmehle zeichnen sich durch geringe Amylogrammwerte, Verkleisterungstemperaturen und Fallzahlen. Die Fallzahlen und Amylogrammwerte von auswuchsgeschädigtem Roggengetreide sind je nach Auswuchsgrad im Vergleich zu nicht ausgekeimtem Getreide geringer. Brote aus durch Kornauswuchs geschädigten Roggenmehlen der üblichen Type 997 besitzen eine unzureichende Krumenelastizität (Seibel 1983, S. 503).

Die Verkleisterungseigenschaften werden in der heutigen Praxis anhand von Fallzahlen (ICC 107/1) und Amylogrammdaten (ICC 126/1) bestimmt. Beide Methoden beschreiben allgemein den Auf- und Abbau aus einer in Wasser vorliegenden mehr oder minder verkleisterten Mehl- oder Schrotsuspension. Die Zahlenwerte bilden beim Roggengetreide die Grundlage der Bewertung der Backqualität und des Handelswertes.

Der Rohstoff Roggen hat sich in den letzten Dekaden gewandelt, insbesondere durch Zucht neuer Populations- und Hybridsorten. Das zur Roggenmehlherstellung von den Mühlen verarbeitete Roggengetreide weist heute stark geschädigtes Auswuchsgetreide, wie bis vor 20 – 30 Jahren noch üblich, seltener auf. Hierfür sind folgende Gründe zu nennen:

Zunächst wurden durch intensive züchterische Maßnahmen relativ auswuchsfeste Sorten erhalten. Desweiteren kann heute durch die moderne Erntetechnik während der Vollreife, innerhalb von ein bis zwei Wochen, die gesamte Roggenernte einer Region eingebracht, getrocknet und eingelagert werden. Nur bei anhaltender Feuchtigkeit während des Erntezeitraumes, dem Zeitpunkt der Vollreife des Getreides, kommt es nur lokal bedingt partiell zu Auswuchs.

2.2.2 Getreidereinigung und Mehlerstellung

Zu den Brotgetreiden zählt man die Getreidearten, aus deren Mahlerzeugnissen sich gelockerte Backwaren herstellen lassen (Dt. Lebensmittelbuch, S.295 f). Bei dem Anbau, der Ernte und dem Transport können unerwünschte fremde Beimengungen (Besatz) zwischen das Erntegut gelangen. Der Besatz macht, je nach Herkunft und Erntebedingungen, in der Regel 1-5% aus. Die Verunreinigungen aus beispielsweise Stroh, Mutterkorn, Getreideschädlingen, Erde, Steinchen, Eisenteilen und Fremdarten, wie Ackersenf und Kornrade, müssen vor der Vermahlung aus dem Getreide herausgereinigt werden. Nur gesundes und reines Getreide kann zu hochwertigen Lebensmitteln verarbeitet werden. Die Reinigung umfasst die Prozessstufen Schwarzreinigung und Weissreinigung (Gerecke 1970, S. 40ff). Die Reinigungsverfahren arbeiten dabei nach folgenden physikalischen Prinzipien: Magnetisierbarkeit, Dichtentrennung, Form- und Größentrennung und Trennung nach Farbe.

In der Schwarzreinigung werden neben groben Verunreinigungen wie Strohteile, Steine, kleine Erdklumpen und Metall auch Schmach-, Bruch- und Mutterkorn sowie Unkrautsamen, durch Schädlinge angefressene Körner und Schädlinge entfernt. Auch Auswuchs kann z.T. aufgrund des geringeren spezifischen Gewichtes als das voll entwickelte Roggenkörner entfernt werden.

Die Weissreinigung schließt Maschinen ein, die die Kornoberfläche u.a. von Staub und Schmutz reinigen soll.

Die Getreidekörner des gereinigten Getreides bestehen in ihrem Aufbau aus unterschiedlichen Geweben mit entsprechend unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung. Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau eines Getreidekornes (Heiss, S. 167).

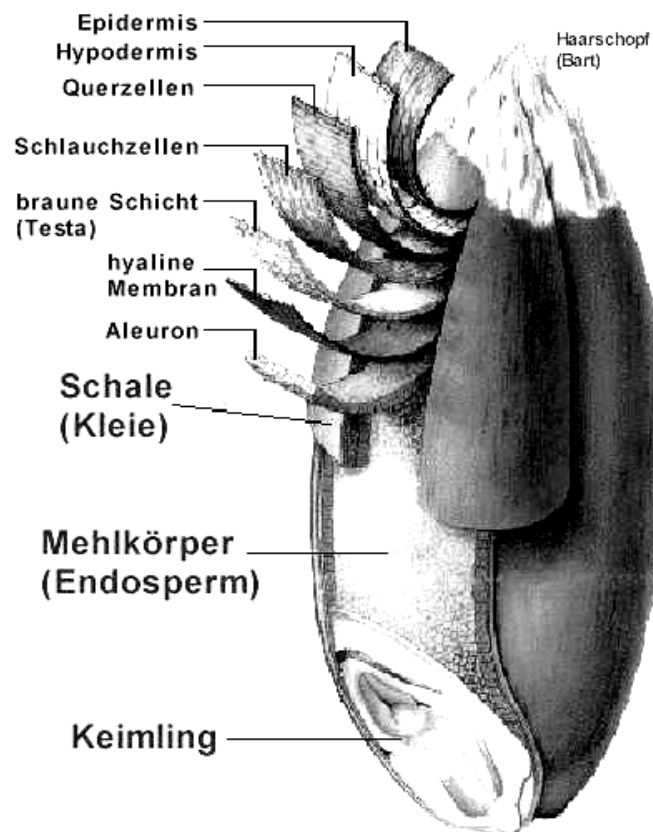


Abbildung 1: Schnitt durch ein Getreidekorn (Heiss, S. 167)

Zur Herstellung des Mehles wird das gereinigte Getreide in Walzenstühlen gemahlen. Ziel des Mahlens ist es, aus den Körnern ein feines und homogenes Mehl zu erzeugen. Während des Mahlens wird das Getreidekorn in abwechselnden Schritten zerkleinert, gröbere werden von feineren Bestandteilen auf Siebböden getrennt. Die jeweiligen Zerkleinerungsstufen sind nach Art und Größen charakterisiert. Dabei unterscheidet man während des Mahlprozesses in Schrotung, Auflösung und Ausmahlungstufen. Die erhaltenen Mahlprodukte können entsprechend ihrer Partikelgröße als Schrote ($> 500 \mu\text{m}$), Grieße ($> 250 \mu\text{m}$), Dunste ($80\text{-}300 \mu\text{m}$) und Mehle ($< 180 \mu\text{m}$) unterschieden werden. Abbildung 2 zeigt ein Beispiel eines Vermahlungsdiagramms für Roggen.

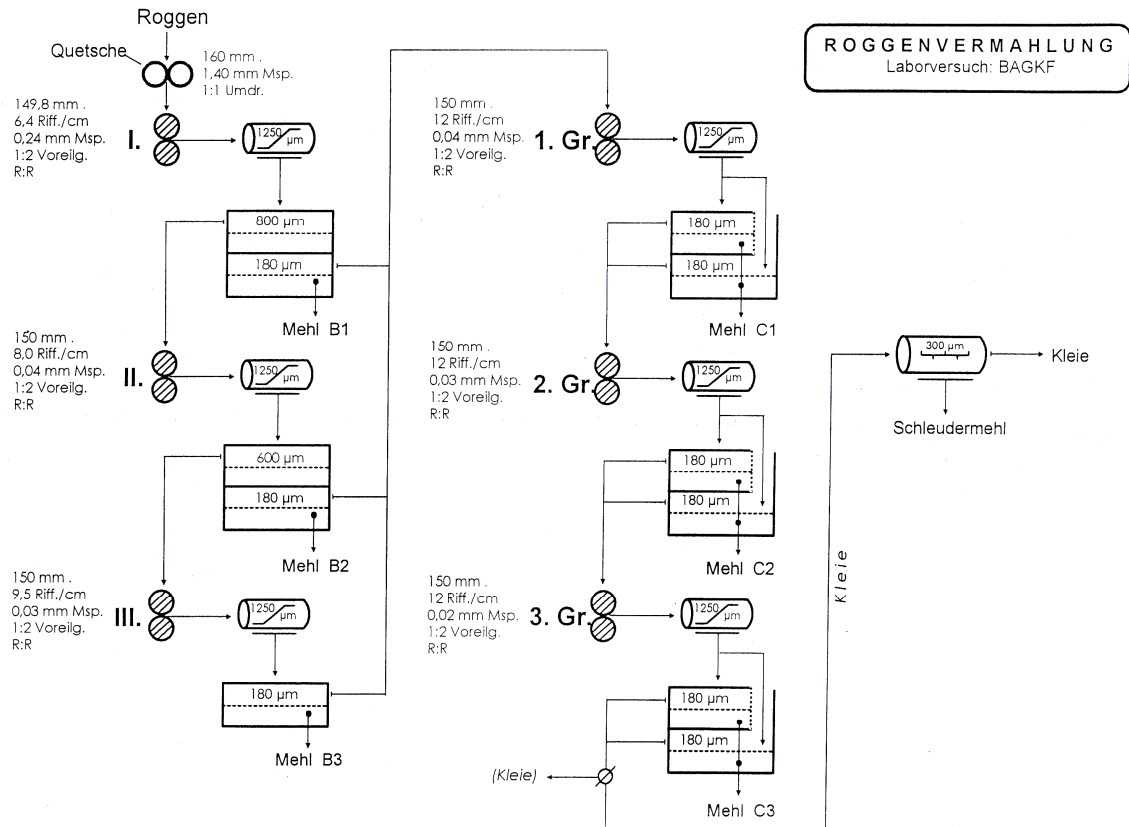


Abbildung 2: Mahldiagramm einer Roggenmühle (Max Rubner-Institut, Detmold)

Während der Schrotung wird vorzerkleinert, in der Auflösung wird die Kleie von den Grießen getrennt, während in der Ausmahlung Grieße und Dunste zu Mehl nachzerkleinert werden. Nach jedem Mahlschritt werden feinere von größeren Bestandteilen durch Absieben auf Siebböden voneinander getrennt. Die abgeseibten Fraktionen werden als Passagen bezeichnet und getrennt in Röhrensystemen in der Mühle transportiert. Je nach Zielvorgabe des Kunden werden die Passagen in unterschiedlichen Gehalten miteinander zum gewünschten Endprodukt „Mehl“ gemischt.

Zur besseren Trennung von der Kleie in der Auflösungsphase werden die Getreidekörner vor dem Mahlprozess mit Trinkwasser auf einen Wassergehalt von 14-16% konditioniert (Netzen). Ziel der Netzung ist es, den Kleieschichten eine höhere Zähigkeit zu geben, um die Rand- und Kleieschichten im Mahlprozess leichter von den anfallenden, trockenen und stärkereichen Endospermteilchen separieren zu können. Die während des Mahlprozesses zuerst anfallenden Passagen entstammen

der „trockenen“ Mitte des Endospermes. Das Getreidekorn wird, bildlich betrachtet, in der Zusammensetzung und Reihenfolge der abgeseibten Passagen „von innen nach außen“ gemahlen.

Die zunächst anfallenden Passagen des Endosperms sind stärkereiche Mehle geringer Aschegehalte. Der Kleieanteil, und damit der Aschegehalt, steigt mit den Mahlstufen an (s. Zusammensetzung der Mehle). Abschließend wird zusätzlich die Schrot- und Grießkleie in Kleieschleudern von anhaftenden Mehlpartikeln getrennt ($< 200 \mu\text{m}$), ggf. mehrmals nachzerkleinert und erneut geschleudert. Grobe Kleiepartikel der Kleieschleuder sind im späteren Mehl als dunkle Fragmente mit dem Auge erkennbar.

Neben der reinen stofflichen Zusammensetzung können sich durch Art und Wahl der Zerkleinerungsstufen in den Mahlstühlen (Walzenabstand, Riffelung) technologische Wirkungen in Hinblick auf die Eigenschaften der erzeugten Mehle erzielen lassen (38). Rohstoffschwankungen können zum Teil in der Mühle durch Wahl der Granulation technologisch ausgeglichen werden. So werden in Jahren mit Ernten hoher Fallzahlen die Mehle feiner, in Jahren mit überwiegend geringen Fallzahlen die Mehle eher gröber und „griffiger“ ausgemahlen. Die Art der Granulation beeinflusst die Wasseraufnahme (s. Wasserschüttung beim Teigmachen) und darüber auch indirekt die funktionelle Wirkung der korneigenen Enzyme im späteren Teigsystem (Brümmer, S.276 f).

Die von den Mühlen zu Mehl gemahlene Getreidepartien sind durch Handel, Lagerung im Landhandel und die Silohaltung in den Mühlen bedingt stets als Getreidemischungen unterschiedlicher Herkunft und Zusammensetzung. Auch werden in den Mühlen unterschiedliche Partien gezielt gemischt, um eine konstante Mehlqualität zu gewährleisten. Roggengetreide kann bis zu einem Anteil von 10 % Fremdgetreide, z.B. Weizen, für die Herstellung von Roggenmehl als reines Roggengetreide verwendet und vermarktet werden (Dt. Lebensmittelbuch, S. 299).

Der sich im Handel befindliche Roggen setzt sich somit aus Roggenpartien unterschiedlicher Hybrid- und Populationssorten, Standorte und möglichen Fremdgetreidebestandteilen zusammen. Dies muss bei der Wahl des zu untersuchenden Materials dieser Arbeit berücksichtigt werden.

2.3 Stoffliche Zusammensetzung der Mehle

Die stoffliche Zusammensetzung der erzeugten Mehle ist vom Ausmahlungsgrad und der Kombination der Passagenmehle beim Aufmischen zum Endmehl abhängig. Der Ausmahlungsgrad bezeichnet die Menge an Mehl, die entsteht, wenn 100 kg Getreide zu einem speziellen Mehl vermahlen werden. Allgemein steigt mit dem Ausmahlungsgrad der Anteil an Randschichtbereichen des Kornes im Mehl. Die Anzahl der Passagen hängt vom Aufbau und der Anzahl der Zerkleinerungsstufen und Siebböden in der jeweiligen Roggenmühle ab. Folgendes exemplarisches Tabellenbeispiel zeigt den Anfall der in einer Roggenmühle erhaltenen fünf Schrotpassagen (S1-S5), vier Grießpassagen (G1-G4), Kleie, Mehl der Type 997 (Ausmahlungsgrad 86%) und Roggenvollkorn, sowie die stoffliche Zusammensetzung der Passagen (Gebhardt, S. 704).

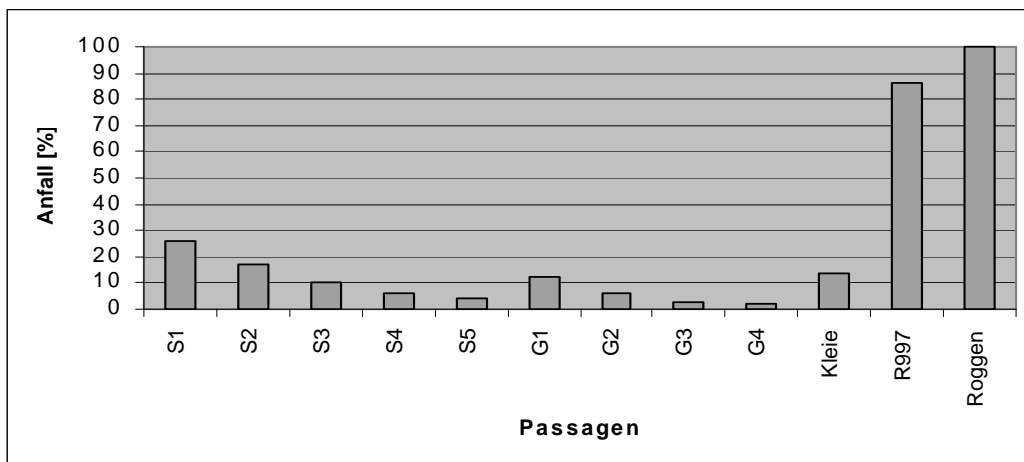


Abbildung 3: Mengenverteilung der anfallenden Passagenmehle

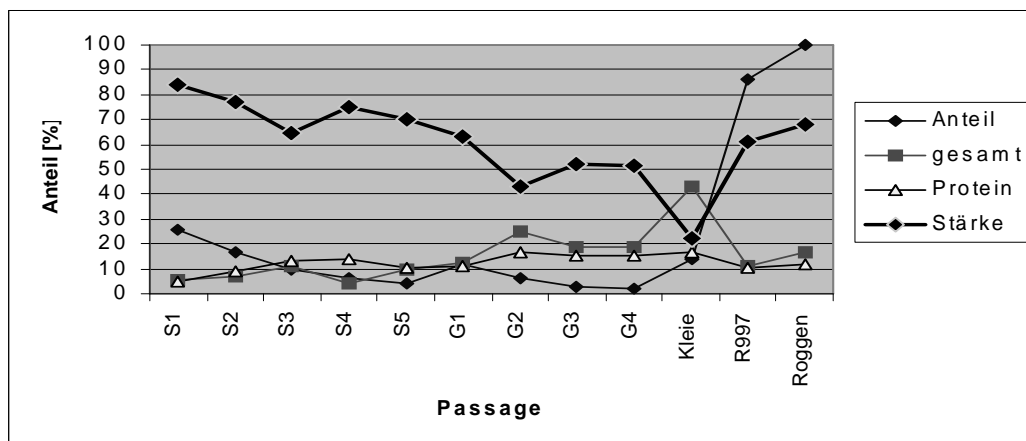


Abbildung 4: Stoffliche Zusammensetzung von Passagenmehlen

Von den Mühlen werden neben kundenspezifischen Mehlen für spezielle Anwendungen aus Roggen allgemein definierte Typenmehle hergestellt. Bei der Einstufung der Mehle in Typenmehle wird als Kriterium der Asche/Mineralstoffgehalt genutzt. Die Mehltypen sind in der DIN 10 355 festgelegt als:

$$\text{Mehltypen} = \text{Aschegehalt (Gew. \% i.Tr.)} \times 1000$$

Der Aschegehalt ist definiert als diejenige Menge an Mineralstoffen, die, bei Anwendung des beschriebenen Arbeitsverfahrens, als unverbrennbarer Rückstand der Untersuchungssubstanz anfällt. Da der Mineralstoffgehalt auf die Trockensubstanz der Probe bezogen wird, muss in einer weiteren Untersuchung der Feuchtigkeitsgehalt der Mehlprobe bestimmt werden.

Je höher die Mehltypen eines Mehles ist, umso größer ist der Aschegehalt dieses Mehles. Durch den höheren Mineralstoffgehalt der Randschichtbereiche des Getreidekornes bedingt, resultiert bei höheren Mehltypen auch ein höherer Ausmahlungsgrad, da mehr Anteile des Kornes (Randschichten) im Endmehl enthalten sind.

Neben dem Mineralstoffgehalt steigt mit dem Ausmahlungsgrad und der entsprechenden Mehltypen der Anteil löslicher und unlöslicher Pentosane, Proteine, korneigener Enzyme und Vitamine an. Diese Korninhaltsstoffe sind in den äußeren Randschichtbereichen in höheren Konzentrationen vertreten als im Endosperm.

Tabelle 5 zeigt die mittlere Zusammensetzung von Roggen- Typenmehlen.

Tabelle 4 gibt die durchschnittliche stoffliche Zusammensetzung von Roggenkörnern (Vollkorn) wieder, aus denen Mehle der Zusammensetzung nach Tabelle 5 hergestellt werden können.

Tabelle 4: Durchschnittliche Zusammensetzung von Roggengetreide (Souci-Fachmann-Kraut, S.563)

Bestandteil	Durchschnittlicher Gehalt in % i.Tr.
Wasser	13,7
Protein (N x 6,25)	9,51
Lipide	1,7
Verwertbare Kohlenhydrate	60,7
Ballaststoffe	13,2
Mineralstoffe	1,9

Tabelle 5: Durchschnittliche Zusammensetzung von Typenmehlen (Souci-Fachmann-Kraut, S. 565ff)

Mehltype	815	997	1150	1370	1740
Ausmahlungsgrad [%]	69-72	75-78	79-83	84-87	90-95
Stärke [%]	77,5	74,6	72,2	69,3	62,8
Protein (N x 6.25) [%]	9,6	10,1	10,6	11,2	12,4
Lipidgehalt [%]	-	1,1	1,3	1,5	1,5
Unlösliche Pentosane [%]	3,8	4,3	4,8	5,2	6,5
Lösliche Pentosane [%]	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9
Mineralstoffe (Asche) nach DIN 10355	≤ 0,90	0,91-1,10	1,11-1,30	1,31-1,60	1,61-1,80

Durch die gezielte Mischung von Passagen und Schleudermehlen unterschiedlicher Mineralstoffgehalte können Typenmehle verschiedener ernährungsphysiologischer und backtechnischer Eigenschaften hergestellt werden. Durch die Erhöhung des Anteiles der Kleieschichten, und damit des Ballaststoffgehaltes, lassen sich ferner ernährungsphysiologische Wirkungen erzielen (Wolf, S. 58, Adlercreutz et al, S. 331f Slavin, S.14f).

2.4 Grundlagen der Teig- und Brottechnologie zur Herstellung von Roggenmehlbrot nach der Detmolder- Einstufen- Führung

Brot ist gemäß den Leitsätzen des dt. Lebensmittelbuches wie folgt definiert:

„Brot wird ganz oder teilweise aus Getreide und/oder Getreiderzeugnissen, meist nach Zugabe von Flüssigkeit, sowie von anderen Lebensmitteln (z.B. Leguminosen-, Kartoffelerzeugnisse) in der Regel durch Kneten, Formen, Lockern, Backen oder Heissextrusion des Brotteiges hergestellt. Brot enthält weniger als 10 Gewichtsteile Fett und/oder Zuckerarten auf 90 Teile Getreideerzeugnisse.“

Die Herstellung von Roggenmehlbrot nach der Detmolder Einstufenführung kann in drei Produktionsschritte unterteilt werden (Brandt, Gänzle, Spicher S.251). Im ersten Produktionsschritt wird aus den Zutaten ein Teig bereitet. Dieser reift im zweiten Abschnitt, der Fermentation oder Gare. Abgeschlossen wird die Herstellung des Brotes durch die strukturellen und stofflichen Veränderungen aufgrund der Ofenhitze während des dritten Abschnittes, der Backphase im Ofen.

Bei der Herstellung des Roggenmehlteiges steht für die Bäckereipraxis eine große Vielfalt unterschiedlicher Teigführungsarten zur Verfügung. Allgemein ist die Verwendung eines Säuerungsmittels, zugegeben als Backmittel oder durch Verwendung von Sauerteig, üblich, technologisch durch innovative Mehlbehandlung denkbar. Möglich ist aber auch eine Teig- und Brotherstellung ohne Säurezugabe (Bauermann, Schneeweiß, S.106).

Als künstliche Teigsäuerungsmittel können beispielsweise organische Säuren, wie Milch-, Essig-, Wein-, oder Citronensäure, eingesetzt werden. Sauerteigführungen erzeugen aufgrund der durch die im Sauerteig enthaltene Mikroflora gebildeten Aromaprecursoren im Vergleich zu Säuerungsmitteln ein ausgewogeneres Aroma der fertigen Brote (Ulrichs, S. 149). Für den breiten Einsatz in der Praxis wurde als einfache Sauerteigführung mit Mikroorganismen die Detmolder-Einstufen-Führung entwickelt, der auch als Standard Backversuch genutzt werden kann (Seibel, Brümmer Stephan 1983, S. 349; Seibel 1998, S. 94). Diese einstufige Führung hat

gegenüber mehrstufigen Führungsarten insbesondere innerbetrieblich-logistische, Zeit-, Qualitätssicherungs- und Produktsicherheits-vorteile. Zum einen kann sie über Nacht geführt werden, bei relativ flexibler Aufarbeitungszeit (15-24 h). Weiterhin kann sie für die Herstellung verschiedener Brotsorten genutzt werden. Aufgrund der einfachen und sicheren Stufenführung stellt sie die Grundlage des Sauerteig-Standard- Backversuches dar.

Zur Roggenmehlbrot herstellung in den Backversuchen nach der Detmolder-Einstufen- Führung wird zunächst ein Teig aus Roggenmehl, Wasser, Salz, Hefe und Sauerteig bereitet, wobei die Säure die Backeigenschaften des Teiges prägt (Brandt, Gänzle, Spicher, S. 191). Der Backversuch dient als praxisnaher Versuch zur Beurteilung der Backfähigkeit und Backeigenschaften von Roggenmehlen der Type 997 (Seibel 1983, S. 349). Dazu werden die zu untersuchenden Mehle unter standardisierten Bedingungen zu freigeschobenen Broten verbacken und in ihren Backergebnissen miteinander verglichen. Hierbei wird mit einem konstanten Versäuerungsgrad von 30 % des Mehles gearbeitet. Bei einem Versäuerungsgrad von 30% werden 30 Gew.% des zu verbackenden Mehles vor der Teigbereitung versäuert.

Während der Ofenphase durchläuft das Teigstück verschiedene Veränderungen. Nach dem Schieben der Teiglinge und Schliessen der Ofenkammer wirkt innerhalb 60 s die heiße Schwadengabe im Ofen auf den anfangs ca. 30° C warmen Teigling. Auf der Oberfläche des Teiglings im 240° C heißen Ofen kondensiert Wasserdampf, der zu einem direkten Wärmeübertrag führt. Es kommt zu einer Verkleisterung und Proteindenaturierung innerhalb der äußersten Randschichten des Teigstücks unter Bildung einer lederartigen Haut. Nach 60 s Schwadengabe wird durch Ziehen des Zuges die wasserdampfgesättigte Ofenatmosphäre entfernt und die Ofenhitze wirkt direkt auf den Teigling ein. Die lederartige Hülle wird durch den steten Wasserverlust und die unmittelbare einwirkende Ofenhitze während der Backzeit von insgesamt 60 Minuten zur röschen Kruste. Durch die ständige Hitzeeinwirkung im Ofen auf den Teigling dringt die Hitze von allen Seiten zur Mitte des Brotes vor. Dabei werden Temperaturen zwischen 30° C und ca. 100° C durchlaufen.

Die folgende Abbildung 5 zeigt den zeitlichen Temperaturanstieg in unterschiedlichen Krumezonen (Heiss, S. 218).

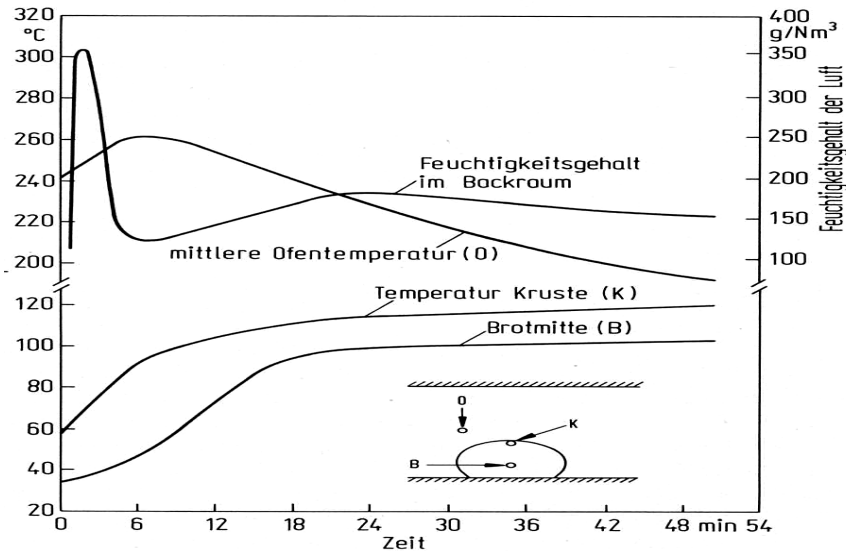


Abbildung 5: Temperaturverlauf im Backversuch bei einem freigeschobenen Brot (Heiss, S. 218)

2.5 Grundlagen und wissenschaftlicher Kenntnisstand über die Frischhaltung von Backwaren

Die Begriffe „Frischhaltung“ und „Frischhaltungsmängel“ sind allgemein nicht näher definiert. In Bezug auf das allgemeine Verständnis von Brotfrischhaltung können die Begriffe in drei unterschiedlichen Obergruppen differenziert werden:

- a) Aroma(-verluste)
- b) Sensorisch erkennbare Veränderungen der Textur (Verfestigung, Austrocknung)
- c) Mikrobieller Verderb

Nach dem Backen allgemein und während der Lagerung kann es relativ schnell zu Aromaverlusten, z.B. dem Verlust der Rösche und des Aromas von Weizenbrötchen, kommen. Gründe hierfür sind der Verlust der typischen, leichtflüchtigen Aromastoffe durch die Kruste. Auch eine Bindung an Matrixbestandteile des Brotes ist möglich. Dies mag die Aromaverluste gelagerter, eingeschweißter Brote erklären.

Durch die hohen Gehalte an Wasser, Proteinen und verkleisterter Stärken ist Brot ein willkommener Nährboden für Pilze. Schimmelpilze siedeln sich insbesondere an Schnittflächen schnell an und wachsen binnen kurzer Zeit zu sichtbaren Kolonien heran. Auch kann das Brot durch sporenbildende und fadenziehende Bakterien (*Bacillus subtilis*) binnen kurzer Zeit verderben (Röcken, S. 30).

Neben diesen exemplarisch genannten Veränderungen des Frischezustandes durch Aromaverluste und mikrobiellen Verderb sollen im weiteren insbesondere die Veränderungen textureller Art betrachtet werden. Diese Veränderungen finden sich im Verständnis allgemein eher im Begriff „altbacken“ wieder. Durch die Lagerung der Backwaren verändern sich mit der Lagerzeit unter normalen Bedingungen die Festigkeiten der Backwaren. Brote verlieren dabei die Knusprigkeit der Kruste: Diese wird zunehmend zäher, während die Krume von ihrem weichen, saftigen Zustand direkt nach dem Backen in einen festen und trockenen, in seiner Summe allgemein nicht favorisierten Zustand, übergeht.

Um Lebensmittel mit hohem Genusswert zu erhalten, wurden hierzu über die Jahrtausende unterschiedliche Strategien entwickelt. Die Brote wurden entweder gebacken und frisch verzehrt, in dünnen Fladen gebacken und getrocknet (z.B. Knäckebrot), oder vor dem Verzehr kurz aufgebacken/geröstet (heute: z.B. Toast). Gealtertes Brot kann durch Aufbacken nur bedingt in seinem Aroma und seinen sensorischen Eigenschaften wieder an den Zustand frischen Brotes herangeführt werden. Die getrockneten Fladenbrote geringen Wassergehaltes konnten direkt verzehrt (Vorläufer von Knäckebrot und Zwieback), oder vor dem Verzehr mit Wasser zu einem Brei gekocht werden. Letztere Variante findet sich beispielsweise noch heute in einigen Alpenregionen wieder, wobei durch Zugabe von Wildkräutern und Aufbewahrung in speziellen Trockenräumen in der Höhenluft der Alpen die unter den Punkten a und b genannten Frischhalteprobleme umgangen werden.

Altet Brot, so kommt es zu Veränderungen der Brotstrukturen. Die Kruste wird zäher, die Krume wird zunehmend bröckeliger, fester und scheinbar trockener. Für die Gründe dieser Art der Alterung von Brot („Altbacken“) wurden im Laufe der Zeit zahlreiche Modelle entwickelt. Diese Modelle basieren fast gänzlich auf Brotsystemen

aus Weizen, wobei Roggenbrotsysteme kaum Berücksichtigung finden. Dies ist insbesondere mit der weltweiten Focussierung auf Weizen begründet.

Weizen- und Roggenbrot besteht zu einem Großteil aus Stärke (ca. 75% TM der Roggenmehltype 997 (Souci-Fachmann-Kraut, S.567) und es ist daher begreiflich, dass diese hauptverantwortlich für die Alterung von Broten allgemein gemacht wird. Mit zunehmenden Verständnis des Aufbaus und der Feinstrukturen von Stärke konzentrierten sich die Modelle auf die Veränderungen, die Stärke während der Lagerung erfährt. Ein Überblick über einige Modelle der Brotalterung ist im Folgenden kurz dargestellt. Die allgemein an Weizenstärken erstellten Modelle sind hierbei in der Reihenfolge ihrer Entstehung aufgeführt. Für Roggenmehlbrote können die Modelle teilweise adaptiert werden. Die Reihenfolge der nun folgenden Modelle ist aufgrund ihrer historischen Entstehung gewählt.

2.5.1 Wasserverlust und Brotalterung – J.B. Boussingault (1852)

Die Alterung des Brotes wurde zunächst als ein reiner Wasserverlust durch Austrocknung des Brotes angesehen. Diese These wurde 1852 von Boussingault widerlegt. Er lagerte frisches Brot verschlossen unter Glas und bestimmte nach unterschiedlichen Lagerzeiten die sensorische Festigkeit und gravimetrisch die Wassergehalte der jeweiligen Brote. Als Ergebnis fand er, dass der Wassergehalt trotz zunehmender Alterung (Verfestigung der Krume) im Brot konstant blieb. Eine Abnahme des Wassergehaltes gelagerten Brotes wurde von ihm demzufolge nicht als Ursache der Alterung von Broten angesehen.

Unberücksichtigt bleibt in diesem Modell der Einfluss von Wasser auf die Krumenweichheit der Roggenbrotkrume. Die endgültige Festigkeit der Brotkrume wird durch den weichmachenden Effekt von Wasser mitbestimmt (Biliaderis, S. 57f). Die in der Brotkrume enthaltene Feuchtigkeit beeinflusst dabei auch die Alterungsrate in Bezug auf die Krumenverfestigung (Rogers, Zeleznak, Hosney, S. 398; He, S. 604). Eine Verbesserung der Frischhaltung von Backwaren soll daher auch durch eine Erhöhung der Wasserschüttung und der Teigausbeute erreicht

werden können (Cauvain, S. 96). Dabei ist die Zugussmenge an Wasser aufgrund der hieraus unmittelbar resultierenden Abnahme der Teigviskosität begrenzt. Wird zuviel Wasser einem Teig zugeführt, so zerfließt der Teigling und es entstehen im Backergebnis flachere Gebäcke. In gewissen Mengen kann durch Zugabe von Hydrokolloiden (z.B. Guarkernmehl, Johannisbrotkernmehl) oder Quellmehlen das freie Wasser innerhalb des Teiges und des sich bildenden Brotes „fixiert“ werden (Mettler, S. 112, Morgenstern, S. 30). Ferner sollen durch Zugabe von Restbrot, das bereits verkleisterte Stärke enthält, die Teigausbeute, der Wassergehalt im Brot und die Frischhaltung erhöht werden können (Brümmer, Morgenstern, S. 42). Weiterhin sollen durch Verwendung von wasserbindenden Fasern die Frischeigenschaften beeinflusst werden können (Kieffer, 2002). Die Erhöhung der Teigausbeute und Wassermenge im Brot können auch durch innovative Attritionsvermahlung erhöht werden (Bode, S.272).

2.5.2 Alterung von Stärke nach J.R. Katz (1928)

J.R. Katz beschäftigte sich Anfang des 20. Jahrhunderts mit der Beugung von Röntgenstrahlen an Stärke und Stärkeisolaten. Er schloss auf einen Zusammenhang zwischen den Änderungen der Röntgenbeugungsmuster frischer und gelagerter Stärkeisolate und der zeitgleichen Alterung von ehemals frischen Broten. Während der Lagerung von Brot konnte von Katz mit steigender Lagerzeit zudem weniger lösliche Stärke aus der Brotkrume isoliert (Wasser, 30° C) werden. Dies war für Katz neben der Verfestigung der Krume ein Kriterium der Brotalterung. Zeitgleich mit einer Abnahme dieser Stärkelöslichkeit änderten sich auch die von ihm beobachteten Röntgenbeugungsspektren der präparierten Stärkeisolate. Während der Lagerung der Präparate organisierte sich die räumliche Struktur auf molekularer Basis unter Bildung „kristalliner“ Bereiche, was zu einer Veränderung der Röntgenbeugung führte. Diese zeitlichen Veränderungen der verkleisterten Stärken und der Abnahme der Stärkelöslichkeit aus der Brotkrume waren für Katz die Ursachen der Brotalterung (Katz 1928, Katz 1930, Katz 1934). Dieses Modell der Änderungen der Stärkeeigenschaften kann auch für Roggen angewendet werden.

2.5.3 Modell der Stärkealterung nach T.J. Schoch und D. French (1947)

T.J. Schoch und D. French isolierten aus Stärke die Komponenten Amylose und Amylopektin und untersuchten diese Isolate. Sie schlossen aus ihren Untersuchungen, dass die verzweigten Amylopektinmoleküle während der Alterung zunehmend in ihren Seitenketten aggregieren und dadurch eine Steigerung der Krumenverfestigung bewirken (Schoch, French, S. 248). Die lösliche Amylosefraktion ist in diesem Modell der Krumenverfestigung nicht berücksichtigt, da diese nach Schoch und French bereits beim Abkühlen direkt beim Backen aggregierte und damit für die weitere Alterung nicht verantwortlich sein kann. Grafisch lässt sich das Modell von Schoch und French folgendermaßen darstellen und beschreiben (Abbildung 6):

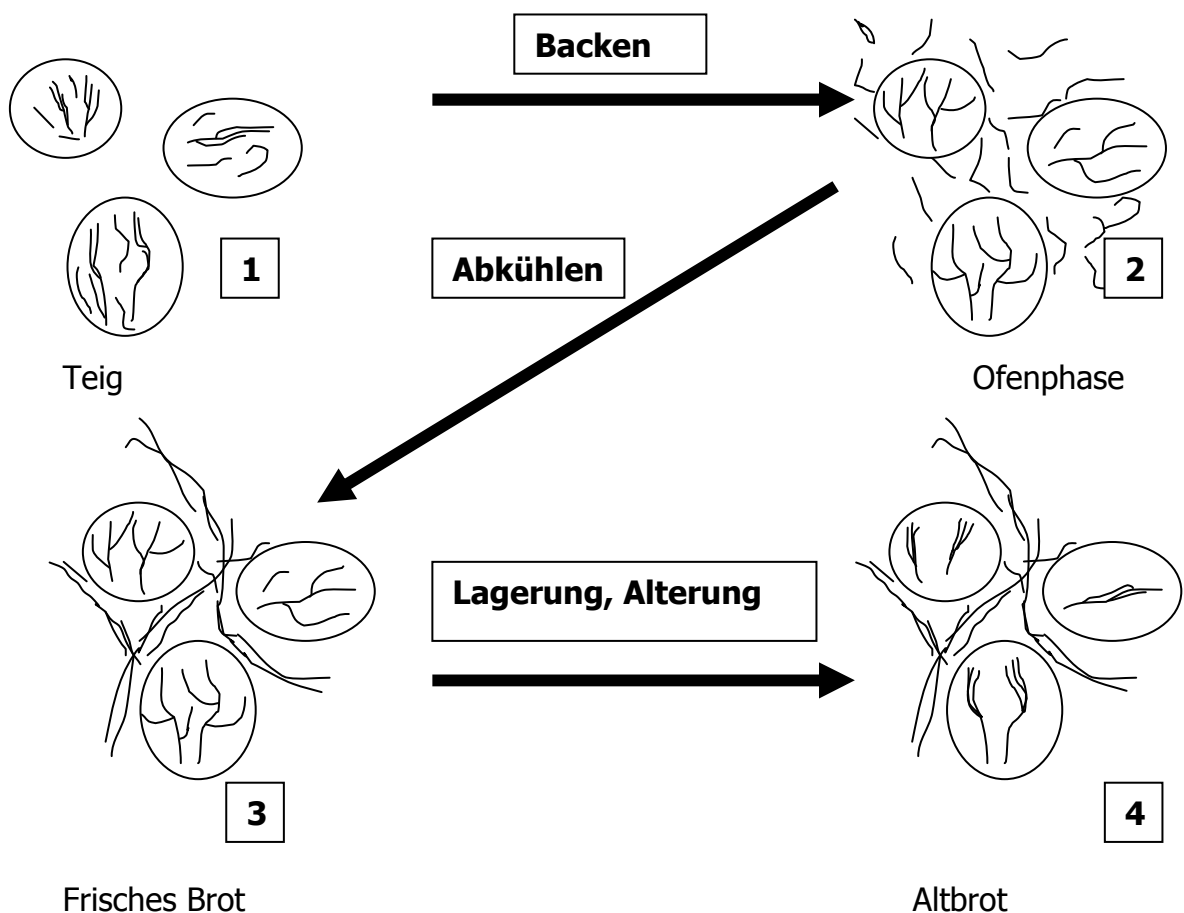


Abbildung 6 : Modell der Alterung nach Schoch und French

Innerhalb des Teiges liegen die Stärkekörner vor dem Backen in unterschiedlichen Größen vor (1). Innerhalb der Stärkekörner befinden sich 2 Stärkefraktionen. Eine lösliche Fraktion, die aus dem Korn während der Erhitzung im Ofen aus dem Korn austritt und eine weitere unlösliche Fraktion, die nach dem Backen im Stärkekorn zurückbleibt (2). Beim Abkühlen des gebackenen Teiges aggregiert unmittelbar die während des Backens zwischen die Stärkekörner ausgetretene Amylose (3), wobei das Amylopektin in den Stärkekörnern in verkleisterter Form zurückbleibt. Während der Lagerung bei Raumtemperatur reorganisiert sich zunehmend die in den Stärkekörnern enthaltene Amylopektinfraktion (4), was eine Zunahme der Festigkeit während der weiteren Lagerung des Brotes bewirken soll. Dieses Modell ist aufgrund der ähnlichen Stärkegehalte von Weizen und Roggen auch auf Roggensysteme übertragbar.

2.5.4 Modell der Brotalterung nach M.I. Knjaginichev (1965)

1965 wurde von M.I. Knjaginichev ein weiteres Modell der Brotalterung vorgestellt. Es berücksichtigt die Krumenbestandteile Stärke, Protein und Wasser. In diesem Modell bestehen die Porenwände des Brotes aus Stärke und denaturierten Proteinen, in denen sich Wasser zwischen Proteinen und teilweise gequollener Stärke befindet. Frisches Brot wird als gequollenes, amorphes und elastisches Gel betrachtet. Während der Lagerung bildet die verkleisterte Stärke allgemein mit ihren flexiblen (Seiten-)Ketten ein festes dreidimensionales Netzwerk, das durch intermolekulare van der Waals Kräfte zusammengehalten wird. Zunehmende dreidimensionale Verknüpfung der Stärke und des Wassers macht die Verfestigung der Krume aus (Knjaginicev, S. 443). Hierbei wird im Gegensatz zu dem Modell von Schoch und French die gesamte Stärke, sowie die Strukturierung des Wassers in die Betrachtung der Alterung der Brotkrume einbezogen. Die Elastizität der denaturierten Proteine soll keinen Einfluss auf die Alterung haben, da diese beim Altbackenwerden und Auffrischen durch erneutes Aufbacken konstant bleibt. Das sich zwischen den Proteinen und Stärkemolekülen befindliche Wasser soll sich ebenfalls während der Lagerung aufgrund der Polarität und Ladung der Wassermoleküle strukturieren. In dem spekulativen Ansatz der Hypothese sollen durch die Ladung jeden

Wassermoleküles max. 4 weitere Umgebungsmoleküle aus Wasser zu Aggregaten à 5 Molekülen gebunden werden. Diese Aggregate bilden ein hexagonales Kristallgitter aus, dessen Typus während der Lagerung von der des hexagonalen Gitters in ein tetragonales Gitter übergehen soll.

Kommt es nach dem Backen und Lagern zu einer erneuten Erhitzung (Aufbacken), so lösen sich die entstandenen Verknüpfungspunkte der Stärken und die des Wassers wieder. Dies soll zu der Auffrischung von gealtertem Brot durch Aufbacken führen und diese erklären. Die folgende Abbildung 7 mit Teilabbildungen 7A-7D sollen dieses Modell grafisch erläutern.

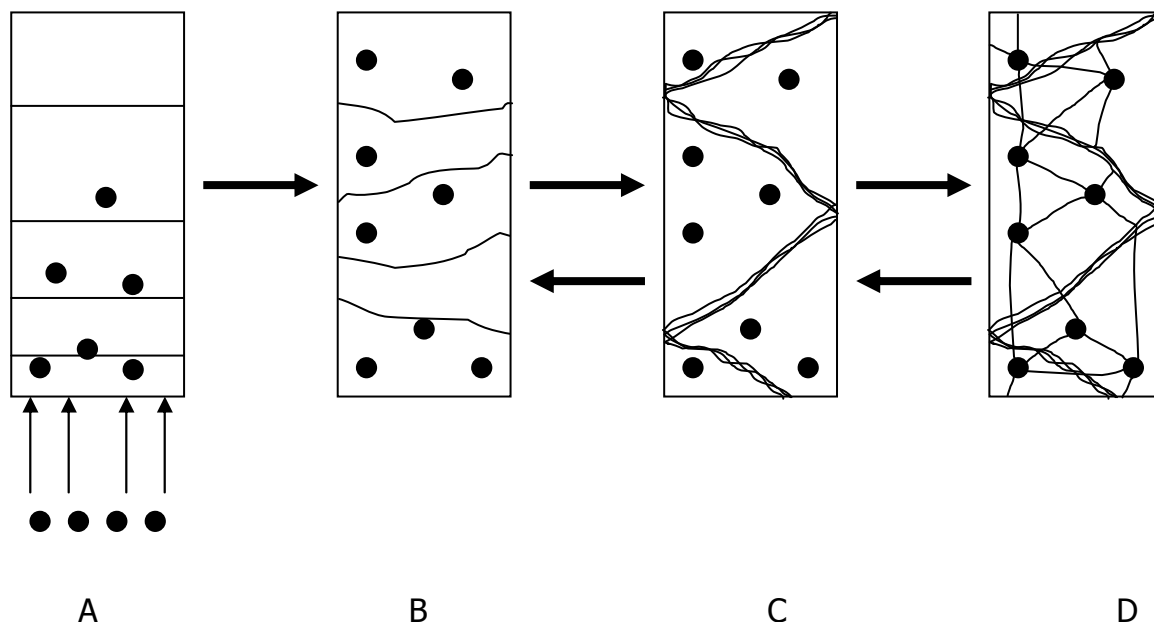


Abbildung 7: Modell von Knyaginichev

Während der Teigbereitung (A) wird Wasser (●) zum Mehl gegeben und verteilt sich in dem Teig. Durch die Ofenhitze kommt es zu einer Denaturierung von Proteinen und einer Verkleisterung der Stärke (B). Während der Lagerung verknüpft sich zunehmend die „Stärke“ mit ihren (Seiten)ketten (C), während in der späteren Phase der Lagerung auch das Wasser in organisierten Strukturen auftritt (D). Das Wasser wird aufgrund seiner Ladung innerhalb des Moleküles in dieser organisierten Form gebunden. Die Phasen B, C und D sind durch Hitze ineinander überführbar (untere Pfeile), was die Alterung hierdurch als reversiblen Prozess erklärt (Knyaginichev, S. 443). Auch dieses Modell kann auf Roggen aufgrund ähnlicher Zusammenhänge angewendet werden.

2.5.5 Modell nach S. R. Erlander und L. G. Erlander (1969)

Erlander und Erlander beschreiben die Alterung der Brotkrume als eine Bildung von Stärkeaggregaten aus Amylose und insbesondere Amylopektin. Beide Stärkepolymere werden in diesem Modell berücksichtigt. Die Retrogradation der Amylose ist nach Erlander bereits während der Abkühlungsphase nach dem Backen erfolgt, während das Amylopektin für die weitere Alterung in Bezug zu einer strukturellen Verfestigung hauptverantwortlich ist (Erlander, S. 305). Der Prozess der dreidimensionalen Verknüpfung der Stärkemoleküle soll hierbei durch Komplexbildung verhindert werden können. Eine Komplexbildung mit Alkohol, Lipiden oder Proteinen ist nach Erlander möglich (Erlander, S. 306). Während der Gare entstandener Ethanol soll einen stabilisierenden Komplex mit der Stärke bilden können, der die Alterung verhindert. Ein Verlust von Ethanol nach dem Backen durch Verdampfen durch die Oberfläche/Kruste führt nach Erlander zu einer Zerstörung der stabilisierten Stärke-Ethanol-Komplexe und leitet die Retrogradation der Stärke ein. Die Wirkung von Proteinen auf die Alterung wird ebenfalls durch Komplexbildung begründet. Durch Wasserstoff-Brücken-Bindung (WBB) von Proteinen an Stärke kann es zur Bildung von Protein-Stärke-Komplexen kommen. Diese Komplexe wirken aufgrund ihres räumlichen Aufbaus einer voranschreitenden Perfektionierung der Stärkeaggregation unter Bildung von Amylose/Amylopektin-Helices in Netzwerken und kristallinen Bereichen entgegen. Die Komplexbildung soll hierbei über WBB zwischen der C2 und C3 Hydroxylgruppe der Glucoseeinheiten des Amylopektins mit Amidgruppen des Lysins oder Glytamins erfolgen (s. Abbildungen 8 und 9). Folgendes molekulare Strukturprinzip liegt diesem Modell zugrunde :

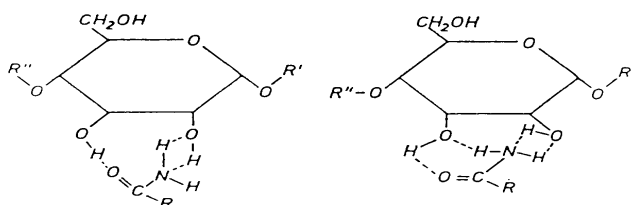


Abbildung 8: Komplexbildung von Stärken (Amylopektin) durch Proteine (Lysin-, Glutaminreste) (Erlander)

Durch die Komplexbildung soll es nach Erländer zu einer stabilisierten Krumenstruktur kommen. Diese Struktur ist räumlich größer und labiler als eine Vergleichsstruktur aus gealtertem und in seiner Struktur durch Stärke-Stärke Aggregation verfestigten Brotes (Abbildung 9).

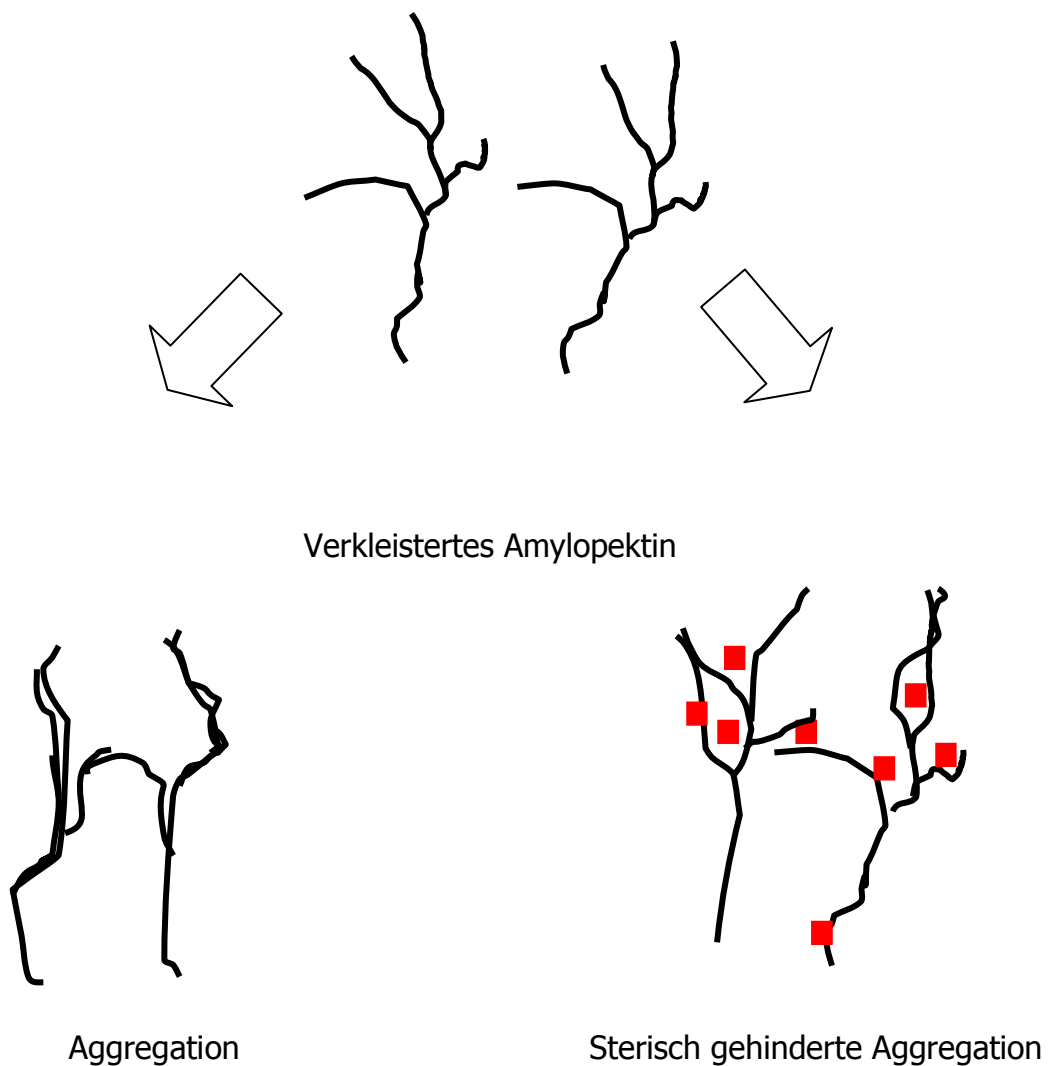


Abbildung 9 : Bildung von Stärkeaggregaten (Amylopektin) während der Lagerung
(Erläuterungen der Störstellen (Quadrate): s.Text)

2.5.6 Modell der Brotalterung nach E. M. A. Willhoft (1971)

Willhoft und Mitarbeiter beziehen, in Erweiterung des Modells nach Knyaginichev, neben der Stärke den Einfluss von Gluten (Weizen) auf die Alterung ein. Die Alterung der Brotkrume wird als komplexer Prozess angesehen, in dem Stärke, Protein und Wasser direkt und indirekt interagieren. In ihrem Modell der Alterung der Brotkrume kommt es neben der Bildung von kristallinen Bereichen innerhalb der Stärke zu einer Umlagerung und Wanderung von Wasser während der Alterung in Richtung stärkereicher Regionen innerhalb der Krume (Willhoft, S. 178). Hierdurch verarmt die Glutenphase an Wasser und wird in seiner lokalen Strukturelastizität zäher (Willhoft, S.182). Die von der Stärke durch Synärese bei der Bildung kristalliner Bereiche intermolekular verknüpfter Stärkekettens freigesetzten Wassermengen und die zusätzlich von der Stärke gebundenen Wassergehalte verursachen nur eine geringe Erweichung dieser Stärkeregionen.

Durch Wanderung von Wasser und der daraus resultierenden Verfestigungen der Glutenproteine (Weizen) und der Verfestigung der Stärke durch Verknüpfung und Bildung dreidimensionaler Netzwerke mit kristallinen Knotenzonen (Retrogradation) resultiert als Gesamtsumme die Verfestigung der Brotkrume in diesem Modell (Breaden, Willhoft, S. 647). Stärkeretrogradation ist das Ereignis, das eintritt, wenn Stärkemoleküle sich in geordneten Strukturen organisieren (Atwell, S. 308). Zu Beginn formen hierbei mindestens zwei Stärkemoleküle einen einfachen Verknüpfungspunkt, von dem aus sich die weitere Strukturierung fortsetzt. In der Summe ergeben sich unter günstigen Bedingungen kristalline Bereiche. Abbildung 10 zeigt schematisch den Einfluss von Willhoft genannten Krumenkomponenten auf die Gesamtverfestigung der Krume mit der Lagerzeit (Willhoft, S.310).

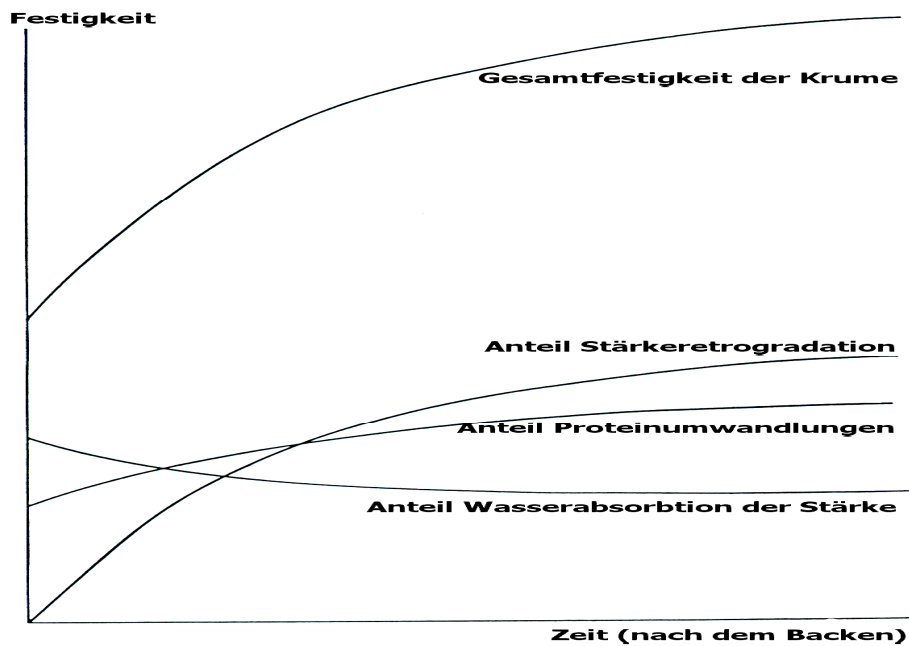


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Verfestigung der Komponenten des Brotes im Vergleich zur summarischen Verfestigung der Brotkrume (Willhoft S. 182)

2.5.7 Modell nach M. L. Martin, K. J. Zeleznak, R. C. Hosney et al. (1991)

In dem Modell der Brotalterung von Martin, Zeleznak und Hosney kommt es vornehmlich durch die Wechselwirkungen von Glutenproteinen des Weizens mit gequollenen Stärkekörnern zu den bekannten Alterungserscheinungen. Während des Backprozesses quellen die Stärkekörner auf und vergrößern dabei ihre Oberflächen. Die in einem Weizenteig vorhandenen Glutenproteine beginnen mit den Stärkekornoberflächen zu interagieren (Abbildungen 11, 12). Der während der Backphase gestartete Prozess vollzieht sich auch während der Lagerung des Brotes weiter.

Die alterungshemmende Wirkung von Lipiden und Monoglyceriden wird wie folgt erklärt: Bei Zugabe von Lipiden und Monoglyceriden kann es zu einer gehinderten Wasseraufnahme der Stärkekörner während des Backprozesses kommen. Die Fette, Monoglyceride und Wasser treten in Wechselwirkung mit dem Gluten und erweichen diesen. Durch die Reduzierung der Wasseraufnahme der Stärkekörner stehen im

Backprozess weniger Stärkeoberflächen als Partner der Wechselwirkungen mit Gluten zur Verfügung, was in einer geringeren Alterungstendenz zum Ausdruck kommt. Folgendes grafisches Modell zeigt die Wechselwirkungen von Glutenproteinen mit gequollenen Stärkekörnern:

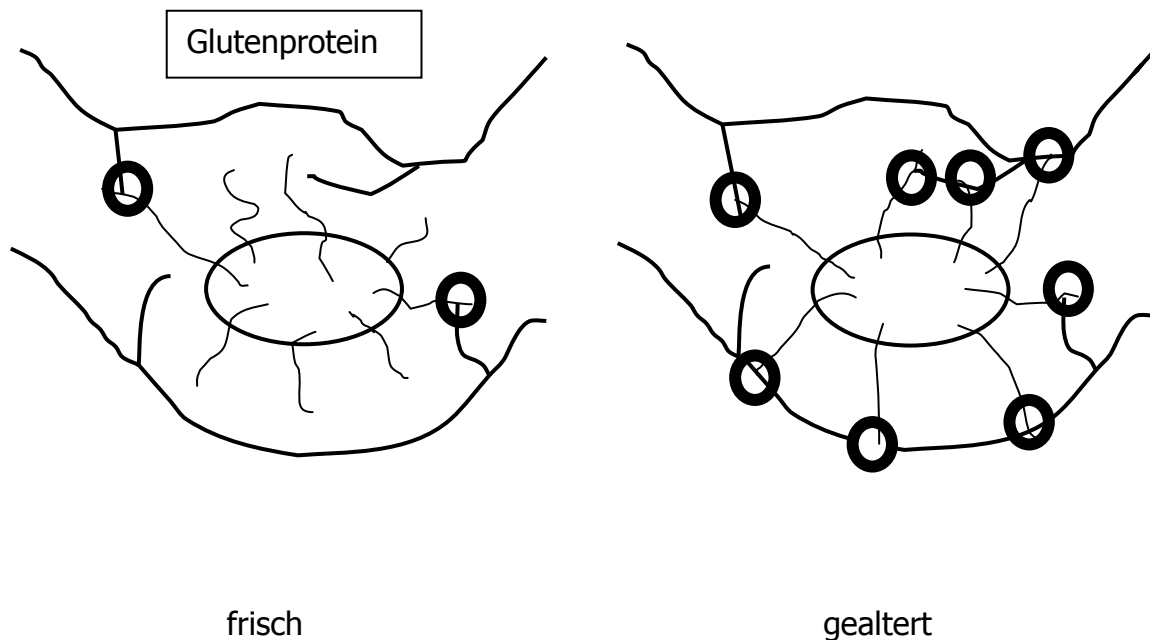


Abbildung 11 : Verknüpfung zwischen Glutenproteinen und Stärkekettensystemen

● Verknüpfungsstelle

Die verminderte Alterungstendenz durch die Wirkung von Amylasen wird in diesem Modell durch Spaltung aus dem Stärkekorn herausragender Stärkekettensystemen unter Bildung von Dextrinen begründet, wobei es hierdurch zu einer Verringerung der Interaktionen von Glutenproteinen (Weizen) mit Stärkekettensystemen kommt (Martin, Hosenev, S. 507).

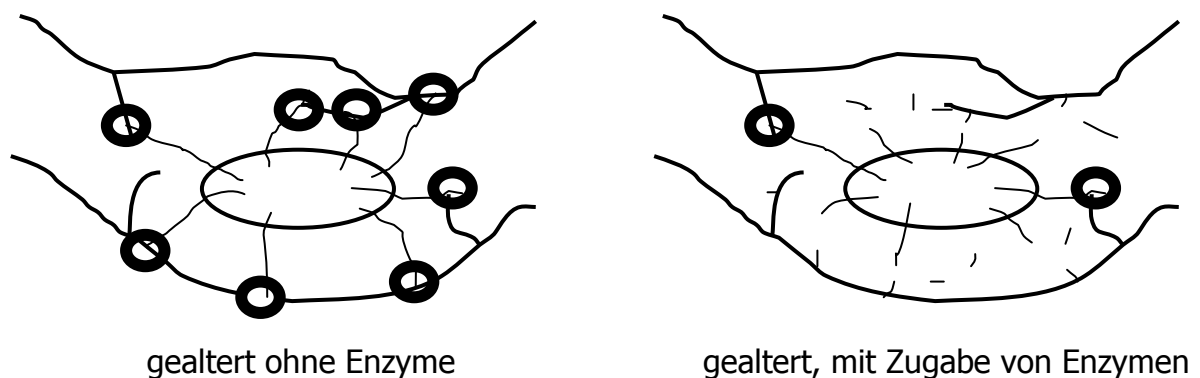


Abbildung 12 : Wirkung von Amylase durch Reduktion von Stärke-Protein-Verknüpfungen

Dieses beschriebene Basismodell wurde in Details der enzymatischen Wirkungen erweitert (Hug Iten, Escher, S. 659). Diese Erweiterungen und Interpretationen sind im Folgenden wiedergegeben:

Enzyme vermögen durch ihre Funktionalität innerhalb der sich bildenden Brotkrume die Strukturen ihrer jeweiligen Substrate zu verändern. In Bezug auf Stärke könnten folgende Enzyme eingesetzt werden (Belitz, Grosch, S. 299):

- a) Glucoamylasen, die Glucose abspalten,
- b) β -Amylasen, die Maltose abspalten und
- c) α -Amylasen, die Glucose und/oder Maltose abspalten und/oder innerhalb des Stärkemoleküles dieses an beliebiger Stelle spalten können.

Abbildung 12 zeigt exemplarische Angriffspunkte dieser Enzyme. In Roggenmehl sind je nach Auswuchs des Getreides korneigene stärke-spaltende Endo- und Exoamylasen in mehr oder minder hohen Gehalten bereits vorhanden. Das Ausmaß der α -Amylasewirkung und deren Einfluss auf das Mehl wird klassisch durch die genaue Amylogramm-Methode beschrieben. Bedingt durch den endogenen Spaltungsmechanismus fällt die Viscosität von Stärkelösungen bzw. -kleistern schnell ab; exogene Spaltungen der β -Amylasen wirken im Unterschied hierzu kaum viscositätssenkend, sondern verzuckernd.

Im Amylographen wird eine Mehl/Schrotsuspension in Wasser analog dem Temperaturverlauf im Backprozess schonend aufgeheizt und der Aufbau, die sich bildende Gelstärke, Verkleisterungstemperatur der Matrix und der zeitliche Abbau des sich bildenden Stärkegeles erfasst. Ergänzend hierzu wurde in Schweden die Fallzahlmethode entwickelt, in der ein Stärkegel in einem kochenden Wasserbad zerstampft, und der Zusammenbruch des Bruchgeles als Zahl in Sekunden erfasst wird. Folgende Abbildung 13 zeigt die möglichen Angriffspunkte der unterschiedlichen Amylasentypen an einem Amylopektinmolekül auf. Für Amylosen gilt ein ähnlicher Mechanismus.

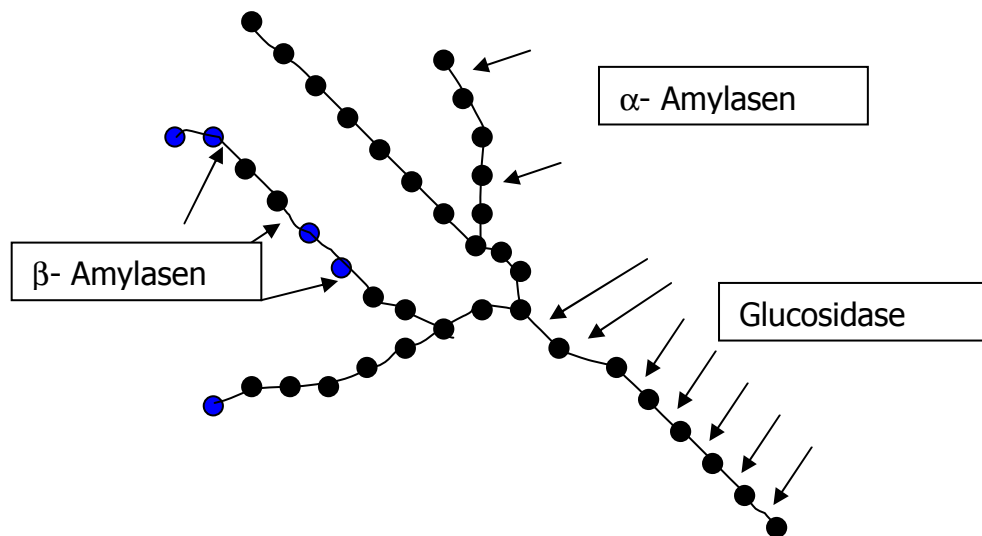


Abbildung 13: Möglicher Abbau von Stärkeketten durch Amylasen (Klingler S.139)

Eingesetzt werden in Backmitteln u.a. Malzmehle oder mehr oder minder hitzestabile α -Amylasen aus beispielsweise *Aspergillus oryzae* (55°C), *Aspergillus niger* (70°C) und *Bacillus subtilis* (>75°C). Die Temperaturen in Klammern geben die Temperaturoptima der isolierten und untersuchten α -Amylasen an (Hebeda, Teague, S.75). Die Anwendung der α -Amylasen führt zu einer Verkürzung und Spaltung von Stärkeketten. Dadurch stehen während der Lagerung für die Retrogradation pro Raumeinheit weniger lange Stärkehelices zur Verfügung, woraus ein schwächeres dreidimensionales Gerüst und eine insgesamt weichere Krume resultiert (Zobel, S. 52f, Dragsdorf, S. 314). Abbildung 14 zeigt den Mechanismus der Wirkung auf partiell kristalline Stärkeaggregate in diesem Modell.



Abbildung 14 : Desintegration (Querstriche) dreidimensionaler Stärkeaggregate mit kristallinen Bereichen (Pfeil) durch die Wirkung von α -Amylasen (Senti, Dimler, S. 28).

Alpha-Amylasen erweisen sich im Vergleich zu β -Amylasen und Glucoamylasen als die wirksamsten Enzyme. Der gleichzeitige Einsatz von Glucoamylase und α -Amylasen führt im Vergleich zu ausschließlichem Einsatz von α -Amylasen bei der Betrachtung der Brotalterung zu keinem wesentlichen Unterschied. Glucoamylase allein beeinflusst die Alterung nur in begrenztem Maße. Kontrovers wird jedoch diskutiert, ob die Wirkung der α -Amylasen nur aus der Spaltung der Stärkepolymere oder auch durch die Bildung von Dextrinen, die die Alterung durch Bildung von Stärke-Dextrin Addukten verlangsamen, besteht (Schultz et al, S. 201f, Martin, Hosney, S.505).

2.5.8 Modell nach H. F. Zobel und K. Kulp (1996)

Aufbauend auf das Modell von Schoch und French kann das von Zobel und Kulp hier geschilderte Modell als Erweiterung der vorangegangenen Modelle von Katz, Knyaginichev, Willhoft, Martin, Zeleznak und Hosney, sowie von Teilaspekten der Wirkung von polaren Lipiden, gesehen werden. Das Modell von Zobel und Kulp berücksichtigt damit Amylose, Amylopektin, die Wirkung polarer Lipide, die

kleberbildenden Glutenproteine (Weizen) und die Bildung der komplexierten V-Kristallform verkleisterter Stärke. Zusätzlich wurde das Quellen unter Volumenvergrößerung der Stärkekörner durch den Backprozess berücksichtigt. Der Gluten (Weizen) umkleidet in diesem Modell die Stärkekörner im Teig. In den Stärkekörnern befinden sich während der Teigphase kristalline Amylopektine, amorphe Amylose und eigene eingelagerte polare Lipide. Die Stärkekörner quellen in dem Backprozess auf, wobei es zu einer Umstrukturierung der Amylose und des Amylopektines kommt.

Die Amylose diffundiert z.T. aus den Stärkekörnern in die Zwischenphase zwischen den Stärkekörnern heraus und organisiert sich bereits unmittelbar nach dem Backen in der Intermediärphase zwischen den Stärkekörnern. Die Organisation der herausdiffundierten Amylose vervollständigt sich während der weiteren Lagerung. Neben der herausdiffundierten Amylose befindet sich ein Teil der Amylose weiterhin in den Stärkekörnern. Diese bleibt während der Lagerung entweder im amorphen Zustand oder organisiert sich ähnlich wie die herausdiffundierte Amylose. Weiterhin kommt es bereits während der Verkleisterungsphase zu Wechselwirkungen zwischen Amylose und polaren Lipiden (Mono/ Diglyceride) innerhalb der Stärkekörner. Polare Lipide befinden sich in diesem

Modell sowohl während der Teigphase als auch während des Backens und des Lagerns in freier und ungebundener Form in den Stärkekörnern. Das Amylopektin ragt während des Verkleisterungsprozesses mit vereinzelt Seitenketten seines Gerüsts aus den Stärkekörnern. Während der Lagerung organisieren sich diese Amylopektinseitenketten teilweise mit Amylosen der Intermediärphase. Folgende Abbildung 15 soll dies grafisch erläutern.

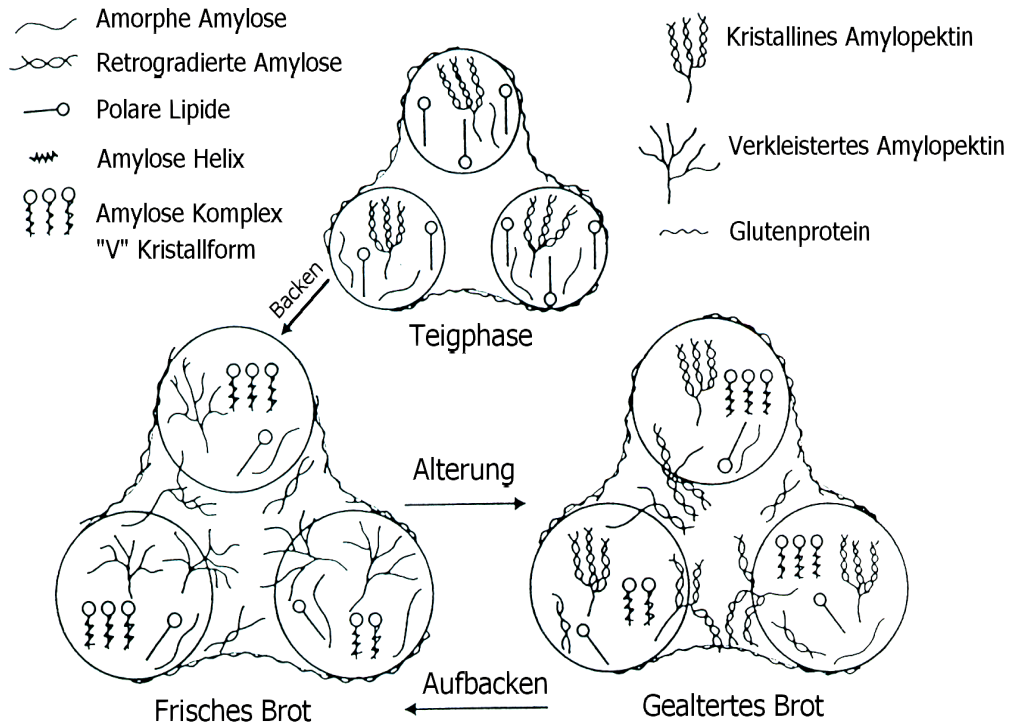


Abbildung 15: Modell nach H. F. Zobel und K. Kulp (1996)

Roggen enthält im Gegensatz zu Weizen keinen Kleber, für Stärkeänderungen innerhalb dieses Modelles dürfte dieses Modell auch auf Roggen adaptierbar sein.

2.5.9 Modell: Wirkung von Lipiden und Emulgatoren

Lipide und Emulgatoren beeinflussen die Alterung von Weizengebäcken und Weizenbrot (Rogers, S.398). Dies gilt insbesondere für die polaren Mono- und Diglyceride. Durch Komplexbildung von Mono- und/oder Diglyceriden mit Stärkehelices kommt es zu einer sterischen Hinderung bei der späteren Bildung von kristallinen Bereichen der Stärke. Abbildung 16 zeigt einen solchen Komplex. Eine Komplexbildung und Bildung von Einschlussverbindungen ist durch den unpolaren Anteil der Mono/Diglyceride möglich. Dieser kann in den unpolaren Teil der Stärkehelix eindringen. Der Innenbereich der Stärkehelix ist relativ unpolar, da die

Hydroxylgruppen der Glucoseeinheiten auf der Helixschraube liegend nach „außen“ zeigen. Das polare Ende des Glycerides dringt nicht in die Helix ein. Abbildung 16 zeigt den Aufbau eines Komplexes aus Monoglycerid mit einer Stärkehelix (Amylose oder Amylopektinhelix).

Durch die Einschlussverbindungen kommt es zu einer sterischen Hinderung und Unterdrückung der Retrogradation.

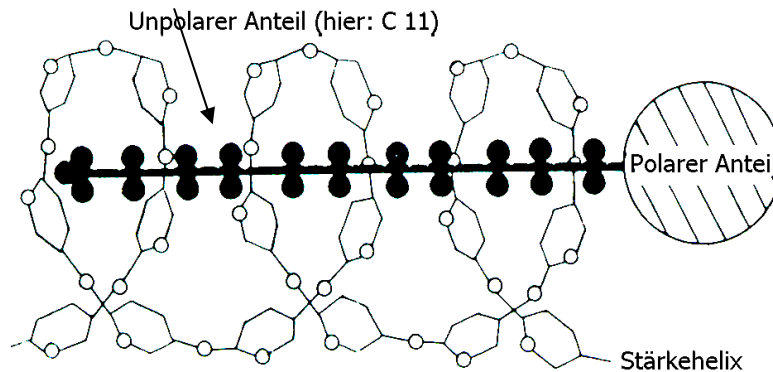


Abbildung 16: Komplex aus Monoglycerid und Stärke durch Einlagerung des unpolaren Fettsäurerestes in den unpolaren Innenbereich einer Helix der Stärke (Carlson, S. 222)

Das Ausmaß der Retrogradation der gesamten Krume ist daher geringer vergleicht man Krumen gleicher Herstellungspraxis, aber ohne Verwendung von Mono/Diglyceriden (MG/DG). Die Einlagerung von Mono/Diglyceriden führt während der Lagerung zu einer länger anhaltend weicherer Krume.

Die Bildungsintensität der Stärke-Lipid-Komplexe ist von der Kettenlänge der Fettsäure abhängig. Für Amylosen weisen C16-Fettsäurereste die größte Affinität zur Bildung von Einschlussverbindungen auf, während für Amylopektine mit steigender Kettenlänge (hier: bis C20) die Bildungsaffinität linear zunimmt (Knighly, S.405f). Folgende Abbildung 17 zeigt die Bildung von Einschlussverbindungen zwischen Monoacylglyceriden und Amylose (obere Kurve), sowie Amylopektin (untere Kurve).

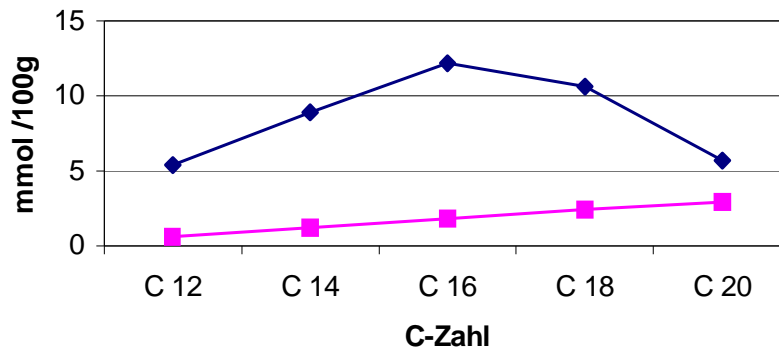


Abbildung 17: Komplexbildungsvermögen von unpolaren Fettsäureestern in Stärkehelices (Knightly, S. 405f)

Neben der Art des M/DG hat auch die Präparation und Herstellung des M/DG Einfluss auf die sich formenden Stärke-MG/DG Komplexe. Abbildung 18 zeigt exemplarisch, anhand verschiedener Herstellungsformen von Stearinsäure-Monoglyceriden, die komplexbildenden Eigenschaften der Präparate bei 31°C (Teigtemperatur) und 60°C (Beginn der Verkleisterung der Stärke im Teig) auf.

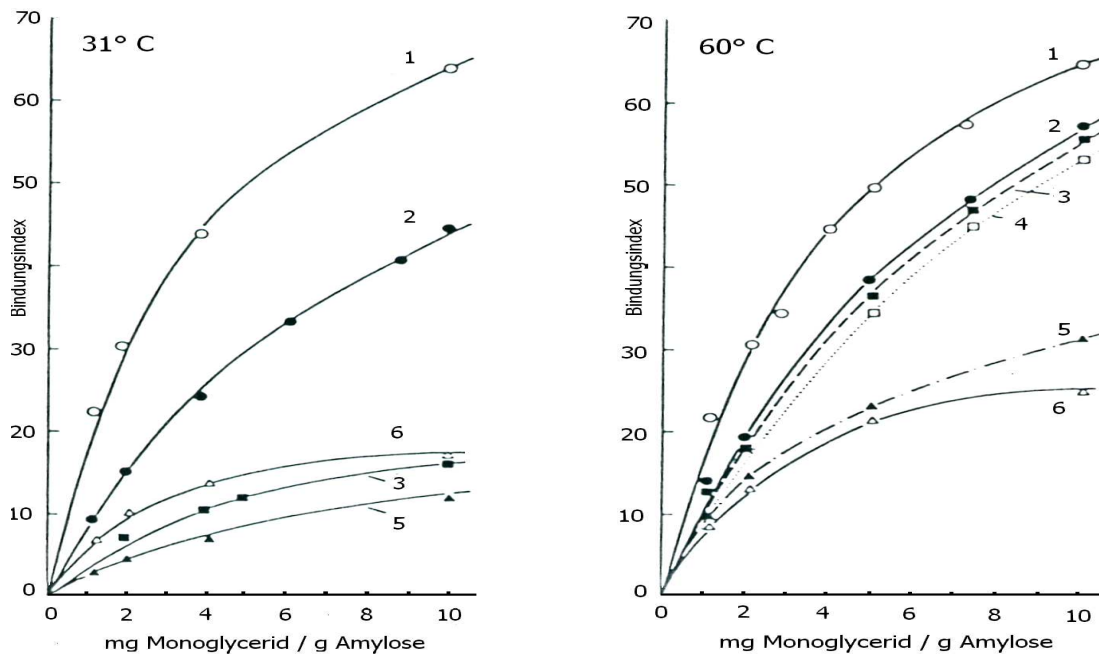


Abbildung 18: Komplexbildung von Monoglycerid mit Amylose bei Temperaturen von 31° C (links) und 60° C (rechts). 1: Destilliertes Monoglycerid (Stearinsäure) (DMGS)-Wasser Gel (pH 6.8); 2: DMGS-Wasser Gel pH 7.3; 3: DMGS Hydrat; 4: DMGS Hydrat, gefriergetrocknet; 5: DMGS sprühgetrocknet; 6: DMGS Wasser Emulsion . (Krog, S.83)

Bei den Temperaturen 31°C oder 60°C binden in dem beschriebenen Fall (Abbildung 18) in Gelform vorliegende Präparate (1,2) schneller als emulgierte (6) oder dehydrierte (5) Präparate. Eine Senkung des pH Wertes auf pH 6,8 führt im Vergleich zu pH 7,3 ebenfalls zu einer gesteigerten Komplexbildung.

Lipide kommen im Roggenmehl nur zu ca. 1% vor. Als Rezepturparameter spielen sie bei der Roggenbrotherstellung, z.B. nach dem Roggen-Standard-Backversuch, üblicherweise keine Rolle. Dieses Modell kann daher nur als begrenzt gültig für Roggen angenommen werden.

2.5.10 Einfluss der Lagertemperatur

Generell altern Brote bei den beim Verbraucher üblichen Lagertemperaturen. Die Intensität der Alterung von Brot wird außer von den Inhaltsstoffen des Brotes auch von der Lagertemperatur beeinflusst (Cornford, Axford, Elton S.224, Axford Colwell Cornford, Elton S. 99, Colwell,Axford, Chamberlain, Elton S.553). Dabei besteht eine negative Korrelation zwischen Brotalterung und Temperatur. Wird die Temperatur bis ca. 0°C erniedrigt, so erhöht sich die Alterungsgeschwindigkeit. Wird Brot z.B. bei – 1° C gelagert, so tritt bereits nach 1,5 Tagen die gleiche Festigkeit der Krume auf, die Brot, welches bei 32° C gelagert wird, bei einer Lagerzeit von 5,5 Tagen erfährt.

Allgemein übliche Empfehlungen zur Erhaltung der Krumenweichheit sind daher, Brot nicht im Kühlschrank, sondern bei Raumtemperatur aufzubewahren. Dies erfolgt in der Praxis durch Lagerung der Brote im Regal (Bäckerei, Supermarkt) bei Raumtemperatur. Dies gilt allgemein für Weizen-, wie auch für Roggenbrote.

2.5.11 Abschließende Zusammenfassung der Alterungsmodelle

In Bezug auf stoffliche Komponenten für Weizensysteme zeigen sich folgende Modelle der Brotalterung und beinhalten folgende komplexe Betrachtungen:

1. Stärke

Wechselwirkung von Amylose und Amylopektin mit Wasser

Wechselwirkungen zwischen Amylose und Amylopektin

Wechselwirkung von Emulgatoren mit Amylose/Amylopektin

Wechselwirkungen zwischen Amylose und Amylopektin mit Gluten

Umstrukturierung von Amylose und Amylopektin nach der Verkleisterung

2. Wasser

Wasserverlust durch Austrocknen der Brotkrume

Strukturbildung von Wasser

Bindung von Wasser während des Backprozesses und der Lagerung

3. Lipide

Wechselwirkung mit Amylose/Amylopektin

Wechselwirkung mit Klebermolekülen

4. Kleberproteine (Glutennetzwerk)

Bindung von Wasser, Abgabe von Wasser während des Backprozesses

Wechselwirkung mit Oberflächenproteinen von Stärkekörnern

Wechselwirkung mit Stärkepolymerketten mit Bindung an das Glutennetzwerk

Wechselwirkung mit Emulgatoren

Für Roggen sind insbesondere die Komponenten Stärke und Wasser für die Betrachtung relevant. Bei üblicher Herstellungspraxis von Roggenmehlbrotten nach der Detmolder-Einstufen-Führung finden Mono-oder Diglyceride keine Verwendung. Ein strukturbildendes Netzwerk aus Kleberproteinen ist bei Roggen im Gegensatz zum Weizen nicht vorhanden. Die Bindung von Komponenten an dieses Netzwerk scheidet damit beim Roggen aus.

3.0 Material und Methoden

3.1 Material:

Handelsübliche Roggengetreidepartien sind in der Regel potentiell mehr oder minder undefinierte Mischungen von Roggengetreide unterschiedlicher Vorgeschichten.

Als Untersuchungsmaterial wurden daher aus bundesweiten Anbauversuchen mit sortenreinem Saatgut erhaltene Roggengetreidemuster gewählt, um grundlegende Aussagen zu ermöglichen. Durch diese Wahl steht eine Varianz an Standorten, Böden, Sorten und den an den Standorten herrschenden Klimabedingungen zur Verfügung. Die Auswahl beinhaltet sowohl die Populationssorten Nikita und Halo, wie auch die Hybridsorten Avanti und Fernando. Dadurch sind handelsübliche Getreidepartien in den Untersuchungsergebnissen mit berücksichtigt.

Zur Untersuchung der Fragestellung der Alterung wurden die Getreideproben vermahlen, zur Mehltypen 997 gemischt, untersucht und verbacken.

3.2 Untersuchungsmethoden

3.2.1 Bestimmung des Wassergehaltes in Roggenmehlproben

Prinzip der Methode:

Es handelt sich um eine geeichte Widerstandsmessung eines Presskuchens aus Roggenmehl zwischen zwei geriffelten Platten in einer definierten Messzelle (Fa. Pfeuffer GmbH, Kitzingen).

Durchführung:

Ca. 20 ml Mehlprobe werden in einer Messzelle des Gerätes platziert, die Messzelle durch Zuschrauben bis zum Anschlag geschlossen und Roggenmehl der Typen 997 durch Tastendruck gewählt. Nach ca. 30 s erfolgt die Ausgabe des Messergebnisses.

3.2.2 Bestimmung des Mineralstoffgehaltes

Die Ermittlung des Mineralstoffgehaltes (Asche) erfolgt nach der ICC Vorschrift Nr.: 104/1, Titel: „Bestimmung der Asche von Getreide und Mahlprodukten aus Getreide“. Der Mineralstoffgehalt ist zur Einstellung der Mehltypen erforderlich.

3.2.3 Bestimmung des Proteingehaltes

Der Proteingehalt wird nach ICC Vorschrift Nr.: 105/2, Titel: „Bestimmung des Rohproteins in Getreide und Getreideprodukten für Nahrungs- und Futtermittel“, bestimmt. Der Faktor zur Berechnung des Rohproteins ist mit 6,25 gegeben.

3.2.4 Bestimmung des Pentosangehaltes

Prinzip:

Die Durchführung und Berechnung erfolgt nach der Methode von Hashimoto, die in der BAGKF durch D. Weipert erweitert und standardisierte Methode. Die Probe wird hierbei im kochenden Wasserbad mit Salzsäure hydrolysiert und anschließend mit Natriumcarbonat neutralisiert. Durch Zusatz von Hefe wird die aus der Stärke entstandene Glucose fermentiert. Danach wird die Suspension zentrifugiert. Ein aliquoter Teil der Lösung wird mit einer Farbreagenzlösung (FeCl_3 , Orcin) gekocht und nach dem Erkalten im Photometer bei 670 nm und 580 nm gegen den Blindwert gemessen. Die Absorption wird über Xylose als Pentosan berechnet und der Pentosangehalt als g/100g TM angegeben.

Durchführung:

500mg Probenmaterial, mit bekannter Feuchte, werden in einem verschließbaren Reaktionsgefäß mit 100ml 2N HCl versetzt und 150 Minuten im kochenden Wasserbad hydrolysiert.

Nach dem Abkühlen unter fließendem Wasser werden 20 ml entnommen und mit 20 ml 2N Na_2CO_3 versetzt. Hierzu gibt man anschließend 20 ml gepufferte Hefelösung hinzu. (2,5g frische Hefe in 20 ml Puffer pH7; Puffer pH 7: Stammlösung I: 0.2M

Na_2HPO_4 , Stammlösung II: 0.2M NaH_2PO_4 ; 61 ml Lösung I plus 39ml Lösung II gemischt ergeben 100 ml Puffer pH 7).

Es erfolgt eine 120 minütige Fermentation bei 30°C im Schüttel-Wasserbad. Anschließend wird mit ca. 2800g zentrifugiert (Varifuge F mit Rotor 5310, 5000 U/min).

In einem Reagenzglas werden 2 ml des klaren Überstandes mit 5 ml destillierten Wasser verdünnt und geschüttelt. Davon werden 2 ml entnommen und in einem verschließbaren Reagenzglas mit 1 ml destillierten Wasser, 3 ml FeCl_3 -Lösung (0.1g FeCl_3 in 100ml 37% Salzsäure) und 0.3 ml Orcinlösung (0.1g Orcin in 10 ml abs. Ethanol) versetzt. Es wird jeweils gut durchgeschüttelt und anschließend im siedenden Wasserbad 30 Minuten erhitzt. Die abgekühlte, grün gefärbte Lösung wird innerhalb von 2 h photometrisch bei 670 nm und 580 nm gegen den Blindwert (3 ml dest. Wasser, 3 ml FeCl_3 Lösung plus 0.3 ml Orcinlösung) in 50 mm Glasküvetten gemessen.

Zur Erstellung der Kalibrationsgeraden werden analog der Durchführung der Mehlmuster folgende Mischungen hydrolysiert und photometrisch bestimmt:

500mg Stärke plus 35mg Xylose

500mg Stärke plus 50mg Xylose

500mg Stärke plus 75mg Xylose

Die Pentosanwerte werden wie folgt berechnet:

1. Kalibrationsgerade

$$\text{mg Xylose} = (\text{Absorption } 670\text{nm} - \text{Absorption } 580 \text{ nm}) \times b + a$$

(Hierzu wird mittels Stärke/Xylose die Kalibrationsgerade erstellt, b und a ergeben sich aus der Steigung der Kalibrationsgeraden)

2. % Pentosan lufttrocken = mg Xylose x 18 x 0.88 x 0.01

$$3. \text{ \% Pentosan in Trockenmasse} = \frac{\text{mg Xylose} \times 18 \times 0.88}{(100 - \text{Wassergehalt der Probe})}$$

Exemplarische Berechnung:

500mg Stärke plus 35 mg Xylose

$$\frac{35 \times 0.88 \times 100}{535} = x\% = 5.78\% \text{ Pentosan, lufttrocken}$$

Die Absorptionswerte, z.B. 0.159, entsprechen 5.76% Pentosan lufttrocken.

3.2.5 Standard-Back-Versuch (SBV)

Prinzip des Backversuches:

Zur Roggenmehlbrotherstellung wird zunächst ein Teig aus Roggenmehl, Wasser, Salz, Hefe und Sauerteig bereitet. Das Roggenmehl wird in der Detmolder-Einstufen-Führung nach Säuerung verbacken. Dabei wird mit einem konstanten Versäuerungsgrad von 30 % des verwendeten Mehles gearbeitet. Nach dem Backen wird das Brot über Nacht bei Raumtemperatur abgekühlt und in einem verschlossenen Brotschrank gelagert. Am nächsten Tag wird das Backergebnis im Krumenbild beurteilt und das Volumen des Brotes durch Auslitern mit Rübsamen bestimmt.

Der SBV wird als praxisnaher Versuch zur Beurteilung der Backfähigkeit und Backeigenschaften von Roggenmehlen der Type 997 verwendet. Die Teigausbeute ergibt sich dabei aus der Erfahrung des Versuchsbäckers, angelehnt an die im Farinographen ermittelte Wasseraufnahme (Brümmer 1988, S. 272f). Der Versuchsbäcker gibt in der Praxis empirisch die Menge an Wasser zu, die erforderlich ist, die vom Versuchsbäcker gewünschte Teigfestigkeit zu erreichen. Diese unterscheidet sich von der im Farinograph bestimmten Wasseraufnahme für Roggenmehl laut Erfahrungsbericht der Versuchsbäcker um ca. 1-3%.

Durchführung:

Als Anstellgut wird ein gereifter Sauerteig der Teigausbeute 200 verwendet (Brandt, Gänzle, S.218ff). Alle Zutaten werden zur Teigbereitung mit 5 L Drehhebelknetern innerhalb von sechs Minuten klumpenfrei durch intensives Kneten miteinander vermischt. Die relative Festigkeit und Viskosität des sich bildenden Brotteiges wird bei der Teigbereitung neben den funktionellen Eigenschaften der Wasser bindenden Inhaltsstoffe des Mehles primär durch die Menge an Schüttwasser beeinflusst und in der Praxis empirisch durch die Erfahrungswerte des Bäckers für das jeweilige Produkt bei der Teigbereitung ermittelt. Die Teigausbeute wird notiert und dient ferner als Bezugswert für den u.g. Mikro-Backversuch (Krumenplatten). Nach der Teigbereitung wird der gesäuerte Roggenteig 20 Minuten bei einer Temperatur von 29-30°C und einer rel. Luftfeuchte von ca. 80 % zunächst auf Zwischengare gestellt, danach nochmals kurz geknetet, gewirkt und in Körbchen aus Holz auf Endgare in den Gärschrank unter gleichen Gärbedingungen zurückgestellt. Das Klima im Gärschrank soll dabei ein Antrocknen der Teigoberfläche verhindern und die Gärung forcieren.

Der Zeitpunkt des Schiebens in den Ofen ist nach ca. 45 Minuten Gärzeit erreicht und variiert nach Art des verwendeten Mehles und Tagesform des Versuchsbäckers um einige Minuten. Der optimale Zeitpunkt des Schiebens in den Ofen wird durch leichten Daumendruck auf die Teigoberfläche des Teigstücks durch den Versuchsbäcker ermittelt. Federt der Teig zurück, so wird der weiter auf Gare stehen; verbleibt der Abdruck im Teig, so wird das Brot in den Ofen geschoben.

Dazu wird das Teigstück aus der Form durch leichtes Schütteln gelockert und auf die bemehlte Arbeitsfläche gestürzt. Nach dem Entfernen des anhaftenden Streumehles von der Oberfläche des Teiglings mit einem weichen Handbesen wird das Teigstück in den Ofen eingebracht und 60 Minuten bei 220°C gebacken. Nach Einbringen in den Ofen erfolgt eine Beschwadung der Teiglinge (60 s) mit anschließendem Ziehen des Zuges, der die Backkammerfeuchte realisiert.

Nach dem Backen wird das Brot bei Raumtemperatur abgekühlt und beurteilt.

3.2.6 Bestimmung des Wassergehaltes von Brotteig-Krumenisolaten

Prinzip der Methode:

Durch gravimetrische Messungen wird der Masseverlust der Krumenprobe bestimmt. Dieser Masseverlust wird mit dem Wassergehalt äquivalent gesetzt.

Durchführung:

Brote werden gemäß dem Standard-Backversuch hergestellt. Als Mehl wird ein durchschnittlich gutes Roggenmehl der Type 997, Wassergehalt 12,5%, (Fallzahl 245s, 865 AE und 69° C (im Amylogramm Maximum), Volumenausbeute 315, Teigausbeute 175) verwendet.

Nach jeweils 15, 30, 45 und 60 Minuten werden die teilgebackenen Brotlaibe aus dem Ofen entnommen und mit flüssigem Stickstoff unmittelbar tiefgefroren. Die Brote werden hierzu in aus Alufolie geformten Wannen auf 2 Hölzern (Bleistifte) aufgebockt und mit flüssigem Stickstoff vorsichtig übergossen, abgekühlt und durch Fluten der Formen mit flüssigem Stickstoff binnen weniger Minuten komplett eingefroren.

Die gefrorenen Teige, Teigbrote und Brote werden hierauf mit einer Bandsäge in ca. 12 mm dicke Scheiben geschnitten und diese Scheiben weiter ähnlich dem Schälen einer Zwiebel von der Kruste zum Zentrum fraktioniert. Die isolierten Fraktionen werden in einem 1L Glaskoben gravimetrisch erfasst und im Vakuum in einer Gefriertrocknungsanlage (Christ Beta 1-8K, Typ 100802) während einer Zeitdauer von 14 Tagen gefriergetrocknet. Nach dem Gefrieretrocknen wird die Masse erneut gravimetrisch bestimmt. Der Masseverlust als Summe flüchtiger Bestandteile wird mit dem Gehalt an Wasser gleichgesetzt. Eine Trocknung der Teige oder Teigbrote im Trockenschrank scheidet aus, da es dort zu „case hardening“, einer Verschalung der Oberfläche, und damit erschwerter Trocknung der Proben kommen würde. Zur Kontrolle der vollständigen Trocknung werden Teile der gefriergetrockneten Proben in den 130°C heißen Trockenschrank für 2 Stunden verbracht, und die vollständige Trocknung gravimetrisch bestätigt.

Zur weiteren Bestimmung der Wassergehaltsverteilung in Ganzbrot nach dem Backen werden weitere Brote bei Raumtemperatur in Plastikbeuteln verpackt gelagert. Diese Brote werden nach den Lagerzeiten von 24 und 72 h entsprechend fraktioniert und die Fraktionen analog nach diesen Lagerzeiten gefriergetrocknet. Die Wasserbestimmung erfolgt gravimetrisch durch Messung der Krumenmasse vor und nach der Gefrierdrying. Von den Bestimmungen werden Doppelbestimmungen durchgeführt und die Ergebnisse gemittelt.

Die getrockneten Krumenisolate des durchgebackenen Brotes werden ferner für die rheologischen Messungen der Nachquellung (3.2.7) eingesetzt.

3.2.7 Viscosimetrische Messungen an Krumenisolaten

Prinzip der Methode:

Nach dem Standard-Backversuch gebackene Brote werden nach dem Backen fraktioniert, getrocknet und vermahlen. Von dem Mahlprodukt wird in einem Rotationsviskosimeter während einer stetigen Temperatursteigerung die resultierende Viskosität bestimmt.

Durchführung:

Nach dem Backen werden die abgekühlten Brote mit einer Brotschneidemaschine geschnitten und isoliert (3.2.6). Hierbei sind alle Gerätschaften, die mit dem Brot in Berührung kommen mit 70%iger wässriger Ethanollösung vorher zu desinfizieren. Die Brotscheiben werden von außen zur Mitte der Scheibe hin senkrecht zur Scheibenoberfläche erneut geschnitten, die Abschnitte in Folienbeuteln gesammelt und die Beutel luftdicht verschlossen gelagert. Ein Teil der Proben wird unmittelbar mit flüssigem Stickstoff tiefgefroren und anschließend gefriergetrocknet. Die bei Raumtemperatur gelagerten Proben werden nach 7 Tagen ebenfalls mit flüssigem Stickstoff eingefroren und anschließend gefriergetrocknet.

Die gefriergetrockneten Proben werden mittels einer Zentrifugalmühle mit Zahnkranz und Siebeinsatz (Fa. Retsch) auf $\leq 200\mu\text{m}$ Partikelgröße gemahlen und als getrocknetes Brotmehl zur Messung im Rapid Visco Analyzer (RVA, Fa. Newport)

eingesetzt. 2.5g Krumenmehl werden hierzu mit 22g destilliertem Wasser bei Raumtemperatur vorgemischt, und die Messung gestartet.

Abbildung 28 und 29 zeigen Messgeometrie und ein typisches Messprotokoll. Während der Mischphase bewegt sich das Messpaddel mit 300 U/min.

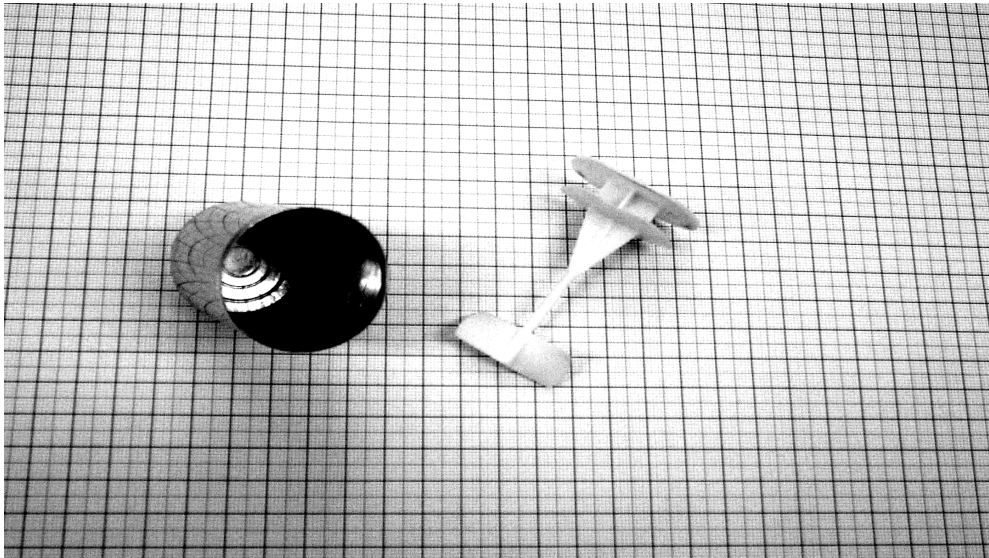


Abbildung 19: Messgeometrie mit Messbecher und Rührer des RVA

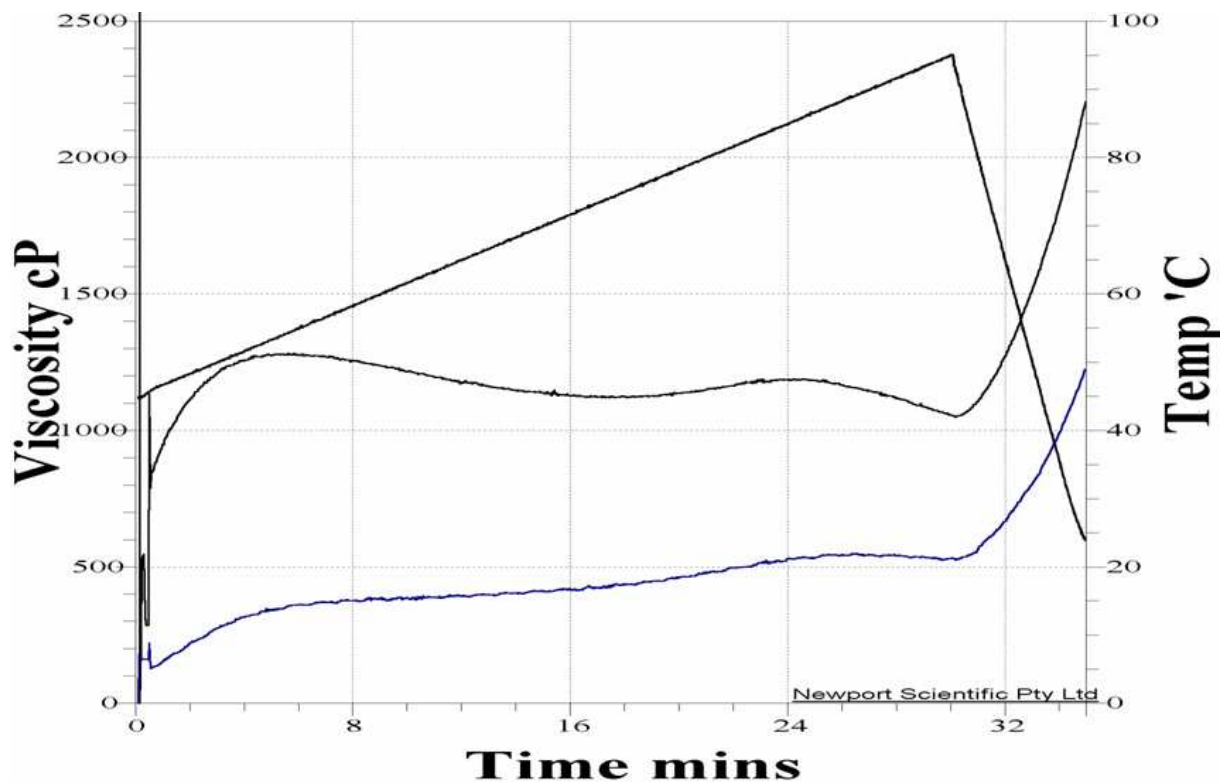


Abbildung 20: Typisches Mess- und Ergebnisprotokoll der Nachquellversuche

3.2.8 Bestimmung der Verkleisterungspotentiale von Mehlen

Prinzip der Methode:

Die Differential-Scanning-Calorimetry (DSC) ist eine kalorimetrische Messart, die es gestattet, das Aufschmelzverhalten von kristallinen Bereichen innerhalb einer Probe zu beschreiben. Dazu werden die in Tiegeln verschweißte Blindprobe und die zu untersuchenden Probe innerhalb des thermisch isolierten Bereiches des Ofens der DSC mit einem Wärmestrom elektrisch erwärmt, und die Temperaturen beider Proben zeitgleich online erfasst. Die zu messende Probe befindet sich hierbei in einem, nach dem Befüllen luftdicht, mittels Presswerkzeug druckverschweißten, Aluminiumtiegel.

Durch permanente Differenzbildung der Temperaturen beider Proben und Kenntnis des Wärmestromes, und damit der zugeführten Energie, können kalorimetrische Aussagen über die Probe gemacht werden. Abbildung 21 zeigt schematisch den Aufbau der Messzelle der DSC.

Nach dem Verschweißen werden die Tiegel je nach Untersuchungsziel gelagert oder direkt in die DSC-Messzelle eingebracht. Als Referenztiegel dient ein mit geglühtem und abgekühlten Al_2O_3 befüllter Tiegel gleicher Einwaage wie die zu untersuchende Probe. Zur anschließenden Messung wurden spezielle Temperaturprogramme erstellt. Die Temperaturprogramme bestehen dabei aus mehreren Temperaturabschnitten (Segmenten). Die Anzahl der Segmente der Messkurve ist abhängig von dem individuell programmierten Temperaturprofil der Messung. Jedes Segment einer Messung wird hierbei an das vorangehende angeschlossen. Zwischen den Segmenten werden dynamische Segmente und isotherme Segmente unterschieden. Ein dynamisches Segment besteht aus einer Starttemperatur, einer Heizrate ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$) und einer Endtemperatur. Ein isothermes Segment ist durch die Starttemperatur und Zeitdauer gekennzeichnet. Abbildung 22 zeigt exemplarisch ein solches Temperaturprogramm mit dynamischen und isothermen Segmenten.

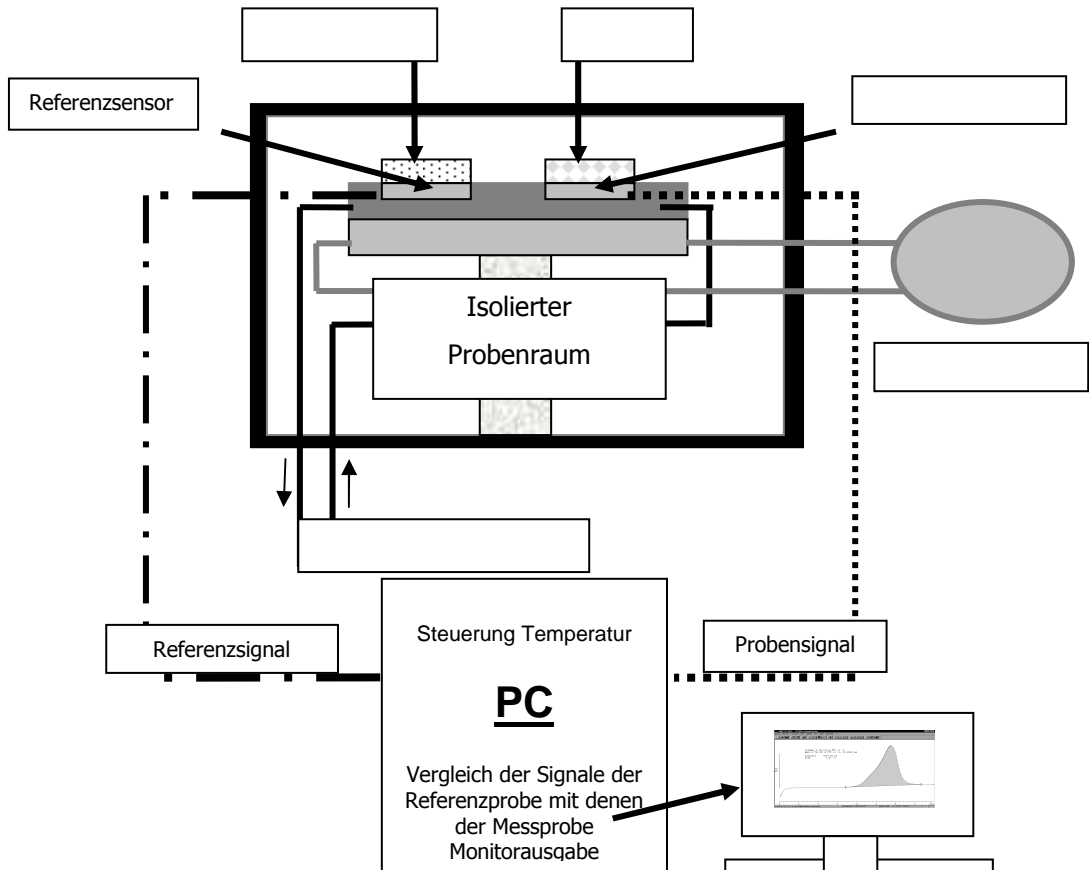


Abbildung 21: Schematische Darstellung: DSC Messzelle mit Probengefäßen (Tiegeln)

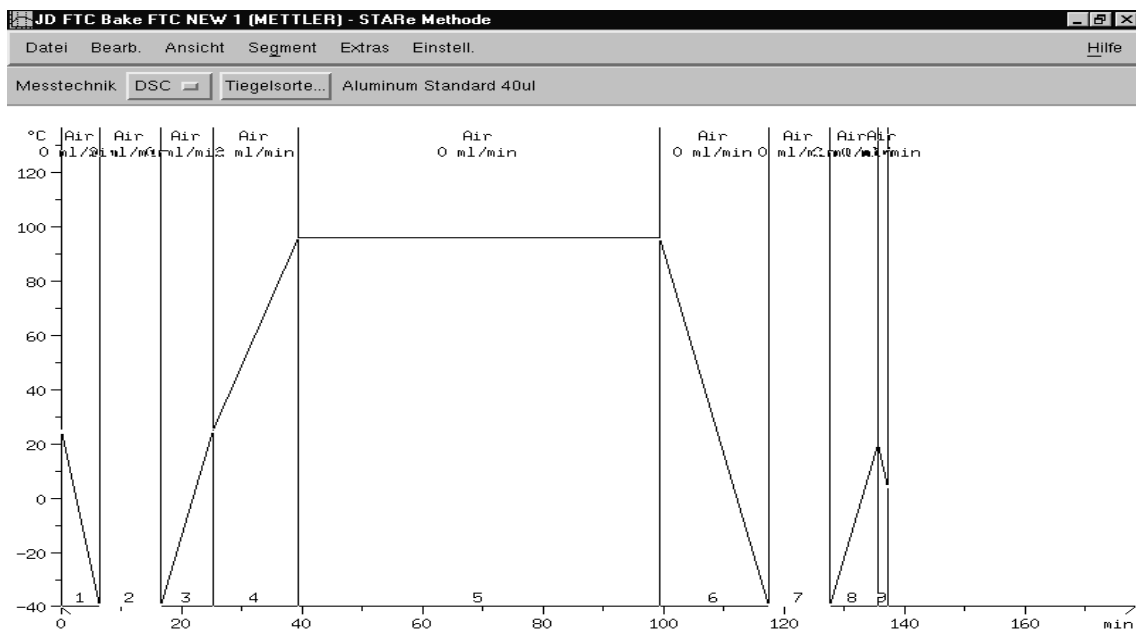


Abbildung 22: Typisches Temperaturprogramm [°C/t] mit dynamischen und isothermen Segmenten

Durchführung:

Aus Roggenmehl wird Stärke mechanisch und trocken isoliert. Hierzu wird zunächst Roggengetreide auf einem üblichen Bühler Mahlautomaten vermahlen. Es wurde das Kornmaterial eingesetzt, aus dem auch Roggenmehl der Type 997, Wassergehalt 12,5%, (Fallzahl 245s, 865 AE – 69° C (im Amylogramm Maximum), VA 315, TA 175) hergestellt wurde.

Die erhaltenen Passagen werden vereinigt, homogenisiert und zur groben Entfernung von Kleiepartikeln durch ein 75 µm Luftstrahlsieb abgesiebt. Die Fraktion mit einer Partikelgröße <75 µm wird in einer Windsichtungsanlage durch Trennung im verwirbelten Luftstrom von weiteren Kleiepartikeln abgereinigt.

Die isolierten Stärkemehle werden zu Teigen im 50 mL Becherglas angemischt, geknetet und unter Frischhaltefolie bis zur Messung im Trockenschrank bei 30° C gelagert. Als Lösung zur Teigherstellung dient eine dem Teigliquor des Milchsäurebackversuches gleichende wässrige Lösung zu 0,85% Milchsäure und 1,8% Kochsalz. Nach einer von der Teigphase adaptierten Ruhephase von 60 Minuten werden die Proben jeweils für die Untersuchung in einer DSC (Mettler Toledo 821) präpariert. Die Ruhephase von 60 Minuten simuliert die Ruhezeit des Teiges in der Zwischengare und Gare des Brotes. Dies geschieht, um einen direkten Bezug zu den üblichen Teigen zu ermöglichen. Für die Untersuchung wird der in Plastikfolie gelagerte Teig in 1 ml Einwegspritzen eingespatelt und hiermit in die ca. 3mm großen Alutiegeln nahezu randvoll eingebracht. Die Tiegel werden mit einem Deckel durch Verschweißen (Druck) am Rand verschlossen. Der Tiegel wird gewogen und anhand der bekannten Gewichte von Tiegel und Deckel (Leergewicht) die Einwaage bestimmt. Der Stärkemehlgehalt der Einwaage ergibt sich aus den Mengenverhältnisse von Schüttwasser und Stärkemehl.

Nach Starten des Gerätes und Computers beginnt die Messung bei einer Temperatur von 30°C und erfolgt mit einer Aufheizrate von 5°C/min. Als Referenzprobe dient ein baugleicher Tiegel mit gewichtskonstant geglühtem Al₂O₃. Die Aufheizrate in der DSC erfolgt in Anlehnung der während des Backversuches eines Brotes im Backversuch

auftretenden Aufheizrate der Krümmenmitte. Alle Messungen wurden zumindest als Doppelbestimmungen durchgeführt und die Ergebnisse gemittelt.

Während der Messung übermittelt das verwendete Mettler Toledo DSC 821e Modul laufend alle Messdaten dem angeschlossenen PC. Die Messwertrate beträgt 1/s. Die Messdaten werden als quasi online Kurve auf dem PC dargestellt. Als Auswertesoftware wird die Applikationssoftware für Windows 97 (PC System) des Herstellers Mettler Toledo mit der Bezeichnung STARe SW V 6.0 genutzt. Diese Software ist für die Auswertung der Messkurven des Messgerätes Mettler Toledo DSC 821 ausgelegt. Diese Software gestattet die grafische Aufspaltung der Messsegmente der Messkurve und die individuelle Integration von hierdurch isolierten Segmentteilmereichen. Abbildung 23 zeigt beispielhaft eine Messkurve. Je nach Gehalt der kristallinen Bereiche werden in der Intensität unterschiedliche Peakflächen erhalten.

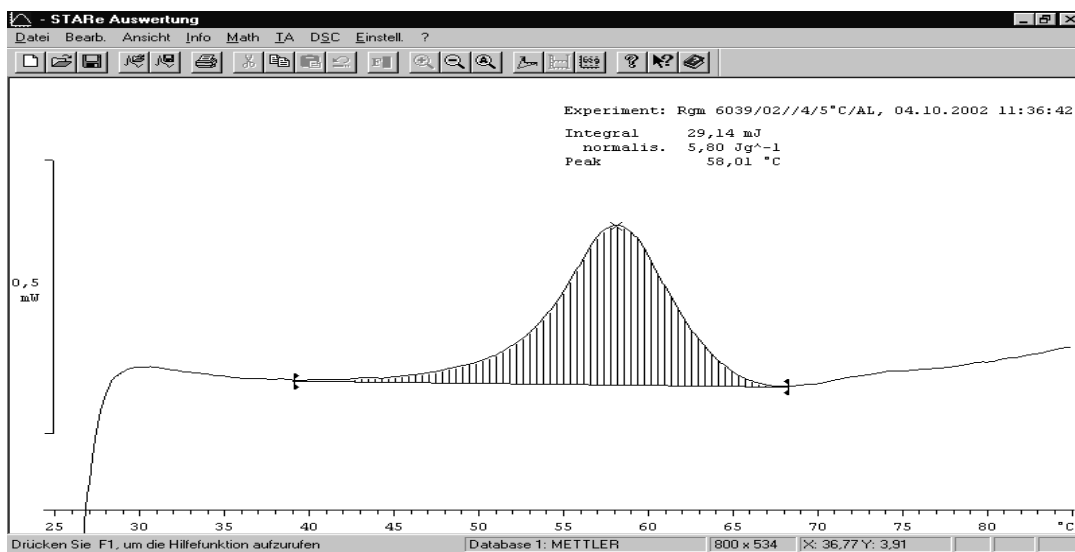


Abbildung 23: Integrierte Aufschmelzkurve einer DSC Messung

3.2.9 Bestimmung der Fallzahl

Die Bestimmung der Fallzahl erfolgt nach ICC Vorschrift Nr.: 107/ 1, Titel:
„Bestimmung der Fallzahl nach Hagberg-Perten als Maß der Bestimmung der Alpha-Amylase Aktivität“

3.2.10 Brabender Amylogramm

Die Durchführung erfolgt nach ICC Vorschrift Nr.: 126/1, Titel
„Brabender Amylograph“

3.2.11 Lichtmikroskopische Untersuchungen

Prinzip der Methode:

Zur Untersuchung der Strukturen in Teigen, Krusten und Krumen werden je nach Untersuchungsziel die Proben entsprechend unterschiedlich vorpräpariert, z.T. angefärbt und unter dem Lichtmikroskop betrachtet. Für die bildliche Auswertung wurde ein Adapter für eine Digitalkamera entwickelt und für das Mikroskop gebaut. Hierdurch können sowohl die Lupenbilder, wie auch die mikroskopischen Bilder digital erfasst und am PC ausgewertet werden.

Durchführung:

Mehlpräparate:

Die Färbung der Stärke wird durch Bildung von Stärke-Jod-Komplexen erreicht. Amylose und Amylopektin vermögen, aufgrund ihrer unterschiedlichen Strukturen, unterschiedliche Mengen an Jod zu binden. Amylose erscheint dabei bläulich, Amylopektin rötlich-braun. Dabei ist die einzusetzende Konzentration an Jod sehr gering und von Krume zu Krume leicht unterschiedlich. Durch zu hohe Konzentrationen von Jod überfärben die Präparate. Im Einzelfall muss die

Färbelösung angepasst werden. Zur Steigerung des Farbkontrastes wird neben Jod Kongorot in der Färbelösung verwendet, das auch die Kleiepartikel rot anfärbt.

Stammlösung 1:

1 g Jod wird mit 3.5 g KI mit ca. 5-10 ml dest. Wasser im verschlossenen Jodzahlkolben im Ultraschallbad gelöst. Die Lösung wird auf 100 ml aufgefüllt und ist in einer braunen Glasflasche im Schrank bei Raumtemperatur lagerfähig.

Stammlösung 2:

3g Kongorot werden in 20 ml dest. Wasser im Ultraschallbad aufgelöst und zu 100 ml aufgefüllt. Die Lösung ist bei Raumtemperatur lagerstabil.

Färbung:

1 ml Stammlösung 1 wird mit 15 ml Stammlösung 2 gemischt und mit 1 ml Probe (z.B. 1 g Mehl, Sauerteig aufgeschwemmt in 10 ml Wasser) versetzt. 30µl werden auf einen Objekträger pipettiert und mit einem 18x18 mm Deckgläschen eingedeckelt. Überschüssige Lösung wird mittels Filterpapier am Rand des Deckgläschens abgesaugt.

Es erfolgt die Betrachtung unter dem Durchlichtmikroskop bei den entsprechenden Vergrößerungen (bis 200x), ggf. auch mit sich kreuzenden Polarisationsfiltern.

Krumenpräparate:

a) Die Brote werden in ca. 4-5 cm breite Scheiben geschnitten und nach dem Schneiden vorsichtig aufgebrochen. Dadurch ist die Betrachtung der inneren Krumen und Krustenstrukturen (Bruchflächen), mittels Lupe, direkt möglich.

b) Zur Herstellung von Suspensionen werden die Krumen isoliert und in Wasser entweder 15 Minuten leicht bewegt (10 g Krume in 100 ml Wasser), oder mittels Turrax 30s zerkleinert (1g Krume in 100 ml Wasser).

Proteinfärbungen:

3g Coomassie Blue Serva G 250 werden in einer 1%igen Natrium-Fluoresceinlösung (dest. Wasser) im Ultraschallbad gelöst. Die Lösung ist jeweils frisch anzusetzen und

nach dem Abtrennen ungelöster Bestandteile durch Zentrifugation (5000 U/min, 5min) direkt gebrauchsfähig. Zur Färbung wird die Krumenprobe mit der Färbelösung überspült und ca. 5 Minuten gefärbt. Hierauf wird mit dest. Wasser überschüssige Farbstofflösung abgespült (5 min) und die Probe unter der Lupe oder dem Mikroskop betrachtet. Zur Färbung von Suspensionen wird die Probe in Wasser suspendiert (Turrax) und im Verhältnis 1: 1 mit der Färbelösung behandelt. Diese Proben können direkt nach dem Eindeckeln unter dem Mikroskop betrachtet werden.

3.2.12 Elektronenmikroskopische Untersuchungen mittels ESEM

Prinzip der Methode:

Durch den Beschuss eines Objektes mit Elektronen, deren Absorption oder Reflektion können Bilder eines Objektes in einem Elektronenmikroskop erzeugt werden. Hierbei kann die Untersuchung an prinzipiell unterschiedlichen Mikroskopen erfolgen. Bei Transmissionsmikroskopen durchdringt ein Teil eines Elektronenstrahles die Dünnschnitte fixierter, präparierter Proben, während bei Reflektionsmikroskopen der reflektierte Strahl das spätere Bild der Probe liefert. Die Verwendung eines Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM) ist für die Betrachtung der Strukturen von Krumen und Krusten die Methode der Wahl, da hierbei durch die Probenpräparation keine bedingten Artefakte entstehen. Es können direkt Untersuchungen an den gebackenen Broten/Krumen durchgeführt werden, ohne diese zu trocknen, zu fixieren oder zu bedampfen. Die Messung erfolgt in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre, was ein Austrocknen der Probe verhindert. Durch die in dem Probenraum vorhandenen Wassermoleküle kommt es zu einer kaskadenartigen Verstärkung des von der Probe reflektierten Sekundärstrahles. Diese Signale werden im Detektor registriert und im angeschlossenen PC für die grafische Auswertung aufgearbeitet. Abbildung 24 zeigt die prinzipielle Arbeitsweise des ESEM.

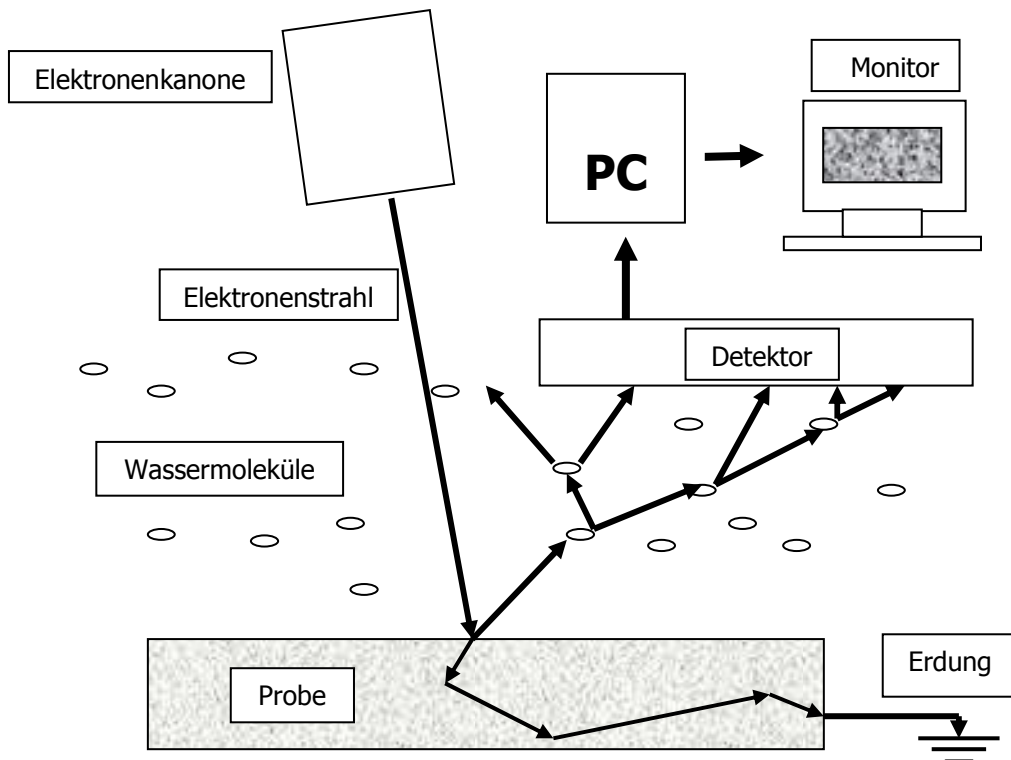


Abbildung 24: Prinzip der Untersuchung einer Probe mit einem ESEM

Durchführung:

Sauerteige werden entsprechend 3.2.5 hergestellt und zur Betrachtung in einem Philipps XL 30 ESEM der innere Bereich des Sauerteiges (nicht die Oberfläche) mittels Spatel aufgebrochen und auf einem Träger (Targetdurchmesser: 10 mm) platziert.

Weizenteig zur Untersuchung als Vergleichsprobe wird direkt vor der Untersuchung durch Mischen und Kneten von Weizenmehl (Type 550) hergestellt und über den Targetträger gespannt.

Im Backversuch gebackene Brote werden zerteilt und ein ca. 10x10 cm großes Stück der Probe wird auf dem Messplatz des ESEM fixiert. Nach Schließen des ESEM wird der Probenraum bis zu einem Druck von ca. 5 Torr evakuiert. Im Probenraum befindet sich ein kleiner Wasservorrat, der während der Messung ein Austrocknen der Probe verhindert und die Funktion des ESEM sicherstellt. Zusätzlich wird der Druck innerhalb der Messeinheit durch Pumpen und Wasserdosierer automatisch konstant gehalten. Die gewonnenen Bilder wurden mittels PC und zugehörigem Programm aufgearbeitet.

3.2.13 Sensorische Untersuchung von Brotkrumen

Prinzip der Methode:

Im Roggen-Standard-Backversuch werden Brote gebacken, die Krumen isoliert, bis zur Verkostung steril und versiegelt gelagert und von 5 sensorisch geschulten Brotprüfern mit DLG Prüferpass unabhängig voneinander verkostet und beurteilt.

Durchführung:

Von frisch gebackenem Brot werden unter wiederholter Desinfektion der Geräte und aller verwendeten Gerätschaften mit 70%igem Ethanol, 8 h nach dem Backprozess 12mm starke Scheiben geschnitten. Aus den Scheiben werden auf einem Schneidbrett durch Drehen von Petrischalen (Durchmesser 55 mm) die Krumenmitten in die Petrischalen hineingebohrt, dadurch in die Schale gefördert und hierauf mit dem Deckel verschlossen. Pro Petrischale wird die Krumenmitte jeweils einer Brotscheibe isoliert. Nach dem Aufsetzen des Deckels werden Deckel und Boden mit Parafilm versiegelt und die Proben bei Raumtemperatur gelagert. Nach Lagerzeiten von 1, 4, 7, 14, 21 und 28 Tagen werden jeweils Proben in flüssigem Stickstoff binnen Sekunden eingefroren und bis zur Untersuchung bei – 20°C im Eisschrank gelagert. Ggf. bis zu diesem Zeitpunkt dennoch verschimmelte Proben werden verworfen, nicht eingefroren und gelangen nicht zur Prüfung.

Zur sensorischen Beurteilung werden die eingefrorenen Proben 2 h bei Raumtemperatur auf einem Rost aufgetaut und erst direkt vor der Prüfung entpackt und geöffnet. Zur Beurteilung kommen jeweils 5 Proben unterschiedlicher Lagerzeiten, wobei die erste zu verkostende Probe eine am 1. Tag nach dem Backen eingefrorene Vergleichsprobe ist und als interne Abgleichsprobe dient. Die Prüfung findet fünf mal stets zur gleichen Uhrzeit, unter gleichen Lichtbedingungen, am immer gleichen Platz, mit den gleichen Prüfern statt. Die Prüfer prüfen getrennt voneinander und fertigen für die Untersuchung jeweils ein Protokoll an. Hierbei wird vom Prüfer sein individueller Eindruck in Bezug auf die Parameter salzig, sauer, Saftigkeit, Weichheit und Kaufbereitschaft auf 130 mm langen Linien, ohne Skalierung zwischen schwacher und starker Ausprägungsstufe, markiert. Nach der Prüfung wird die Strecke bis zur jeweiligen Markierung mit einem Lineal abgemessen

und dem Parameter summarisch als Länge in mm zugeordnet. Die Prüfergebnisse der Parameter werden anschließend tabellarisch erfasst und unter Medianbildung ausgewertet und auf relative Skalenteile (130mm=100%) normiert.

Jede Untersuchung erfolgt zumindest als Doppelbestimmung.

3.2.14 Mikro-Backversuch als Krumen-Plattenbackversuch

Prinzip:

Zwecks einer optimierten Messprobe für die Kriech-Erholungs-Messung (KEM) wurde ein nahezu porenfreies Modellsystem erarbeitet, das nach dem Backen nicht zerteilt werden muss, direkt gelagert und anschließend gemessen werden kann. Hierzu werden 2 mm starke „Brotscheiben“ nach dem Backversuch in dort definierter Zusammensetzung und Teigausbeute ohne Krustenbereiche in spezieller Weise gebacken. Die Herstellung und Lagerung erfolgt in luft- und wasserdicht versiegelter Form, um eine Wasserdiffusion, und damit ein Austrocknen der Scheiben, zu unterbinden. Die Krumen werden nach dem Backen verschlossen gelagert und nach unterschiedlichen Lagerzeiten in Kriecherholungsmessungen gemessen.

Durchführung:

Von den Typenmehlen werden im 50 g Sigmaschaufel- Farinographkneteter zunächst Teige in folgender Weise hergestellt:

50 g Mehl (bezogen auf 14% Mehlfeuchte) werden 60 s im Kneteter bei eingeschaltetem Knetwerkzeug (63 U/min) gelockert. Es erfolgt die Zugabe von soviel Milchsäure/Salzlösung, wie in den Standardbackversuchen als Teigausbeute bereits ermittelt wurde (4.2.10). Es wird als Lösung eine dem Teigliquor in Salz und Säurekonzentration entsprechende verwendet (1.8% Kochsalz, 0.85% Milchsäure, wässrige Lösung), um die durch Salz und pH Wert hervorgerufenen Einflüsse auf die Teigmatrix während der Gare und des Backprozesses zu berücksichtigen.

Ab Start der Zugabe der Lösung wird der sich formende Teig 5 Minuten geknetet, aus dem Kneteter entfernt und verschlossen in Frischhaltefolie während der Zwischengare und Gare (15+45 Minuten) aufbewahrt. Von dem Teig werden mit kochtemperaturbeständiger, Wasser und Gas undurchlässiger Verbundfolie

(gereinigte Verpackungsfolien von Schmelzkäse), bespannte Glasplatten mittels Spatel blasenfrei bestrichen und Teigplatten durch Pressung in einer Schichtdicke von 2 mm hergestellt. Abbildung 25 zeigt schematisch die vorbereiteten Teigplatten.

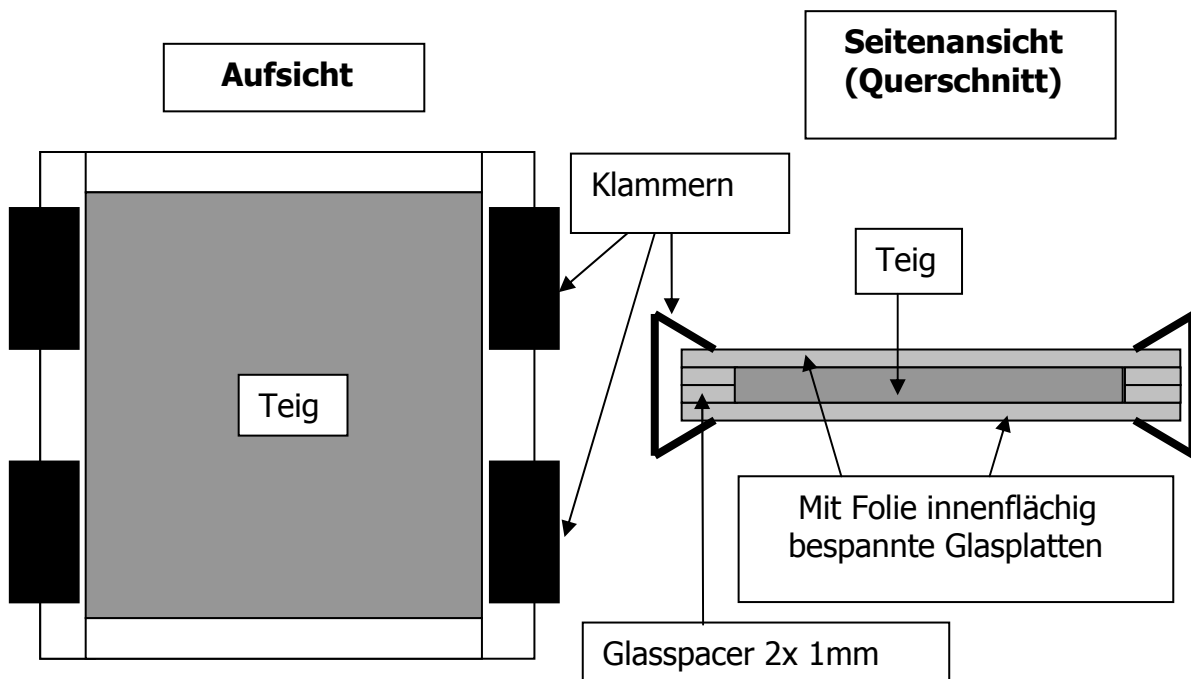


Abbildung 25: Herstellung von 2 mm starken großen Teigplatten im Plattenbackversuch

Von jeder Mehlprobe werden 7 Teigplatten identischer Zusammensetzung hergestellt und nach einer Ruhezeit von 60 Minuten seit dem Start der Teigbereitung im 96° C heißen Trockenschrank innerhalb von 60 Minuten gebacken. 60 Minuten Teigruhezeit entsprechen dabei der Zeit, in der nach üblichen Bedingungen das Brot in Standardbackversuchen ab Teigbereitungsbeginn in den Ofen geschoben wird. Die Wahl der Temperatur von 96°C bezieht sich auf die in der Mitte eines Roggenmehlbrottes während des Backprozesses im Ofen gemessene Temperatur, die nach 20 Minuten erreicht ist und bis zum Ende des Backprozesses dort vorherrscht. Die Backzeit von 60 Minuten bezieht sich auf die Dauer der Temperatur von 96°C in einem Roggenmehlbrot, unter Berücksichtigung der Abklingphase des Brotes nach dem Backen.

3.2.15 Kriecherholungsmessungen (KEM) an Krumensystemen

Prinzip:

Die gebackenen Krumen werden nach ihrer jeweiligen Lagerzeit mittels Kriecherholungsmessungen (KEM) untersucht. Abbildung 26 zeigt schematisch die Schereinwirkung und resultierende Gegenkraft F während der Messung, Abbildung 27 exemplarisch die Messkurve. Hierbei wirkt zeitlich begrenzt eine tangentielle Kraft F auf die Krume ein (A). Nach dieser Belastungszeit wird die Kraft schlagartig entspannt und die „Entdrillung“ als elastischer Teil der Rückdeformation als Winkelmaß bestimmt (B). Je fester dabei die zu untersuchende Probe ist, desto geringer ist der zu betrachtende Rückstellwinkel.

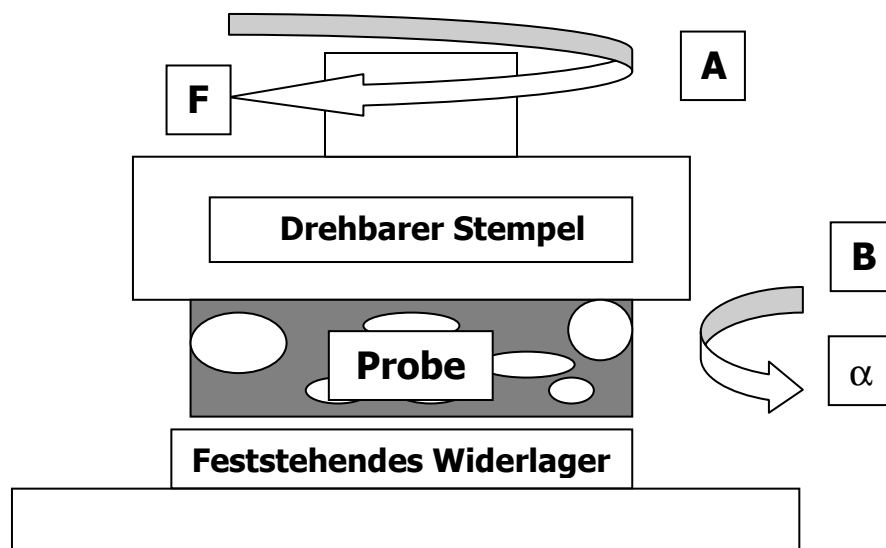


Abbildung 26: Schematische Abbildung der Verdrillung der Probe während der Messung

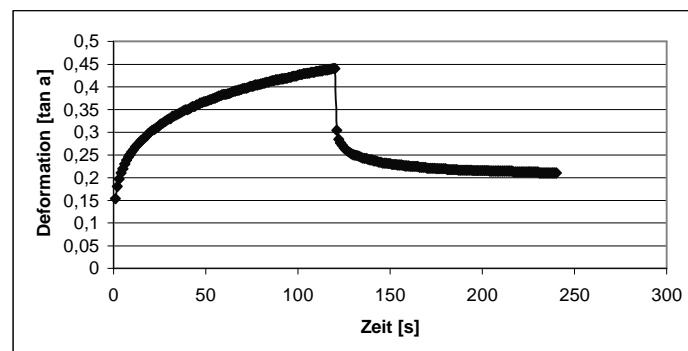


Abbildung 27: KEM von Krumenplatten: Belastung bis 120 s, dann Entlastung bis 240 s

Durchführung:

Für die Messungen wird ein Physica Rheometer (Rheolab MC 10 mit Universal Messeinrichtung UM, Messplatte MP30; Physica Messtechnik Stuttgart) verwendet. Unmittelbar vor der Messung der zu untersuchenden Krume des 2 mm Plattenbackversuches wird die Probe vorsichtig aus der Versiegelung entnommen und unter der Messvorrichtung platziert. Nach der Platzierung wird der Stempel bis auf eine Spaltbreite von 1,5 mm in die Probe eingefahren und die über die Stempel herausragenden Krumentteile mittels Spatel entfernt. Es wird dann unmittelbar mit der Messung begonnen.

Durch Wahl der geeigneten Messgeometrie (MP 30; Stempel: \varnothing 25 mm) und der seitlichen Kraftwirkung mit 12.500 Pa auf die Probe mit zeitgleicher Aufzeichnung des Drehwinkels (s. Abbildung 26), während der Messung, können die erzeugten 2 mm Krumenplatten bei einer Schichtdicke von 1.5 mm gemessen werden. Zur Auswertung werden die Maxima und die Erholungswerte erfasst. Die Differenz stellt den elastischen Anteil der Rückdeformation dar. Dieser Parameter wird auch vom Konsumenten durch Drücken des Brotes im Supermarkt grob erfasst und die Frische des Brotes von ihm direkt in sein Erfahrungsfenster eingeordnet.

4.0 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Sensorische Untersuchungen

Einleitung:

Das Prinzip der instrumentellen Texturanalyse von Lebensmitteln ist weit verbreitet, beispielsweise mittels axialem linearem Druck, Zug oder dynamischer Knetung (Beispiel: Nudeln mittels Texture Analyzer, Fa. Stable Microsystems, Teige mittels Extensograph Fa. Brabender, oder in Scher- und Knetmessungen von z.B. Teig, Kaugummi, Käse oder Schokolade in Farinographknetern).

Ziel der Untersuchungen war es zunächst, einen Zusammenhang zwischen menschlicher Sinnes-Sensorik und instrumenteller Sensorik zu prüfen und eine entsprechend einfache instrumentelle Methode zu entwickeln.

Zielvorgabe war ferner auch, nur eine geringe Probenmenge für diese Methode zu benötigen. Dies wäre unmittelbar von Vorteil für die Praxis, würden doch zur Beschreibung der Alterung von Brot direkte Zahlenwerte eines Gerätes vorliegen, die nicht von der Tagesform eines Sensorikers abhängen unter Berücksichtigung der Untersuchung einer kleinen Probenmenge. Zudem sind für eine sensorische Prüfung der Alterungserscheinungen von Brot eine größere Anzahl von gleichen, identischen Proben und zeitgleich sensorisch speziell geschulter Fachpersonen zwingend erforderlich, was in der Praxis selten der Fall ist.

Zur Prüfung des Zusammenhanges zwischen menschlicher Sinnes-Sensorik und instrumenteller Ergebnisfindung wurde Roggenmehlbrot gebacken, zerteilt und gelagert. Der Lagerzeitraum erstreckte sich von 24 Stunden bis 28 Tagen. Nach Ablauf der jeweiligen Lagerzeiten wurden die bis zu diesem Zeitpunkt gelagerten Proben unmittelbar in flüssigem Stickstoff eingefroren und in diesem bis kurz vor der eigentlichen Messung gelagert. Vor den Untersuchungen wurden die versiegelten Proben auf einem Drahtrost 2 Stunden bei Raumtemperatur aufgetaut.

Als Basis einer instrumentellen Untersuchungsmethode wurde die schubspannungsgesteuerte Kriecherholungsmessung (KEM) gewählt. Zur Untersuchung kamen in beiden Methoden, menschlicher Sensorik und KEM, die jeweils gleichen Proben gleicher Lagerzeiten und Vorgeschichten. Für die Messung der Deformation wurde eine Belastungszeit von 60 s gewählt, und für die darauf folgenden Entlastungszeiten je 120s, bei einer Deformationskraft von 12500 Pa (Prüffläche 25mm², Riffelung 1/mm, Messspalt 1 mm, Messtemperatur 25°C). Vor der Messung wurde die Porung der Krume durch Stauchung zwischen den Messplatten zusammengedrückt, sodass sich zwischen den Messplatten lediglich Porenwandmatrix befand. Dies entspricht, in Annäherung, dem ersten Zubeißen beim Kauprozess. Nach der Deformationsphase wurde in Anlehnung an den Kauprozess eine Entspannungsphase angeschlossen. In der zweiten Phase der Messung zeigte sich der elastische Anteil der Rückdeformation.

Ergebnisse und Diskussion:

In Abbildung 28 ist die Abhängigkeit der Deformation nach 60s, unmittelbar 1 s nach der Deformationsbelastung, sowie nach einer weiteren Entlastungszeit von 119 s, ausgedrückt als Deformationswinkel $\tan \alpha$, von der Lagerzeit, in Tagen aufgetragen. Ebenfalls findet sich in der Abbildung der Anteil des elastischen Anteils der Rückdeformation, die als Erholungswerte gekennzeichnet sind. Die Auswertung ergibt grafisch eine enge Beziehung zwischen den Deformations- und Rückdeformationswerten und der Lagerzeit. Diese Beziehungen können durch Exponentialfunktionen beschrieben werden.

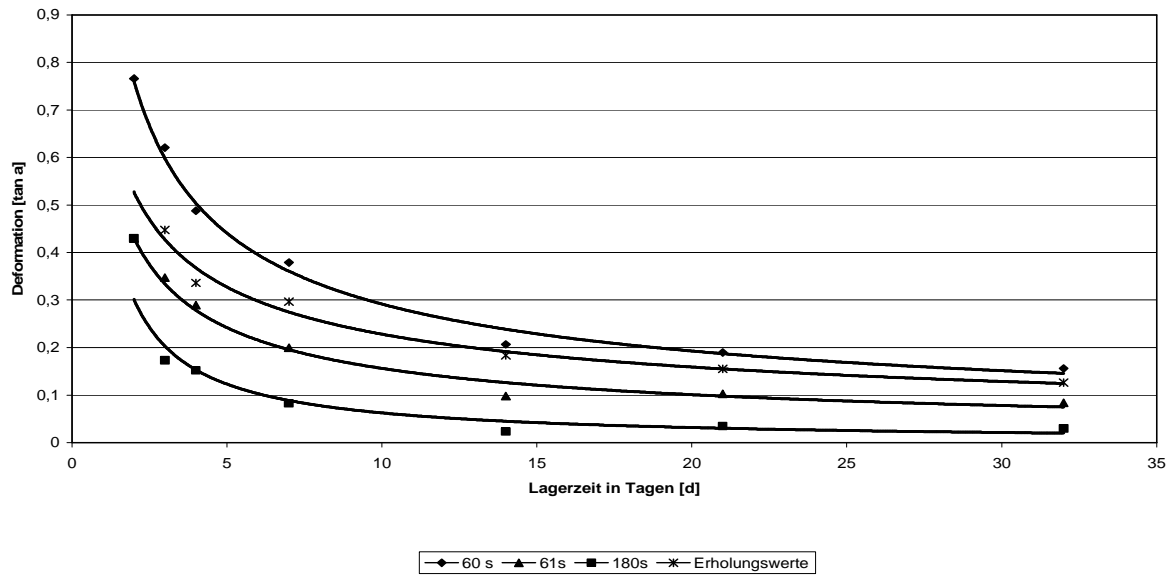


Abbildung 28 : Rückdeformation von Krumen als Funktion der Lagerzeit [d]

Für die hier aufgeführten untersuchten Proben wurden die folgenden Funktionen mit zugehörigen Bestimmtheitsmassen nach Pearson berechnet :

Tabelle 6: Berechnete Kurvenverläufe der Krumenfestigkeitsänderungen mit der Zeit

Belastungszeit	Berechneter Kurvenverlauf	Bestimmtheitsmass
60 Sekunden	$y = 1,1521x^{-0,5966}$	$R^2 = 0,9873$
61 Sekunden	$y = 0,6682x^{-0,631}$	$R^2 = 0,9691$
180 Sekunden	$y = 0,5944x^{-0,9773}$	$R^2 = 0,8921$
Erholung [60s-180s]	$y = 0,7571x^{-0,5206}$	$R^2 = 0,9851$

Diese Funktionen stellen versuchsbedingte und gerätespezifische Funktionen dar, die nur unter den gegebenen Verhältnissen gültig sind. Unter Verwendung ähnlicher Messvorrichtungen und Bedingungen (Kauprozess) sind aber grundsätzlich ähnliche Ergebnisse zu erwarten, da es sich hierbei um generelle Phänomene handelt. Die Änderungen der Krumenfestigkeiten lassen sich unter den gewählten Versuchsbestimmungen zuverlässig differenzieren, quantifizieren und beschreiben.

In der Auswertung der sinnes-sensorischen Prüfung wurden zunächst von den Texturparametern „Weichheit“, „Saftigkeit“ und „Overall liking (OAL)“ (Gesamteindruck) entsprechend die Durchschnittswerte der Individualprüfungen benannt und berechnet. Die Parameter „Salzig“, „Sauer“ und „Bitter“ (Geschmack) wurden im Protokoll ebenfalls mit erfasst, um eine ungestörte Texturanalyse durch die Prüfer zu gewährleisten (Popper, Rosenstock, Schraidt, Kroll, S.853f).

Jede der Prüfpersonen, wie auch jeder Verbraucher, hat in Hinblick auf die zu prüfende Probe jeweils seine eigene, individuelle Skala. Diese schwankt natürlicherweise und wird von der Tageszeit und Tagesform des Prüfers abhängig sein. In DLG Brotprüfungen versuchen je mindestens drei Prüfer bei der Beurteilung der Brotproben durch Konsensbildung eine Gemeinschaftsbeurteilung abzugeben. Bei einer DLG Prüfung ist nur ein Konsensergebnis zulässig. Hierzu müssen vor Beginn der Brotprüfung die 3 Prüfer anhand einer Vergleichsprobe abgeglichen werden. Alle Ergebnisse solch einer Brotprüfung sind als Konsensergebnisse zu sehen, die auch im Durchschnitt ihrer Summe von den individuellen Ergebnissen in Einzelprüfungen gleicher Prüfer abweichen können.

In der nun unter 3.2.13 beschriebenen sensorischen Prüfung erfolgt gezielt keine gemeinschaftliche Ergebnisfindung, sondern eine individuelle und unabhängige Prüfung der Proben. Dementsprechend sind relativ weite Streuungen der Einzelergebnisse zwischen Individualprüfungen der jeweiligen Parameter zu erwarten gewesen. Dies entspricht auch dem Normalfall der Praxis, der Beurteilung des Brotes durch den Konsumenten. Alle Konsumenten weisen unterschiedliche Präferenzen auf und bewerten gleiche Parameter unterschiedlich.

Normiert man jedoch die Einzelergebnisse der Parameter durch Bildung ihres jeweiligen Medianes und führt die Prüfung unter konstanten Bedingungen (gleiche Prüfer, gleiche Umweltbedingungen) aus, so entspricht die Summe der individuellen Prüfungen den sensorischen Ergebnissen der Einzelparameter, unabhängig von der individuellen Skala. Da manche Prüfer über die gesamte Breite der Skala beurteilen, einige aber nur in Teilbereichen, entspricht der normierte Durchschnitt ergo der Durchschnittsbeurteilung der Probe. Dies dürfte allgemein sowohl für textuelle, wie auch geschmackliche Parameter gelten.

Zur grafischen Auswertung der sensorischen Parameter werden die Durchschnittswerte auf Basis der Gesamtlänge der während der Sensorik angewendeten Skala (130 mm=100%) prozentual zu relativen Skalenteilen (rel. ST), normiert. Im weiteren Verlauf werden die beurteilten Parameter in gleichen Funktionssystemen gegenübergestellt. Hierdurch kann auch die durchschnittlich normierte Präferenz als "overall liking" (Gesamteindruck) herausgefunden werden. Die grafische Auswertung in der Texturparameter „Saftigkeit“ (S), und „Weichheit“ (W) ist in Abbildung 29 wiedergegeben. Die gestrichelte Linie stellt exemplarisch die grafische Wiedergabe der berechneten Tendenz der „Saftigkeit“ der Brotkrume dar.

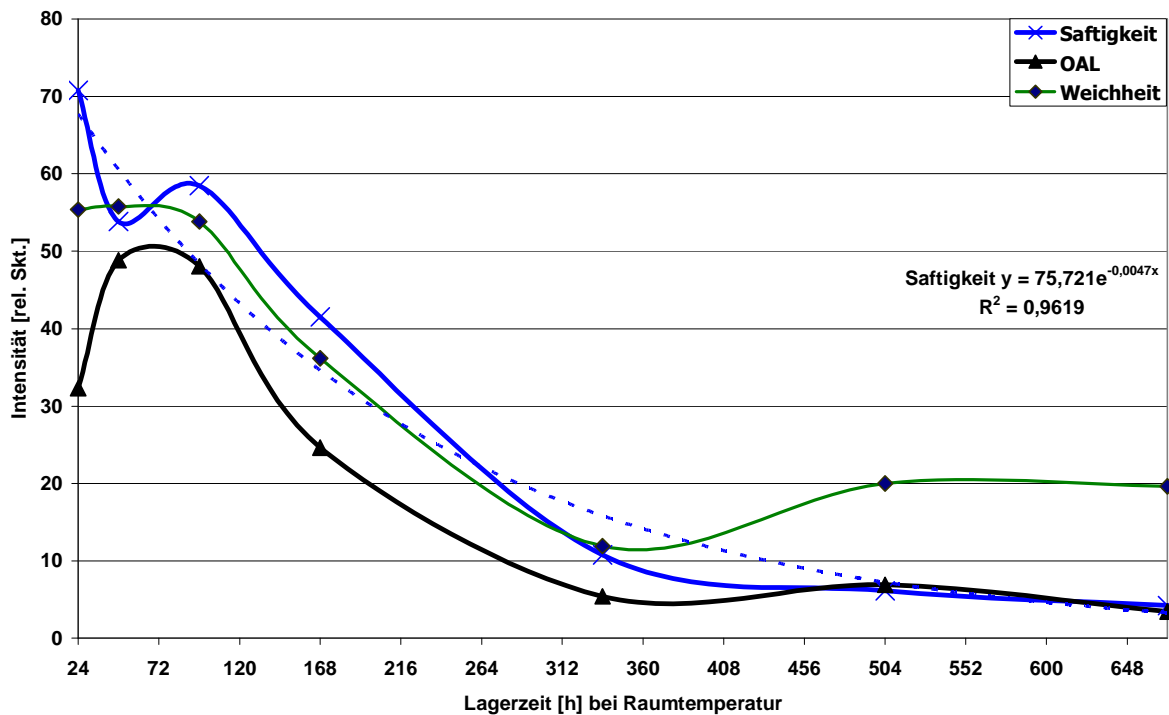


Abbildung 29: Saftigkeit (blau), Weichheit (grün), Over all liking (schwarz) gegen Lagerzeit)

Zunächst bestätigen die sinnes-sensorischen Messwerte die zu erwartende Verfestigung der Krume. Die Saftigkeit und Weichheit der Proben nimmt mit der Lagerung signifikant ab. Gerade der Parameter Saftigkeit wird vielfach mit der „Frischhaltung“ allgemein in Beziehung gesetzt, ebenso die Weichheit der Krume. Die Beschreibung der Abnahme der Saftigkeit durch eine Funktion mit signifikantem Bestimmtheitsmass legt ferner die Annahme nahe, neben einer Verfestigung könnte es zu einem „Austrocknen“ der Krume kommen. Diese These wurde jedoch bereits im 19. Jahrhundert widerlegt (Boussignault, S. 492). Die im Rahmen dieser Arbeit

untersuchten Proben waren zudem während der gesamten Lagerzeit luftdicht in Petrischalen verschlossen und mittels Parafilm sorgfältig versiegelt worden. Ein Verdunsten von Wasser während der Lagerung durch die Versiegelung erfolgte nicht, was durch Differenzwägung geengeprüft wurde. Während der Lagerung bis zur Entnahme, unmittelbar vor der Untersuchung, änderte sich das Gewicht der versiegelten Proben nicht, ebenso wenig ist von einem signifikanten Wasserverlust durch Verdunsten während der Untersuchung auszugehen. Warum die Krume trockener erscheint, kann hier durch die sensorischen und instrumentellen Messungen nicht abschließend ergründet werden. Zur Erarbeitung eines Modelles der Wasserwanderung innerhalb eines Brotes wurden daher später Messungen an Brot und DSC Messungen durchgeführt, die die Absorption von Wasser durch die Krume während der Lagerung nahe legen. Näheres hierzu wird im dortigen Kapitel beschrieben und dargelegt.

Im Bezug auf die Auswertung instrumenteller und menschlicher Sensorik ähneln sich die Grafiken der Auswertung der instrumentellen Messungen (Abbildung 28) und die sensorisch erfassten (Abbildung 29), lassen also einen möglichen Zusammenhang vermuten.

Der nun anstehende Vergleich zwischen den sensorischen und instrumentellen Werten der KEM findet sich in Abbildung 30. Hierbei sind die sinnes-sensorischen Parameter „Saftigkeit“ und „ Weichheit“ mit der Deformation über den Untersuchungszeitraum von 1 bis 28 Tagen gegenüber gestellt.

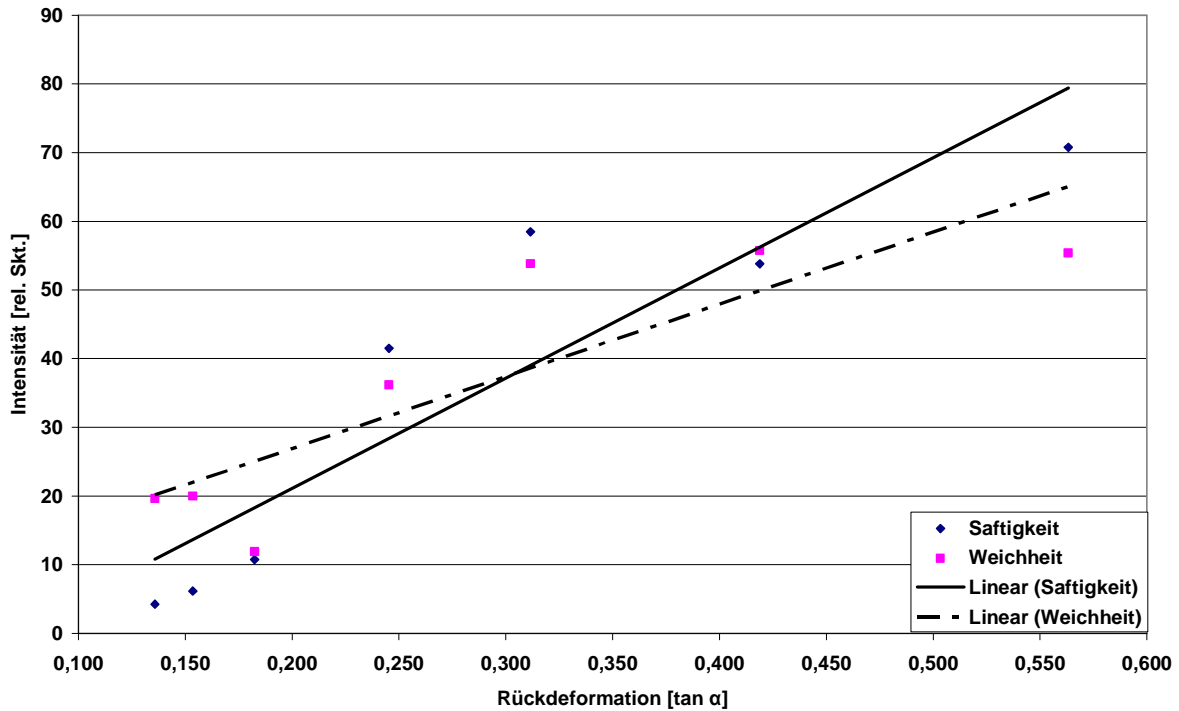


Abbildung 30: Saftigkeit und Weichheit als Deformation (Tag 4 – Tag 28) gegenüber der sensorischen Beurteilung in relativen Skalenteilen

Die aus Abbildung berechneten Funktionen $F(x)$ sind in Tabelle 7 gegenübergestellt.

Tabelle 7: Korrelationen zwischen sensorischen Parametern der Saftigkeit und Weichheit und den instrumentellen Werten während der Lagerzeit der Proben von 1 – 28 Tagen

Parameter	F (x)	Bestimmtheitsmaß
Saftigkeit (S)	$y = 160,58x - 11,014$	$R^2 = 0,8287$
Weichheit (W)	$y = 105,15x + 5,8952$	$R^2 = 0,7456$

Es zeigt sich hierdurch eine Korrelation zwischen der Weichheit der Krume und der Deformation, d.h., dass eine weichere Krume sowohl sensorisch, wie auch mittels Kriech-Erholungs-Messung in ihrem Alterungszustand eingestuft werden kann und dass diese Ergebnisse zueinander im Verhältnis stehen. Ähnliches gilt für die Saftigkeit. Die Kriech-Erholungs-Messung kann daher dazu dienen, die Krumenfestigkeit im Verhältnis zur Weichheit der Krume zu beschreiben, was durch die erfolgten Messungen gezeigt wurde. Allgemein wird die sensorische und

instrumentelle Untersuchung an Roggenkrumen durch Untersuchungen an Weizenteigen und Weizenbrot (Carson, Sun, S. 104; Wang, Sun, 570) bestätigt. Die tangentielle Deformation von Brotkrumen konnte mittels Kriech-Erholungs-Messung messtechnisch reproduzierbar erfasst und feiner aufgeschlüsselt werden, als es die menschliche Sensorik vermag. Durch die Kriech-Erholungs-Messung können präzisere Messungen ohne zufällige Fehler des sensorisch geschulten Personals erfolgen, da natürlicherweise auch die Sinnesleistungen von der Tagesform des Menschen abhängig sind.

Die Weichheit und die Saftigkeit sind als textuelle Parameter eng mit dem „overall liking“ korreliert. In der Summe der Individualpräferenzen sinkt dies mit der Lagerzeit.

Ergänzend zu den instrumentellen Messungen soll hier kurz über die geschmacklichen Änderungen „Sauer, Salzig, Bitter“, die Änderungen während der Lagerung durchlaufen, eingegangen werden. Diese Geschmacksparameter wurden zeitgleich mit der sensorischen Untersuchung durchgeführt, um die Prüfer nicht unbewusst in ihren Entscheidungen zu beeinflussen (Popper, S.853f). Hierdurch war ihnen während der Prüfung nicht bekannt, welche Parameter eigentlich in der Untersuchung im Hinblick auf die Brotalterung gefragt waren. Die Geschmackseindrücke sind somit als Nebenprodukt der sensorischen Untersuchung entstanden und sollen hier nur kurz der Vollständigkeit halber mit erwähnt werden.

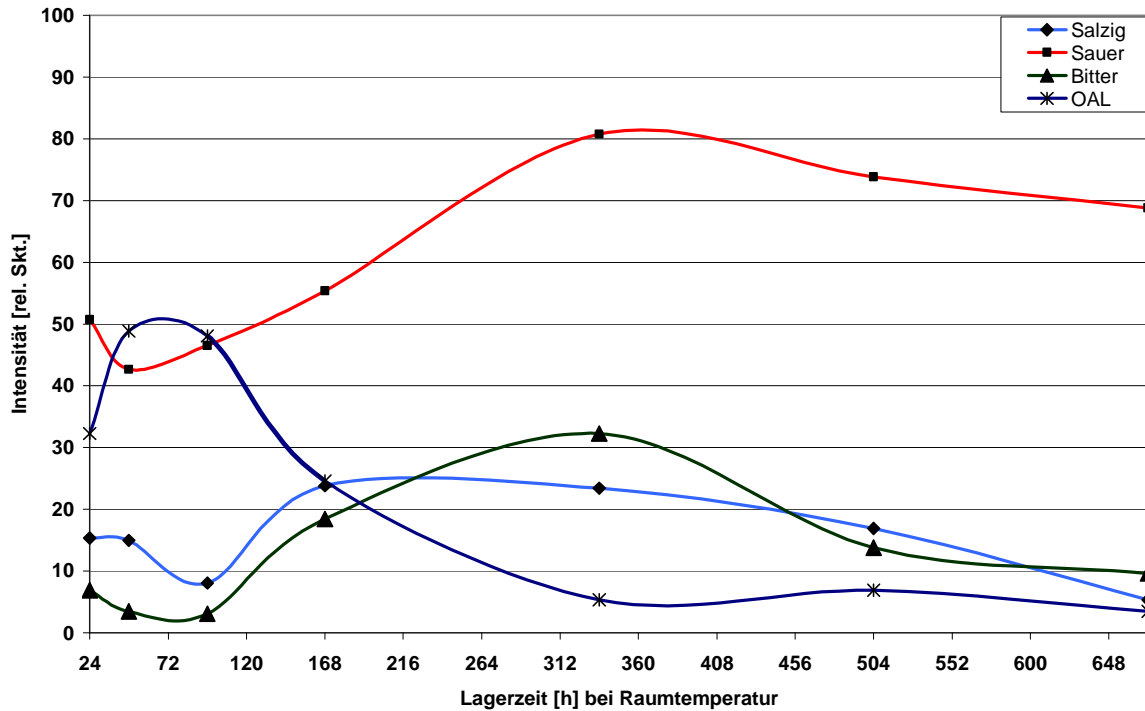


Abbildung 31 : Sinnes-sensorische Parameter salzig , sauer, bitter und OAL während der Lagerzeit

Die sensorische Bewertung der Krumen gleicher Rezeptur und Herstellungsparameter ergab für die Geschmacksparameter „Salzig“ „Sauer“ und „Bitter“ unterschiedliche Verläufe. Der Geschmacksparameter „Sauer“ wurde in allen Lagerzeiten grundsätzlich in der höchsten Intensität vermerkt. Während der Lagerung nehmen die Geschmackseindrücke „Sauer“, „Salzig“ und „Bitter“ zu, während der für „Salzig“ nach 7 tägiger Lagerzeit der Krume wieder abnimmt. Das bedeutet, dass die Beurteilung der Geschmackseindrücke von Roggenmehlbrot, neben der Rezeptur, immer im Zusammenhang mit der bisherigen Lagerzeit zu sehen ist, da sich der Geschmackseindruck „Sauer“ mit der Lagerzeit wesentlich verstärkt und nahezu linear verdoppelt. Interessanterweise verläuft die Änderung des overall likings nahezu spiegelverkehrt zum Geschmackseindruck „Sauer“.

Zusammenfassung:

1. Während der Lagerung der untersuchten Muster bei Raumtemperatur bis zu einer Lagerdauer von 28 Tagen verfestigten sich allgemein die Brotkrumen der Proben.
2. Dies ist sensorisch insbesondere in der Abnahme der relativen Skalenteile der Parameter „Weichheit“ und „Saftigkeit“ erkennbar.
3. Ebenfalls sinkt mit der Lagerzeit die Konsumbereitschaft. Die Krumenweichheit und Saftigkeit weist eine enge Korrelation zur Konsumbereitschaft (overall liking) auf.
4. Instrumentell kommt es bei hierzu gleichen Proben zu einer Abnahme des elastischen Anteiles der Deformation und Rückdeformation.
5. Die mit der Lagerzeit auftretenden Änderungen der Deformation und die Abnahmen des elastischen Anteiles der Rückdeformationen können grafisch ausgewertet und die Funktionen, in Abhängigkeit von der Lagerzeit, berechnet werden. Die resultierenden Funktionen zeigen in ihren Zusammenhängen hohe Bestimmtheitsmaße auf.
6. Zwischen den sensorischen Werten der Texturuntersuchungen und instrumentellen Werten der Deformation und Rückdeformation, innerhalb von Kriech-Erholungs-Messungen, bestehen bei den untersuchten Mustern von Roggenbrotkrumen direkte Zusammenhänge. Die Deformation und/oder Rückdeformation der Kriech-Erholungs-Messung kann damit als indirektes Maß der Krumenweichheit gesehen werden.
7. Während der Lagerung nimmt der Geschmackseindruck „Sauer“ am stärksten zu, bei gleichzeitiger Verfestigung der Krume und einer zugehörigen Abnahme der Konsumbereitschaft. Die starke Zunahme des sauren Geschmackseindruckes mit der Lagerzeit, der sich während der ersten 14 Tage nahezu verdoppelt, sollte allgemein bei der sensorischen Bewertung gelagerter Roggenbrotkrumen (z.B. bei DLG Brotprüfungen) beachtet werden, ebenso die Zunahme des Geschmackseindruckes „Bitter“.

4.2. Kriech-Erholungs-Messungen an gelagerten Krumen

Einleitung:

Die aus den Anbauversuchen mit den Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo aus 5 bundesweiten Standorten gewonnen Getreideproben wurden zu Roggenmehlen der Type 997 vermahlen. Von diesen Mehlmustern wurden im Standard-Backversuch Brote üblicher Größen gebacken und beurteilt. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Teigausbeuten im durchgeführten Standard-Backversuch wurden hierauf im Sigma 50 g Farinograph[®] Kneiter definierte Teige mit diesen Mehlmustern hergestellt, die denen in der Rezeptur des Milchsäure-Standardbackversuches glichen. Mit Sauerteig angesetzte Teige wurden nicht gewählt, da aufgrund der zur Verfügung stehenden Probenmengen und der mit dem Einsatz von Starterkulturen einhergehenden Gasproduktion keine ausreichenden Mengen an porenfreien Krumensystemen zu erzeugen waren. Die Modellkrumen wurden daher, analog des entwickelten Mikro-Platten-Backversuches (3.2.14), zu „Krumenplatten“ gebacken. Die gebackenen Krumenplatten wurden versiegelt, verpackt gelagert und die zeitlichen Veränderungen der Textureigenschaften durch Kriecherholungsmessungen erfasst. Die im Platten- Backversuch gebackenen 2 mm starken Krumenplatten zeichnen sich durch fehlende makroskopische Lockerung oder eine Porung aus. Zur Messung gelangten daher reine „Krumengele“ eines üblichen Milchsäure-Standard-Backversuches.

Die Proben waren während der Lagerung luftdicht versiegelt. Durch Wasserverluste geprägte Masseverluste traten während der Lagerung nicht ein. Dies wurde durch gravimetrische Messungen während der Lagerung überprüft. Der Wassergehalt ist während der Lagerung in den jeweiligen Proben konstant und innerhalb einer Krumenplatte durch interne Diffusionen homogen verteilt. Bis zur Untersuchung wurden die Proben bei Raumtemperatur (20-22° C) in einem Styroporcontainer verschlossen gelagert. Die Lagerung im Styroporcontainer sollten evtl. kurzfristig eintretende Temperaturschwankungen des Lagerraumes abpuffern. Die Lagerung der Krumenproben erfolgte aus folgenden Gründen bei Raumtemperatur:

In den Bäckereien und in Supermärkten feilgebotene Brote werden allgemein bei der jeweiligen Raumtemperatur bis zum Verkauf aufbewahrt. Aus u.a. hygienischen Gründen sind die Brote in den Regalen des Handels zumeist in Plastikfolien verpackt. Der Konsument bewahrt das zum alsbaldigen Verzehr bestimmte Brot in der Regel bei Raumtemperatur in einer Tüte, Folie, Brottopf o.ä. auf. Eine weitere Lagerung erfolgt beim Konsumenten z.T. auch in Kühlschränken. Die Lagerung in Kühlschränken ist in Bezug auf die Frische des Brotes nicht vorteilhaft. Bei den dort herrschenden Temperaturen von um 4° C verläuft die Brotalterung bekanntlich schneller als bei üblichen Raumtemperaturen (Thomas, Juretko, S. 387). Dies würde sich auch bei einer Lagerung der Probenkrumen bei diesen Temperaturen zeigen. Um die täglichen Festigkeitsdifferenzen zwischen Krumen fein differenzierter betrachten zu können, scheidet eine Lagerung im Kühlschrank aus, da in diesem Falle die Krumensysteme schneller an Weichheit verlieren würden, als bei einer Lagerung bei Raumtemperatur. Durch die Lagerzeit von bis zu 4 Wochen bei Raumtemperatur können zudem Aussagen über die Krumenfestigkeiten von verpackten Roggenbrot gemacht werden, die von der Herstellung bis zum Verzehr mit einem MHD von 4 Wochen versehen sind.

Primär werden Brote in ihren Krumen allgemein während der Lagerung fester. Dies wird, bei Auswahl verpackter Ware im Handel vom Konsumenten beim Vergleich dort angebotener Brote berücksichtigt. Für den Kunden weisen frische Brote weiche und zurückfedernde Eigenschaften auf, ältere Brote sind im Vergleich gleicher Brotsorten fester in ihren Eigenschaften. Die Festigkeiten werden vom Konsumenten durch kurzes Drücken der Brote abgeschätzt und entsprechend ihrer sensorischen Erfahrungswerte eingestuft. Durch Berechnung des instrumentellen Deformationswinkels α könnte das Ausmaß des „Zurückfederns“ der Krume bestimmt werden, ähnlich der Drückprobe des Konsumenten wird der praxisnahe Zusammenhang zur Messung berücksichtigt.

Ergebnisse und Diskussion:

In den Kriech-Erholungsmessung wirkt entsprechend den Vorgaben eine definierte Kraft von 12500 Pa tangential auf die sich zwischen zwei Platten befindende Probe ein. Je nach Festigkeit der Probe kann dabei die obere und bewegliche Platte der vorgegebenen Kraft mehr oder minder ausweichen. Diese Nachgiebigkeit wird als resultierender Drehwinkel erfasst. Nach der Belastungszeit von 120 s kommt es schlagartig zu einer Entlastungsphase, deren Dauer zu ebenfalls 120 s gewählt wurde. Während der Entlastungsphase sucht die eingespannte Probe sich zu entspannen, was in einer rückläufigen tangentialen Drehbewegung resultiert. Die hierbei auftretenden Winkeländerungen der oberen Stempelplatte wird bis zum Ende der Messungen permanent registriert (1 Wert/s). Zur Auswertung wird der elastische Anteil der Rückdeformation durch Differenzbildung des maximalen Drehwinkels nach 120 s und der erfolgten rückwärtig gerichteten Drehbewegung (Drehwinkel II) zum Ende der Entspannungsphase nach 240 s als Tangens des Deformationswinkel α ermittelt.

Zur Auswertung der Änderung der Krümmenfestigkeiten werden nun in der graphischen Darstellung die Festigkeiten (Drehwinkel α) gegen die Zeitachse (Lagerzeit) aufgetragen. Eine Zunahme der Festigkeit frischer und gelagerter Proben eines Musters resultiert bei der Kriech-Erholungs-Messung durch die zeitliche Abnahme (Lagerzeit) des mit konstanter Kraft sich drehenden Messstempels im Endwinkel α . In Abbildung 32 sind exemplarisch die Messergebnisse der Sorte Fernando, angebaut an Standort 1, über eine Lagerzeit der gebackenen Krümmen von 1 bis 30 Tage, aufgetragen. Zu erkennen ist die Abnahme der Deformations- und der Rückstellwinkel während der Lagerversuche. Frische Krüme kann, im Vergleich bei der Belastung mit einer konstanten Kraft weiter deformiert werden, als gelagerte Krüme.

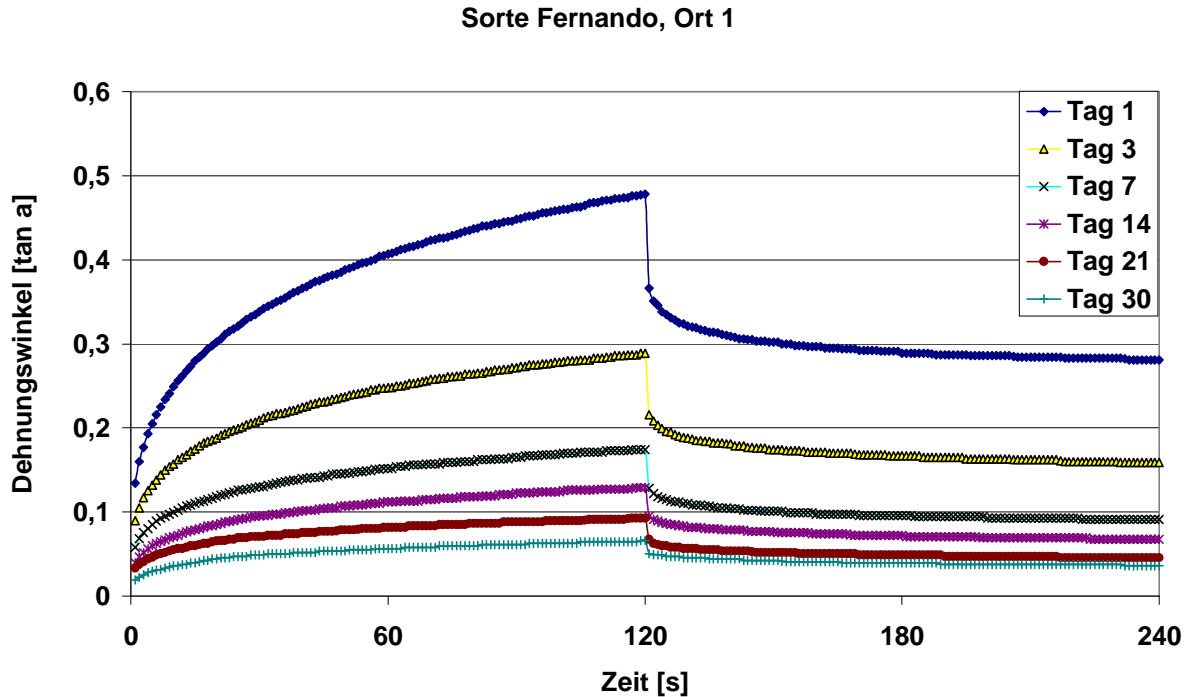


Abbildung 32: Exemplarische Darstellung der durchgeführten Kriech-Erholungsmessungen (KEM) nach den Lagerzeiten der Krumen von 1 bis 30 Tage nach dem Backen der Sorte Fernando vom Standort 1

Im weiteren Verlauf wurden nun die Maximalwerte der Deformation nach 120 s, sowie die Endwerte der Relaxationsphase nach weiteren 120 s bestimmt (Doppelbestimmung) und diese rechnergestützt ausgewertet. Dies wurde für alle 20 Muster der Roggensorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo von allen Anbauorten während der Dauer der Lagerversuche durchgeführt.

Die folgenden Abbildungen 33 und 34 zeigen exemplarisch die nun erfolgte grafische Auftragung der jeweiligen Deformationswinkel zum jeweiligen Lagerzeitpunkt, sowie die jeweiligen Rückdeformationswinkel an diesen Zeitpunkten am Beispiel der Sorte „Avanti“ an den 5 Anbauorten.

Max Drehwinkel Sorte Avanti 5 Orte

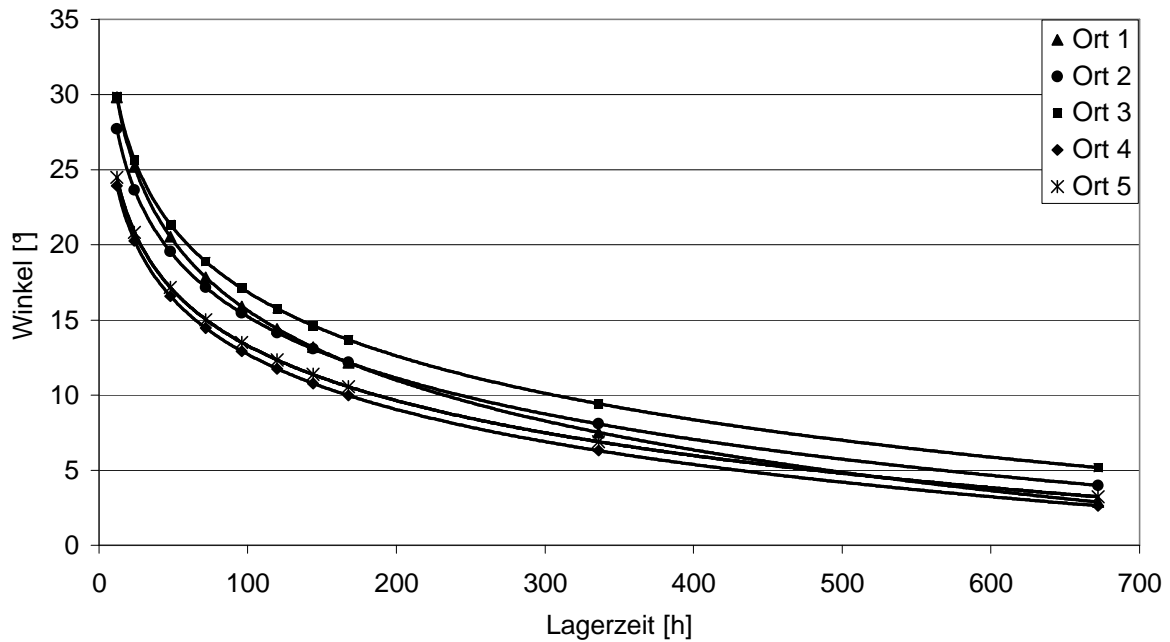


Abbildung 33: Exemplarische grafische Darstellung der Ergebnisse des maximalen Drehwinkels der mittels Platten-Backversuches hergestellten und mittels KEM untersuchten Sorte Avanti von ihren 5 Anbauorten

Relaxwinkel Sorte Avanti 5 Orte

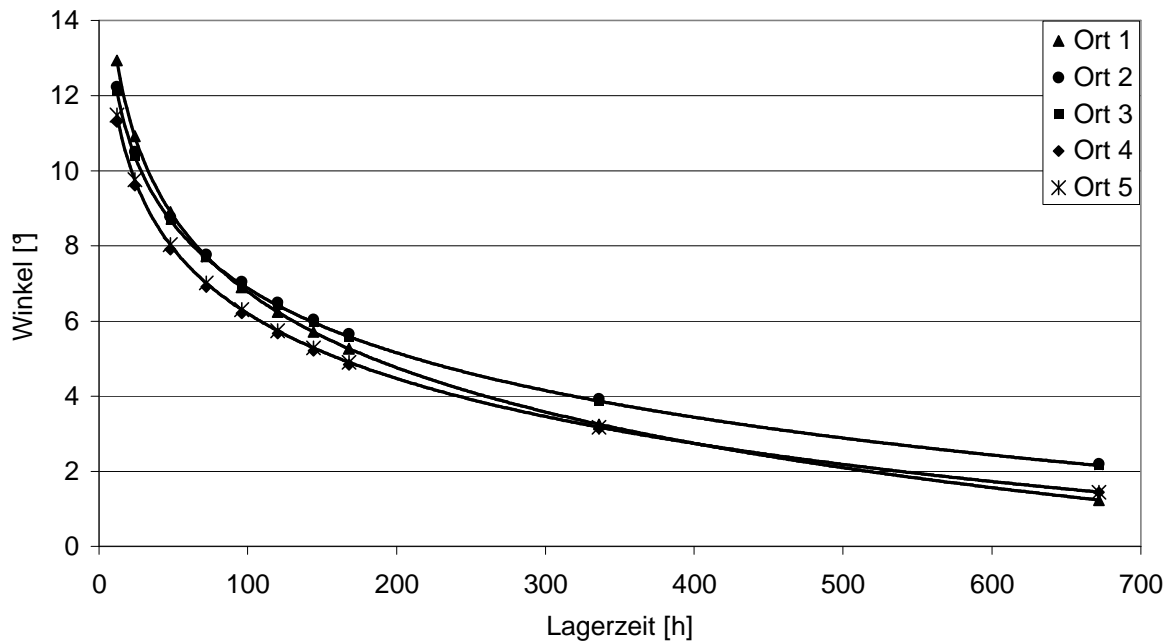


Abbildung 34: Exemplarische grafische Darstellung der Ergebnisse des rückstellenden Drehwinkels der mittels Platten-Backversuches hergestellten und mittels KEM untersuchten Sorte Avanti von ihren 5 Anbauorten

Wie in den Abbildungen 33 und 34 erkennbar, verringern sich der maximale Dehnwinkel, wie auch der Rückdeformationswinkel bei den im Platten-Backversuch hergestellten Krumensystemen, mit der Lagerzeit.

Mit zunehmender Lagerzeit können bei gleicher Probengeometrie und konstant gewählt einwirkender Kraft die Krumenproben weniger deformiert werden, was sich während der Lagerzeit in einer Abnahme der Deformationswinkel zeigt. Die Rückdeformation nimmt ebenfalls während der Lagerzeit ab. Hierbei werden die in den sensorischen Untersuchungen gefundenen Ergebnisse bestätigt. Das gewählte Messsystem mit den gewählten Versuchsparametern und die Verwendung der hergestellten Krumenplatten kann daher die Alterung der Brotkrumen, die sich in einer Verfestigung der Krume zeigt, instrumentell aufzeigen. Das Ausmaß der Festigkeitszunahme ist zunächst, optisch gesehen, den Intensitätsänderungen in den Festigkeiten in den dortigen Untersuchungen sehr ähnlich. Wie in den Abbildungen erkennbar, verläuft allgemein die sich mit der Alterung vollziehende Krumenverfestigung dabei nicht linear. Dies deutete sich bereits in den sensorischen Untersuchungsergebnissen an. Die sensorischen Ergebnisse in Bezug auf die zeitlichen Änderungen der Krumenfestigkeiten werden durch die Messungen der Kriecherholungs- Messungen bestätigt.

Für die Auswertungen zur Alterung der Krumenmuster wurden nun über die Lagerzeiten der Muster die maximalen Dehnwinkel und die Erholungswinkel den jeweiligen Lagerzeiten zugeordnet.

Die relativ stärksten Veränderungen in der Krumenfestigkeit sind bei allen Proben in den ersten Stunden und ersten Tagen der ersten Woche nach dem Backen feststellbar. Ab diesem Zeitpunkt verläuft die weitere Verfestigung der Krume bis zum Ende der Untersuchungen nach 4 Wochen Lagerzeit hierzu relativ schwächer weiter. Aus den Messdaten können nach grafischer Auftragung die Funktionen der Kurven berechnet werden (Microsoft Excel). Hierbei ergeben sich, als Ergebnis der Messungen und Auswertungen für die Änderungen der Dehn- und Relaxationswinkel, logarithmische Funktionen mit hohen Bestimmtheitsmassen. Die folgende Tabelle 7 zeigt summarisch die Ergebnisse der rechnerischen Auswertungen:

Tabelle 7: Übersicht der aus den Messungen resultierenden Ergebniskurven der gelagerten Krümmenmuster der Backversuche

	Deformationswinkel	Rückstellwinkel
Avanti	$y = -6,6923\ln(x) + 46,452$	$y = -2,9075\ln(x) + 20,165$
Ort Schuby	$R^2 = 0,929$	$R^2 = 0,9586$
Fernando	$y = -6,0916\ln(x) + 42,51$	$y = -2,5532\ln(x) + 18,177$
	$R^2 = 0,982$	$R^2 = 0,9878$
Nikita	$y = -8,6895\ln(x) + 60,766$	$y = -2,4208\ln(x) + 18,432$
	$R^2 = 0,9383$	$R^2 = 0,9815$
Halo	$y = -10,616\ln(x) + 70,985$	$y = -2,4866\ln(x) + 18,366$
	$R^2 = 0,9825$	$R^2 = 0,9752$
Avanti	$y = -5,896\ln(x) + 42,378$	$y = -2,494\ln(x) + 18,434$
Ort Rethmar	$R^2 = 0,952$	$R^2 = 0,9784$
Fernando	$y = -6,4608\ln(x) + 45,265$	$y = -2,3936\ln(x) + 17,54$
	$R^2 = 0,9698$	$R^2 = 0,9893$
Nikita	$y = -9,4931\ln(x) + 65,63$	$y = -2,6436\ln(x) + 19,608$
	$R^2 = 0,9655$	$R^2 = 0,9853$
Halo	$y = -6,3807\ln(x) + 43,798$	$y = -2,5493\ln(x) + 18,043$
	$R^2 = 0,9305$	$R^2 = 0,9829$
Avanti	$y = -6,1351\ln(x) + 45,118$	$y = -2,4757\ln(x) + 18,272$
Ort Höckelheim	$R^2 = 0,9341$	$R^2 = 0,9674$
Fernando	$y = -5,0397\ln(x) + 36,65$	$y = -2,3749\ln(x) + 17,183$
	$R^2 = 0,9583$	$R^2 = 0,9842$
Nikita	$y = -8,3312\ln(x) + 56,052$	$y = -2,5263\ln(x) + 18,345$
	$R^2 = 0,8812$	$R^2 = 0,9905$
Halo	$y = -8,5935\ln(x) + 59,436$	$y = -2,9433\ln(x) + 21,041$
	$R^2 = 0,9279$	$R^2 = 0,9937$
Avanti	$y = -5,2893\ln(x) + 37,073$	$y = -2,4497\ln(x) + 17,391$
Ort Kalteneber	$R^2 = 0,9796$	$R^2 = 0,9878$
Fernando	$y = -4,9716\ln(x) + 35,431$	$y = -2,3453\ln(x) + 16,822$
	$R^2 = 0,9675$	$R^2 = 0,9857$
Nikita	$y = -3,579\ln(x) + 27,377$	$y = -2,3538\ln(x) + 16,777$
	$R^2 = 0,9801$	$R^2 = 0,9575$
Halo	$y = -5,2394\ln(x) + 37,2$	$y = -2,5009\ln(x) + 17,721$
	$R^2 = 0,9958$	$R^2 = 0,9978$
Avanti	$y = -5,2794\ln(x) + 37,609$	$y = -2,4947\ln(x) + 17,688$
Ort Groß Gerau	$R^2 = 0,9399$	$R^2 = 0,9818$
Fernando	$y = -5,3463\ln(x) + 38,918$	$y = -2,3051\ln(x) + 16,775$
	$R^2 = 0,9625$	$R^2 = 0,9938$
Nikita	$y = -6,2286\ln(x) + 42,84$	$y = -2,7439\ln(x) + 18,921$
	$R^2 = 0,9942$	$R^2 = 0,9995$
Halo	$y = -6,3279\ln(x) + 43,965$	$y = -2,5665\ln(x) + 18,211$
	$R^2 = 0,9634$	$R^2 = 0,9918$

Nach dieser tabellarischen Zuordnung wurde die grafische Auswertung der Abnahme der Winkeländerungen gegenüber der Lagerzeit vorgenommen und aus diesen die Funktionen der jeweiligen Sorten/Krumenmuster berechnet. Durch anschließende Transformation der sich ergebenden logarithmischen Funktionen der Winkel-differenzen kann direkt die Intensität der Winkelabnahme, die einer Verfestigung des Musters, und damit seiner Alterung, grafisch dargestellt werden. In den nun folgenden Grafiken und Abbildungen wurden daher diese Ergebniskurven der Untersuchungen der Krumenmuster unter Verwendung der logarithmischen Auftragung der Lagerzeit in Stunden ($\ln(h)$) dargestellt. Durch diese Transformation können die Texturänderungen in der Form der Geradengleichung

$$y = m \ln(x) + b$$

dargestellt werden, wobei m hierbei die Abnahme der „Krumenweichheit“ wiedergeben dürfte, b den Anfangswert der „Krumenweichheit“ nach dem Backen ($t=0$). Eine Probe mit hohem b ist somit nach dem Backen sehr weich, eine Probe mit niedrigerem b entsprechend fester in seiner Textur. Die sich nun während der Lagerung der Krume vollziehende Alterungsintensität, die sich in einer zunehmenden Verfestigung während der Lagerzeit spiegelt, entspricht in der Formel dem Faktor m . Durch den Vergleich der Faktoren m unterschiedlicher Proben kann damit auf die entsprechenden Alterungsintensitäten dieser Proben während der Lagerung geschlossen werden.

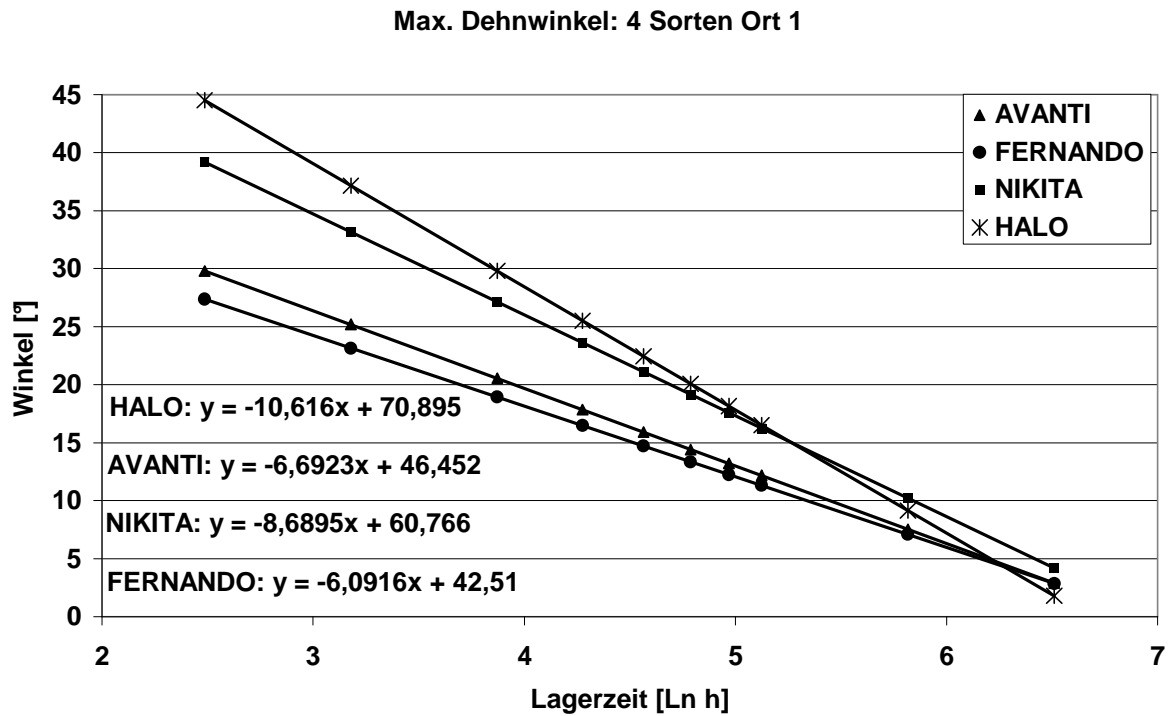


Abbildung 35: Änderungen der maximalen Dehnwinkel der Krumenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

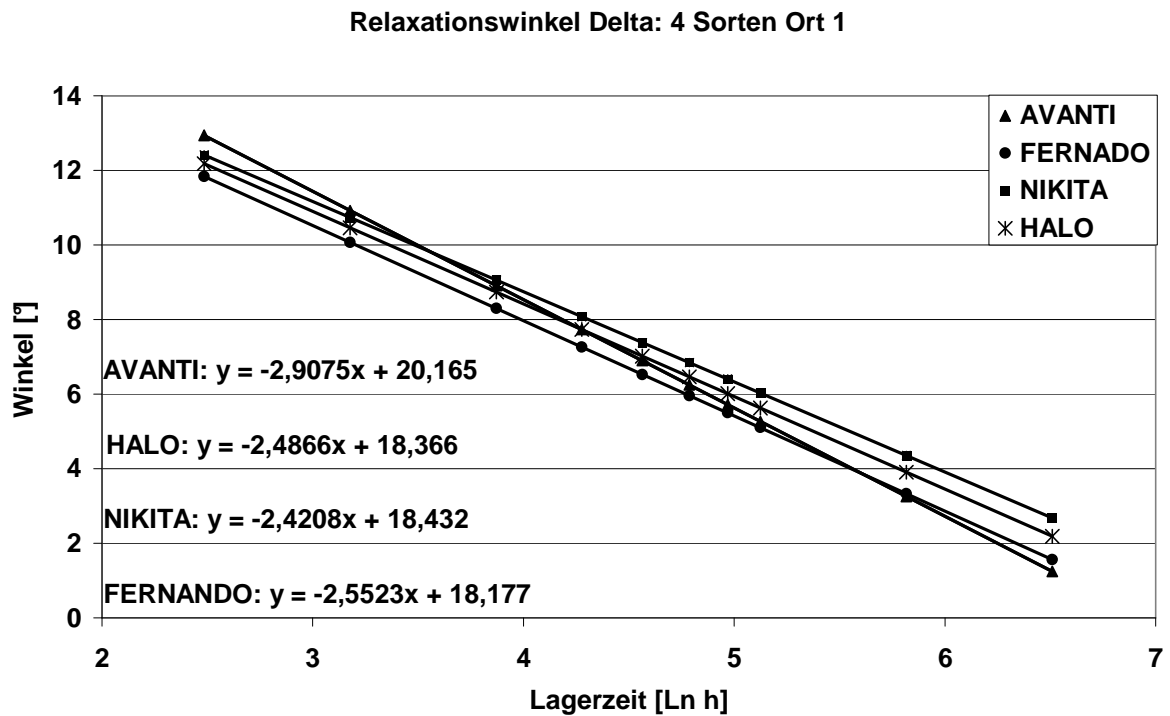


Abbildung 36: Änderungen der maximalen Relaxationswinkel der Krumenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

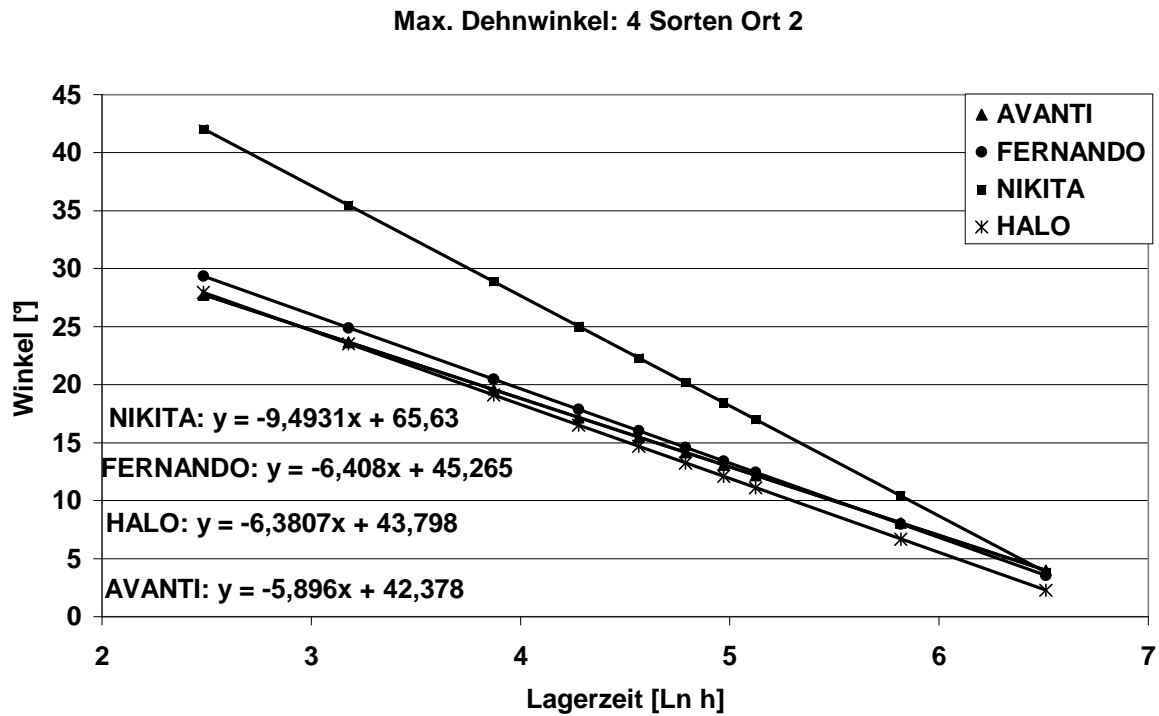


Abbildung 37: Änderungen der maximalen Dehnwinkel der Krumenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

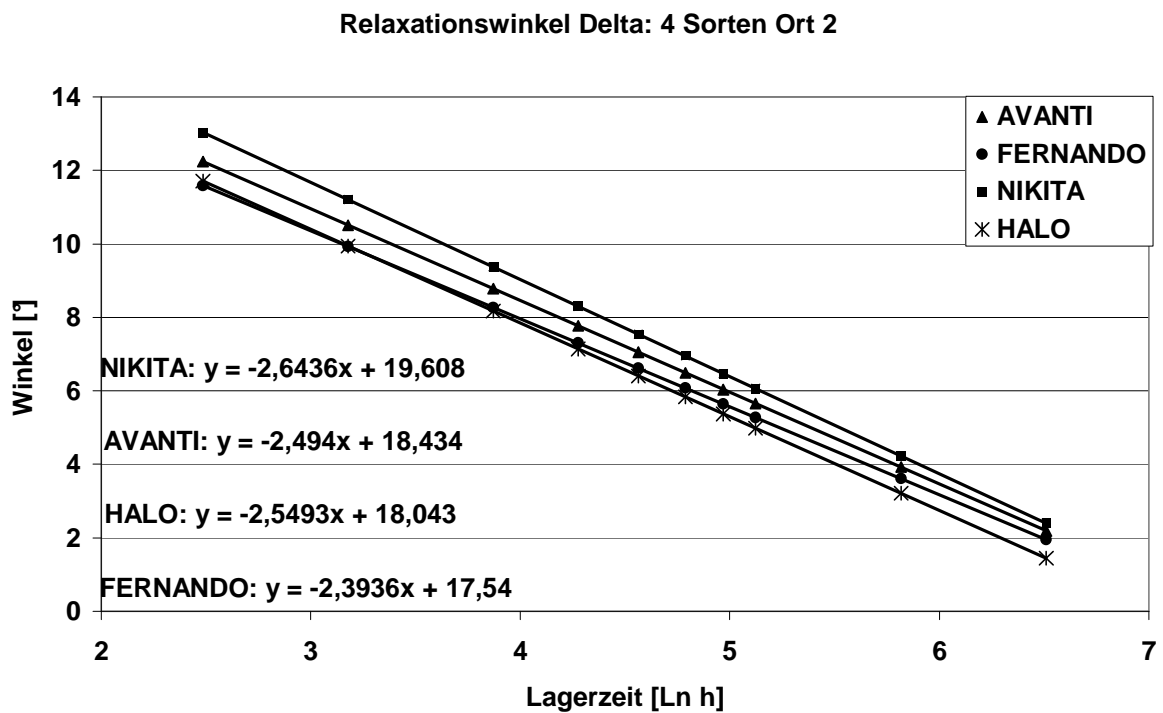


Abbildung 38: Änderungen der maximalen Relaxationswinkel der Krumenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

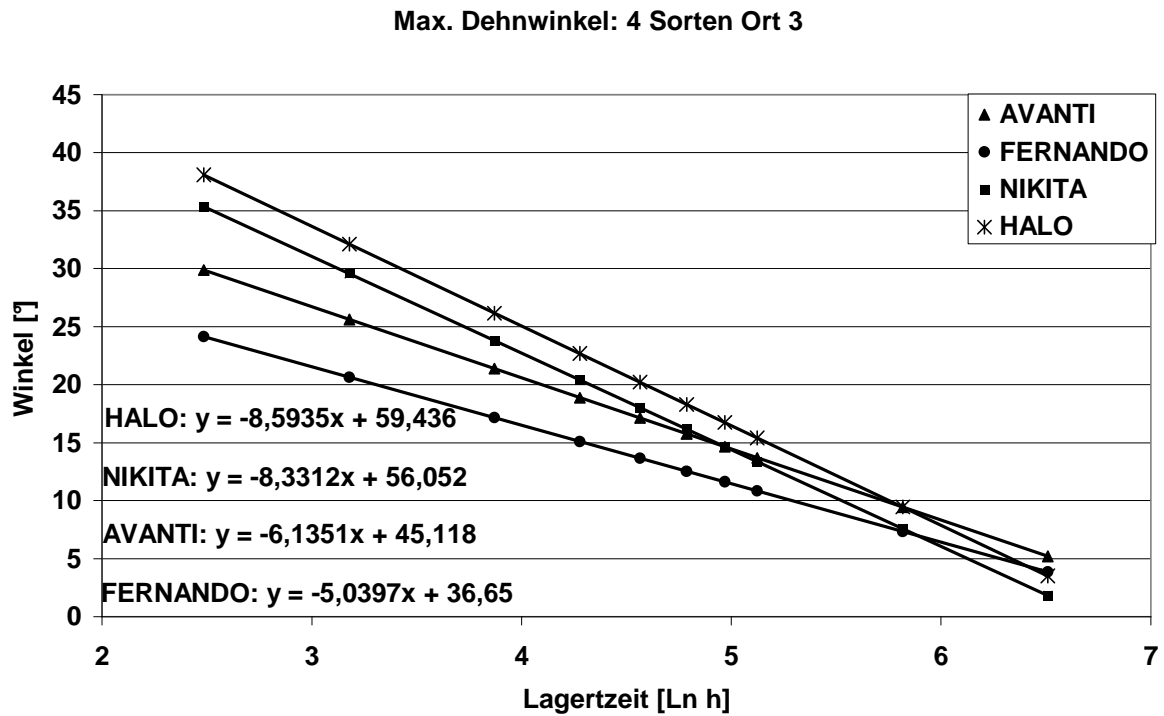


Abbildung 39: Änderungen der maximalen Dehnwinkel der Krümmenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

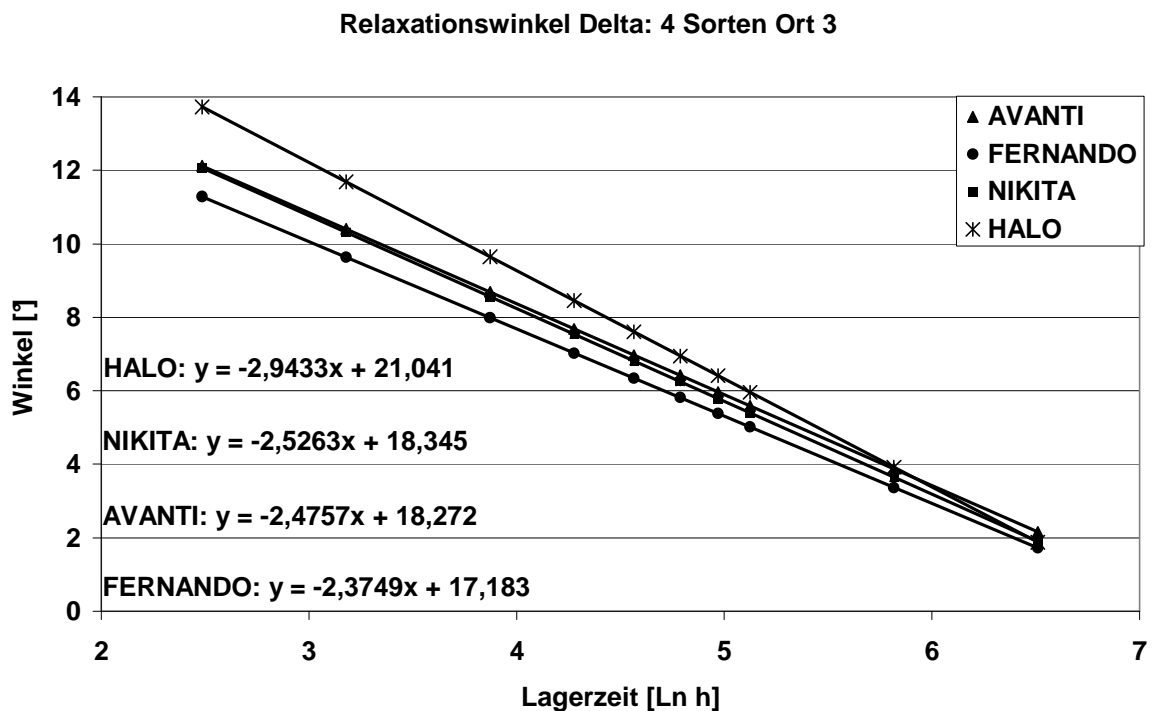


Abbildung 40: Änderungen der maximalen Relaxationswinkel der Krümmenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

Max. Dehnwinkel: 4 Sorten Ort 4

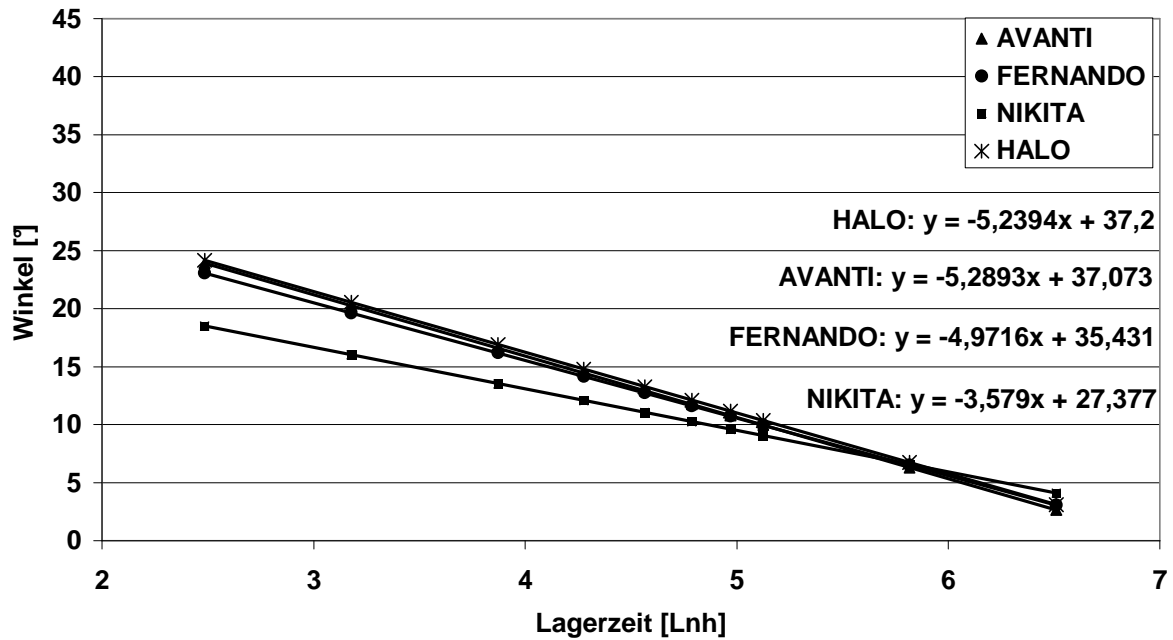


Abbildung 41: Änderungen der maximalen Dehnwinkel der Krumenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

Relaxationswinkel Delta: 4 Sorten Ort 4

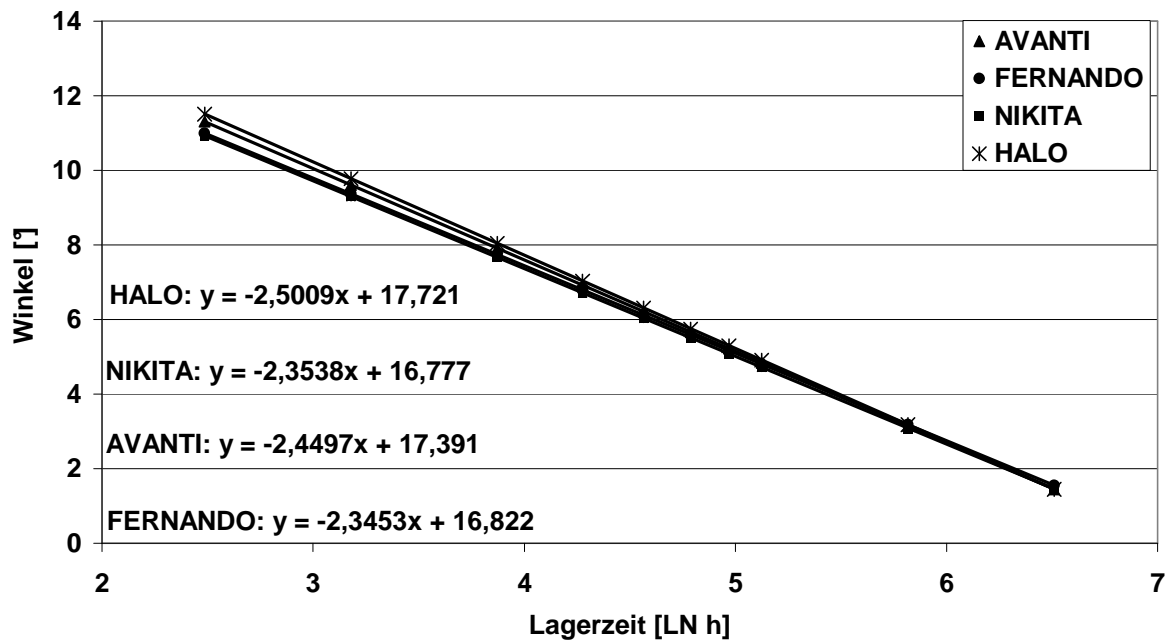


Abbildung 42: Änderungen der maximalen Relaxationswinkel der Krumenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

Max. Drehwinkel: 4 Sorten Ort 5

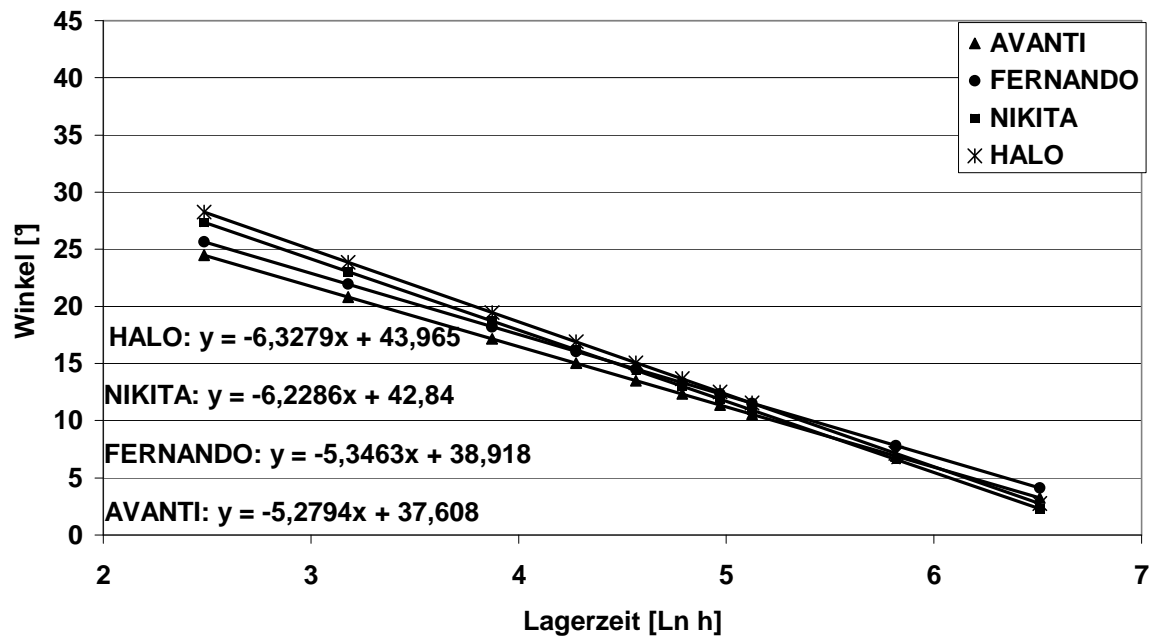


Abbildung 43: Änderungen der maximalen Dehnwinkel der Krümmenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

Relaxationswinkel Delta: 4 Sorten Ort 5

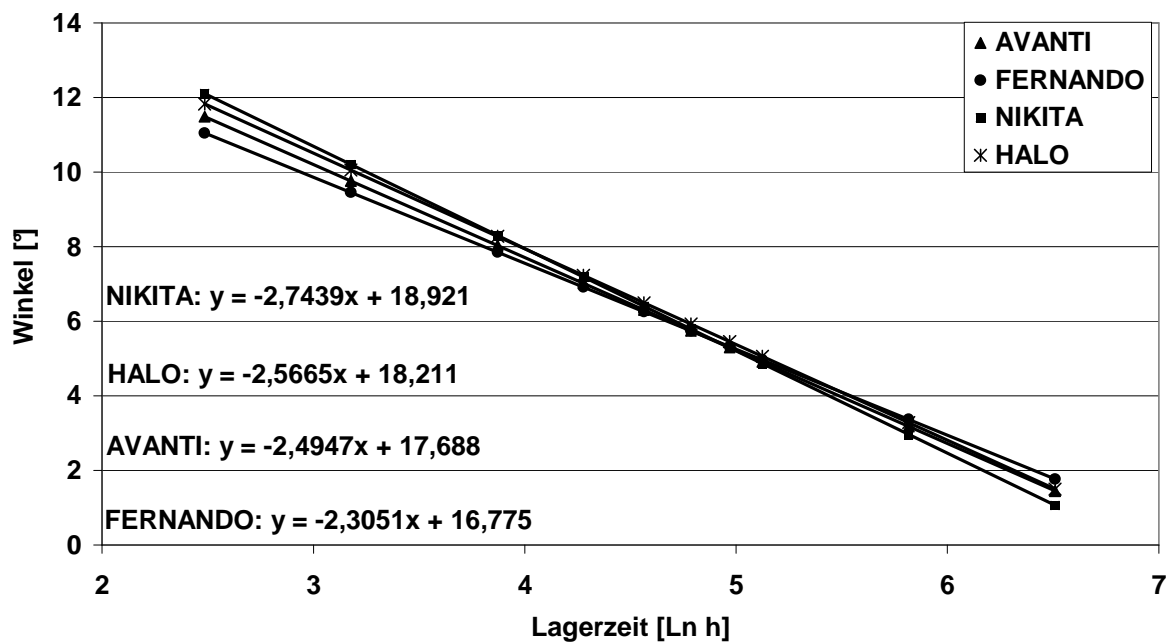


Abbildung 44: Änderungen der maximalen Relaxationswinkel der Krümmenmuster der Sorten Avanti, Fernando, Nikita und Halo während der Lagerzeiten bis 4 Wochen. Zeitachse als Ln [h]

Die durchgeführte Kriech-Erholungsmessung ist durch 3 Phasen gekennzeichnet:

Phase 1: Scherung mit konstanter Kraft bis zum Ablauf einer definierten Zeit

Phase 2: Plötzliche komplette Entspannung der Probe ab dieser Zeit

Phase 3: Rückdeformation durch elastische Komponenten innerhalb der Probe bis zum Ablauf einer weiteren Zeit

In Phase 1 kommt es partiell zu einer Destruktion der Probe, nur ideal elastische Körper werden nicht in ihrem molekularen Aufbau zerstört. Diese Phase ist durch Streckung, Orientierung, Deformation und partielle Destruktion von Strukturen gekennzeichnet. In der realen Krumenprobe kommt es zu einer irreversiblen Destruktion der Strukturen auf molekularer Ebene, die auch letztendlich sichtbar sein kann (Risse). Diese Scherung entspricht in Näherung dem ersten Biss des Kauprozesses, bei dem die Brotkrume ebenfalls geschert und zerteilt wird. Im Gegensatz zum Kauprozess ist die Geschwindigkeit und Zeitdauer der Scherung in den Kriech-Erholungsmessungen wesentlich langsamer und länger. Die ablaufenden Prozesse können hierdurch im Vergleich zum Kauen quasi in Zeitlupe erfasst werden. Das Ausmaß der benötigten Scherkräfte zur irreversiblen Zerstörung der Krume beim Kauen entspricht, grob betrachtet, der Festigkeit des Brotes. Da während der Alterung von Brot die sensorisch erkennbare Festigkeit des Brotes steigt, wird beim Kauen gealterten Brotes mehr Kraft benötigt, um die Krumenstrukturen zu brechen. Bei der KEM wird dagegen während einer konstanten Zeit mit einer konstanten Kraft die Probe tangential geschert, was im Vergleich bei festeren Krumen in geringeren Endwinkeln zum Ablauf der Zeit resultiert.

Die Intensitäten der Zunahmen der Verfestigungen der Krumen sind unmittelbar aus den gebildeten Funktionen der Winkel frischer und gelagerter Proben ableitbar. Entsprechend der Geradengleichung $y=mx +b$ entspricht die Steigung der Geraden der Abnahme der „Weichheit“ einer Probe. Durch den Vergleich der untersuchten Proben zeigt sich hierbei ein Bereich zwischen ca. $m=-5$ bis $m= -10$.

Dies bedeutet, die Proben weisen unterschiedlich ausgeprägte Alterungsintensitäten auf, gekennzeichnet als Faktoren m .

Neben der Alterungsintensität, der Steigung m der Geradengleichung, besitzen die untersuchten Muster zudem unterschiedliche Weichheiten zu Beginn der Messreihen. Dies findet sich in den Werten für b der Geradengleichungen wieder. Die gerätespezifische Schwankungsbreite liegt hierbei zwischen messtechnisch bedingten Werten zwischen „ca. 36 bis 70“.

Dies bedeutet, dass neben der Alterungsintensität unterschiedlich messbare Anfangsfestigkeiten vorliegen. Die Anfangsweichheit wird bei der Beurteilung im Rahmen der üblichen Roggenmehl-Standard-Backversuche üblicherweise 1 Tag nach dem Backen geprüft (Seibel 1983, S. 349f). Hierzu wird mittels kurzen Daumendruckes das angeschnittene Brot kurz deformiert und die rückfedernden und rückstellenden Eigenschaften der Krume als Maß der Krumenelastizität beurteilt. Dabei ist der Fehler der Beurteilungen insbesondere von der Prüfperson und seiner aktuellen Tagesform abhängig und entsprechend volatil.

Die mittels Kriech-Erholungsmessung untersuchten Muster, mit hohen Weichheiten zu Beginn der Messreihe, zeigten ebenfalls die höchsten Alterungsintensitäten. Diese Krumen verfestigten sich während der Lagerzeit stärker als andere Proben des gleichen Anbauortes. Dies erfolgte im Vergleich, insbesondere in ihrer relativen Intensität, während der gesamten Lagerzeiten. Hierbei sind die Proben

Ort 1: Halo (Nikita),

Ort 2: Nikita

Ort 3: Halo, Nikita

Ort 4: Halo

Ort 5: Halo, Nikita

in diesem Bezug als Muster genannt. Die Sorte Halo besitzt (Ausnahme Ort 2, dort Nikita) in allen fünf Standorten die höchste Anfangsweichheit und altert in all diesen Standorten schneller als alle anderen untersuchten Proben des entsprechenden Standortes. Die Sorte Nikita hat in diesem Bezug relativ ähnliche Eigenschaften wie

Halo bei den untersuchten Proben gezeigt. Die Sorten Nikita und Halo sind beide Populationssorten (Bundessortenamt). Die im Vergleich hierzu untersuchten Muster der Hybridsorten Avanti und Fernando weisen auf allen geprüften Standorten geringere Alterungsintensitäten auf. Dies bedeutet aber nicht, dass allgemein die Alterungsintensität gewisser Sorten dominieren muss. Es deutet sich eine Tendenz der Dominanz der Sorten am Standort an, die in weiteren Versuchen abschließend geklärt werden könnte. Ob die Alterungsintensität und Krumenbeschaffenheit grundsätzlich eine Frage von Populations/Hybridsorte und der individuellen Sorte darstellt, kann anhand der untersuchten 20 Muster nicht erschöpfend für alle in Deutschland angebauten Sorten bewiesen werden

Betrachtet man lediglich Festigkeit einer Roggenmehlbrotkrume zum Zeitpunkt x , so kann nicht direkt auf das Alter dieses Brotes geschlossen werden, oder auf das weitere Alterungsverhalten. In Abbildung 45 sind die sich nach den entsprechenden Lagerzeiten ergebenden max. Winkeländerungen vergleichend aufgetragen. Eine Krume, die anfangs sehr weich war (großer max. Drehwinkel nach 24 h) ist im Vergleich zu anderen Proben mit anfangs geringem max. Drehwinkel (festere Krume) nur bis zu einem gewissen Zeitpunkt weicher. Danach ist sie aufgrund der stärker ausgeprägten Alterungsintensität fester als diese Proben. Für den Verbraucher in der Praxis ist dies aber eher selten von Relevanz, da er das Brot nach dem Kaufen in relativ kurzem Zeitraum hiernach konsumieren dürfte. Bei diesem dürften nach dem Kauf, eher die Lagerung im Haushalt des Brotes und Restbrotes (verpackt, offen gelagert, Brottopf, Kühlschrank, eingefroren...) und damit verbundene andere Alterungsfaktoren und Trocknungsverluste, eine Rolle spielen. Für Relevanz ist dies daher eher für die Praxis der Hersteller und Händler in Bezug auf die grundsätzliche Lagerfähigkeit, unter dem Aspekt der Frischhaltung von Roggenmehlbrotten.

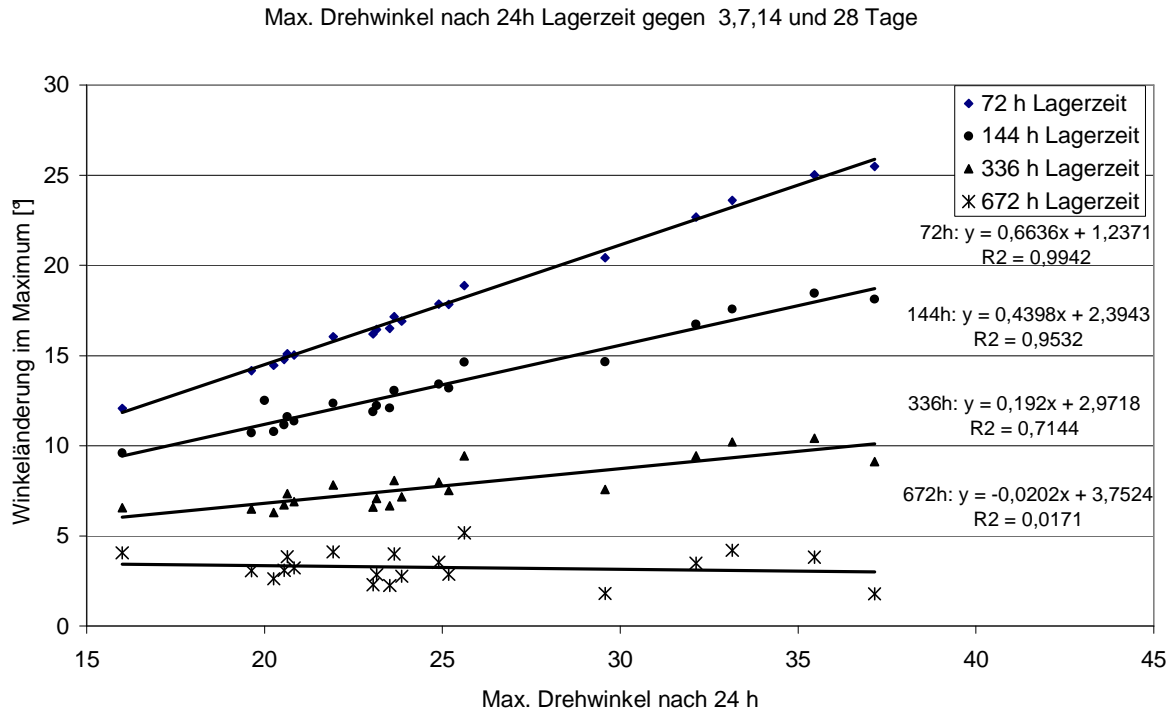


Abbildung 45: Vergleich der resultierenden Winkeländerungen von Roggenmehlbrotkrumen mit konstanten Feuchtigkeiten zu unterschiedlichen Lagerzeiten

Im zweiten Teil der Kriech-Erholungsmessungen kommt nach der Deformationsphase der Probe die durch plötzliche Entspannung eingeleitete Rückdeformationsphase. Die Rückdeformation ist allein durch die elastischen Komponenten der Probe geprägt. Nur diese vermögen die für die Rückstellung erforderliche Energie während der Deformation zu binden und nach der Belastung wieder freizusetzen. Bei der Rückdeformation konnte primär in keiner der untersuchten Proben eine vollständige Rückstellung beobachtet werden. Nur zu einem Teil wurden nach der Deformation der Musterplatten diese rückdeformiert.

Durch die Scherung im ersten Teil der Messung werden, zu einem gewissen Maße Strukturen innerhalb der Probe irreversibel zerstört, wodurch ein Teil des Verlustmodul geprägt ist. Ein weiterer Teil des Verlustmodul besteht aus dem Gleiten von plastischen Schichtbereichen, der Orientierung, Streckung und Deformation von inneren Strukturen der Proben. Die Summe der rückstellenden Eigenschaften wird in der instrumentellen Sensorik auch mit „Springiness“ beschrieben.

Mit zunehmender Lagerzeit und Alterung der untersuchten Krumenmuster nahm der Rückstellwinkel in allen untersuchten Mustern eindeutig ab. Die Intensität war bei allen untersuchten Mustern leicht unterschiedlich, aber relativ zur maximalen Dehnung relativ konstant. Dies bedeutet, dass sich mit der Lagerzeit keine wesentlichen zusätzliche elastischen Momente ausgebildet haben. In der Tendenz treten auch hierbei die Sorten Nikita und Halo als Muster mit der größten Rückdeformationsintensität hervor. Diese Sorten wiesen auch die höchsten Alterungstendenzen und Weichheiten nach dem Backen auf, was die Ergebnisse der maximalen Deformation bestätigt.

Zusammenfassung:

1. Brote mit weicherer Krume nach dem Backen altern, relativ gesehen, schneller als Brotkrumen mit geringerer Weichheit gleicher Ursprungszeit.
2. Die Alterungsintensität ist bei den untersuchten Mustern eindeutig nicht standortabhängig, sondern sortenabhängig.

Bezug zu den Modellen der Brotalterung

Die Krumenverfestigung ist als das summarische Maß sich in der Krume verändernden komplexen Prozesse zu betrachten. Es handelt sich bei der Alterung nach den dargelegten Modellen um die zeitliche Umorganisation von Teilbereichen verkleisterter Stärkekomponenten. Dies geschieht unter Stabilisierung intermolekularer Wasserstoffbrückenbildung. Das „Produkt“ der Reaktion ist die stabilisierte Form in kristallinen Bereichen, während die „Edukte“ die frischen, unorganisierten Teilbereiche innerhalb der zunächst frischen Krume darstellen. Unter Berücksichtigung dieses Modells steigt, bei zunehmendem Verkleisterungsgrad, der Anteil der Edukte, der nun mehr frei beweglichen Teilbereiche der Amylose oder des Amylopektins. Da das System aufgrund des Prinzips des kleinsten Zwanges (LeChetalier) dem Ungleichgewicht stets auszuweichen sucht, wird der Anteil der Edukte mit der Zeit abnehmen. Frisches Brot, mit einem hohen Verkleisterungsgrad nach dem Backen, altert damit schneller, d.h. weist eine höhere Festigkeitszunahme

auf, als ein ähnlich frisches Brot mit geringerem Verkleisterungsgrad in der Krume. Dies konnte in den Messungen bestätigt werden.

Betrachtet man die mit der Alterung erfolgende Krumenfestigkeitszunahme zunächst als reine Funktion der Stärke, so ließen sich Abweichungen ihrer berechneten Funktionen der Gelfestigkeiten folgendermaßen begründen: Neben den anzunehmenden, stärkebedingten Strukturveränderungen, die durch die Verkleisterung und Wasseraufnahme der Stärke entstandenen nun frei beweglichen Molekülketten/enden, die sich theoretisch durch Funktionen ihrer Konzentrationsänderungen (Anzahl) idealisiert entsprechend des Massenwirkungsgesetzes beschreiben ließen, deuten die Ergebnisse der ermittelten Alterungsfunktionen der ersten Woche im Vergleich zu der Restlagerzeit auf unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeiten von Stärkekomponenten und der Hemmung der kompletten Bildung aller Stärkebereiche als Kristallite hin. Verkleisterte und gelöste Amylose retrogradiert im Vergleich zu Amylopektin schneller (Jacobson, S. 517). Dies wird mit der im Vergleich zu Amylopektin geringeren Molekülgröße und entsprechend höherer Beweglichkeit verständlich. Die Retrogradation von Amylose beginnt bereits während der Abkühlphase des Brotes, wodurch es bereits durch Verfestigung der Intermediärphase zwischen den Stärkekörnern nach dem Backen zunehmend schnittfester wird. Die Retrogradationsneigung von Amylose ist so groß, dass sie bereits aus sich abkühlenden verdünnten Kleistern in Form von Kristalliten ausfällt, was präparativ bei der Herstellung von Amylose genutzt werden kann und analytisch zuweilen Probleme bereitet (Batey, Curtin, S.338). Auch in verkleisterten Stärkesuspensionen ist die Retrogradation der Amylose bereits in der heißen Lösung durch eine feine Trübung der Lösung erkennbar (Parker, S. 12 f). Das Phänomen ist sicherlich ferner jedem geläufig, der schon einmal heißen Stärkepudding in eine Schüssel gegeben hat. Dieser verfestigt sich ebenfalls durch Ausbildung eines Amylose/Amylopektingeles, bei Verwendung üblicher Stärke als Bindemittel, innerhalb kurzer Zeit. In der Krume ist die Konzentration in der Intermediärphase im Gegensatz zu einer verdünnten Suspension (Pudding) betrachtet, wesentlich größer. Die hohe Retrogradationsgeschwindigkeit von Amylose bewirkt, dass die Retrogradation der Amylose bereits binnen weniger Stunden rasch erfolgt und innerhalb weniger Tage mehr oder minder abgeschlossen ist. Hieran schließt sich die

bereits begonnene Retrogradation des Amylopektins an. Beide Prozesse sind nicht isoliert zu betrachten, sondern durch mögliche Mischkristallitbildung aus Amylose mit Amylopektinseitenketten während der gesamten Retrogradation zu erweitern. Alle ablaufenden Prozesse überlagern sich zeitlich, besitzen aber unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeiten und dominieren den Alterungsprozess aufgrund unterschiedlicher (abnehmender) Konzentrationen zu unterschiedlichen Lagerzeiten in verschiedenem Ausmaß. Während sich die Verfestigungsfunktion der ersten Woche idealisiert aus der Retrogradation von relativ viel Amylose und wenig Amylopektin zusammensetzt, verschiebt sich mit voranschreitendem Zeitpunkt in der Betrachtung der 2. bis 4. Woche die Verfestigung des Stärkegeles, und damit der Krume, unter zunehmender Berücksichtigung der Retrogradationsgeschwindigkeiten von wenig Amylose und viel Amylopektin. Der erste Fall beschreibt überwiegend die Alterung der Intermediärphase zwischen den Stärkekörnern mit entsprechenden Zunahmen der Festigkeiten dieses Systembereiches. Fall zwei beschreibt mit zunehmender Lagerzeit die Krumenfestigkeitszunahme durch die Retrogradation des unlöslichen Amylopektines, innerhalb der nun, aufgrund der nahezu abgeschlossenen Retrogradation der Amylose mit der restlichen Matrix, sehr fest verbundenen Stärkekörner. Ferner dürfte es, als spekulativer Ansatz, durch den sterischen Aufbau und mit der Größe der Aggregate, entsprechend zunehmender verringerter Mobilität der Stärkekristallite, zur Bildung von Fehlstellen entlang der Kristallite kommen, die durch intramolekulare Loops gekennzeichnet sein könnten. Solche sterischen „Loops“ finden sich übrigens auch bei den Interaktionen von Proteinen an Oberflächen. Die Bildung von Stärkekristalliten beginnt an entsprechenden Stellen von sich räumlich nahen Bereichen von Stärkemolekülketten und setzt sich von diesen Startstellen aus fort, die Stärke beginnt zu retrogradieren. Die Startstellen der Bildung sind durch ihre jeweilige räumliche Nähe zweier Ketten zueinander gekennzeichnet. Ein Start der Bildung dürfte daher, sowohl an den Enden der Moleküle, wie auch potential innerhalb des Stranges, möglich sein. Durch die von potentiell beiden Seiten einer Molekülkette beginnende Retrogradation und der gerichteten fortschreitenden Aggregation kommt es zwangsläufig zur Bildung von Loops zwischen den Ketten, da nicht beide Ketten, vom Startpunkt bis zum Endpunkt, die gleiche Zahl an Glucoseeinheiten aufweisen können. Dies ist statistisch bei den unterschiedlichen Molekülgrößen unwahrscheinlich. Diese Loops dürften aufgrund der Einbindung von

kristallinen Bereichen in beide Richtungen eines solchen Moleküles eine sehr geringe Mobilität aufweisen und Störstellen bei der Bildung perfekter Kristallite darstellen. Um vollkommene Kristallite zu erreichen, müssen entlang bereits gebildeter Kristallite diese gelockert werden und sich der Molekülstrang zur Entfernung des Loops strecken. Dies dürfte aber aufgrund der Gesamtstruktur der Kristallite und der hierbei beteiligten Molekülgrößen, insbesondere von Amylopektinseitenketten, nicht zu erwarten sein. Die Kristallite sind daher in ihrer Gesamtheit nicht von perfekter Struktur, sondern durch diese Loops potentiell gestört. Hierdurch existieren innerhalb der gebildeten Kristallite Störstellen, die zum einen nur sehr begrenzt weiter innerhalb des Kristallites integriert werden können und zweitens die übergeordnete Struktur der Kristallite auflockern. Dies bedeutet wiederum, dass nicht alle verkleisterten Bereiche zu 100% retrogradieren können, was in einer Abweichung von der idealisierten Alterungsfunktion theoretisch bereits von einer isolierten Komponente gesehen werden kann. Innerhalb der ersten Stunden, Tage und Woche nach dem Backen, reagieren relativ gesehen zu den folgenden Wochen, wesentlich mehr Stärkemolekülketten unter Bildung von Startkristalliten, deren weitere Perfektionisierung durch die Bildung von Loops potentiell gestört scheint. Dies vermag tendenziell die leichten Abweichungen von den Funktionen erklären, erklärt aber noch nicht die hohe Übereinstimmung der Messwerte mit den berechneten Funktionen für die unterschiedlichen Standorte und die unterschiedlichen Sorten. Da die Funktionen in allen Sorten auf allen Standorten hohe Bestimmtheitsmaße annehmen, ist eine grundlegende und generelle Gesetzmäßigkeit in der Krümmungsverfestigung, gemessen als Deformationswinkel α , anzunehmen. Neben der Retrogradation der Stärke, deren Ausmaß für die Festigkeitszunahme hauptverantwortlich nach diversen Modellen ist, spielen noch andere Prozesse bei der Verfestigung eine Rolle, oder die Stärke retrogradiert nur wie o.g. unvollkommen und in nicht perfekter Form. Als weitere Ursache können ferner systemspezifische, messtechnische Faktoren in Betracht kommen.

Zusammenfassung:

1. Es wurde ein Mikro-Backversuch entwickelt. Dieser gestattet die reproduzierbare Erzeugung porenfreier Krumensysteme im Labormaßstab.
2. Es wurde eine Methode zur Bestimmung der Alterungsintensität entwickelt. Mittels dieser Methode der Kriech-Erholungsmessungen konnten die im Mikro-Backversuch erzeugten und bis zu einer Lagerzeit von ca. 4 Wochen, bei Raumtemperatur gelagerten Krumensysteme, reproduzierbar gemessen werden.
3. Die Alterung erfolgt bei allen untersuchten Sorten von den unterschiedlichen Anbauorten mit mehr oder minder nahezu gesetzmäßigen Geschwindigkeiten. Diese Alterungstendenzen können mittels logarithmischer Funktionen beschrieben werden. Die Bestimmtheitsmasse dieser Funktionen bewegen sich, ausgedrückt als Pearsonsches Bestimmtheitsmasse R^2 , überwiegend oberhalb $R^2 = 0,90$.
4. Die Brotkrumen mit weicherer Krume (direkt nach dem Backen) altern relativ gesehen schneller als Brotkrumen mit „normaler“ Weichheit gleicher Backzeiten und Lagerbedingungen.
5. Die Alterungsintensität ist bei den untersuchten Mustern nicht standortabhängig. Standortbedingte Änderungen der Getreideeigenschaften haben keinen signifikanten Einfluss auf die Alterungsintensitäten bei den untersuchten Mustern gezeigt.
6. Es deutet sich eine Abhängigkeit der Alterung zu den untersuchten Roggensorten an. Hierbei sind insbesondere die Sorten Halo auffällig, die an allen Standorten die weichsten Anfangskrumen ergaben und den größten Alterungsfaktor aufwiesen. Die Sorte Nikita verhielt sich tendenziell ähnlich.

4.3. Mikroskopische Untersuchungen

4.3.1 Untersuchungen an Teigen und Brotproben mittels Environmental Electron Microscope

Einleitung:

Zur Untersuchung der Fragestellung der Brotalterung wurden lichtmikroskopische und elektronenmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Bedingung bei der Wahl und Ausarbeitung der Untersuchungsmethode war, die Krumenstrukturen durch die Untersuchungsmethode nicht in ihrer Struktur zu verändern, sondern den „Ist Status“ zu beobachten. Bei der Wahl der elektronenmikroskopischen Untersuchungsmethode wurde daher das Environmental Electron Microscope, kurz ESEM, verwendet. Ein ESEM ist eine spezielle Weiterentwicklung des Raster-Elektronen-Mikroskopes (REM). Diese Weiterentwicklung gestattet die direkte Betrachtung „realer“ und „feuchter“ Proben ohne strukturzerstörende Trocknungsschritte oder sonst notwendiger chemischer Fixierungen und Bedampfung der Präparate (McDonough, S. 343). Die erhaltenen Bilder geben den Realzustand „as is“ wieder. Dies ist der wesentliche und wichtigste Unterschied zur klassischen Raster Elektronen Mikroskopie (REM), die von diversen präparativen Trocknungs- und Fixierungsartefakten geprägt ist.

Für die Untersuchung wurden neben den Krumen auch Teige (Sauerteige) als Vergleich mit untersucht. Die Teige wurden aufgebrochen und direkt nach dem Einbringen der Probe in das Gerät in einer gesättigten Wasserdampfatosphäre betrachtet. Aus den Broten heraus wurden, unmittelbar vor der Untersuchung, ca. 10x10x20 mm große Krumenpräparate herausgeschnitten. Quer zur 20mm Fläche wurden diese vorsichtig durchgebrochen und nur diese aufgebrochenen Flächen im ESEM bei gesättigter Wasserdampfatosphäre betrachtet.

Ergebnisse und Diskussion ESEM:

Im Folgenden erfolgt die Untersuchung von der Kruste aus beginnend in die mittleren Bereiche des Brotes, gebacken nach der Detmolder-Einstufen-Führung. Die folgende Abbildung 46 gibt eine Übersicht der untersuchten Krumenbereiche:

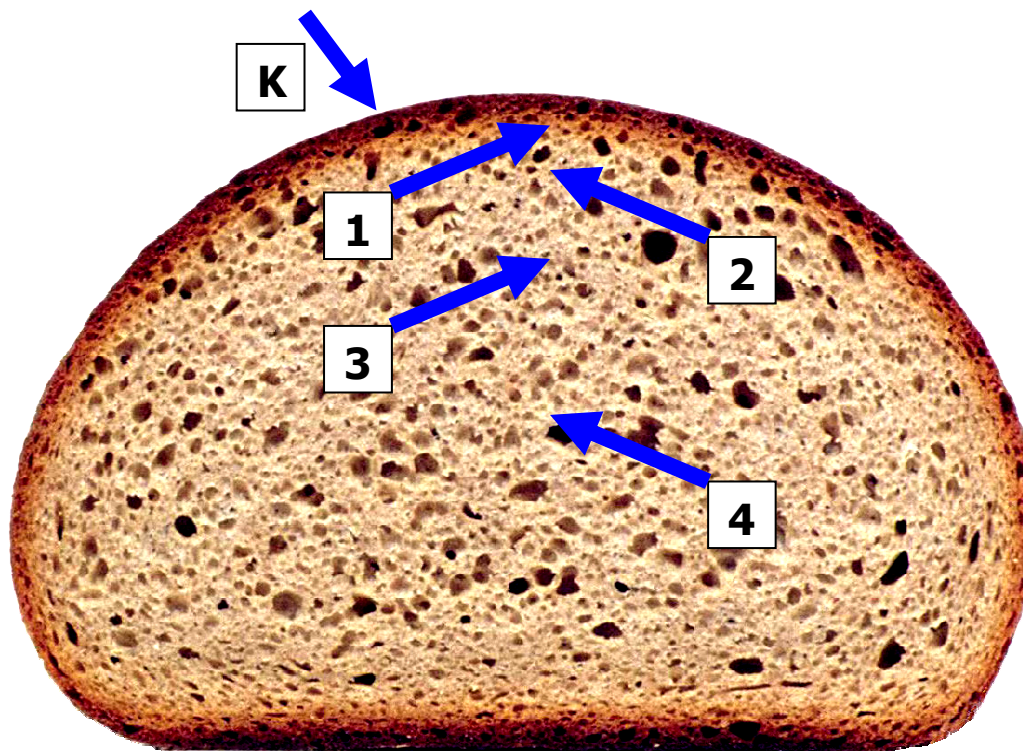


Abbildung 46: Übersicht der untersuchten Krumenbereiche der Roggenmehlbrote; K= aufgebrochene Krustenkante von außen mit Blickrichtung in das Brot, 1: ca. 5mm unterhalb der Kruste; 2: ca. 10 mm unterhalb der Kruste; 3: ca. 20 mm unterhalb der Kruste; 4: ca. Krumenmitte

Die Abbildungen 47 und 48 zeigen die frischen Teige, die zur Brotherstellung verwendet wurden. Abbildung 49 von außen auf die Kruste in das Brot blickend (K), Abbildung 50 die Zone 1, Abbildung 51 die Zone 2, Abbildung 52 die Zone 3 und die Abbildungen 53-56 die Zone 4 der Bezeichnungen nach Abbildung 46.

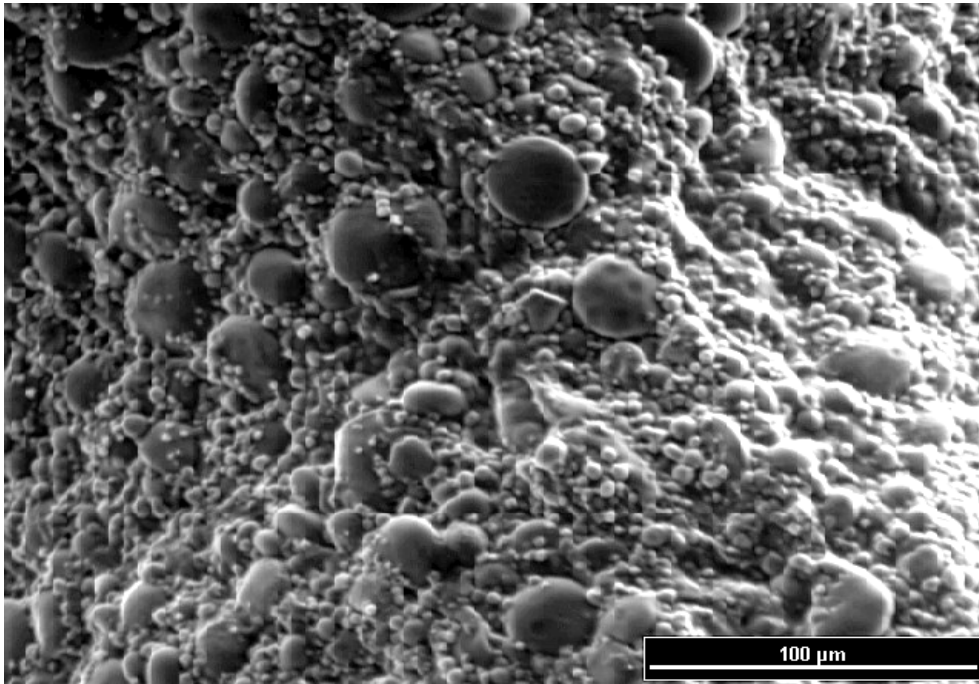


Abbildung 47: ESEM Aufnahme des frischen Teiges nach der Detmolder-Einstufen-Führung vor der Gare. Eindeutig erkennbar sind die zahllosen Stärkekörner unterschiedlicher Größen.

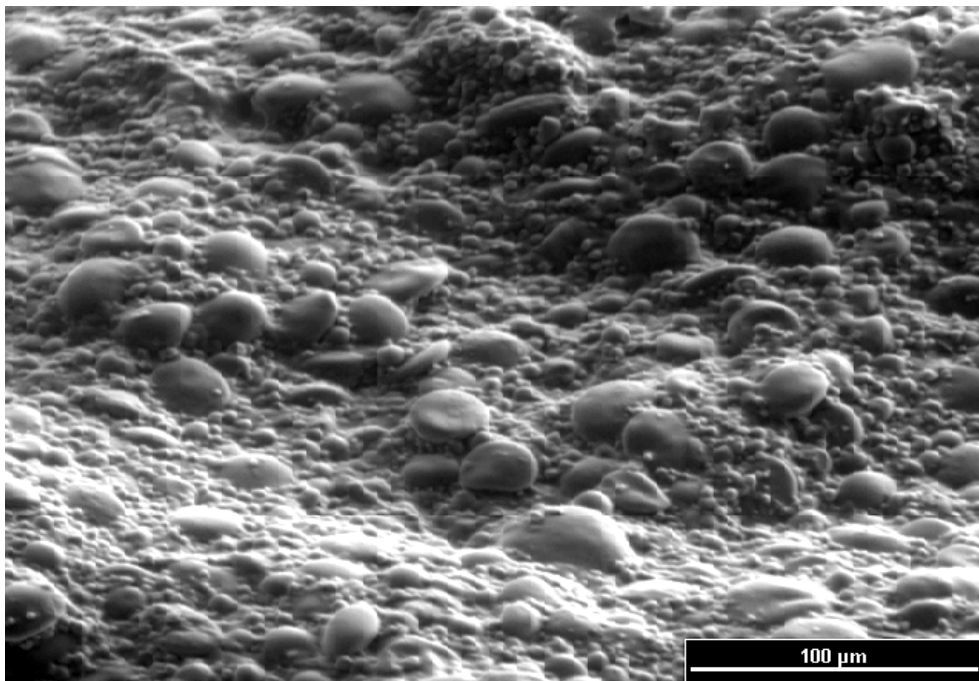


Abbildung 48: ESEM Aufnahme des fertigen Teiges nach der Gare, direkt vor dem Backen nach der Detmolder-Einstufen-Führung. Eindeutig erkennbar sind die Stärkekörner, mehr oder minder versunken in einer flüssigeren Intermediärphase.

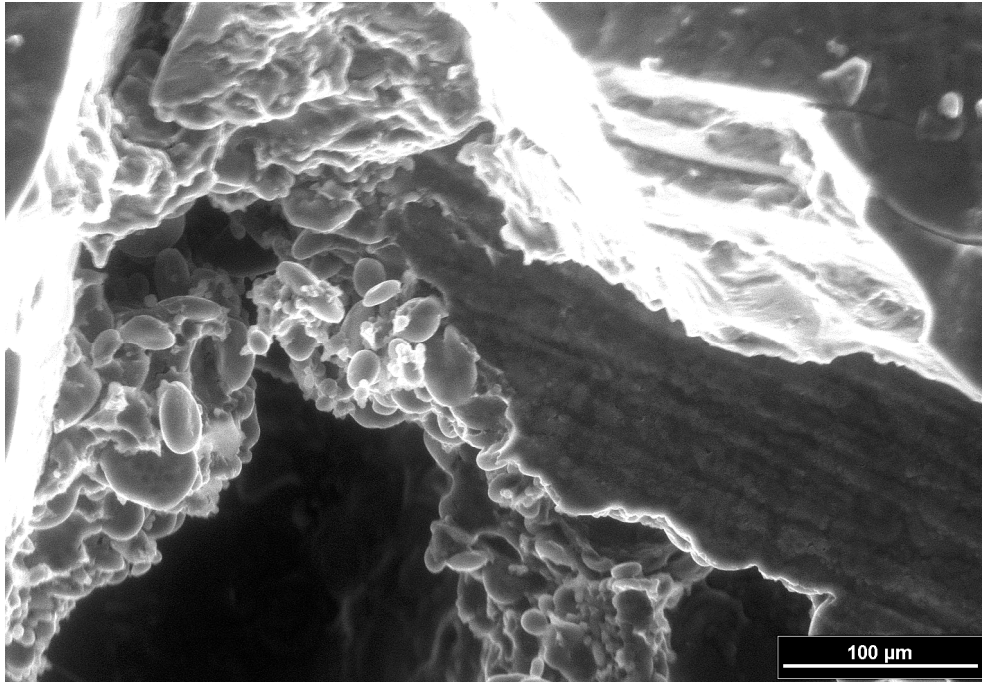


Abbildung 49: ESEM Aufnahme der Kruste (Blick in das Brot) mit direkt unter der außen glasartig-amorphen Kruste liegenden Stärkekörnern im beginnenden Krumenbereich

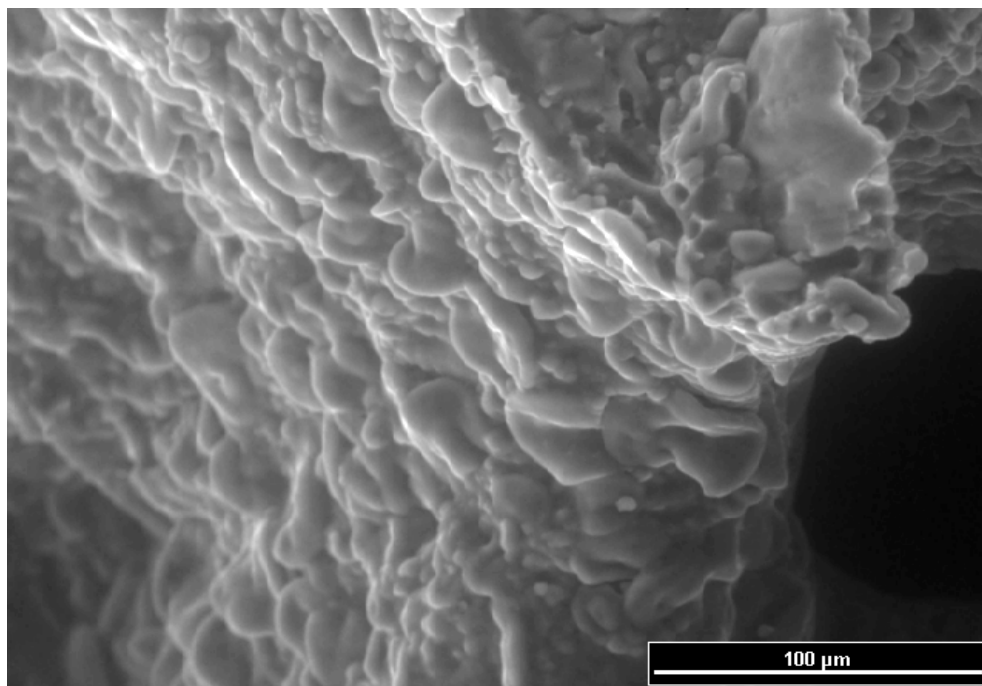


Abbildung 50: ESEM Aufnahme der Porenwand der Brotkrume, ca. 5 mm unterhalb der Kruste mit in dort vorliegender Stärkekornstruktur

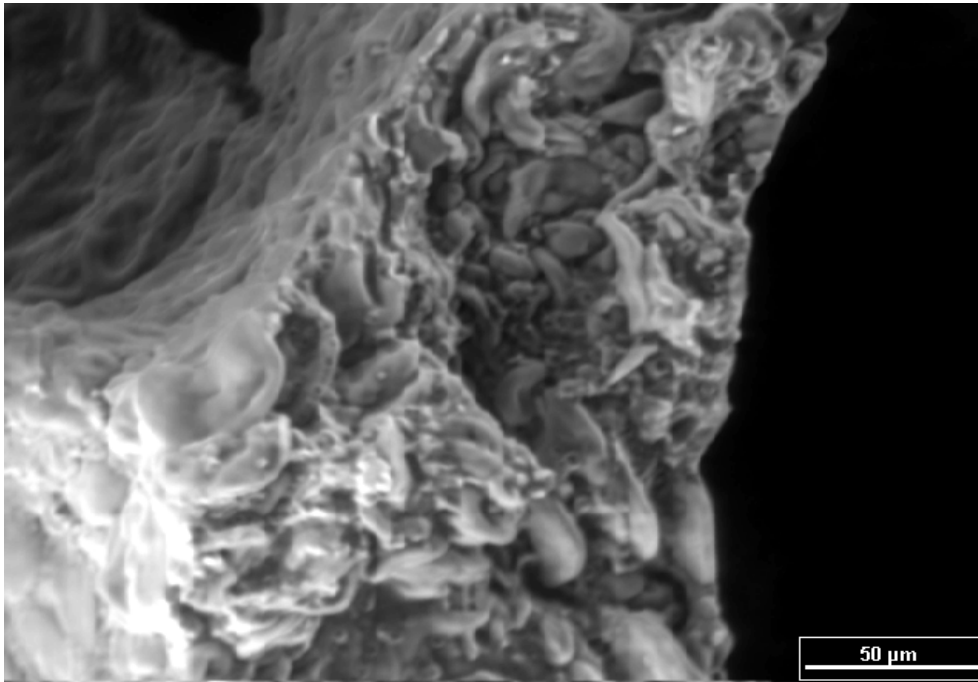


Abbildung 51: ESEM Aufnahme der Porenwand der Krume ca. 10 mm unterhalb der Kruste mit beginnender Auskleidung der Porenwände und dortiger Stärkekorndstruktur

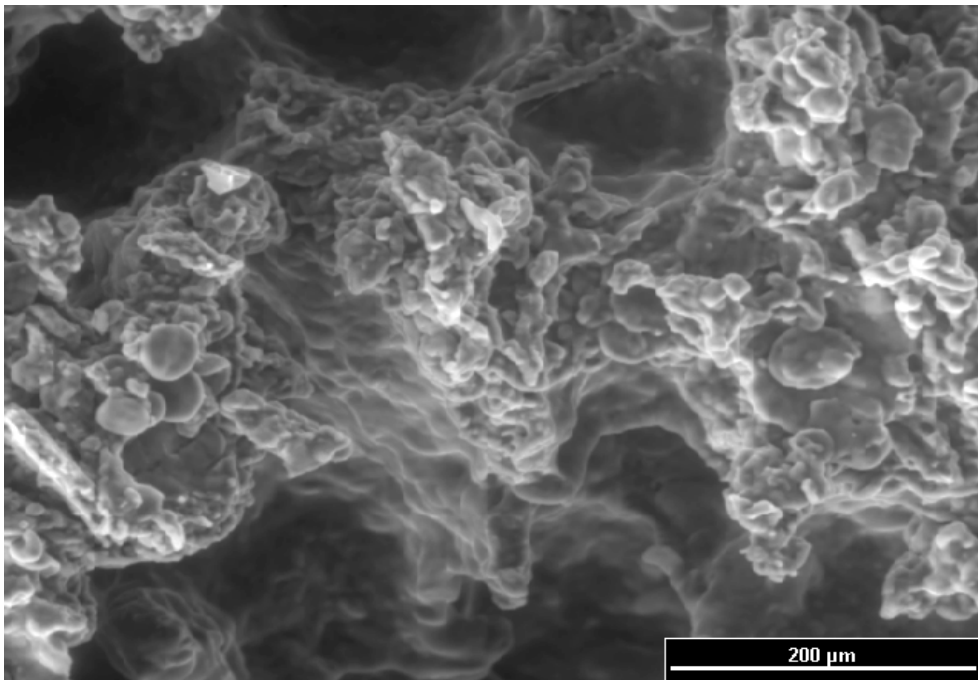


Abbildung 52: ESEM Aufnahme der Krume ca. 20 mm unterhalb der Kruste mit zunehmender Auskleidung der Porenwände und dortiger Stärkekorndstruktur; Lagerzeit n. d. Backen ca. 24 h bei Raumtemperatur

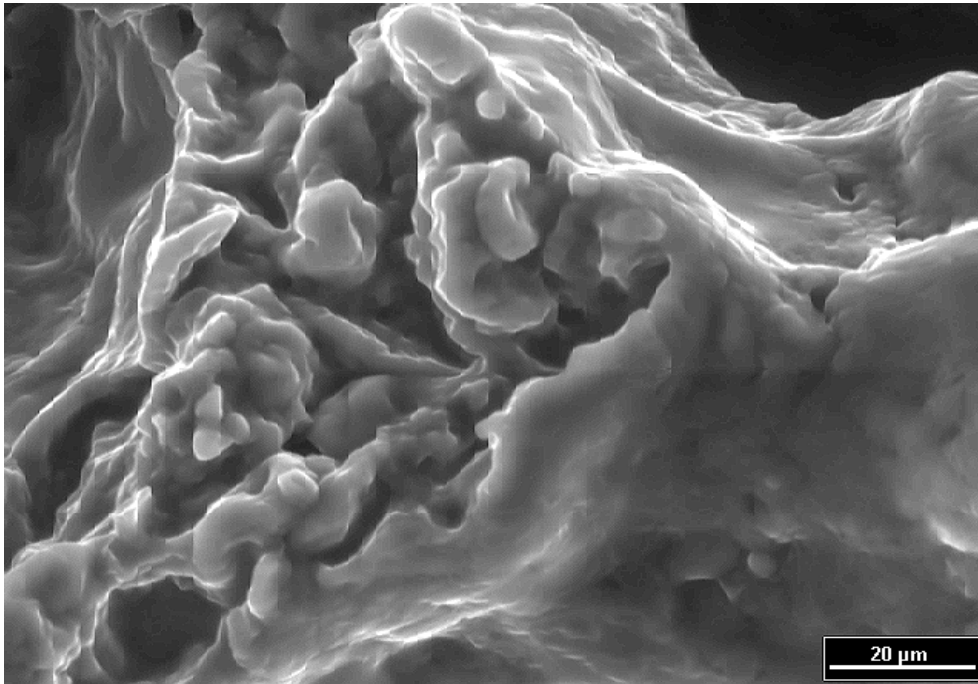


Abbildung 53: ESEM Aufnahme, ca. Krumenmitte mit glatten Porenwandauskleidungen und desintegrierten Stärkekorngrenzen in der Krumenwand; Lagerzeit n. d. Backen ca. 15 h bei Raumtemperatur

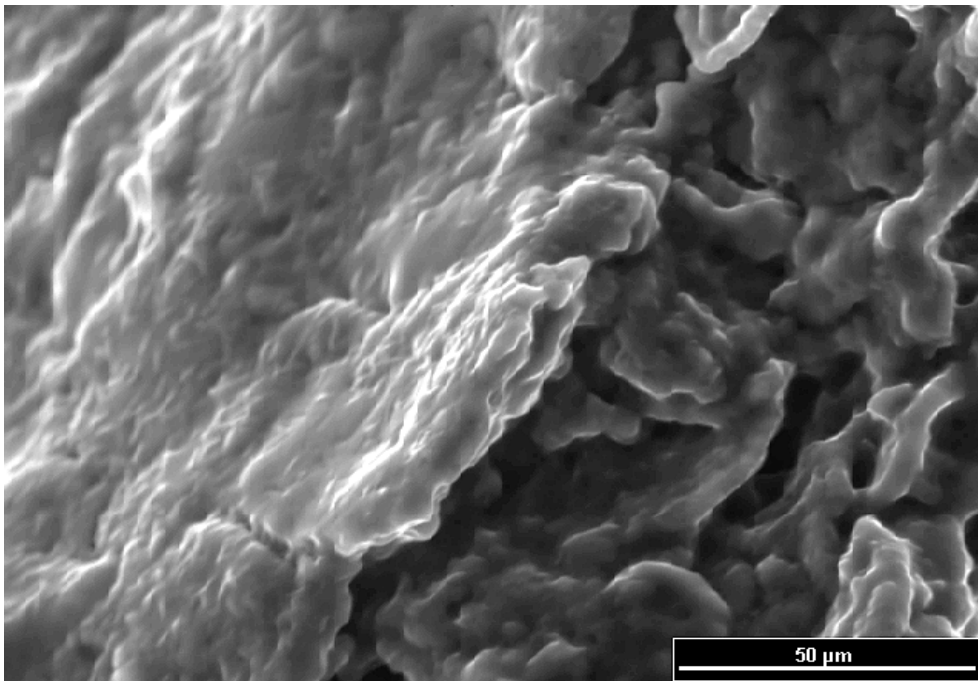


Abbildung 54: ESEM Aufnahme, ca. Krumenmitte mit rauhen Porenwandauskleidungen und desintegrierten Stärkekorngrenzen; Lagerzeit n. d. Backen ca. 7 Tage bei Raumtemperatur

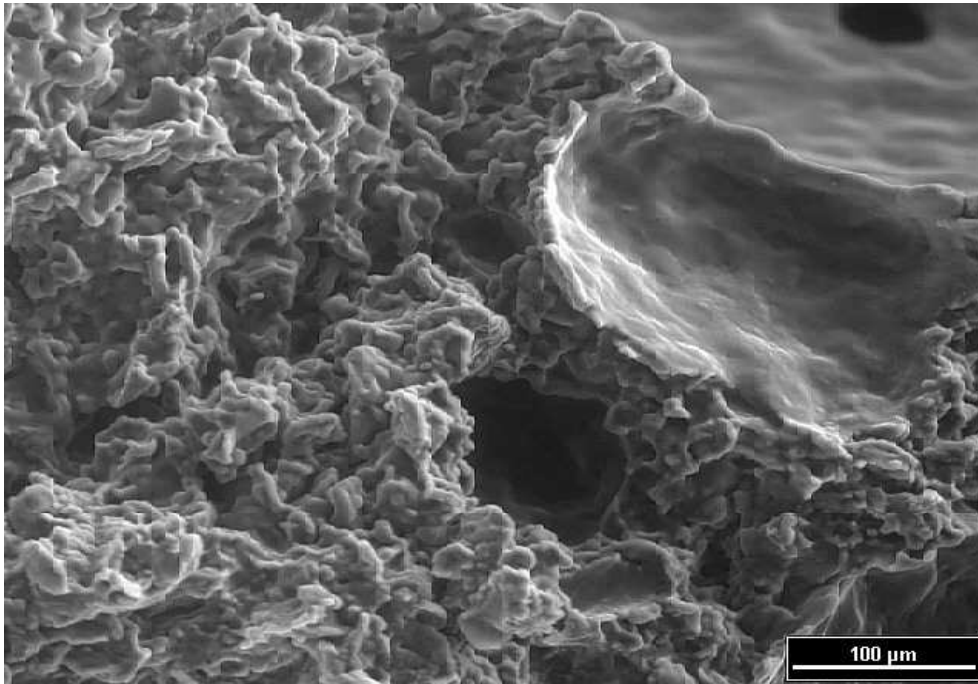


Abbildung 55: ESEM Aufnahme, ca. Krumenmitte mit glatten Porenwandauskleidungen und desintegrierten Stärkekorngestrukturen; Lagerzeit n. d. Backen ca. 15 h bei Raumtemperatur

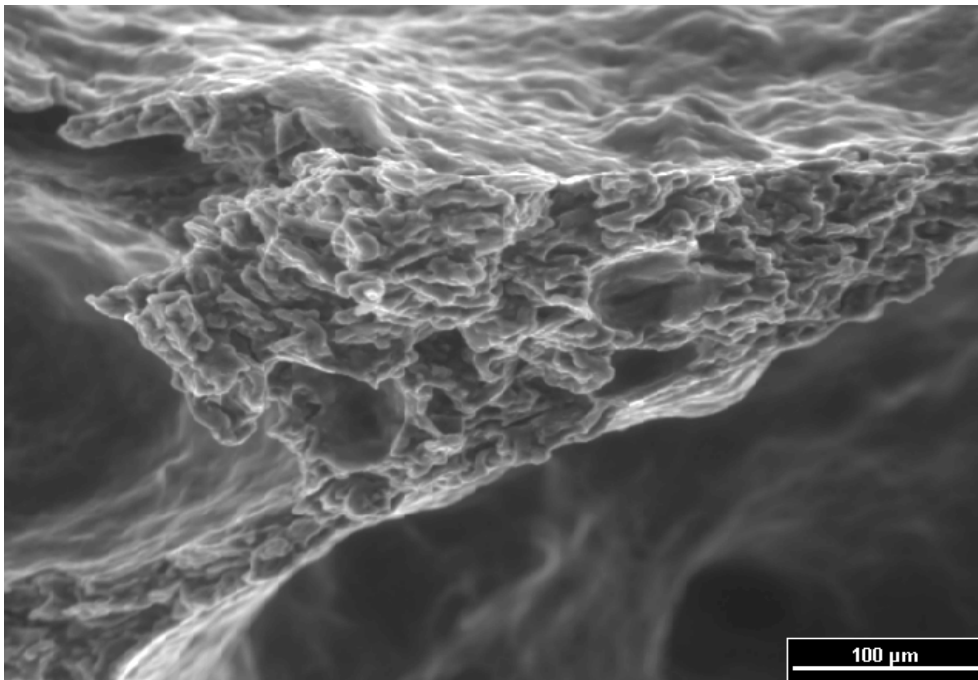


Abbildung 56: ESEM Aufnahme, ca. Brotkrumenmitte, mit zunehmender Lagerzeit raueren Porenwandauskleidungen und desintegrierten Stärkekorngestrukturen; Lagerzeit n. d. Backen ca. 3 Tage bei Raumtemperatur

Während der Versäuerung (16h, TA 200, 30°C) von Roggenmehl trat in dem Zeitintervall keine sichtbare Veränderung der Stärkekornstruktur bei den untersuchten Mehlen/Sauerteigen auf. Auch nach der Säuerung zeigten die Stärkekörner noch ihre typische Größe und Form (Abbildungen 47, 48). Die im Sauerteig vorhandenen korneigenen Enzyme, sowie die als Starterkultur zugesetzten Mikroorganismen, wie Hefen und Milchsäurebakterien, vermögen die Stärkekornstrukturen in dieser Zeit nicht sichtbar abzubauen. Im Vergleich zwischen Abbildung und Abbildung fällt beim gereiften und gesäuerten Teig eine glattere Oberflächenstruktur der Intermediärphase zwischen den Stärkekörnern auf. Makroskopisch zeigt sich in der Praxis während der Teigreifung ein sich stetig verflüssigender Teig (Brümmer 2006, S. 187). Dadurch, dass der Teig sich während der Säuerung verflüssigt, können nach der Versäuerung und Verflüssigung die Zwischenräume im Teig und auf der Teigoberfläche aufgrund anzunehmender geringerer Oberflächenspannungen perfekter geschlossen werden, die Oberfläche erscheint daher glatter, die Stärkekörner zunehmend in die Matrix „eingesunken“.

Die Krusten- und Krumenstrukturen der aus dem Teig gebackenen und mittels ESEM untersuchten Roggenbrote unterscheiden sich sichtbar deutlich. Im Vergleich mit mittels Raster-Elektronen-Mikroskop gewonnenen Aufnahmen (Pomeranz, Meyer) sind mittels ESEM gewonnene Aufnahmen sichtbar nicht durch Artefakte während der Probenpräparation geprägt. Betrachtet man die Krustenregion mittels ESEM (Abbildung 49), so zeigen sich unterhalb der Kruste Stärkekörner von nahezu nativer Gestalt und Form. Diese Stärkekörner wurden ferner mittels Polarisationsfilter untersucht (s. 4.3.2), und es zeigte sich auch direkt nach dem Backen und Abkühlen des Brotes von diesen Stärkekörnern eine eindeutige Doppelbrechung. Diese sich direkt unterhalb der Kruste befindenden Stärkekörner sind dem Anschein nach nicht verkleistert. In der Literatur wurden unverkleisterte Stärkekörner auch bei Knäckebrötchen beobachtet (Hug-Iten 1999, S. 255f). Die Entstehung wird hierbei durch die beim Backprozess zu rasch verdampfende Feuchtigkeit in diesen Bereichen gesehen, wodurch der Stärke letztendlich zu geringe Wassermengen zur Verkleisterung zur Verfügung stehen und den Backprozess unverkleistert überstehen. Adaptiert man nun dieses Modell auf das Roggenbrotsystem, so verhält sich dieses wie folgt: Auch bei der Herstellung des Roggenbrotes verarmt diese Krustenregion

relativ schnell an Wasser. Während der Schwadengabe zu Beginn des Backprozesses kommt es zu einer Kondensation von Wasser auf der Oberfläche, in dessen Überschuss die Oberflächenstärke amorph in der heißen Ofenluft aufschmilzt. Nach ziehen des Zuges des Ofens entweicht schlagartig die Feuchtigkeit aus dem Ofenraum und das oberflächlich vorhandene Wasser verdampft aufgrund des sich nun darstellenden Feuchtigkeitsgradienten und der Ofenhitze. Weiterhin diffundiert Wasser kohäsiv aus den der Kruste zugehörigen Randzonen an die Oberfläche. Bei gleichzeitig Erhitzung und Verschiebung des Temperaturgradienten zur Mitte des Brotes hin kehrt sich die Diffusionsrichtung des Wassers nun schlagartig in der Krustenzone um und die sich dort befindlichen Stärkekörner trocknen unterhalb der Verkleisterungstemperatur aus und verbleiben in ihrer Form, Gestalt und kristallinen Struktur. Daher finden sich solche Stärkekörner, strikt begrenzt, nur unterhalb der Krustenzone.

Abbildung 49 zeigt die Bruchkante der Kruste mit Blick in das aufgebrochene Brot, die inneren Krumenbereiche. Brot besitzt an der Außenseite eine amorphe, glasartige Oberflächenstruktur, die sich durch eine glasartige Bruchkante charakterisiert. Beim Weizenbrötchen ist diese glasartige Brucheigenschaft der Kruste gewünscht und wird allgemein mit dem Begriff „Rösche“ beschrieben. Die Rösche beim Roggenbrot verschwindet nach dem Backen relativ schnell und die Kruste wird mit zunehmender Lagerdauer mehr elastisch und leicht „lederartig“. Im Gegensatz zur Krume altert die Kruste durch Aufnahme von Wasser, sie wird dann elastischer, was eine weitere Alterungsart dieser Brotzone bei Roggenmehlbrot darstellt.

In der Richtung zur Krumenmitte kommt es zunehmend zu einer verstärkten Auskleidung der Porenwände (Abbildungen 49-56). Diese Auskleidung wird sich in dreidimensionaler Sichtweise auch zunehmend in ähnlicher Art und Zusammensetzung zwischen den Stärkekörnern in den Porenwänden befinden. Ein Nachweis mittels ESEM kann hierzu aufgrund der Methode nicht erbracht werden. Hierzu sind spezielle Färbemethoden notwendig, die die Komponenten farblich differenziert erkennen lassen (s. 4.3.2). U.a. das Modell von Zobel et. Al geht von einer mit hohem Amyloseanteil geprägten Intermediärphase aus.

Im ESEM erscheinen mit zunehmender Lagerzeit insbesondere die Oberflächen der Poren der mittleren Krumenbereiche zunehmend rauer. Grund hierfür dürfte einerseits die bereits dargelegte Rückdiffusion von Wasser aus diesen Bereichen in Richtung Kruste sein. Desweiteren erscheint folgender modellhafter Alterungsaspekt:

Durch das Schrumpfen dieser Wandbereiche kommen nun anfänglich durch die ehemals vorhandenen Wassermoleküle getrennte verkleisterte Stärkekettens der Amylose und/oder Amylopektinseitenketten räumlich näher zusammen und können hierdurch erst miteinander retrogradieren. Sofern sich in diesen Bereichen die Verkleisterungsintensitäten durch die erhöhten Wassergehalte während der heißen Ofenphase von anderen Bereichen unterscheiden, so wird sich auch dort zwangsläufig die Intensität der Stärkeretrogradation hierbei unterscheiden. Dies ergäbe einen weiteren Alterungsansatz in Bezug auf die Fragestellung. Inwiefern die Wassergehalte die Stärkeverkleisterung in der Krume beeinflussen, soll später untersucht und ausgewertet werden (s. Kapitel 4.5.1.).

Krumenbereiche, die unterschiedliche Strukturen, wie hier gezeigt, ausbilden, dürften andere Alterungen in diesen Zonen aufweisen.

Zusammenfassung:

1. In jeder untersuchten Zone der nach der Detmolder Einstufen Führung gebackenen Brote unterscheiden sich mikroskopisch die Porenwände.
2. Die Porenwände sind zu den Porenblasen hin unterschiedlich stark „ausgekleidet“.
3. Stärkekörner weisen zwischen den untersuchten Krumenbereichen mikroskopisch sichtbare, unterschiedliche morphologische Strukturen auf.
4. Es hat hierdurch den Anschein, als ob sich innerhalb des Brotes unterschiedliche Verkleisterungsgradienten ausbilden.
5. Unterschiedliche Verkleisterungszustände bewirken nach den Modellen der Stärkeretrogradation unterschiedliche Alterungsintensitäten. Diese wären innerhalb eines Brotes, einer Scheibe somit präsent.

4.3.2 Untersuchungen an Teigen und Brotproben mittels Lichtmikroskop

Einleitung:

Primäre Fragestellung der lichtmikroskopischen Untersuchungen war die Untersuchung der Intermediärphase der Krume. Die im ESEM sichtbaren Auskleidungen der Porenwände können aufgrund der Methodik dort nicht in ihrer Zusammensetzung identifiziert werden. Hierzu sind andere Nachweisverfahren notwendig. Mittels Lichtmikroskop können Strukturelemente durch unterschiedliche Verfahren wie Polfilter oder gezielter Anfärbung der jeweiligen Bestandteile identifiziert werden.

Ergebnisse und Diskussion Lichtmikroskop:

Polarisationsfilter

Stärke liegt in den Roggenmehlpartikeln in Form von Stärkekörnern vor. Hierin befinden sich Amylose und Amylopektin z.T. in kristallinen Bereichen, die optische Anisotropie zeigen. Betrachtet man eine Stärkesuspension mittels Polfilter, so kommt es bei nativen, unverkleisterten Körnern zu einer Doppelbrechung .

Unbehandeltes und übliches Roggenbrot wird im Allgemeinen unter Verwendung von Säure hergestellt. Diese Säure entstammt entweder Teigsäuerungsmitteln (flüssig oder pulverförmig) oder aus dem zugesetzten Sauerteig. Es soll zunächst untersucht werden, welche grundlegenden morphologischen Änderungen Stärkekörner während der üblichen Sauerteigfermentation erfahren. Dazu wurden typische Sauerteige mit einer Teigausbeute von TA 200 hergestellt und bis zu 16 h bei 30°C im Trockenschrank fermentiert. Als Starter wurde der Böcker Reinzuchtsauer verwendet (Fa. Böcker, Minden). Nach der Fermentation (16h, 30°C, TA 200) wurden Proben entnommen und unter dem Lichtmikroskop untersucht. Hierzu wurden Sauerteig mit Wasser auf einem Objektträger miteinander gemischt und unter dem Mikroskop betrachtet.

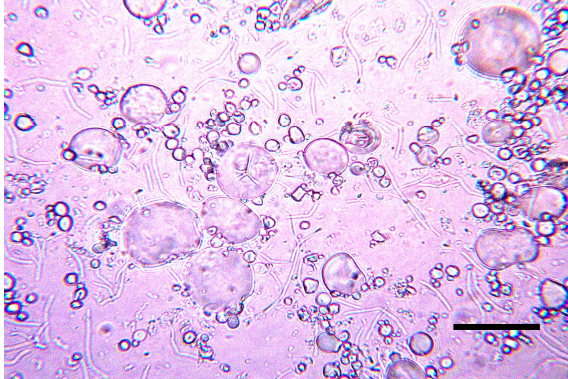


Abbildung 57: Lichtmikroskopische Aufnahme
16 Stunden gereifter Sauerteig ohne Polfilter
(Maßstab=50µm)

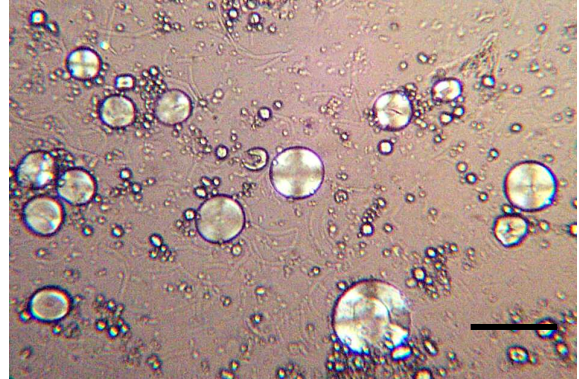


Abbildung 58: Lichtmikroskopische Aufnahme
16 Stunden gereifter Sauerteig mit Polfilter
(Maßstab = 50 µm)

Vor und nach der 16 stündigen Fermentation zeigen sich an den Stärkekörnern keine Änderungen in Bezug auf ihre Größe und Gestalt (Abbildung 57, 58) und insbesondere nicht auf die Doppelbrechungseigenschaften (Abbildung 58). Die für die Doppelbrechung verantwortlichen kristallinen Bereiche innerhalb der Stärkekörner sind durch die Fermentation und deren Säuren nicht sichtbar verändert worden und in ihren optischen Eigenschaften weiter intakt (Doppelbrechung). Die hierfür notwendige Kristallstruktur ist demnach unbeschädigt, ein Abbau der Kristallstrukturen der Amylopektine und Amylosen innerhalb der Stärkekörner ist somit nicht nachweisbar. Käme es, wie beim Auswuchs beschrieben, zu einem partiellen Abbau innerhalb der Stärkekörner, so würden sich hierdurch ihre Gestalt und insbesondere ihre Doppelbrechungseigenschaften irreversibel ändern. Dies ist aber nicht der Fall.

Färbungen mit Jod

Ein repräsentativer Teil der frischen Brotkrume wurde nach dem Abkühlen der Brote entnommen, gezielt mit einer Jodlösung gefärbt (Lee, Tsao, S. 166) und unmittelbar untersucht. Es zeigen sich folgende Bilder, exemplarisch in Abbildung 59 wiedergeben:

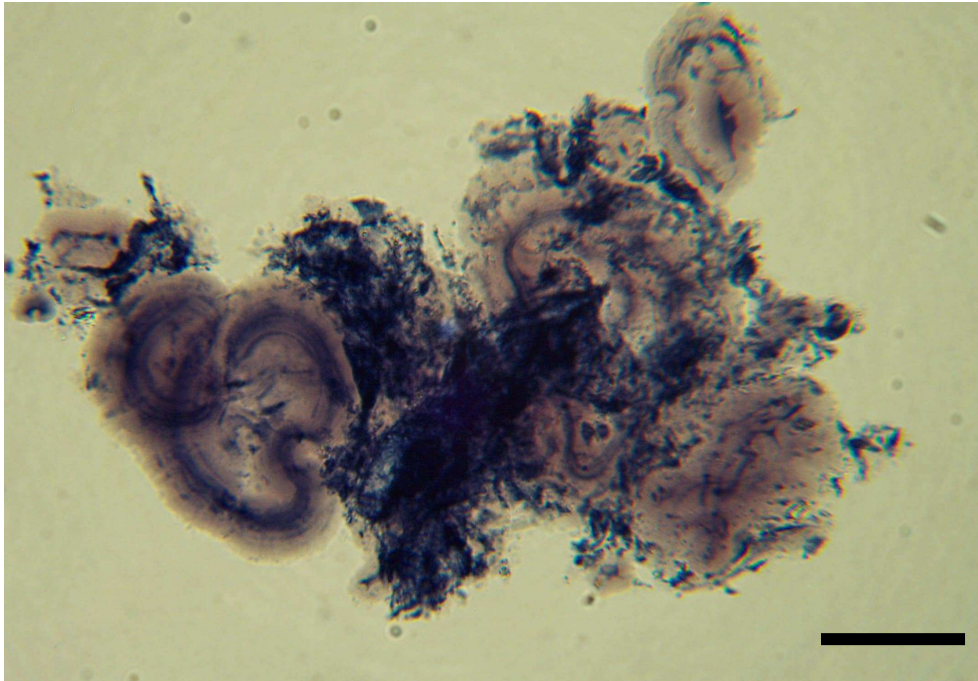


Abbildung 59: Lichtmikroskopische Aufnahme von Brotkrume: Blau angefärbte Amylosegele mit rötlich angefärbtem Amylopektin in Partikeln einer Brotkrume. (Maßstab = 50 µm)

Abbildung 59 zeigt den beobachteten typischen Aufbau einer Brotkrume. Zwischen den Stärkekörnern befinden sich Amylosegele (blau eingefärbt), wobei die Stärkekörner durch Herauslösen der im Teigliquor im heißen Zustand zunächst löslichen Amylose an dieser verarmen und unlösliches Amylopektin in diesen zurückbleibt. Die Intermediärphase beinhaltet damit nicht unerhebliche Gehalte an Amylopektin, was das Modell nach Schoch und Zobel bestätigt. Nach den Modellen perfektionieren sich, mit zunehmender Lagerzeit der Brotkrume, die sich in der Intermediärphase mehr oder minder frei beweglichen Amyloseketten und hereinhängenden Amylopektinseitenketten, unter Bildung helicaler Strukturen. Dies führt letztendlich zu einer Verfestigung der zunächst lockeren Stärkeketten unter Bildung eines brotgroßen dreidimensionalen Gebildes aus Stärke.

Färbungen mit Natrium-Fluorescein und Coomassie Blue

Ergänzend zu den Untersuchungen der Stärke soll geprüft werden, wie die Proteine sich in der Krumenphase verteilen. Die Proteine werden hierzu blau angefärbt (Seguchi, Kanenaga, S. 548). Abbildung 61 zeigt die gefundene typische Verteilung von Roggenproteinen (blau) in der Brotkrume (gelb).

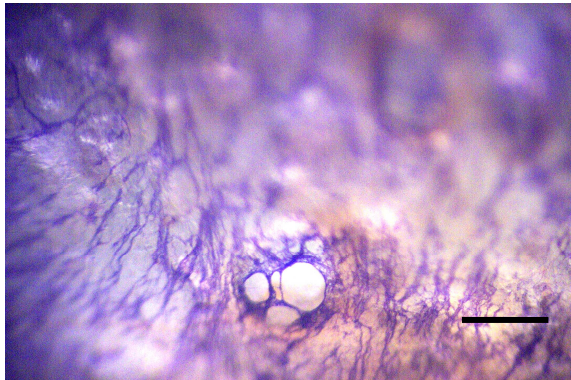


Abbildung 60: Lichtmikroskopische Untersuchung einer typischen Weizenkrume nach dem Backen als Vergleich. Maßstab= 250 µm

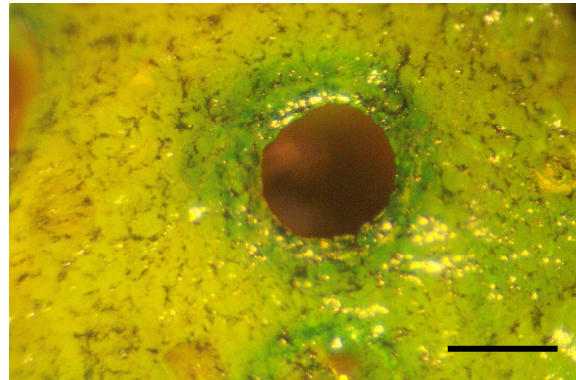


Abbildung 61: Lichtmikroskopische Untersuchung einer typischen Roggenmehlbrotkrume nach dem Backen Maßstab= 250 µm

Eindeutig in Abbildung 61 zu erkennen ist das verteilte Vorkommen der Roggenproteine in isolierten Proteinaggregaten in der Krume. Weizen hingegen weist im Vergleich (Abbildung 60) deutliche Proteinfäden/Fibrillen auf, die räumlich weit miteinander vernetzt sind. Die Untersuchungen von Ahmend (Ahmend 1992, S. 259; Ahmend 1996 S. 1) bestätigen die Ergebnisse dieser Färbungen. Die Untersuchungen bestätigen die Modelle, dass Roggenproteine keine gashaltenden Netzwerke bilden können (Ahmend, 1996, S. 1). Der Einfluss von Roggenproteinen auf die Alterung von Roggenbrot kann aufgrund fehlender dreidimensionaler Proteinnetzwerke nicht direkt ausgeschlossen werden. Vielmehr scheinen die Proteinfragmente in der Krume isoliert vorzuliegen, was die Krumenbereiche dreidimensional partiell lokal trennt. Hierdurch wäre ein dreidimensionales Netzwerk der Amylose durch die Proteinaggregate unterbrochen, die Krume könnte, spekulativ betrachtet, dadurch plastischere Eigenschaften aufweisen und bei Scherbeanspruchung hierdurch leichter innerlich gleiten, als wenn ein Netzwerk vorliegen würde. Dies könnte durch das Gleiten naher Schichten, die nach der Definition des Gleitens nicht fest miteinander verbunden sein dürfen, dann einen Teil der Verlustmodule der in der Kriech-

Erholungsmessung (4.2) erklären. Somit könnten spekulativ betrachtet die Roggenproteine einen Einfluss auf die Alterung von Roggenmehlbrot durch räumliche Trennung von verkleisterten Teilbereichen besitzen und die Krume – gesehen als Schichtenmodell- plastischer wirken lassen.

Zusammenfassung:

Die licht- und elektronen-mikroskopischen (ESEM) Untersuchungen zeigen folgende Erkenntnisse:

1. Innerhalb der Untersuchungen zeigen sich sichtbare Unterschiede der Krusten- und Krumenbereiche (Environmental Scanning Electron Microscope).
2. Die Kruste ist in ihrer Erscheinung an der Oberfläche glasartig amorph. Direkt darunter befinden sich Stärkekörner nativer Gestalt und Größe, die auch nach dem Backen noch Doppelbrechungseigenschaften aufweisen. Diese Stärkekörner sind damit nicht verkleistert.
3. Die Krumenbereiche unterscheiden sich innerhalb der Zonen hinsichtlich ihrer Auskleidung der Porenwände in der Intensität und Oberflächen der Porenwände.
4. Die sichtbare Zusammensetzung der Krumenzonen deuten auf unterschiedlich ausgeprägte Verkleisterungsintensitäten hin. Dies kann durch die unterschiedlichen Wassergehalte während der Backphase begründet sein, und soll im nachfolgenden Kapitel geprüft werden. Wäre dies der Fall, so würde aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzung und Verkleisterung jede Zone eines Brotes unterschiedlich schnell altern.
5. Gealtertes Brot zeigt einen sichtbaren Wechsel im Vergleich von glatten Porenwänden von frischem Brot hin zu rauen Oberflächen gealterten Brotes. Die Krumen wirken bei gelagertem Brot bereits sichtbar gealtert und geschrumpft.

6. Die Phase zwischen den Stärkekörnern wird durch die aus den Stärkekörnern während der Verkleisterung austretende Amylose geprägt. Das Herauslösen der Amylose in diese Intermediärphase wurde durch Färbung mittels Jodlösung der Amylose (blau) und der zurückbleibenden Amylopektine (rötlich) in den Stärkekörnern nachgewiesen.
7. Proteine ließen sich in der Brotkrume farblich deutlich nachweisen. Diese liegen, im Falle des Roggenmehlbrot, isoliert in Proteinfragmenten, eingebettet in die Stärkematrix, vor.
8. Das auf Roggenmehlbrot übertragene Modell der Alterung nach Schoch und French kann bestätigt werden. Ergänzend hierzu treten weitere Alterungsaspekte:
9. Durch Diffusion von Wasser während der Lagerung von der Mitte der Krume in Bereiche geringerer Wasserkonzentration „trocknet“ das Brot scheinbar intern. Es kommt zu einer sichtbaren Schrumpfung der Porenwände. Hierdurch kommen vorher, durch Wassermoleküle isoliert, vorgelegene verkleisterte Stärkekettchen räumlich aufeinander zu und können ggf. erst hierdurch miteinander retrogradieren. Dies stellt einen weiteren ergänzenden Alterungsaspekt des Modells von Schoch und French dar. Die Wasserdiffusion ist zu prüfen (s. Kapitel 4.4).
10. Durch die isoliert vorliegenden Proteinfragmente ist eine plastischere Krume denkbar, als wenn die Proteine dreidimensional verbunden wären. Hierdurch könnte es zu lokalen Störstellen des Stärkenetzwerkes kommen, was die Plastizität der Krume generell beeinflussen könnte.

4.4 Wasserwanderung im Brot während des Backens und der Lagerung von ganzem Roggenmehlbrot mit Kruste

Einleitung:

Wie in den ESEM Untersuchungen (Abbildungen 50-56) zu erkennen ist, kommt es innerhalb der Brotkrume zur Ausbildung sichtbarer Unterschiede im Aufbau der Porenwände. Hieraus stellt sich direkt die Frage, ob sich die unterschiedlichen Strukturen während des Backprozesses durch herrschenden Wassergradienten und Temperaturen ausbilden können. Die Unterschiede sind in der sichtbaren Struktur der Stärkekörner und des sie umgebende Porenmaterials geprägt (s.o.). Stärke ist nach den in der Einleitung beschriebenen Modellen (2.5) hauptverantwortlich für die Brotalterung und Krumenverfestigung. Als These folgt hieraus, dass sofern es innerhalb des Brotes zu einer Ausbildung eindeutiger Verkleisterungsgradienten der Stärke käme, so dürften hierdurch entsprechende Alterungsgradienten jeweils dort in der Brotkrume zu erwarten sein. Die Ursache für die Entstehung dieser Strukturgradienten kann neben dem, während und nach dem Backen durchlaufenden Temperaturprofil und/oder durch unterschiedliche Wassergehalte innerhalb der Krume und/oder mögliche Wasser-Diffusionsströme während der Backphase hervorgerufen sein. Zur Bestimmung der Wasserwanderung wird der Wassergehalt in den unterschiedlichen Krumenzonen während der Backphase und anschließend während der Lagerung untersucht.

Ergebnisse und Diskussion:

Tabelle 8 gibt die Wassergehalte der jeweiligen Brotfraktionen während unterschiedlicher Verweil/Backzeiten (BZ) von Teiglingen, hergestellt nach dem Standard-Backversuch, im Ofen wieder.

Tabelle 8: Wassergehalte der unterschiedlichen Brotzonen

Standard-Backversuch 3.2.7, T= Abstand von Top; M= Mitte; B= Abstand vom Boden; BZ= Backzeit

Fraktion	15 min BZ	30 min BZ	45 min BZ	60 min BZ	24h Lagerzeit	72 h Lagerzeit
1 (0 – 0.5 cm) T	30.3	23.7	20.5	18.5	24.1	29.3
2 (0.5-1.5 cm) T	49.1	46.8	44.9	41.9	36.4	37.4
3 (1.5-2.5 cm) T	52.4	51.6	50.9	49.8	47.1	44.4
4 (> 2.5 cm) M	52.7	52.5	52.0	51.2	49.9	47.0
5 (1.5-2.5 cm) B	52.2	51.8	48.8	47.2	45.1	46.6
6 (0.5-1.5 cm) B	50.6	48.4	47.7	46.6	42.6	40.7
7 (0 – 0.5 cm) B	48.3	35.6	25.2	23.3	27.6	31.3
Teig	50.0					
Brotvolumen	2750	2610	2800	2830	3150	3150

Die Brotzonen weisen während des Backprozesses und auch während der Lagerung unterschiedliche Wassergehalte auf. Es müssen daher zwei grundsätzlich unterschiedliche Wasserwanderungen differenziert werden:

- a) Wasserwanderung während der Backphase
- b) Wasserwanderung während der Lagerung

Der Wassergehalt des Teiges incl. Mehlfeuchte und Schüttwasser beträgt ursprünglich 50.0g/100g Teig. Er berechnet sich wie folgt (Mehlfeuchte 12,5%, Teigausbeute 175):

In 175g Teig aus 75g Wasser und 100g Mehl(12,5g Wasser/100g Mehl) ist demnach ein Wassergehalt von 75g plus 12,5g= 87,5g Wasser, was, bezogen auf 175g Teig, exakt 50% Wassergehalt darstellt.

Die Mitte der Brote hat dabei den höchsten Wassergehalt nach einer Backzeit von ca. 15 Minuten erreicht. Dieser Wassergehalt in der Mitte der Krume ist höher als der im ursprünglichen Teig. In der Mitte des Brotes ist nach ca. 15-20 Minuten eine Temperatur von ca. 96°C –100°C erreicht, die 100°C allgemein nicht überschreitet (Heiss, S. 218). Wären Temperaturen über 100°C vorhanden, so würde das Wasser unter unkontrollierten Kocherscheinungen verdampfen und die sich gebildete Krume zerreißen. Dies ist aber bei den hergestellten Broten nicht beobachtet worden.

Der Grund für den Anstieg der Wassergehalte ist nicht allein in der Schwadengabe und die nur kurzzeitige Aufnahme von Wasser in den Krustenbereichen während der ersten Minute des Backprozesses zu sehen, da bereits nach 1 Minute der Zug im Ofen gezogen wird und die Ofenatmosphäre an Wasserdampf schlagartig verarmt, das krustengebundene Wasser damit wieder in den Backraum übergeht. Als Ursache für die höheren Wassergehalte in der Krumenmitte ist eine Diffusion von Wasser aus den äußeren Brotbereichen in die Mitte des Brotes denkbar. Für das im Teig vorhandene Wasser wird folgendes Modell im Ofen diskutiert:

1. Wanderung von Wasser in die Mitte des Brotes durch Verdampfen und Kondensation an (noch) kälteren Porenwänden innerhalb des verbundenen Porensystemes (s.u.)
2. Diffusion von Teigliquor im Teig innerhalb der Teigmatrix zur Krumenmitte
3. Teilweise Rückdiffusion von Wasser zur Oberfläche des Brotes und Übergang in den heißen Ofenraum, was sich im Backverlust zeigt

Nach dem Einbringen des Teiglings in den Ofen wirkt auf diesen von außen die Ofenhitze ein. Ein Teil des Wassers verdampft innerhalb der Porung und geht in den Porenraum über. An zu diesem Zeitpunkt noch vorhandenen kälteren Stellen innerhalb der Krumpore kommt es zu einer Kondensation und zu einem Wärmeübertrag an dieser Stelle. Dort steigt zu diesem Zeitpunkt kurzzeitig die Wasserkonzentration durch die Kondensation an. Momentan ist in diesem räumlichen Segment zu einem solchen Zeitpunkt die Wasserkonzentration als größer anzunehmen, als in Bereichen direkter Nachbarschaft davon. Die sich oberflächlich an der Porenwand befindlichen Stärkekörner haben hierdurch momentan einen höheren Wassergehalt für ihre Verkleisterung zur Verfügung. Lokal wird durch die

nun erfolgte Kondensation des Wassers die Konzentration an gelösten Stoffen partiell verringert. Hierdurch sinkt die Verkleisterungstemperatur der Stärke (Chiotelli Rolée, Le Meste, S. 459f; Baker Ryas-Duartes S. 313) und mehr Stärke verkleistert als in anderen Bereichen. Dies mag ferner die glatten Porenwände mit begründen. Ein Teil des Wassers wird während der Verkleisterung von der Stärke gebunden, während weiteres Wasser wiederum in diese Porenwand eindiffundiert. Nach dem Durchdringen der Porenwand wiederholt sich dieser richtungsbestimmte, von außen, der Ofenhitze zugewandten Seite der Pore, zur „kälteren“ Krumenmitte zeigende Prozess, bis er in der Mitte des Brotes, durch Ausgleich des Temperaturgradienten langsam zum Stillstand kommt. Neben der direkten Diffusion durch die Porenwände hindurch besteht für gebildeten Wasserdampf auch die Möglichkeit ohne Kondensation durch die zwischen Poren befindlichen Porenkanäle hindurch zur nächsten (verbundenen) Pore zu strömen. Diese Porenkanäle weisen Durchmesser zwischen ca. 0.1 bis ca. 2 mm auf und durchziehen die gesamte Krume. Die Bildung der Porenkanäle durch gebildeten Wasserdampf(druck) ist denkbar. Verdampft Wasser auf der einen Seite der Pore, so steigt der Druck innerhalb dieser Pore an. Die zur kälteren Krumenmitte gerichteten kälteren Porenwände sind noch durch sehr weiche und plastische Eigenschaften geprägt, da sie zu diesem Zeitpunkt noch Teige sind, und geben partiell dem Druck nach: Es entstehen als Ergebnis des Druckausgleiches Porenwandkanäle zwischen benachbarten, vorher isolierten Poren. Abbildung 61 zeigt als Beispiel eine solche Verbindung zweier benachbarter Poren, was die Untersuchungen von Lehmann bestätigt. Beispiele solcher Porenwandlöcher sind ferner im Hintergrund in den mikroskopischen Abbildungen 55 und 56 zu sehen, die aufgrund ihrer Größen auch makroskopisch sowohl in gefriergetrockneten Teigen, wie auch in der Roggenkrume erkennbar sind.

Nachdem in der Mitte des Brotes der maximale Wassergehalt erreicht wurde, in ca. 15 min nach Einbringen des Teiges in den heißen Ofenraum, änderte sich die Wanderungsrichtung. Der innerste Krumenbereich verarmt an Wasser und in der weiteren Lagerung nach dem Backen. Die Umlagerung des Wassers mit der Lagerzeit wird durch die Untersuchungen an Weizenbrot bestätigt (Baik, S. 486)

Die nachfolgenden Teilabbildungen in Abb. 62 sollen die im Ofen ablaufenden Prozesse zusammenfassend verdeutlichen:

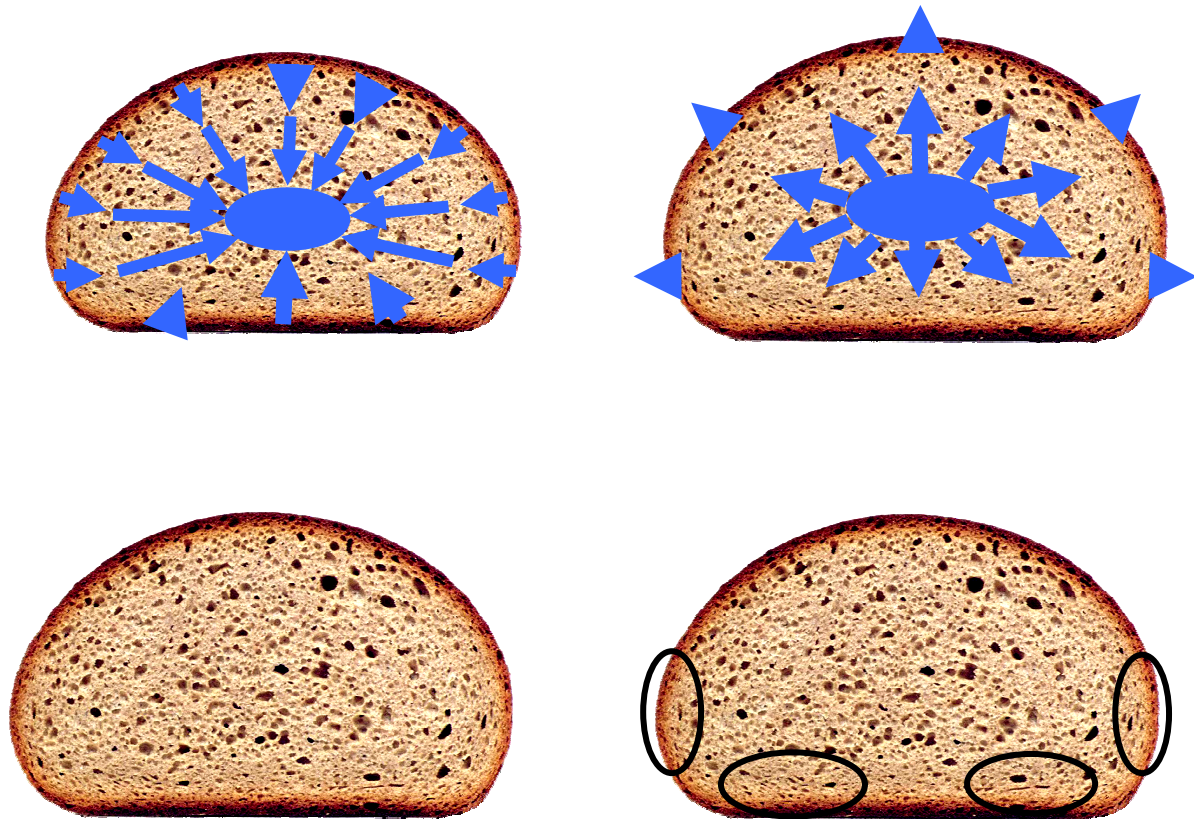


Abbildung 62 : Modell der Wasserdiffusion während der Ofenphase; Ofentrieb erkennbar an den flachen Seitenporen in den unteren Bildern

Der Druck durch verdampfendes Wasser, Ethanol, Essigsäure, aus dem im Teigliquor gelösten CO_2 etc. innerhalb des Brotes gebildet, steigt in der späteren Ofenphase weiter an, was später die flache Seitenporung (s. untere Bilder) des Brotes durch den Ofentrieb erklären dürfte. Während der Backphase ist die Verdunstung von Wasser in den Ofenraum mit der Überwindung der amorph aufgeschlossenen Krustenzone (0-0.5 cm) verbunden, die, aufgrund ihrer lederartig und schalenartigen Struktur, eine physikalische Diffusionsbarriere darstellt. Diese wird partiell durchdrungen, was zum Backverlust beiträgt. Der Ofentrieb des Wassers bewirkt im Brot einen Druck auf bereits bestehende Poren, von der Mitte des Brotes nach außen aus. Dieser Ofentrieb äußert sich dann in einem unterschiedlichem Porenbild innerhalb der Brotkrume. Nach oben hin kann das Brot expandieren, zur Seite und nach unten hin zunehmend weniger. In der oberen Brothälfte ist die Porung daher runder und mehr gelockert, während die zur heißen Bodenplatte gewandten Krumbereiche eine dichte Porung

mit zusammengedrückter Randporung aufweisen (Abbildung 62, untere Bilder). Die größte Lockerung ist in der Mitte der Krume zu beobachten. Der Backverlust, berechnet als Wasser, beträgt in der Summe des Brotes allgemein bei einem nach der Fragestellung gebackenen Brot ca. 200g ($\cong 11\%$ bei 1780g zu backendem Teiggewicht).

Zusammenfassung:

1. In den isolierten Krumen und Krustenbereichen ist das Wasser in unterschiedlichen Gehalten vorhanden.
2. Während der ersten Backphase wandert Wasser zunächst zur Krumenmitte.
3. Die Wassergehalte der Krumenmitte sind dann höher als im ursprünglichen Teig.
4. Nach ca. 30 Minuten kehrt sich die Richtung um. Wasser wandert dann zur Kruste, bzw. in den Ofenraum.
5. Nach dem Backen besitzt der Bereich der Krumenmitte die höchste Wasserkonzentration.
6. Während der Lagerung wandert das Wasser aus der Krumenmitte in alle Richtungen zur Kruste.
7. Die innere Krume trocknet hierdurch intern aus und verliert an Saftigkeit, was einen weiteren Alterungsaspekt darstellt. Dies bedeutet, dass jede Zone eines Brotes aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzung anders altert.
8. Die sichtbar amorphe Kruste nimmt während der Lagerung Wasser auf, wird lederartig und elastisch. Diese Form der Alterung unterscheidet sich grundlegend von der Krumenalterung, in der die Krume fester und trockener erscheint. Auch dieser Aspekt ergänzt das auf Roggenmehlbrot übertragene Modell der Brotalterung von Schoch und French.

4.5 Verkleisterungseigenschaften

4.5.1 Roggenstärke – Verkleisterungspotential

Einleitung:

Die Krumezonen der untersuchten Brote zeigten in der mikroskopischen ESEM Untersuchung deutlich unterschiedliche Porenwandstrukturen. Die Porenwände und die darin enthaltenen Stärkekörner scheinen dort, zudem optisch erkennbar, unterschiedliche Verkleisterungsgrade aufzuweisen. Während der Ofenphase sind signifikant unterschiedliche Wassergehalte in den Krumezonen gemessen worden (Kapitel 4.4). Wasser diffundiert während der Backphase zur Krume mitte hin und hiernach wieder nach außen. Kommt es durch die unterschiedlichen Wassergehalte zu unterschiedlichen Verkleisterungen innerhalb dieser Zonen zueinander, so resultieren hieraus zwangsläufig unterschiedliche physikalische Eigenschaften in diesen Zonen. Dies soll zunächst anhand der Verkleisterungspotentiale von Roggenstärke und darauf folgend, in den jeweiligen Verkleisterungseigenschaften der isolierten Krume, geprüft werden.

Die DSC ermöglicht allgemeine Aussagen über das Aufschmelzverhalten von Kristallen und kristallinen Bereichen. Ihr Einsatzgebiet ist beispielsweise die physikalische Beschreibung von Polymeren in der Qualitätskontrolle der Kunststoffindustrie. Auch die physikalischen Eigenschaften von Stärken können mit der DSC beschrieben werden, was allgemeine Anwendung findet (Münzing 1989, 1990, 1991)

Ergebnisse und Diskussion:

Von dem erhaltenen, optisch sehr weißen Mehl wurde der Feuchtigkeitsgehalt (10.8%) und der Pentosangehalt (unterhalb der Nachweisgrenze), sowie der Proteingehalt (1,2%), bestimmt. Mikroskopisch zeigten sich die typischen Erscheinungsformen der Roggenstärke mit unterschiedlichen Korngrößen von bis zu ca. 50 μm , die typische Doppelbrechung, linsenförmige Körner und partielle Risse und Spalten in den Körnern. Ein Bruch der Stärkekörner, oder eine Beschädigung der Strukturen, konnte im Lichtmikroskop nicht beobachtet werden.

Die im sechsfachen Wasserüberschuss durchgeführten Messungen geben als Basis (=100%) die vollständige Verkleisterung wieder. Die Messungen zeigen allgemein, je nach eingesetzter Teigausbeute, unterschiedliche Verkleisterungswärmen der Stärkeproben in den Teigen. Diese sind für Teigproben geringer Wassergehalte eindeutig niedriger als für Teigproben höherer Wassergehalte. Das bedeutet, dass das Aufschmelzverhalten kristalliner Bereiche innerhalb der Stärkekörner in der Teigmatrix neben der Temperatur eindeutig vom zur Verfügung stehenden Wassergehalt, ausgedrückt als TA, abhängig ist.

Präparationstechnisch gestalteten sich Teige mit einer Teigausbeute kleiner TA 175 als suboptimal und konnten schwerlich reproduzierbar in die winzigen Messtiegel der DSC eingebracht werden. Die Teige waren in diesen Fällen nicht mehr gezielt dosierbar und durch unbestimmbare Verluste an Wasser während der Präparation geprägt. Die Messergebnisse beziehen sich in der graphischen Auswertung daher auf Teige ab einer TA von 175.

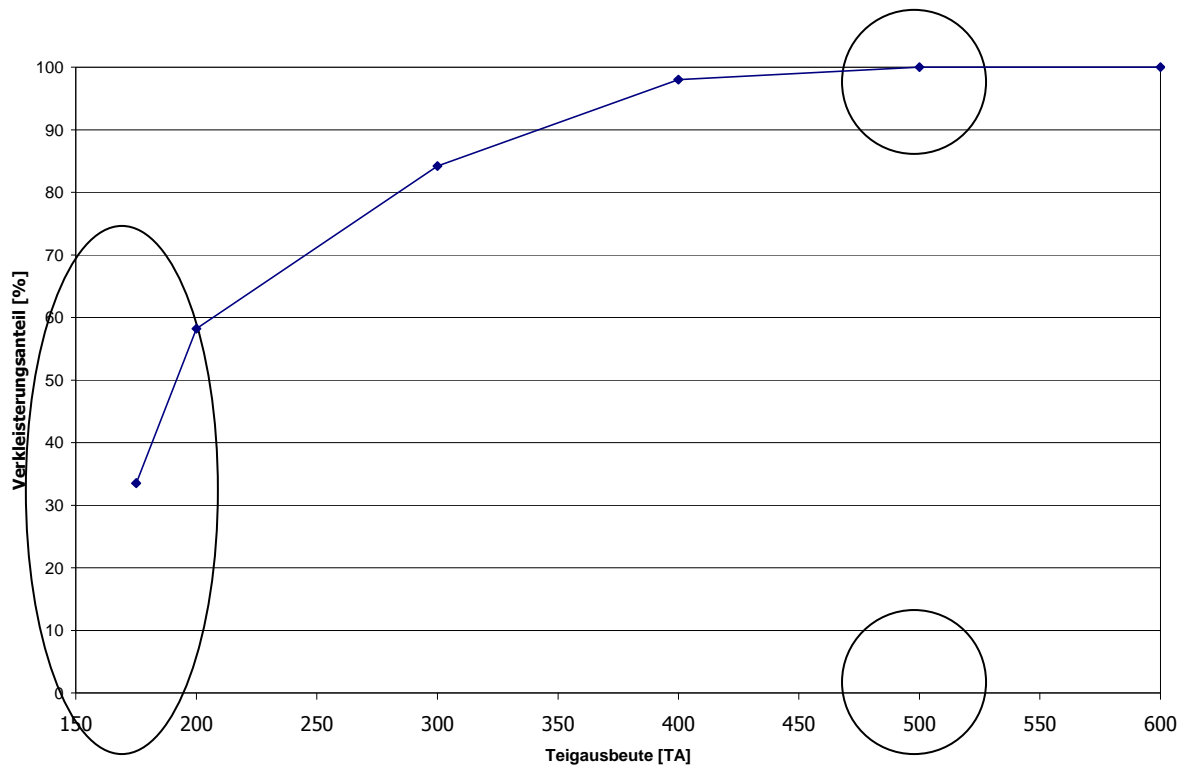


Abbildung 62: Verkleisterungsgrad von Roggenstärke in Abhängigkeit vom präsenten Wassergehalt
 Übliche TA im Teig ist ca. TA 175, was aber nur ca. 1/3 Verkleisterung ermöglicht

Unter Berücksichtigung dieser in Abbildung 62 dargelegten Ergebnisse der Verkleisterungsgradienten kann es zunächst in den bei der Brotherstellung üblichen Wassergehalten eindeutig nicht zu einer vollständigen Verkleisterung innerhalb der Krumensysteme kommen. Hierzu sind Wassergehalte, ausgedrückt als TA, oberhalb von mindestens ca. TA 400 (100 Teile Probe plus 300 Teile Wasser), alleine bereits für die Stärke notwendig. Unter Berücksichtigung der im Roggenmehl vorhandenen und um das verfügbare Wasser neben der Stärke konkurrierenden Proteine (ca.10%) und Pentosane (ca. 8%) wären die für die Verkleisterung erforderlichen Teigausbeuten noch höher. Das Ergebnis wird durch in der Literatur durchgeführte Messungen an Weizenstärken bestätigt. Die dort durchgeführten Verkleisterungbestimmungen mittels DSC werden unter Berücksichtigung des zumeist vierfachen bis fünffachen Wasserüberschusses durchgeführt (Münzing, 199 S. 133).

Für die Roggenmehlbrotherstellung sind Teigausbeuten, bei Verwendung der Mehltpe 997, im Bereich von 160 bis zuweilen 190, seit Jahren allgemein in der Praxis üblich (Brümmer 2005, S. 95f). Höhere Teigausbeuten als diese sind allgemein nicht möglich, da sich das Backergebniss ansonsten unter dann verstärkt zeigender Klitschbildung dramatisch verschlechtern würde.

Die folgende Tabelle 9 zeigt den Zusammenhang zwischen der Feuchtigkeit des Stärketeiges und der eingesetzten Teigausbeute, bei der verwendeten Stärke mit einer Feuchte von 10,8%.

Tabelle 9: Bezug zwischen Teigausbeute und sich einstellenden Wassergehaltes bei Teigausbeuten zwischen 135 und 190 bei einem Stärkemehl mit 10,8g Wasser/100g Stärkemehl.

Wasser aus 100g Stärke	Teigausbeute TA	Schüttung In ml pro 100g Stärke	Wasser in g pro 100g Stärkeprobe	Wassergehalt in % TM Stärketeig
10,8 g	135	35	44,9	33,2
10,8 g	140	40	49,7	35,5
10,8 g	145	45	54,6	37,7
10,8 g	150	50	59,5	39,7
10,8 g	155	55	64,3	41,5
10,8 g	160	60	69,2	43,3
10,8 g	165	65	74,1	44,9
10,8 g	170	70	78,9	46,4
10,8 g	175	75	83,8	47,9
10,8 g	180	80	88,7	49,3
10,8 g	185	85	93,5	50,6
10,8 g	190	90	98,4	51,8

Ausgehend von der verwendeten Stärke, mit 10,8% Wasser/100g Stärke mit einer Teigausbeute TA von 175, entspricht dort der Wassergehalt dieses Teiges 47,9%

Wie der Tabelle 9 zu entnehmen ist, ändert sich mit der TA signifikant der für die Verkleisterung zur Verfügung stehende Wassergehalt. Unter Berücksichtigung der Abbildung 62 und der Tabelle 9 zeigt sich die maximal mögliche Verkleisterung bei den jeweiligen Wassergehalten. Je höher der Wassergehalt, umso höher die Verkleisterung. Zu bedenken bleibt ferner, dass im realen Teig Proteine und Pentosane enthalten sind, die in nicht unwesentlichem Umfang mit der Stärke um das zur Verfügung stehende Wasser konkurrieren. Baker und Rayas-Duarte zeigten, dass die Verkleisterung mit zunehmenden Gehalten an Salz und Zucker deutlich abnehmen. Sie begründen dies mit der Bindung des ansonsten potentiell für die Stärkeverkleisterung verfügbaren freien Wassers.

Bereits bei der Teigbereitung beim Roggenmehlbrot ist die Menge an Schüttwasser aber limitiert und bewegt sich in der Praxis über die Jahre 1984-2003 hinweg zwischen 165 bis 180. Durch die Erhöhung des Anteiles freien Wassers (höhere TA) sinkt die Viskosität des Teiges, was zu einer Verflüssigung des Teiges während der Teig und Ofenphase, und hierdurch zu geringeren Brotvolumina mit flacher Form und/oder Klitschbildung, führt. Eine solche Erhöhung der Wassergehalte scheidet damit in der Praxis aus. Selten und in Ausnahmefällen, z.B. bei der Verwendung von Roggen-Spezialmehlen (Bode, S.272f), oder Mehlen mit höheren Gehalten an Pentosanen (Lindhauer, S. 25), oder zugesetzten anderen Wasser bindenden Quellstoffen und Hydrokolloiden, können diese bis ca. 190-200 TA erreichen. Durch die zugesetzten wasserbindenden Backmittel wird jedoch freies Wasser gebunden und steht dann für die Verkleisterung der Stärke dabei nicht oder nur bedingt zur Verfügung.

Betrachtet man nun zusammenfassend die Ergebnisse der Verteilung und Wanderung des Wassers während des Backprozesses, berücksichtigt die wasserbindenden Eigenschaften der Pentosane und Proteine, so sind im realen Teig im Ofen signifikant unterschiedlich ausgeprägte Verkleisterungen in den Krumenbereichen ableitbar. Dies bestätigen die bereits mikroskopischen Beobachtungen.

Da die Alterung des Brotes durch die Retrogradation der Stärke nach den Modellen von u.a. Zobel, Schoch und French (Kapitel 2.5) hervorgerufen wird, ist von

unterschiedlich ausgeprägten Alterungen in den jeweiligen Krumenzonen eines Brotes, aufgrund der dort jeweils anderen Verkleisterungsintensitäten, auszugehen.

Zusammenfassung:

1. Die Verkleisterung von Roggenstärke ist in den verwendeten Teigausbeuten nur unvollständig möglich.
2. Die Ergebnisse der Messungen bestätigen die Vermutungen unterschiedlicher Verkleisterungsgradienten innerhalb der Roggenmehlbrotkrumen. Je nach Krume-Position im Brot sind individuelle Wassergehalte und daraus resultierende Verkleisterungsintensitäten und damit wiederum verbundene Alterungen nach den Modellen der Stärkeretrogradation zu erwarten.

4.5.2 Krume- Nachverkleisterungspotential

Einleitung:

Die bisherigen Untersuchungen legen die Annahme nahe, die unterschiedlichen Krume- und Krustenbereiche weisen unterschiedliche Verkleisterungsgrade durch den Backprozess auf. Die hierdurch entstandenen Krume wären dadurch in unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften geprägt, was sich später in unterschiedlichen Alterungsfaktoren wiederfinden könnte. Anhand des Quell- und Nachverkleisterungsverhaltens isolierter Krusten und Krume-Fractionen soll dies geprüft werden. Sind die jeweils isolierten Zonen in ihrer Verkleisterung gleich, so müssen diese nach gleicher Trocknung, Zerkleinerung und rheologischer Messung gleich sein. Bestehen Unterschiede in den Ergebniskurven der rheologischen Untersuchungen, so ist von unterschiedlichem Verkleisterungsgrad dieser Zonen auszugehen. Technisch nutzt man die Vorverkleisterung von Stärke und stärkehaltigen Materialien, um diese als modifizierte Stärken in unterschiedlichsten Anwendungen in der technischen- und Lebensmittelindustrie einzusetzen. Beispiele wären hierbei Klebstoffe auf Stärkebasis für Wellkarton oder stabilisierende Stärken in Salatsaucen.

Ergebnisse und Diskussion:

Während der Lagerung wurden die unter sterilen Bedingungen isolierten Zonen luftdicht verschlossen und steril gelagert. Ein Wasserverlust und eine durch mikrobiellen Einfluss verursachte Veränderung der Fraktionen kann während der Lagerung ausgeschlossen werden. In den folgenden Abbildungen kann man erkennen, dass die isolierten Brotfraktionen generell unterschiedliche rheologische Eigenschaften in den Messungen aufweisen. Dabei unterscheiden sich die Viskositäten der Krumensuspension der Fraktionen sowohl untereinander, wie auch zwischen Messungen gleicher Krumenfraktionen, aber unterschiedlicher Lagerzeiten. Die Abbildungen 63 – 66 zeigen die Brotzonen, 6 Stunden nach dem Backen und nach 7 Tagen bei Raumtemperatur, gelagert.

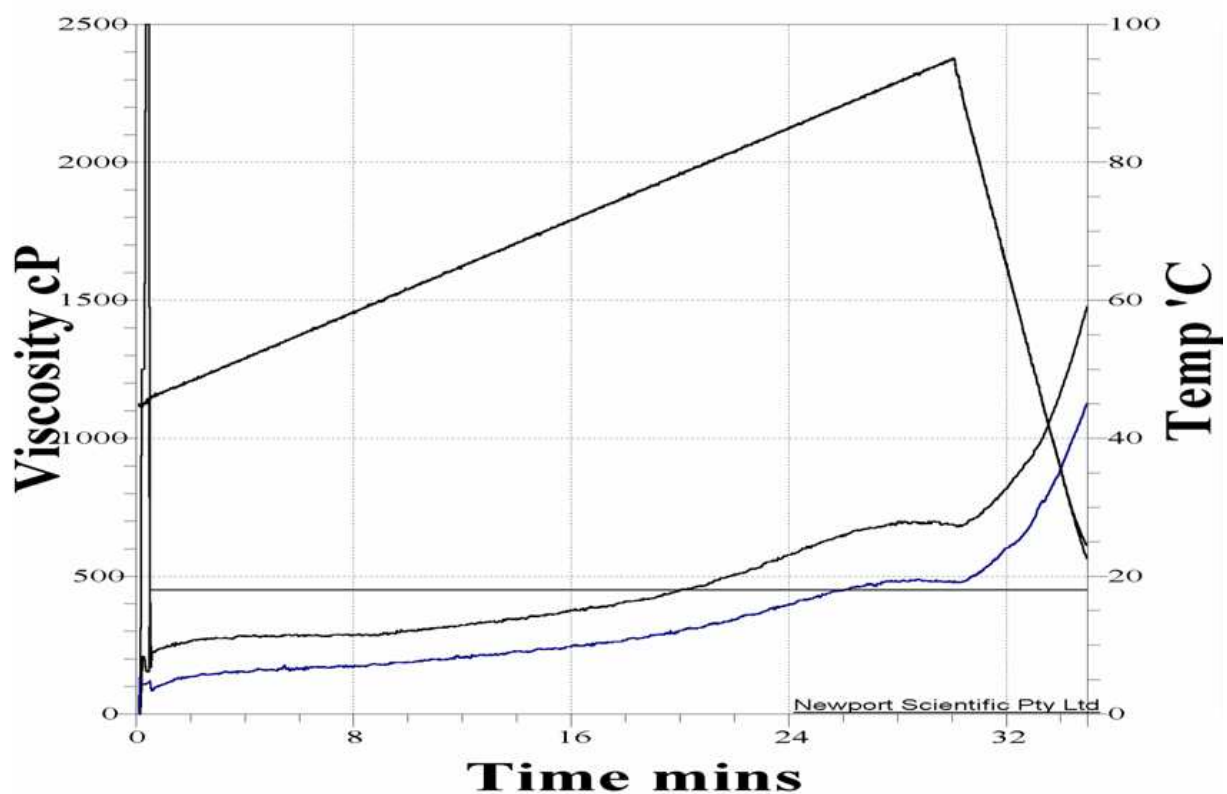


Abbildung 63: Krustenisolat, 0-5mm von außen: Obere Viskositätskurve = 6h frisches Krustenisolat; untere Viskositätskurve = 7 Tage gealtertes Krumenisolat

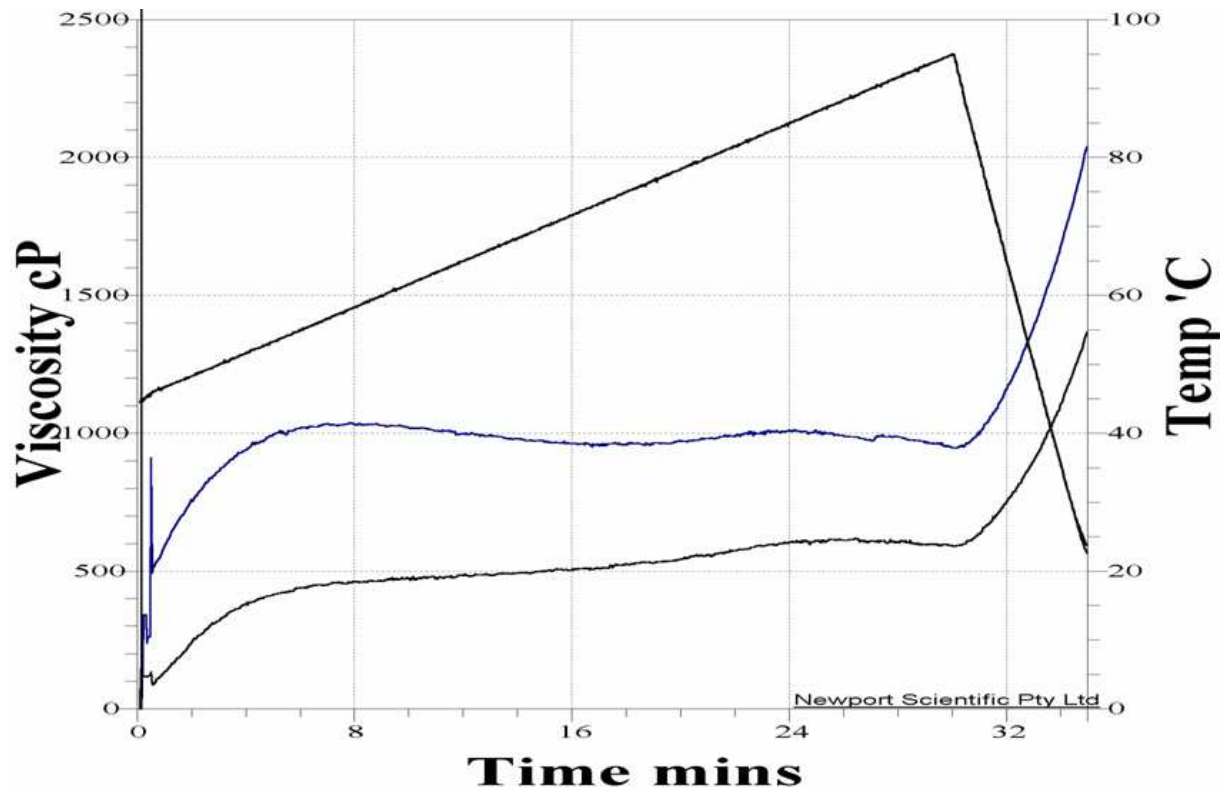


Abbildung 64: Krumenisolat 5-15 mm von außen: Obere Viskositätskurve= 6h frisches Krumenisolat; untere Viskositätskurve = 7 Tage gealtertes Krumenisolat

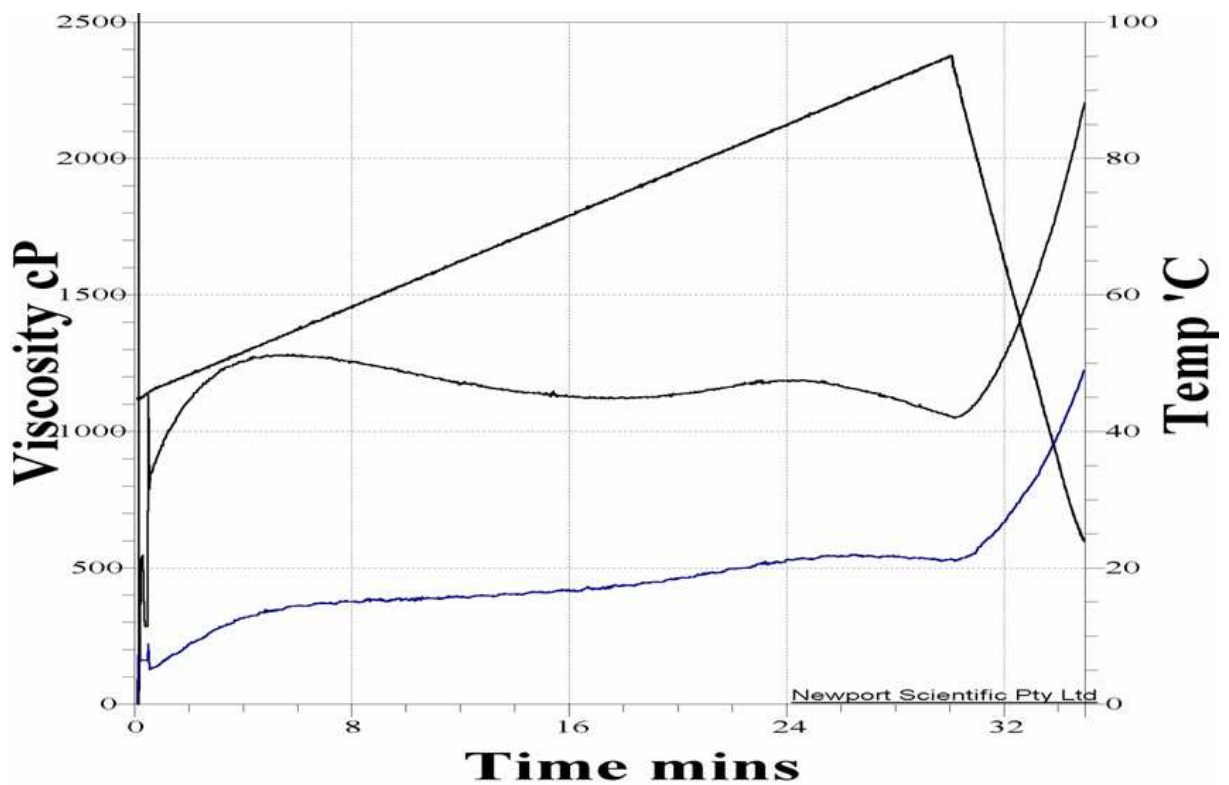


Abbildung 65: Krumenisolat der Brotmitte: Obere Viskositätskurve= 6h frisches Krumenisolat; untere Viskositätskurve = 7 Tage gealtertes Krumenisolat

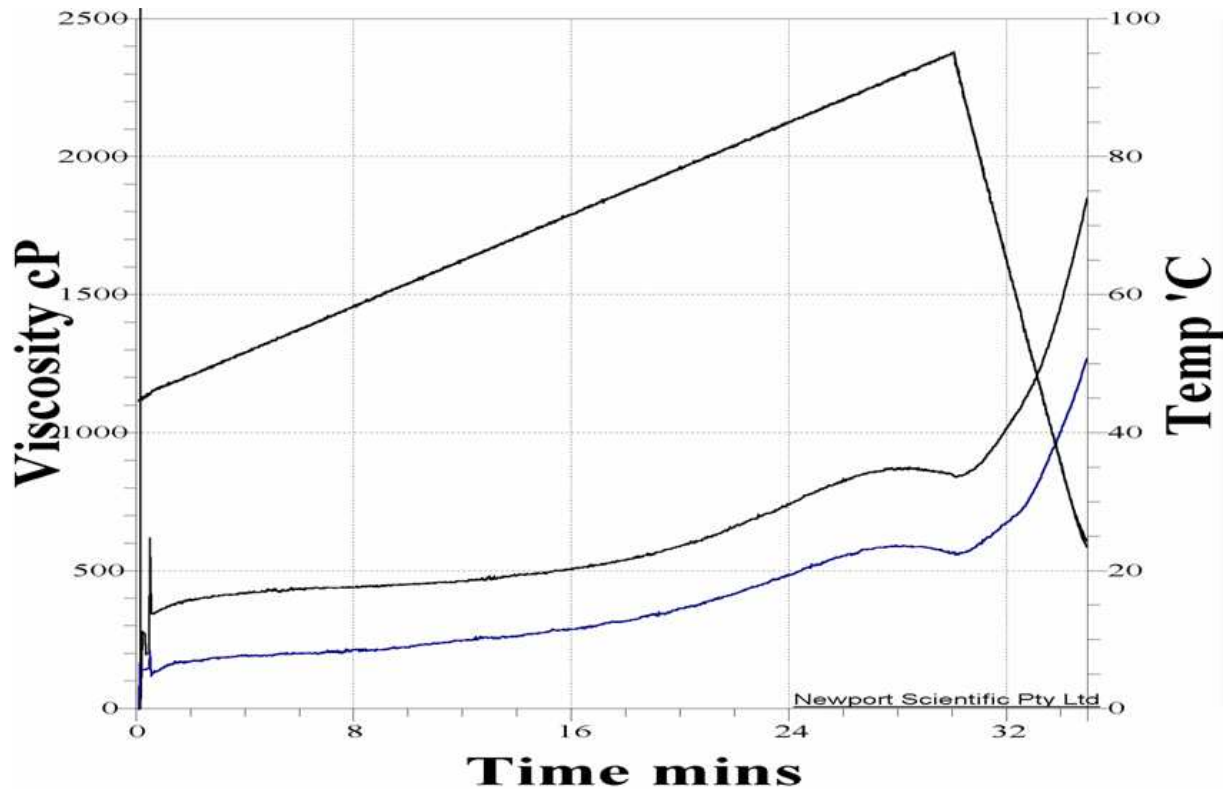


Abbildung 66: Bodenisolat 0-5mm von unten: Obere Viskositätskurve = 6h frisches Krumenisolat; untere Viskositätskurve = 7 Tage gealtertes Bodenisolat

Der gezeigte deutliche Unterschied zwischen der Nachverkleisterung von Krumenfraktionen, bzw. deren Suspensionen, bedeutet eine unterschiedliche Anfangsverkleisterung der Probenzonen vor der Messung. Dies bedeutet, dass in den unterschiedlichen Krumenzonen, neben oben gezeigten unterschiedlichen Wassergehalten auch unterschiedliche Verkleisterungsgrade vorliegen müssen. Es existieren daher in einem Brot unterschiedliche Verkleisterungszonen. Die mittels Environmental Scanning Electron Microscope bereits sichtbar gezeigten Verkleisterungsgradienten, wie auch die Ergebnisse der DSC Messungen, werden nun bestätigt. Je nach Zone und Krumen- oder Krustenbereich ist die Verkleisterung und damit die Alterung in diesen jeweiligen Bereichen des Brotes von unterschiedlichen Intensitäten gekennzeichnet.

Hierbei kann man erkennen, dass nach einer Lagerung von 7 Tagen, die Viskositäten der Suspensionen gelagerter Fraktionen in allen Temperaturbereichen über die

gesamte Messzeit allgemein geringer sind als die nach dem Backen isolierten Fraktionen.

Auch die Krusten und Bodenisolate zeigen nach der Lagerung suspendiert geringere Viskositäten. Während der Lagerung verändern sich sowohl isolierte Krusten, wie auch isolierte Krumenbereiche, in einer Art, die der Aufnahme von Wasser entgegensteht. Betrachtet man die mikroskopisch untersuchte Brotkrume in ihrer von Amylosegelen geprägten Intermediärphase (s. lichtmikroskopische Untersuchungen), so ist die Ausbildung eines verwobenen Amylosenetzes um die Stärkekörner erkennbar. Innerhalb der Krumenmatrix zeigen sich solche Gele auch als Auskleidung der Porenwände. Die Gele werden in ihren sichtbaren Eigenschaften durch die Amylose dominiert, Proteine sind mikroskopisch lokal isoliert beobachtet worden. Diese Gele befinden sich auch zwischen den Porenwänden und den dort eingelagerten Stärkekörnern und bewirken den inneren Zusammenhalt der Krumen. Mit der Zeit organisieren sich die sich zwischen den Stärkekörnern nach den gängigen Modellen der Retrogradation befindlichen Gele neu in dichter gepackten Strukturen und erschweren durch ihre geordneten, nun neuen Strukturen, die Diffusion von Wasser zu den Stärkekörnern.

Weiterhin erschweren sie durch ihre eigene geordnete Strukturbarriere auf molekularer Ebene ihre erneute Quellung und Verkleisterung mit zunehmender Lagerzeit. Durch ein solch erfolgtes internes „web-hardening“ nehmen die Krumen in der Summe, bei einer erneuten „Verkleisterung“, weniger Wasser auf und bilden auch demzufolge hierdurch weniger neu verkleisterte Gele, was sich in niedrigeren Viskositäten – frischer und gelagerter Isolate- zeigt.

Es wird während der Messungen weniger Wasser aufgenommen, was ein geringeres Quellvermögen der Proben mit der Lagerzeit bedeutet. Durch ein geringeres Quellvermögen und geringere Wasseraufnahme der Partikel verkleistert ebenfalls weniger. Dadurch steht in der Suspension mehr freies Wasser zwischen den im Vergleich zu Suspensionen mit ungelagerten Krumenfraktionen weniger gequollenen Krumenpartikeln, zur Verfügung. Der Messfühler registriert einen geringeren Widerstand. Die Summenviskosität zeigt sich hierdurch geringer.

Die Ergebnisse der Nachverkleisterung der Krumensuspensionen bestätigen die mikroskopischen Untersuchungen und die DSC Ergebnisse.

Sie stehen in Einklang mit den in der Literatur befindlichen Modellen der Alterung von Brot. In Bezug auf die Veränderung der Nachquell- und Nachverkleisterungseigenschaften ist folgende Erweiterung des Strukturmodelles nach Schoch und French, sowie Zobel denkbar: Die Lagerbedingungen (Zeit, Temperatur) beeinflussen dabei den Zustand 4 und den nur erschwerten Übergang nach Zustand 5 (nachgequollen und nachverkleistert) (Abbildung 67).

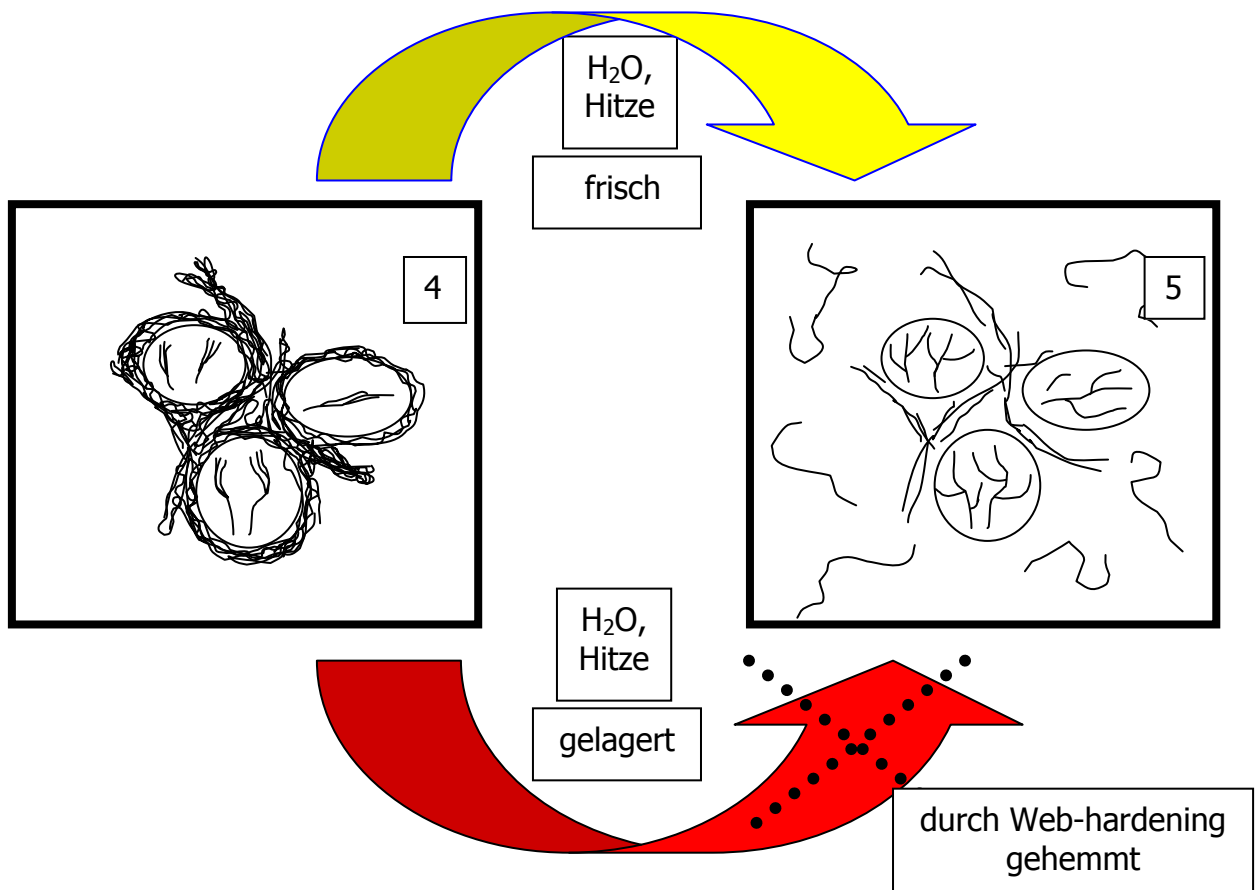


Abbildung 67: Erweiterung des Modelles nach Schoch, French und Zobel

4.6 Auswertung rheologischer und stofflicher Parameter

Einleitung:

Die mittels Kriech-Erholungsmessung ermittelten Alterungsintensitäten und Anfangsweichheiten konnten mittels der Geradengleichung $y=mx+b$ beschrieben werden (s. Kapitel 4.2). Der Faktor m stellt hierbei die Alterungsintensität dar, b die Anfangsweichheit der Roggenmehlbrotkrume.

Nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen der vorangegangenen Kapitel stellt sich nun die Frage, ob heissviscosimetrische Messungen hierzu in Verbindung stehen. Idealerweise besteht ein Zusammenhang zwischen den Krumenalterungen und den heissviscosimetrischen Messungen zur Bestimmung der Alpha-Amylase Aktivität. Die heissviscosimetrischen Messungen beschreiben laut ihrer Definition die Stärkegele, bzw. ihrer thermischen Stabilitäten und Abbaueigenschaften in Hinblick auf enzymatische Schädigung, summarisch die Tendenz zum Abbacken der Krume.

In den Mehlproben sind üblicherweise Proteine und Pentosane enthalten, die Wasser zu binden vermögen, und dadurch die Stärkeverkleisterung mit beeinflussen können. Die Intensität der Verkleisterung, sowie die Alterung aus diesen Mehlen gebackener Brote, könnte daher miteinander verknüpft sein.

Ergebnisse und Diskussion:

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Messungen mittels Kriech-Erholung, den heissviscosimetrischen Messungen und der stofflichen Parameter aufgeführt.

Der Pentosangehalt variiert innerhalb der Mehlmuster von 6.1-7.1%, der Proteingehalt schwankt zwischen 8.2 bis 11.3%.

Alle Werte liegen innerhalb der für Roggenmehl der Type 997 üblichen Größenordnungen (Souci-Fachmann-Kraut, S. 563f).

Die relative Alterungsintensität wird aus der Differenz der Rückstellwinkel der Kriech-Erholungsmessung als Betrag gebildet. Je höher dieser ist, umso schneller verfestigte sich die Roggenmehlbrotkrume des untersuchten Musters. In Abbildung 68 sind die rel. Alterungsintensitäten gegen die Fallzahlen der Muster aufgetragen, in Abbildung 69 gegen die Maxima in den Amylogrammen.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse

Sorte	Maxwinkel	Rückstellwinkel	Fz- Mehl Sek.	Mehl-Amylogramm		Backversuch		
	Formel KEM	Formel KEM		M – Visko.	M – Temp.	TA	Pentosan	Protein
AVANTI	$y = -6,6923\ln(x) + 46,452$	$y = -2,9075\ln(x) + 20,165$	125	325	63,0	174,4	7,1	9,1
FERNANDO	$y = -6,0916\ln(x) + 42,51$	$y = -2,5532\ln(x) + 18,177$	155	445	65,5	173,3	6,5	8,7
NIKITA	$y = -8,6895\ln(x) + 60,766$	$y = -2,4208\ln(x) + 18,432$	100	250	62,0	170,3	6,2	9,5
HALO	$y = -10,616\ln(x) + 70,985$	$y = -2,4866\ln(x) + 18,366$	85	225	62,0	170,0	6,2	9,3
AVANTI	$y = -5,896\ln(x) + 42,378$	$y = -2,494\ln(x) + 18,434$	255	940	72,0	175,8	6,9	9,0
FERNANDO	$y = -6,4608\ln(x) + 45,265$	$y = -2,3936\ln(x) + 17,54$	320	1175	75,0	174,2	6,5	9,2
NIKITA	$y = -9,4931\ln(x) + 65,63$	$y = -2,6436\ln(x) + 19,608$	295	830	77,5	173,9	6,7	10,2
HALO	$y = -6,3807\ln(x) + 43,798$	$y = -2,5493\ln(x) + 18,043$	290	920	75,0	170,9	6,8	9,8
AVANTI	$y = -6,1351\ln(x) + 45,118$	$y = -2,4757\ln(x) + 18,272$	210	555	67,0	174,0	6,1	8,5
FERNANDO	$y = -5,0397\ln(x) + 36,65$	$y = -2,3749\ln(x) + 17,183$	280	870	75,0	173,0	6,1	8,2
NIKITA	$y = -8,3312\ln(x) + 56,052$	$y = -2,5263\ln(x) + 18,345$	210	635	68,0	172,0	6,2	9,1
HALO	$y = -8,5935\ln(x) + 59,436$	$y = -2,9433\ln(x) + 21,041$	235	725	70,5	174,5	6,6	8,7
AVANTI	$y = -5,2893\ln(x) + 37,073$	$y = -2,4497\ln(x) + 17,391$	110	635	62,0	173,8	6,7	8,2
FERNANDO	$y = -4,9716\ln(x) + 35,431$	$y = -2,3453\ln(x) + 16,822$	145	780	66,0	174,2	6,5	8,2
NIKITA	$y = -3,579\ln(x) + 27,377$	$y = -2,3538\ln(x) + 16,777$	105	625	62,5	173,0	6,6	8,2
HALO	$y = -5,2394\ln(x) + 37,2$	$y = -2,5009\ln(x) + 17,721$	110	600	63,5	172,7	6,9	9,3
AVANTI	$y = -5,2794\ln(x) + 37,609$	$y = -2,4947\ln(x) + 17,688$	265	890	72,0	177,2	7,0	10,2
FERNANDO	$y = -5,3463\ln(x) + 38,918$	$y = -2,3051\ln(x) + 16,775$	320	1015	76,0	176,7	6,7	10,5
NIKITA	$y = -6,2286\ln(x) + 42,84$	$y = -2,7439\ln(x) + 18,921$	290	760	73,0	173,5	6,4	11,3
HALO	$y = -6,3279\ln(x) + 43,965$	$y = -2,5665\ln(x) + 18,211$	290	840	75,5	175,2	6,7	11,3

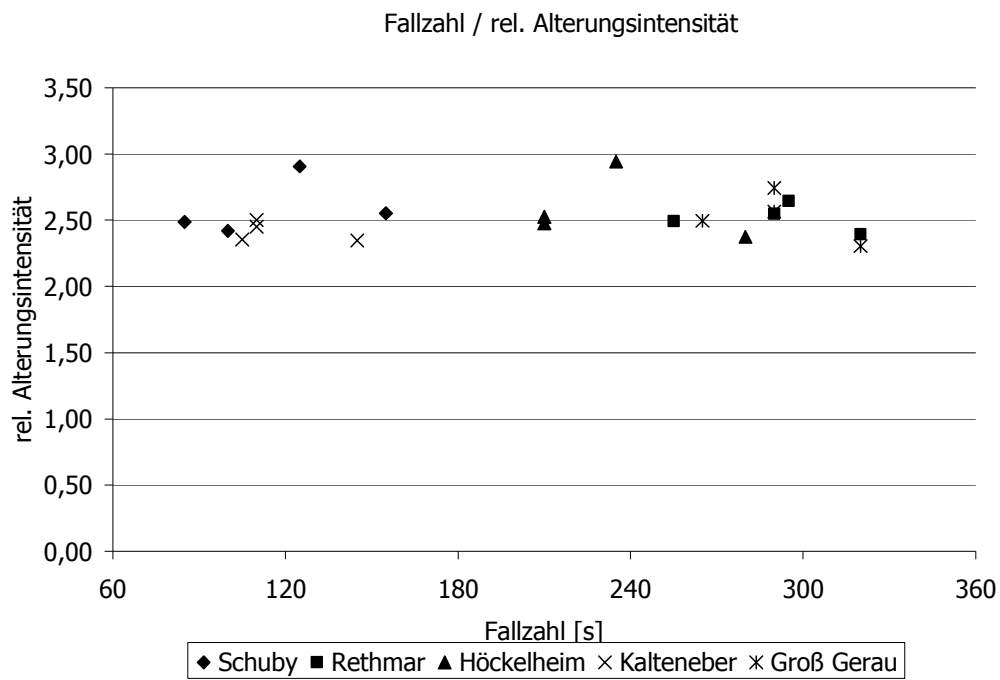


Abbildung 68: Fallzahl und rel. Alterungsintensität

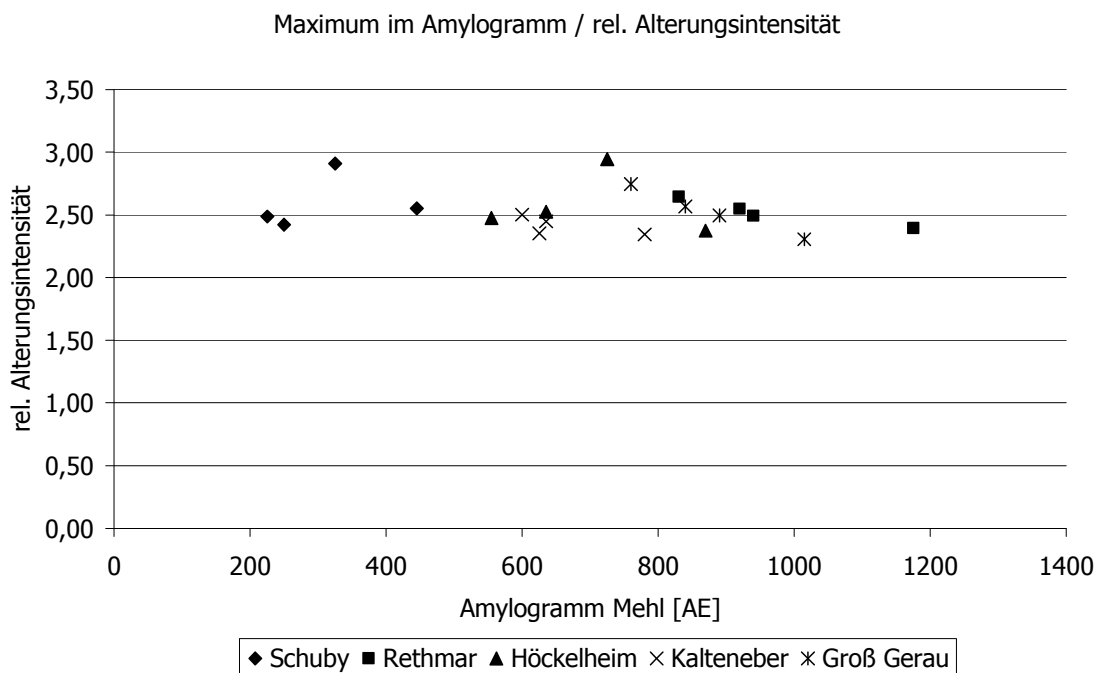


Abbildung 69: Maximalviscosität im Amylogramm und rel. Alterungsintensität

In Abbildung 70 ist exemplarisch die relative Anfangsweichheit gegen die Fallzahl aufgetragen.

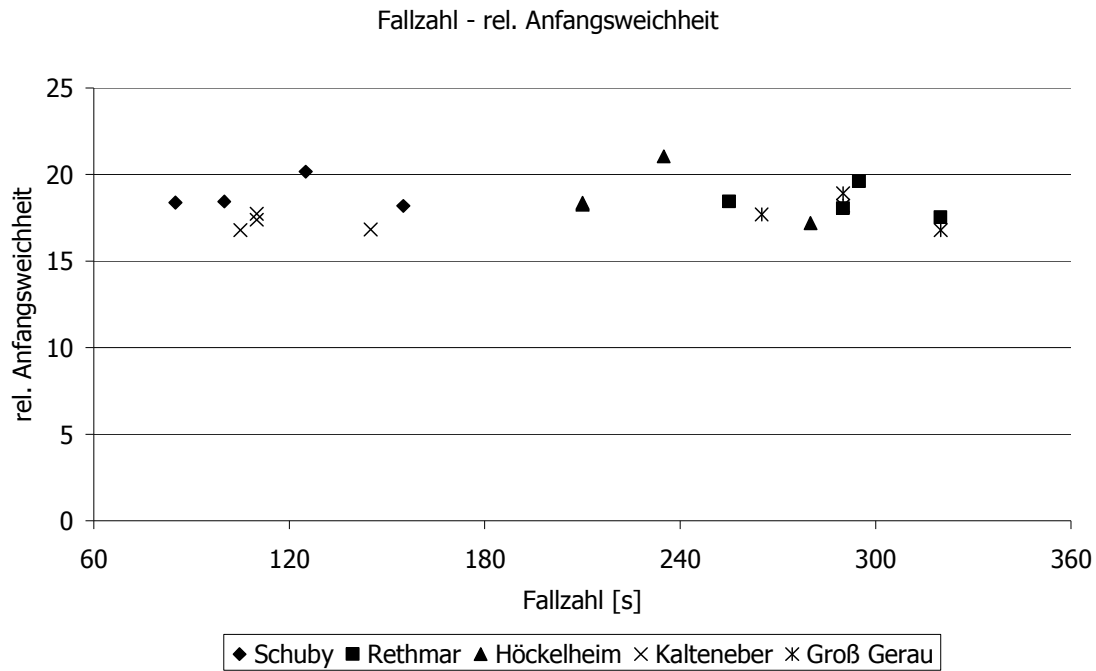


Abbildung 70: Fallzahl und relative Anfangsweichheit

Wie in den Abbildungen 68-70 erkennbar, ergeben sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Krümmungsverfestigungen und den heissviscosimetrischen Messungen. Dies betrifft alle durchgeführten heissviscosimetrischen Messungen und alle Ergebnisse der durchgeführten Kriech- Erholungsmessungen.

Die Unterschiede beider Systeme, gebackenes Brot und heissviscosimetrische Messung, bestehen hauptsächlich in der Zusammensetzung und dem zur Verkleisterung frei verfügbaren Wasser.

Als Ursache sind die Zusammensetzung der Systeme, sowie die Bedingungen in diesen Systemen zu sehen. Die Unterschiede beider Systeme, gebackenes Brot und heissviscosimetrische Messung, bestehen hauptsächlich in der jeweiligen stofflichen Zusammensetzung (Brot wird mit Salz und Sauerteig gebacken), und dem zur Verkleisterung frei verfügbaren Wasser, sowie im Temperaturprofil und der Einwirkung von Scherkräften. Teig kann im Vergleich mehr oder minder als statisches System betrachtet werden, bei der Fallzahl wird während der Anmischphase intensiv mechanische Energie eingetragen, beim Amylographen entstehen durch das permanente Rühren Scherkräfte.

Der Teig wird mit einer Teigausbeute um 175 hergestellt (75g Schüttwasser bezogen auf 100g Mehl), bei der Fallzahl ist ein ca. 4 facher Wasserüberschuss vorhanden, beim Amylographen ein ca. 5-5.5 facher Überschuss an Wasser. Im Brotteig kann die Stärke wie in Kapitel 4.5.1 gezeigt nicht vollständig verkleistern, im 4- oder gar 5-5.5 fachen Wasserüberschuss jedoch ist dies möglich (vgl. Abb. 62).

Zudem wird zur Teigbereitung neben Salz ein gereifter Sauerteig eingesetzt, der den pH Wert auf. Ca. 3.5-4.0 senken kann. Stärke verkleistert unter Säure- und Salzzugabe anders, das sich bildende Gel hat daher andere Eigenschaften, als ein mit destilliertem Wasser hergestelltes Modellgel der heissviscosimetrischen Messungen. Durch unterschiedliche Verkleisterungen, heissviscosimetrisch, wie in realem Brot, resultieren unterschiedliche Alterungsgradienten gleicher Mehle. Dies bestätigt das Modell von Schoch und French (Kapitel 2.5.3).

Zusammenfassung:

1. Zwischen den heissviscosimetrischen Messungen und der Anfangsweichheit der untersuchten Roggenmehlbrotkrumen bestehen keine Zusammenhänge.
2. Zwischen den heissviscosimetrischen Messungen und der Alterungsintensität der untersuchten Roggenmehlbrotkrumen bestehen keine Zusammenhänge.

Abschließend bleibt zu prüfen, ob bei den untersuchten Mustern ein Zusammenhang zwischen dem Pentosengehalt, dem Proteingehalt und der Alterung besteht. In den folgenden Abbildungen 71 und 72 wird dies exemplarisch dargestellt.

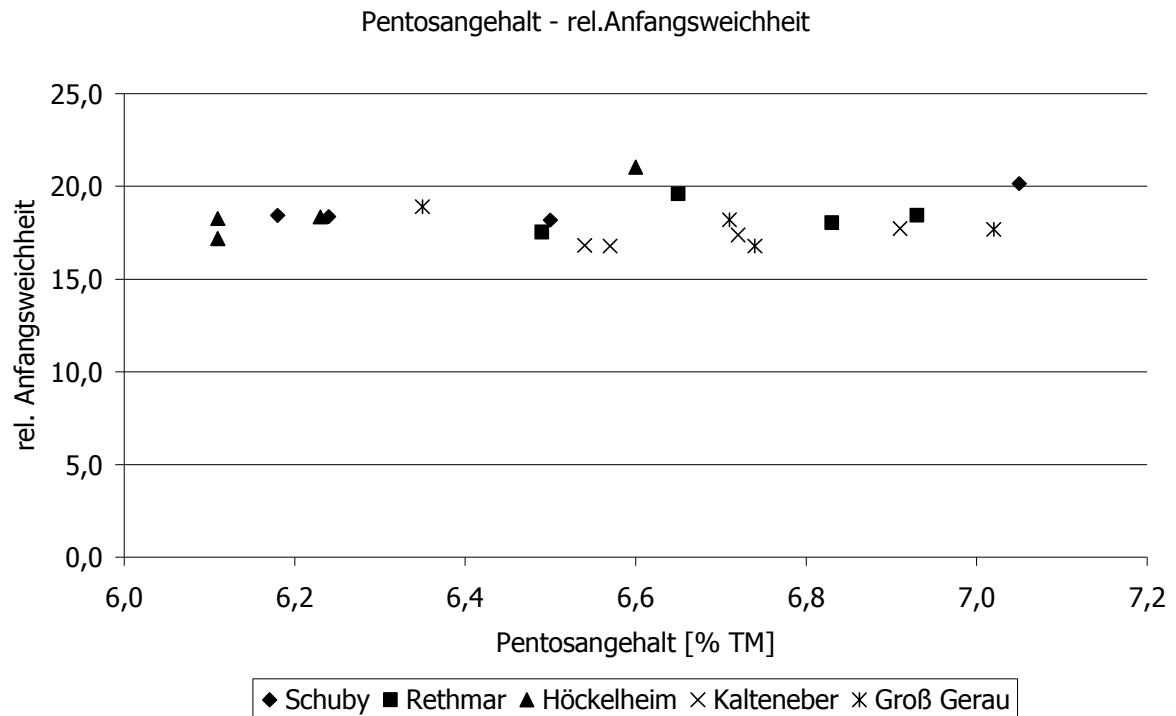


Abbildung 71: Pentosangehalt und relative Anfangsweichheit

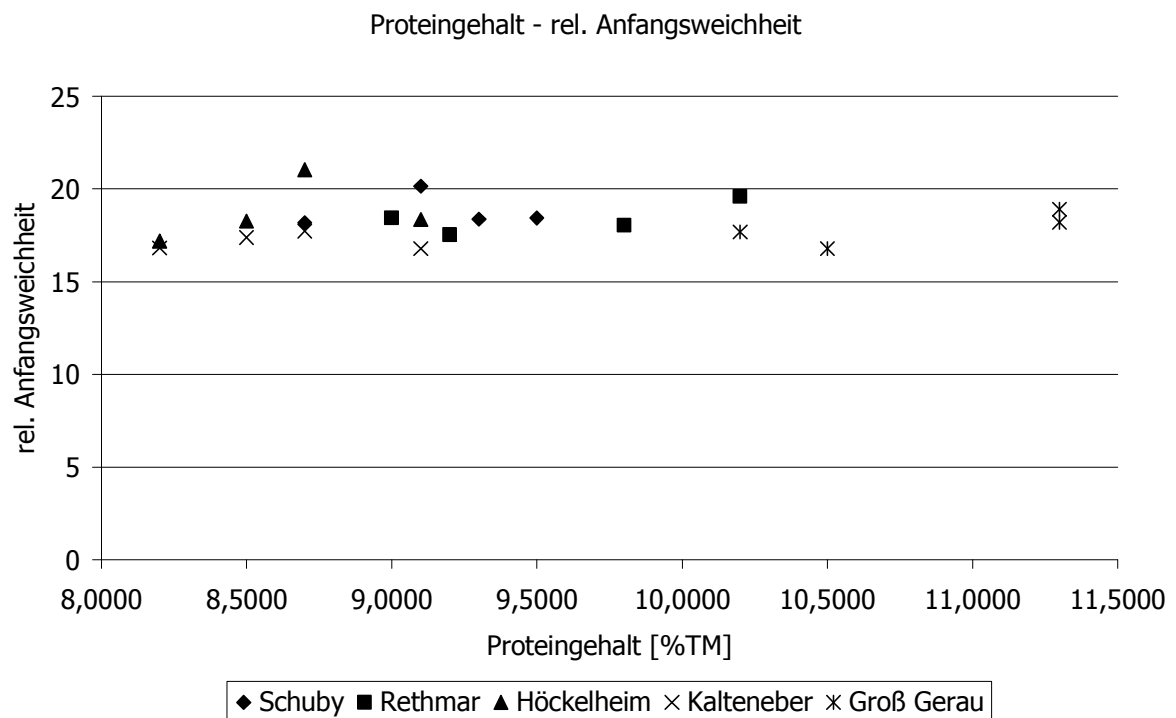


Abbildung 72: Proteingehalt und relative Anfangsweichheit

Wie in Abbildung 71 erkennbar, kann kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Pentosangehalt und der Brotkrumenverfestigung ermittelt werden. Gleiches gilt für den Zusammenhang zwischen Proteingehalt und Brotalterung (Abbildung 72). Da die Anfangsweichheit direkt mit der Brotalterung korreliert, kann ebenfalls kein signifikanter Zusammenhang zu der zeitlichen Änderung der Broteigenschaften mit diesen Stoffparametern bei den untersuchten Mustern ermittelt werden. Grund hierfür dürfte der teilweise nur gering ausgeprägte Konzentrationsunterschied im Gehalt dieser Komponenten in den untersuchten Mustern sein. Die Werte finden sich in Tabelle 8.

Zusammenfassung:

1. Zwischen dem Pentosangehalt und der Alterung der Roggenmehlbrotkrumen, gebacken nach der Detmolder Einstufenführung, kann kein Zusammenhang ermittelt werden.
2. Zwischen dem Proteingehalt und der Alterung der Roggenmehlbrotkrumen, gebacken nach der Detmolder Einstufenführung, kann kein Zusammenhang ermittelt werden.

5.0 Zusammenfassung

1. Während der Lagerung der untersuchten Muster bei, Raumtemperatur bis zu einer Lagerdauer von 28 Tagen, verfestigten sich allgemein die Brotkrumen der Proben.
2. Dies ist sensorisch insbesondere in der Abnahme der relativen Skalenteile der Parameter „Weichheit“ und „Saftigkeit“ erkennbar.
3. Ebenfalls sinkt mit der Lagerzeit die Konsumbereitschaft. Die Krumenweichheit und Saftigkeit weist eine enge Korrelation zum „overall liking“ auf.
4. Während der Lagerung nimmt der Geschmackseindruck „Sauer“ am stärksten zu, bei gleichzeitiger Verfestigung der Krume und einer zugehörigen Abnahme der Konsumbereitschaft. Die starke Zunahme des sauren Geschmackseindruckes mit der Lagerzeit, der sich während der ersten 14 Tage nahezu verdoppelt, sollte allgemein bei der sensorischen Bewertung gelagerter Roggenbrotkrumen (z.B. bei DLG Brotprüfungen) beachtet werden, ebenso die Zunahme des Geschmackseindruckes „Bitter“.
5. Es wurde ein neuartiger Mikro-Backversuch entwickelt. Dieser gestattet die reproduzierbare Erzeugung porenfreier Krumensysteme im Labormaßstab.
6. Es wurde eine Methode zur Bestimmung der Alterungsintensität entwickelt. Mittels dieser Methode der Kriech-Erholungsmessungen konnten die im Mikro-Backversuch erzeugten und bis zu einer Lagerzeit von ca. 4 Wochen bei Raumtemperatur gelagerten Krumensysteme reproduzierbar gemessen werden.
7. Im Vergleich frischer und gelagerten Proben kommt es instrumentell, in der Kriech-Erholungsmessung, mit der Lagerzeit zu einer Abnahme der Deformations- und Rückdeformationswinkels, was einer Verfestigung entspricht.

8. Zwischen den sinnes-sensorischen Werten der Texturuntersuchungen und instrumentellen Werten der Deformation und Rückdeformation innerhalb von Kriech-Erholungs-Messungen bestehen bei den untersuchten Mustern von Roggenmehlbrotkrumen direkte Zusammenhänge. Die Deformation und/oder Rückdeformation der Kriech-Erholungsmessungen kann damit als indirektes Maß der Krumenweichheit gesehen werden.

9. Die Alterung erfolgt bei allen untersuchten Sorten von den unterschiedlichen Anbauorten mit nahezu gesetzmäßigen Geschwindigkeiten.

Diese Alterungstendenzen können mittels logarithmischer Funktionen beschrieben werden. Die Bestimmtheitsmasse dieser Funktionen bewegen sich, ausgedrückt als Pearsonsches Bestimmtheitsmasse R^2 , überwiegend oberhalb $R^2 = 0,90$.

10. Die Brotkrumen mit weicherer Krume (direkt nach dem Backen) altern relativ gesehen, schneller als Brotkrumen mit „normaler“ Weichheit gleicher Backzeiten und Lagerbedingungen.

11. Von den untersuchten Mustern alterten im Vergleich die Sorten am Ort

Ort 1: Halo (Nikita),

Ort 2: Nikita

Ort 3: Halo, Nikita

Ort 4: Halo

Ort 5: Halo, Nikita

schneller als die zeitgleich am gleichen Standort angebauten anderen Sorten. Es deutet sich eine Abhängigkeit der Alterung zu den untersuchten Roggensorten an.

12. Die Alterungsintensität ist bei den untersuchten Mustern nicht standortabhängig.

13. Innerhalb der Untersuchungen zeigen sich sichtbare Unterschiede der Krusten- und Krumenbereiche. Die Kruste ist in ihrer Erscheinung an der Oberfläche glasartig amorph. Direkt darunter befinden sich Stärkekörner nativer Gestalt und Größe, die auch nach dem Backen noch Doppelbrechungseigenschaften aufweisen. Diese Stärkekörner sind nicht verkleistert.

14. Die Krumenbereiche unterscheiden sich sichtbar innerhalb der Zonen hinsichtlich ihrer Auskleidung der Porenwände in den Oberflächen der Porenwände. Die sichtbaren Zusammensetzungen der Krumentzonen deuten auf unterschiedlich ausgeprägte Verkleisterungsintensitäten der Stärke in den Zonen hin.

15. Die Phase zwischen den Stärkekörnern wird durch die aus den Stärkekörnern während der Verkleisterung austretenden, löslichen Stärkepolymeren und Amylose geprägt. Das Herauslösen der Amylose in diese Intermediärphase wurde durch Färbung mittels Jodlösung der Amylose (blau) und der zurückbleibenden Amylopektine (rötlich) in den Stärkekörnern nachgewiesen.

16. Gealtertes Brot zeigt einen sichtbaren Wechsel im Vergleich von glatten Porenwänden von frischem Brot hin zu rauen Oberflächen gealterten Brotes. Die Krumen wirken bei gelagertem Brot bereits sichtbar gealtert und geschrumpft.

17. Proteine ließen sich in der Brotkrume farblich deutlich nachweisen. Diese liegen im Falle des Roggenmehlbrottes isoliert in Proteinfragmenten, eingebettet in die Teig- und Stärkematrix, vor.

18. Während der ersten Backphase wandert Wasser zunächst von der sich bildenden Krustenzone zur Krumentzente.

19. Die Wassergehalte der Krumentzente sind während der ersten Backphase höher als im ursprünglichen Teig.

20. Nach ca. 30 Minuten Backzeit kehrt sich die Diffusionsrichtung um. Wasser wandert dann von der Mitte des Teigbrottes zur Kruste.

21. In den isolierten Krumentzente und Krustenzente eines Brottes ist das Wasser während des Backens und während der Lagerung in unterschiedlichen Gehalten vorhanden.

22. Nach dem Backen besitzt der Bereich der Krumenmitte die höchste Wasserkonzentration

23. Während der Lagerung wandert das Wasser aus der Krumenmitte in alle Richtungen zur Kruste. Die innere Krume trocknet hierdurch intern aus und verliert an Saftigkeit, was einen weiteren Alterungsaspekt neben der reinen Verfestigung einer isolierten Krume darstellt und die Alterungsmodelle erweitert.

24. Die sichtbar amorphe Kruste nimmt während der Lagerung Wasser auf, wird lederartig und elastisch. Diese Form der Alterung unterscheidet sich grundlegend von der Krumenalterung, in der die Krume fester und trockener erscheint. Auch dieser Aspekt ergänzt das auf Roggenmehlbrot übertragene Modell der Brotalterung von Zobel, Schoch und French.

25. Durch Diffusion von Wasser, während der Lagerung von der Mitte der Krume in Bereiche geringerer Wasserkonzentration, kommt es zu einer sichtbaren Schrumpfung der Porenwände. Hierdurch kommen vorher, durch Wassermoleküle isoliert vorliegende, verkleisterte Stärkekettchen räumlich aufeinander zu und können ggf. erst hierdurch miteinander retrogradieren und die Krume hierdurch weiter verfestigen. Auch dies erweitert die Alterungsmodelle nach Zobel, Schoch und French.

26. Die Ergebnisse der Messungen bestätigen die Vermutungen unterschiedlicher Verkleisterungsgradienten innerhalb der Roggenmehlbrotkrumen. Je nach Krumenposition im Brot sind individuelle Wassergehalte und daraus resultierende Verkleisterungsintensitäten und damit wiederum verbundene Alterungen nach den Modellen der Stärkeretrogradation zu erwarten. Auch dies erweitert die Alterungsmodelle nach Zobel, Schoch und French.

27. Die Verkleisterung von Roggenstärke ist in den verwendeten Teigausbeuten nur unvollständig möglich.

28. Die Ergebnisse der Messungen bestätigen die Vermutungen unterschiedlicher Verkleisterungsgradienten innerhalb der Roggenmehlbrotkrumen. Je nach Krumenposition im Brot resultieren individuelle Wassergehalte, und hieraus Verkleisterungsintensitäten mit Verkleisterungsgradienten.

29. Ferner ändert sich durch Wasserdiffusion innerhalb der Brote während des Backprozesses die stoffliche Zusammensetzung der Zonen (Salzgehalt, Säuregehalt etc.) Hierdurch resultieren andere Verkleisterungsbedingungen. Dies bedeutet, dass jede Zone eines Brotes aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzung und Verkleisterung nach dem Backen anders altert.

30. Das auf Roggenmehlbrot übertragene Modell der Alterung nach Zobel, Schoch und French kann bestätigt werden. Ergänzend hierzu treten die genannten weiteren Alterungsaspekte.

31. Durch die isoliert vorliegenden Proteinfofragmente ist eine plastischere Krume denkbar, als wenn die Proteine dreidimensional verbunden wären. Hierdurch könnte es zu lokalen Störstellen des Stärkenetzwerkes kommen, was die Brotfrischhaltung positiv beeinflussen könnte.

32. Heissviscosimetrische Messungen der Mehle in destilliertem Wasser konnten die Alterungsintensitäten, sowie die Anfangsweichheiten von Roggenmehlbrotkrumen nicht beschreiben. Dies kann nur durch praxisnahe Backversuche mit Salz und Sauerteig erfolgen.

33. Zwischen den Pentosangehalten, den Alterungsintensitäten und Anfangsweichheiten der untersuchten Roggenmehlbrotkrumen bestehen keine Zusammenhänge. Die Unterschiede der Gehalte der verwendeten Mehle der Mehltypen 997 sind gering.

34. Zwischen den Proteingehalten, den Alterungsintensitäten und Anfangsweichheiten der untersuchten Roggenmehlbrotkrumen bestehen keine Zusammenhänge.

6.0 Literaturverzeichnis

Adlercreutz, H., Mousavi, Y., Clark, J., Höckerstedt, K., Hämäläinen, E., Wähälä, K., Mäkelä T., Hase, T.: Dietary Phytoestrogens and Cancer: IN VITRO and IN VIVO Studies. J. Steroid Biochem. Molec. Biol. (1992). 41:331-337
Ahmend T.: Teigbildung bei Roggenteigen. In: Handbuch Backwaren. Behr´s Verlag Hamburg, 1996, Kap. 3.3.6, S. 1
Ahmend T., Eckert B., Belitz H.D.: Vom Mehl zum Gebäck: Mikroskopische Untersuchungen der Kleberstruktur. Getreide, Mehl und Brot 9(1992), S.259-260
Adrian W.: So wurde Brot aus Halm und Glut; Ceres Verlag Bielefeld, 1951
Atwell W.A., Hood L.F., Lineback D.R., Varriano-Marston E., Zobel H.F.: The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. Cereal Foods World 33 (1988), S. 306, 308, 310, 311
Axford D.W.E., Colwell K.H., Cornford S.J., Elton G.A.: Effect of loaf specific volume on the rate and extent of staling in bread. J.Sci.Fd.Agric. 19(1968), S. 95-101
Baik M.Y., Chinachoti P.: Moisture Redistribution and Phase Transitions During Bread Staling. Cereal Chemistry 77(2000) 4, S. 484-488
Baker L.A., Rayas-Duartes P.: Retrogradation of Amaranth Starch at Different Storage Temperatures and the Effect of Salt and Sugars. Cereal Chemistry 75 (1998)3, S. 308-314
Bauermann O., Schneeweiß V.: Sauerteigfreie Roggengebäcke- Technologie, Produktgruppen und Vermarktung. Getreidetechnologie 60 (2006) 2, 106-113
Batey I.L., Curtin B.M.: Measurement of Amylose/Amylopectin Ratio by High-Performance Liquid Chromatography. Starch/Stärke 48(1996)9, S. 338-344
Becker H.: Pflanzenzüchtung. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart 1993
Belitz H.D., Grosch W.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie, 4. Auflage 1992, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
Biliaderis C.G.: Structures and phase transitions of starch polymers. In: Walter R.H.: Polysaccharide Association Structures in Food. Marcel Dekkar Inc. New York. S. 57-168
Bode J.: Attritionsbehandlung von Roggenmehl: Erhöhung der Wasseraufnahme und Enzymunterstützung. Mühle und Mischfüttertechnik 143 (2006) 9, S. 272-277

Boussingault J.B.: Experiments to determine the transformation of fresh bread into stale bread, Ann. Chim. Phys., 36 (1852), 490-494
Brandt M.J., Gänzle M.G. (Hrsg.), Spicher G.: Handbuch Sauerteig, Behr's Verlag Hamburg, 6. Auflage 2006
Breaden P.W., Willhoft E.M.A.: Bread Staling.III. Measurement of the redistribution of moisture in bread by gravimetry. J.Sci. Food Agric. 22 (1971), S.647-649
Brümmer J.M.: Erfahrungen mit Roggenwasseraufnahme bei Roggentypenmehlen. Getreide Mehl und Brot 42 (1988) 9, S. 272-276
Brümmer, J.-M.; Morgenstern, G.: Restbrot erhöht die Teigausbeute, Back Journal (1991) 9, S.42
Brümmer J.M.: Technologische Qualitätsaspekte der Brotgetreidearten in naher Zukunft. Getreide, Mehl und Brot 53 (1999), S. 276ff
Brümmer J.M.: Roggen und sein Backverhalten heute. Getreidetechnologie 59 (2005) 2, 95-106
Brümmer J.M.: The Rye Viscosity Test - Current Rye Research and Processing Properties. In: Future of Flour, Popper, Schäfer Freund, Mühlenchemie and Agrimedia, 2006
Bundessortenamt, Beschreibende Sortenliste für Getreide, Mais, Ölf Früchte, Leguminosen und Hackfrüchte 1982, Landbuch Verlag Hannover 1982
Bundessortenamt, Beschreibende Sortenliste für Getreide, Mais, Ölf Früchte, Leguminosen und Hackfrüchte 1992, Landbuch Verlag Hannover 1992
Bundessortenamt, Beschreibende Sortenliste für Getreide, Mais, Ölf Früchte, Leguminosen und Hackfrüchte 2000, Landbuch Verlag Hannover 2000
Bundessortenamt, Beschreibende Sortenliste für Getreide, Mais, Ölf Früchte, Leguminosen und Hackfrüchte 2007, Landbuch Verlag Hannover 2007
Cauvain S., Young L.: Bakery Food Manufacture & Quality – Water Control and Effects Blackwell Science Ltd, Oxford 2000, S. 96
Carson L., Sun X.S.: Creep Recovery of Bread and Correlation to Sensory Measurements of Textural Attributes. Cereal Chemistry 78(2001), S. 101-104
Chiotelli E., Rolée A., Le Meste M.: Rheological Properties of Soft Wheat Flour Doughs: Effect of Salt and Triglycerides. Cereal Chemistry 81(2004)4, S. 459-468

Colwell K.H., Axford D.W.E., Chamberlain N., Elton G.A.: Effect of storage temperature on the ageing of concentrated wheat starch gels. J.Sci.Fd.Agric. 20(1969), S. 550-555
Cornford S.J., Axford D.W.E., Elton G.A.H.: The elastic modulus of bread crumb in linear compression in relation to staling. Cereal Chemistry 41 (1961), S. 216-229
Deutsches Lebensmittelbuch, Leitsätze für Brot und Kleingebäck, i.d.F.v. 23.2.2002, S. 295ff
Dilg U., Bullien S. Pressemitteilung: Brot für die Welt, 28.11.2007 http://www.brot-fuer-die-welt.de/presse
Deutsches Institut für Normung: DIN 10 355, Dezember 1991
Dragsdorf R.D., Varriano-Marston E.: Bread Staling: X-ray diffraction studies on bread supplemented with amylases from different sources. Cereal Chemistry 57 (1980), S. 310-314
Erbe G.: Handbuch der Saatgutvermehrung, AgriMedia, Bergen, 2002
Erlander S.R., Erlander L.G.: Explanation of the ionic sequences in various phenomena. X. Protein-carbohydrate interactions and the mechanism for the staling of bread. Stärke 21 (1969), S. 305-315
Gebhardt E.: Veredelung von Roggen, Die Mühle + Mischfuttertechnik 133 Jahrgang, 43, (1996), S. 703-705
Gerecke K.H.: Vademecum Technische Werte der Getreideverarbeitung und Müllereitechnik, Teil 1: Reinigung, Vorbereitung, Trocknung, Kühlung, Aspiration, Vermahlung, Verlag Moritz Schäfer, Detmold 1970
Gesellschaft für Konsumforschung, Pressemitteilung: Konsum von Brot in Deutschland, 2.8.2007
Hashimoto S., Shogren M.D., Pomeranz Y.: Cereal Pentosans: Their estimation and Significance. I. Pentosans in Wheat and Milled Wheat Products. Cereal Chemistry 64 (1987), S. 30-34
He H., Hosney R.C.: Changes in bread firmness and moisture over long-term storage. Cereal Chemistry 67 (1990) S. 603-605
Heiss R.: Lebensmitteltechnologie, 6. Auflage, Springer Verlag 2004

Hug-Iten S., Escher F., Conde-Petit B.: Staling of Bread: Role of Amylose and Amylopectin and Influence of Starch-Degrading Enzymes Cereal Chemistry 80(2003) No. 6, 654-661
Hug-Iten S., Conde-Petit B, Escher F.: Changes in Starch Microstructure on Baking and Staling of Wheat Bread. Lebensm. Wiss. U. Technol. 1999, 32, S. 255-260
ICC Standardmethode Nr. 104/1: Bestimmung der Asche von Getreide und Mahlprodukten aus Getreide
ICC Standardmethode Nr. 105/2: Bestimmung des Rohproteins in Getreide und Getreideprodukten für Nahrungs- und Futtermittel
ICC Standardmethode Nr. 107/1: Bestimmung der „Fallzahl“ nach Hagen-Perten als Mass der Alpha-Amylase-Aktivität im Getreide und Mehl
ICC Standardmethode Nr. 110/1: Praktische Methode zur Wasserbestimmung bei Getreide und Getreideprodukten
ICC Standardmethode Nr. 126/1 Untersuchungsmethode: Brabender Amylograph
Katz J.R.: Gelatinization and retrogradation of starch in relation to the problem of bread staling. In: Comprehensive survey of Starch Chemistry, Vol. I Walton R.P. (Editor), Chemical Catalog Co. Inc., New York, 1928, Kapitel 7
Katz J.R.: Abhandlungen zur physikalischen Chemie der Stärke und der Brotbereitung. I. Über die Änderungen im Röntgenspektrum der Stärke beim Backen und Altbackenwerden des Brotes. Z. Phys. Chem. A 150 (1930), S. 37-59
Katz J.R.: Abhandlungen zur physikalischen Chemie der Stärke und der Brotbereitung. XX. Über den Zusammenhang der Änderung der Stärke beim Altbackenwerden des Brotes und beim Retrogradieren von Stärkekleister. Z. Phys. Chem. A 169 (1934), S. 321-338
Kieffer R.: Changing bread crumb properties by fixing water with plant fibers. Poster – IFT Annual Meeting 2002, Anaheim CA, 16-19.6.2002
Kieffer R.: Controlling water in bakery products by plant fibers. 53 Tagung für Getreidechemie, Detmold, 12-13.6.2002

Knightsly, W.H. Surfactants in baked foods: Current practice and future trends. Cereal Foods World 33(1988).5, S.405-410,412
Knjaginichev M.I.: Das Altbackenwerden des Brotes und die Erhaltung seines Frischezustandes. Die Stärke 22(1970) Nr. 12, S. 435-446; Originalarbeit: The nature of staleness of bread and the preservation of its freshness. Zh. Vses. Khim.Ova. (J.Chem. Allunions-Mandeljew-Gesellschaft [russ]), 10 (1965), 277
Körper-Grone U.: Nutzpflanzen in Deutschland, Theiss Verlag, 1987
Krog N., Jensen B.N.: Interaction of monoglycerides in different physical states with amylose and their anti-firming effects in bread. J. Food Technol. 5 (1970), S.77
Lee Y.Y., Tsao G.T.: Absorption of Iodine into Starch Granules in Aqueous suspension. Die Stärke 25(1973)3, S. 166-169
Lindhauer M.L.: Rye bread: The impact of raw materials and processing on bread quality. World Grain Summit, San Francisco CA, 2006, S. 25
Martin M.L., Zeleznak K.J., Hosney R. C.: A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. Cereal Chemistry 68 (1991), S. 498-502
Martin M.L., Zeleznak K.J., Hosney R.C.: A mechanism of bread firming. II. Role of starch hydrolyzing enzymes. Cereal Chemistry 68 (1991), S. 503-507
McDonough C.M., Rooney L.W.: Use of the Environmental Scanning Electron Microscope in the Study of Cereal-Based Foods. Cereal Foods World 1999, Vol.44, No.5, S. 342-348
Mettler E., Seibel W.: Optimizing of Rye Bread Recipes Containing Mono-Diglyceride, Guar Gum, and Carboxymethylcellulose Using Maturograph and an Oven Rise Recorder. Cereal Chemistry 72(1995), S. 109-115
Miedaner T.: Roggen – Vom Unkraut zur Volksnahrung, DLG Verlag Frankfurt, 1997
Morgenstern G.: Frischhaltung roggenbetonter Brotsorten – Maßnahmen und deren Grenzen. Getreide Mehl und Brot 48(1994).1, S. 30, 35-40
Münzing, K.: Demonstration of changes in structure in cereal starches by heat flux DSC. Thermochimica Acta 151(1989), S.57-62
Münzing, K., Bolling, H.: Mikrokalorimetrische Darstellung von Phasenumwandlungen und Strukturveränderungen bei Getreidestärken. Getreide Mehl und Brot 44(1990), 5, S.131-138

Münzing, K.: DSC studies of starch in cereal and cereal products. <i>Thermochemica Acta</i> 193(1991), S.441-448
Parker R. Ring S.G.: Aspects of the Physical Chemistry of Starch. <i>Journal of Cereal Science</i> 34 (2001), S. 1-17
Pomeranz Y., Meyer D.: Licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen über die Struktur der Weizen- und Roggenbrotkrume- Interpretation der Abbildungen unterschiedlicher Proben. Veröffentlichungsnummer 5343 Bundesanstalt für Getreideforschung, (heute: Max Rubner-Institut), Detmold
Popper R., Rosenstock W., Schraidt M., Kroll B.: The effect of attribute questions on overall liking rates. <i>Food Quality and Preference</i> Vol. 15, Dezember 2004, S. 853-858
Röcken, W.; Spicher, G.: Fadenziehende Bakterien – Vorkommen, Bedeutung, Gegenmaßnahmen. <i>Getreide Mehl und Brot</i> 47(1993) 3, S. 30-35
Rogers D.E., Zeleznak K.J., Lai C.S., Hosney R.C.: Effect of native lipids, shortening, and bread moisture on bread firming. <i>Cereal Chemistry</i> 65 (1988), S. 398-405
Schoch T.J., French D.: Studies on bread staling. I. Role of starch. <i>Cereal Chemistry</i> 24 (1947), S. 231-249
Seguchi M., Kanenaga K.: Study of Three-dimensional Structure of Wheat Starch Granules stained with Mazon Brilliant Blue Dye and Extracted with Aqueous Sodium Dodecyl Sulfate and Mercaptoethanol Solution. <i>Cereal Chemistry</i> 74(1997), S. 548-552
Senti F.R., Dimler R.J.: Changes in Starch and Gluten during Aging of Bread. <i>Baker's Dig.</i> 34(1960), S. 28-32
Seibel, W.; Brümmer, J.-M.; Stephan, H.: Influence of flour from sprout-damaged rye on the quality of rye and rye-mixed bread. <i>Cereal Foods World</i> 28(1983).9, S.503-505
Seibel W., Steller W.: Roggen: Anbau, Verarbeitung, Markt. Behr's Verlag Hamburg 1988
Seibel, W.; Brümmer, J.-M.; Stephan, H.: Standardbackversuch für Roggen- und Roggenmischbrot. <i>Getreide Mehl und Brot</i> 37(1983).11, S.349-351

Schultz A.S., Schoonover F.D., Fisher R.A., Jackel S.S.: Retardation of crumb staling in commercial bread by alpha-amylase. <i>Cereal Chemistry</i> 29 (1952), S. 200-211
Slavin, J., Jacobs, D., Marquart, L. Whole grain consumption and chronic disease: Protective mechanisms <i>Nutr. and Cancer</i> (1997). 27 (1):14-21
Souci S.W., Fachmann W., Kraut H.: Die Zusammensetzung der Lebensmittel-Nährwert-Tabellen. Medpharm, Scientific Publisher, Stuttgart, CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C., 6. Auflage 2000
Statistisches Jahrbuch 2006 für das Ausland, Statistisches Bundesamt, S. 299-300
Strasburger E., Noll F., Schenck H., Schimper A.F.W.: Lehrbuch der Botanik. Fischer Verlag Stuttgart, Jena, New York, 1991, 33. Auflage
Szypa-Wolska E.: Effects of soil and moisture on the photosynthetic productivity of winter rye (1976). <i>Inst. of Plant Cultivation, Fertilization and Soil Science, Ser. R:</i> 112-135
Thomas B., Juretko A.: Fertigung und Gebäckfrischhaltung. <i>Brotindustrie</i> 9(1974), S. 387-390, 392-394, 397-398
Ulrichs B.: Bildung von Aromastoffen bei der Hefe- und Sauerteiggärung. <i>Dissertationsarbeit. Westfälische Wilhelms Universität Münster.</i> 2001, S. 149
Wang F.C., Sun X.: Creep Recovery of Wheat Flour Doughs and Relationships to Other Physical Dough Tests and Breadmaking Performance. <i>Cereal Chemistry</i> 79 (2002), S. 567-571
Willhoft E.M.A.: Bread staling. I. Experimental study. <i>J. Sci. Food Agric.</i> 22 (1971), S.176-180
Willhoft E.M.A.: Bread staling. II. Theoretical study. <i>J. Sci. Food Agric.</i> 22 (1971) S. 180-183
Willhoft E.M.A.: Mechanism and theory of staling of bread and baked goods, and associated changes in textural properties. <i>J. of texture Studies</i> 4 (1973), S. 293-322
Wolf, E.: Roggenbrot gegen Dickdarmkrebs, <i>Pharmazeutische Zeitung Eschborn</i> , Vol.142, Nr. 39, 1997, S. 58-59
Zobel H.: A review of bread staling. <i>Baker's Digest</i> 47 (1959), S. 52-61
Zobel H.F., Kulp K.: The staling mechanism. In: Hebeda R.E., Zobel H.F.: <i>Baked goods freshness: Technology, Evaluation and Inhibition of Staling.</i> Marcel Dekkar Inc., New York. (1996), S. 1-64

Liste wissenschaftlicher Publikationen

gem. § 6 Abs. 1 d der gemeinsamen Ordnung der Naturwissenschaftlichen Fakultät, der Fakultät für Mathematik und Physik und der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik für die Promotion zur Doktorin der Naturwissenschaften oder zum Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat) an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, i. d. F. vom 3.9.2008

Dreisoerner J., Lindhauer M.G., Brümmer J.M.: Roggen – uralter Rohstoff für eine gesunde Ernährung. Tag der offenen Tür, Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung, Detmold, 9-10.6.2001
Dreisoerner J., Lindhauer M.G., Brümmer J.M.: Roggen ist gesund. Tag der offenen Tür, Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung, Detmold, 9-10.6.2001
Dreisoerner J., Lindhauer M.G.: Vom Korn zum Brot - Neue Untersuchungsmöglichkeiten mit der ESEM Technik; Tagung für Getreidechemie, Detmold, 12-13.6.2001
Dreisoerner J., Lindhauer M.G: Structure building ingredients in Rye. ICC 1 st Baltic Conference on Rye, Kaunas, Lithuania, 2-5.9.2001
Dreisoerner J., Lindhauer M.G: Rye bread microstructures - Microstructural Staling Properties. ICC 1 st Baltic Conference on Rye, Kaunas, Lithuania, 2-5.9.2001
Dreisoerner J., Lindhauer M.G.: Mikrostrukturen in Roggenteigen,- massen und Broten. 13. Internationale Tagung zu Problemen der Getreideverarbeitung und Getreidechemie: Teige, Massen und Schäume, IGV, Bergholz-Rehbrücke, 17-18.9.2001
Dreisoerner J., Lindhauer M.G., Brümmer J.M.: Rye-our health benefit. 6th Karlsruhe Symposium, Karlsruhe, 21-23.10.2001
Dreisoerner J., Lindhauer M.G.: Bildung und Aufbau von Porenwänden in Roggenteigen und Broten. Tagung für Getreidechemie, Detmold, 12+13.6.2002
Dreisoerner J., Lindhauer M.G.: Einflussfaktoren der Inhaltsstoffe Wasser und Stärke Tagung für Getreidechemie, Detmold 2003

Lindhauer M.G., Dreisoerner J.. Rye- In: Encyclopedia of Food Science and Nutrition. Elsevier Science Ltd., Cambridge 2003
Dreisoerner J., Iaquez S.: Structural changes of wheat flour starch and gluten during heating and shear stress conditions using Farinograph-E, Amylograph-E and light microscope. Poster AACC Tagung San Francisco, 2006
Dreisoerner J.: Value of the original. ICC Conference on Cereal Science International Forum – Cereal Foods: Cooperation and Opportunities across Borders, Wuxi, PR China, 18-21 Oktober 2006
Dreisoerner J.: Value of the original. 4 th Food Science International Symposium, Xiamen, Fujian, PR China, 23-25. Oktober 2006
Dreisoerner J.: Applications of the improved Farinograph [®] E, regarding Quality Control and Research and Development. 13th International Conference for Grain & Oil Science and Technology Guangzhou, PR China, June 19-22 2007
Kim M.Y., Freund W., Dreisoerner J.; A fast and easy method for the determination of water absorption of rye flours, AACC Tagung 2007 San Antonio
Dreisoerner J.: Tendenzen im Bau rheologischer Messinstrumente 36. Wissenschaftliche Informationstagung der Berliner Gesellschaft für Getreideforschung e. V., Berlin,. 18+19.Januar 2007
Dreisoerner J.: New instrumentation in dough rheology. AACC Tagung , San Antonio 2007
Dreisoerner J.: The heating of dough – different methods and possibilities with a Farinograph [®] , ICC International Conference, Istanbul, 24-26 April 2008
Dreisoerner J.: The heating of dough – different methods and possibilities with a Farinograph [®] . 13th ICC Cereal and Bread Congress, Madrid 15-18. Juni 2008
Dreisoerner J.: Sensorik an Roggenmehlbrotten. Tagung für Getreidechemie, Detmold, 18-19 Juni 2008

Tabellarischer Lebenslauf - Kurzform

Jens Dreisörner

Geb. 13. August 1967

Grundschule 1974-1978

Realschule bis 1984

Tischlerlehre bis 1987

Abitur auf dem 2. Bildungsweg bis 1990

Studium Lebensmittelchemie Westfälische Wilhelms Universität Münster mit
Abschluss des 1. Staatsexamens 1997

1 jährige Forschungsarbeiten an isolierten Sojaproteinen, Protein Technologies
International RnD, St. Louis, MO bis 1998

Praxissemester für Lebensmittelchemiker mit Abschluss des 2. Staatsexamens bis
1999

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bundesforschungsanstalt für Getreide,
Kartoffel- und Fettforschung in Detmold bis 2003

Ab 2004: Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Leiter des Nahrungsmittellabores bei der Fa.
Brabender GmbH&CoKG, Duisburg