

Probleme der Brotmehluntersuchung*

Von Dr. S. GOLDSTEIN

Mühlen-Aktiengesellschaft, Interlaken

Inhaltsübersicht

- 1 Die Zusammensetzung des Weizenmehls
- 2 Die Brotbereitung
- 3 Probleme der Brotmehluntersuchung
- 4 Probleme der Backfähigkeit des Brotmehles
 - 41 Die Eiweiße des Mehles und ihre Beziehung zur Backfähigkeit
 - 42 Die Stärke des Mehles und ihre Beziehung zur Backfähigkeit
 - 43 Die Lipide des Mehles und ihre Beziehung zur Backfähigkeit
 - 44 Zusammenfassung
- 5 Schlußbetrachtung

1 Die Zusammensetzung des Weizenmehls

Das Weizenmehl ist ein kompliziertes Gemisch von hoch- und niedermolekularen Substanzen. Es verdankt seine besondere Eignung zur Brotbereitung seinem hohen Gehalt an hochpolymeren, quellbaren und wasserunlöslichen Stoffen, die dem Weizenbrot die charakteristische lockere und schwammartige Struktur verleihen. Diese Struktur ist die Ursache der leichten Bekömmlichkeit und Verdaulichkeit des Weizenbrotes. Tab. 1 enthält die mittlere Zusammensetzung eines zu 70% ausgemahlten Weizenmehles.

Tab. 1. Mittlere Zusammensetzung eines zu 70% ausgemahlten Weizenmehles (in Prozent)

Stärke	68	} ~ 82%
Roheiweiß	11	
Pentosane	3	
Rohfaser	0,3	
Zucker	1,8	
Rohfett	1,3	
Asche	0,6	
Wasser	14,0	
	100,0%	

Das Weizenmehl enthält demnach in der lufttrockenen Substanz rund 82% und in der Trockensubstanz rund 95% hochmolekulare Substanzen, die größtenteils wasserunlöslich sind.

Wird aus dem Mehl die Stärke mittels eines feinen Wasserstrahls ausgewaschen, so bleibt das wasserunlösliche Eiweiß als zusammenhängende Substanz zurück, welche die mechanischen Eigenschaften eines Stücks Gummi besitzt, d. h. sie ist dehnbar und elastisch. Das

* Nach einem am 11. Februar 1957 im Agrikulturchemischen Kolloquium der ETH Zürich gehaltenen Vortrag.

wasserunlösliche Weizeneiweiß wird als *Kleber* bezeichnet. Aus allen anderen Getreidearten läßt sich mittels der soeben beschriebenen Methode kein Kleber gewinnen.

Der Weizenkleber verleiht dem Teig durch seine elastischen Eigenschaften ein stabiles Gerüst. Ihm ist in der Hauptsache die Ausbildung der schwammartigen, zellulären Struktur des Weizenbrotes zu verdanken, wodurch sich der Weizen unter allen Getreidearten als Brotgetreide eine dominierende Stellung erobert hat.

Einen entscheidenden Anteil an den Vorgängen, die zur Brotbildung führen, haben die *Mehlenzyme*, von denen hier nur zwei Gruppen erwähnt seien: die *Proteinasen*, die eiweißabbauenden Enzyme, und die *Amylasen*, welche die Stärke zu Dextrinen und Malzzucker abbauen.

2 Die Brotbereitung

Wird Mehl mit 60 bis 70% seines Gewichtes an Wasser gemischt, so entsteht eine plastische und elastische Masse, der Brotteig. Das Mehleiweiß nimmt unter starker Quellung etwa die Hälfte des Wassers auf, wobei sich die Proteinpartikel zu einem dreidimensionalen Netzwerk vereinigen, in welches die nur schwach gequollenen Stärkekörner eingebettet sind. Der Bäcker vermischt den Teig mit *Hefe*, welche die Aufgabe der Teiglockerung übernimmt. Die Hefe vergärt vorerst die im Mehl bereits ursprünglich vorhandenen Zucker und Oligosaccharide. Sobald diese präexistenten Zucker vergärt sind, beginnt die Hefe die Maltose zu vergären. Die Maltose wird durch die Amylasen vom Beginn der Teigbereitung an fortlaufend neu aus der Stärke gebildet. Abb. 1 zeigt die Bildung und Vergärung der Maltose.

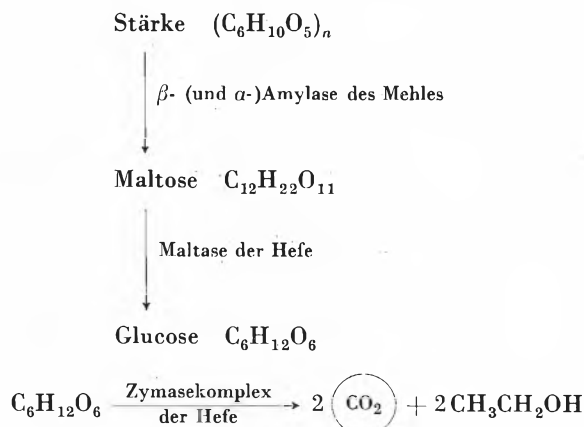


Abb. 1. Bildung und Vergärung der Maltose im Hefeteig

Durch Mehlenzyme wird die Stärke teilweise zu Maltose abgebaut, welche durch Hefeenzyme zu CO_2 und Äthylalkohol vergoren wird. Der Alkohol ist bei der Technologie der Brotbereitung ein Nebenprodukt, das beim Backprozeß verdunstet. Wichtig für die Brotbereitung ist die Bildung von CO_2 , welches den Teig auflockert, wobei dieser sein Volumen vergrößert und eine schaumartige Struktur annimmt. Sobald das gelockerte Teigstück in den Ofen gelangt, wird der Kleber durch die Ofenhitze koaguliert, die Stärke dagegen absorbiert das vom Kleber abgegebene Wasser, wobei sie verkleistert. Das Resultat des Backprozesses ist eine Stabilisierung der schaumartigen Teigstruktur.

Das vom Bäcker angestrebte Ideal ist die Herstellung eines geschmacklich einwandfreien Brotes von großem Volumen und regelmäßiger feiner Porung. Das Volumen des Brotes ist Ausdruck seiner Lockerung und steht damit im Zusammenhang mit seiner Bekömmlichkeit.

Unter *Backfähigkeit* eines Mehles versteht man seine Eignung zur Brotbereitung. Ein gut backfähiges Mehl muß zwei Voraussetzungen erfüllen:

- Es muß einen Teig liefern, der bei Zusatz von einwandfreier Hefe genügend Kohlendioxyd entwickelt, und zwar bis zu dem Moment, wo der Teig in den Ofen gelangt sowie im ersten Stadium des Backprozesses.
- Der Teig muß imstande sein, die Hauptmenge des gebildeten Kohlendioxyds zurückzuhalten, denn nur dann entsteht ein gelockertes Brot von großem Volumen.

Die *Backfähigkeit* eines Mehles oder seine Eignung zur Brotbereitung läßt sich demnach durch die beiden Begriffe *Gasbildungsvermögen* und *Gashaltungsvermögen* charakterisieren.

Das *Gasbildungsvermögen* wird in der Praxis auch als *Trieb* bezeichnet. Konstante Hefequalität vorausgesetzt, ist die Gasbildung abhängig vom Gehalt des Mehles an α - und β -Amylase, vom Gehalt an mechanisch beschädigten Stärkekörnern sowie von der Angreifbarkeit (Feinstruktur) der Stärke.

Das *Gashaltungsvermögen* ist in erster Linie von der Kleberqualität abhängig. Die verschiedenen Weizensorten unterscheiden sich stark in ihrer Kleberqualität. Schwache Weizensorten liefern einen Kleber, der wie Leim fast nur dehnbar und kaum elastisch ist. Starke Weizensorten enthalten einen Kleber, der in seiner Elastizität einem Gummiband gleicht. Das Backergebnis hängt stark davon ab, ob der Teig während der Endgärung und im Ofen die erzeugte Kohlensäure gut hält. Ein schlechter Kleber läßt viel Gas entweichen und gibt kleine Gebäcke. Ein guter Kleber macht die Hüllen der Kohlensäurebläschen gasdicht und gibt zugleich ihrem Drucke elastisch nach. So entsteht bei genügend starker Kohlendioxydentwicklung ein großes, wohlgeformtes Gebäck.

Abb. 2 zeigt, wie die Brotbereitung praktisch in der Bäckerei durchgeführt wird.

Bei der *indirekten Teigführung* wird nur ein Drittel des Gesamtmehles zusammen mit wenig Hefe und Wasser zu einem *Vorteig* geknetet, der eine lange, meist achtstündige Gärzeit durchmacht. Danach wird der Vorteig mit den restlichen zwei Dritteln des Mehles und mit Salz und Wasser zum endgültigen Teig geknetet, welcher anschließend einer Ruhezeit von etwa einer Stunde überlassen wird. Während der Teigruhe wird zwei- bis dreimal von Hand oder maschinell das Kohlendioxyd aus dem gärenden Teig ausgestoßen. Sodann wird der Teig in einzelne Stücke aufgeteilt, welche nochmals intensiv durchgeknetet oder «aufgewirkt» und schließlich zu den Brotformen fassoniert werden. Die geformten Teigstücke werden nun nochmals einer endgültigen Gärung, der «Stückgare» oder «Endgare» unterworfen, während der sie ihr Volumen vergrößern und eine regelmäßige Porosität ausbilden. Nach der 20 bis 30 Minuten dauernden Endgare werden die Teigstücke in den Backofen geschoben, wo sie ihr Volumen nochmals vergrößern, einmal infolge der intensiven CO_2 -Bildung, die im Ofen weitergeht, bis die Enzyme durch die Hitze inaktiviert werden, ferner infolge der thermischen Expansion der Gase. Der Backprozeß dauert etwa eine Stunde.

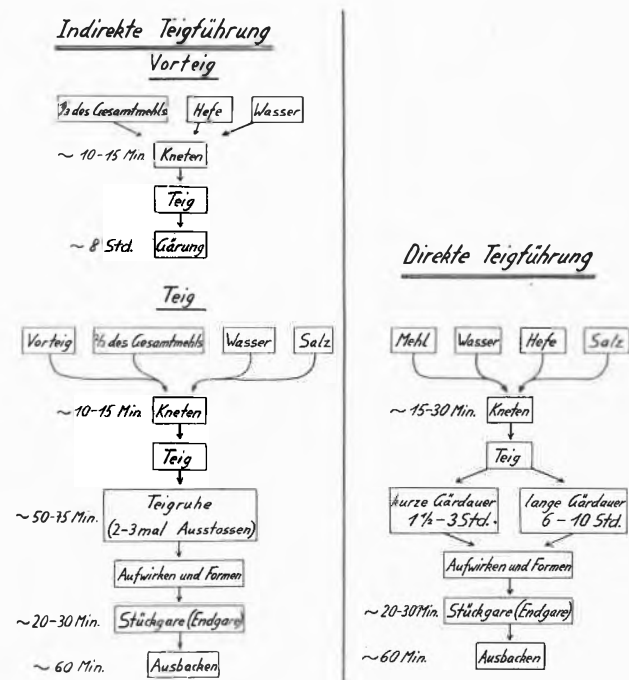


Abb. 2. Schematische Darstellung des Brotherstellungsprozesses

Bei der *direkten Teigführung* wird auf die Bildung eines Vorteigs verzichtet, d. h. es wird das gesamte Mehl mit Hefe, Wasser und Salz zum Teig geknetet, der einer kürzeren (1½- bis 3stündigen) oder längeren (6- bis 10stündigen) Gärzeit unterworfen wird. Danach wird der Teig wie bei der indirekten Teigführung weiterverarbeitet. Bei der kurzen direkten Teigführung wird mehr Hefe verwendet als bei der langen direkten und bei der indirekten Teigführung.

Der Zweck der Bildung eines Vorteiges bei der indirekten Teigführung ist einmal eine Hefeersparnis, da während der langen Gärzeit sich die Hefe im Vorteig vermehrt, ferner die Bildung von Aromastoffen.

Durch die etwas umständlichen und zeitraubenden Manipulationen der langen Teigruhe, des Ausstoßens, Aufwirkens und der Stückgare wird der Teig physikalisch-chemisch verändert, d.h. in einen optimalen Zustand gebracht, den man als *Teigreife* bezeichnet. Ein Teig ist reif, wenn sein Kleber einen optimalen Quellungs- und Elastizitätszustand angenommen hat, der ihn zur optimalen Gashaltung befähigt, und wenn gleichzeitig die Gasproduktion eine möglichst hohe Intensität erreicht hat. Wenn ein Teig verbacken wird, entweder bevor oder nachdem er seine Reife erlangt hat, entsteht ein Brot von ungenügendem Volumen und mangelhafter Porenbeschaffenheit. Die Verhältnisse sind etwas vereinfachend in folgender Abbildung dargestellt.

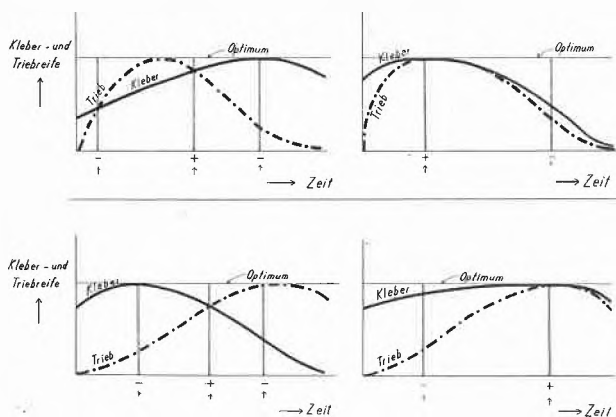


Abb. 3. Kleber- und Triebreife des Teiges in Abhängigkeit von der Zeit (Zeit der Teigentwicklung von der Knetmaschine bis zum Ofenschieben)

Die Darstellung zeigt, daß die Kunst des Bäckers zum Teil darin besteht, den Zeitpunkt scharf zu erfassen, zu welchem die Teigstücke in den Ofen gelangen müssen. In der rechten Bildhälfte sind Teige bzw. Mehle dargestellt, bei denen die Optima der Kleberreife und der Gasentwicklung (Triebreife) zeitlich zusammenfallen (oben rechts kleberschwaches, unten rechts kleberstarkes Mehl). Solche Mehle sind leichter zu behandeln als die in der linken Bildhälfte dargestellten, bei denen die beiden Optima zu verschiedenen Zeiten erreicht werden. Der richtige Zeitpunkt des Ofenschiebens (+) ist hier durch den Schnittpunkt der beiden Kurven gegeben, der am nächsten beim Optimum liegt. Geschieht das Ofenschieben zu früh oder wird der richtige Zeitpunkt verpaßt (-), so ergeben sich qualitativ ungenügende Brote. Die Darstellung läßt auch erkennen, daß es mit den meisten in der Praxis auftretenden Mehlen möglich sein sollte, ein qualitativ zufriedenstellendes Brot herzustellen, wenn man die Gärführung den Eigenschaften des Mehles anpaßt.

Es ist noch nicht abgeklärt, welche physikalischen und chemischen Vorgänge die Teigreife bewirken. Die durch das Kneten bewirkte Teigverfestigung und bessere Elastizität hängt vielleicht mit der Schaffung neuer chemischer Bindungen zwischen den einzelnen Proteinkomplexen zusammen. Offenbar sind auch Stoffwechselprodukte der Hefegärung, wie z.B. der Alkohol, an der Verbesserung der physikalischen Teigeigenschaften mitbeteiligt, die bei der Teigreife beobachtet wird^{1,2}.

Die Biochemie des Brotbereitungsprozesses wurde in ausführlichen^{3,4,5} und zusammenfassenden Darstellungen^{1,6,7,8,9,10} beschrieben.

3 Probleme der Brotmehluntersuchung

Eine Aufgabe, die sich die Getreidechemiker schon frühzeitig gestellt haben, ist die möglichst zuverlässige Voraussage der Backfähigkeit der Mehle.

Die naheliegendste und scheinbar zuverlässigste Untersuchungsmethode ist der Backversuch. Der an ein und demselben Mehl durchgeführte Backversuch kann jedoch je nach der Methode und Geschicklichkeit des Bäckers recht verschieden ausfallen und ist somit keine objektive Untersuchungsmethode. Zudem läßt weder ein gutes noch ein schlechtes Backergebnis erkennen, welche Faktoren für sein Zustandekommen verantwortlich sind.

Besseren Einblick in die Backfähigkeit eines Mehles erhält man erst, wenn man das Gashaltungsvermögen eines Mehles und sein Gasbildungsvermögen getrennt voneinander untersucht. Der Backversuch kann dann als ergänzende Untersuchung von Nutzen sein.

Für die Beurteilung des Gashaltungsvermögens haben sich *physikalische Meßverfahren*, die am ganzen Teig durchgeführt werden, besonders gut bewährt. Es sind die physikalischen Eigenschaften eines Teiges, die bei der Technologie der Brotbereitung den Ausschlag geben^{1,3,11,12,13}. Diesen physikalischen Teigeigenschaften liegt natürlich ein bestimmter Chemismus der Mehlbestandteile zugrunde. Dieser Chemismus ist jedoch derart kompliziert, daß es heute nur beschränkt möglich ist, aus chemischen Einzelanalysen von Mehlbestandteilen das Verhalten des Mehles bei der Brotbereitung vorauszusagen. Solche Voraussagen werden aber durch physikalische Messungen, die sich auf den Teig als Ganzes erstrecken, ermöglicht.

¹ J. CUNNINGHAM, *Chem. & Ind.* 1953, 163.

² R. W. CAWLEY und E. W. HULLET, *ib.* 1955, 1424.

³ D. W. KENT-JONES und A. J. AMOS, *Modern Cereal Chemistry*, Liverpool 1947.

⁴ M. P. NEUMANN, neubearbeitet von P. F. PELSSENKE, *Brotgetreide und Brot*, Berlin und Hamburg 1954.

⁵ M. ROHRICH und G. BRÜCKNER, *Das Getreide*, Berlin 1956.

⁶ F. W. GEDDES, in *Advances Enzymol.* 6 (1946) 415.

⁷ E. KNEEN und R. M. SANDSTEDT, in *Enzymes and Their Role in Wheat Technology*, herausgegeben von J. A. ANDERSON, New York 1946.

⁸ L. ATKIN, A. S. SCHULTZ und C. N. FREY, in *ib.*

⁹ J. A. JOHNSON und B. S. MILLER, *Bakers Digest* 26 (1952) 45.

¹⁰ J. W. PENCE, *J. Agr. Food Chem.* 1 (1953) 157.

¹¹ I. HLYNKA, *Bakers Digest* 29 (1955) 27.

¹² C. W. BRABENDER, *ib.* 30 (1956) Nr. 2, 37.

¹³ B. S. MILLER und J. A. JOHNSON, *ib.* 30 (1956) Nr. 3, 33.

Ein physikalischer Meßapparat, der die bei der *Teigmischung* einzuhaltenden Maßnahmen ermittelt, ist der *Farinograph* (Abb. 4).

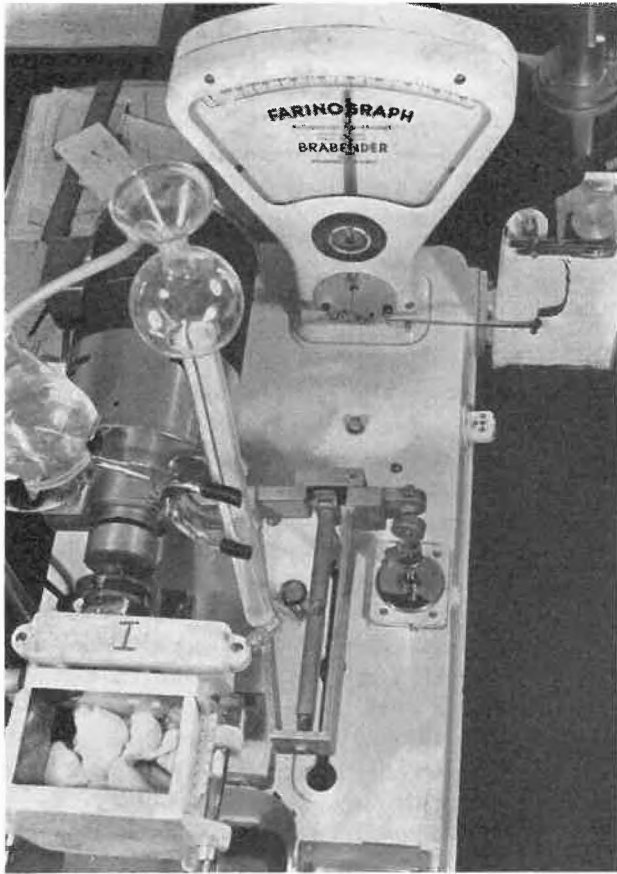


Abb. 4. Brabender-Farinograph (Photo reproduziert mit Erlaubnis der Firma Brabender o. H., Duisburg)

In einem auf 30°C temperierten Knetter werden 300 g Mehl mit soviel 30° warmem Wasser zu einem Teig geknetet, bis eine mittlere Teigfestigkeit oder Konsistenz von 500 sogenannten «Brabender-Einheiten» entsteht. Die zum Knetter notwendige Kraft wird in Form einer Kurve, die als *Farinogramm* bezeichnet wird, registriert (Abb. 5).

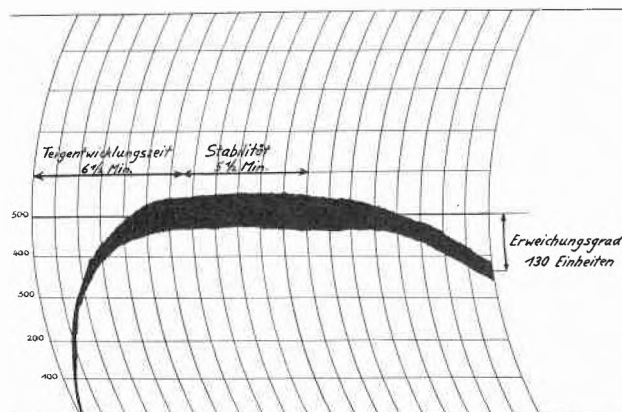


Abb. 5. Farinogramm und seine Auswertung

Die in Minuten gemessene Zeit bis zur Erreichung der Konsistenz 500 wird als *Teigentwicklungszeit* bezeichnet. Die Zeit, während welcher die Kurve auf dieser Konsistenz verbleibt, ist die *Stabilität*. Nach Überschreitung der Stabilitätsgrenze sinkt die Kurve. Der nach 20 Minuten in Brabender-Einheiten gemessene Konsistenzabfall wird als *Erweichungsgrad* bezeichnet. Je länger die Teigentwicklungszeit und die Stabilität und je geringer der Erweichungsgrad, desto besser ist ein Farinogramm zu beurteilen. Der Erweichungsgrad ist ein Maß der durch die Knetung bewirkten Zerstörung der elastischen Kohäsionskräfte des Teiges. Abb. 6 zeigt je ein Farinogramm eines starken und eines schwachen Mehles.

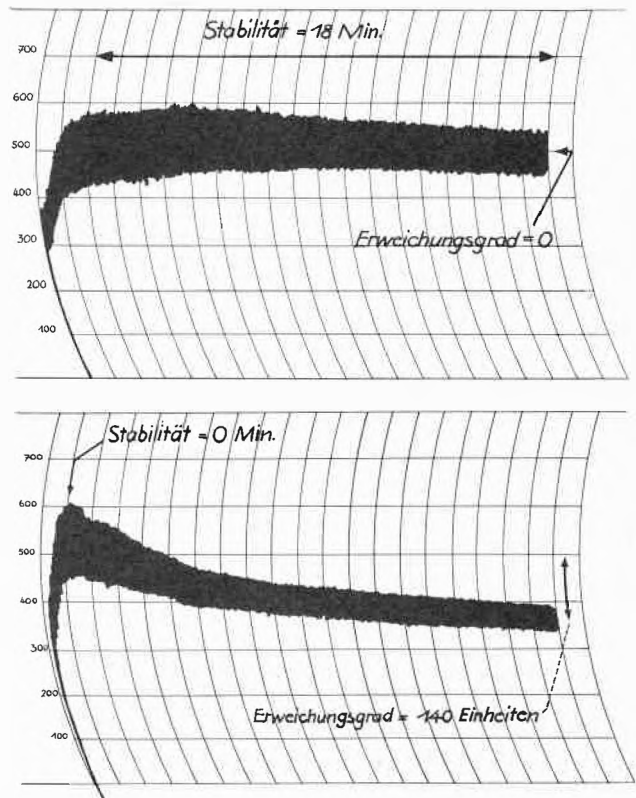


Abb. 6. Farinogramme von Mehlen verschiedener Qualität

Abb. 6 zeigt, daß starke Mehle eine viel längere Knetzeit ertragen als schwache. Werden Teige von schwachen Mehlen zu lange geknetet, so beginnen sie zu fließen, eine Erscheinung, die mit der thixotropen Natur des Teiges zusammenhängt¹.

Bei starken Mehlen ist im Gegenteil langes und intensives Kneten angezeigt. Werden solche Teige nur kurze Zeit geknetet, so setzen sie dem CO₂ einen zu großen Gegendruck entgegen. Es entstehen dann gedrungene Brote. In Nordamerika werden die Teige der sehr starken einheimischen Mehle zwecks Erweichung mit Schnellknetmaschinen bearbeitet, welche die Teige viel intensiver kneten als die in Europa üblichen Knetmaschinen. Neudrings setzt man in Nordamerika solchen Mehlen

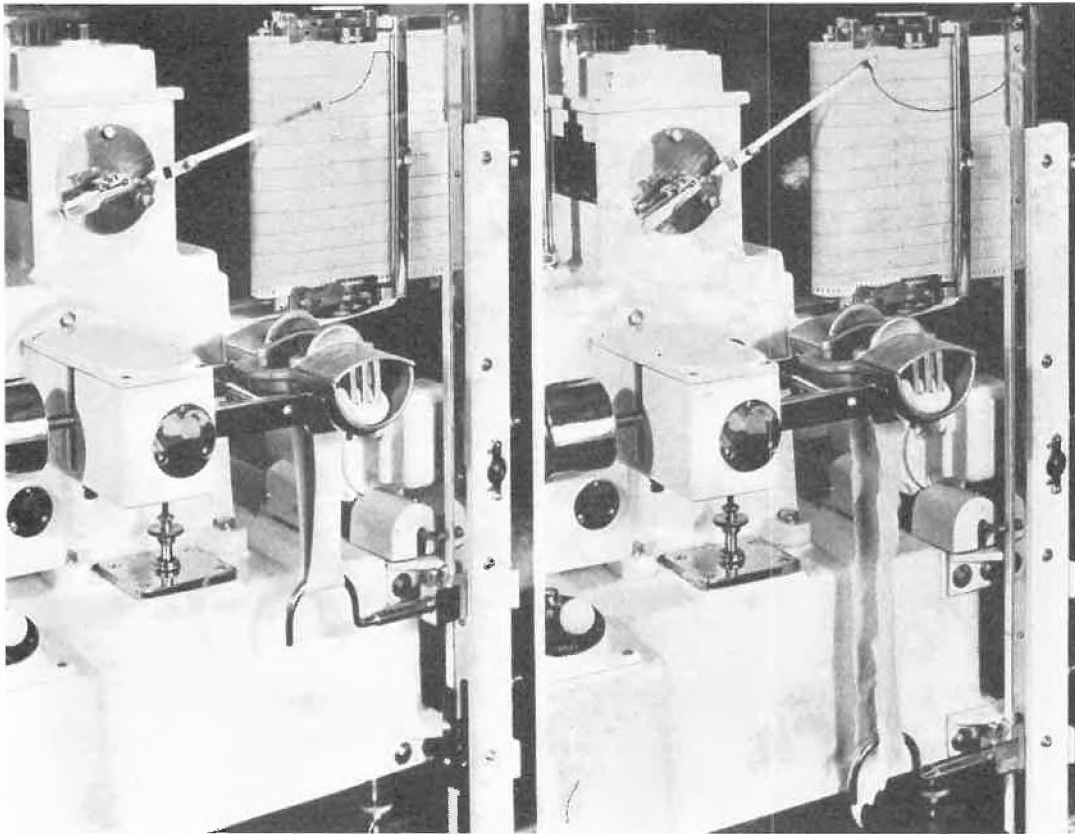


Abb. 7. Brabender-Extensograph (Photo reproduziert mit Erlaubnis der Firma Brabender o.H., Duisburg)

Proteinasen zu, die den starken Kleber teilweise abbauen und dadurch die Teige erweichen^{9, 14, 15}.

Der Farinograph ermöglicht die Bestimmung der optimalen Teigmischungszeit und derjenigen Wassermenge, welche die richtige Teigkonsistenz ergibt^{13, 16, 17, 18}.

Auf die Teigmischung folgt die *Teiggärung* und die dadurch bewirkte *Reifung* des Teiges. Über das physikalische Verhalten eines Mehles während dieser Phase gibt der sogenannte *Extensograph* wertvolle Informationen (Abb. 7).

Ein im Farinographen auf die Konsistenz 500 geknetetes Teigstück wird im Extensographen zu einem Zylinder geformt, in eine Teigschale eingespannt und in einem konstant temperierten Behälter 45 Minuten abstehen gelassen. Danach erfolgt die Dehnung des Teigzylinders durch einen mit konstanter Geschwindigkeit nach unten laufenden Hebelarm. Der Teig setzt der Dehnung einen Widerstand entgegen, der bis zu einem Maximum ansteigt. Gleichzeitig nimmt die Länge des gedehnten Teigzylinders zu, bis der Teig abreißt. Das elastische und plastische Verhalten des Teiges wird automatisch in Form einer Kurve registriert, die *Extensogramm* genannt wird. Nun wird der Teig erneut maschinell zu einem Zylinder geknetet und 45 Minuten abstehen gelassen, wonach eine zweite Kurve aufgenommen wird. Nach weiteren 45 Minuten wird eine dritte Kurve registriert (Abb. 8).

Abb. 8 oben zeigt die drei aufeinanderfolgenden Extensogramme eines gut backfähigen Weißmehls. Die Höhe des Extensogramms stellt die zum Dehnen des Teiges erforderliche maximale Kraft oder den *Dehnwiderstand* des Teiges dar. Die Länge der Kurve bis zum Zerreißpunkt des Teigzylinders entspricht der *Dehnbarkeit* des Teiges. Wir haben es mit einem Kraft-Weg-Diagramm zu tun, also einem Arbeitsdiagramm, dessen Integral die Arbeit entspricht, die der Teig leisten kann. Der *Flächeninhalt* der Kurve ist somit ein guter Maßstab für die gashaltende Kraft des betreffenden Teiges

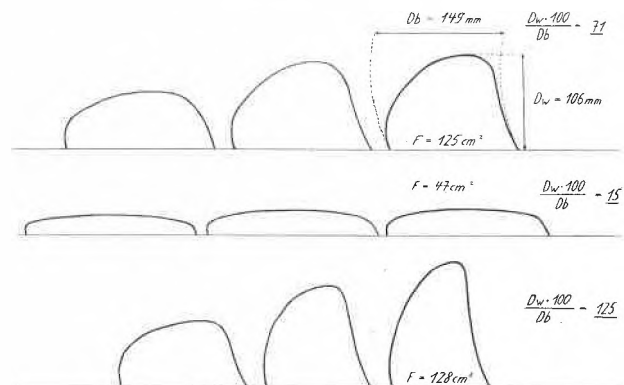


Abb. 8. Extensogramme von Mehlen verschiedener Qualität und ihre Auswertung. D_w = Dehnwiderstand, D_b = Dehnbarkeit, F = Flächeninhalt

¹⁴ J. A. JOHNSON und B. S. MILLER, *Cereal Chem.* 30 (1953) 471.

¹⁵ B. S. MILLER und J. A. JOHNSON, *Bakers Digest* 29 (1955) 95.

¹⁶ C. NEAR und B. SULLIVAN, *Cereal Chem.* 12 (1935) 527.

¹⁷ P. P. MERRIT und C. H. BAILEY, *ib.* 16 (1939) 377.

¹⁸ E. MUNZ und C. W. BRABENDER, *ib.* 17 (1940) 78.

und – bei normalem Trieb – für das zu erwartende Brotvolumen. Ein ebensowichtiger Maßstab ist das mit 100 multiplizierte Verhältnis von Dehnwiderstand zu Dehnbarkeit:

$$\frac{Dw \cdot 100}{Db}$$

Zu niedrige Quotienten (Abb. 8, 2. Reihe) sind typisch für stark dehnbare und zu wenig elastische Teige mit geringer gashaltender Kraft. Solche Teige sind wegen des schwachen Klebers instabil und müssen «kurz geführt» werden, wie die Bäckersprache lautet, d. h. sie ertragen keine lange Gärzeit, da sie sonst breitlaufen und flache Brote ergeben. Dies sieht man auch aus der Tatsache, daß sich der Teig im Verlauf der Zeit, d. h. während der Teigreife, in seinen mechanischen Eigenschaften kaum nennenswert verbessert. Zu hohe Quotienten (Abb. 8, 3. Reihe) sind charakteristisch für Mehle mit sogenanntem «kurzem» Kleber. Dieser Kleber setzt zwar der Dehnung zunächst großen Widerstand entgegen, ist aber zu wenig elastisch und reißt kurz ab. Mehle mit solchem Kleber ergeben rundlich geformte Brote, aber mit kleinem Volumen und geringer Lockerung. Für das Mehl jeden Ausmahlungsgrades gibt es erfahrungsgemäß eine Zone des optimalen Quotienten $Dw/Db \cdot 100$ (Abb. 8, 1. Reihe). Teige aus solchen Mehlen sind dehnbar, aber auch elastisch. Sie eignen sich für lange Teigführungen, da sie eine große Gärtoleranz besitzen: Man darf warten, bis die CO_2 -Bildung ihr Maximum erreicht hat, ohne ein Entweichen des Gases befürchten zu müssen. Auf Gare ergeben sie gut gelockerte und voluminöse Teigstücke. Solche Mehle bezeichnet man in der Praxis als «narrensicher» oder *foolproof*.

Die mit dem Extensographen gewonnenen Meßergebnisse gestatten es, für die Praxis gute *allgemeine* Anhaltspunkte für die optimale Teigführung abzuleiten^{3,11,12,19}.

Die bis dahin besprochenen physikalischen Meßmethoden beziehen sich auf das Gashaltungsvermögen der Mehle. Ebenso wichtig für die Backfähigkeit ist ihr Gasbildungsvermögen. Ein in Getreidelaboratorien verbreiteter Apparat, der die von einem Hefeteig pro Zeiteinheit erzeugte CO_2 -Menge mißt und direkt abzulesen gestattet, ist der *Brabender-Fermentograph*. Da das Ergebnis der Gasmessung ebenso sehr von der Hefequalität wie von der Mehlqualität abhängt²⁰, gestattet die Ermittlung des Maltosebildungsvermögens der Mehle zuverlässigere Voraussagen über ihr Gasbildungsvermögen, denn die Maltose ist das Substrat, aus der die Hefe hauptsächlich CO_2 produziert. Bewährt hat sich die Methode nach LANE und EYNON²¹:

Eine Mehl-Wasser-Suspension wird 1 Stunde bei 27 °C autolytisiert. Die gebildete Maltosemenge wird mittels Reduktion von Fehlingscher Lösung titrimetrisch bestimmt und ergibt den sogenannten Maltosewert. Maltosewert und Gasbildungsvermögen der Mehle stehen bei

¹⁹ E. MUNZ und C. W. BRABENDER, *ib.* 17 (1940) 313.

²⁰ E. BERLINER, *Mühlenslaboratorium* 6 (1936) 162.

²¹ J. H. LANE und L. EYNON, *J. Soc. Chem. Ind.* 42 (1923) 32.

konstanter Hefequalität in befriedigender Korrelation zueinander^{20,22}.

4 Probleme der Backfähigkeit des Brotmehles

41 Die Eiweiße des Mehles und ihre Beziehung zur Backfähigkeit

Die Literatur über die Eiweiße des Weizens ist in einigen Arbeiten zusammengestellt worden^{23,24,25,26,27}. Die Bedeutung des Weizenklebers für die Brotgerüstbildung wurde bereits hervorgehoben. Wichtiger als die Klebermenge ist die Kleberqualität. Der wasserfreie Kleber enthält nur 80% Rohprotein und daneben noch rund 10% Stärke und 10% Lipide, die beim Auswaschen hartnäckig an ihm haften bleiben.

Schon im Jahre 1893 versuchte OSBORNE²⁸ die Eiweißbestandteile des Weizens auf Grund ihrer verschiedenen Löslichkeit zu charakterisieren. Das ganze wasserfreie Weizenkorn enthält nach OSBORNE folgende verschiedenartigen Eiweißkörper:

Tab. 2. Zusammensetzung des Weizeneiweißes (OSBORNE²⁸)

	%
Albumin (wasserlöslich)	0,4
Globulin (salzlöslich)	0,7
Gliadin (in 70% Äthylalkohol löslich) . .	4,5
Glutenin (in verdünnten Säuren und Alkali löslich)	4,0
Proteosen (Löslichkeit schlecht definiert).	0,3

Der Kleber ist nach OSBORNE kein einheitlicher Eiweißkörper, sondern etwa zu gleichen Teilen aus den Eiweißstoffen Gliadin und Glutenin zusammengesetzt, die sich in ihrer Löslichkeit unterscheiden. Diese Einteilung der Weizeneiweiße hat sich bis heute in den Lehrbüchern erhalten. Man weiß aber heute, daß Gliadin und Glutenin keine einheitlichen Proteine sind^{23,24,26,27}. Untersuchungen mit der Ultrazentrifuge²⁹, der Elektrophoresemethode nach TISELIUS^{23,30}, der Diffusionsmethode³¹, Messungen des osmotischen Druckes^{23,32} und der Strömungsdoppelbrechung³³ haben gezeigt, daß

²² H. JØRGENSEN, *Cereal Chem.* 8 (1931) 361. R. K. LARMOUR, W. F. GEDDES und A. G. O. WHITESIDE, *ib.* 10 (1933) 601. C. F. DAVIS und D. F. WORLEY, *ib.* 11 (1934) 536. F. R. GRAESSER, *ib.* 13 (1936) 356. W. J. EVA, W. F. GEDDES und B. FRISSELL, *ib.* 14 (1937) 458.

²³ M. J. BLISH, in *Advances Protein Chem.* 2 (1945) 340.

²⁴ D. K. MECHAM und G. H. BROTHER, *Bakers Digest* 25 (1951) 87.

²⁵ B. SULLIVAN, *J. Agr. Food Chem.* 2 (1954) 1231.

²⁶ A. BOURDET, *Rev. Fermentat. Ind. Aliment.* 10 (1955) 235, 11 (1956) 19.

²⁷ J. W. PENCE, D. K. MECHAM und H. S. OLCOTT, *J. Agr. Food Chem.* 4 (1956) 712.

²⁸ T. B. OSBORNE und C. G. VOORHEES, *J. Amer. Chem. Soc.* 16 (1893) 524.

²⁹ L. KREJCI und TH. SVEDBERG, *ib.* 57 (1935) 946. A. G. MCCALLA und N. GRALEN, *Canad. J. Res.* 20 C (1942) 130.

³⁰ A. G. MCCALLA und N. GRALEN, *Canad. J. Res.* 20 C (1942) 130. H. PUTNAM, D. R. BRIGGS und R. A. GORTNER, *The Electrophoresis of Gliadine Solutions*, Chicago 1942. G. W. SCHWERT, H. PUTNAM und D. R. BRIGGS, *Arch. Biochem.* 4 (1944) 371.

³¹ O. LAMM und A. POLSON, *Biochem. J.* 30 (1936) 528.

³² N. F. BURK, *J. Biol. Chem.* 124 (1938) 49.

³³ F. KNAPP, *Untersuchungen der Proteine des Weizenklebers mit Hilfe der Strömungsdoppelbrechung*. Diss. Universität Bern 1943.

sowohl Gliadin als auch Glutenin aus einer ganzen Anzahl von Proteinen verschiedenen Molekulargewichts bestehen. Die für Gliadin- und Gluteninkomponenten ermittelten Molekulargewichte variieren zwischen 17 000 und 75 000. Es herrscht noch keine Klarheit darüber, ob das Kleberprotein ein einheitliches Protein³⁴ darstellt, das in willkürliche Fraktionen aufgespalten werden kann, oder ob der Kleber aus einer Anzahl von gänzlich verschiedenartigen Proteintypen besteht, die durch elektrostatische Kräfte zu einem Komplex vereinigt werden³⁵.

Man weiß heute noch wenig über die wahren Molekulargewichte des Klebers bzw. der Kleberproteine, und es ist daher noch nicht möglich, die Backfähigkeiten verschiedener Mehle mit den Molekulargewichten ihrer Kleber bzw. Kleberkomponenten in Beziehung zu bringen.

Es konnte auch keine Beziehung gefunden werden zwischen Backfähigkeit der Mehle und Aminosäurezusammensetzung ihrer Kleber³⁶.

Interessante Zusammenhänge brachte die Untersuchung der sogenannten löslichen Proteine. Darunter versteht man das wasserlösliche Albumin und das salzwasserlösliche Globulin, die zusammen etwa 20% des Mehleisweißes ausmachen. Physikalische Untersuchungen beweisen, daß auch die löslichen Weizeneiweiße heterogen zusammengesetzt sind²⁷. Es scheint nun, daß die löslichen Eiweiße für die Backfähigkeit sehr wichtig sind: Eine große Anzahl von Mehlen, die in ihren Backeigenschaften stark variierten, zeigten sozusagen keine Unterschiede mehr im Backverhalten, wenn man die lösliche Fraktion wegließ. Die ursprünglichen Unterschiede wurden wiederhergestellt, wenn man die lösliche Fraktion wieder zufügte³⁷. – Wahrscheinlich gehören auch eine Proteinase des Mehles sowie die β -Amylase zu den löslichen Proteinen²⁷.

Die Kleberproteine gehören zu den fibrillären Proteinen. Die elastischen Eigenschaften, die den Kleber auszeichnen, sind typisch für fibrilläre Proteine, wie z. B. die Keratine^{1, 38, 39}. Neuerdings wurde die fibrilläre Natur des Klebers von BERNAL⁴⁰ durch Röntgenanalyse und von HESS⁴¹ an einem Kleberbestandteil, dem von ihm sogenannten «Haftprotein», elektronenmikroskopisch nachgewiesen. – Bei fibrillären Proteinen sind die Polypeptidketten zu Bündeln zusammengelagert (Abbildung 9).

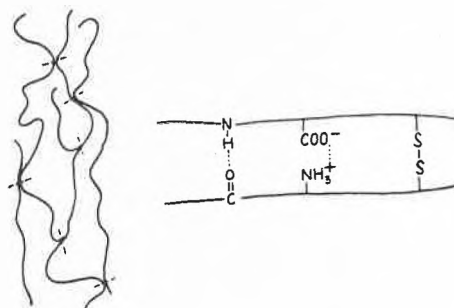


Abb. 9. Bündelanordnung und Bindungskräfte der Polypeptidketten in fibrillären Proteinen (reproduziert mit Erlaubnis der Academic Press Inc., Publishers, New York, aus H.P. LUNDGREN, Synthetic Fibres Made from Proteins, in *Advances in Protein Chemistry* 5 [1949] 321, Fig. 10, und 344, Fig. 20)

Die mehr oder weniger gefalteten Polypeptidketten werden an einzelnen Punkten durch verschieden starke chemische Bindungen zusammengehalten. Die Elastizität der Bündel besteht darin, daß die einzelnen Ketten nach Streckung wieder in den ursprünglichen teilweise gefalteten Zustand zurückkehren. Würden die Polypeptidketten nicht durch starke Bindungen zusammengehalten, so würden die einzelnen Ketten bei Streckung aneinander vorbeigleiten. Die Fibrille wäre dann dehnbar, aber nicht elastisch³⁸. – Es lassen sich folgende Bindungsarten unterscheiden: die Wasserstoffbindung, die Salzbindung und die Disulfidbindung (Abb. 9). Das Vorhandensein der Wasserstoffbindung wird bewiesen durch die Löslichkeit des Klebers in Harnstoff und Natriumsalicylat; das sind Stoffe, für welche die Fähigkeit, Wasserstoffbindungen zu spalten, typisch ist¹. Salzbindungen müssen ebenfalls vorliegen, denn der Kleber ist zum Teil in Säuren und Basen löslich¹. Die Disulfidbindung ist als kovalente Bindung die stärkste; sie ist Bestandteil der Aminosäure Cystin, die im Klebereiweiß zu etwa 2% vorkommt^{1, 25}. Die Existenz der Disulfidbindung im Kleber läßt sich leicht durch Zugabe einer spezifisch disulfidspaltenden Verbindung, wie Glutathion oder Thioglykolsäure, zum Kleber nachweisen; dann verschwindet die Elastizität und Kohäsionskraft des Klebers in kurzer Zeit, und der Kleber nimmt eine leimartige Konsistenz an²⁵. Wenn eine Lösung von Kleber in Harnstoff mit geringen Mengen einer SH-Verbindung, wie z. B. Glutathion, behandelt wird, sinkt die Viskosität der Lösung exponentiell¹. Der Elastizitätsverlust des Klebers bzw. der Viskositätsrückgang der Kleberlösung sind begleitet von einer Senkung des durchschnittlichen Molekulargewichtes⁴², von einem Ansteigen der Sulfhydrylgruppen⁴³ und von einem Verlust an Cystin²⁵.

Die wichtige Funktion der Disulfidbindung im Wollkeratin ist seit langem bekannt⁴⁴. Diese Bindung ist

³⁴ A. G. McCALLA und R. C. ROSE, *Canad. J. Res.* 12 C (1935) 346. C. E. RICH, *Cereal Chem.* 13 (1936) 522. E. Y. SPENCER und A. G. McCALLA, *Canad. J. Res.* 16 C (1938) 483. A. G. McCALLA und N. GRALEN, *Canad. J. Res.* 20 C (1942) 130. M. A. BARMORE, *Cereal Chem.* 24 (1947) 49.

³⁵ H. L. BUNGENBERG DE JONG, *J. Soc. Chem. Ind.* 52 (1933) 391.

³⁶ J. W. PENCE, D. K. MECHAM, A. H. ELDER, J. C. LEWIS, N. S. SNELL und H. S. OLCOTT, *Cereal Chem.* 27 (1950) 335.

³⁷ K. F. FINNEY, *ib.* 20 (1943) 381. J. W. PENCE, A. H. ELDER und D. K. MECHAM, *ib.* 28 (1951) 94.

³⁸ H. P. LUNDGREEN, in *Advances Protein Chem.* 5 (1949) 305.

³⁹ K. H. MEYER, *Natural and Synthetic High Polymers*, New York 1950.

⁴⁰ J. D. BERNAL, *Bull. Res. Assoc. Brit. Flour Millers* 1955, 153.

⁴¹ K. HESS, *Koll.-Z.* 136 (1954) 84.

⁴² J. W. PENCE und H. S. OLCOTT, *Cereal Chem.* 29 (1952) 292.

⁴³ R. H. DE DEKEN und M. DE DEKEN-GRENSON, *Biochim. Biophys. Acta* 16 (1955) 566.

⁴⁴ J. B. SPEAKMAN, *J. Soc. Chem. Ind.* 48 (1929) 321; *Proc. Roy. Soc. (London)* 132 A (1931) 167; *J. Soc. Dyers Colourists* 52 (1936) 335, 423. J. B. SPEAKMAN und C. S. WHEWELL, *ib.* 52 (1936) 380.

am Zustandekommen der fibrös-elastischen Eigenschaften des Wollhaares wesentlich beteiligt. Sicherlich spielt die Disulfidbindung beim Weizenkleber eine analoge Rolle^{1, 25}. WÖSTMANN⁴⁵ untersuchte 23 Mehle verschiedener Backfähigkeit und fand eine positive Korrelation zwischen Teigstärke und Cystingehalt der Mehle.

Neben den Disulfidbindungen kommen in den Mehlproteinen auch geringe Mengen freier Sulfhydrylgruppen vor²⁵. Es konnte jedoch bis jetzt noch keine eindeutige Beziehung zwischen dem Verhältnis von Disulfid- und Sulfhydrylgruppen einerseits und Backfähigkeit der Mehle andererseits gefunden werden⁴⁶. Dies hängt hauptsächlich mit den Schwierigkeiten zusammen, die einer einwandfreien analytischen Bestimmung der Sulfhydrylgruppen im Kleberprotein entgegenstehen²⁵.

Die Erforschung der Struktur des Klebers ist zur Aufklärung eines Problems von Nutzen, das von großer praktischer Bedeutung ist und das die Getreidechemiker schon seit Jahrzehnten beschäftigt. In einigen Ländern Europas und besonders in Nordamerika ist es üblich, den Mehlen Spuren von Chemikalien, meist Oxydationsmittel, zuzufügen, welche die Backfähigkeit der Mehle in überraschender Weise verbessern. Es genügen meistens Mengen von 1 bis 5 g pro 100 kg Mehl, d. h. 0,001 bis 0,005%. Oft verwendete *Mehlverbesserungsmittel* sind Kaliumbromat, Kaliumjodat, Ammonpersulfat, Chlordioxyd und Ascorbinsäure. Abb. 10 zeigt je ein Extensogramm eines unbehandelten und desselben Mehles, nachdem es mit 2 g Ascorbinsäure pro 100 kg Mehl angereichert wurde.

2 g Ascorbinsäure pro 100 kg Mehl

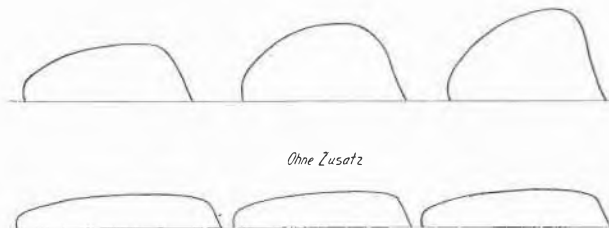
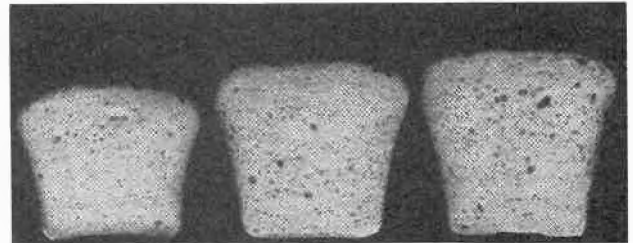


Abb. 10. Mit dem Extensographen gemessene Wirkung eines Mehlverbesserungsmittels auf die mechanischen Teigeigenschaften

Die Teige haben einen besseren Stand auf Gare und die Brote ein größeres Volumen mit besserer Porosität, wie Abb. 11 zeigt.

Der Wirkungsmechanismus der Mehlverbesserungsmittel ist zurzeit noch nicht eindeutig abgeklärt⁴⁷. Interessant ist die Theorie von SULLIVAN²⁵, wonach freie Sulfhydrylgruppen zweier benachbarter Proteinmakromolekeln (Polypeptidketten) durch die Oxydationsmittel zu Disulfidbrücken vernetzt werden, wodurch der Kleber zäher und

seine gashaltende Kraft größer wird. Auffallenderweise sind die meisten Mehlverbesserungsmittel Reagenzien, die mit Sulfhydrylverbindungen reagieren. Kürzlich konnte bewiesen werden, daß die Mehlverbesserungsmittel an den Sulfhydrylgruppen der Mehlproteine angreifen. Dabei zeigte sich, daß bereits eine Blockierung der Sulfhydrylgruppen eine Verbesserung der Teigstärke bewirkt⁴⁸.



Ohne Zusatz 0,02 % Persulfat 0,005 % Bromat

Abb. 11. Wirkung von Mehlverbesserungsmitteln auf Brotvolumen und Krumenporosität (reproduziert mit Erlaubnis des Verlages Paul Parey, Berlin/Hamburg, aus NEUMANN-PELSHENKE, *Brotgetreide und Brot*, 5. Auflage, 1954)

Es ist möglich, daß am Mehlverbesserungseffekt auch die Pentosane⁴⁹ und die Stärke⁵⁰ des Mehles mitbeteiligt sind.

42 Die Stärke des Mehles und ihre Beziehung zur Backfähigkeit

Das Mehlprotein ist in erster Linie für die gashaltende Kraft des Teiges verantwortlich. Die Stärke dagegen liefert das Rohmaterial für die Gasbildung.

Die Mehlstärke ist kein einheitliches Produkt. Sie enthält zwei Polysaccharide von verschiedener molekularer Struktur, die *Amylose* und das *Amylopektin* (Abb. 12 und 13).

Die *Amylose*, die nur 15 bis 20% der Mehlstärke ausmacht, besteht aus unverzweigten Ketten, die aus etwa 100 bis 700 Glucoseeinheiten aufgebaut sind, welche α -1-4-glykosidisch miteinander verknüpft sind.

Das *Amylopektin* ist mit 80 bis 85% der Hauptanteil der Mehlstärke. Die Amylopektinmolekel ist aus 500 bis 2000 Glucoseeinheiten aufgebaut, die in Form von buschartig verzweigten Ketten angeordnet sind. Innerhalb der Ketten sind die Glucoseeinheiten α -1-4-glykosidisch miteinander verknüpft; an den Verzweigungen herrscht die α -1-6-glykosidische Bindung⁵¹.

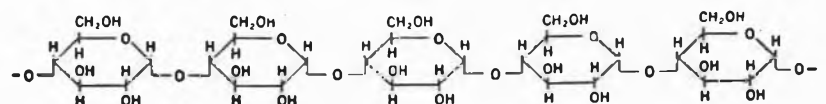


Abb. 12. Ausschnitt aus einer Amylosekette⁵¹

⁴⁸ S. GOLDSTEIN, erscheint demnächst in *Mitt. Lebensm. Hyg.*

⁴⁹ J. C. BAKER, H. K. PARKER und M. D. MIZE, *Cereal Chem.* 20 (1943) 267.

⁵⁰ I. HLYNKA, *ib.* 26 (1949) 307. I. HLYNKA und E. J. BASS, *ib.* 26 (1949) 513. I. HLYNKA und J. A. ANDERSON, *ib.* 28 (1951) 136.

⁵¹ K. H. MEYER, in *Advances Colloid Sci.* 1 (1942) 143.

⁴⁵ B. WÖSTMANN, *Cereal Chem.* 27 (1950) 391.

⁴⁶ P. DE LANGE und H. M. R. HINTZER, *ib.* 32 (1955) 307, 314.

⁴⁷ S. GOLDSTEIN, *Schweiz. landwirtsch. Mh.* 34 (1956) 47.

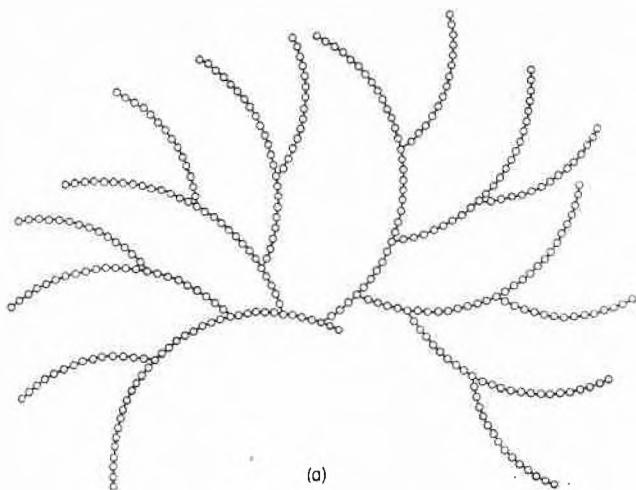


Abb. 13. Amylopektinmolekel (reproduziert mit Erlaubnis der Interscience Publishers, Inc., New York, aus P. BERNFELD, *Enzymes of Starch Degradation and Synthesis*, in *Advances in Enzymology* 12 [1951] 391, Fig. 6)

Bei der Teiggärung wird ein Teil der Stärke durch die Amylasen zu Maltose abgebaut. Der teilweise enzymatische Abbau der Stärke zu Maltose ist für die Brotbereitung von großer Bedeutung. Das Mehl enthält nur rund 1,8% präexistente Zucker und leicht hydrolysierbare Oligosaccharide⁵², die schon in den ersten Gärstadien von der Hefe vergoren werden^{6, 8, 10}. Würde keine Maltose nachgeliefert, so würde die Hefe bald Hunger leiden; sie könnte sich im Vorteig nicht genügend vermehren und die Lockerung des Teiges wäre völlig ungenügend.

Die maltoseproduzierenden Mehlenzyme sind die β -Amylase und die α -Amylase.

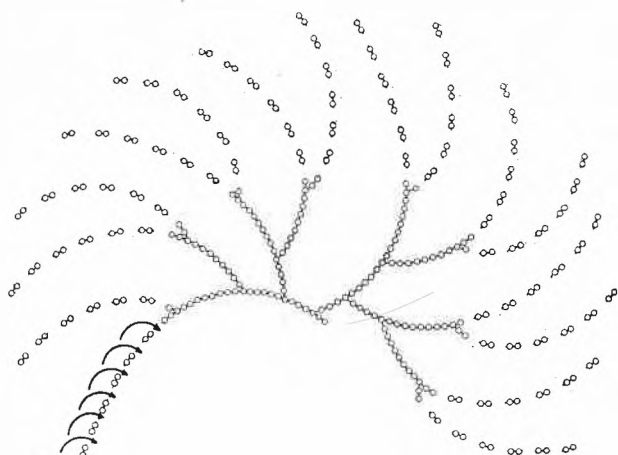


Abb. 14. Abbau des Amylopektins durch die β -Amylase (reproduziert mit Erlaubnis der Interscience Publishers, Inc., New York, aus P. BERNFELD, *Enzymes of Starch Degradation and Synthesis*, in *Advances in Enzymology* 12 [1951] 394, Fig. 9)

Die β -Amylase findet sich reichlich in gesundem, ungekeimtem Getreide⁶. Sie kann die Amylose vollständig

⁵² R. MONTGOMERY und F. SMITH, *J. Agr. Food Chem.* 4 (1956) 716.

zu Maltose abbauen, nicht aber das Amylopektin⁵³. Abb. 14 zeigt den Abbau des Amylopektins durch die β -Amylase.

Vom nichtreduzierenden Kettenende beginnend, wird eine Maltosemolekel nach der andern von der Amylopektinmolekel abgespalten. Die Maltoseabspaltung stoppt, sobald eine Verzweigungsstelle erreicht ist. Wenn die Zone der Verzweigungen erreicht ist, beträgt die Ausbeute an Maltose etwa 60% des theoretischen Wertes. Es bleibt ein praktisch nichtreduzierendes Grenzdextrin von hohem Molekulargewicht, das durch Jod noch violett angefärbt wird^{6, 53, 54, 55}.

Die α -Amylase kommt im Gegensatz zur β -Amylase in gesundem, ungekeimtem Weizen nur in extrem niedrigen Mengen vor, die praktisch wenig zur Maltoseproduktion beitragen. Hohe Mengen α -Amylase finden sich in gekeimtem Getreide⁶. Auch die α -Amylase kann die

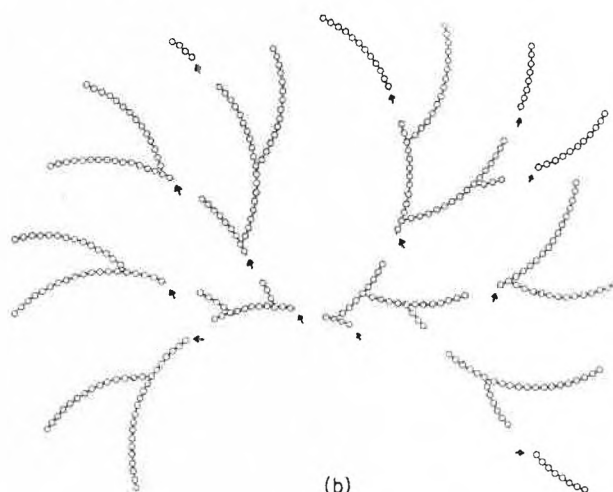
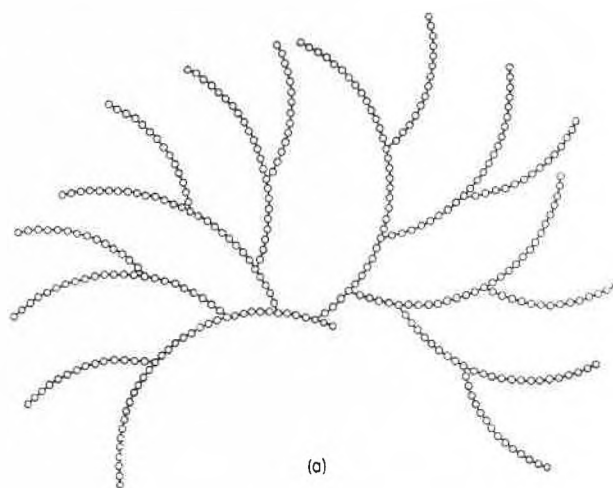


Abb. 15. Abbau des Amylopektins durch die α -Amylase (reproduziert mit Erlaubnis der Interscience Publishers, Inc., New York, aus P. BERNFELD, *Enzymes of Starch Degradation and Synthesis*, in *Advances in Enzymology* 12 [1951] 390, Fig. 6)

⁵³ P. BERNFELD, in *Advances Enzymol.* 12 (1951) 379.

⁵⁴ R. H. HOPKINS, in *ib.* 6 (1946) 389.

⁵⁵ K. H. MEYER, *Bakers Digest* 26 (1952) 65, 104.

Amylose vollständig zu Zuckern abbauen^{6, 53, 54, 55}. Der Abbau des Amylopektins durch die α -Amylase wird durch Abb. 15 veranschaulicht.

Im Gegensatz zur β -Amylase, welche die Maltose von den Kettenenden her abspaltet und bei den Verzweigungsstellen Halt macht, bringt die α -Amylase eine viel vollständigere Spaltung des Amylopektins zustande. Die Ketten werden rein zufällig gespalten. Die α -Amylase kann zwar wie die β -Amylase α -1-6-glykosidische Bindungen nicht spalten. Das Enzym dringt jedoch über die Verzweigungszone bis ins Innerste der Molekel vor und produziert niedermolekulare Dextrine, die Jod nicht mehr anfärben. Im Gegensatz zur β -Amylase, welche die Viskosität von Stärkekleister kaum reduziert, wird die Viskosität von Stärkekleister durch die α -Amylase stark erniedrigt. Die Stärke verliert ihr Quellvermögen; sie wird mehr oder weniger verflüssigt. Wenn das Stadium erreicht ist, wo sich die Abbauprodukte mit Jod nicht mehr anfärben, entspricht ihr Reduktionsvermögen etwa 30% der theoretischen Ausbeute an Maltose^{6, 53, 54, 55}.

Nach dem Gesagten ist es einleuchtend, daß bei vereinter Tätigkeit der beiden Amylasen die Ausbeute an Zuckern stark erhöht wird^{6, 55}:

Beim β -Amylase-Abbau wird das Grenzextrin durch Zusatz von α -Amylase weiter aufgespalten, wodurch neue Angriffspunkte für die β -Amylase entstehen.

Beim α -Amylase-Abbau erhöht ein Zusatz von β -Amylase die Maltoseausbeute und erniedrigt die Menge an niedermolekularen Dextrinen.

In gärenden Teigen können bis zu 5% des Mehlgewichtes zu Zuckern umgewandelt werden⁵⁶.

Wie bereits erwähnt, enthält gesundes, ungekeimtes Getreide einen Überschuß an β -Amylase, aber praktisch keine α -Amylase. Große Mengen von α -Amylase werden erst bei der Keimung des Getreides durch Synthese neugebildet⁶. Es ist daher sehr vorteilhaft, Mehlen, die in ihrem Gasbildungsvermögen träge sind, α -Amylase zuzusetzen. Dies geschieht meistens in Form von Mehlezusätzen aus gekeimtem bzw. gemälztem Getreide, d.h. durch Zusätze von Malzmehl. Malzmehl hat jedoch nicht nur einen hohen Gehalt an α -Amylase, sondern ist auch reich an Proteinase, die ebenfalls bei der Keimung neugebildet werden⁵⁷. Malzmehlzusatz zu einem Mehl hat daher neben der Erhöhung der Zuckerproduktion immer einen mehr oder weniger ausgeprägten Kleberabbau zur Folge, der je nach der Stärke des Klebers erwünscht oder unerwünscht ist^{9, 10}. Will man nur die Zuckerproduktion erhöhen, so mischt man dem Mehl oder Teig vorteilhaft reine α -Amylase-Präparate bei, wie dies neuerdings in Form von Pilz- α -Amylasen geschieht, die frei sind von Proteinase^{10, 15, 58}.

Abb. 16 zeigt die Wirkung des Zusatzes eines α - und eines β -Amylasepräparates auf die Maltosebildung.

⁵⁶ Q. LANDIS, *Cereal Chem.* 11 (1934) 24.

⁵⁷ F. C. HILDEBRAND, in *Enzymes and Their Role in Wheat Technology*, herausgegeben von J. A. ANDERSON, New York 1946.

⁵⁸ C. G. HARREL, H. W. LINCOLN und F. L. GUNDEBSON, *Bakers Digest* 24 (1950) 97.

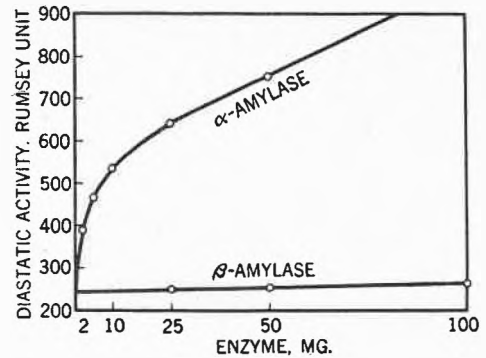


Abb. 16. Wirkung eines α - bzw. β -Amylase-Zusatzes auf den Maltosewert (diastatische Aktivität) (reproduziert mit Erlaubnis der American Association of Cereal Chemists, University Farm, St. Paul 1, Minnesota, aus O. E. STAMBERG und C. H. BAILEY, Effect of Adding Alpha- und Beta-Amylasen to Doughs, in *Cereal Chemistry* 16 [1939] 47, Fig. 6)

Da die Mehle an sich schon reichlich β -Amylase enthalten, ist ein weiterer Zusatz wirkungslos; nur ein Zusatz von α -Amylase kann die Maltosebildung und daher die Gasbildung und das Brotvolumen erhöhen (Abb. 17).

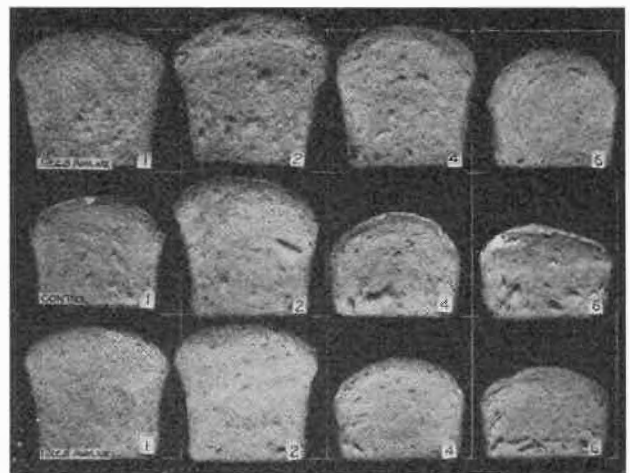


Abb. 17. Wirkung eines α - bzw. β -Amylase-Zusatzes auf das Brotvolumen nach 1, 2, 4 und 6 Stunden Gärdauer der entsprechenden Teige (reproduziert mit Erlaubnis der American Association of Cereal Chemists, University Farm, St. Paul 1, Minnesota, aus O. E. STAMBERG und C. H. BAILEY, Effect of Adding Alpha- and Beta-Amylasen to Doughs, in *Cereal Chemistry* 16 [1939] 46, Fig. 4)

Bei der Produktion von Malzmehl wird Getreide auf künstlichem Wege zur Keimung gebracht. Auf natürliche Weise geschieht diese Keimung beim *Auswuchsweizen*, das ist Weizen, der bei nassem Erntewetter bereits auf dem Felde in den Ähren auskeimt. Mehl aus Auswuchsweizen enthält einen Überschuß an α -Amylase, der die Stärke weitgehend zu niedermolekularen Dextrinen abbaut, wodurch die Stärke ihr Wasserbindungsvermögen verliert. Besonders im ersten Stadium des Backprozesses entfaltet die α -Amylase eine sehr aktive Tätigkeit. Durch die ansteigende Temperatur verkleistert die Stärke und wird von der α -Amylase intensiv angegriffen. Das makromolekulare Netzwerk der Stärke

wird in niedermolekulare Bruchstücke gespalten, wodurch das intermizellare Wasser freigegeben wird. Zugleich koaguliert der Kleber durch die Ofenhitze unter Freigabe von Quellwasser, das von der abgebauten Stärke nicht mehr gebunden werden kann. Die Folge des Stärkeabbaus ist eine feuchte, klebrige Krume^{6, 59, 60, 61}. In extremen Fällen ist die Krume so naß, daß sie zusammenfällt und sich von der Kruste löst. Mehle aus stark auswuchshaltigen Weizen sind nicht backfähig (Abb. 18).

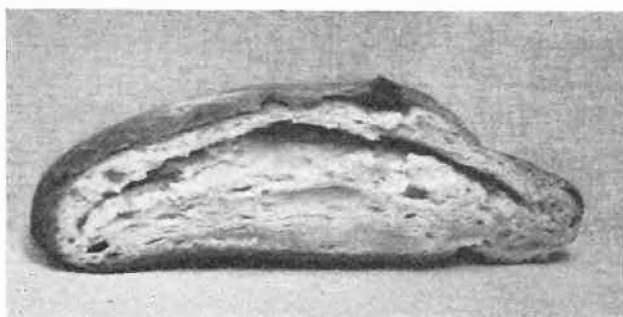


Abb. 18. Brot aus Auswuchsmehl

Die Unmöglichkeit, aus Auswuchsmehl normales Brot zu verbaken, beweist, daß der Stärke bei der Krumenbildung eine wichtige Rolle zukommt.

Die Getreidechemiker haben bisher die Stärke in erster Linie als Rohstoff für die Gasbildung betrachtet und als Gerüstsubstanz fast ausschließlich den Kleber bezeichnet. Vor allem die Getreidechemiker KOSMIN⁶⁰ und ROTSCH⁶² haben aber den Nachweis erbracht, daß die Stärke auch als Gerüstsubstanz von Bedeutung ist.

Wie bereits erwähnt, stellt die Maltosebestimmung nach einstündiger Autolyse einer Mehl-Wasser-Suspension eine einfache und zuverlässige Methode dar, um das Gasbildungsvermögen eines Teiges vorauszusagen. Die Bestimmung des *Maltosewertes* ist ein unentbehrliches Hilfsmittel bei der Ermittlung der Backfähigkeit.

Der Maltosewert ist sowohl abhängig vom Amylasegehalt als auch von der Stärkeangreifbarkeit. Bei Auswuchsmehlen ist der Maltosewert hauptsächlich eine Funktion des α -Amylase-Gehaltes. Bei Mehlen, die von gesundem, nichtausgewachsenem Weizen stammen, ist der Maltosewert vor allem eine Funktion der Stärkeangreifbarkeit. Solche Mehle enthalten ja β -Amylase im Überschuß, praktisch aber keine α -Amylase. Es ist nun von großer Wichtigkeit, daß die β -Amylase nur mechanisch beschädigte Stärkekörner angreifen kann. Bei der Mehrzahl der Mehle wird daher der Gehalt an beschädigten Stärkekörnern zum Minimumsfaktor, der die Höhe des Maltosewertes bestimmt⁶.

Der Müller hat es bis zu einem gewissen Grade in der Hand, durch Variation des Mahlverfahrens, z. B. durch

⁵⁹ G. MOLIN, *Mühlenslaboratorium* 2 (1932) 61; *Cereal Chem.* 11 (1934) 153.

⁶⁰ N. KOSMIN, *Cereal Chem.* 10 (1933) 420; *Das Problem der Backfähigkeit*, Leipzig 1936.

⁶¹ H. C. FREEMAN und W. P. FORD, *J. Soc. Chem. Ind.* 60 (1941) 6.

⁶² A. ROTSCH, *Brot u. Gebäck* 7 (1953) 121, 8 (1954) 129.

die Art der Walzenführung, die Mehlstärke mehr oder weniger mechanisch zu beschädigen und dadurch die Gasbildung der Mehle zu beeinflussen⁶.

43 Die Lipide des Mehles und ihre Beziehung zur Backfähigkeit

Es sind einige gute Zusammenfassungen über die Mehl-lipide vorhanden^{63, 64, 65}.

Die Ansichten der Getreidechemiker über den Einfluß der Mehl-lipide sind sehr widerspruchsvoll. Eine Gruppe von Forschern⁶⁶ vertritt die Ansicht, daß die Mehl-lipide die Backfähigkeit in ungünstigem Sinne beeinflussen; einen Beweis hierfür erblicken sie in der Vergrößerung des Brotvolumens nach Extraktion der Lipide aus dem Mehl. Andere Autoren⁶⁷ fanden im Gegensatz dazu, daß die Backfähigkeit durch *Zusatz* von Mehl-fett verbessert wurde.

Der wasserfreie Weizenkleber besteht nur zu 80% aus Protein; er enthält neben rund 10% Stärke noch etwa 10% Lipide, die nach SULLIVAN²⁵ durch starke elektrostatische Kräfte an das Protein gebunden sind. MECHAM und MOHAMMAD⁶³ stellten kürzlich fest, daß durch Extraktion der Lipide der Kleber an Dehnbarkeit verliert. Nach HESS^{41, 69} verliert das Mehl auch das Teigbildungsvermögen, wenn man die *Phospholipide* daraus extrahiert. HESS⁴¹ sowie OLCOTT und MECHAM⁷⁰ nehmen an, daß Phosphatide des Mehles mit gewissen Mehlproteinen in Form von *Lipoproteiden* vereinigt sind.

Der Einfluß der Mehl-lipide auf die Backfähigkeit ist noch weitgehend unabgeklärt.

44 Zusammenfassung

Backfähigkeit

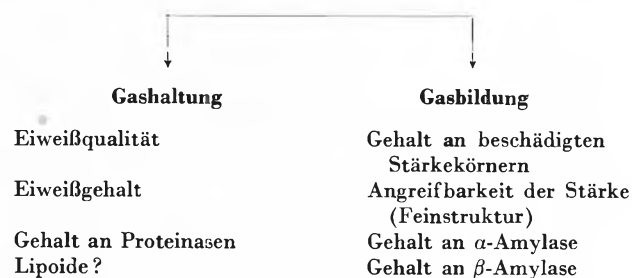


Abb. 19. Die wichtigsten Mehlbestandteile und ihre Beziehung zur Backfähigkeit

⁶³ C. H. BAILEY, *The Constituents of Wheat and Wheat Products*, New York 1944.

⁶⁴ J. B. COPPOCK, M. A. COOKSON, D. H. LANEY und D. W. AXFORD, *J. Sci. Food Agr.* 5 (1954) 8.

⁶⁵ D. K. MECHAM und J. W. PENCE, *Bakers Digest* 31 (1957) Nr. 1, 40.

⁶⁶ A. G. SALOMON, *J. Soc. Chem. Ind.* 27 (1908) 375. K. MOHS, *Z. ges. Getreidewes.* 1 (1924) 37. E. B. BENNION, *J. Soc. Chem. Ind.* 45 (1926) 435. W. F. GEDDES, *Canad. J. Res.* 2 (1930) 195. A. H. JOHNSON und W. O. WHITCOMB, *Cereal Chem.* 8 (1931) 392.

⁶⁷ Research Association of British Flour Millers, *Canad. Milling Grain J.* 1932, 9. C. E. RICH, *Cereal Chem.* 11 (1934) 201.

⁶⁸ D. K. MECHAM und A. MOHAMMAD, *Cereal Chem.* 32 (1955) 405.

⁶⁹ K. HESS, *Getreide u. Mehl* 3 (1953) 81.

⁷⁰ H. S. OLCOTT und D. K. MECHAM, *Cereal Chem.* 24 (1947) 407.

Auf der vorausgegangenen Abbildung sind die wichtigsten Mehlbestandteile und ihre Beziehung zur Backfähigkeit dargestellt.

5 Schlußbetrachtung

Die Forschungen der Biochemie und der makromolekularen Chemie im allgemeinen sowie der Getreidechemie im speziellen haben es ermöglicht, daß heute die komplizierten Vorgänge der Brotbereitung einigermaßen

überblickt werden können. Es ließe sich an zahlreichen Beispielen darlegen, daß diese Forschungen für die praktische Brotherstellung von hohem Nutzen waren. Einige dieser Beispiele wurden in der vorliegenden Arbeit erwähnt. Erst die weitere Abklärung der Chemie und Feinstruktur der Mehlbestandteile und ihrer Wechselwirkung wird aber die Voraussetzung dafür schaffen, daß der Brotbereitungsprozeß noch planmäßiger gelenkt werden kann, als dies heute der Fall ist.