

INSTITUUT VOOR GRAAN, MEEL EN BROOD TNO

Wageningen

Mededeling Nr. 199

Teig und Brot aus Stärke ohne Kleber

Von Dr. G. Jongh, T. Slim und H. Greve



Sonderdruck aus BROT UND GEBÄCK, 21 (9) 165-173 (1967)

In seinen zwischen 1949 und 1954 erschienenen Veröffentlichungen hat Rotsch (8, 9, 10) nachgewiesen, daß es möglich ist, Brot aus Stärketeigen herzustellen, wenn Kleber durch eine andere in Wasser quellbare Substanz ersetzt wird.

1961 veröffentlichten wir die Ergebnisse einer Untersuchung über den Einfluß von Glycerylmono- und -distearat (GMS) auf einen Stärketeig (4). Es zeigte sich, daß schon eine Zugabe von 0,02% GMS imstande war, dem Stärke/Wasserteig ein genügendes Gashaltevermögen zu erteilen, um die Teiggare zu ermöglichen.

An dieser Stelle werde ich eine Übersicht der Ergebnisse geben, welche bei Stärketeigen unter Verwendung von GMS, Polyoxyaethylenstearat (POAS), Triglyzeriden, Hühnereiweiß, Gliadin und Kleber erzielt wurden. Es wird eine Erklärung der beobachteten Erscheinungen gegeben und einige Schlußfolgerungen gezogen werden mit Bezug auf die Rolle, welche die Stärke bei der Brotherstellung aus Weizenmehl spielt, sowie über das Altbackenwerden von Brot. Zum Schluß werde ich einige Ergebnisse zeigen über

die Anwendung des Erörterten auf Kassavastärke und Gemische davon mit eiweißhaltigen Mehlsorten.

Der Einfluß von GMS auf einen Stärketeig

Bei unseren Versuchen mit GMS bestand der Standardteig aus Weizenstärke mit 60% Wasser, 2% Kochsalz, 4% Zucker und 6% Hefe. (Die Prozentsätze beziehen sich auf die Stärke.) Teigen dieser Zusammenstellung setzten wir ein GMS-Präparat in ansteigenden Mengen zu. Das Gemisch wurde fünf Minuten im Knetbottich des Farinographen gemischt und gleich darauf in eine Brotform gebracht. Nach einer Gare von 15 Minuten bei 30°C wurde durchgerührt. Daran anschließend wurde eine letzte Gare von 45 Minuten gegeben, und es wurde während 20 Minuten bei 240°C abgebacken. Für die GMS-Zugabe wurde ein GMS-Handelspräparat verwendet, das 50% Mono- und 40% Distearat enthielt. Es wurde in Form einer wäßrigen Emulsion zugegeben.

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse von Backversuchen mit dem Standardteig (links) und, in weiterer Reihenfolge, mit

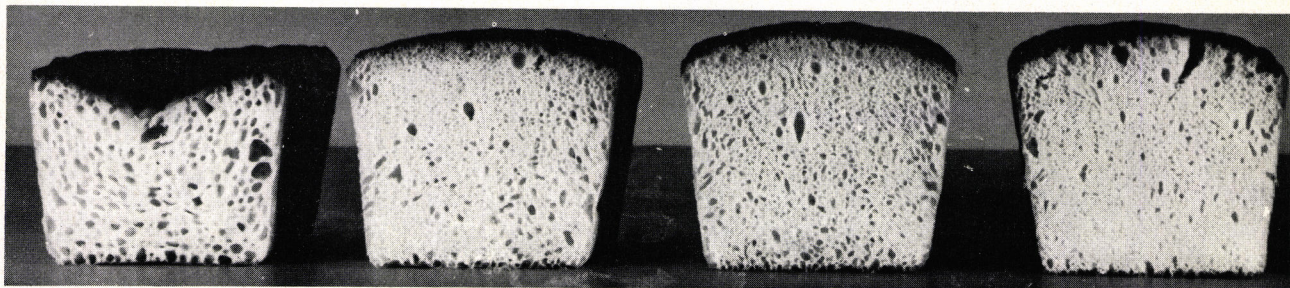


Abb. 1: Brotquerschnitte (Brote aus Weizenstärke, 60% Wasser). Von links nach rechts: 0% — 0,05% — 0,1% — 1% GMS.

0,05 — 0,1 — 1,0 % GMS. Während das Stärkebrot ohne GMS einen sehr schlechten Ausbund und eine unregelmäßige und sehr grobe Porung mit dicken Zellwänden zeigt, wird dagegen bei Anwesenheit von GMS ein guter Ausbund und eine regelmäßige und sehr feine Porung erzielt.

Zur Erklärung dieses auffälligen Effektes muß die Tatsache in Betracht gezogen werden, daß Stärkekörner in wäßriger Suspension sich untereinander abstoßen. Wenn in irgendeiner Weise diese Abstoßung in eine Anziehung umgewandelt wird, flockt die Suspension aus. Im Fall einer verdünnten Suspension heißt das, daß die Stärkekörner sich zu Flocken vereinigen und daß das Sediment ein größeres Volumen hat, als wenn die Teilchen sich abstoßen.

Abbildung 2 bringt das Ergebnis eines Versuches, der dieses Verhalten aufzeigt. Die linke Röhre enthielt 2 g Stärke und 100 ml Wasser; die rechte 2 g Stärke, 99 ml Wasser und 1 ml einer GMS-Emulsion, welche 0,1 g GMS entsprach. Nach Schütteln, bis eine homogene Suspension erreicht war, wurden beide Röhren zugleich hingestellt. Das Sedimentvolumen war nach fünf Minuten in der linken Röhre 1,0 ml, in der rechten 31,0 ml. Im Laufe der darauffolgenden zwei Stunden nahm das Sedimentvolumen links noch langsam zu bis 3,7 ml; ein Beweis dafür, daß die Suspension noch nicht völlig abgesetzt war. In der rechten Röhre dagegen nahm in derselben Zeitspanne das Sedimentvolumen langsam ab bis 17,9 ml. Dieser Versuch beweist, daß das GMS sich an die Oberfläche der Stärkekörner heftet und daß diese sich danach anziehen.

Wenden wir uns wieder dem Stärketeig zu, so muß bemerkt werden, daß dieser, dem chemischen Sprachgebrauch nach, eine konzentrierte wäßrige Stärkesuspension

darstellt mit einer Stärkekonzentration von 63 %. Dies beinhaltet, daß die Stärkekörner nur von einer dünnen Wasserschicht getrennt sind und sich kaum noch weiter absetzen können. Die Suspension der sich untereinander abstoßenden Teilchen fließt über die Oberfläche des Gefäßes aus, bis sie von der Wand zum Stehen gebracht wird. Wenn Druck ausgeübt wird, z. B. durch verhältnismäßig schnelles Rühren, nimmt die Suspension vorübergehend die Eigenschaften eines festen Stoffes an; sobald der Druck nachläßt, fließt die Suspension wieder aus. Mit anderen Worten: Die Suspension zeigt Dilatanz, was eine allgemeine Erscheinung ist bei konzentrierten Suspensionen von Teilchen, die sich abstoßen und sich dadurch ohne Bindung aneinander bewegen. Wenn in so einer konzentrierten Suspension die Teilchen durch irgendeine Ursache sich anzuziehen anfangen, wird die Beweglichkeit geringer, und es entsteht eine mehr oder weniger veränderliche Zellenstruktur. In diesem ausgeflockten Zustand hat das System als ganzes mehr Raum zwischen den Stärkekörnern; es kann daher auch mehr Wasser zwischen den Stärkekörnern einschließen. Zugleich mit dem Entstehen der Bindungen wird das System daher äußerlich trocken. Wenn die Kraft, mit der die Teilchen sich anziehen, eine bestimmte Größe erreicht hat, ist das System plastisch, das heißt, daß es sich durch Kneten verformen läßt, aber wenn es belassen wird, behält es die beim Kneten erhaltene Form.

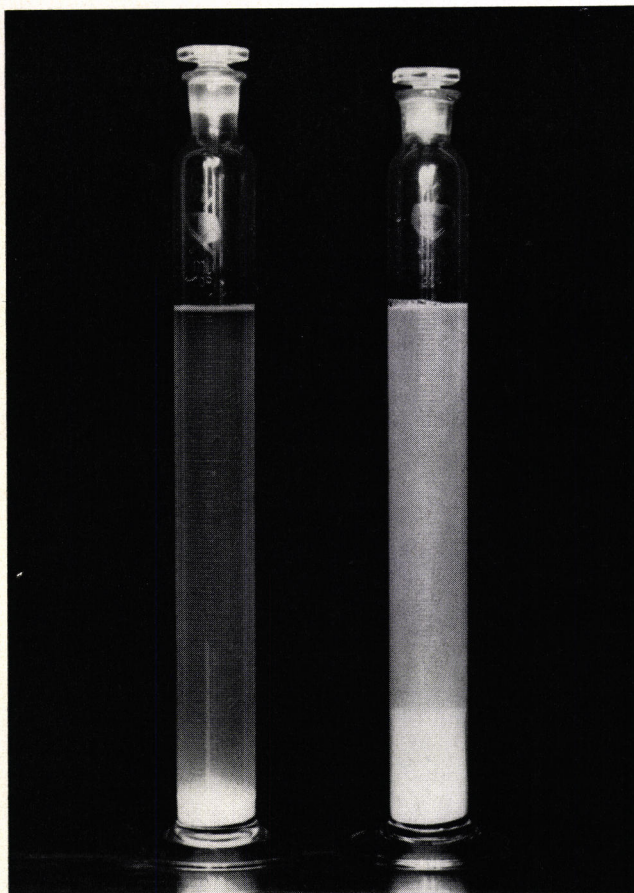


Abb. 2: Ausflockung einer verdünnten Weizenstärkesuspension (2 g Stärke in 100 ml Wasser).
Links: Vergleich. Rechts: mit Zusatz von 0,1 g GMS.

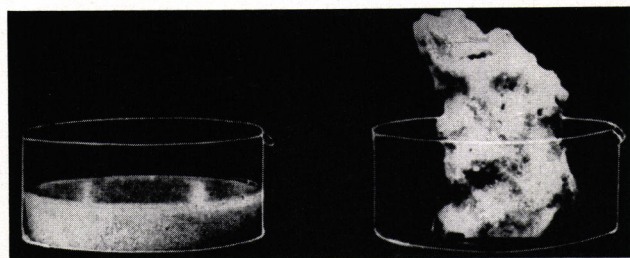


Abb. 3: Links: trockene Weizenstärke in Xylol (dilatant),
rechts: Stärke mit 12 % Wasser in Xylol (plastisch).

Abbildung 3 zeigt ein der Literatur entnommenes Beispiel. Links sehen wir ein dilatantes System, nämlich trockene Stärke in Xylol, und rechts dasselbe System, das durch Zusatz von 12 % Wasser plastisch geworden ist.

Tatsächlich fanden wir, daß ein Stärketeig weniger dilatant wurde, je nachdem mehr GMS hinzugefügt wurde; mit einigen Prozenten GMS ist der Teig völlig plastisch. Mit 5 % GMS war die Beweglichkeit zu gering, um eine Teiggare überhaupt zu ermöglichen. Wenn bei solchen Teigen mehr Wasser zugegeben wurde (z. B. 85 %), so wurde wieder ein gutes Brot erhalten.

Collison (3) hat durch Messungen mit dem Steiner-Rheometer nachgewiesen, daß bei so niedrigen Schubspannungen, so daß kein Dilatanz-Effekt auftritt, der Zusatz von GMS die Viskosität steigert, was das Auftreten von Plastizität bestätigt.

Schlußfolgerungen

Aus dem bisher Erörterten läßt sich folgendes schließen: GMS wird an die Oberfläche der Stärke adsorbiert; dadurch entsteht ein Zusammenhang zwischen den Stärkekörnern. Das bringt eine regelmäßige Verteilung von kleinen Poren zwischen den Stärkekörnern mit sich, in denen das Wasser, die beim Kneten hineingeschlagene Luft und die bei der Gare und bei dem Ofentrieb gebildete CO₂ und Wasserdampf besser festgehalten werden. So kann ein aufgegangener Teig mit regelmäßiger Porenstruktur entstehen, welche nach dem Backvorgang in der Krumenstruktur des Brotes wiederzufinden ist.

Hierbei ist noch zu erwähnen, daß unter Verwendung von zahlenmäßigen Daten, welche von Stamborg (13) mit Bezug auf die Gesamtoberfläche der Stärke gegeben wurden, berechnet werden konnte, daß sich eine etwa 50 Å dicke Schicht bildet, wenn 0,1 % GMS gleichmäßig über die Oberfläche der Stärke verteilt ist. Hieraus ist zu folgern, daß mit etwa 0,1 % GMS die Oberfläche mit einer ein oder zwei Moleküle dicken GMS-Schicht bedeckt sein wird.

Einfluß von GMS auf die Zellwände der Brotkrume

Aus dem bisher Erörterten stellt sich heraus, daß GMS die Porenstruktur der Brotkrume stark beeinflusst. Der Einfluß von GMS erstreckt sich aber auch über die Bindungen in den Zellwänden der Krume. Dies wird an Hand der Mikrofotografien von Abb. 4 erörtert.

Die Abbildung ganz links oben ist eine Mikrofotografie einer Zellwand aus Brot ohne GMS. Die gequollenen Stärkekörner sind nahezu völlig zu einer homogenen Masse verbunden. Die ursprünglichen Körner sind nur noch andeutungsweise sichtbar. In Übereinstimmung damit sind die Zellwände sehr starr.

Schon mit 0,02 % GMS sind die einzelnen Stärkekörner deutlich gesondert erkennbar. Dies ist in zunehmendem Maße der Fall bei Verwendung von 0,05 % bzw. 0,1 %

GMS. Bei den noch höheren Prozentgehalten ist der Zusammenhang so geringfügig, daß die Stärkekörner im Präparat nahezu ganz lose voneinander liegen. Das läßt sich wie folgt erklären:

Die gequollenen Stärkekörner sind in der Ofenwärme sehr weich und leicht verformbar. Durch die in den Zellwänden auftretenden Spannungen werden sie verformt, und sie werden dicht nebeneinander gedrängt. Die stark hydrophilen Oberflächen der gequollenen Stärkekörner werden sich dann im abkühlenden Brot leicht miteinander verbinden. In dem einmal abgekühlten Brot bilden sich auch weiterhin immer kräftigere Bindungen, sowohl zwischen den Amylopektinseiten innerhalb der Stärkekörner wie zwischen den Stärkekörnern untereinander. Die erstgenannte Erscheinung wurde von Schöch und French (12) als „echtes Altbackenwerden“ bezeichnet.

Wenn die Stärkeoberfläche mit GMS bedeckt ist, werden die Bindungskräfte zwischen den Körnern beträchtlich abgeschwächt, was mikroskopisch hervortritt in der größeren Selbständigkeit der Stärkekörner. Der Einfluß des GMS äußert sich in der Zellwand durch Herabsetzung der Starrheit, begreiflicherweise aber zu gleicher Zeit durch Zunahme der Krümeligkeit.

Mit Bezug auf Brot aus Weizenmehl werden wir noch auf die Fragen der Weichheit der Krume und des Altbackenwerdens zurückkommen.

Andere „Kittstoffe“ als GMS

Aus dem bisher Erörterten scheint es wohl zulässig zu schließen, daß der dritte Komponent (oder Kombination von Komponenten), welcher nebst Stärke und Wasser notwendig ist für die Herstellung von Brot, geeignet sein soll als Kittstoff für die Stärkekörner und jedenfalls den nachfolgenden Anforderungen entsprechen soll:

1. Die Bindung zwischen den Stärkekörnern, welche während der Gare unter Einfluß des Kittstoffes zustande kommt, soll genügend fest sein, um vorzeitiges Leckwerden des Teiges zu verhüten, auch über den Ofentrieb hinaus;
2. diese Bindung soll jedoch eine genügende Beweglichkeit übriglassen, um das Aufgehen des Teiges zu ermöglichen;

3. der Kittstoff soll derartige Eigenschaften besitzen, daß er eine zu starke Bindung zwischen den gequollenen Stärkekörnern in den Lamellen der Krume verhindert, ohne jedoch den Zusammenhang völlig zu lösen.

Wenn ein Kittstoff diesen Anforderungen entsprechen soll, können grundsätzlich Stoffe verschiedener Art dazu dienen. Das ist z. B. der Fall mit Triglyzeriden, es sei denn, daß die benötigte Menge viel größer ist als bei Verwendung von GMS. In der oberen Reihe von Abbildung 5 sind neben dem Stärke/Wasser-Vergleichsbrot Brote dargestellt, welche mit 5 bzw. 10 % Schmalz bereitet wurden.

In der zweiten Reihe sind zum Vergleich Brote mit 0,1 und 1 % GMS und ein Brot mit 1 % Polyoxyaethylenstearat (POAS) aufgenommen. Der letztgenannte oberflächenaktive Stoff wird, ebenso wie GMS, an die Stärkeoberfläche gebunden. Die Anziehungskraft zwischen den mit POAS umhüllten Teilchen ist jedoch beträchtlich schwächer als bei der Umhüllung mit GMS. Folgende Tatsachen sind damit im Einklang: a) Ein POAS-enthaltender Teig geht beträchtlich schneller auf als ein Teig mit GMS; b) die Struktur ist viel weniger regelmäßig; c) im gebakenen und abgekühlten Brot ist die Bindung zwischen den gequollenen Stärkekörnern so schwach, daß das Brot bei Berührung auseinanderfällt. Die geringe Anziehungskraft zeigte sich auch bei Ausflockungsversuchen mit einer verdünnten Stärkesuspension: Es findet nämlich mit POAS wohl eine Ausflockung statt, aber das Sedimentvolumen wird durch POAS beträchtlich weniger erhöht als durch GMS (nach fünf Minuten war das Sedimentvolumen bei

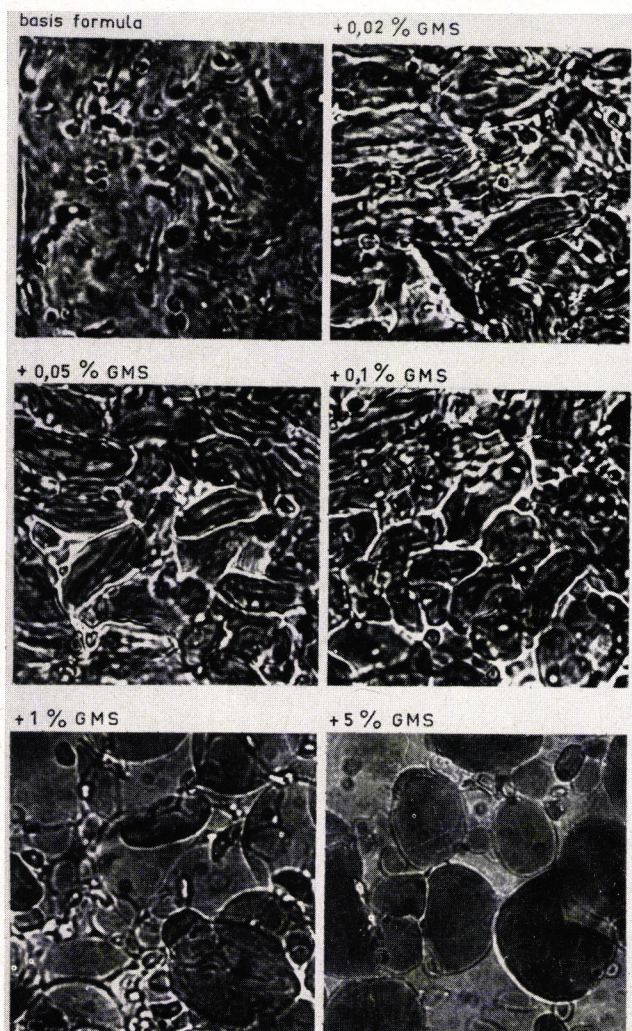


Abb. 4: Mikrofotografien der Brotkrume von Weizenstärkebrot (Vergrößerung 500mal). Variierte GMS-Zusätze.

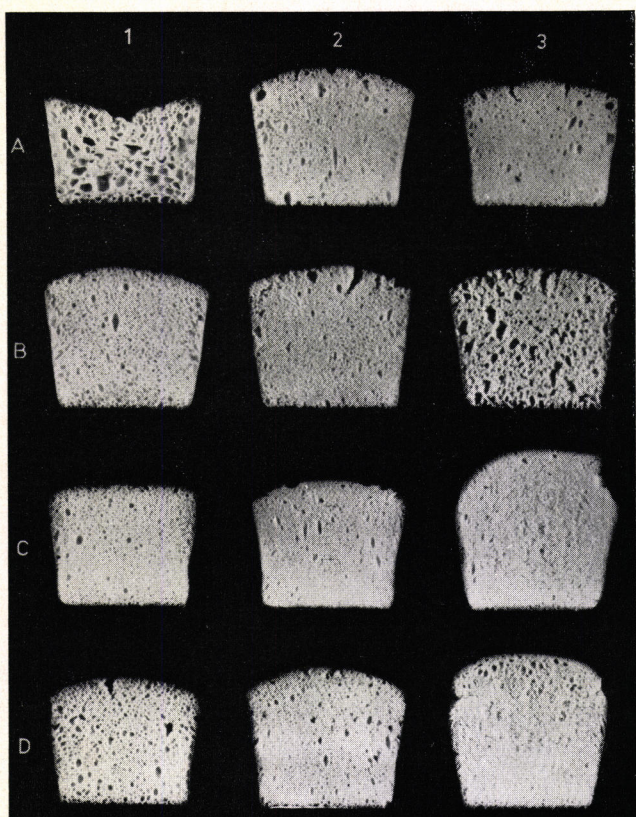


Abb. 5: Einfluß verschiedener Kittstoffe.

A₁ Weizenstärke, 60% Wasser

B₁ mit 0,1% GMS

C₁ mit 0,1% Hühnereiweiß

D₁ mit 0,1% Gliadin

A₂ mit 5% Schmalz

B₂ mit 1% GMS

C₂ mit 1% Hühnereiweiß

D₂ mit 1% Gliadin

A₃ mit 10% Schmalz

B₃ mit 1% POAS

C₃ mit 15% Hühnereiweiß

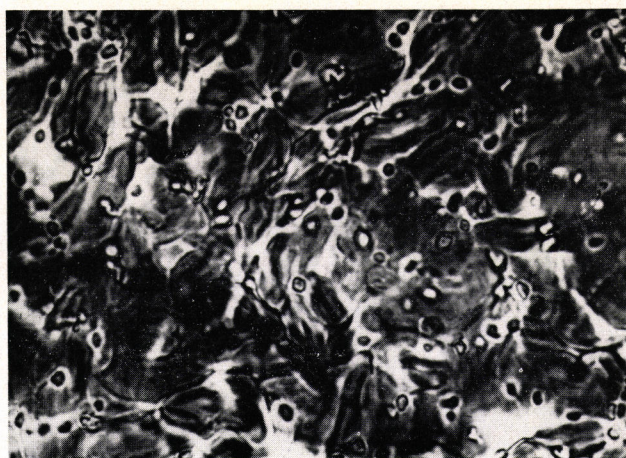
D₃ mit 11% Gliadin

der Vergleichssuspension 1 ml, bei POAS 7 ml und bei GMS 31 ml).

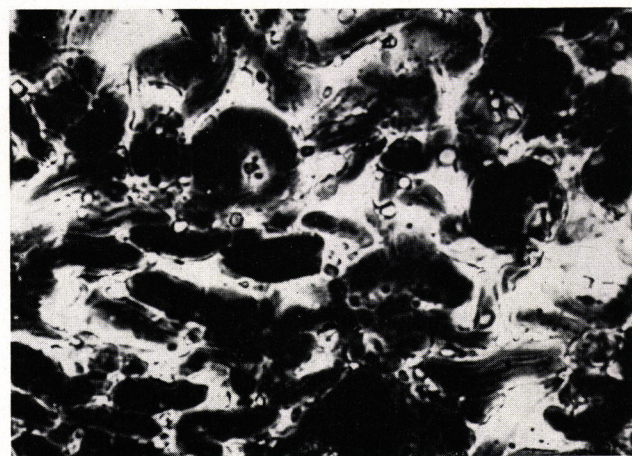
Die in der dritten Reihe von Abbildung 5 dargestellten Brote wurden mit Hühnereiweiß bereitet, und zwar bzw. mit 0,1%, 1% und 15%. Dieses bei Zimmertemperatur korpulente Eiweiß denaturiert in der Wärme. In höheren Zusätzen bildet dieses nach Denaturierung hydrophile Eiweiß in der Brotkrume eine einigermaßen elastische Verbindung zwischen den Stärkekörnern, und es verleiht der Krume mehr Zusammenhang und Elastizität, als es bei den eher genannten Zugaben der Fall war.

Die Brote der unteren Reihe wurden mit Gliadin hergestellt, und zwar in Zugaben von bzw. 0,1%, 1% und 11%. Ein Teig, der dieses schon bei Zimmertemperatur hydrophile Eiweiß enthält, ist weniger „kurz“ als ein Teig mit Hühnereiweiß.

Es wird jetzt nur noch ein Beispiel aus der eben erörterten Serie von Kittstoffen hervorgehoben, um die abschirmende Wirkung zu zeigen, die Schmalz auf die Stärkekörner in den Lamellen der Brotkrume ausübt. Diese Wirkung läßt sich in Abbildung 6 beobachten, wo Mikrofotografien der Brotkrume eines mit 10% Schmalz bereiteten Brotes und eines Vergleichsbrottes nebeneinander dargestellt sind.



Vergleich ohne Schmalz.



Mit 10% Schmalz.

Abb. 6: Einfluß von Schmalz auf die Krumenbeschaffenheit in Brot von Weizenstärke (500mal).

Kleber als dritter Komponent

Im Lichte der gegebenen Beispiele liegt es auf der Hand, auch Kleber in Brot aus Weizenmehl als Kittstoff zwischen Stärkekörnern zu betrachten. Ein großer Unterschied mit den eher besprochenen Kittstoffen liegt in der beträchtlich größeren Elastizität des Klebers, durch welche sowohl Teig als Brotkrume elastische Eigenschaften erhalten.

Wir kommen dann aber zu dem Schluß, daß auch in einem Teig aus Weizenmehl die Stärkekörner unentbehrlich sind für die Bildung kleiner Poren, innerhalb welcher Wasser, die beim Kneten durch den Teig geschlagene Luft, das während der Gare gebildete Kohlendioxidgas und der in dem Ofen entwickelte Wasserdampf festgehalten werden, und durch welche diese regelmäßig durch den Teig verteilt werden. Der Kleber spielt hierbei die Rolle des Kittstoffes, der den erwünschten Zusammenhang zwischen den Stärkekörnern zustande bringt.

Diese Vorstellung der Tatsachen steht keineswegs im Widerspruch mit der großen Bedeutung, welche Kleber für die Qualität des Weizenmehls trägt, denn es hängt von dem Grad der Elastizität innerhalb des Klebers und von der Bindungskraft zwischen Kleber und Stärke ab, ob die nachfolgenden Bedingungen erfüllt sind:

a) Es soll ein genügender Zusammenhang zwischen den Stärkekörnern vorhanden sein, um die gewünschte Struktur entstehen zu lassen;

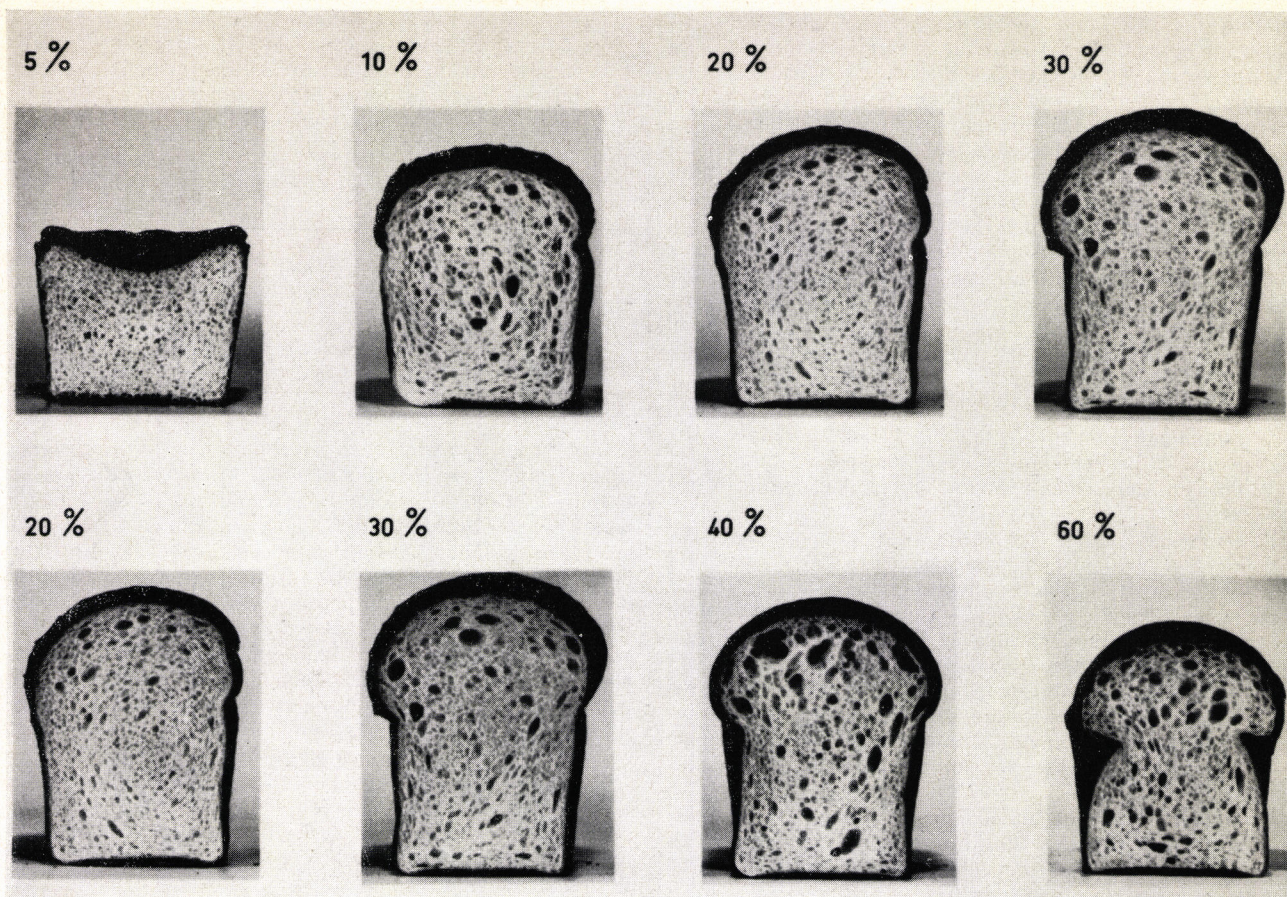
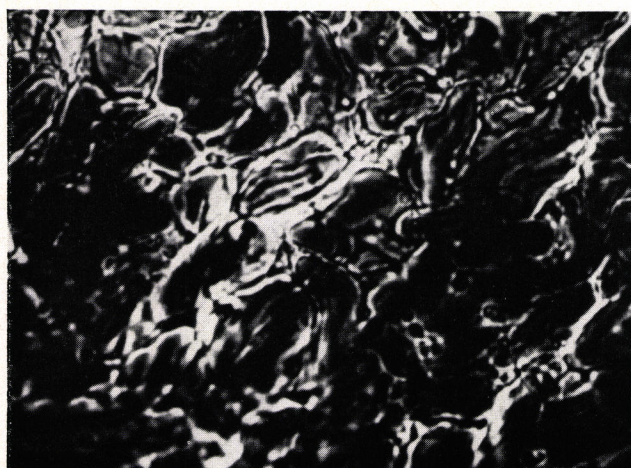


Abb. 7: Brote aus Weizenstärke mit unterschiedlichen Klebermengen. Eiweißgehalt bzw. 5—10—20—30, 20—30—40—60‰.



Stärke mit 10‰ Kleber.



Stärke mit 20‰ Kleber.

Abb. 8: Mikrofotografien (500mal) der Krume von Weizenstärkebrotten mit unterschiedlichen Klebermengen.

b) zu gleicher Zeit sollen die Stärkekörner in genügendem Maße beweglich bleiben, um die Teiggare zu ermöglichen;

c) der Teig soll genügend elastisch sein, um Verarbeitung nach den gebräuchlichen Brotherstellungsverfahren zu ermöglichen; dabei ist ein zu „kurzer“ Teig unerwünscht.

Das gebackene Kleber/Stärkebrot

In dem abgebackenen Brot veranlaßt der Kleber die Elastizität der Krume. Es sind aber die gequollenen Stärke-

körner, die dem Brot die gewünschte Festigkeit erteilen. Dies wird an Hand einer Serie von Backversuchen mit Stärke/Klebergemischen variierter Zusammenstellung erläutert.

Abbildung 7 zeigt, daß Erhöhung des Eiweißgehaltes bis etwa 30‰ in der Trockensubstanz die Brotqualität verbessert. Mit 40‰ Eiweiß und darüber haben die Brote aber eine ungenügende Festigkeit; beim Abkühlen findet ein Zusammenschrumpfen der Brote statt.

Die Mikrofotografien von Lamellen der Brotkrume in Abbildung 8 zeigen, daß die Verbesserung der Brot-

qualität bei Erhöhung des Eiweißgehaltes von 10 % auf 20 % mit einer besseren Umhüllung der Stärke durch Kleber einhergeht. Zu gleicher Zeit bleiben die Kleberschichten so dünn, daß noch von einer kompakten Packung der Stärkekörner in den Lamellen gesprochen werden darf.

Mit 30 % Eiweiß ist dies offenbar auch noch der Fall. Bei mit Jodlösung angefärbten mikroskopischen Präparaten war aber zu beobachten, daß bei 40 % und mehr Eiweiß die Kleberschichten in den Lamellen sehr dick sind im Vergleich zu den Abmessungen der Stärkekörner. Offenbar überwiegen in diesem Fall die elastischen Eigenschaften des Klebers so, daß das Brot bei Abkühlung zusammenschrumpft.

Das Altbackenwerden bei kleberhaltigem Brot

Wir kommen nun zurück auf die früher erwähnten Ursachen des Altbackenwerdens der Krume des Stärkebrotes und können unsere Betrachtung auf kleberhaltiges Brot erweitern.

Die Bildung immer kräftiger werdender Wasserstoffbindungen zwischen den Amylopektinzweigen innerhalb der Stärkekörner — die Erscheinung, die Schoch und French (12) als „echtes Altbackenwerden“ bezeichneten — tritt selbstverständlich auch in kleberhaltigem Brot auf. Das Auftreten kräftiger Wasserstoffbindungen zwischen den Stärkekörnern untereinander wird bei kleberhaltigem Brot nur vorkommen, insofern die Umhüllung der Stärkekörner durch Kleber unvollständig stattgefunden hat, also bei Klebermangel oder bei ungenügendem Kneten des Teiges.

Es kommt nun aber hinzu eine Festigung der Wasserstoffbindungen zwischen Stärke und Kleber und derselben innerhalb des Klebers. Die Annahme liegt auf der Hand, daß die vom Verbraucher verspürte Versteifung der Brotkrume hauptsächlich durch diese Veränderungen außerhalb der Stärkekörner verursacht wird. Auch Schoch und French hielten das schon für wahrscheinlich, ebenso wie die Annahme, daß der Einfluß, der von oberflächenaktiven Stoffen auf das Weichbleiben der Krume ausgeübt wird, hauptsächlich der Haftung dieser Stoffe an die Stärkeoberfläche zu verdanken ist. Die Vorstellung, daß die großen Moleküle in die gequollenen Stärkekörner eindringen könnten, um dort durch Bindung an die Amylopektinzweige das echte Altbackenwerden zu verringern, wird von Schoch und French als unwahrscheinlich von der Hand gewiesen.

Haftung der oberflächenaktiven Stoffe an die Stärkeoberfläche wird die Bindung zwischen Stärke und Kleber abschwächen und dadurch die Versteifung der Brotkrume verzögern. Möglicherweise werden sie überdies in das Klebereiweiß aufgenommen und wird in dieser Weise auch die Beweglichkeit innerhalb des Klebers erhöht.

In der Literatur findet man weiter noch die Annahme, daß die Haftung der oberflächenaktiven Stoffe an die Stärke die Wasseraufnahme hemmen und also die Quellung der Stärkekörner einschränken soll. Einige Untersuchungen (6, 7) meinten dies annehmen zu dürfen auf Grund einer Erniedrigung des Sedimentvolumens bei Ausflockversuchen mit gequollener Stärke durch Zugabe eines oberflächenaktiven Stoffes. Wenn aber — wie wir aus unseren Versuchen ableiteten — die Anziehungskraft zwischen den gequollenen Stärkekörnern durch Addition eines oberflächenaktiven Stoffes verringert wird, so darf man auch auf Grund davon eine Verringerung des Sedimentvolumens erwarten.

Aus unseren Mikrofotografien der Brotkrumenlamellen im Stärkebrot spricht keine verringerte Quellung der Stärkekörner bei größerer GMS-Zugabe. Auch findet die Voraussetzung einer verringerten Wasseraufnahme durch die Stärkekörner keine Unterstützung in den Ergebnissen von Bestimmungen des Feuchtgehaltes in der Brotkrume von Stärkebrot, wie aus Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1

Einfluß von unterschiedlichen GMS-Zusätzen an Weizenstärketeigen auf die in der Brotkrume festgehaltenen Wassermengen. Mittelwerte von drei gleichen Reihen von Backversuchen.

GMS-Zusatz (% auf Stärke mit 14 % Feuchtgehalt)	Feuchtgehalt (% auf Brotkrume)	Feuchtgehalt (% auf Stärke mit 14 % Feuchtgehalt)
%	%	%
0,0	32,7	43,1
0,1	34,4	45,1
0,5	35,0	46,6
1,0	34,9	46,6
5,0	35,9	50,6

Die von der Brotkrume festgehaltene Wassermenge nimmt durch den Zusatz von GMS offenbar nicht ab; sie nimmt im Gegenteil sogar ein wenig zu. Diese Tatsache wäre einer Förderung der Quellung durch GMS zuzuschreiben; es scheint jedoch wahrscheinlicher, daß die Mehraufnahme an Wasser in dem vergrößerten Raum zwischen den Stärkekörnern aufgespeichert wird. Diese Anschauung beinhaltet auch, daß, wenngleich unser letzterörterter Versuch keinen Hinweis dafür enthielt, daß GMS die Wasserabsorption durch die Stärke hemmt, der absolute Beweis dadurch nicht erbracht worden ist, weil es nicht bewiesen wurde, daß das weniger aufgenommene Wasser nicht zwischen den Stärkekörnern eingeschlossen bleibt.

Collison, Campbell und Elton (1, 2) gelangten aber durch mikroskopische Messung des Quellungsgrades vereinzelter Stärkekörner auch zu dem Schluß, daß nicht-ionische oberflächenaktive Stoffe die Quellung der Stärkekörner nicht meßbar beeinflussen. Sie fanden weiter, daß ionische oberflächenaktive Stoffe die Quellung fördern, aber daß sowohl ionische als nicht-ionische die Starrheit 17prozentiger Stärkegele beträchtlich herabsetzen. Auch diese Untersucher folgerten, daß der die Weichheit fördernde Effekt hauptsächlich einer Verminderung der wechselseitigen Anziehung der Stärkekörner zuzuschreiben sei.

Kassavastärke

Wenn es richtig ist, daß die Stärke beim Zustandekommen des Brotes die wichtige Rolle spielt, die wir ihr eben zuerkannt haben, kann es nicht gleichgültig sein, welche Stärke ein Teig enthält. Daß dies tatsächlich der Fall ist, geht schon aus einer 1961 veröffentlichten Untersuchung Sandstedts (11) hervor, wo er u. a. über aus Stärke/Klebergemischen bereitete Brote berichtete und wobei Weizen-, Kartoffel-, Mais- und „waxy-Maize“-Stärke untereinander verglichen wurden.

Hier wird jetzt noch der verschiedene Effekt von Kassavastärke im Vergleich mit Weizenstärke gezeigt, weil die Kassavastärke zur Zeit einen Anteil hat an Untersuchungen, welche in unserem Institut durchgeführt werden; am Ende dieser Ausführungen wird noch einiges darüber mitgeteilt.

Kassavastärke zeigt die Erscheinung der Dilatanz in noch stärkerem Maße als Weizenstärke. Die Quellung der Kassavastärke fängt bei einer höheren Temperatur an. Die Quellgeschwindigkeit (das heißt die Wasseraufnahme je Zeiteinheit) ist aber der der Weizenstärke weit überlegen. Nach Angaben von Leach (5) soll in Überschuß Wasser bei 95° C in 30 Minuten 1 g Weizenstärke 21 g Wasser aufnehmen, 1 g Kassavastärke 71 g Wasser.

Die Folge der genannten Eigenschaften der Kassavastärke ist, daß während des Backprozesses die Stärke in den äußeren Schichten des Teiges, welche zuerst die Verkleisterungstemperatur erreichen, schnell verkleistert und bei Stärkebrot ohne Zusatz das verfügbare Wasser aus

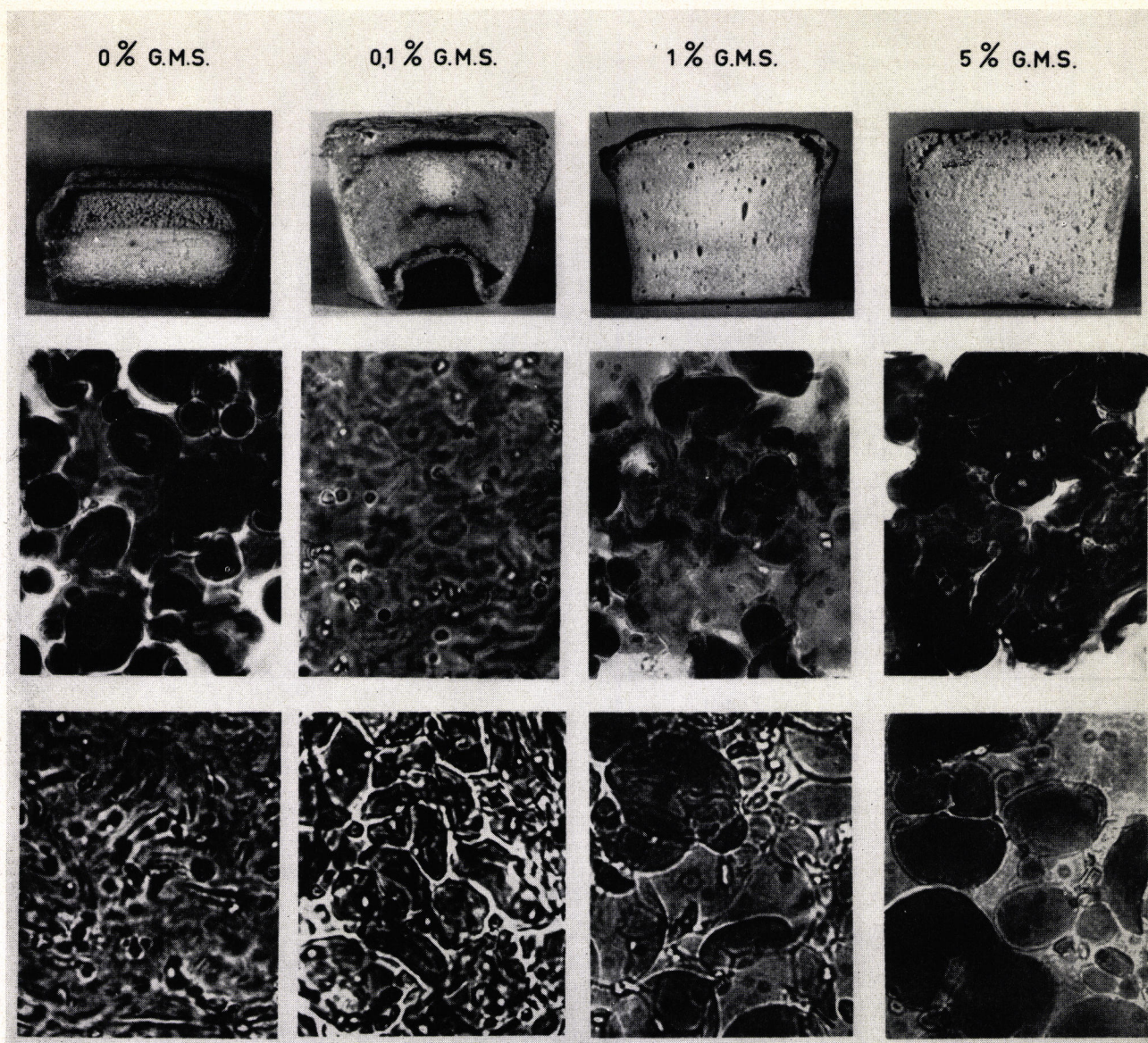


Abb. 9: Brot aus Kassavastärke. Oben: Brotquerschnitte; unterschiedliche GMS-Mengen. — Mitte: Mikrobilder (500mal) der Krume derselben Brote. — Unten: Mikrobilder (500mal) der Krume von Stärkebroten mit gleichen GMS-Zusätzen.

dem Inneren des Brotes an sich zieht. Dadurch bildet sich an der Außenseite eine Schicht, deren Stärkekörner so weitgehend verkleistern, daß sie zusammenfließen und ein Stärkegel bilden, das bei der Backtemperatur sehr weich ist. Im größten Teil des Teiges innerhalb der eben beschriebenen Schicht quellen die Stärkekörner allerdings, aber in den meisten Fällen ist die verfügbare Wassermenge unzulänglich, um einen Quellungsgrad zu erreichen, der zu einer engen Berührung Anlaß gibt und zu einer Bindung der Stärkekörner führt in der Weise, wie das im Brot aus Weizenstärke bei Abwesenheit eines oberflächenaktiven Stoffes vor sich geht.

Die Fotografie links oben in Abbildung 9 zeigt, daß der Teig nicht aufgegangen ist, daß die Außenschicht einen starken Verkleisterungsgrad erreicht und das Brot einen weißen Kern hat. Die Mikrofotografie ganz links in der mittleren Reihe bezieht sich auf die Krume etwa 1 cm von der verkleisterten Außenschicht entfernt. Sie zeigt Teile, wo die Körner zusammengewachsen sind, aber auch große Teile mit losen Stärkekörnern. Wir konnten weiter feststellen, daß in der Mitte des Brotes, wo noch weniger

Wasser für die Verkleisterung zur Verfügung war, nur lose Stärkekörner vorhanden waren. Diese zeigten zum Teil im polarisierten Licht sogar noch das bekannte Kreuz der unverkleisterten Stärke.

Schon 0,01 % GMS genügte, um die Teiggare zu ermöglichen. Die Ergebnisse dieser Versuche sind nicht in Abbildung 9 aufgenommen, weil das Bild fast völlig mit dem mit 0,1 % GMS erzielten Zustand übereinstimmte. Die letztere ist in der zweiten vertikalen Reihe von Abbildung 9 dargestellt. Der durch GMS verursachte Zusammenhang zwischen den Stärkekörnern trägt offenbar dazu bei, daß im gärenden Teig das Wasser besser festgehalten und nicht so leicht nach der Außenseite gezogen wird als bei dem Versuch ohne GMS. Die Stärkekörner sind als Folge des relativ hohen Quellungsgrades, trotz der Beschützung durch GMS, so eng verbunden, daß sie auf der Mikrofotografie nicht vereinzelt wahrnehmbar sind.

Das weiche Gel an der Außenseite des Brotes zieht sich bei Abkühlung zusammen, wodurch das Brot Schrumpfsuren zeigt. Beim Vergleichsbrot wurde das durch den widerstandleistenden Kern verhütet.

Bei Zusatz von 1 % GMS ist schließlich der Zusammenhang zwischen den Stärkekörnern im gärenden Teig genügend groß, um eine so regelmäßige Wasserverteilung im Teig zu bewirken, daß überall in der Krume die Quellung der Stärke bis etwa im gleichen Grad fortschreitet. Weiter ist durch 1 % GMS die Anziehung zwischen den gequollenen Stärkekörnern im Brot genügend abgeschwächt, um die Körner in der Mikrofotografie wieder einigermaßen vereinzelt hervortreten zu lassen. Noch deutlicher ist dies der Fall bei Zusatz von 5 % GMS.

Die Krume zeigt bei Zusatz von 1 % und 5 % GMS eine weiße Farbe, während die Brote, die weniger GMS enthalten, eine mehr oder weniger glasige Krume aufweisen. Das läßt sich erklären aus der stärkeren Lichtreflexion durch die Lamellen, in denen die Stärkekörner weniger eng aneinanderschließen.

Zum Vergleich sind in Abbildung 9 in der unteren Reihe nochmals die Mikrofotografien der entsprechenden Brote aus Weizenstärke aufgenommen. Hier zeigt das Brot ohne GMS schon das Mikrobild, das bei Kassavastärkebrot erst bei Zusatz von 0,1 % GMS erzielt wurde. Das ist der Tatsache zu verdanken, daß bei Teigen aus Weizenstärke nicht die großen Unterschiede in dem Verkleisterungsgrad zwischen Kern und Außenseite auftraten wie bei dem Kassavabrot. Schon bei 0,1 % GMS zeichnen sich in der Weizenreihe die Stärkekörner vereinzelt ab, und schon bei 1 % GMS ist die Bindung so locker, daß die Körner sich im Präparat ganz getrennt haben. Im Fall des Kassavabrot sind die Stärkekörner bei 5 % GMS noch deutlich verbunden. Zum Schluß sei daran erinnert, daß ein Teig aus Weizenstärke, im Gegensatz zu einem Teig aus Kassavastärke, durch 5 % GMS so unschmiegsam wurde, daß keine Teiggare mehr auftreten konnte.

Brot aus Kassavastärke mit Eiweißzusätzen

Jetzt sei noch eine Untersuchung hervorgehoben, an welcher zur Zeit in unserem Institut unter Leitung von Ir. Kim gearbeitet wird. Die Untersuchung hat das Ziel, Brot herzustellen aus Rohstoffen, welche aus in tropischen Gebieten angebauten Gewächsen gewonnen werden können. Die zu entwickelnde Methode soll dazu geeignet sein, in Betriebsbäckereien praktisch angewandt zu werden. Es wurden vielversprechende Ergebnisse erzielt mit einem Gemisch von 80 % Kassavastärke und 20 % Sojamehl oder Erdnußmehl.

Da diese Mehle keine kleberbildenden Bestandteile enthalten, wird die eben erörterte Wirkung von GMS zur Anwendung gebracht. Es wird 1 % GMS zugesetzt. Unter Zuhilfenahme einer guten Mischmethode wird das Soja-eiweiß gleichmäßig über die Stärkeoberfläche verteilt. Unter dem kombinierten Einfluß von GMS und Sojaeiweiß wird der Teig deutlich plastisch; es entsteht dadurch ein gutes Gashaltevermögen, indem eine genügende Beweglichkeit bleibt für eine gute Teiggare.

Aus Abbildung 9 war in dem Brot aus Kassavastärke mit 1 % GMS eine beginnende Trennung zwischen den Stärkekörnern in den Lamellen der Brotkrume ersichtlich. Dank der Mitwirkung des Sojamehls ist die Trennung der Stärkekörner in dem Kassava/Sojabrot mit 1 % GMS viel besser, wie Abbildung 10 zeigt. Oben ist das Kassava/Sojabrot neben einem Kassavastärkebrot mit gleichem GMS-Zusatz (1 %) dargestellt; unten die entsprechenden Mikrobilder der Brotkrume.

Abbildung 11 zeigt zum Schluß ein Kassava/Erdnußbrot und ein Kassava/Sojabrot.

Es braucht keine Erwähnung, daß die praktische Ausarbeitung des Prinzips zu zahllosen Nebenproblemen Anlaß gab, sowohl mit Bezug auf die Qualität des Brotes wie auch hinsichtlich der Ausarbeitung des Herstellungsverfahrens unter praktischen Verhältnissen. Die Herstellung dieses Brotes stellt nämlich ganz verschiedene Anforderungen

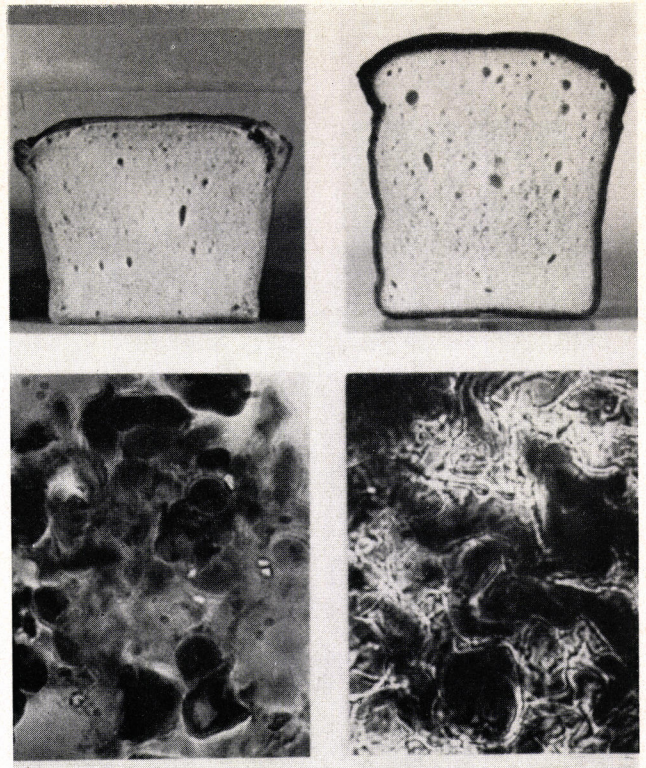


Abb. 10: Einfluß von Sojamehl.
Oben: Links Brot aus 100 % Kassavamehl (1 % GMS);
rechts Brot aus 80 % Kassavamehl und 20 % Sojamehl
(1 % GMS).
Unten: Mikrobilder der Krume dieser Brote.

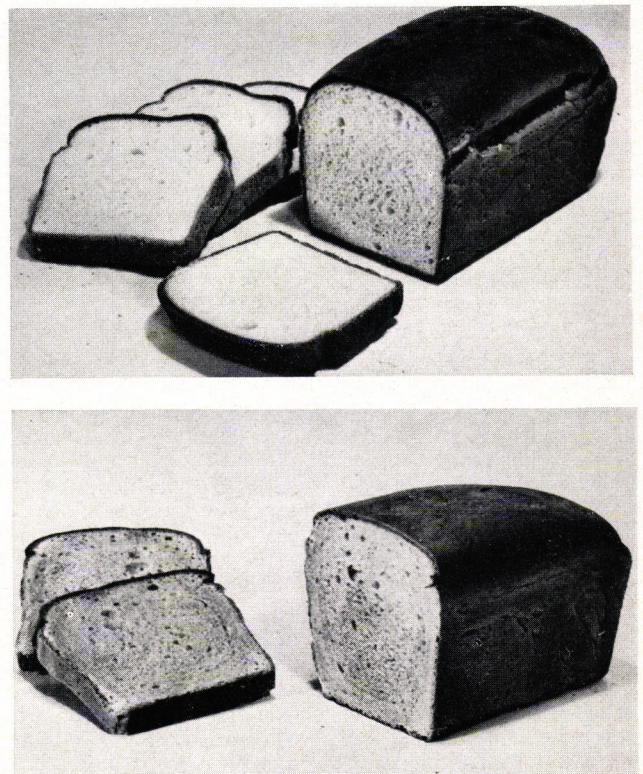


Abb. 11: oben: Brot aus Kassava/Sojamehl; unten: Brot aus
Kassava/Erdnußmehl.

an Einrichtung und Arbeitsweise als die Brotbereitung aus Weizenmehl. Darauf einzugehen würde uns im Rahmen dieser Ausführungen zu weit führen. Wir hoffen in kurzem einen Artikel über die bisher durchgeführten Untersuchungen zu veröffentlichen. Die Untersuchung findet statt in Zusammenarbeit mit FAO und mit finanzieller Unterstützung der niederländischen Regierung und der FFHC.

Schrifttum

1. Collison, R., D. W. Campbell and G. A. H. Elton: The effect of surfactants on swelling and gel properties of wheat starch. — *Chemistry and Industry* 1230—1231, 1960.
2. Collison, R., and G. A. H. Elton: Some factors which influence the rheological properties of starch gels. — *Die Stärke* 13, 164—173, 1961.
3. Collison, R.: The influence of surfactants on the paste viscosity of ungelatinised starch. — *Chemistry and Industry* 1364—1365, 1961.
4. Jongh, G.: The formation of dough and bread structures. I. The ability of starch to form structures, and the improving effect of glyceryl monostearate. — *Cereal Chemistry* 38, 140—152, 1961.
5. Leach, H. W.: In Whistler, R. L. and E. F. Paschall: *Starch; chemistry and technology*, 1965, Vol. I, p. 292; Academic Press, New York and London.
6. Leach, H. W., L. D. McCowen, T. J. Schoch: Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. — *Cereal Chemistry* 36, 534—544, 1959.
7. Lord, D. D.: The action of polyoxyethylene monostearate upon starch with reference to its softening action in bread. — *J. Colloid Sci.* 5, 360—375, 1950.
8. Rotsch, A.: Untersuchung über die Ursachen der Backfähigkeit. — *Getreide, Mehl und Brot* 3, 153—156, 1949.
9. Rotsch, A.: Über die Bedeutung der Stärke für die Krumenbildung. — *Brot und Gebäck* 7, 121—125, 1953.
10. Rotsch, A.: Chemische und backtechnische Untersuchungen an künstlichen Teigen. — *Brot und Gebäck* 8, 129—130, 1954.
11. Sandstedt, R. M.: The function of starch in the baking of bread. — *Baker's Digest* 35, 3; 36—42, 1961.
12. Schoch, T. J., and D. French: Studies on bread staling. The role of starch. — *Cereal Chemistry* 24, 231—249, 1947.
13. Stamberg, D. E.: Starch as a factor in dough formation. — *Cereal Chemistry* 16, 769—780, 1939.

