

Die Änderung der mikroskopischen Struktur des Brotes beim Altbackenwerden.

Von

E. Verschaffelt und Frl. E. van Teutem in Amsterdam.

Mit 2 Lichtdrucktafeln.

(Der Redaktion zugegangen am 11. August 1915.)

Die mikroskopische Struktur des Brotes wurde bis jetzt sehr wenig studiert. Es scheint uns daher nicht überflüssig, eine kurze Beschreibung derselben zu geben, bevor wir zur Untersuchung ihrer Änderungen beim Altbackenwerden übergehen. Wir werden uns in dieser Abhandlung auf die Untersuchung von Weißbrot (Weizenbrot) beschränken.

Am leichtesten orientiert man sich, wenn man ein Stückchen Krume von Weizenbrot mit der Pinzette abpflückt und es auf einem Objektträger in einem Tropfen Wasser, unter leichtem Druck mit dem Deckgläschen, ausbreitet. Man sieht eine durchscheinende Masse, die in allen Richtungen durchkreuzt wird von stärker lichtbrechenden Streifen, die zu dünneren oder dickeren Bündeln vereinigt sind. Stärkekörner zeichnen sich im frischbackenen Brot so gut wie gar nicht ab. Nur an den Rändern des Präparates finden sich dünnere Stellen, wo die Struktur deutlicher ist.

Viel besser kann man diese studieren, wenn man unter den Wänden der Brotalveolen eine sehr dünne, durchscheinende aussucht, sie mit der Pinzette vorsichtig abhebt und in einem Tropfen Wasser ausbreitet (diesesmal ohne mit dem Deckgläschen zu drücken). Die dünnsten Stellen der Brotlamelle sind dann meist nur zwei oder drei Schichten Stärkekörner dick; macht man etwa zehn solcher Präparate, so findet man leicht eines, in dem eine Stelle nur eine bis zwei Schichten

Stärkeköerner zeigt.¹⁾ Man sieht dann, wie die großen Stärkeköerner ziemlich regelmäßig, in Reihen nebeneinander angeordnet liegen. Es ist diese Anordnung, welche dem Brot — vor allem bei schwacher Vergrößerung — ein streifiges Aussehen gibt; die kleinen Stärkeköerner liegen um und zwischen den großen. Das Eiweiß (Gluten) des Brotes vereinigt die Stärkeköerner zu einem Ganzen. Überall sieht man es zwischen den einzelnen Körnern liegen, meist als dünne Streifen, die im optischen Durchschnitt als Fäden erscheinen, zuweilen als breitere Lamellen. Jedes Stärkekorn ist vom Gluten ganz umgeben. Die Hefezellen liegen in den Glutenlamellen und sind ziemlich regelmäßig verteilt. Es sind kleine runde oder elliptische Körperchen, oft zu Reihen von zwei bis drei verkettet; in diesem Falle sind sie meist von ungleicher Größe. Man erkennt sie an dieser Knospenbildung und an ihrer eigenen Wand.

Sehr schön ist das Bild, das man sieht, wenn man die dünne Brotlamelle in sehr verdünnter Jodjodkaliumlösung untersucht. Die Stärkeköerner färben sich dann blau bis schwarzblau, das Eiweiß wird gelb, die Hefezellen werden dunkler gelb. Bemerkenswert ist dann die scharfe Begrenzung der Stärkeköerner, dem anders gefärbten Gluten gegenüber. Und auffällig ist die reingelbe Färbung des Glutens; nirgends sind blaue oder grüne Partien zu sehen. Offenbar ist die lösliche Stärke des Brotes nur in den Stärkeköernern enthalten; von einem Austritt in oder einer Vermischung mit dem Gluten bemerkt man nichts.

Am schönsten aber werden die Präparate, wenn man sie in Lösungen von Farbstoffen untersucht, die das Gluten färben und die Stärkeköerner nicht. Wässerige Safraninlösungen eignen sich sehr gut. Das Gluten wird dann rosarot, die Stärkeköerner färben sich nicht, die Hefezellen werden dunkelrot, die Konturen der Stärkeköerner zeichnen sich deutlich durch den Unterschied der Farbe ab. Man sieht bei schwacher Vergrößerung deutlich den streifigen Bau, und sieht, daß sie eine

¹⁾ Beim holländischen Weißbrot, das zu einem sehr großen Volumen ausgebacken ist mit regelmäßig verteilten feinen Poren.

Folge der regelmäßigen Ordnung der größeren Stärkekörner ist. Bei starker Vergrößerung sieht man jetzt, daß tatsächlich auch dort, wo die Stärkekörner sehr nahe beieinander liegen, sie doch durch dünne Eiweißlamellen voneinander getrennt sind. Bei weit geöffnetem Abbeschen Beleuchtungsapparat verschwinden die Stärkekörner im Bilde, und nun läßt sich die Form des Glutens gut studieren. Es durchzieht wie ein Skelett, das die Stärkekörner trägt und zu einem Ganzen vereinigt, das Brot. Es läßt sich dieses Skelett sehr leicht isolieren, wenn man Brotkrume einige Tage lang bei 65° C. mit Malzextrakt oder mit einer Lösung käuflicher Diastase behandelt. Es bleibt dann übrig als ein weißer Körper, der (wenn er im Wasser schwimmt) etwa wie Brotkrume aussieht, nur viel schlaffer ist. Es besteht aus koaguliertem Eiweiß.

Kehren wir aber zu den mit Safranin gefärbten Zupfpräparaten des frischbackenen Brotes zurück. Das Gluten umschließt die Stärkekörner sehr eng. Hohlräume zwischen beiden sieht man nicht oder nur ausnahmsweise.

In den Lamellen des Glutens sieht man deutliche Mikrosomen, wohl hauptsächlich Fetttröpfchen. Weizenmehl enthält nämlich etwa zehn Prozent trockenes Eiweiß und zwei Prozent Fett, es kann das Fett also im Gluten einen ziemlich auffälligen Raum einnehmen. Man sieht jetzt auch deutlich, daß die Hefezellen in den Glutenlamellen oder in deren Oberfläche eingebettet liegen.

Besonders schön werden die Bilder, die man bekommt, wenn man sehr dünne Stellen durchsichtiger Brotlamellen in wässriger Safraninlösung untersucht. Fig. 1 gibt das Bild einer solchen Stelle, und zwar bei frischbackenem Brote. In dieser Figur sind die Hefezellen schwarzgrau, das Gluten hellgrau, die Stärkekörner fast weiß abgebildet.

Untersuchen wir jetzt mit denselben Untersuchungsmethoden altbackenes Brot, und zwar solches, das unter strenger Vermeidung von Wasserverlust altbacken geworden ist — etwa in einer hermetisch schließenden Stöpselflasche. Wir bekommen dann Bilder von sehr ähn-

In frischem Brot

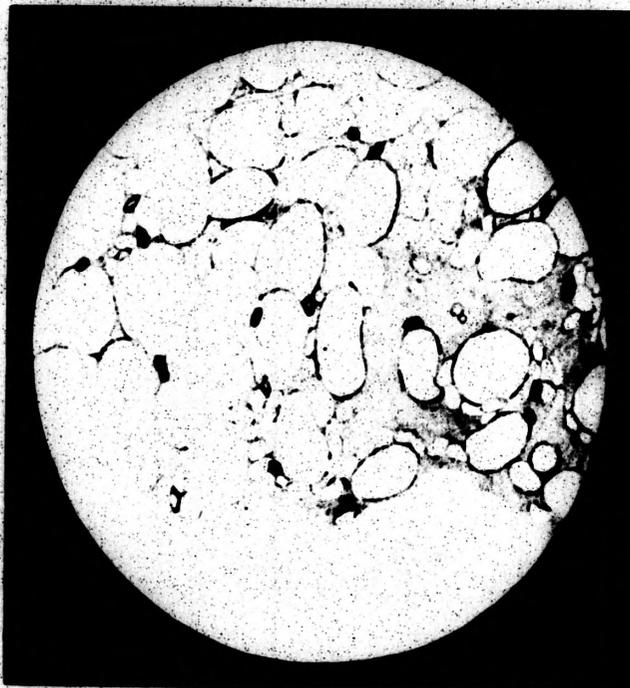


Fig. 1.

In altbackenem Brot

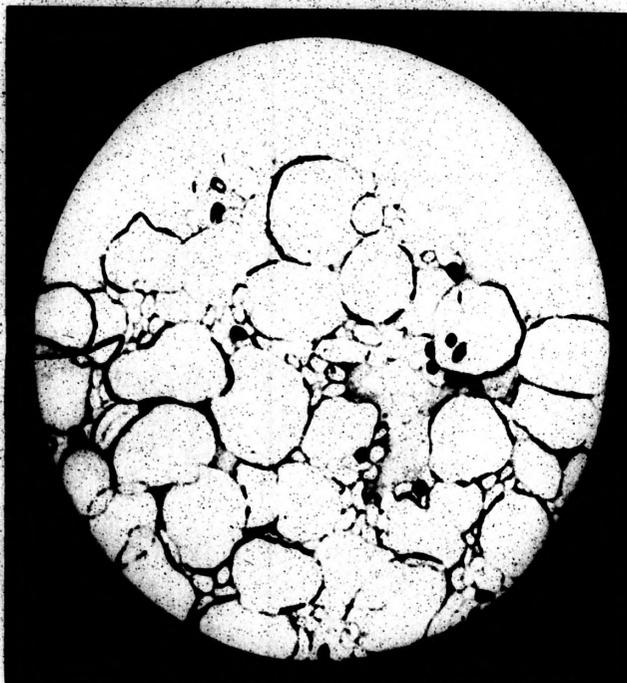


Fig. 2

Hoppe-Seyler's Zeitschrift für physiol. Chemie., Band XCV, Tafel 3.

Zu „E. Verschaffelt und Frl. E. van Teutem, Die Aenderung der mikroskopischen Struktur des Brotes beim Altbackenwerden“

vor dem Altbackenwerden.

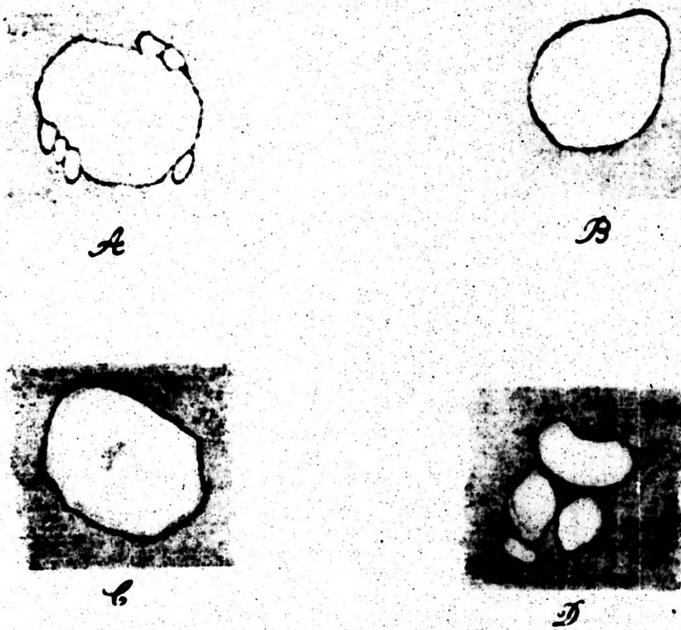


Fig. 3

nach dem Altbackenwerden

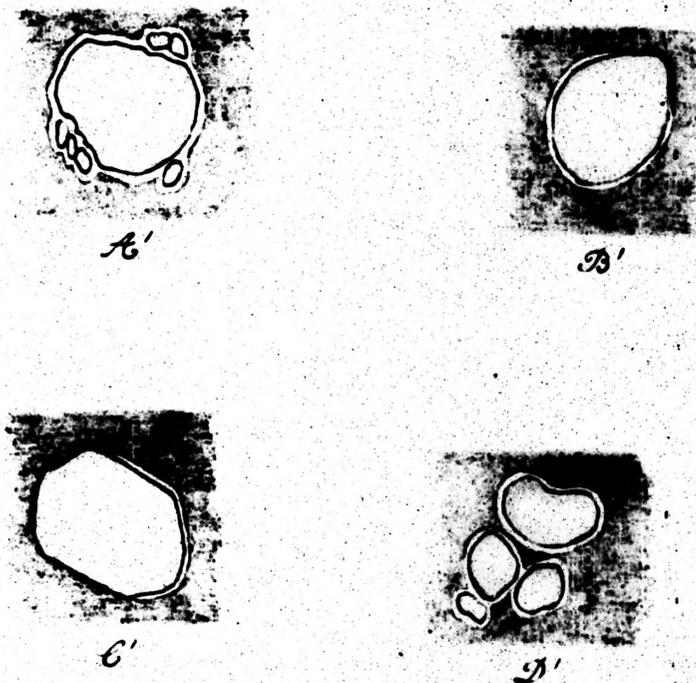


Fig. 4

licher Struktur. Nirgends sind im Brot Niederschläge entstanden, weder in den Stärkekörnern, noch im Gluten. Aber doch ist in der allgemeinen Struktur des Brotes eine Veränderung aufgetreten. Sie zieht vielleicht nicht sofort die Aufmerksamkeit auf sich. Aber jeder, der mit einiger Sorgfalt Präparate von frischem und altbackenem Brot vergleicht, wird sich überzeugen, daß es sich hier um eine konstant auftretende Veränderung handelt.

Oben ist gesagt worden, daß dickere Stückchen frischbackenen Brotes, in Wasser untersucht, keinen sehr deutlichen Bau zeigen, und daß dann speziell die Grenzen der Stärkekörner dem Gluten gegenüber nicht oder kaum zu beobachten sind. Im altbackenen Brote ist das etwas anders; dort zeichnen sich, auch bei dickeren Stückchen, die Stärkekörner im allgemeinen viel deutlicher ab. Und wenn man untersucht, wie man diesen Unterschied erklären soll, sieht man, daß den Umrissen der Stärkekörner entlang, über einen größeren oder kleineren Abstand, feine lufthaltige Kanälchen laufen, die die Umrisse der Stärkekörner schärfer und etwas zackig, etwas unregelmäßig machen.

Besonders schön sieht man diese Änderung der Struktur, wenn man wie oben die durchscheinenden Brotlamellen und zwar an ihren dünnsten Stellen untersucht, wo sie nur noch eine Schicht Stärkekörner dick sind; am besten werden die Bilder, wenn man in wässriger Safraninlösung untersucht. Die Lufträume sind nun sehr deutlich und leicht zu beobachten. Das Gluten wird nämlich schön rosarot gefärbt, die Stärkekörner bleiben fast farblos, aber nehmen doch auch einen leichtesten rosaroten Farbenton an. Zwischen beiden findet man nun die ganz farblosen Lufträume, die zuweilen um das ganze Stärkekorn laufen, aber meistens nur an einem Teil des Umrisses auftreten. Dadurch scheinen die Umrisse des Stärkekornes bei mittelstarker Vergrößerung durch eine viel weniger dünne und scharfe Linie gezeichnet; dieselbe ist dicker als beim frischen Brot und etwas zackig und unregelmäßig. Fig. 2 gibt eine Zeichnung dieses Bildes.

Fig. 4 gibt eine Zeichnung von der Größe und Form der auftretenden Lufträume, wie sie in den dünnsten Stellen aussehen, wenn sie mit den stärksten Linsen beobachtet werden. Das Größenverhältnis zwischen Stärkekorn und Luftraum ist möglichst richtig gezeichnet. Bei den größeren Stärkekörnern beträgt also die Weite des Luftraumes etwa $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{10}$ des Durchmessers des Stärkekornes. Die Zeichnung zeigt, daß der Hohlraum das Stärkekorn nicht allseitig zu umgeben braucht. Fig. 3 gibt an, wie dieselben Stärkekörner vor dem Altbackenwerden aussehen. Es ist, als ob durch eine Schrumpfung Stärke und Gluten sich voneinander gelöst haben, wobei neue Lufträume entstanden sind; zuweilen haben die beiden Bestandteile sich ganz voneinander gelöst, meist aber sind sie an irgend einer Stelle doch miteinander in Berührung geblieben.

Wir betonen ausdrücklich, daß alle diese Beobachtungen an Brotkrume gemacht worden sind, die unter Vermeidung jeglichen Wasserverlustes — in einer hermetisch schließenden Stöpselflasche — altbacken geworden war. Von Austrocknen im gewöhnlichen Sinne des Wortes kann daher keine Rede sein. Die neu gebildeten Lufträume des Brotes, die viel dünner sind als die, welche schon im frischbackenen Brote vorkamen, lassen nun — nach einer bekannten Erscheinung — ihre Luft weniger leicht von Wasser verdrängen und bleiben darum auch im Wasserpräparat sichtbar.

Brot, das etwa neun Stunden alt ist — das also, wie J. R. Katz gefunden hat, nach der Krümligkeit frisch, und nach seinen sonstigen Eigenschaften altbacken ist — verhält sich mikroskopisch wie frischbackenes Brot; wir konnten diese Tatsache zu wiederholten Malen feststellen, so daß an deren Richtigkeit, scheint uns, nicht zu zweifeln ist. Es geht also die Entstehung der Lufträume dem Auftreten der Krümligkeit parallel, und nicht der Entwicklung der anderen Eigenschaften, also den Änderungen von Härte, Quellungsvermögen und Gehalt an löslicher Amylose.

Es bilden diese Befunde eine interessante Bestätigung der Theorie des Altbackenwerdens, die J. R. Katz in der vorigen Abhandlung gegeben hat. Nach ihm soll die Krüm-

lichkeit die Folge einer Wasserabgabe von der Stärke an das Gluten sein, wodurch die Stärkekörner kleiner werden, schrumpfen und dadurch einen loseren Zusammenhang mit dem Glutenskelett bekommen. Die mikroskopischen Veränderungen, die wir aufgefunden haben, entsprechen eben denen, die man nach dieser Theorie erwarten sollte.

Noch einen zweiten Unterschied zwischen frisch und altbacken fanden wir regelmäßig wieder. Legt man ein Stückchen Brot in Wasser und drückt man es leicht mit dem Deckgläschen zusammen, so werden viele der am Rande liegenden Stärkekörner frei. Bei frischem Brot stehen die Stärkekörner offenbar unter einer gewissen Spannung, die beim altbackenen Brot fehlt. Es werden nämlich die Stärkekörner im ersten Fall mit einem Ruck fortgeschleudert, im zweiten fehlt diese ruckartige Bewegung. Der Unterschied ist nur dann sichtbar, wenn man das Präparat unmittelbar nach dem Anfertigen untersucht. Sehr bald schon ist der Unterschied nicht mehr zu sehen. Er ist vermutlich eine Folge von der viel stärkeren Quellung der frischbackenen Stärke beim Einlegen in Wasser und von der Abwesenheit der Hohlräume.

Andere Unterschiede zwischen frischem und altbackenem Brote haben wir nicht auffinden können.
