

# NEUERE ERGEBNISSE IN DER RHEOLOGIE DES TEIGES

## II. SPANNUNGSRELAXATION DER WEIZENMEHL-TEIGE

Von

L. TELEGDY KOVÁTS und R. LÁSZTITY

Lehrstuhl für Lebensmittelchemie, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 20. November, 1965)

Forschern und Praktikern der Bäckerei ist der enge Zusammenhang zwischen den rheologischen Eigenschaften der Weizenmehl-Teige und der Qualität des Backproduktes schon seit langem bekannt. Diesem Umstand ist es zuzuschreiben, daß auf die Untersuchung der rheologischen Eigenschaften des Teiges so großes Gewicht gelegt wird. Zur objektiven Durchführung der Messungen wurden zahlreiche Geräte konstruiert, die in einer Reihe zusammenfassender Arbeiten beschrieben sind [1, 2, 3].

Charakterisiert sind diese Geräte dadurch, daß ihre Meßergebnisse meist auf empirischer Grundlage ausgewertet werden. Sie registrieren die gemeinsame Wirkung mehrerer Faktoren, da ihr Arbeitsprinzip nicht auf dem Boden theoretischer, rheologischer Überlegungen ruht. Deshalb können auch ihre Meßergebnisse mit bestimmten physikalischen Konstanten überhaupt nicht oder nur schwierig ausgedrückt werden. Obwohl die mit diesen Geräten ermittelten Resultate viele wertvolle Informationen für die Praxis liefern, wäre doch die Zerlegung der sich abspielenden Formveränderung in ihre elementaren Komponenten, die Charakterisierung der rheologischen Eigenschaften durch physikalische Konstanten von großem Vorteil und offenbar auch der einzige Weg, wissenschaftlich vorzugehen.

Parallel mit der Entwicklung der rheologischen Wissenschaft begann sich in letzter Zeit eine Richtung zu entfalten, die die mechanischen Eigenschaften des Teiges statt anhand empirischer Merkmale mit exakten physikalischen Meßwerten zu charakterisieren versucht. Der Erfolg dieser Forschungen würde es ermöglichen, die Untersuchungsergebnisse aus den verschiedenen Ländern zu vergleichen und die Maschinen der Backindustrie genau zu planen.

Unter den Arbeiten in dieser Richtung möchten wir in erster Linie die Untersuchungen von SCHOFIELD und SCOTT-BLAIR [4] erwähnen. Mit Hilfe ihres Extensimeters stellten sie fest, daß die im Teig bei Dehnung auftretende Formveränderung zum Teil reversibel (elastisch), zum Teil irreversibel (viskos, plastisch) ist. Aus diesen beiden verschiedenen Formveränderungen und der Größe der Deformationskraft können der Elastizitätsmodul und die Viskosität

berechnet werden. Sie erkannten dabei auch die Wichtigkeit der Erscheinung der Relaxation.

In letzter Zeit befaßten bzw. befassen sich hauptsächlich sowjetische [5, 6, 7] und amerikanische [8, 9, 10] Forscher mit solchen Untersuchungen, wobei besonderes Gewicht auf die Spannungsrelaxation gelegt wird.

Bei der Untersuchung von Teigen mit komplexen rheologischen Eigenschaften spielt die Zeit eine wichtige Rolle. Bei der Deformation von festen Körpern ist die Rolle der Zeit unbedeutend. Die Deformation sowie das Aufhören der Deformation nach Beendigung der Krafteinwirkung spielt sich bei Hookeschen Körpern unendlich schnell ab. Anders liegen die Dinge, wenn z. B. von Bingham'schen, St. Venant'schen oder sonstigen zusammengesetzten Körpern die Rede ist und unter der Einwirkung der deformierenden Kraft eine Spannung auftritt, die über der Fließgrenze liegt. In solchen Fällen kommt es nicht nur zu einer reversiblen, sondern auch zu einer irreversiblen Deformation.

Zufolge der irreversiblen Deformation treten die Moleküle des Körpers aus ihrer Gleichgewichtslage heraus, unter der Einwirkung der über der Fließgrenze liegenden Spannungen wird ihre Bewegungsmöglichkeit größer, und sie können eine oszillierende Bewegung nicht nur um ihre Gleichgewichtslage herum durchführen. Die Moleküle verschieben sich in der von der Spannung bestimmten Richtung und streben dem durch das Energieminimum charakterisierten Gleichgewicht zu. Dies kommt jedoch der Abnahme der im Inneren des Körpers herrschenden Spannung bei sonst unveränderter Deformation gleich. Die Folge ist, daß die zur Erhaltung der gleichen Deformation notwendige Deformationskraft immer kleiner wird.

Die Erscheinung der zeitabhängigen Abnahme der inneren Spannung bei unveränderter äußerer Krafteinwirkung nennt man *Relaxation*, diese ist somit gleichfalls eine Funktion der Zeit. Die Relaxationsgeschwindigkeit der verschiedenen Stoffe kann sehr unterschiedlich sein. Es ist klar, daß sie das Verhalten der einzelnen Körper während der Deformierung stark beeinflusst. Ebendeshalb ist sie ein wichtiges rheologisches Merkmal der einzelnen Stoffe.

Die Erscheinung der Relaxation pflegt man meist am Maxwell'schen Körper zu untersuchen, der über elastische und viskose Eigenschaften verfügt. Unter der Einwirkung einer äußeren Kraft wird in diesem Körper teils eine elastische, teils eine viskose Verformung eintreten. Die ganze Verformung ergibt sich aus der Summe der beiden verschiedenen Formveränderungen, die Deformationsgeschwindigkeit aber aus der Summe der beiden Geschwindigkeiten.

Mathematisch ausgedrückt:

$$D_s = \frac{1}{\eta} \cdot p + \frac{1}{G} \cdot \frac{dp}{dt}, \quad (I)$$

worin

- $D_s$  = die Deformationsgeschwindigkeit,  
 $\eta$  = die Viskosität,  
 $p$  = die Spannung,  
 $G$  = der Scheerelastizitätsmodul und  
 $t$  = die Zeit.

Wird die Deformation in einem gegebenen Zeitpunkt abgestellt, d.h. ist die Geschwindigkeit der Deformation in einem gegebenen Zeitpunkt gleich Null, ist

$$\frac{1}{\eta} p + \frac{1}{G} \cdot \frac{dp}{dt} = 0$$

und

$$\frac{dp}{p} = -\frac{G}{\eta} dt. \quad (\text{II})$$

Integriert:

$$\ln \frac{p}{p_0} = -\frac{G}{\eta} \cdot t,$$

woraus

$$p = p_0 e^{-t/\tau}.$$

Darin ist  $p_0$  = die Spannung im Zeitpunkt Null,

$p$  = die Spannung im Zeitpunkt  $t$ ,

$\tau = \eta/G$  = die Relaxationszeit und

$t$  = die Zeit.

Nach der Gleichung verschwindet die Spannung aus visko-elastischen Körpern nur nach der Zeit  $t = \infty$  ( $p = 0$ ), während sie nach der Zeit  $t = \tau$  auf den  $e$ -ten Teil abnimmt. Diese Zeit, während der die ursprüngliche Spannung auf ihren  $e$ -ten Teil abnimmt, nennt man Relaxationszeit und charakterisiert mit ihr die Relaxationsgeschwindigkeit der einzelnen Körper. Eigentlich ist die Relaxationszeit der Quotient der Viskosität und des Scheerelastizitätsmoduls. Bei idealen festen Körpern ist der Wert der Relaxationszeit unendlich, bei idealen Flüssigkeiten hingegen Null. Bei sämtlichen in der Praxis vorkommenden Körpern ist dieser Wert irgendeine endliche Zahl. Außer der stofflichen Eigenschaft des Körpers hängt die Relaxationszeit auch von der Temperatur ab. Der Elastizitätsmodul verändert sich nämlich mit der Temperatur verhältnismäßig nur geringfügig, gleichzeitig verringert sich aber die Viskosität recht wesentlich. Dadurch wird die Relaxationszeit der Körper mit zunehmender Temperatur geringer.

Die Gleichung I wurde für den Fall von  $D_s = 0$  gelöst.

Wenn aber  $D_s \neq 0$  ist, dann schreibt sich die Lösung zu

$$p = e^{-t/\tau} \cdot \left[ p_0 + G \int_0^t D_s e^{t'/\tau} \cdot dt' \right]. \quad (\text{III})$$

Ist die Deformationsgeschwindigkeit, d. h. ist  $D_s$  konstant, so kann die Integration durchgeführt werden, und man gelangt zu der Gleichung

$$p = \eta D_s + (p_0 - D_s \eta) \cdot e^{-t/\tau}. \quad (\text{IV})$$

Diese Gleichung eignet sich besonders gut zur Veranschaulichung des Grades, in welchem die auftretende Spannung von der Deformationsgeschwindigkeit abhängt; ist nämlich  $D_s = p_0/\eta$ , dann folgt aus Gleichung IV, daß

$$p = p_0,$$

d. h. die Spannung bleibt konstant.

Bei  $D_s > p_0/\eta$  wächst die Spannung,  
bei  $D_s < p_0/\eta$  hingegen wird die Spannung — als Funktion der Zeit — kleiner.

Hierzu ist zu bemerken, daß der Ausdruck Relaxation auch im Zusammenhang mit vielen anderen Vorgängen angewendet wird. Deshalb wird die oben definierte Relaxation zur Unterscheidung von Relaxationen in anderem Sinne (strukturelle, Volumenrelaxation usw.) Spannungsrelaxation (stress relaxation) genannt. Im weiteren verstehen wir unter Relaxation stets die erwähnte Spannungsrelaxation.

Den Prozeß der Relaxation pflegt man außer durch die Relaxationszeit auch noch durch den sog. Relaxationsmodul zu charakterisieren [11], den man durch Verallgemeinerung des Elastizitätsmoduls auf nicht ideal elastische Körper erhält.

### Untersuchungsmethoden

*Untersuchte Stoffe und Einzelmethoden.* Zu unseren Untersuchungen benützten wir Weizenmehle vom Typ BL 112\*, die wir teils aus dem Handel, teils unmittelbar von den Mühlen, einzelne aber auch vom Versuchsinstitut der Backindustrie bzw. vom Forschungsinstitut für die Mühlenindustrie erhielten. Im Laufe von vier Jahren untersuchten wir insgesamt 86 Weizenmehle.

*Bestimmung des Backwertes von Mehlen.* Die Messungen führten wir mit Hilfe des Farinographen, Laborographen und des automatischen Penetrometers Typ »Labor« durch. Mit den ersten beiden Instrumenten arbeiteten wir nach den ungarischen Normvorschriften [12], mit dem Penetrometer hingegen nach den Vorschriften von AUERMAN [13].

*Messung der Spannungsrelaxation.* Zur Messung der Spannungsrelaxation der Teige bedienten wir uns des modifizierten Neolaborographen. Diese Methode haben wir bereits in einer früheren Arbeit [14, 15] ausführlich beschrieben.

\* Weizenmehl Typ. 1120

Die Messung beruht auf dem Prinzip, die Teigform unter definierten Umständen einer bestimmten Dehnung (10 mm) auszusetzen und mit Hilfe der Registriervorrichtung die zur Erhaltung der gegebenen Deformation notwendige Kraftveränderung als Funktion der Zeit darzustellen. Ein charakteristisches Relaxationsdiagramm ist aus *Abb. 1* ersichtlich.

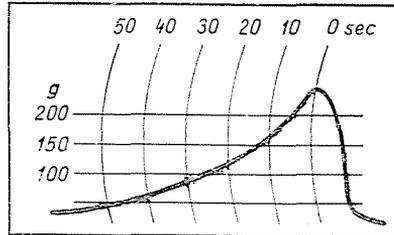


Abb. 1

### Untersuchungsergebnisse und ihre Auswertung

Wie die Messungen zeigten, tragen die Spannungskurven der aus verschiedenen Weizenmehlen zubereiteten Teige ähnlichen Charakter. Bei Darstellung des Logarithmus der Spannungswerte als Funktion der Zeit erhielten wir keine Gerade, wie dies auf Grund des Zusammenhanges für die einfachen Maxwell'schen Körper

$$\ln p = -t/\tau + \ln p_0$$

der Fall sein sollte. ( $p$  = Spannung im Zeitpunkt  $t$ ,  $p_0$  = Spannung im Zeitpunkt  $t = 0$ ,  $t$  = Zeit,  $\tau$  = Relaxationszeit.) Dies bedeutet, daß die rheologischen Eigenschaften der Weizenmehl-Teige mit dem einfachen Maxwell'schen Modell nicht beschrieben werden können. Dazu eignet sich das sog. verallgemeinerte Maxwell'sche Modell, welches sich aus der Serie der einfachen Modelle zusammenstellen läßt. Die Relaxationskurve kann mit einer exponentiellen Potenzreihe beschrieben werden. Da die Entwicklung der zu annähernder Beschreibung der Relaxationskurve geeigneten Potenzreihe außerordentlich umständlich ist, wählten wir zur Darstellung des Relaxationsprozesses folgende Methode:

Auf Grund des Zusammenhanges für einfache Maxwell'sche Körper berechneten wir die Relaxationszeiten, wie sie den von der Feststellung der Deformation verstrichenen verschiedenen Zeiten zugehören, indem wir an Stelle von  $p$  die den einzelnen Zeitpunkten zugehörigen Spannungswerte einsetzten. Hätte die Relaxationskurve einen einfachen exponentiellen Ablauf, so müßten die so berechneten Relaxationszeiten gleich sein. Da die Relaxationskurve hiervon abweicht, weichen die berechneten Relaxationszeiten, die man

*scheinbare Relaxationszeiten* nennt, voneinander ab. Die Abweichungen der einzelnen scheinbaren Relaxationszeiten voneinander sind um so größer, je mehr der Ablauf der Relaxationskurve vom exponentiellen abweicht. Die Relaxation der einzelnen Teige charakterisierten wir einesteils durch die Relaxationskurve, andernteils durch die auf die obige Weise berechnete Kurve der scheinbaren Relaxationszeit.

### *Wirkung von Wassergehalt und Temperatur auf die Spannungsrelaxation*

Zur Untersuchung der Wirkung des Wassergehaltes auf die Spannungsrelaxation bereiteten wir Teige mit unterschiedlichen Wasserzugaben (50, 55,

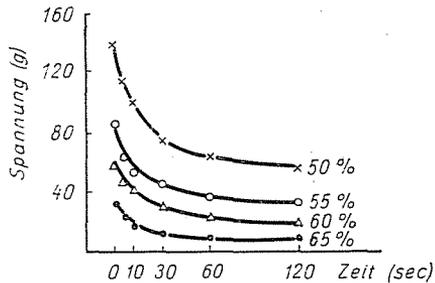


Abb. 2

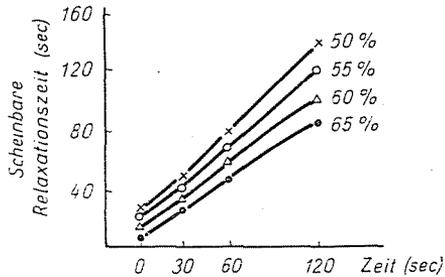


Abb. 3

60 und 65%, auf das Mehl berechnet) zu und nahmen das Relaxogramm nach 30 Minuten dauerndem Abstehen auf. Charakteristische Relaxations- und scheinbare Relaxationszeitkurven sind in den *Abbildungen 2 und 3* aufgetragen. Auf Grund der Untersuchungen stellten wir fest, daß die scheinbaren Relaxationszeiten mit zunehmendem Wassergehalt kürzer werden. Die Kurven der aus verschiedenen Mehlen zubereiteten Teige ähneln einander, obwohl die Abweichungen bei Teigen mit gleichem Wassergehalt sehr bedeutend sind.

Zur Untersuchung der Wirkung der Temperatur stellten wir aus den Mehlen mit 50%iger Wasserzugabe Teige her, die wir 30 Minuten abstehen ließen. Das Abstehen der Teige erfolgte bei verschiedenen Temperaturen

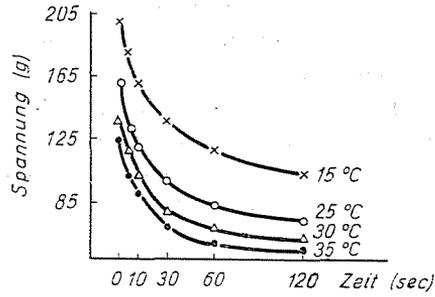


Abb. 4

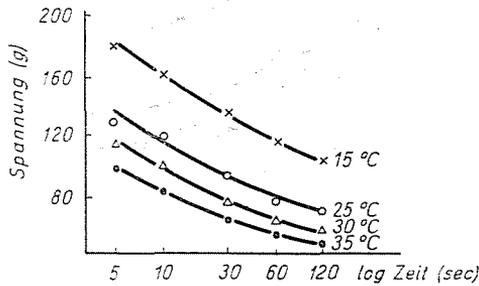


Abb. 5

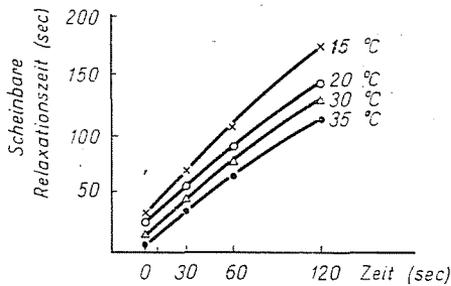


Abb. 6

(15, 25, 30 und 35° C) im Thermostat. Die *Abbildungen 4, 5 und 6* zeigen die charakteristischen Diagramme. *Abb. 4* veranschaulicht die Spannungsveränderung als Funktion der Zeit. Wie ersichtlich, nimmt die Größe der zur gleichen Deformation notwendigen Spannung mit zunehmender Temperatur ab. Aus *Abb. 5* geht das Diagramm hervor, welches den Zusammenhang zwischen Logarithmus der Zeit einerseits und Spannung andererseits darstellt. Der Zusammenhang ist auch hier nicht linear. Die Relaxationskurven folgen mit guter Annäherung der sog. Zeit- Temperatur-Überlagerungsregel (time-temperature-superposition principle). Diese Gesetzmäßigkeit wurde bei der Untersuchung verschiedener Polymere gefunden [16, 17, 18], und einzelne Autoren

[18] stellten fest, daß sie auch für den Teig gültig ist. Das Wesen dieser Gesetzmäßigkeit besteht darin, daß sich die bei verschiedenen Temperaturen gewonnenen Relaxogramme superponieren, wenn die Zeitwerte der einzelnen Relaxogramme mit einer bestimmten konstanten Zahl multipliziert werden. Dies bedeutet, daß die den verschiedenen Temperaturen zugehörigen Spannungs-Zeitlogarithmen, in Richtung der Horizontalachse verschoben, miteinander in Deckung gebracht werden können. Körper, die dieser Regel

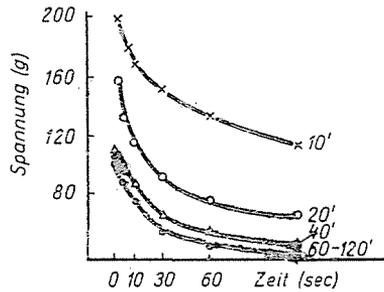


Abb. 7

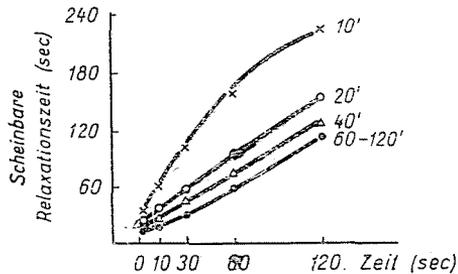


Abb. 8

entsprechen, pflegt man auch thermorheologisch einfache Körper zu nennen. Kennzeichnend für sie ist, daß sich ihre rheologische Mikrostruktur mit zunehmender Temperatur nicht wesentlich ändert. Während der Relaxation spielen sich bei den verschiedenen Temperaturen die gleichen inneren Prozesse ab, wobei nur deren Geschwindigkeit zunimmt. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß sich der Teig innerhalb der gegebenen Temperaturgrenzen wie ein thermorheologisch einfacher Körper verhält, d. h. der Temperaturanstieg verursacht in der Mikrostruktur des Teiges keine wesentliche Änderungen. Selbstverständlich bezieht sich dies nicht auf die höheren Temperaturen, bei denen infolge der Quellung und später der Verkleisterung der Stärke bzw. der Denaturierung der Proteine schon wesentliche Änderungen eintreten können. Den Zusammenhang zwischen der scheinbaren Relaxationszeit und der vom Aufhören der Deformation verstrichenen Zeit zeigt *Abb. 6*. Nach dem

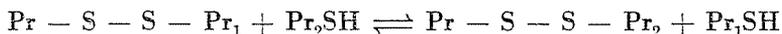
Diagramm wird die scheinbare Relaxationszeit mit zunehmender Temperatur kürzer. Dies steht im Einklang mit der Tatsache, daß die Viskosität mit zunehmender Temperatur erheblich abnimmt, während sich der Wert des Elastizitätsmoduls nur wenig ändert. Entsprechend verkürzt sich die Relaxationszeit mit zunehmender Temperatur.

### *Einfluß der Ruhezeit und des Maßes der Deformation auf die Relaxation*

Zur Untersuchung des Einflusses der Ruhezeit untersuchten wir Teige mit 50%iger Wasserzugabe nach verschiedenen Ruhezeiten (10—120 Minuten) bei 30° C. Die charakteristischen Diagramme, die die Ergebnisse veranschaulichen, sind den *Abb. 7* und *8* zu entnehmen.

Den Zusammenhang zwischen Spannung und Zeit zeigt *Abb. 7*. Wie ersichtlich, nimmt die zu einer bestimmten Deformation notwendige Kraft mit zunehmender Ruhezeit ab. Das Maß dieser Abnahme ist im ersten Abschnitt der Ruhezeit größer und wird dann immer kleiner. Mit zunehmenden Ruhezeiten verkürzen sich die scheinbaren Relaxationszeiten (*Abb. 7*). Die im Laufe des Rückens eintretenden Veränderungen in den rheologischen Eigenschaften des Teiges waren und sind Gegenstand vielseitiger Untersuchungen. Nach allgemeiner Ansicht — die in mehreren umfassenderen Arbeiten [1, 2] zusammenfassend geschildert ist —, spielen hier zum Teil kolloidchemische, zum Teil enzymatische Prozesse die Hauptrolle.

Eine außerordentlich interessante, aber noch nicht eindeutig gesicherte Theorie erklärt diese Veränderungen mit der Wechselwirkung der Sulfhydryl-Gruppen und Disulfidbindungen [19]. Nach dieser Annahme können die Disulfidbindungen der im Teig vorliegenden Kleberproteine einesteils mit den einfacheren, Sulfhydrylgruppen enthaltenden Verbindungen oder auch mit anderen Proteinen Austauschreaktionen eingehen:



In beiden Fällen entsteht an Stelle der ursprünglichen Disulfidbindungen eine neue, was mit Änderungen in den rheologischen Eigenschaften einhergeht.

Auch das Maß der Deformation beeinflusst die Relaxationsverhältnisse (*Abb. 9* und *10*). Bei größeren Deformationen ist auch die Abnahme der Spannung größer. Die scheinbaren Relaxationszeiten zeigen im Falle zunehmender Deformation eine erhebliche Abnahme.

Der Verlauf der Relaxationskurve wird ferner von der Deformationsgeschwindigkeit beeinflusst, d. h. von der Zeit, in der die gewünschte Deformation erreicht wird. Die Relaxation setzt nämlich schon zu Beginn der Verfor-

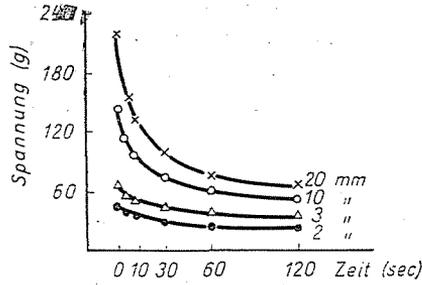


Abb. 9

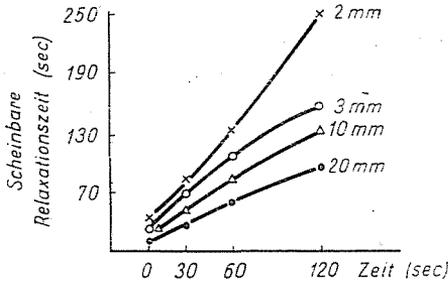


Abb. 10

mung ein, sobald die Grenze der elastischen Verformung erreicht ist (ja sogar schon früher, zumal sich der Teig nur bei verhältnismäßig geringen und kurzdauernden Deformationen als elastischer Körper verhält). Deshalb können mit verschiedenen Geräten gemessene Relaxationskurven quantitativ nur dann verglichen werden, wenn Geschwindigkeit und Ausmaß der Deformation gleich waren.

#### Zusammenhang zwischen Relaxationszeit und Qualität der Backware

Da die Relaxationszeit ein wichtiges rheologisches Merkmal des Teiges ist, das letzten Endes über das Verhältnis der elastischen und viskos-plastischen Eigenschaften unterrichtet, ist zu erwarten, daß zwischen der Relaxationszeit und dem von den rheologischen Eigenschaften des Teiges abhängigen Backwert ein Zusammenhang besteht. Zur Feststellung dieses Zusammenhanges untersuchten wir den Backwert der Mehle mit drei verschiedenen Geräten (automatisches Penetrometer, Laborograph, Farinograph) und verglichen ihn mit den Relaxationszeiten. Als Vergleichsgrundlage erwies sich auf Grund unserer vorangegangenen Untersuchungen bei Teigen, die mit 58%iger Wasserbeigabe bereitet wurden, die dem Zeitpunkt  $t = 120$  sec zugehörige scheinbare Relaxationszeit ( $\tau_{120}$ ) als die beste. Die Ergebnisse veranschaulichen die Abb. 11, 12 und 13.

Wie ersichtlich, besteht zwischen der Relaxationszeit und dem Backwert ein entschiedener und signifikanter Zusammenhang. Gleichzeitig ist dieser Zusammenhang jedoch, wie dies die Korrelationskoeffizienten zeigen, weniger eng als zwischen den sonstigen den Backwert charakterisierenden Werten. Die Gleichungen der Regressionsgeraden und der Korrelationskoeffizienten sind die folgenden:

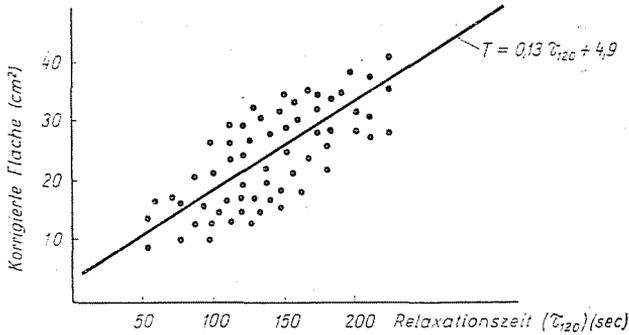


Abb. 11

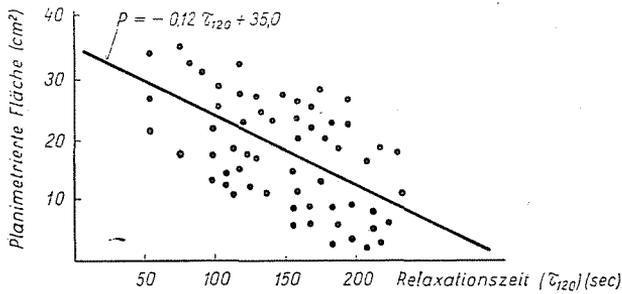


Abb. 12

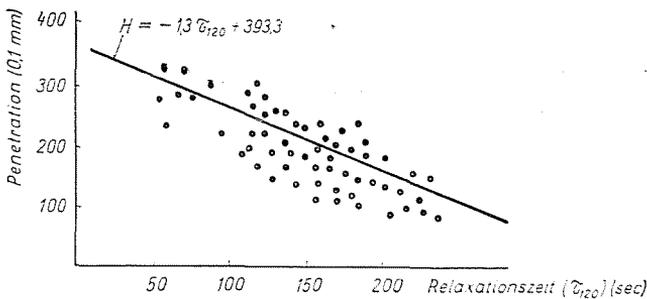


Abb. 13

Laborograph: $T = 0,13 \tau_{120} + 4,9$	$r = 0,649$
Farinograph: $P = -0,12 \tau_{120} + 35,0$	$r = 0,541$
Penetrometer: $H = 0,3 \tau_{120} + 393,3$	$r = 0,791$

( $T$  = korrigierte Fläche [cm<sup>2</sup>];  $P$  = planimetrierte Fläche [cm<sup>2</sup>];  $H$  = Maß des Penetrometerkegels [0,1 mm];  $\tau_{120}$  = Relaxationszeit [sec]).

Interessanterweise ergibt sich die beste Korrelation bei Anwendung der Penetrometerangaben.

Zur weiteren Verfeinerung der Zusammenhänge setzten wir die Datensammlung und die Bestimmung weiterer rheologischer Konstanen fort, die es uns ermöglichen werden, die rheologischen Eigenschaften des Teiges komplexer zu beschreiben.

### Literatur

1. KENT-JONES, D. W., AMOS, A. J.: Modern Cereal Chemistry, Liverpool 1957.
2. AUERMAN, L. J.: Технология хлебопечения Moskau 1956.
3. GRUZZL, F. und Mitarb.: Malom- és sütőipari anyagismeret (Materialkunde der Mühlen- und Bäckereiindustrie, ungarisch) II. Budapest 1952.
4. SCOTT-BLAIR, G. W.: Foodstuffs, their Plasticity, Fluidity and Consistency, Amsterdam 1953.
5. BRANOPOLSKAJA, R. A.: Kolloidy w pischtschowoi prom. **1**, 82 (1946).
6. NIKOLAJEW, B. A., SAMARINA, I. A.: Chlebopek. Kond. Prom. **2**, 3. 3 (1958).
7. NIKOLAJEW, B. A.: Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов. Moskau 1964.
8. CUNNINGHAM, J. R., HEYNKA, I.: J. Appl. Phys. **25**, 1075 (1954).
9. GLÜCKELICH, J., SHELEF, L.: Cer. Chem. **39**, 242 (1962).
10. BARNEY, J. E., PÖLLOCK, H. B., NOLZE, C. C.: Cer. Chem. **42**, 215 (1965).
11. EIRICH, F. R.: Rheology I. New York 1958.
12. Élelmiszerek szabvány-vizsgálási módszerei (Genormte Untersuchungsmethoden für Lebensmittel, ungarisch). Budapest 1954.
13. AUERMAN, L. JA.: Die Nahrung, **6**, 545 (1962).
14. LÁSZTITY, R.: Búzalisztból készült tészták feszültségrelaxációjának vizsgálata (Untersuchung der Spannungsrelaxation von Weizenmehl-Teigen). Dissertation. Budapest 1960.
15. LÁSZTITY, R.: Élelmiszervizsg. Közl. **6**, 170 (1960).
16. SCHWARZL, F., STAVERMANN, A. J.: J. of Appl. Phys. **23**, 838 (1952).
17. BISCHOFF, J., CATSIF, E., TOBOLSKY, A. V.: J. Am. Chem. Soc. **74**, 3378 (1952).
18. FERRY, J. D.: J. Am. Chem. Soc. **72**, 3746 (1950).
19. MECHAM, D. K.: Cer. Chem. **36**, 134 (1959).

Prof. Dr. László Telegdy Kováts }  
 Dr. Radomir Lásztity } Budapest, XI., Műegyetem rkp. 3. Ungarn