

## Ein Festigkeitsprüfgerät für Lebensmittel nach N. Wolodkewitsch

Von  
**TH. GRÜNEWALD**

*Mitteilung aus der Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung Karlsruhe*

Mit 15 Textabbildungen

(Eingegangen am 27. Juni 1956)

### Einleitung

Die Bestimmung der Konsistenz von Lebensmitteln ist aus mehreren Gründen bedeutungsvoll. Einmal wird diese Eigenschaft zur Beurteilung der Lebensmittelgüte neben Farbe, Formerhaltung, Geruch und Geschmack herangezogen<sup>1</sup>; zum anderen kann sie beispielsweise bei der Erprobung von neuen Lager- und Reifeversuchen u. dgl. als Kenngröße dienen. Vielfach wird nun die Konsistenz durch rein subjektive Prüfmethoden (Kostproben) ermittelt. Es besteht aber in immer stärkerem Maße der Wunsch, auch bei der Beurteilung von Lebensmitteln die Eigenarten des Beobachters auszuschalten und rein objektive Methoden zu verwenden. Es wurde daher bereits eine Anzahl von Meßverfahren und Meßgeräten zur Bestimmung der Konsistenz entwickelt. Diese Geräte beziehen sich aber fast durchweg auf die Bestimmung der Druck- und Scherfestigkeit oder des Penetrometerwertes. Von WOLODKEWITSCH wurde in der Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung, Karlsruhe, ein Universalgerät entwickelt, das vor allem zur Prüfung der Konsistenz von Lebensmitteln nach der sogenannten Spaltmethode benutzt wird, mit dem aber auch die Bestimmung folgender Kenngrößen möglich ist: Penetrometerwert, Druckfestigkeit, Scherfestigkeit, Biegefestigkeit und Zugfestigkeit.

### 1. Spaltmethode

Es gibt eine ganze Anzahl von Lebensmitteln, deren Festigkeit nicht so groß ist, daß man aus ihnen zur Messung der Konsistenz einen Zylinder herauschneiden und zerdrücken oder die Probe auf Biegung und Abscherung beanspruchen kann. Dies gilt vor allem für bestimmte Obstsorten (Erdbeeren, Trauben usw.), weichen Käse und ähnliche Lebensmittel. Zur Bestimmung der Kon-

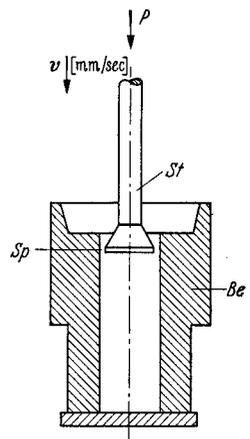


Abb. 1. Prinzip der Spaltmethode.  
Be Probenbehälter,  
St Prüfstempel, Sp Spalt

<sup>1</sup> PLANK, R.: Vorratspflege u. Lebensmittelforsch. **6**, 4 (1943).  
Z. Lebensmittel-Unters. u. -Forsch., Band 105

sistenz solcher Lebensmittel wurde daher von WOLODKEWITSCH die sogen. Spaltmethode entwickelt<sup>1</sup>.

Das Prinzip der Spaltmethode ist in Abb. 1 angedeutet. Als Probenbehälter *Be* dient eine zylinderförmige Hülse, die mit dem zu untersuchenden Lebensmittel mittels eines Stempels so lückenlos angefüllt wird, daß einerseits keine Luftblasen vorhanden sind, die das Meßergebnis fälschen würden, andererseits aber die Struktur des Versuchsgutes nicht zerstört wird. Ein Prüfstempel *St*, dessen Durchmesser kleiner ist als der Innendurchmesser der Hülse, wird mit einer konstanten Geschwindigkeit *v* [mm/sec] durch die Probe gedrückt, so daß diese durch den Spalt *Sp* zwischen Prüfstempel und Hülse entweicht. Die dabei aufgewendete mittlere Kraft  $P_m$  wird als Maß für die Festigkeit der Lebensmittel definiert<sup>1</sup>. Die Ermittlung dieser Kraft erfolgt aus dem Weg-Kraft-Diagramm, das während des Meßvorganges aufgezeichnet wird.

## 2. Gesamtaufbau des Gerätes

Bei der Konstruktion des Prüfgerätes wurde auf Grund langjähriger Erfahrung und im Hinblick auf seine ursprünglich bevorzugte Verwendung für die Spaltmethode besonders auf folgende Punkte Rücksicht genommen:

1. störungsfreie Aufzeichnung der gemessenen Kraft,
2. kurze Zeitdauer der Messung,
3. schnellen Austausch der Proben,
4. schnellen Austausch der Ausrüstungsteile zwecks Übergang von einer Meßmethode auf eine andere.

Abb. 2 zeigt ein Gesamtbild des Gerätes, ausgerüstet für die Messung nach der Spaltmethode<sup>2</sup>.

Das Gerät besteht im wesentlichen aus drei massiven Platten  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  (in allen weiteren Abbildungen und Zeichnungen wird für gleiche oder einander entsprechende Teile dieselbe Bezeichnung gewählt), von denen zwei ( $P_1$  und  $P_3$ ) mittels drei Säulen *S* fest miteinander verbunden sind. Die dritte Platte  $P_2$  kann durch einen Antrieb, der sich zwischen  $P_3$  und  $P_2$  befindet (vgl. Abschnitt über den Antrieb), zwischen den beiden anderen gehoben oder gesenkt werden, wobei die Säulen als Führung dienen. Die Messung erfolgt in dem Raum zwischen der mittleren und oberen Platte, während sich die Vorrichtung zur Aufzeichnung des Weg-Kraft-Diagramms auf der Oberseite der feststehenden Platte  $P_1$  befindet. Wenn die Messung in der Bestimmung der Maximalkraft besteht, kann die Ablesung an einer geeichten Meßuhr *M* vorgenommen werden.

Die Säulen sind geschliffen und so befestigt, daß bei mittlerer Belastung keine Durchbiegung dieser Säulen auftritt; sie sind von besonderen Schutzhülsen *Sh* umgeben.

Die Teile des Gerätes, die mit korrodierenden Substanzen wie z. B. Fruchtsäuren in Berührung kommen, sind aus nichtrostendem Metall hergestellt.

*Meßfeder.* Als Meßfedern *F* werden Indicatorfedern verwendet. Sie haben den Vorteil einer einfachen Eichmöglichkeit und können infolge ihrer gleichen Abmessungen leicht gegeneinander ausgetauscht werden. Das obere Ende des Druckbolzens *Dr* ist mit einer Aussparung versehen, in die ein Ende der Meßfeder eingeschraubt wird (vgl. Abb. 3). Das andere Ende der Meßfeder wird durch einen Schraubring *Sr* fest mit der Platte  $P_4$  verbunden. Die Federn weisen eine Länge von etwa 40 mm auf, und ihre maximale Ausdehnung beträgt 8 mm. Das Gerät ist so gebaut, daß Meßfedern mit einer Maximalkraft von 0,5—25 kg verwendet werden können.

*Meßuhr.* In dem eigentlichen Prüfraum zwischen  $P_1$  und  $P_2$  ist an der Hülse *H* eine Meßuhr *M* angebracht, die über eine Hebelübersetzung mit dem Druckbolzen *Lr* leicht lösbar gekoppelt ist und zur Kraftanzeige dient. Das Übersetzungsverhältnis wurde so gewählt, daß einer Bewegung des Druckbolzens von 8 mm (entsprechend der Maximalausdehnung der Meßfedern) eine Anzeige von 100 Teilstrichen auf der Meßuhr, d. h. ein einmaliger Zeigerumlauf entspricht.

<sup>1</sup> WOLODKEWITSCH, N.: Diese Z. **103**, 261 (1956).

<sup>2</sup> Es wurde in den feinmechanischen Werkstätten des Maschinenlaboratoriums der Technischen Hochschule Karlsruhe gebaut. Für die wertvolle Mitarbeit, des Masch.-Ing. VÖEGELE von der BFL und des Mechanikermeisters HERRMANN sei auch hier besonderer Dank ausgesprochen.

Je nach der verwendeten Meßfeder (0,5—25 kg) ergibt sich damit eine Empfindlichkeit von 1 Skalenteil = 0,005 kg bis 0,25 kg. Die Meßuhr dient nur zur Anzeige der Maximalkraft.

*Führung des Bolzens zur Übertragung der Kraft.* Ganz besondere Sorgfalt wurde auf die Führung des Druckbolzens *Dr* verwendet, in den auf der einen Seite der Prüfstempel *St* eingeschraubt wird und an dessen anderem Ende die Meßfeder befestigt ist. Da der Bolzen z. B. bei der Spaltmethode unter Umständen einen Weg von etwa 30 mm zurücklegen kann, währenddem die Spaltbreite unverändert erhalten bleiben muß, ist es notwendig, daß seine Achse stets genau parallel zu den Säulen verläuft und mit der Achse des Probenbehälters (Hülse) zusammenfällt. Zu diesem Zweck ist eine Anzahl von einmaligen Justierungen vor Inbetriebnahme des Gerätes erforderlich, die am Ende dieses Berichtes beschrieben werden.

Der Bolzen *Dr* läuft im Abstand von etwa 70 mm zwischen zwei verstellbaren Kugellagern. Dadurch wird einmal eine einwandfrei definierte Führung erreicht, zum anderen kann die Reibung so niedrig gehalten werden, daß sie auch bei Verwendung sehr schwacher Meßfedern ohne Einfluß auf das Meßergebnis bleibt.

*Probenhalterung und Support.* Bei der Spaltmethode muß für jede Messung die Hülse *Be* neu gefüllt werden. Eine solche Füllung, die sorgfältig durchzuführen ist, nimmt einige Zeit in Anspruch, während der das Meßgerät unbenutzt steht. Ein derartiger Zeitverlust ist aber insbesondere bei Serienmessungen unerwünscht. Um hier einen Ausweg zu schaffen, wurde das Festigkeitsprüfgerät nach WOŁODKEWITSCH mit einem Support *Su* ausgerüstet, der als Träger für die Hülse dient (vgl. Abb. 2); er gleitet in zwei auf der mittleren Platte angebrachten Schienen zwischen einem vorderen und einem hinteren Anschlag. Am hinteren Anschlag befindet sich die Hülse in Meßstellung, während der vordere Anschlag so weit vorverlegt ist, daß ein schneller Austausch der gesamten Hülsen vorgenommen werden kann, ohne daß der Prüfstempel sehr viel über den oberen Hülsenrand zurückgedreht werden muß. Das Gerät ist dann sofort wieder meßbereit. Während sich also eine Person nur mit dem Meßvorgang befaßt, ohne daß dabei zwischen den einzelnen Messungen eine merkliche Totzeit liegt, können von einer Hilfskraft die Hülsen für die weiteren Meßreihen vorbereitet werden. Auch der Austausch ganzer Bauteile zum Übergang von einem Meßverfahren auf ein anderes wird durch diesen Support erleichtert.

Der äußere Durchmesser der Hülse ist im unteren Teil so gewählt, daß sie genau in die bereits justierte Fassung *Fa* für die Probenbehälter paßt und eine Nachjustierung nicht erforderlich ist. Der Innendurchmesser bei den gewählten Zubehörteilen beträgt 13 mm gegenüber einem Außendurchmesser der Prüfstempel von 11 bzw. 12,5 mm. Es entsteht dadurch zwischen dem Prüfstempel und der Hülsenwand ein Spalt *Sp* von 1 bzw. 0,25 mm. Es ist selbstverständlich auch möglich, andere Spaltbreiten durch Wahl eines anderen Stempel- oder Hülsendurchmessers zu verwenden, doch hat sich bei den bisherigen Versuchen eine Spaltbreite von 1 mm als besonders günstig erwiesen. Der Spalt muß auf jeden Fall größer sein als die in der Probe enthaltenen festen Bestandteile, z. B. in einer Erdbeere die Kerne. Um den herausgepreßten Teil der Probe aufzunehmen, besitzt die Hülse einen Überlaufband.

*Registrierteil.* Der schreibende Regierteil ist für die Messungen nach der Spaltmethode unerlässlich. Er ist schematisch in Abb. 3 dargestellt. Damit die feinen Hebel bei der Bedienung des Gerätes nicht verletzt werden und hierbei nicht stören, ist der Regierteil auf der oberen

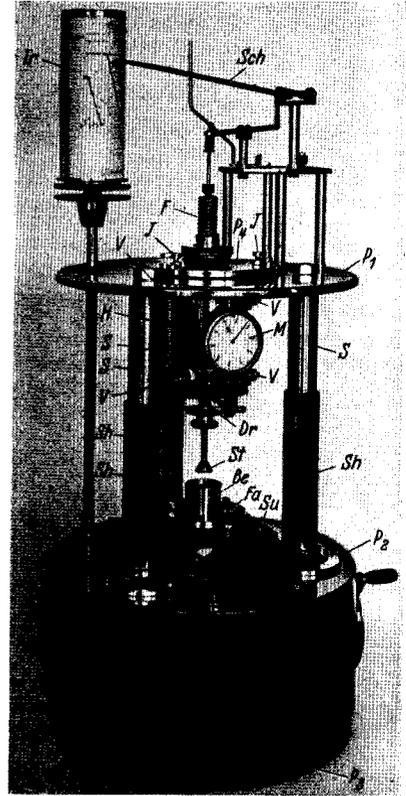


Abb. 2. Gesamtansicht der Festigkeitsprüfgerätes. *Be* Probenbehälter, *Dr* Druckbolzen, *F* Meßfeder, *Fa* Fassung für die Probenbehälter, *H* Hülse, *J* Justierschrauben, *M* Meßuhr, *P<sub>1</sub>* Obere Platte, *P<sub>2</sub>* Mittlere Platte, *P<sub>3</sub>* Untere Platte, *P<sub>4</sub>* Platte, *S* Säule, *Sch* Schreibhebel, *Sh* Schutzhülse, *St* Prüfstempel, *Su* Support, *Tr* Schreibtrommel, *V* Verstellschrauben

Platte  $P_1$  aufgebaut. Er besteht im wesentlichen aus der Schreibtrommel  $Tr$ , die das Registrierpapier trägt, und dem Schreibhebel  $Sch$  mit der Schreibfeder  $Sf$ , welche mit geringer Kraft an das Papier angepreßt wird, so daß die Reibung zwischen beiden klein ist. Die Verkopplung über den Stab  $Sta$  und die Hebel  $H_1$ ,  $H_2$  und  $H_3$  mit dem oberen Ende des Druckbolzens  $Dr$  kann an der Schraube  $Schr$  gelöst und die Registriervorrichtung damit für die Messungen, bei denen plötzliche Kraftänderungen auftreten, die eine Beschädigung der Schreibvorrichtung zur Folge haben könnten, außer Betrieb gesetzt werden.

Die Schreibtrommel  $Tr$  sitzt auf der Achse  $A$ , die mit dem Zahnradantrieb und damit auch mit der mittleren beweglichen Platte  $P_2$  durch ein Zahnrad verkopplert ist. Auf diese Weise ist der Drehwinkel der Trommel dem Weg proportional, den die Platte zurücklegt, und zwar sind Übersetzung und Trommeldurchmesser (57,5 mm) so gewählt, daß die Schreibfeder  $Sf$  bei einem Hub der mittleren Platte von 1 mm eine 2 mm lange waagerechte Gerade schreibt. Einem Meßweg von 30 mm, wie er bei der Spaltmethode auftritt, entspricht somit eine Diagrammbreite von 60 mm. Bei einem Trommelumfang von etwa 180 mm können also bequem zwei Diagramme nebeneinander geschrieben werden.

Die Trommel besitzt eine Höhe von 150 mm. Da einer Maximalausdehnung der Meßfeder ein Zeigerausschlag von 50 mm entspricht, können somit drei Diagramme übereinander, d. h. insgesamt eine Meßreihe von sechs Diagrammen, auf einem Blatt aufgezeichnet werden. Um den Anfangspunkt dieser Diagramme beliebig einstellen zu können, ist die Trommel auf einer gerändelten Scheibe  $S_1$  gelagert, die einen auf der Achse der Schreibtrommel ange-

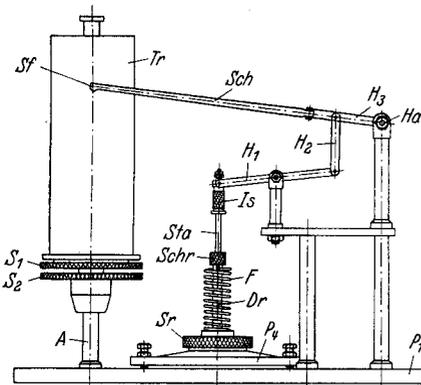


Abb. 3

Abb. 3. Schematischer Aufbau des Registrierteiles.  $A$  Achse,  $Dr$  Druckbolzen,  $F$  Meßfeder,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  Hebel,  $Ha$  Hebelachse,  $Is$  Justierschraube,  $S_1$ ,  $S_2$  Scheiben,  $Sch$  Schreibhebel,  $Schr$  Schraube,  $Sf$  Schreibfeder,  $Sr$  Schraubring,  $Sta$  Stab,  $Tr$  Schreibtrommel,  $P_1$  Obere Platte,  $P_2$  Platte

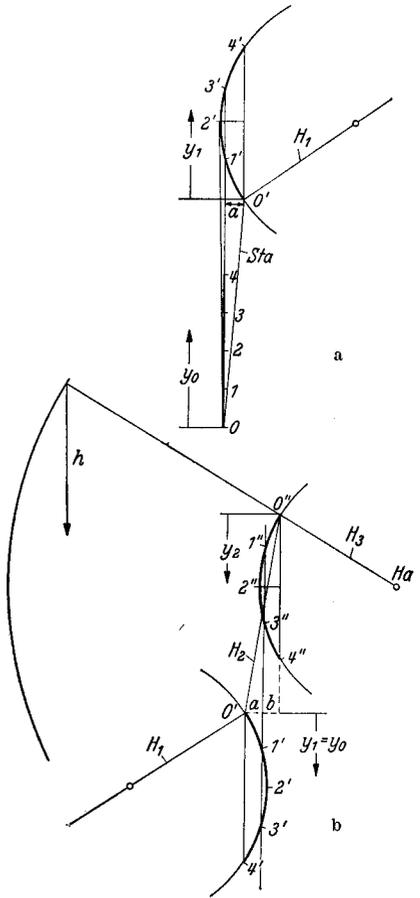


Abb. 3 a u. b

Abb. 3 a u. b. Berechnung der Anzeigegenauigkeit des Registriersystems.  $Sta$  Stab,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  Hebel

ordneten zylindrischen, geschlitzten Teil aufweist, der zur Befestigung durch eine zweite Scheibe  $S_2$  auf die Achse  $A$  aufgepreßt wird. Damit kann die Rolle an einer beliebigen Stelle längs ihrer Achse festgeklemmt werden. Um sie trotzdem auch noch gegen die Achse verdrehen zu können, ist sie nicht fest auf die Lagerscheibe  $S_1$  aufgeschraubt, sondern sie wird durch Federdruck dagegen gepreßt und kann somit gegen die Achse gedreht werden.

Bei der Ausdehnung der Meßfeder  $F$  schreibt die Schreibfeder  $Sf$  infolge der Übertragung durch die Hebel  $H_1-H_2-H_3-Sch$  einen Bogen von oben nach unten. Die Hebelabmessungen und die Übersetzung in bezug auf die Hebelachse  $Ha$  sind so gewählt, daß bei der maximalen Federbelastung (Ausdehnung der Feder um 8 mm) die Schreibfeder  $Sf$  um 50 mm sinkt. Der Schreibhebel  $Sch$  hat eine Länge von 200 mm, und bei einer Ausdehnung der Meßfeder von 0–8 mm überstreicht er einen Bogen von  $14^\circ$ .

Als Maß für die aufgewendete Kraft wird nicht der Winkelausschlag des Schreibhebels, sondern die senkrechte Auslenkung der Schreibfeder genommen. Der Anzeigefehler, der bei dieser vereinfachten Ablesung auftritt, soll im folgenden anhand der Abb. 3a und 3b näher untersucht werden.

Abb. 3a stellt schematisch die Bewegungsbahnen von dem unteren und oberen Ende des Stabes  $Sta$  (vgl. Abb. 3) dar. Das untere Ende bewegt sich entsprechend der Federausdehnung mit einer maximalen Amplitude von 8 mm auf einer Geraden. Die Momentanauslenkung sei  $y_0$ . Das obere Ende wird auf einem Kreisbogen mit dem Radius  $H_1/2 = 40$  mm geführt. Die momentane Vertikalauslenkung sei  $y_1$ .

Die Justierung ist so getroffen, daß der Stab  $Sta$  in den Punkten  $1,1'$  und  $3,3'$  senkrecht steht. Der maximale Relativfehler tritt dann bei größter Horizontalauslenkung des oberen Stabendes, also in den Stellungen  $0,0'$  und  $4,4'$  auf. Diese sollen allein zur Fehlerabschätzung betrachtet werden. Da die Strecke  $0'4'$  praktisch gleich 8 mm und die Strecke  $1'3'$  gleich 2 mm ist, ergibt sich für  $a$  als Differenz der beiden Sehnhöhen 0,15 mm. Daraus ergibt sich, daß die Projektion des Bogens  $0'1'$  auf die Vertikale nicht eine Länge von 2 mm, sondern von 2,002 mm aufweist. Setzt man den Fehler in der Anfangsstellung  $0,0'$  gleich Null, so beträgt der Fehler in der Stellung  $1,1'$  gleich 0,01%. Dieser Fehler ist vernachlässigbar, und es kann praktisch  $y_1 = y_0$  gesetzt werden.

Etwas größer ist der Fehler, der bei der Übertragung über das nächste Hebelsystem auftritt. Abb. 3b zeigt die Bewegungsbahnen von dem unteren und oberen Ende des Hebels  $H_2$ . Das untere Ende wird durch  $H_1$  und das obere Ende durch  $H_3$  auf einer Kreisbahn geführt.

Der maximale Fehler läßt sich wieder wie oben in der Stellung  $0'0''$  gegenüber  $1'1''$  berechnen. Bei den Maßen  $H_1 = 40$  mm,  $H_2 = 37$  mm und  $H_3 = 32$  mm ergibt sich für  $a = 0,15$  mm und  $b = 0,19$  mm. Damit wird die Projektion des Bogens  $0'1''$  auf die Vertikale  $= 2,0015$  mm, und der relative Fehler, der auch in diesem Falle als Maximalfehler angesehen werden kann, beträgt 0,08%. Also ist praktisch  $y_2 = y_1 = y_0$ .

Da am Hebel  $H_3$  bzw. an dessen Verlängerung  $Sch$  die Schreibfeder  $Sf$  sitzt, weist auch ihre Vertikalauslenkung  $h$  den gleichen prozentualen Fehler auf wie  $y_2$ . Es kann also mit Sicherheit ausgesagt werden, daß das Hebelsystem der Registriervorrichtung die Ausdehnung  $y_0$  der Meßfeder mit einer Abweichung von höchstens 0,1% auf die Schreibfeder überträgt. Damit gilt

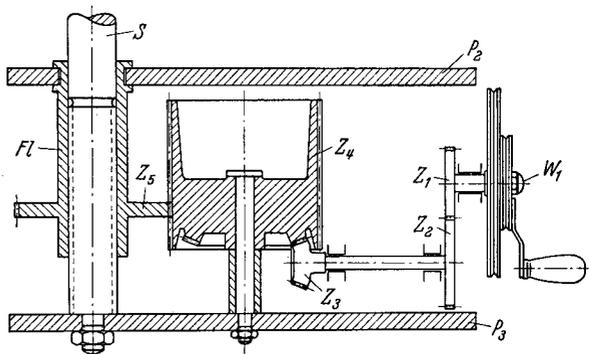


Abb. 4. Schematischer Aufbau des Antriebsbauteiles.  $Fl$  Führungslager,  $P_2$  Mittlere Platte,  $P_1$  Untere Platte,  $S$  Säule,  $W_1$  Welle,  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5$  Zahnräder

$$h = c \cdot y_0, \quad (1)$$

mit  $c = 6,25$ .

**Antrieb.** Der Antrieb wirkt gleichzeitig auf die drei Lager der mittleren Platte  $P_2$ . Der prinzipielle Aufbau der Antriebsvorrichtung ist in Abb. 4 dargestellt. Der Klarheit wegen wurde nur eine der drei Säulen  $S$  angedeutet. Es bedeuten  $P_1$  die untere Platte,  $P_2$  die Mittelplatte und  $S$  eine der drei Säulen. Der Antrieb kann von Hand oder durch Motorkraft über die Welle  $W_1$  vorgenommen werden. Diese ist über ein Zahnradgetriebe  $Z_1, Z_2, Z_3$  mit dem Hauptzahnrad  $Z_4$  verbunden, in welches gleichzeitig die an den Führungslagern  $Fl$  der drei Säulen befestigten Zahnräder  $Z_5$  eingreifen. Da das Führungslager mit der Säule durch ein Gewinde verbunden ist, wird die Platte  $P_2$  bei einer Drehung des Führungslagers parallel zu sich selbst in Richtung der Säulenachse lotrecht verschoben.

Um reproduzierbare Ergebnisse bei Verwendung der gleichen Prüfvorrichtung zu erhalten, muß die Geschwindigkeit des Prüfstempels vor allem bei der Spaltmethode einmal während der Messung konstant gehalten werden, zum anderen bei gleichartigen Messungen möglichst immer gleich sein. Es ist daher zweckmäßig, anstelle des Handantriebs einen motorischen Antrieb zu verwenden. Hierzu dienen die beiden auf der Welle  $W_1$  befestigten Antriebsräder mit einem Durchmesser von 54 mm bzw. 108 mm. Als Antriebsmotor kann z. B. ein Saja-Kleinmotor mit 100 U/min bei 50 Hz verwendet werden. Falls sich auf der Motorwelle ebenfalls zwei Antriebsräder mit verschiedenem Durchmesser, beispielsweise 18 mm und 37 mm befinden, kann die Drehzahl der Motorwelle im Verhältnis 1:1,5, 1:3,0, und 1:6,2 untersetzt werden. Dadurch ergeben sich Stempelgeschwindigkeiten von 0,6, 1,1, und 2,2 mm/sec. Für das Prüfverfahren

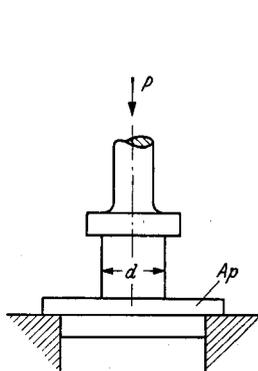


Abb. 5

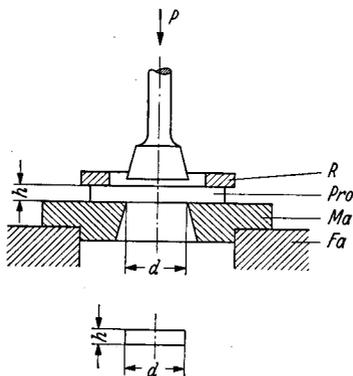


Abb. 6

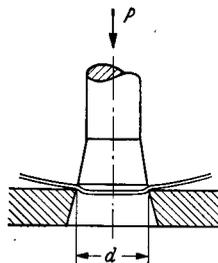


Abb. 7

Abb. 5. Prinzip der Druckfestigkeitsmessung.  $d$  Probendurchmesser,  $A_p$  Abschlussplatte

Abb. 6. Prinzip der Scherfestigkeitsmessung.  $F_a$  Fassung für Probenhalter,  $M_a$  Matrize,  $Pro$  Probe,  $R$  Beschwerungsring

Abb. 7. Prinzip der Schalenfestigkeitsmessung

nach der Spaltmethode ist es zweckmäßig, mit einer der beiden mittleren Stempelgeschwindigkeiten zu arbeiten, da diese der Kaugeschwindigkeit am nächsten kommen. Für die anderen Prüfverfahren ist die Geschwindigkeit nicht kritisch, doch sollte sie so gewählt werden, daß die Feder noch ruhig schreibt. — Als Antriebsriemen kann ein Kunststoffriemen mit einem Durchmesser von 5 mm verwendet werden.

### 3. Bestimmung der Druckfestigkeit

Durch einfachen Austausch mehrerer Teile kann das Gerät, außer zur Spaltmethode, auch zur Messung der Festigkeitseigenschaften von Lebensmitteln nach anderen bekannten Verfahren<sup>1</sup> verwandt werden. Dabei ist die Anordnung so getroffen, daß beim Übergang von einer Meßmethode auf eine andere keine Nachjustierung erforderlich ist.

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit wird ein flacher Stempel verwendet, der mit einer bestimmten Kraft auf eine zylinderförmige Probe drückt, wie dies in Abb. 5 angedeutet ist.

Die Kraft, bei der die Probestücke nach einer zunächst geringfügigen Verformung zusammenbrechen, sei mit  $P_{max}$  [kg] und die Grundfläche der zylinderförmigen Probe mit  $F$  [cm<sup>2</sup>] bezeichnet. Dann ergibt sich für die Druckfestigkeit allgemein

$$p = \frac{P_{max}}{F} \text{ [kg/cm}^2\text{]}. \quad (2)$$

Wird eine zylinderförmige Probe mit einem Durchmesser  $d$  [cm] verwendet, so gilt für die Druckfestigkeit speziell

$$p = 4 \cdot \frac{P_{max}}{\pi \cdot d^2} \text{ [kg/cm}^2\text{]}. \quad (3)$$

<sup>1</sup> KRUMBHOLZ, G., u. N. WOŁODKEWITSCH: Landwirtsch. Jb. 88, 895 (1939).

Zur Messung wird anstelle der Hülse eine ebene Abschlußplatte  $Ap$  in die Fassung eingefügt und in den Bolzen ein Prüfstempel eingeschraubt, der eine etwas größere Fläche besitzt als die Grundfläche der zylindrischen Probe, die zweckmäßigerweise mit  $1 \text{ cm}^2$  gewählt wird. Während des Meßvorganges wird die Registriervorrichtung abgeschaltet, und die Ablesung erfolgt an der Meßuhr.

Ausführliche frühere Untersuchungen<sup>1</sup> haben ergeben, daß es zweckmäßig ist, die Höhe des Probenzylinders gleich seinem Durchmesser zu wählen. Dann tritt ein ausgesprochenes Maximum in dem Augenblick auf, in dem die Probe zerstört wird. Proben mit niedrigerer Höhe, die beispielsweise halb so hoch sind wie ihr Durchmesser, lassen sich oft wie Tabletten zusammendrücken, ohne zu zerfallen. Die Proben werden mittels einer Hülse in Form eines Korkbohrers ausgeschnitten und mit einem Kolben aus diesem herausgedrückt.

Die Messung der Eierschalenfestigkeit weicht nicht wesentlich von der Bestimmung der Druckfestigkeit ab. Das Ei wird aufrecht zwischen eine Grundplatte in der Fassung für die Probenbehälter und den Druckbolzen geklemmt, und die Maximalkraft mittels der Meßuhr gemessen, in dem Augenblick, in dem die Eierschale zerspringt.

#### 4. Messung der Scherfestigkeit

Als Scherfestigkeit einer Substanz bezeichnet man ganz allgemein das Verhältnis der Maximalkraft  $P_{max}$ , bei der die Abscherung erfolgt, zu der Scherfläche  $F$ .

$$s = \frac{P_{max}}{F} \text{ [kg/cm}^2\text{]}. \quad (4)$$

Dabei ist  $F$  die Scherfläche vor der Belastung.

Eine Scherung tritt beispielsweise auch dann auf, wenn mit einem runden Stempel aus einer plattenförmigen Probe eine Scheibe ausgestanzt wird, wie dies in Abb. 6 angedeutet ist. Die Scherung erfolgt dabei an der Mantelfläche  $F = \pi \cdot d \cdot h$ , und die Scherfestigkeit errechnet sich nach der Formel

$$s = \frac{P_{max}}{F} = \frac{P_{max}}{\pi \cdot d \cdot h} \text{ [kg/cm}^2\text{]}. \quad (5)$$

Zur Messung wird in die Fassung  $Fa$  für die Probenhalter anstelle der Hülse eine Matrize  $Ma$  mit einer zentrischen Öffnung von einem Durchmesser  $d = 10 \text{ mm}$  eingesetzt. Die Öffnung ist kegelförmig und erweitert sich nach unten, damit sich der ausgestanzte Teil der Probe nicht verklemt. Der dazugehörige Prüfstempel ist ebenfalls kegelförmig, und zwar weist er an seinem unteren Ende einen Durchmesser auf, der um einige Hundertstel Millimeter kleiner ist als der Durchmesser der Matrize, während er sich nach oben verjüngt. Bei genauer Justierung gleitet er, ohne die Matrize zu berühren, in die Matrizenöffnung ein. Die Bestimmung der Maximalkraft wird mittels der Meßuhr vorgenommen. Vor jeder Messung kann eine Kontrolle dadurch vorgenommen werden, daß die Meßuhr eingeschaltet wird, die bei reibungslosem Eingleiten des Prüfstempels keinen Ausschlag zeigen darf.

Die Platten, die aus dem zu untersuchenden Stoff ausgeschnitten werden, müssen vollkommen eben sein. Damit tatsächlich eine Abscherung und nicht ein Zusammendrücken der Probe erfolgt, soll die Scheibendicke nicht größer als der halbe Stempeldurchmesser sein.

Mit der gleichen Meßvorrichtung kann auch die Scherkraft von sehr dünnen Proben bestimmt werden. Dies kommt beispielsweise für die Messung der Festigkeit von Schalen in Betracht (vgl. hierzu Abb. 7). Da die Schalen verschiedener Früchte eine unterschiedliche Dicke aufweisen, die überdies infolge des anhängenden Fruchtfleisches nicht ganz gleichmäßig ist, kann die Scherkraft nicht auf die mantelförmige Scherfläche bezogen werden.

<sup>1</sup> KRUMBHOLZ, G., u. N. WOŁODKEWITSCH: Gartenbauwiss. 17, 543 (1943).

Bei Messungen an Schalen wird die Scherkraft auf den Umfang der ausgestanzten Scheibe bezogen. Man erhält dabei als Scherfestigkeit eine auf die Längeneinheit der Schale bezogene Scherkraft, die man als „spezifische Scherkraft“  $s_H$  bezeichnen kann.

$$s_H = \frac{P_{max}}{\pi \cdot d} \text{ [kg/cm]}. \quad (6)$$

Die Durchführung der Messung und die Auswertung der Meßergebnisse sind die gleichen wie bei der allgemeinen Bestimmung der Scherfestigkeit.

Bei der Durchführung dieser Messungen muß auf eine genaue Justierung geachtet werden, damit die Abscherung am ganzen Umfang der Probe zur gleichen Zeit erfolgt. Fällt die Achse des Stempels nicht genau mit der Matrizenachse zusammen, so wird zunächst auf der einen und dann auf der anderen Seite abgesichert. Es ergibt sich dann zwar auch ein Maximum im Weg-Kraft-Diagramm, das aber flacher verläuft und in seinem Wert zu niedrig liegt.

Damit sich die dünnen Proben nicht durchbiegen, wird ein Ring  $R$  zur Beschwerung aufgesetzt.

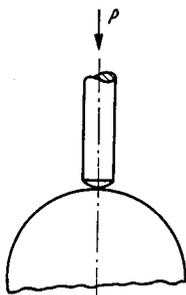


Abb. 8

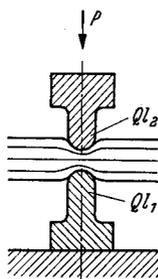


Abb. 9

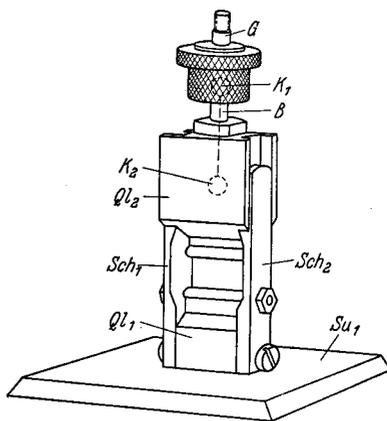


Abb. 10

Abb. 8. Prinzip der Penetrometerwertmessung

Abb. 9. Prinzip der Fleischzähigkeitsmessung.  $QL_1$ ,  $QL_2$  QuetschleistenAbb. 10. Teile zur Messung der Fleischzähigkeit.  $B$  Bolzen,  $G$  Gewindestück,  $K_1$ ,  $K_2$  Kugeln,  $Sch_1$ ,  $Sch_2$  Schienen,  $Su_1$  Support,  $QL_1$ ,  $QL_2$  Quetschleisten

### 5. Messung des Penetrometerwertes

Dieses Verfahren kommt im wesentlichen nur für die Bestimmung der Festigkeit von Fruchtfleisch in Frage, und zwar wird die Kraft gemessen, welche das Fruchtfleisch dem Eindringen eines Stempels von bestimmter Form entgegensetzt, wie dies in Abb. 8 schematisch dargestellt ist. Der Stempel wird bis zu einer festgelegten Tiefe in das Fruchtfleisch eingedrückt und die dabei aufgewendete Kraft bestimmt.

In die Fassung für die Probenhalter wird als Unterlage für die zu untersuchende Frucht eine ebene Platte eingesetzt und in den Druckbolzen der entsprechende Prüfstempel eingeschraubt. Das Weg-Kraft-Diagramm zeigt dann ein Maximum, wenn man einen Stempel mit ebener Stirnfläche verwendet und diesen in 1,5 — 2 cm dicke Fruchtfleischscheiben eindrückt.

### 6. Messung der Fleischkonsistenz

Für die Messung des mechanischen Verhaltens von Fleisch wurde die Methode des Quetschens zwischen zwei Leisten ausgewählt, die sich bei den bisherigen Untersuchungen<sup>1,2</sup> gut bewährt hat und reproduzierbare Werte ergibt. Das Prinzip des Ver-

<sup>1</sup> STEINER, G.: Arch. Hygiene **121**, 193 (1939).

<sup>2</sup> STEINER, G.: Z. Fleisch- Milchhyg. **50**, 61 u. 74 (1939/40)

fahrens ist in Abb. 9 angedeutet. Das Fleisch wird durch die beiden Leisten  $Ql_1$  und  $Ql_2$  quer zur Faser zertrennt. Diese Quetschung entspricht am besten dem menschlichen Kauvorgang.

Die speziellen Teile der Festigkeitsmaschine, die für die Durchführung dieser Messungen benötigt werden, sind in Abb. 10 dargestellt. Die untere Quetschleiste  $Ql_1$  ist auf einem besonderen Support  $Su_1$  angebracht, der in die Schienen auf der mittleren Platte  $Pl_2$  eingeschoben wird. Die obere Quetschleiste  $Ql_2$  gleitet in vertikaler Richtung auf den beiden Schienen  $Sch_1$  und  $Sch_2$ . Sie ist über den Bolzen  $B$  und das Gewindestück  $G$  mit dem Druckbolzen der Festigkeitsmaschine verschraubt. Da dieser durch zwei Lager geführt wird, muß aus Gründen der statischen Bestimmtheit zwischen dem Druckbolzen und der in der Schiene gleitenden Quetschleiste ein Gelenk angebracht sein. Der Bolzen  $B$  ist daher — wie gestrichelt angedeutet — über eine Kugel  $K_1$  mit dem Gewindestück  $G$  und eine zweite Kugel  $K_2$  mit der oberen Quetschleiste  $Ql_2$  verbunden. Für die Messung der Fleischzähigkeit hat es sich als günstig erwiesen, Leisten mit einer Länge von 20 mm und einem Radius der Kanten von 2 mm zu verwenden.

Zur Messung der Zähigkeit von Fischfleisch wird im Prinzip die gleiche Anordnung verwendet, doch beträgt dann die Länge der Quetschleisten 9 mm und der Radius der Kante 1 mm, bedingt durch die kürzere Faserlänge des Fischfleisches. Es wäre im Prinzip natürlich möglich gewesen, für beide Anordnungen den gleichen Support vorzusehen, doch wurde statt dessen die Quetschvorrichtung für Fischfleisch austauschbar für die Einrichtung zur Messung der Biegefestigkeit konstruiert. Die sich dabei ergebenden Vorteile werden im folgenden bei der Betrachtung der letztgenannten Anordnung klar werden.

### 7. Messung der Biegefestigkeit

Um alle Möglichkeiten für die Messung der Festigkeit von Lebensmitteln auszuschöpfen, wurden auch besondere Zubehörteile konstruiert, mit denen eine Messung der Biegefestigkeit möglich wird.

Wird, wie dies in Abb. 11 angedeutet ist, ein aus dem zu untersuchenden Stoff ausgeschnittener Balken an zwei Punkten gelagert und in der Mitte durch eine Kraft  $P$  bis zum Zerbrechen bei  $P_{max}$  belastet, so ergibt sich hieraus die Biegefestigkeit:

$$\sigma_{b \max} = \frac{3}{2} \frac{1}{b \cdot h^2} \cdot P_{max} \text{ [kg/cm}^2\text{]}. \quad (7)$$

Die entsprechenden Teile der Meßvorrichtung werden in Abb. 12 gezeigt. Die beiden Lager  $La_1$  und  $La_2$  sind auf einer Platte leicht herausnehmbar befestigt. Sie weisen einen mittleren Abstand von 30 mm und eine Breite von 12 mm auf.

Die Kraft wirkt nun nicht unmittelbar von der Meßfeder aus über den Druckbolzen auf die Druckleiste  $Dr_1$ , sondern über den Hebel  $H_4$ , der in dem Lager  $Lr$  drehbar ist. Der Bolzen  $Bo$  sitzt mit einer Spitze auf dem Hebel  $H_4$ , während er oben in dem Gewindestück  $G$  in gleicher Weise wie bei der Anordnung zur Messung der Fleischzähigkeit kugelgelagert ist. Dadurch ist keine genaue Justierung erforderlich. Das Übersetzungsverhältnis des Hebels hat je nachdem, ob der Meßteil — wie im Bild gezeigt — in die vorderen Aussparungen oder in die hinteren Aussparungen  $As$  eingesetzt ist, einen Wert von 1:5 oder 1:2,5. Infolgedessen kann eine verhältnismäßig starke Feder verwendet werden, obwohl nur eine geringe Kraft benötigt wird. Da man mit der Bemessung der Indicatorfedern nicht unter einen bestimmten Wert kommt, und außerdem die Reibungskraft in ihrer Größe weit unter der aufgewendeten Federkraft liegen soll, wird es somit trotzdem möglich, den Meßbereich auf ein Fünftel der kleinsten Feder auszudehnen.

Da auch bei der Messung der Fischzähigkeit unter Umständen verhältnismäßig kleine Kräfte benötigt werden, wurden die entsprechenden bereits erwähnten Teile so konstruiert, daß sie wie der Biegefestigkeits-Meßteil in die vorderen oder hinteren Aussparungen eingesetzt werden können.

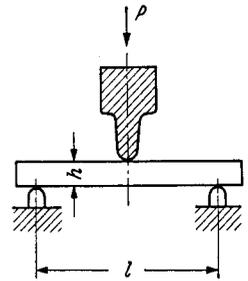


Abb. 11. Prinzip der Biegefestigkeitsmessung

### 8. Messung der Zerreißfestigkeit

Es lag nahe, als weitere Meßmethode zur Prüfung der Festigkeit von Lebensmitteln auch die Bestimmung der Zerreißfestigkeit einzuführen. Die Zerreikraft, als Maximalkraft gemessen, kann zumindest das Bild, das sich aus den anderweitigen Beurteilungen der untersuchten Lebensmittel ergibt, abrunden.

Das beschriebene Festigkeitsprfergert ermöglicht ebenfalls die Bestimmung der Zerreißfestigkeit. Hierzu wird in den Hebel  $H_1$  (Abb. 12) das eine Lager für die Probe eingespannt, während das andere Lager an einem galgenfrmigen Gestell verstellbar über dem Hebel angebracht ist. Auf diese Weise wird die Druckkraft auf den Hebel in eine Zugkraft zwischen den beiden Einspannlagern umgewandelt. Eingehendere Versuche mit diesem zunächst provisorischen Aufbau sind geplant, die für eine endgültige Gestaltung dieser Meßmethode Unterlagen liefern sollen.

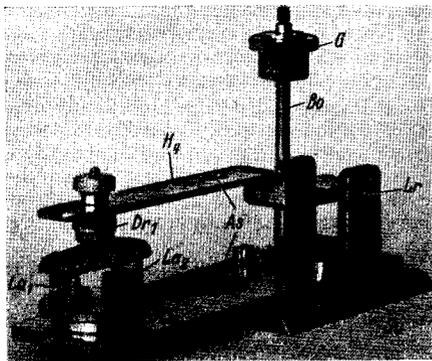


Abb. 12. Teile zur Messung der Biegefestigkeit.  $A_s$  Aussparungen,  $B_o$  Bolzen,  $D_r$  Druckleiste,  $G$  Gewindestück,  $H_1$  Hebel,  $L_{a1}$ ,  $L_{a2}$  Lager,  $L_r$  Lager,  $S_u$  Support

### 9. Auswertung der Weg-Kraft-Diagramme

Die Bestimmung der Maximalkraft aus einem Weg-Kraft-Diagramm ist verhältnismäßig einfach. Abb. 13 zeigt ein Beispiel für ein solches Diagramm, wie es sich bei der Bestimmung der Scherfestigkeit von Apfelfleisch ergab.

Wie oben im Zusammenhang mit der Beschreibung der Registriervorrichtung erläutert wurde, besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Ordinate eines Punktes bzw. seinem Abstand  $h$  von der Abszissenachse und der Federausdehnung

$$h = k \cdot s, \quad (8)$$

wobei  $s$  die Ausdehnung der Feder und  $k$  eine durch die Abmessungen des Instrumentes gegebene Konstante ist. Das Übersetzungsverhältnis des Registrierteiles ist so gewählt, daß bei  $s = 8$  mm sich für  $h$  ein Wert von 50 mm ergibt. Damit wird

$$\bar{h} = 6,25 \cdot s. \quad (9)$$

Für die abzulesende Kraft  $P$  ergibt sich, da die maximale Federkraft  $F_{max}$  auf eine Ausdehnung von 8 mm bezogen wird, an jeder Stelle

$$P = \frac{F_{max}}{50} \cdot h. \quad (10)$$

Aus Abb. 13 wird  $\bar{h} = 22,5$  mm abgelesen. Da eine 5 kg Feder verwendet wurde, ergibt sich  $P = 2,25$  kg. Die Dicke der Apfelscheibe betrug 3 mm und damit die Scherfläche  $F = 0,94$  cm<sup>2</sup>. Die Scherfestigkeit ergibt sich dann zu  $s = 2,4$  kg/cm<sup>2</sup>. Die Ablesung der Maximalkraft durch die Meßuhr ist natürlich wesentlich einfacher.

Gleichartige Kurven ergeben sich auch bei der Messung der Druckfestigkeit, der Biegefestigkeit, der Fleisch- und Fischzhigkeit sowie der Zugfestigkeit, überhaupt immer, wenn es auf die Bestimmung eines Maximalwertes ankommt.

Schwieriger ist die Auswertung des Weg-Kraft-Diagramms dann, wenn die mittlere Kraft ausgerechnet werden soll, wie dies bei der Bestimmung der Konsistenz nach der Spaltmethode der Fall ist. Eine ausführliche, theoretisch begründete Anleitung findet sich bei WOLODKEWITSCH<sup>1</sup>.

Abb. 14 zeigt ein solches Weg-Kraft-Diagramm, aus dem die mittlere Kraft  $P_m$  ermittelt werden soll. Es wird hierzu ein charakteristischer Teil der Kurve, und zwar der Wegabschnitt

<sup>1</sup> WOLODKEWITSCH, N.: Diese Z. 103, 261 (1956).

$x_2 - x_1$  herausgegriffen. Für die mittlere Kraft gilt

$$P_m = C \cdot \frac{F}{x_2 - x_1} = C \cdot h_m \quad (11)$$

$$\text{mit } C = \frac{F_{max}}{50}. \quad (12)$$

Entsprechend der Formel 11 sind zwei Möglichkeiten zur Bestimmung von  $P_m$  gegeben. Es kann entweder die Fläche zwischen  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_2$  und  $B_1$  ausintegriert oder unmittelbar die mittlere Höhe  $h_m$  bestimmt werden.

Für das erste Verfahren benötigt man ein Planimeter, während das zweite etwa sechsmal schneller und ohne besonderen Aufwand durchgeführt werden kann. Dies soll anhand der Abb. 15 näher erläutert werden.

Die Kurve  $B_1 B_2$  wird durch eine Gerade  $C_1 C_2$  ersetzt, die so gelegen ist, daß die senkrecht und waagrecht gestrichelten Flächenabschnitte gleich sind. Als nächstes wird die Gerade  $C_1 C_2$

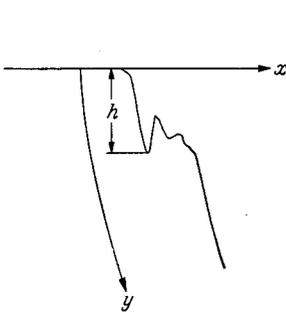


Abb. 13

Abb. 13. Weg-Kraft-Diagramm. Scherfestigkeit von Apfelfleisch

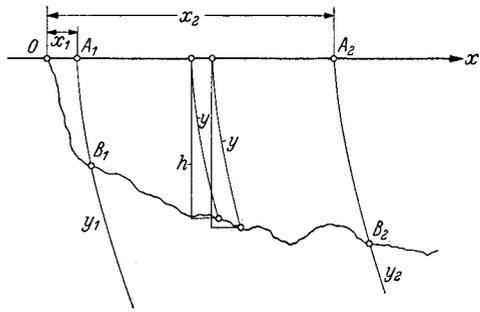


Abb. 14

Abb. 14. Weg-Kraft-Diagramm bei der Bestimmung der Konsistenz nach der Spaltmethode

durch eine parallel zu  $A_1 A_2$  verlaufende Gerade  $D_1 D_2$  ersetzt, die so gezogen sein muß, daß der Flächeninhalt des Dreiecks  $C_1 D_1 Q$  gleich dem des Dreiecks  $C_2 D_2 Q$  ist. Der Abstand des Punktes  $Q$  von  $A_1 A_2$  ist dann der gesuchte Wert  $h_m$ , aus dem sich nach Formel (11)  $P_m$  errechnet.

Je weniger die Ordinaten  $y_1$  und  $y_2$  von einer Geraden abweichen, d. h. bei kleinem  $y$ , um so mehr fallen die Mittelpunkte von  $C_1 C_2$  und  $D_1 D_2$  zusammen. Dies ist praktisch immer der Fall, und es kann daher ein vereinfachtes Verfahren zur Anwendung kommen. Hierzu wird ein Diapositiv  $D$  mit einer Geraden  $CC$ , auf der sich ein Punkt  $Q$  als Mittelpunkt von konzentrischen Kreisen befindet, so auf das Diagramm gelegt, daß  $CC$  die angemessene Gerade  $C_1 C_2$  ersetzt. Dabei wird  $Q$  mit Hilfe von auf  $CC$  angebrachten Markierungen in die Mitte von  $C_1 C_2$  geschoben. Der Radius des an  $A_1 A_2$  tangierenden Kreises ist dann gleich dem gesuchten Wert  $h_m$ .

Sind die konzentrischen Kreise, wie in Abb. 15 dargestellt, statt in mm gleich in kg geeicht, so kann unmittelbar  $P_m$  abgelesen werden. Allerdings muß dann für jede Meßfeder eine besondere Kreisschar verwendet werden.

### 10. Justierung

Vor Inbetriebnahme des Gerätes wird eine einmalige Justierung des Bolzens zur Übertragung der Federkraft vorgenommen. Durch Verstellen der Kugellager mittels der Verstellerschrauben  $V$  (Abb. 2) wird erreicht, daß die Achse des Bolzens mit der Achse der Hülse  $H$  zusammenfällt.

Der Druckbolzen soll aber nicht nur in der Achse der Hülse  $H$ , sondern auch genau parallel zu den Säulen  $S$  geführt werden. Zu diesem Zweck kann die Lage der Hülse gegenüber der Platte  $P_1$  und damit gegenüber den Säulen verändert werden. Hierzu dienen drei Justierschrauben auf der Oberseite der Platte  $P_4$ , mit der die Hülse verschraubt ist. In Abb. 2 sind zwei Justierschrauben  $J$  zu erkennen.

Da der Prüfstempel genau in der Achse der Fassung  $Fa$  für die verschiedenen Probenhalter bewegt werden soll, seine Führung aber, wie oben dargelegt, durch eine einmalige, sehr

zeitraubende Justierung bereits festgelegt ist, mußte eine Möglichkeit geschaffen werden, die Fassung auf eine einfache Weise so zu justieren, daß damit gleichzeitig Probenhalter und Prüfstempel die richtige Lage zueinander erhalten.

Zu diesem Zweck wird in den Druckbolzen anstelle des Prüfstempels ein Justierstempel eingeschraubt, dessen Außendurchmesser einige Hundertstel Millimeter kleiner ist als der Innendurchmesser der Fassung für die Probenhalter. Die drei Festhalteschrauben für die Fassung werden gelöst und die Fassung mit den drei Justierschrauben in ihrer Lage so verändert, daß der Justierstempel glatt in sie hinein gleitet. Dies kann an der Meßuhr beobachtet werden, und zwar darf der Zeiger der eingeschalteten Uhr beim Einfahren des Justierstempels keine Bewegung zeigen.

Ist dies der Fall, so werden die Festhalteschrauben angezogen und der hintere Anschlag des Supports durch eine an der Schienenführung angebrachte, im Bild nicht erkennbare Schraube eingestellt. Damit befindet sich jeder Probenhalter bei der hinteren Einstellung des Supports in der genau justierten Meßstellung.

Eine weitere Justierung ist an der Registriervorrichtung erforderlich, und zwar muß die Einstellung so erfolgen, daß die Hebel  $H_1$  und  $H_2$  sowie der Schreibhebel  $Sch$  bei einer Federausdehnung von 4 mm genau waagrecht stehen. Hierzu dient die Justierschraube  $Is$  (Abb. 3), mit der die wirksame Länge des Stabes  $Sta$  verändert wird. Am besten erfolgt eine Nachjustierung bei einer Federausdehnung von 4 mm (an der Meßuhr abzulesen), da dann  $H_1$ ,  $H_2$  und  $Sch$  waagrecht und somit genau parallel stehen. Abweichungen von dieser Parallelität können mit bloßem Auge leicht erkannt werden.

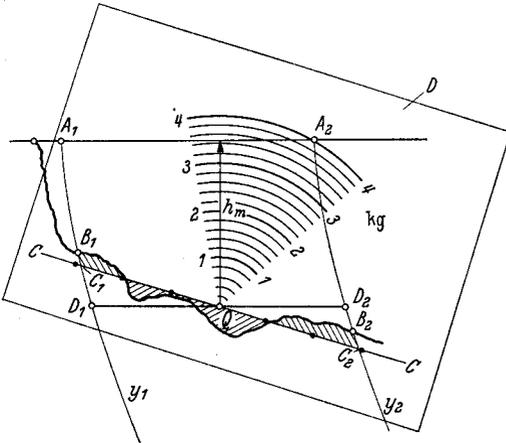


Abb. 15. Bestimmung der mittleren Kraft aus dem Weg-Kraft-Diagramm

### Zusammenfassung

Es werden Aufbau und Arbeitsweise eines Geräts zur Bestimmung der Festigkeit von Lebensmitteln nach WOLODKIEWITSCH in Einzelheiten beschrieben. Mit diesem Gerät ist die Prüfung der Konsistenz nach der Spaltmethode sowie die Messung von Penetrometerwert, Druckfestigkeit, Scherfestigkeit, Biegefestigkeit und Zugfestigkeit möglich. Die Meßergebnisse werden als Weg-Kraft-Diagramm aufgezeichnet oder können an der Meßuhr abgelesen werden,

Die verschiedenen Meßverfahren sowie die hierfür erforderlichen speziellen Zubehörteile des Gerätes werden kurz betrachtet. Es wird eine Anleitung zur Auswertung des Weg-Kraft-Diagramms gegeben.