

Festigkeitsmessungen an Früchten und ihre Anwendungsmöglichkeiten.

II. Mitteilung: Die Bestimmung der Schalenfestigkeit. Von

G. Krumbholz † und N. Wolodkewitsch.

Mit 5 Textabbildungen.

Mitteilung aus der Reichsforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung,
Karlsruhe/Baden.

(Eingegangen am 10. Dezember 1947.)

1. Einleitung.

In einer früheren Mitteilung¹ wurde von den Verfassern eine Methode angegeben, die gestattet, die Druck- und Scherfestigkeit von Fruchtfleisch in kg/cm² zu bestimmen.

Die Druckfestigkeit p wird berechnet auf Grund der Messung der Kraft P, die erforderlich ist, um ein zylindrisches Probestück von bekanntem Durchmesser d zu zerdrücken:

$$p = P : \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \text{ kg/cm}^2. \dots\dots\dots (1)$$

Hier bedeutet $\pi \frac{d^2}{4}$ die Grundfläche des Probestückes vor der Belastung.

Die Scherfestigkeit s ergibt sich aus der Kraft S, welche benötigt wird, um aus einer Fruchtfleischscheibe von bestimmter Dicke h ein Loch von bestimmtem Durchmesser d auszustanzten. Dabei wird durch die Kraft S die Scheibe vom Durchmesser d von dem übrigen Fleisch der Scheibe durch Scherung abgetrennt. Die Trennfläche beträgt $\pi \cdot d \cdot h$ cm². und die Scherfestigkeit

$$s = S : (\pi \cdot d \cdot h) \text{ kg/cm}^2. \dots\dots\dots (2)$$

Die Festigkeitsbestimmungen dienen neben anderen Messungen zur objektiven Erfassung der Fruchtmerkmale. Diese Untersuchungen wurden vorläufig mit Äpfeln und Birnen durchgeführt und können zunächst bei Untersuchungen über die günstigsten Lagerungs- und Reifungsbedingungen wertvolle Hilfe bieten. Auch auf dem Gebiet der Obstsortenkunde können solche Messungen Verwendung finden. Zu diesen Ergebnissen kamen die Verfasser nicht nur durch eigene Untersuchungen, sondern auch auf Grund des Studiums zahlreicher Literaturquellen, die in der früheren Mitteilung² besprochen wurden.

Die Schalenfestigkeit ist eine in verschiedener Hinsicht wichtige Sorteneigenschaft. Für die Bewertung einer Sorte als Tafelfrucht ist die Festigkeit ihrer Schale nicht unwesentlich; Sorten mit zarter Schale verdienen vom Standpunkt des Genußwertes gesehen den Vorzug. Andererseits verbessert eine harte Schale die Versand- und vor allem die Lagerfähigkeit. Sogar die Anfälligkeit für Pilzbefall soll von der Schale unter Umständen in erheblichem Maße abhängig sein³. Bei der

¹ G. Krumbholz und N. Wolodkewitsch: Gartenbauwiss. 17, 543 (1943).
² G. Krumbholz und N. Wolodkewitsch: Gartenbauwiss. 17, 554, 556 u. 590 (1943).
³ J. J. Willaman, N. C. Pervier und H. O. Triebold: Bot. Gaz. 80, 121 (1925).

Reifung der Früchte verändert sich nicht nur die Grundfarbe, sondern auch die Festigkeit der Schale. Klarere Vorstellungen in allen diesen Fragen sind nur auf Grund von zahlenmäßigen Angaben über die Schalenfestigkeit zu gewinnen. Wir haben deshalb unsere Festigkeitsuntersuchungen auch auf die Schale ausgedehnt. Auch die Messungen an der Schale wurden vorläufig an Kernobst durchgeführt. Diese Untersuchungen sollen auf die Schale von Trauben, Pflaumen usw. ausgedehnt werden.

2. Spezifische Scherkraft der Schale.

Mit Rücksicht auf die geringe Dicke der Schale haben wir von einer Bestimmung ihrer Druckfestigkeit abgesehen. Für solche Messungen müßte man ein zylindrisches Probestück herstellen, dessen Durchmesser ungefähr so groß ist wie die Höhe. Das ist aber kaum erfüllbar, weil die Höhe des Probestückes naturgemäß der Dicke der Schale entsprechen soll. Wenn man aber einen Zylinder von der Höhe der Schalendicke, aber von viel größerem Durchmesser zu zerdrücken versucht, dann entsteht kein deutliches Zerfallbild des Probestückes. Man könnte noch die Zerreißfestigkeit der Schale bestimmen, aber diese Messungen schienen uns zu umständlich.

Will man nun die Scherfestigkeit der Schale nach Gleichung (2) berechnen, so muß man dazu die Scherkraft S bestimmen, welche benötigt wird, um aus der Schale Sch ein Loch von einem Durchmesser d auszustanzen (Abb. 1). Bei der Bestimmung der Schalendicke h entstehen aber wesentliche Schwierigkeiten. In vielen Fällen, vor allem bei Birnen, ist die Schale nicht genügend scharf gegen das Fruchtfleisch abgegrenzt, infolgedessen ist es oft unmöglich, die Höhe h der Mantelfläche festzustellen. Aber auch wenn die Grenze zwischen Fruchtfleisch und Schale deutlich ist, ergeben sich Schwierigkeiten, weil die Schale verhältnismäßig dünn und ihre Dicke bei verschiedenen Sorten und auch bei den verschiedenen Herkunftten ein und derselben Sorte nicht gleich ist; sogar an verschiedenen Stellen der gleichen Frucht hat die Schale nicht die gleiche Dicke. Man müßte deshalb die Schalendicke für jede einzelne Meßstelle gesondert bestimmen, was die Arbeit erheblich verlangsamten würde. Außerdem müßte man die Messungen der Schalendicke ziemlich genau durchführen, da die Schale verhältnismäßig dünn ist. Die Messung der Festigkeit des Fruchtfleisches bereitet insofern keine Unbequemlichkeiten, weil die Fruchtscheiben ziemlich dick zugeschnitten werden (etwa 5 mm) und außerdem erhalten die Scheiben beim Zuschneiden in der hierfür entwickelten Vorrichtung¹ die gleiche Dicke. Es erübrigt sich deshalb, die Dicke jeder Scheibe einzeln zu messen, vielmehr genügt es, nur von Zeit zu Zeit nachzuprüfen, ob die Einstellung der Schneidvorrichtung unverändert geblieben ist.

Man kann die erwähnten Schwierigkeiten umgehen, wenn man bei Messungen an der Schale die Scherkraft nicht auf die Mantelfläche $\pi \cdot d \cdot h$, sondern auf den Umfang $\pi \cdot d$ der aus der Schale ausgestanzten Scheibe bezieht. Man erhält dabei aber eine physikalische Größe anderer Dimension: Während die Scherfestigkeit nach Gleichung (2) in kg/cm^2 gemessen wird, erhalten wir jetzt eine auf die Längeneinheit der Schale bezogene Scherkraft. Wir schlagen vor, diese Größe die „spezifische

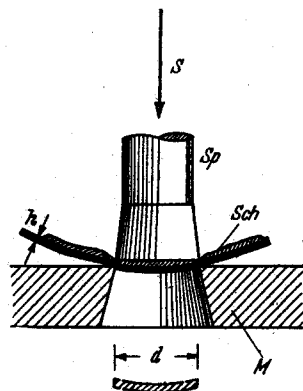


Abb. 1. Bestimmung der „Spezifischen Scherkraft“ der Schale. (Mit Schraffierung ist das an der Schale Sch anhaftende Fruchtfleisch angedeutet.)

In der Schale Sch wird mit dem Stempel Sp ein Loch vom Durchmesser d ausgestanzt. Der Stempel und das Loch in der Matrize M sind konisch ausgeführt, damit beim Stanzvorgang keine Verklebungen entstehen.

¹ G. Krumbholz und N. Wolodkewitsch: Gartenbauwiss. 17, 563 (1943).

Scherkraft“ der Schale zu nennen; ihre Dimension ist kg/cm^1 . Wir bezeichnen die spezifische Scherkraft der Schale mit S_H , wobei der Index „H“ sich auf die „Haut“ bezieht. Die Scherkraft in kg bezeichnen wir mit S . Auf diese Weise ergibt sich für die Schale

$$S_H = \frac{S}{\pi d} \text{ kg/cm} \dots \dots \dots (3)$$

Trotzdem die spezifische Scherkraft S_H nicht die Dimension einer Spannung hat, kann sie als Maß für die Festigkeit dienen, da sie die Widerstandsfähigkeit der Schale als Ganzes anzeigt. Nehmen wir z. B. an, daß von zwei Früchten die eine sich durch eine dünne Schale von verhältnismäßig hoher, in kg/cm^2 ausgedrückter Scherfestigkeit auszeichnet, während die andere eine dickere Schale von geringerer Scherfestigkeit besitzt. Ist nun die Schale der zweiten Frucht genügend dick, so kann ihre spezifische Scherkraft sogar größer sein als bei der ersten Frucht. Meist wird in solchen Fällen die Schale mit der größeren spezifischen Scherkraft die Frucht besser vor Verletzungen schützen als die Schale mit geringerer spezifischer Scherkraft. Diese Überlegungen werden aber nicht stimmen, wenn man Schalen von allzu verschiedener Beschaffenheit vergleicht, z. B. Traubenschalen mit Birnenschalen. Dem Begriff „feste Schale“ bei Äpfeln, Birnen, Trauben oder Pflaumen werden ganz verschiedene Werte der spezifischen Scherkraft entsprechen. Zur Beurteilung wie fest die Schale ist, soll für jede Fruchtart eine geeignete Skala der spezifischen Scherkraft angegeben werden.

Es ist wesentlich, bei der Wahl der Definition dafür zu sorgen, daß keine Mißverständnisse entstehen. In der Arbeit über „Bestimmung der Reifung von Äpfeln“ ermittelt z. B. A. A. Koljesnik² (1939) mit Hilfe eines Penetrometers den Widerstand in Gramm, den eine Frucht dem Eindringen des Stempels entgegensetzt, und definiert diesen Widerstand als „Dichte“ der Frucht. Diese Definition ist unzweckmäßig, weil die Dichte ein eindeutiger physikalischer Begriff ist, welcher die Masse des Stoffes in Gramm je cm^3 angibt. Die Dimension der Dichte ist dementsprechend g/cm^3 . Im englisch-amerikanischen Sprachgebrauch dagegen werden die Penetrometer für Messungen an Früchten als „fruit-tester“ oder „pressure-tester“ bezeichnet. Da diese Kraft annähernd proportional der Festigkeit ist, kann sie zur Kennzeichnung der Festigkeit des Fruchtfleisches dienen.

Der Apparat zur Bestimmung der Scherkraft wurde in der ersten Mitteilung und von einem der Verfasser³ an anderer Stelle beschrieben. Dieser Apparat ermöglicht es, die Kraft, mit der der Stempel Sp auf das Schalenstück einwirkt, zu messen (Abb. 1). Die Kraft wird mit Hilfe eines Zeigers an der Skala abgelesen. Der Zeiger bewegt sich nur, solange die Kraft wächst. Wenn der Stempel die Schale durchstoßen hat, bleibt der Zeiger bei seinem maximalen Ausschlag stehen und zeigt die Scherkraft S_H an.

Die zu untersuchenden Schalenstücke Sch (Abb. 1) legen wir wegen der Krümmung der Fruchtoberfläche so auf die Matrizie M , daß die Innenseite nach oben, also nach dem Stempel zu gerichtet ist. Vergleichende Messungen haben im übrigen ergeben, daß man bei der Scherung von „innen“ und von „außen“ meist nahezu die gleichen Werte für die spezifische Scherkraft erhält.

¹ Die Dimension kg/cm für eine die Spannung kennzeichnende Größe braucht nicht zu befremden. Man findet die gleiche Dimension z. B. bei der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten, die jedoch mit der hier eingeführten Größe keine innere Verwandtschaft hat.

² A. A. Koljesnik: Bestimmung des Reifezustandes von Äpfeln. Wissenschaftliche Notizen des F. B. Plechanow-Institutes für Volkswirtschaft Moskau, H. 22 (1939).

³ N. Wolodkewitsch: Landw. Jb. 85, 734 (1938); 88, 944 (1939).

Beim Abtrennen der Schale vom Fruchtfleisch mit einem für Haushaltzwecke gebräuchlichen Schälmesser erhält man Probestücke mit einer Dicke von etwa 0,8 mm. Hierbei haften nur geringe Fruchtfleischreste an der Innenseite der Schale. Kontrollversuche haben uns aber gezeigt, daß man auf die Dicke der Probestücke gar nicht so genau zu achten braucht, weil selbst bei größerer Dicke bis zu etwa 1,5 mm die noch anhaftenden Teile des Fruchtfleisches die Meßergebnisse praktisch nicht beeinflussen; die Scherkraft wird allein durch die eigentliche Schalenschicht bedingt, weil die Scherfestigkeit der Schale viel höher ist als die des Fruchtfleisches, um so mehr, als durch das Abschneiden der Schale die anhaftenden Fruchtfleischreste verletzt werden und dadurch ihre Festigkeit verringert wird. Es ist auch deswegen nicht zu empfehlen, die Probestücke zu dünn zu schneiden, weil sie sich bei der Scherung zwischen Stempel und Matrize leichter verklebmen können. Man darf für die Dicke der Probestücke einen Spielraum von ungefähr 0,7 bis 1,5 mm angeben, der leicht eingehalten werden kann.

Es muß in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, daß eine möglichst genaue Übereinstimmung zwischen dem Stempeldurchmesser und der Bohrung in der Matrize für die Messung der spezifischen Scherkraft der Schale viel wichtiger ist als für die Bestimmung der Scherfestigkeit von Fruchtfleisch. Ist nämlich der Unterschied zwischen Stempeldurchmesser und Bohrung zu groß, so kann der Schervorgang dadurch verwickelt werden, daß die Schale durch den Stempel in die Bohrung hineingezogen und dabei noch auf Zug beansprucht wird, was besonders bei sehr dünnen Schalen, wie z. B. von Pflaumen, Zwetschgen oder Weinbeeren zu erwarten ist. Um die Verklebung des Stempels in der Bohrung zu erschweren, ist der Bohrung und dem Stempel eine konische Form gegeben (Abb. 1).

3. Die spezifische Scherkraft der Schale von einzelnen Früchten und Fruchtserien.

In den meisten Fällen ist die spezifische Scherkraft der rot gefärbten Schalenstücke erheblich größer als die der nicht geröteten Stellen. Diese Unterschiede können sogar dann recht groß sein, wenn die Meßstellen dicht nebeneinander liegen, z. B. wenn sich auf der roten Fruchtseite ein grüner Fleck befindet. Bei der Apfelsorte „Roter Eiserapfel“ fanden wir auch, noch entsprechende Unterschiede zwischen dunkelroten und hellroten Schalenstücken; an den dunkelroten Stellen war die Schale am festesten. Beim „Gelben Edelapfel“, der bekanntlich keine Rötung aufweist, war die spezifische Scherkraft der Schale auf der Sonnenseite der Frucht größer als auf der Schattenseite. Der Unterschied in der Fruchtfleischfestigkeit an der Sonnen- und Schattenseite der Frucht ist bei weitem nicht so groß¹. Ein Beispiel für die Festigkeitswerte der Schale bringt die Tabelle 1.

Tabelle 1. Die spezifische Scherkraft der Schale in kg/cm auf der roten (S_{Hr}) und nicht geröteten Seite (S_{Hg}) bei verschiedenen Apfelsorten.

Sorte	S _{Hr}	S _{Hg}	S _{Hr} : S _{Hg}
Gelber Edelapfel	1,16	0,79	1,47
Gewürzluiken	1,30	0,96	1,36
GoldreINETTE v. Blenheim	1,57	1,19	1,32
GoldreINETTE v. Blenheim	0,68	0,61	1,11
Roter Eiserapfel	0,93	0,58	1,60
Wiltshire	1,40	0,95	1,47

¹ G. Krumbholz und N. Wolodkewitsch: Gartenbauwiss. 17, 566 (1943).

Wenn man nun die spezifische Scherkraft für eine Frucht angeben will, so muß man eigentlich die Probestücke von allen möglichen Stellen der Fruchtoberfläche durchmessen und einen Mittelwert für die gefundenen Größen ausrechnen — eine für die praktische Durchführung viel zu umständliche Arbeit. Wir nehmen deshalb für diese Messungen, wie bei der Bestimmung der Fruchtfleischfestigkeit, 4 Proben in der Nähe der Zone des größten Fruchtumfanges an 4 voneinander etwa gleich weit entfernten Stellen. Den Mittelwert aus den 4 Messungen nehmen wir als Maß der spezifischen Scherkraft s_H der Schale einer Frucht. Daß die 4 Probestücke hierzu ausreichen, ist aus Tabelle 2 zu ersehen. Bei diesem Versuch mit 6 Früchten wurde zuerst die spezifische Scherkraft jeder Frucht als Mittelwert von 8 Probestücken berechnet. Wie die Tabelle zeigt, unterscheidet sich der Mittelwert von 4 Probestücken vom Mittelwert von 8 Probestücken um weniger als 5% — das entspricht ungefähr der gleichen Genauigkeit, die wir früher bei der Bestimmung der Festigkeit des Fruchtfleisches festgestellt haben.

Tabelle 2. Festigkeitsmessungen an der Schale.

S_{H8} — spezif. Scherkraft der Schale, errechnet aus 8 Messungen.

S'_{H4} — spezif. Scherkraft aus 4 Messungen an den ungeraden Meßstellen 1, 3, 5 und 7.

S''_{H4} — spezif. Scherkraft aus 4 Messungen an den geraden Meßstellen 2, 4, 6 und 8.

Frucht Nr.	spezifische Scherkraft in kg/cm			Absolute Abweichung von S'_{H4} oder S''_{H4} von S_{H8} in %
	$S_H = S_{H8}$	S'_{H4}	S''_{H4}	
1	1,075	1,11	1,04	3,2
2	0,91	0,93	0,89	2,2
3	1,06	1,07	1,05	0,9
4	1,08	1,07	1,09	0,9
5	1,095	1,09	1,1	0,5
6	1,31	1,37	1,25	4,5
Mittelwert:	1,09	1,11	1,07	2,0

Bei der Untersuchung von Fruchtserien ergibt sich für die spezifische Scherkraft der Schale eine Streuung der Meßwerte auch von etwa derselben Größe wie bei den Messungen der Festigkeit des Fruchtfleisches. Als Beispiel dafür kann Abbildung 2 dienen.

Bei Messungen an Birnen und Äpfeln verwendet man für die Bestimmung der spezifischen Scherkraft der Schale am besten denselben Stempel, mit dem man die Scherfestigkeit des Fruchtfleisches mißt, und zwar von einem Durchmesser $d = 1$ cm; denn die Messungen am Fruchtfleisch und an der Schale werden meistens in der gleichen Versuchsreihe durchgeführt, so daß man auf diese Weise die Auswechslung des Stempels vermeiden kann.

4. Nachprüfung der Formel zur Messung der spezifischen Scherkraft der Schale.

Wenn man die spezifische Scherkraft der Schale ein und derselben Frucht vergleichsweise mit zwei Stempeln von verschiedenem Durchmesser bestimmt, so muß sich nach Formel (3) für s_H in beiden Fällen der gleiche Wert ergeben. Die dabei aufzuwendenden Scherkräfte S_H müssen dem Stempeldurchmesser proportional sein, da $S_H = s_H \cdot \pi \cdot d$ ist. Daß dies für Stempel mit einem Durchmesser von etwa 0,7 bis 1,4 cm mit einer für die meisten Zwecke ausreichenden Genauigkeit zutrifft, zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3. Vergleichende Messungen der spezifischen Scherkraft mit Stempeln von verschiedenem Durchmesser d.
(Mittelwerte aus zwei Meßreihen an je 15 ereifen Früchten der Apfelsorte „Lohrer Rambur“.)

$d_1 = 1,41 \text{ cm}$ $SH_1 = 5,37 \text{ kg}$	$d_2 = 0,99 \text{ cm}$ $SH_2 = 3,56 \text{ kg}$	$d_1 : d_2 = 1,43;$ $SH_1 = 1,21 \text{ kg/cm};$	$SH_1 : SH_2 = 1,51$ $= 1,14 \text{ kg/cm};$
$d_2 = 0,99 \text{ cm}$ $SH_2 = 3,43 \text{ kg}$	$d_3 = 0,70 \text{ cm}$ $SH_3 = 2,49 \text{ kg}$	$d_2 : d_3 = 1,41;$ $SH_2 = 1,11 \text{ kg/cm};$	$SH_2 : SH_3 = 1,38$ $= 1,13 \text{ kg/cm}.$
Mittelwert für den ganzen Versuch:		$\left\{ \begin{array}{l} \text{größerer Durchmesser} = \frac{1,43 + 1,41}{2} = 1,42 \\ \text{kleinerer Durchmesser} \\ \text{größere Scherkraft} = \frac{1,51 + 1,38}{2} = 1,44 \\ \text{kleinere Scherkraft} \end{array} \right.$	

Bei Vergleichsmessungen mit betrug, lagen die erhaltenen s_H -Werte um 6% auseinander, während der Unterschied bei Verwendung von 1,0- und 0,7 cm-Stempeln sogar nur 2% war.

Die vergleichenden Messungen an ein und derselben Frucht wurden ähnlich durchgeführt wie die in Tabelle 2 wiedergegebenen Messungen. Man verwendet den größeren Stempel z. B. für die Probestücke 1, 3, 5 und 7 und den kleineren Stempel für die Probestücke 2, 4, 6 und 8. Diese Methode ist in der Erläuterung zu Abb. 18 in der ersten Mitteilung¹ ausführlich begründet.

Ein Stempel von 1,4 cm Durchmesser wurde hier nur versuchsweise zur Prüfung der Methode benutzt. Zu Messungen an der Schale sind so große Stempel wenig geeignet, weil dafür zu umfangreiche Schalenstücke gebraucht werden, und weil hierbei infolge der Krümmung der Fruchtoberfläche andere Fehler entstehen können. Wir verwenden normalerweise einen Stempel von $d = 1 \text{ cm}$ (vgl. Abschnitt 3)

5. Änderung der Schalenfestigkeit bei der Reifung der Früchte.

Als Beispiel für die Festigkeitsmessungen an der Schale während der Reifung von Früchten wollen wir einen Ausschnitt aus dem Reifungsversuch mit der

Stempeln, deren Durchmesser 1,4 und 1,0 cm

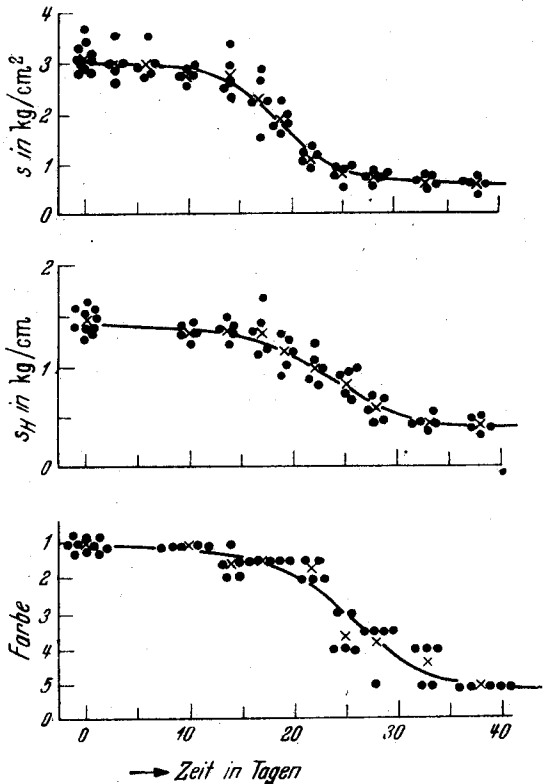


Abb. 2. Reifungsversuch mit der Birnensorte „Alexander Lukas“, unmittelbar nach der Ernte bei einer Temperatur von + 9° C.

- Als Ordinaten sind aufgetragen:
 1. s = Scherfestigkeit des Fruchtfleisches in kg/cm^2 ;
 2. s_H = spezifische Scherkraft der Schale in kg/cm ;
 3. Farbennoten 1 bis 5 (vgl. Text).

¹ G. Krumbholz und N. Wolodkewitsch: Gartenbauwiss. 17, 571 (1943)

Birnensorte „Alexander Lukas“ bringen, der in Abb. 2 wiedergegeben ist. Bei diesem Versuch wurden die Birnen bei 9°, 14° und 19° C gereift, und zwar direkt nach der Ernte sowie nach 43tägiger und 116tägiger Kaltlagerung bei 0° C. Während der Reifung wurden alle 3 bis 4 Tage die Scherfestigkeit s des Fruchtfleisches, die spezifische Scherkraft s_H der Schale und ihre Grundfarbe F gemessen. Auf diese Weise ergaben sich 27 Kurven, welche die Änderung der genannten 3 Größen während der Reifung der Birnen objektiv zeigen.

In Abb. 2 sind die s -, s_H - und die Farbenkurve nur für eine Temperatur von + 9° C aufgezeichnet. Jeder einzelne Punkt gibt s oder s_H oder die Farbe einer Frucht an. Alle Punkte jeder Punktgruppe gehören zu einem Meßzeitpunkt und sollen sich auf einer vertikalen Linie befinden; wir haben aber einige Punkte etwas nach rechts oder links verschoben, damit sie nicht einander decken. Die Kreuze zeigen den durch die Punktgruppe bestimmten Mittelwert und sind dem Meßzeitpunkt genau entsprechend eingetragenen. Die Grundfarbe der Schale wurde mit Hilfe der Farbmeßdreiecke der Deutschen Werkstelle für Farbkunde in Dresden bestimmt. Um die Farbenänderung kurvenmäßig darzustellen, haben wir den Farben, die sich in Richtung von grün nach gelb verändern, folgende Noten zugeordnet:

Bezeichnung der Deutschen Werkstelle Dresden	Note
24 ri (grün)	1
24 re	2
24 ie	3
1 ne	4
2 ie (gelb)	5

In Zweifelsfällen haben wir von halben Noten Gebrauch gemacht¹.

Wie man aus der Abbildung ersieht, ergibt sich für die Meßwerte der spezifischen Scherkraft der Schale etwa die gleiche Streuung wie für die Scherfestigkeit des Fruchtfleisches. Dagegen streuen die Mittelwerte (Kreuze) der Grundfarbe deutlich stärker. Die Ursache liegt darin, daß bei den Bestimmungen der Farbe schon bei der Wahl der Meßstelle ein subjektiver Fehler entstehen kann, weil man unwillkürlich die Tendenz hat, solche Meßstellen auf der Schale zu wählen, deren Farbton in der un stetigen Farbskala der benutzten Farbt afeln vertreten ist. Bei den Festigkeitsmessungen sind dagegen nur die Ablesefehler subjektiv.

Bei dem beschriebenen Reifungsversuch hat sich ergeben, daß bei den ungeeigneten Reifungstemperaturen im fortgeschrittenen Reifezustand der Früchte die Streuung der Meßwerte für alle drei Größen s , s_H und F steigt, und manchmal so stark wird, daß eine bestimmte Reifungskurve nicht mehr eingezeichnet werden kann.

Auch bei der Reifung von Äpfeln nimmt die Festigkeit der Schale ab, wenn auch nicht so stark wie bei der Reifung von Birnen.

6. Die Bedeutung der Fruchtfleisch- und Schalenfestigkeit für die Widerstandsfähigkeit der Früchte gegen Druckbeschädigungen.

Wenn man mit einem Körper, z. B. einem Stempel C mit abgerundeter Stirnfläche bei genügend großer Druckkraft K auf eine Frucht F drückt (Abb. 3), so bleibt nach Wegnahme des Stempels auf der Frucht eine eingedrückte Stelle A zurück, an der recht bald das Fruchtfleisch braun wird. Die Schale B wird durch den Stempel etwas durchgebogen, und, da sie dünn ist, wird für ihre Formänderung nur ein minimaler Kraftaufwand notwendig sein. Die Größe der Kraft K , welche die Druckbeschädigung verursacht, wird fast nur durch die Festigkeit des Fruchtfleisches

¹ Über die Verwendung solcher un stetiger Bewertungsschemas vgl. R. Plank: Vorratspflege u. Lebensmittelforsch. Bd. 4, H. 1/3 (1943).

bedingt sein. Die Schale, ob sie fest oder zart ist, spielt dabei nur eine passive Rolle nämlich den Druck vom Stempel auf das Fruchtfleisch zu übertragen, welches gerade durch das Zusammendrücken beschädigt wird. Selbstverständlich wird die Festigkeit der Schale eine wesentliche Rolle spielen, wenn der Stempel in die Frucht so tief eindringt, daß die Schale fast oder ganz durchstoßen wird. Aber die Druckbeschädigung der Frucht tritt viel früher auf.

Um diese Überlegungen experimentell nachzuprüfen, wurden die Kräfte K_{FH} und K_F verglichen, welche eine Druckbeschädigung an ein- und derselben Frucht jeweils mit und ohne Schale hervorrufen. Die Indices FH und F bedeuten „Fruchtfleisch + Schale“ und „Frucht-

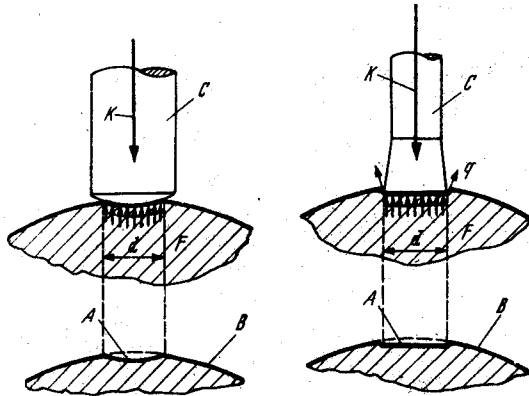


Abb. 3.

Abb. 4.

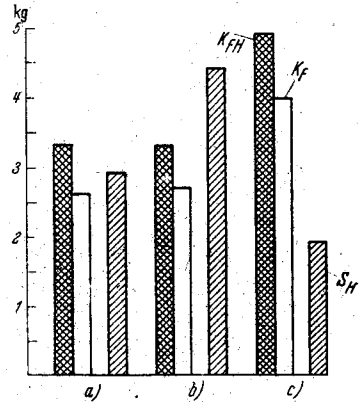


Abb. 5.

Abb. 3. Druckbeschädigung der Frucht F durch den Stempel C mit abgerundeter Stirnfläche. (Durchmesser d kann nicht im voraus festgelegt werden.)

Abb. 4. Druckbeschädigung der Frucht F durch den Stempel C mit flacher Stirnfläche vom Durchmesser d . (Der Durchmesser der beschädigten Stelle ist gleich dem Stempeldurchmesser.)

Abb. 5. Druckbeschädigung der Früchte durch einen Stempel mit flacher Stirnfläche vom Durchmesser $d = 1$ cm.

- K_{FH} = aufgewandte Kraft, wenn das Fruchtfleisch mit der Schale bedeckt ist;
- K_F = desgl., wenn die Meßstelle ohne Schale ist;
- S_H = Scherkraft zum Ausstechen eines Loches vom Durchmesser $d = 1$ cm aus der Schale;
- a = Apfelsorte „Ontario“;
- b = Apfelsorte „Berlepsch“;
- c = Apfelsorte „Gelber Edelapfel“

fleisch allein“. Solche vergleichende Messungen kann man nur dann durchführen, wenn in beiden Fällen die beschädigten Flächen gleich groß sind. Um diese Bedingung zu erfüllen, wurde ein Stempel mit flacher Stirnfläche verwendet (Abb. 4). Einen Stempel mit abgerundeter Stirnfläche kann man deswegen nicht gut brauchen, weil in diesem Falle die beschädigte Fläche und dadurch die Kraft K sehr stark von der Tiefe des Abdrucks abhängig ist. Immerhin nimmt beim flachen Stempel die Schale am Rande des Stempels eine Form an, die eine zusätzliche Beanspruchung auf Zug q hervorruft, wodurch die Kraft K_{FH} etwas größer als K_F wird. Damit Unterschiede in der Fruchtfestigkeit an verschiedenen Stellen der Frucht den Vergleich von K_{FH} und K_F nicht erschweren, wurde jede von diesen beiden Kräften berechnet als Mittelwert aus zwei Bestimmungen an einander gegenüberliegenden Fruchtseiten. Daß man auf diese Weise eine wesentlich größere Genauigkeit erreichen kann, folgt aus der Verteilung der Festigkeit auf dem Umfang der Frucht¹

Diese Messungen sind mit dem gleichen Apparat durchgeführt worden, mit dem die Schalenfestigkeit und die Festigkeit des Fruchtfleisches gemessen wurden. Der Tisch des Apparates wird so tief heruntergelassen, daß zwischen ihm und dem Stempel Platz für die ganze Frucht vorhanden ist. Die Frucht wird dabei nicht direkt auf den Tisch gelegt, sondern auf einen Ring aus weichem Gummi. Diese Vorsichtsmaßnahme ist notwendig, damit die Frucht keine Druckbe-

¹ G. Krumbholz und N. Wolodkewitsch: Gartenbauwiss. 17, 565 (1943).

schädigungen durch den Tisch selbst bekommt. Wenn die Kraft K durch das Drehen der Kurbel soweit vergrößert wird, daß die Beschädigung durch den Stempel eintritt, dann hört man einen Knack, der Stempel sinkt plötzlich ein wenig herunter und bleibt stehen. Natürlich muß man dann mit dem Drehen der Kurbel sofort aufhören, sonst würde die Kraft K weiter steigen. Die Messung gelingt, wenn die Kurbel von Anfang an ganz langsam gedreht wird. Es ist bei diesen Messungen wesentlich, die Frucht auf den Tisch so aufzulegen, daß der Stempel die Fruchtoberfläche mit seiner Stirnebene trifft und nicht etwa nur auf einer Kante aufliegt.

Nebe n den Kräften K_{FH} und K_F wurde auch noch die Scherkraft S_H gemessen, welche notwendig ist, um aus der Schale ein Loch von demselben Durchmesser wie die beschädigte Stelle auszustecken. Dazu kann man die Schalenstücke von den Meßstellen für K_F verwenden.

In Tabelle 4 sind die Meßergebnisse für 9 verschiedene Apfelsorten zusammengestellt. Jede Zahl ist als Mittelwert aus Bestimmungen an 3 bis 12 Früchten der entsprechenden Sorte berechnet. Abbildung 5 veranschaulicht die Ergebnisse für die Sorten „Ontario“, „Berlepsch“ und „Gelber Edelapfel“.

Tabelle 4. Druckbeschädigungen an Äpfeln mit und ohne Schale durch einen Stempel mit flacher Stirnfläche ($d = 1$ cm).

K_{FH} — Druckkraft auf die Frucht mit Schale (in kg)

K_F — Druckkraft auf die Frucht ohne Schale (in kg)

S_H — Scherkraft beim Ausstecken eines Loches von 1 cm Durchmesser aus der Schale (in kg)

Nr.	Sorte	K_{FH}	K_F	$D = K_{FH} - K_F$	S_H	$D - D_M$
1	Wiltshire	4,00	3,3	0,7	2,7	— 0,1
2	Hofstetter Apfel	4,05	3,6	0,45	3,5	— 0,35
3	Ontario	3,3	2,6	0,7	2,9	— 0,1
4	Boskoop	4,25	3,65	0,6	2,5	— 0,2
5	Excelsior	4,8	3,5	1,3	4,1	+ 0,5
6	Graue Reinette	4,1	3,2	0,9	3,4	+ 0,1
7	Berlepsch	3,3	2,7	0,6	4,4	— 0,2
8	Osnabrücker Reinette	3,8	3,0	0,8	4,3	0,0
9	Gelber Edelapfel	4,9	4,0	0,9	1,9	+ 0,1
Abgerundete Mittelwerte		4,1	3,3	0,8		

Die Kraft, welche bei dem in Tabelle 4 angegebenen Stempel eine Druckbeschädigung hervorruft, wird durch die Schale in vorliegenden Versuchen meistens um etwa 0,8 kg vergrößert. Die Vergrößerung ist unabhängig davon, ob die Scherkraft S_H groß oder klein ist. Die Einzelwerte von $D = K_{FH} - K_F$ unterscheiden sich von dem Mittelwert D_M um kaum mehr als den möglichen Fehler. Die größten Abweichungen von + 0,5 und — 0,35 kg ergeben sich bei $S_H = 4,1$ und $S_H = 3,5$ kg. Es ist nicht zu verwundern, daß die Schwankungen von $D - D_M$ so groß sind, weil D als Differenz von zwei Größen ermittelt wird, deren Messung ziemlich ungenau ist. Wesentlich ist es, daß $K_{FH} - K_F$ sich nicht parallel mit S_H ändert. Dies alles spricht dafür, daß die durch die Schale bedingte zusätzliche Kraft q (Abb. 4) von der Scherkraft S_H unabhängig ist. Dann muß auch die Kraft K_{FH} von S_H unabhängig sein. Das sieht man besonders deutlich aus Abb. 5. Die Schale beim „Berlepsch“ (b) war fester als beim „Ontario“ (a), aber der für die Beschädigung notwendige Kraftaufwand ist der gleiche. Beim „Gelben Edelapfel“ (c) ist die Schale wesentlich schwächer als beim „Berlepsch“ (b) und trotzdem ist der Kraftaufwand für eine Beschädigung deutlich größer; dieser Kraftaufwand ändert sich etwa parallel mit der Fleischfestigkeit.

Die Bedeutung der Schalenfestigkeit für den Genußwert einer Frucht.

Man kann sich vorstellen, daß eine feste Schale auf festem Fruchtfleisch beim Genuß viel weniger störend und demnach auch als weniger „hart“ empfunden wird, als eine gleich feste Schale auf verhältnismäßig zartem Fruchtfleisch. Die Befunde unserer vorläufigen Untersuchungen nach dieser Richtung berechtigen in der Tat zu dem Schluß, daß für das geschmackliche Empfinden der Schalenhärte in ziemlich weiten Grenzen nicht so sehr der absolute Wert der spezifischen Scherkraft als vielmehr das Verhältnis der spezifischen Scherkraft der Schale s_H (kg/cm) zur Fruchtfleischfestigkeit s (kg/cm²) maßgebend ist. Wir bezeichnen diesen Quotienten mit σ .

$$\sigma = \frac{s_H}{s} \dots \dots \dots (5)$$

Man kann nach den bisher vorliegenden Beobachtungen annehmen, daß Äpfel dann als „zartschalig“ empfunden werden, wenn der Quotient σ unter dem Wert von etwa 0,4 liegt, und daß das Empfinden der „Hartschaligkeit“ dann entsteht, wenn σ die Werte von etwa 0,7 erreicht.

Zusammenfassung.

Es wurde eine Methode zur Bestimmung der spezifischen Scherkraft der Schale s_H angegeben, die eine Scherkraft pro cm der Schalenlänge bedeutet. Berechnet wird s_H auf Grund der Messung der Kraft S_H , welche benötigt wird, um aus einem Schalenprobestück ein Loch von bestimmtem Durchmesser d auszustechen:
 $s_H = S_H : \pi d$ (kg/cm).

Die spezifische Scherkraft der Schale an der roten Seite von Äpfeln und Birnen ist erheblich größer als an der grünen Seite. Diese Unterschiede sind für die Schale wesentlich größer als für das Fruchtfleisch.

Versuche an Kernobst zeigen, daß die spezifische Scherkraft nach der angegebenen Formel bei einem Lochdurchmesser von 0,6 bis 1,4 cm mit befriedigender Genauigkeit berechnet werden kann.

Die Bestimmung der spezifischen Scherkraft kann, neben den Festigkeitsmessungen am Fruchtfleisch, auf dem Gebiet der Obstsortenkunde auch bei Untersuchungen über die günstigsten Lagerungs- und Reifungsbedingungen Anwendungsmöglichkeiten finden. Für Druckbeschädigungen an Kernobst ist nicht die Schalenfestigkeit, sondern vielmehr die Fleischfestigkeit von Früchten maßgebend.