

## Untersuchungen über mechanische Eigenschaften von Obst unter besonderer Berücksichtigung einer maschinellen Ernte

*Landmaschinen-Institut, Göttingen und Pennsylvania State University, USA*

Die Empfindlichkeit von Obst und einigen Gemüsearten gegen äußere mechanische Beschädigungen ist weitaus höher als bei den meisten anderen Ernteprodukten. Diese hohe Empfindlichkeit erschwert besonders eine Mechanisierung der Ernte und die sich daran anschließenden weiteren Behandlungen. Bis heute kennt man noch keine Verfahren, mit denen man Qualitätsobst für den Frischmarkt ohne Einschränkungen maschinell ernten kann. Obst für die unmittelbare Weiterverarbeitung verlangt nicht so hohe Ansprüche an Beschädigungsfreiheit; die Voraussetzungen für eine maschinelle Ernte sind hier dadurch eher gegeben.

In den Vereinigten Staaten von Amerika hat man für verschiedene zur Weiterverarbeitung vorgesehene Obstarten (u. a. Pflirsche, Pflaumen, Kirschen, Aprikosen) erfolgreiche Verfahren entwickelt, die bereits von zahlreichen Obstanbauern angewandt werden. Die erforderlichen Arbeitskräfte zur Ernte konnten dabei um ein Vielfaches verringert werden [1].

Auch im europäischen Land- und Gartenbau wird die Notwendigkeit zu stärkerer Rationalisierung das Problem der Obsterntemechanisierung wahrscheinlich bald in den Vordergrund treten lassen. Die steigenden Lohnkosten und die häufig nicht mehr verfügbaren Arbeitskräfte werden, wie bereits in den USA, auch bei uns dazu zwingen, soweit wie möglich maschinelle Verfahren zu entwickeln und einzusetzen. In Anlehnung an die in den Vereinigten Staaten bereits vorliegenden Erfahrungen wird es zunächst darauf ankommen. Möglichkeiten und Grenzen von maschinellen Ernteverfahren auf Grund unserer Frucht- und Anbauarten zu ermitteln.

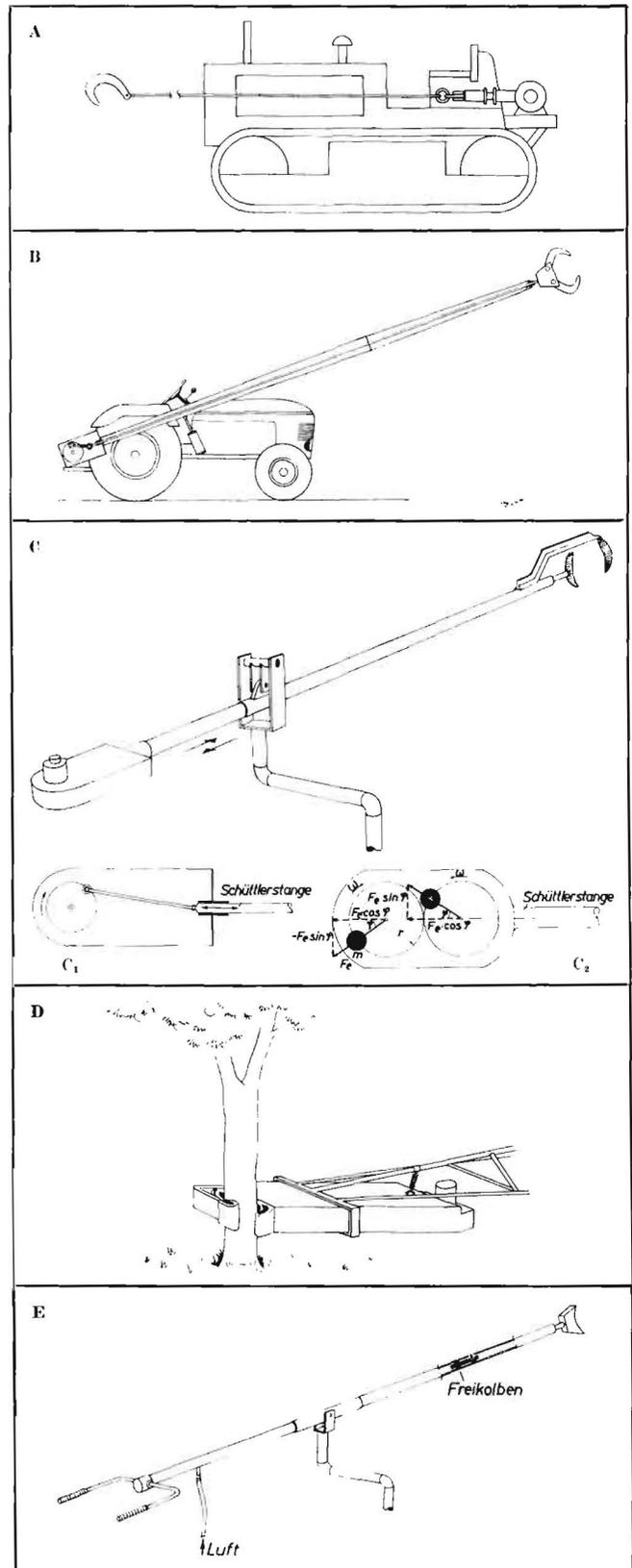
Eine wichtige Voraussetzung ist die Kenntnis der zumutbaren mechanischen Beanspruchung der Früchte. Man muß also die Festigkeitseigenschaften der Produkte bei Stoß-, Druck-, Scher- und ähnlichen Beanspruchungen kennen. Sie sind notwendig, um zweckentsprechende Erntemaschinen konstruieren zu können.

Im folgenden sollen Methoden zur Bestimmung verschiedener mechanischer Eigenschaften von Obst und Gemüse dargelegt werden, die von den Verfassern an der Pennsylvania State University in den USA entwickelt wurden.

### Maschinelle Obsternteverfahren in den USA

Vorausgehend sei ein kurzer Überblick über die Prinzipien von Obsternteverfahren gegeben, die in den Vereinigten Staaten seit mehreren Jahren bekannt sind und bereits erfolgreich in der Praxis angewandt werden. Das Loslösen der Frucht vom tragenden Zweig und das möglichst beschädigungsfreie Befördern in Sammelbehälter (Kisten) sind zwei grundlegende Vorgänge bei der Ernte von Kern- und Steinobst. Bewährt haben sich bisher in Amerika solche maschinellen Verfahren, die zum Loslösen der Frucht einen mechanisch in den Baum eingeleiteten Schwingungsvorgang benutzen, und das Auffangen der fallenden Frucht sowie das Sammeln in Behälter durch geeignete Fangvorrichtungen bewerkstelligen.

Für das Ablösen der Frucht mit Hilfe von Schwingungen sind Beschleunigungskräfte aufzubringen, die die Haltekräfte des Fruchtstengels oder seine Ansatzpunkte am Zweig beziehungsweise an der Frucht überwinden. Es wird sich hierbei gewöhnlich um Zug-, Biege-, Scher- oder kombinierte Spannungen handeln, die zum Abtrennen führen. Am zweckmäßigsten sind solche Schwingungsfrequenzen zu wählen, die im Eigenfrequenzbereich eines gesamten Astsystems oder der hängenden Frucht liegen. Der Schwingungsvorgang eines Astes läßt sich angenähert mit dem eines einseitig eingespannten Trägers vergleichen. Nimmt man an, daß die Früchte entlang des gesamten Astes verteilt hängen, so wird es sich empfehlen, Schwingungen verschiedener Frequenzen einzuleiten, um gegebenenfalls mehrere Eigenschwingungsbereiche zu durchfahren, wobei Schwingungsamplituden an verschiedenen



**Bild 1: In den USA bekannte Baumschüttlersysteme**

A = Kabelschüttler; B = Kurbelstangenschüttler; C = Massenkraftschüttler für Äste; C<sub>1</sub> = Massenkraft durch Kurbeltrieb; C<sub>2</sub> = Massenkraft durch Ummwucht; D = Massenkraftschüttler für gesamten Baum; E = Pneumatischer Schlagschüttler

Stellen entlang eines Astes aufgebracht werden. Die Eigenschwingungszahlen eines Astes hängen von Größe und Belaubung sowie von Gewicht und Fruchtverteilung in starkem Maße ab. Für einen möglichst universell einsetzbaren, wenig Energie verzehrenden Baumschüttler ist ein breites Schwingungsspektrum vorzusehen. Tatsächlich werden auch in der Praxis ganz verschiedene Schwingungszahlen je nach Fruchtart, Baum- und Astgröße gefahren.

Bild 1 zeigt eine Übersicht verschiedener Schüttlersysteme. A und B zeigen Kurbel- oder Exzentrerschüttler, bei denen ein Schwingungsweg, dem Kurbelradius entsprechend, und eine der Drehzahl entsprechende Frequenz eingeleitet wird. Dabei hat das Fahrzeug, das den Schüttler trägt, die vollen Reaktionskräfte des zu schüttelnden Astes aufzunehmen. Damit die Schwingungsamplituden des Trägers, das heißt in den meisten Fällen des tragenden und antreibenden Schleppers, möglichst gering bleiben, muß seine Masse möglichst groß sein. Grundsätzlich sind Schwingungen im Träger nicht vermeidbar und damit auch nicht die nachteiligen Auswirkungen. Kabelschüttler haben sich als nicht praktisch erwiesen und werden kaum noch verwendet. Stangenschüttler dagegen finden häufiger Anwendung.

Um die Nachteile und Eigenschwingungen bei dem Kurbelstangenschüttler zu umgehen, sind sogenannte Massenkraftschüttler entwickelt worden (Bild 1; C und D), bei denen entweder Massenunwuchten ( $C_1$ ) oder gegenläufig arbeitende Massen ( $C_2$ ) einen Schwingungsvorgang in den Baum einleiten. Hierbei schwingt nur das dazu vorgesehene System und der jeweilige Baum; Kräfte auf den Träger werden nur bedingt übertragen. Bild 1, C zeigt einen Stangenschüttler für einzelne Äste, Bild 1, D einen Massenkraftschüttler zum Schütteln des gesamten Baumstammes, dessen Schüttelvorgang ebenfalls auf der Wirkung von unausgeglichene rotierenden Massen ruht. Für leicht sich vom Baum lösende Früchte, wie zum Beispiel Wallnüsse und Mandeln, haben sich sogenannte Stoß- oder Klopferschüttler eingeführt. Bild 1, E zeigt einen pneumatisch arbeitenden Schüttler, der durch einen Freikolben jeweils einen Stoß auf einen Ast ausüben kann.

Die beim Schütteln vom Baum herabfallenden Früchte sind so sanft aufzufangen, daß ihre zusätzlichen Druck- und Stoßbeanspruchungen nicht überschritten werden. Eine entsprechend gestaltete Fangvorrichtung kann diese Aufgabe übernehmen. Bei weniger empfindlichen Früchten genügen frei gespannte Leinen- oder Kunststoffplanen. Bei höherer Stoßempfindlichkeit der Früchte werden zusätzlich sogenannte Verzögerungsbänder überspannt, die den Fall verlangsamen und gleichzeitig das Aufeinanderprallen der Früchte verhindern. Von den schräggestellten Fangflächen rollen die Früchte zu einem oder mehreren Förderbändern oder Elevatoren und werden in Kisten gesammelt. Eine zusätzliche Windreinigung kann die leichteren Beimengungen, wie Blätter, Äste und Stiele, beseitigen. Bild 2 zeigt einen zweiteiligen Fangrahmen mit aufgebauten Massenkraftschüttlern im Einsatz bei der Pflaumernte. Mit einer solchen Einheit können bei einer Bedienung von drei bis vier Arbeitskräften etwa 40—50 Bäume je Stunde abgeerntet werden. Diese Fangrahmenkonstruktionen haben sich der jeweiligen Baumform, der Fruchtart und dem Baumabstand anzupassen. Zweiteilige oder einteilige Rahmen mit schwenk- oder ausfahrbaren Flügeln, selbstfahrend oder gezogen, haben ihre



Bild 2: Zweiteiliger, selbstfahrender Auffangrahmen mit angebauten Massenkraftschüttlern

Zweckmäßigkeit unter den unterschiedlichen Bedingungen bereits vielfach unter Beweis gestellt.

Gewisse Stoß- und Druckbeanspruchungen beim Fall der Frucht sind bei diesem Verfahren nicht vermeidbar. Hier ist die Frage nach den zulässigen Beanspruchungen zu stellen. Gleichartige Fragen tauchen bei der maschinellen Ernte von Kartoffeln und Zuckerrüben auf. Verschiedene Angaben über Festigkeitseigenschaften liegen hier bereits vor [2; 3].

Der Widerstand, den Obst- und Gemüsearten gegen äußere Beanspruchungen ausüben, war auch schon häufiger Gegenstand von Untersuchungen. Es sei hier zum Beispiel auf die Arbeiten von MAGNESS und TAYLOR [4] verwiesen, die einen handlichen Druckfestigkeitsprüfer entwickelten, der die Kraft zum Eindringen eines Stempels in das Fruchtfleisch mißt. Die gemessene Kraft wird dann in Relation zum Reifegrad gesetzt. Subjektive Fehler bei der Messung mit diesem Verfahren lassen sich allerdings nicht vermeiden. Für Spargel hat man eine sogenannte "Shear Press" entwickelt, mit der man Rückschlüsse auf die Zähigkeit eines Spargelstengels und den Fasergehalt ziehen kann [5]. ROSS [6] gibt einen Härteprüfer für Obst an, der den Druck eines Kolbens bei einer vorgegebenen Eindringtiefe mißt. SCHMIDT [7] hat die Festigkeit des Fruchtfleisches gemessen und daraus Rückschlüsse auf die Reifegrade und andere physiologische und biologische Eigenschaften der Apfelsorten abgeleitet. Reine Fallteste an Äpfeln haben LEVIN und GASTON [8] angestellt, um den Widerstand gegen Beschädigungen beim Fall von Äpfeln und die zulässige Fallhöhe zu ermitteln. Für die Entwicklung und Konstruktion von Maschinenelementen für eine mechanisierte Ernte und andere Maschinen zur Weiterbehandlung von Obst sind die bisher bekannten Angaben nur bedingt zu verwerten. Es fehlen Daten über die mechanischen Eigenschaften, die Grundlagen für eine Berechnung und zur Konstruktion bilden können.

#### Meßverfahren zur Ermittlung mechanischer Eigenschaften von Obst

Die vorliegenden Untersuchungen hatten zum Ziel, Verfahren zu entwickeln, mit denen äußere Beanspruchungen, das heißt Spannungen, Deformationen und Verformungsenergien, die zu Beschädigungen an der Schale oder des Fruchtfleisches unmittelbar unterhalb der Schale führen, größtmäßig erfaßt werden können. Obwohl die Verfahren in der Hauptsache an Äpfeln erprobt wurden, können sie doch in gleicher oder geringfügig abgewandelter Form für Birnen, Pflirsiche, Tomaten, Kartoffeln und ähnliche Früchte angewendet werden. Eine großmaßstäbliche Klassifikation der Beschädigungsgrade an Obst ist, soweit bekannt, noch nicht zur festen Norm erhoben. Häufig werden die Durchmesser einer von außen sichtbaren, beschädigten Stelle als Maßstab herangezogen [9]. Dabei handelt es sich vielfach um mehr oder weniger subjektive Beurteilungen. In den vorliegenden Untersuchungen wurde der Beginn einer durch Zellbruch verursachten Verfärbung der Zellschichten unterhalb der Schale und die Tiefe dieser Verfärbung als Maßstab einer mechanischen Beschädigung zugrunde gelegt. Äußerlich brauchen dabei noch keine Anzeichen einer Beschädigung sichtbar zu sein. Die ersten deutlich sichtbaren Anzeichen einer Fruchtfleischverfärbung (Bräunung) von 2—3 mm Tiefe wurden hier als Grenze einer zulässigen Druck- oder Stoßbeanspruchung angesehen. In vielen Fällen werden solche geringen Beschädigungen für den Verbraucher noch nicht Grund einer Qualitätsbenämigung sein. Für die Behandlung von Frischmarktprodukten müssen diese Beschädigungen jedoch als Grenze angesehen werden.

#### Meßapparaturen

Die Vorgänge bei einer von außen auf die Fruchtschale wirkenden Druckbeanspruchung konnten mit der in den Bildern 3 und 4 dargestellten Apparatur genau ermittelt werden. Dabei wurden die Druckkraft, die beanspruchte Fläche sowie die Deformation unterhalb der beanspruchten Stelle gemessen und registriert. Für die Aufbringung der Kraft diente ein pneumatisch-hydraulisch arbeitender Kraftzylinder mit Geschwindigkeitsregelung. Für einen Test wurde jeweils eine aus der Frucht herausgeschnittene Probe verwendet, die es ermöglichte, Verformungen durch die Druckbeanspruchung nur an einer Stelle zu erhalten. Bei der Verwendung einer ganzen Frucht würden an beiden gegenüberliegenden Seiten Verformungen auftreten, die nur schwer großen-

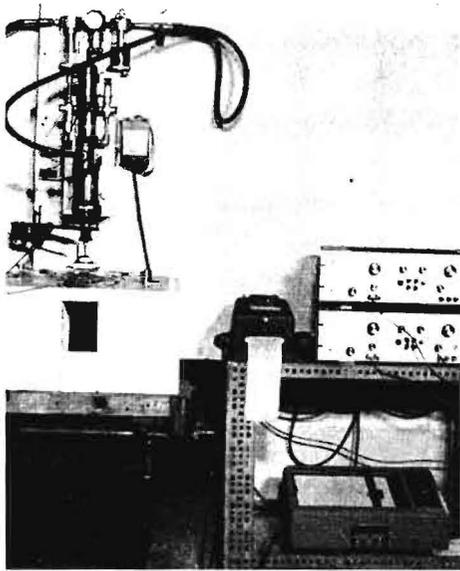


Bild 3: Meßapparatur zur Bestimmung von zulässigen Druckbeanspruchungen

mäßig zu trennen wären. Die Bewegung des Kraftkolbens konnte stufenlos geregelt werden; für die Druckbelastungsversuche betrug die Eindringgeschwindigkeit etwa 4 mm je Minute.

Die Messung der Kraft beziehungsweise der Spannung erfolgte über eine vierarmige Meßapparatur mit Dehnungsmessstreifen, die der Deformation über einen Meßbalken ebenfalls mit Dehnungsmessstreifen. Ein Tastmikrometer diente lediglich zur Sichtbarmachung der Verformung. Die Meßwerte wurden verstärkt und auf einen Koordinatenschreiber unmittelbar aufgezeichnet (vgl. Bild 7).

*Messung der zulässigen Stoßbeanspruchung*

Stoßbeanspruchungen unterscheiden sich von den im Vorhergehenden geschilderten Druckbeanspruchungen durch wesentlich schnellere Verformungsgeschwindigkeiten. Bild 5 zeigt eine Pendelapparatur zur Aufbringung und Messung von Stoßbeanspruchungen. Aus Pendelgewicht und Ausschlag konnte die Stoßenergie hergeleitet werden. Ein linearer Weggeber ermittelte den Verlauf der Verformung während des Stoßvorganges. Die Meßwerte des Weggebers registrierte ein Linienschreiber.

*Messung von Scherbeanspruchungen*

Um die Scherfestigkeit der Schale zu ermitteln, wurde die in Bild 6 dargestellte Zusatzeinrichtung in Kombination mit der Meßapparatur bei Druckbeanspruchung verwendet. Gemessen wurde hier die Kraft, die zum Abscheren einer kreisrunden Scheibe allein aus der Fruchtschale notwendig ist.

**Durchführung der Messungen und Ergebnisse**

Um die Druckbeanspruchungen in der Einheit Spannung ausdrücken zu können, war es wichtig, die jeweils beanspruchte Fläche zu kennen. Die Verwendung eines zylindrischen Stempels, dessen Stirnfläche gerade so groß gewählt wurde, daß bei der normalen Krümmung der Oberfläche des Apfels noch eine erkennbare volle Berührung zwischen Stempel und Frucht beim kraftlosen Aufsetzen gewährleistet war, ermöglichte dieses. Ein wirksamer Stempeldurchmesser von 6 mm erwies sich hierzu als geeignet. Ein größerer Durchmesser würde nicht mehr unmittelbar eine volle Berührung seiner gesamten Fläche gewährleisten, ein kleinerer Durchmesser dagegen könnte leichter zum Durchstechen neigen und die auftretenden Druckspannungen verfälschen. Da Druckbeanspruchungen bei Obst praktisch entweder bei gegenseitiger Berührung der Früchte oder bei Druck gegen ebene Flächen auftreten, wie beispielsweise in den Kisten, sind ebenfalls solche praxisnahen Beanspruchungen mit in die Meßreihen aufgenommen worden. Hierzu wurde statt des Stempels eine flache ebene Platte gegen die Frucht gedrückt. Die beanspruchte Fläche war dann durch einen Abdruck gekennzeichnet, dessen Fläche jeweils planimetriert wurde. Die Meßmethoden sind hauptsächlich an Äpfeln

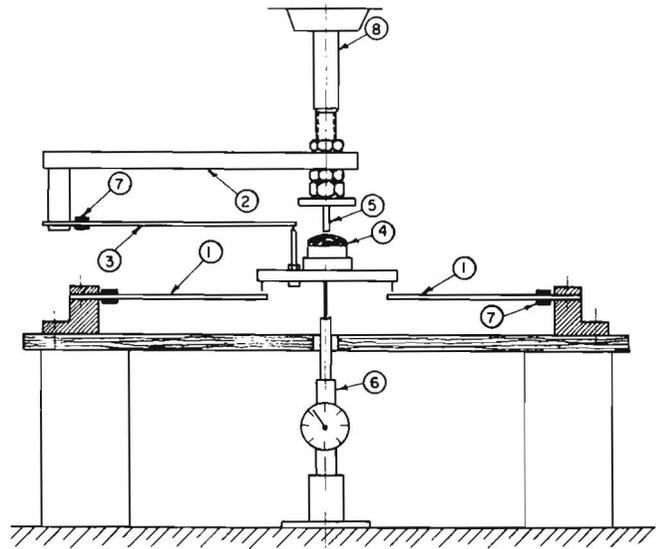


Bild 4: Schema der Kraft- und Deformationsmessung beim Druckversuch  
1 = Kraftmeßeinrichtung; 2 = Deformationsmeßeinrichtung; 3 = Meßbalken; 4 = Fruchtprobstück; 5 = Stempel; 6 = Mikrometer; 7 = Dehnungsmessstreifen; 8 = Belastungsvorrichtung

erprobt worden, da verschiedene Sorten Äpfel über einen längeren Zeitraum und zu den verschiedenen Reifegraden entweder frisch aus dem Obstgarten oder aus dem Lagerraum zur Verfügung standen. Die jeweilige Fruchtprobe (38 mm Durchmesser, 12 mm Länge) wurde durch ein Spezialwerkzeug aus der Frucht herausgeschnitten. Jede Probe ist nur zu einem Druck- beziehungsweise

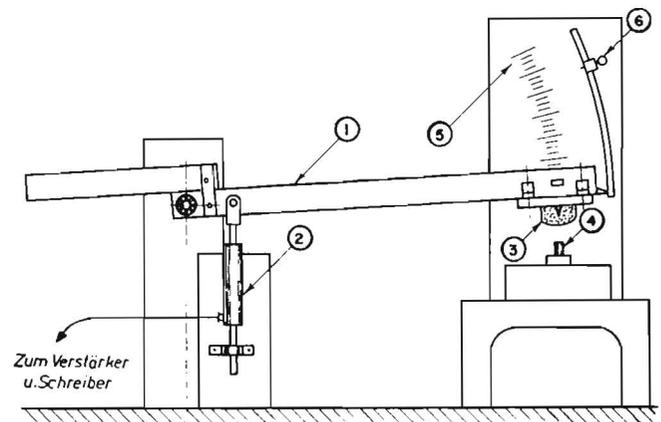


Bild 5: Meßeinrichtung zum Stoßversuch  
1 = Stoßarm; 2 = Weggeber; 3 = Fruchtprobstück; 4 = Stempel- oder Aufschlagfläche; 5 = Skala; 6 = Fallauslösung

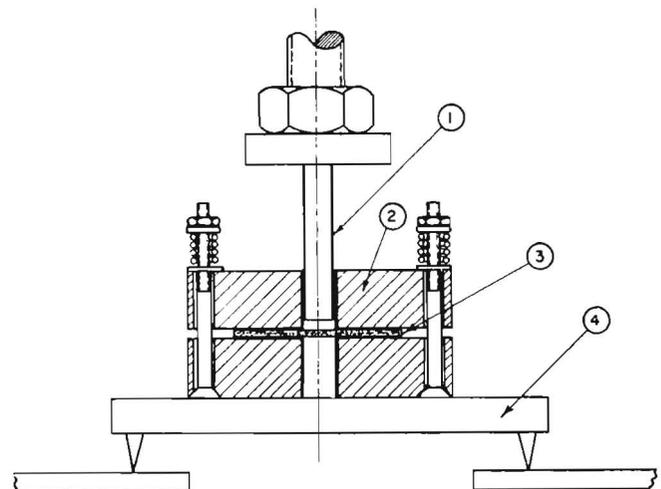


Bild 6: Meßeinrichtung zur Ermittlung der Schalescherfestigkeit  
1 = geschliffener Stempel; 2 = Spannelemente; 3 = Fruchtschale; 4 = Kraftmeßeinrichtung

Stoßversuch verwendet worden. Etwa eine Stunde nach dem Test sind die Proben an der beanspruchten Stelle aufgeschnitten und auf Zellbruch beziehungsweise Verfärbung überprüft worden.

Bei den Druckbeanspruchungen ist für jede Probe ein Kraftdeformationsverlauf beziehungsweise Spannungsdehnungsverlauf aufgenommen worden. Dabei zeigte sich in allen Fällen das Vorhandensein eines deutlichen Absatzes im Kurvenverlauf nach einem mehr oder weniger linearen Anstieg (Bild 7). Diese Erscheinung kann als ein sehr bemerkenswertes Merkmal bei der Festigkeitsbewertung einer Frucht angesehen werden, da dieser in Angleichung an die Prüfung anderer Werkstoffe mit Streckung bezeichnete Punkt S das Eintreten der ersten Zellbrüche unter der wirkenden Last und damit den Beginn einer Beschädigung charakterisiert. Dieser meßbare Punkt wird in allen weiteren Untersuchungen als Grenzwert für die angegebenen maximalen zulässigen Spannungen, Deformationen und Verformungsenergien angesehen. S kennzeichnet die Streckgrenze, B den Bruch, das heißt das Durchstoßen der Schale bei Verwendung eines 6-mm-Stempels. Das Durchstoßen der Schale hängt weitgehend von der Schalenfestigkeit und Zähigkeit ab. Da aber bereits vorher Fleischbeschädigungen eintreten, ist dieser Wert nur sekundär interessant und soll hier nicht weiter betrachtet werden.

Derartige Diagramme sind von Apfelproben zu verschiedenen Reifegraden und verschiedener Lagerungszeit laufend aufgenommen und ausgewertet worden. In Bild 8 sind über die Reife- und Lagerungsperiode von drei verschiedenen Apfelsorten die Deformationen, Druckspannungen und Verformungsenergien zum Erreichen des jeweiligen Streckpunktes aufgetragen. Unter Verformungsenergie, bezogen auf die Beanspruchungsfläche, ist der Energieanteil zu verstehen, der sich aus der Diagrammfläche unterhalb des Kraftdeformationskurvenzuges bis zum Punkt S ergibt (vgl. Bild 7). Würde man diesen Wert, statt auf die beanspruchte Fläche, auf das jeweils verformte Volumen beziehen, würde sich hieraus ein echter spezifischer Wert ableiten lassen. Das verformte Volumen war jedoch aus den bisherigen Messungen genau nicht abzuleiten. Aus den Meßwerten lassen sich kurz folgende interessante Merkmale ablesen:

1. Mit fortschreitendem Reifevorgang verliert ein Apfel an Elastizität; er wird also empfindlicher gegen plastische, bleibende Verformungen.
2. Äpfel scheinen am empfindlichsten gegen Beschädigungen ein bis zwei Wochen nach der Ernte zu sein.
3. Die Druckspannungen, die zu Zellenbrüchen führen, nehmen mit der Reife- und Lagerungszeit ständig ab.
4. Ebenso wie bei der Deformation tritt in der aufnehmbaren Verformungsenergie ein Minimum etwa zwei Wochen nach dem Erntetermin ein. Mit zunehmender Lagerungszeit steigen die aufnehmbaren Verformungsenergien wieder an.

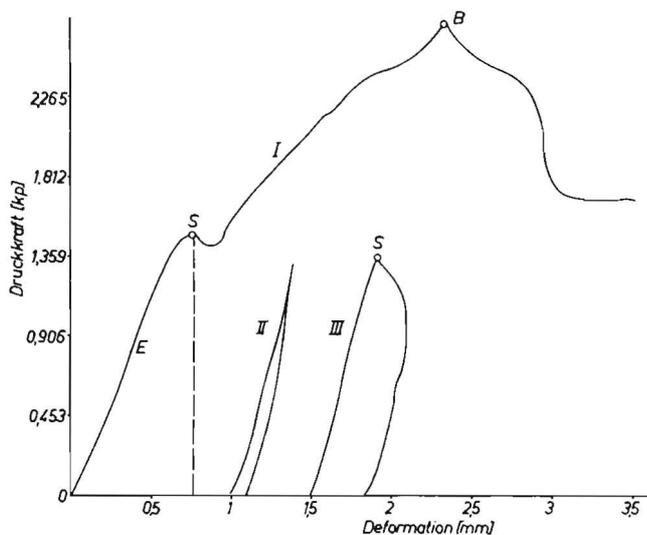


Bild 7: Koordinatenschreibdiagramm von einem Druckversuch mit Stempel (6 mm Ø)

S = Streckpunkt; B = Schalenbruch;  
 Kurve I = Belastungsversuch bis zum Schalenbruch  
 Kurve II = Belastungsversuch bis kurz vor dem Streckpunkt  
 Kurve III = Belastungsversuch bis zum Streckpunkt

Tafel 1: Elastizitätsverhalten von drei Apfelsorten vor und nach Überschreiten der Streckgrenze (6,0-mm-Stempel)

Apfelsorte und Apfelnummer	Elastizität vor Überschreiten der Streckgrenze [%]	Elastizität nach Überschreiten der Streckgrenze [%]	Verhältnis
G 54/53-013	73	31	2,4
G 41/42-013	65	14	4,6
G 13/16-010	78	54	1,5
G 14/15-06	72	45	1,6
D 51/52-013	77	34	2,3
D 37/36-06	86	52	1,7
D 24/25-06	77	51	1,5
M 30/31-521	75	43	1,8

Vergleicht man die Werte für die auf die Flächeneinheit bezogene Verformungsenergie aus den 6-mm-Stempel-Tests mit jenen Werten, die bei Druckbeanspruchung gegen eine ebene Fläche gewonnen wurden, so weichen diese nur geringfügig voneinander ab. Hieraus kann man folgern, daß die mit einem zylindrischen Stempel gewonnenen Daten sich auf den praktischen Beanspruchungsfall übertragen lassen. Es wäre denkbar, daß nach Erhärtung dieser zunächst nur aus einer Saison gewonnenen Erkenntnisse wertvolle Rückschlüsse auf günstige Zeitpunkte für Ernte, Transport und Sortierung hinsichtlich der Beschädigungsempfindlichkeit gezogen werden könnten.

Aus den Druckbelastungsversuchen können ferner Informationen über das elastische und plastische Verhalten der Frucht vor und nach dem Eintreten der Streckung entnommen werden. Schließt man das Belastungsdiagramm, indem man den Entlastungsverlauf ebenfalls aufzeichnet (vgl. Kurvenverlauf II und III in Bild 7), so ist zu erkennen, daß auch nach der vollkommenen Entlastung eine bleibende Deformation der belasteten Stelle erhalten bleibt. Kurvenverlauf II zeigt die bleibende Verformung nach der Entlastung, wenn der Streckpunkt noch nicht erreicht war. Kurvenverlauf III zeigt die bleibende Verformung, wenn der Streckpunkt bei der Entlastung gerade überschritten war. In Tafel 1 sind für einige Apfelsorten das Elastizitätsverhalten vor Erreichen und bei Überschreiten der Streckgrenze im Bereich etwa gleicher maximaler Deformationen angegeben. Es ist zu erkennen, daß nach Überschreiten der Streckgrenze der Anteil der elastischen Verformung von etwa 75% auf 40% zurückgeht. Für das Energieabsorptionsvermögen der Frucht bei stoßartigen Beanspruchungen insbesondere beim Transport mögen diese Betrachtungen Bedeutung haben.

Sehr häufig werden Beschädigungen jedoch durch den Fall, das heißt durch Stoß verursacht. Hier liegt die Frage nun nahe, inwieweit die Informationen aus den Druckbelastungstesten benutzt werden können, um auch die Beschädigungsempfindlichkeit gegen Stoß ohne zusätzliche Versuche vorauszurechnen. Der Stoßvorgang verursacht kurzzeitig eine maximale Deformation  $D_s$ , von der ein geringer Anteil  $D_p$  in der Frucht als plastische Formung verbleibt. Vergleicht man die beim Stoß eintretenden Deformationen und Verformungsenergiewerte, die der Streckgrenze beim Druckversuch entsprechen, das heißt gleiche Zellzerstörungen hervorrufen, mit den entsprechenden Werten bei der Druckbelastung, so kann

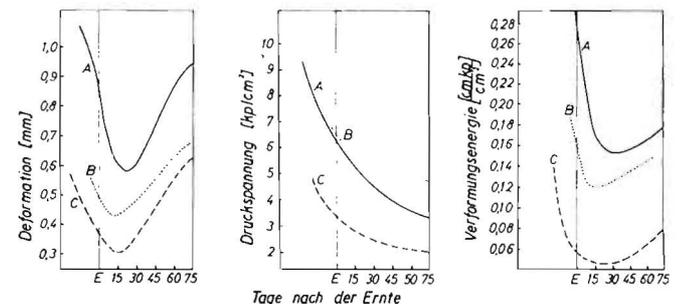


Bild 8: Ergebnisse aus den Druckversuchen an verschiedenen Apfelsorten in Abhängigkeit von Ernte- beziehungsweise Lagerungszeitpunkt

E = Erntezeitpunkt; A = Apfelsorte „Golden Delicious“;  
 B = Apfelsorte „Delicious“; C = Apfelsorte „Mc. Intosh“

folgendes abgeleitet werden: die maximale Verformung ist in beiden Fällen etwa gleich; die bleibende Verformung ist beim Stoß geringer und die gesamte von der Frucht beim Stoßvorgang aufgenommene Energie kann etwa 1,5—2mal größer sein als die Verformungsenergie bei der Druckbelastung. Diese Tatsache läßt sich aus der kürzeren Belastungszeit beim Stoß erklären. Die Fruchtzellen können wahrscheinlich kurzzeitig eine höhere Spannung aufnehmen, ohne dabei zerstört zu werden. Bild 9 zeigt einen Vergleich der Energiewerte, die bis zur Beschädigung, das heißt bis zur Streckgrenze bei Druck und Stoß, aufgebracht werden können. Beim Stoßvorgang der einzelnen Frucht gegen eine andere oder einer Frucht gegen eine starre ebene Fläche ist das Verhältnis von Stoßenergie zur Verformungsenergie beim Druckversuch zum Erreichen der Streckgrenze ganz ähnlich wie bei der Belastung mittels eines Stempels.

Unter Benutzung der in Bild 6 dargestellten Schervorrichtung sind Versuche zur Bestimmung der Schalenfestigkeit angestellt worden. Diese Scherfestigkeit hat ihre Bedeutung bei Schnittbeanspruchungen und gibt einen Anhalt über die Schalenfestigkeit. Die ermittelten Scherkräfte wurden mit jenen Kräften beim Schalenbruch im Druckbelastungsversuch verglichen. Hieraus konnte der Stützanteil der Schale bei einer äußeren Einwirkung eines Druckstempels ermittelt werden. Es zeigte sich, daß die Schale etwa 40—50% der Stützkraft beim Eindringen eines Stempels übernehmen kann. Bei einer Sorte mit besonders weichem Fruchtfleisch betrug die Stützwirkung der Schale sogar 90%, so daß nur 10% des Widerstandes beim Eindringen eines Gegenstandes von dem Fruchtfleisch übernommen werden.

Sofern sich diese Erkenntnisse durch größere Versuchsreihen in mehreren Ernteperioden erhärten lassen, könnten aus den einfach und präzise durchgeführten Druckversuchen wertvolle Hinweise auf die zulässigen Stoßbeanspruchungen, das heißt zulässige Verformungsenergien beziehungsweise Fallhöhen abgeleitet werden. Ebenso lassen sich hieraus die notwendigen Dämpfungscharakteristiken für die Fangmaterialien an den Auffangvorrichtungen herleiten. Ansätze hierzu sind von den Verfassern [10] gegeben worden.

### Zusammenfassung

Eine Mechanisierung der Ernte von Obst und zum Teil auch von Gemüse ist durch die hohe Empfindlichkeit dieser Früchte gegen mechanische Beschädigungen besonders schwierig. In den Vereinigten Staaten von Amerika hat man bereits Erntemaschinen für Verarbeitungsobst entwickelt, die sich teilweise in der Praxis eingeführt haben. Das Ernteprinzip besteht grundsätzlich aus einem Schüttelvorgang des Baumes beziehungsweise der Äste und dem Auffang- und Sammelvorgang der fallenden Früchte. Voraussetzung für eine möglichst beschädigungsfreie Ernte ist die Kenntnis der Festigkeitseigenschaften der Ernteprodukte. Es werden Verfahren angegeben, nach denen Druck- und Stoßbeanspruchungen gemessen und in bekannten Einheiten als Spannung, Dehnung und Verformungsenergie ausgedrückt werden können. Die zulässige Druckbeanspruchung ist durch einen sogenannten Streckpunkt gekennzeichnet, der in der Spannungs-Dehnungskurve den Beginn eines Zellbruches unter der Schale angibt. Aus den Kennwerten des Streckpunktes lassen sich Rückschlüsse auf die zulässigen Fallhöhen und das Elastizitätsverhalten der Frucht ziehen.

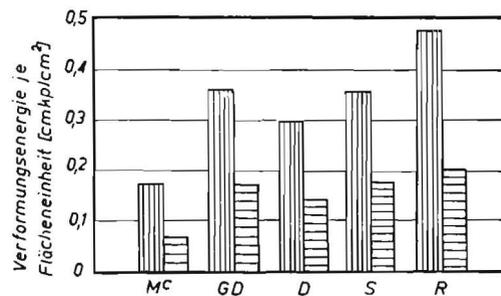


Bild 9: Vergleich der Energiewerte, die bei Druck- und Stoßbelastung aufgebracht werden können, bevor bei einzelnen Apfelsorten ein Zellbruch eintritt

Mc = McIntosh; GD = Golden Delicious; D = Delicious; S = Stayman; R = Rome Beauty

[10] MOHSENIN, NURI N., und H. GÖHLICH: Techniques for determination of mechanical properties of fruits and vegetables as related to design and development of harvesting and processing machinery. A.S.A.E. Tech. Paper Nr. 61—137, Ames 1961

### Résumé

Horst Göhlich and Nuri N. Mohsenin: "Examinations on the Mechanical Properties of Fruit with special Reference to Machine Harvesting."

Mechanizing the harvest of fruit and partly also vegetables is greatly complicated by the high sensitiveness of these fruit to mechanical damages. In the United States of America machines for process fruit have already been developed and, to some extent, they have been used in practice. The process of harvesting includes in principle the shaking of the tree resp. branches and the collecting and picking up of the falling fruit. Pre-condition for a harvest with as little as possible damages is the knowledge of the physical properties of the crop. Methods are described by which compression and impact stresses can be measured and expressed in known units as stress, strain and deformation energy. The admissible pressure stress is characterized by a so-called yield point which indicates the beginning of a cell break under the peel in the stress-strain-curve. The characteristics of the yield point permit conclusions on the admissible fall height and the elasticity behaviour of the fruit.

Horst Göhlich et Nuri N. Mohsenin: «Recherches sur les propriétés mécaniques des fruits en tenant compte en particulier des conditions lors d'une récolte mécanique.»

Une mécanisation de la récolte des fruits et, en partie, des légumes est particulièrement difficile par suite de la grande sensibilité de ces produits aux détériorations mécaniques. Aux Etats-Unis, on a déjà étudié des machines de récolte pour les fruits destinés à l'industrie alimentaire, dont on utilise actuellement quelques-unes dans la pratique. Le principe de ces machines consiste en une opération de secouage des arbres respectivement des branches et une opération de recueil et de rassemblement des fruits détachés. Afin d'obtenir une récolte autant que possible non endommagée, il faut connaître les résistances mécaniques des produits. Les auteurs citent des méthodes de mesure des efforts de compression et d'impact qui sont exprimés en unités connues d'énergie de tension, d'allongement et de déformation. L'effort de compression admissible est déterminé par un point d'allongement établi par une courbe tension-allongement et qui indique l'amorçage d'une rupture des cellules sous la peau. On peut tirer des points d'allongement déterminés ainsi des conclusions sur les hauteurs de chute admises et le comportement élastique des fruits.

Horst Göhlich y Nuri N. Mohsenin: «Investigación de las condiciones mecánicas de frutas, especialmente bajo las exigencias de la cosecha con máquinas.»

La mecanización de la cosecha de frutas y en parte también de verduras, resulta difícil por la sensibilidad de las frutas a deterioros mecánicos. En los Estados Unidos de América ya se han construido máquinas cosechadoras de frutas, destinadas a la fabricación de conservas, y que en parte han llegado a introducirse en la práctica. El principio de estas máquinas es el del procedimiento de sacudir el árbol, resp. las ramas y la recogida de la fruta al vuelo. Es importante para la cosecha de la fruta con daño relativamente reducido, el conocimiento de las condiciones de solidez de los productos. Se indican procedimientos para medir los esfuerzos de presión y de choque, y para expresarlos en unidades conocidas como de tensión, de dilatación y de deformación. El esfuerzo de presión admisible se indica como factor de extensión que indica el principio de la rotura de las células debajo de la piel en la curva de tensión y de dilatación. El conocimiento del factor de expansión permite determinar la altura de caída y la elasticidad de la fruta.

### Schrifttum

- [1] PARKS, R. R. Fruit and Nut Harvesting. A. S. A. E. Techn. Paper PC 61-9, Davis 1961
- [2] LAMPE, K.: Möglichkeiten zur Messung der Beschädigungsempfindlichkeit von Kartoffeln und anderen Früchten. Landtechnische Forschung 9 (1959), S. 51—54
- [3] WITZ, R. L.: Measuring resistance of potatoes to bruising. Agricultural Engineering 35 (1954), S. 241—244
- [4] MAGNESS, J. R., und G. F. TAYLOR: An improved type pressure tester for the determination of fruit maturity. U. S. D. A. Dept. Circular Nr. 350, Washington 1925
- [5] DECKER, R.: An instrument for measuring the rheological properties of agricultural commodities. A. S. A. E. Tech. Paper Nr. 57-2, East Lansing 1957
- [6] ROSS, E.: A quantitative hardness tester for food products. Science 109 (1949), S. 204
- [7] SCHMIDT, J.: Zum Problem der sortenbedingten Festigkeit des Fruchtfleisches von Äpfeln. Dissertation TH München, München 1961
- [8] GASTON, H. P., und J. H. LEVIN: How to reduce apple bruising. Michigan State College Special Bulletin 374, East Lansing 1951
- [9] SCHOMER, H. A.: Bruising of apples: Where does it occur and how can it be minimized? Washington State Horticultural Association Proceedings 53 (1957), S. 129—131