

Bernd Herold, Ingo Truppel und Martin Geyer, Potsdam-Bornim

# Messung der Stoßelastizität zur Qualitätsunterscheidung von Früchten

*Festigkeit und Elastizität sind qualitätsbestimmende Eigenschaften bei Obst und Gemüse. An Hand dieser Eigenschaften wird häufig die Reifeentwicklung von Früchten beurteilt. Bei der Verarbeitung von Obst und Gemüse werden Elastizitätskennwerte bestimmt, um Qualitätsunterschiede festzustellen. Ein Beispiel ist die Produktion von Salzgurken, wo häufig Qualitätsfehler in Form hohler Gurken auftreten. Damit die fehlerhaften Gurken vor der Verarbeitung zu Scheiben ausgesondert werden können, ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren notwendig. Zur Unterscheidung einwandfreier und hohler Gurken wurde ein Elastizitätstest entwickelt, bei dem die Gurken einer Stoßprüfung unterworfen werden.*

Dr. Bernd Herold und Dipl.-Ing. Ingo Truppel sind Mitarbeiter und Dr. Martin Geyer ist Leiter der Abteilung „Technik im Gartenbau“ am Institut für Agrartechnik Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zasko); e-mail: [bherold@atb-potsdam.de](mailto:bherold@atb-potsdam.de)

Das Institut dankt der Fa. Develey für die Unterstützung dieses Projekts.

## Schlüsselwörter

Qualitätsprüfung, mechanischer Stoßtest, Elastizitätsmodul, Salzgurke

## Keywords

Quality control, mechanical impact test, elastic modulus, pickled cucumber

Die Festigkeit des Fruchtfleisches wird seit langem als Kriterium zur Reifebestimmung bei Kern- und Steinobst genutzt. Mit fortschreitendem Reifegrad nimmt die Fleischfestigkeit ab. Sie ist eine mechanische Eigenschaft, die mit dem Bissgefühl beim Fruchtverzehr zusammenhängt. Technisch wird die Fleischfestigkeit mit Hilfe eines Penetrometers bestimmt, das die Kraft beim Eindringen eines Zylinderstifts in das Fruchtfleisch misst. Diese Methode ist stets mit der Zerstörung der Frucht verbunden und führt deshalb zu unerwünschten Verlusten. Für durchgängige Prozesskontrollen werden zerstörungsfreie mechanische Prüfmethoden benötigt. Als geeignetes Prinzip wird in zunehmendem Maße die Messung des elastischen Verhaltens der Früchte verwendet. Obwohl Festigkeit und Elastizitätsmodul ähnliche Trends während der Reifeentwicklung aufweisen, sind sie gegenseitig nicht vollkommen austauschbar.

## Reifegradbestimmung durch zerstörungsfreie Elastizitätsprüfung

Für die schnelle zerstörungsfreie Qualitätsprüfung von Früchten wurde eine Reihe unterschiedlicher Methoden entwickelt, bei denen elastische Parameter unter dynamischen Bedingungen gemessen werden. Beispielsweise wurde für ein Fruchtortierband mit hintereinander aufgereihten Früchten ein Stoßsensor entwickelt, der jede Frucht während des Transports leicht anschlugs und dabei den Verlauf der Stoßbeschleunigung aufnahm [1]. Es erfolgte ein Vergleich des Anstiegs des gemessenen Stoßverlaufs mit dem Anstieg der Kraft-Deformations-Kurve, der durch klassischen Penetrometer-Test an den gleichen Früchten ermittelt wurde. Das System ermöglichte eine Leistung von sechs Früchten/s. Bei einem Test an Pfirsichen wurde eine hohe Korrelation der beiden Parameter festgestellt.

Um Äpfel, Nektarinen und Kiwifrüchte nach Reifegrad zu sortieren, wurde an einem Sortierband ein Sensor eingesetzt, der jede Frucht unten zur Vibration anregte und oben mit Hilfe eines Tastfingers die Beschleunigung erfasste [2]. Zur Bewertung wurde ein Festigkeitsindex aus dem Verhältnis des Ausgangssignals zur Differenz von Ein-

gangs- und Ausgangssignal bestimmt. Bei Erprobung in einem Vermarktungsbetrieb wurde je Sortierkanal eine Sortierleistung von 2,5 bis 7,5 Früchten/s erreicht.

Diese beiden Prüfmethoden erforderten einen relativ hohen technischen Aufwand. Demgegenüber erwies sich zur Bestimmung des Reifegrades von Melonen ein einfacheres Sensorprinzip als geeignet [3]. Dabei fiel die Frucht aus geringer Höhe auf eine Platte. Der Stoßkraftverlauf wurde während des ersten Aufpralls und weiterer zwei Stöße registriert. Ausgewertet wurde das Verhältnis von Spitzenwert eines Stoßes zur Zeitdauer bis zum nächsten Stoß. Dieser Parameter wies eine hohe Korrelation zum Elastizitätsmodul auf. Diese Prüfmethode ist jedoch nur für annähernd kugelförmige Früchte geeignet, die ein regelmäßiges Aufprallverhalten zeigen.

## Auswahl einer Prüfmethode für fehlerhafte Gurken

Salzgurken können äußerlich nicht erkennbare Hohlstellen aufweisen. Wenn die Gurken zu Scheiben verarbeitet werden, gelten Hohlstellen als schwerwiegender Qualitätsfehler und können zu beträchtlichen wirtschaftlichen Verlusten führen. Um die Ausbeuteverluste zu begrenzen, sollten daher Gurken mit Hohlstellen vor dem Schneiden ausgesondert werden. Als Erkennungsverfahren zur Unterscheidung der hohlen von einwandfreien Gurken erschien nach Vorversuchen an manuell vorsortierten Gurken die Messung des elastischen Verhaltens aussichtsreich. Hierzu wurde ein Prinzip ähnlich der obengenannten einfachen Prüfmethode für Melonen ausgewählt. Da jedoch längliche Früchte wie Gurken in Abhängigkeit von der Ausrichtung beim Fall und der Asymmetrie der Fruchtform eine unregelmäßige Stoßfolge erwarten lassen, war davon auszugehen, dass das Prüfverfahren diesen Bedingungen angepasst werden muss. Deshalb wurde untersucht, inwieweit an Hand der Messung des Kraftverlaufs während eines einzelnen definierten Aufpralls einer Gurke eine Qualitätsbewertung vorgenommen werden kann.

Ein Prüfstand für Laborbedingungen wurde aufgebaut, bestehend aus einem PC ge-

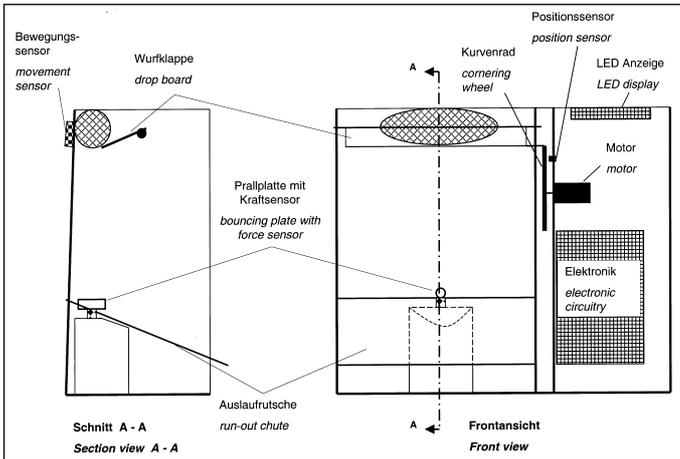


Bild 1: Schema des Laborprüfstandes zur Messung der Stoßelastizität bei Gurken

Fig. 1: Scheme of the laboratory test equipment for measuring impact elasticity on cucumbers

steuerten Fallapparat (Fallhöhe 15 cm) mit Wurfrinne und Prallplatte einschließlich piezoelektrischem Kraftsensor (Bild 1). Der PC steuert die Betätigung der Wurfrinne sowie die Erfassung der Kraftmessdaten. Ein spezielles Rechenprogramm wurde entwickelt, um die Daten automatisch auszuwerten und das Unterscheidungsergebnis anzuzeigen.

### Laboreprobung des Prüfstandes

Ein Vorversuch erfolgte zunächst an 24 Gurken zu je fünf Wiederholungen. Die Messung der Stoßkraft beim Aufprall wurde mit einer Datenrate von 10000 Werten/s durchgeführt. Aus den Messdaten wurden die Stoßdauer, der Spitzenwert der Stoßkraft und die Fläche unter der Stoßkraft-Zeit-Kurve (Stoßintegral) als wesentliche Parameter bestimmt.

Nach diesen Messungen wurden die Gurken gewogen. Durch Schneiden wurde die innere Beschaffenheit festgestellt (13 einwandfreie und elf hohle Gurken).

Zur Auswertung wurde der Impuls herangezogen, der beim Stoß der Gurke auf die Prallfläche übertragen wird. Er wird einerseits durch Multiplikation der Gurkenmasse mit der Aufprallgeschwindigkeit berechnet. Bei konstanter Fallhöhe ist die Aufprallgeschwindigkeit konstant, so dass der Impuls nur von der Masse abhängig ist. Alternativ

lässt sich der Impuls durch das Stoßintegral bestimmen. Der Grad der Übereinstimmung der beiden auf verschiedenem Wege ermittelten Impulse gibt bereits einen Hinweis darauf, wie exakt durch die Elastizität charakterisierbare Qualitätsfehler erkannt werden können. Das Gelingen einer impulsgetreuen Stoßmessung ist also für die Prüfmethode von entscheidender Bedeutung.

Die aus dem Vorversuch ermittelten Impulswerte für die einzelnen Gurken wichen innerhalb der fünf Wiederholungen nur wenig voneinander ab. Es ergab sich ein linearer Zusammenhang zwischen den durch Stoßmessung ermittelten Impulswerten und der Masse untersuchter Gurken mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 \approx 89\%$  (Bild 2).

Bei einem idealen Stoß der Gurke gegen einen starren Körper besteht zwischen der elastischen Steifigkeit der Gurke, der Gurkenmasse, der Spitzenkraft und der Stoßgeschwindigkeit eine direkte Beziehung. Da die Geschwindigkeit konstant ist, lässt sich die Steifigkeit  $k$  aus der gemessenen Spitzenkraft  $F_{\max}$  und dem Stoßintegral  $\int F dt$  berechnen

$$k \sim F_{\max}^2 / \int F dt$$

Die Versuchsauswertung nach der Steifigkeit ergab keine vollständig korrekte Qualitätsunterscheidung. Bei 100% korrekter Erkennung einwandfreier Gurken betrug der Erkennungsfehler für hohle Gurken 16%.

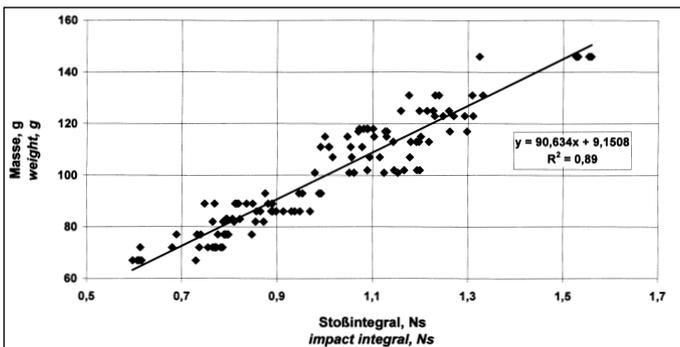


Bild 2: Zusammenhang zwischen Integral des Stoßkraftverlaufs und Gurkenmasse

Fig. 2: Relation between integral of impact curve and cucumber weight

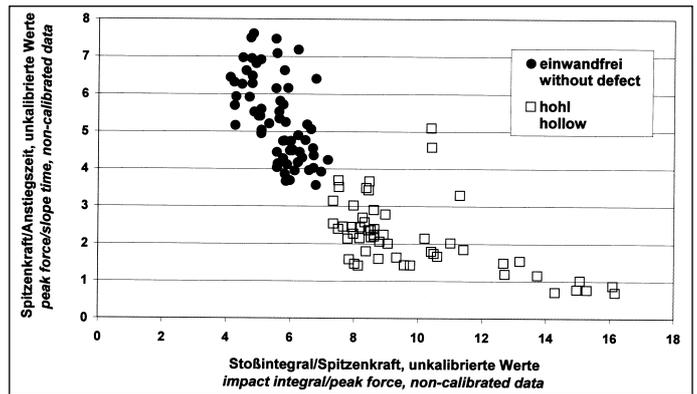


Bild 3: Unterscheidung hohler und nicht hohler Salzgurken mit Hilfe der Stoßprüfung

Fig. 3: Discrimination between hollow and non-hollow pickled cucumbers by impact test

Unter Berücksichtigung der Spitzenkraft, der Anstiegszeit und des Stoßintegrals wurde eine empirische Unterscheidungsfunktion gefunden, die zu einer 100% korrekten Erkennung der inneren Beschaffenheit führte (Bild 3).

### Ergebnisse praxisnaher Versuchsreihen

An umfangreichen Stichproben aus der Produktion wurden statistische Auswertungen vorgenommen. Für die Qualitätsbewertung aus dem Stoßverlauf wurden vier Grundparameter verwendet. An Hand der anschließend ermittelten inneren Beschaffenheit der Gurken und der aus der Stoßmessung bestimmten Parameter wurde eine multiple lineare Diskriminanzanalyse durchgeführt.

Während des Untersuchungszeitraums von mehreren Wochen zeigten sich deutliche Schwankungen des Anteils hohler Gurken. Dadurch wurden die aus der Elastizitätsprüfung abgeleiteten Klassifikationsergebnisse beeinflusst. Für die Gesamtheit der Probenahmetermine lieferte die Diskriminanzanalyse unter Einbeziehung der vier Grundparameter sowie von fünf weiteren kombinierten Parametern eine korrekte Klassifikation von 90,3% der einwandfreien und von 72,7% der hohlen Gurken. Unabhängig davon wurde ein Kalibrierprogramm entwickelt, das die flexible Anpassung der Klassifikation an vorgegebene Sortiergrenzen ermöglicht.

### Literatur

- [1] Chen, P. and Y. Tjan: A Real-time Impact Sensing System for On-line Firmness Sensing of Fruits. AgEng., Oslo, 1998, Paper No. 98-F-006
- [2] Peleg, K.: Development of a Commercial Fruit Firmness Tester. J. Agric. Engng. Res. 72 (1999), no. 3, pp. 231-238
- [3] Ozer, N., B.A. Engel and J.E. Simon: A multiple impact approach for non-destructive measurement of fruit firmness and maturity. Trans. ASAE, 41 (1998), no. 3, pp. 871-876