

Bernd Herold und Martin Geyer, Potsdam-Bornim

Kontaktbelastung bei empfindlichen Produkten

Frisches Obst und Gemüse sind sehr empfindlich gegen mechanische Belastung. Bei Kernobst genügt bereits leichter Kontakt mit harten Gegenständen, um die Zellstruktur an der Fruchtoberfläche zu beschädigen und damit erhebliche Qualitätsminderungen hervorzurufen. Mit Hilfe eines taktilen Foliensensors läßt sich die Druckverteilung an der Kontaktfläche zwischen der ganzen Frucht und dem Belastungsgegenstand experimentell bestimmen. An Hand der Meßdaten können die Belastbarkeit des Zellgewebes sowie der Einfluß der Form und der Elastizität der Kontaktpartner, beispielsweise Verpackungsmaterial, bewertet werden.

Obst und Gemüse sind bei Ernte, Aufbereitung und Vermarktung häufig mechanischen Belastungen ausgesetzt, die zu Beschädigungen des Zellgewebes der Produkte führen können. Produktbeschädigungen verringern die Haltbarkeit und verursachen Qualitätsminderungen von hoher wirtschaftlicher Bedeutung. Besonders empfindlich ist Kernobst. An der Oberfläche eines Apfels entsteht bei Überschreiten der Belastbarkeitsschwelle eine Druckstelle, die das Aussehen beeinträchtigt und den Verderb durch Fäulnis begünstigt. Die Kenntnis der Belastbarkeit der Früchte ist eine entscheidende Voraussetzung für die schonende Auslegung der Produktions- und Vermarktungsverfahren.

Für den Kontakt zwischen zwei ideal elastischen Körpern läßt sich die Druckverteilung nach der Hertzschen Theorie berechnen. Die maximale Druckbelastung tritt bei symmetrischen Verhältnissen in der Mitte der Kontaktfläche auf und wächst bei gleicher Anpreßkraft sowohl mit zunehmenden Werten der Elastizitätsmodule als auch mit abnehmenden Krümmungsradien der Körper. Zur Überprüfung dieser theoretischen Berechnungen unter praktischen Bedingungen fehl-

ten jedoch in der Vergangenheit geeignete Meßmittel für die Belastung an der Kontaktfläche. Die Größe der Kontaktfläche und insbesondere die Verteilung der Druckbelastung sind die entscheidenden Einflußgrößen, die in Verbindung mit der Belastbarkeit das Zustandekommen von Fruchtschädigungen bestimmen. Die reale Messung dieser beiden Größen war bisher nur mit Einschränkung möglich, da die Druckkräfte an der Kontaktstelle nur integral oder punktuell erfaßt werden konnten [1].

Neuartiger taktiler Sensor

Vor einigen Jahren wurde für die Untersuchung der Kontaktbelastung am menschlichen Gebiß ein neuartiger taktiler Sensor entwickelt. Dieser Sensor besteht aus einer 0,1 mm dünnen flexiblen Folie mit matrixförmig angeordneten druckempfindlichen Sensorzellen. Verfügbar sind Matrixstrukturen mit Rasterabständen von minimal 1,3 mm. Das computergesteuerte Sensorsystem erlaubt ähnlich wie eine Videokamera ein Abtasten von Druckverteilungs-„Bildern“ auf der belasteten Fläche und das Abspeichern der Daten in entsprechenden Bildsequenzen. Die Belastungsmessung erfolgt für jede Sensorzelle mit 8 Bit Auflösung. Die aufgenommenen Bilddaten können wie bei einem Videorecorder wiedergegeben werden. Mit Hilfe der Software kann auch die Kontaktfläche berechnet sowie durch Summation der Daten von allen Sensorzellen die Gesamtkraft bestimmt und deren zeitlicher Verlauf angezeigt werden [2].

Dieses Sensorsystem wurde für die Bestimmung der mechanischen Belastbarkeit von Äpfeln eingesetzt. Ziel war in erster Linie, den Verlauf der Druckverteilung und die Entstehung und Ausbreitung von Brüchen des Fruchtgewebes an der Kontaktfläche zu bestimmen [1]. Zur Untersuchung wurden fehlerlose Früchte der Sorten „Elstar“ und „Boskoop“ verwendet. Die Früchte wurden mit horizontaler Kelch-Stiel-Achse in feuchten Sand eingebettet und von oben bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 30 mm/min auf Kompression belastet (Bild 1). Zur Messung der Kontaktdruckbelastung wurde ein Sensor Typ I-Scan 75 (quadratisches Meßraster mit je 44 Reihen und Spalten im Abstand von 1,9 mm) zwi-

schon Belastungswerkzeug und Oberseite der Frucht gelegt. Für die Untersuchungen am Apfel erwies sich ein Meßbereich von 50 psi (etwa 0,35 MPa) als günstig. Die Belastungsprüfung erfolgte bei Zimmertemperatur mit Hilfe einer Universal-Prüfmaschine Typ ZWICK 1120. Parallel wurde die integrale Kraft während der Kompression gemessen.

Messung der Verteilung der Druckbelastung am Apfel

Der Einfluß unterschiedlicher Werkzeuge auf die Druckverteilung an der Kontaktfläche geht aus einem Belastungstest an äußerlich vergleichbaren Äpfeln („Elstar“) unter der gleichen Anpreßkraft von 80 N hervor. Auf der in Bild 2 angegebenen, von 0 bis 255 reichenden Grauwertskala,

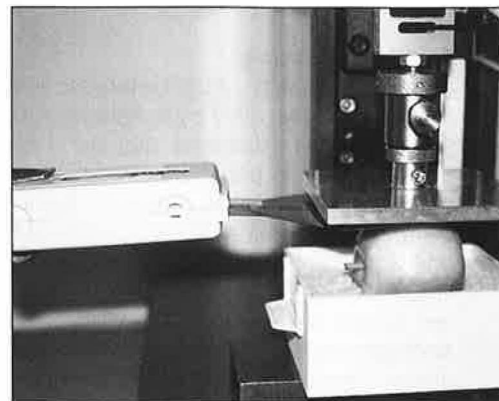


Bild 1: Meßaufbau für die Kompressionsbelastung des Apfels

Fig. 1: Arrangement for compression test on apples

zeigt tiefere Schwärzung eine zunehmende Druckbelastung an. Durch einen 10 mm dicken Stahlzylinder (1) wurde eine maximale Druckbelastung von 236 Einheiten hervorgerufen. Diese führte zu einer geringfügigen Beschädigung des Fruchtgewebes. Hingegen betrug die Spitzenbelastung unter einem Stahlstab mit Hohlgummiüberzug (3) nur 139 Einheiten. Hier – wie auch bei den anderen Werkzeugen – war keinerlei Beschädigung am Apfel festzustellen. Der Werkzeugeinfluß zeigte sich weniger deutlich an der Größe der Kontaktfläche als am unterschiedlichen Anstieg der Druckwerte quer über dieselbe. Die vom Foliensensor gelieferten Daten widerspiegeln sowohl den Einfluß des belastenden Werkzeugs als auch das Widerstandsverhalten des belasteten Produkts. Ein Beispiel hierfür ist das Verhalten eines Apfels („Boskoop“) bei Belastung durch eine Stahlplatte im Kraftbereich von 0 bis 170 N. Aus dem Belastungsverlauf wurden acht unterschiedliche Zeitpunkte ausgewählt und die längs einer Linie diagonal durch die Kontaktfläche vorliegen-

Dr. Martin Geyer ist Leiter der Abteilung „Technik im Gartenbau“ am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: mgeyer@atb.uni-potsdam.de (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zasko). Dr. Bernd Herold ist wissenschaftlicher Mitarbeiter dieser Abteilung.
Referierter Beitrag der Landtechnik

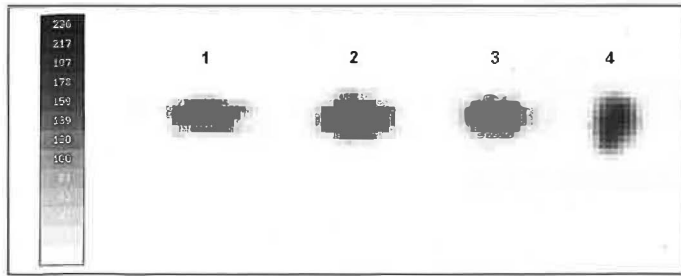


Bild 2: Druckverteilung an der Kontaktfläche zwischen Apfel und unterschiedlichen Werkzeugen bei einer Anpreßkraft von 80 N (1 – Stahlstab 10 mm, 2 – gummierter Stahlstab 18 mm, 3 – Stahlstab mit Hohl-gummimantel 24 mm, 4 – Stahlplatte)

Fig. 2: Pressure distribution for compression of apple fruits under different surfaces at a force of 80 N (1 – steel rod 10 mm, 2 – rubber coated steel rod 18 mm, 3 – steel rod with hollow rubber 24 mm, 4 – steel plate)

de Druckverteilung dargestellt (Bild 3). Die Profillinien 2, 3 und 4 wurden zu Zeitpunkten aufgenommen, bei denen die Anpreßkraft Werte von etwa 10, 30 und 50 N aufwies. Die Kontaktfläche erreichte dabei einen Durchmesser von etwa 10 mm, die maximale Druckbelastung überschritt im Zeitpunkt 4 den Wert 200. Bei Zeitpunkt 5 war plötzlich eine markante Veränderung der Druckverteilung festzustellen. Sie zeigte ein Bruchversagen des Zellgewebes der Frucht an. Infolgedessen verringerte sich der maximale Druckwert, und die Belastung verteilte sich über eine größere Kontaktfläche. Im weiteren Belastungsverlauf nahm der maximale Druckwert wieder zu (Zeitpunkte 6 und 7). Nachdem wieder ein Spitzenwert von über 200 erreicht wurde, veränderte sich infolge eines weiteren Bruchversagens erneut drastisch die Druckverteilung (Zeitpunkt 8). Der Durchmesser der Kontaktfläche vergrößerte sich dabei auf etwa 17 mm. Der in diesem Beispiel zum Zeitpunkt 4 erstmals erreichte maximale Druckwert wurde in den späteren Zeitpunkten nie überschritten.

Auswertung der Meßdaten

Am Apfel waren Beschädigungen durch Kontaktbelastung meist direkt an der Fruchtoberfläche nachweisbar. Daher konnten Belastbarkeitsschwellenwerte für Äpfel unmittelbar aus dem Vergleich der mit dem Foliensensor aufgenommenen Belastungshistogramme vor und nach Bruchversagen des Fruchtgewebes abgeleitet werden. Das Belastungshistogramm widerspiegelt die Belastungsverteilung auf der Kontaktfläche und wurde durch Klassierung der Meßwerte aller Sensorelemente bestimmt. Zur Bestimmung einer mittleren Belastbarkeitsschwelle bei Belastung durch eine ebene Platte wurden die Kontaktflächen normiert. Die Histogramme vor und nach einem Bruchversagen unterschieden sich durch eine Umverteilung der Belegungszahlen im oberen Belastungsbereich. Nach einem Bruchversagen verschwanden schlagartig Anteile im höchsten Belastungsniveau zugunsten der Anteile im

Bereich unterhalb der kritischen Belastung. Ein Vergleich von Meßergebnissen an Früchten der Sorten „Boskoop“ und „Elstar“ zeigte, daß unter den vorliegenden Bedingungen „Elstar“ eine um 10 bis 15 % niedrigere Belastbarkeit aufwies. Dabei ist ebenso wie bei den konventionellen Methoden zur Belastbarkeitsbestimmung zu beachten, daß neben der Sorte erfahrungsgemäß auch der Reifegrad, die Kultur- und Lagerbedingungen und andere Faktoren die Meßergebnisse beeinflussen.

Bei anderen Produkten wie Speisezwiebeln und Kartoffeln sind – in Abhängigkeit vom Belastungswerkzeug – Beschädigungen nicht immer unmittelbar an der Kontaktfläche feststellbar. In diesem Fall können mit Hilfe des Foliensensors nur Belastungsverteilungen bestimmt werden, die keinen unmittelbaren Bezug zum Bruchversagen des Produkts besitzen.

Schlußfolgerungen

Die Kontaktbelastung und die Beschädigung von Früchten bei Ernte- und Nachernteprozessen sind von Form und Elasti-

zität der Früchte und der mit ihnen in Berührung kommenden Werkzeuge und Materialien abhängig. Entscheidend für die mechanische Belastung ist die Druckverteilung an der Kontaktfläche. Zur meßtechnischen Bestimmung dieser Druckverteilung an der ganzen Frucht kann ein taktiler Foliensensor verwendet werden.

Das verfügbare Meßsystem ermöglicht die Bestimmung der Kontaktbelastung und liefert darüber hinaus Informationen über das Belastungs- und Beschädigungsverhalten von ganzen landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Produkten. Es soll künftig zur Analyse der in Aufbereitungs- und Verpackungsverfahren eingesetzten Elemente genutzt werden. Die Analyse der Belastungsverteilungen auf der Produktoberfläche wird neue Erkenntnisse zur produktschonenden Gestaltung der Verfahren liefern.

Literatur

- [1] Herold, B., G. Siering und M. Geyer: Analyse der mechanischen Belastbarkeit von Äpfeln mit Hilfe eines taktilen Sensors. Agrartechnische Forschung 3 (1997), H. 2, S. 151-157
- [2] Tekscan: Produktinformation zum taktilen Sensorsystem I-Scan. Tekscan, Inc., South Boston/MA, 1993

Schlüsselwörter

Kontaktbelastung, mechanische Beschädigung, Frucht, taktiler Sensor, Aufbereitungs- und Verpackungsverfahren

Keywords

Contact pressure load, mechanical damage, fruit, tactile sensor, handling and packaging techniques

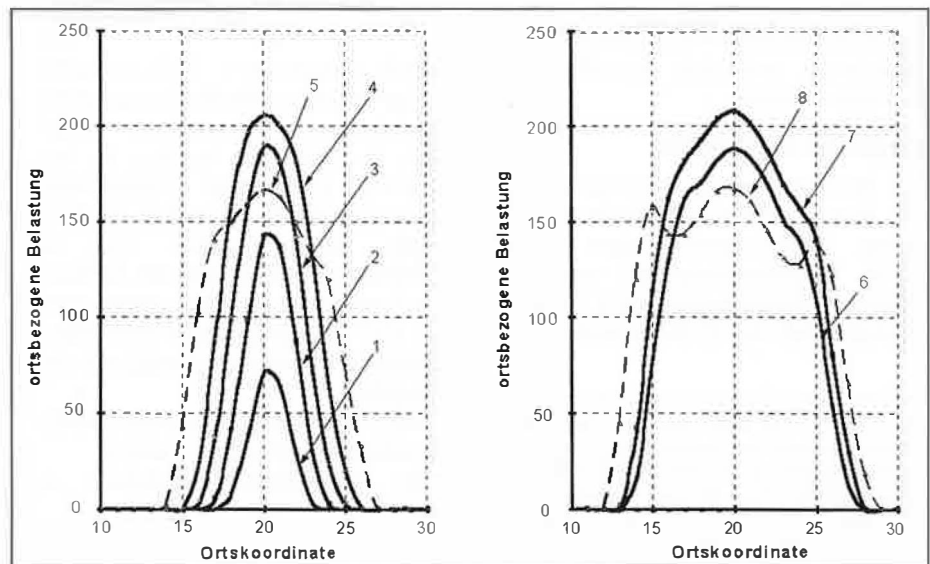


Bild 3: Verlauf der Druckverteilung längs einer Linie durch die Kontaktfläche bei Belastung eines Apfels durch eine ebene Platte (Auswahl von acht Zeitpunkten im Abstand von 1 s)

Fig. 3: Pressure distribution along a line through contact surface during loading of an apple fruit by flat plate (eight selected dates with 1 s interval)