

Modellbasierte Simulation des Stoßverhaltens künstlicher Früchte für die Erfassung mechanischer Belastungen

Jelena Surdilovic, Ulrike Praeger, Bernd Herold, Ingo Truppel, Martin Geyer

Abteilung Technik im Gartenbau
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam
jsurdilovic@atb-potsdam.de
upraeger@atb-potsdam.de

Abstract: In dieser Studie wird das Stoßverhalten sogenannter künstlicher Kartoffeln und realer Knollen miteinander verglichen. Es wurden zunächst mechanische Stoßmodelle hergeleitet und experimentell verifiziert. Weiterhin wurde ein Simulationsmodell entwickelt, in welchem mit wenigen Sensormessdaten (Beschleunigungs- und Kraftwerte) weitere Stoßmerkmale (wie z.B. Geschwindigkeitsverläufe, Restitutionskoeffizient, absorbierte Energiemenge) bestimmt werden. Es konnte gezeigt werden, dass verfügbare künstliche Messknollen signifikante Abweichungen in ihrer Stoßcharakteristik im Vergleich zu realen Knollen aufweisen. Das entwickelte Simulationsverfahren für Stoßverläufe soll einen Beitrag zur Gestaltung von Materialeigenschaften elektronischer Früchte leisten und den Einsatz verfügbarer Sensormesssysteme für Feldmessungen optimieren.

1 Problemstellung und Zielsetzung

Mechanische Belastungen landwirtschaftlicher Produkte sind häufig ein Problem. Sie verursachen sowohl äußere als auch nicht sichtbare innere Beschädigungen. Neben physiologischen Faktoren sind an die Verfahrenstechnik gebundene Parameter wie Fallhöhen, Geschwindigkeit der Förderbänder, Oberflächenform und Polsterungen der Aufprallunterlagen die Hauptursachen kritischer Stöße [Br96]. Zur Lokalisierung dieser Gefahrenstellen werden in künstliche Gehäuse (meist PU-Systeme) eingebettete 3D-Beschleunigungssensoren eingesetzt. In zahlreichen Ernte- und Nachernteprozessen wie z. B. bei Kartoffeln [Mo00], Äpfeln [Hy97], Tomaten [AAJ10] Pfirsichen [Ah10] und sogar Blaubeeren [Yu11] finden künstliche Früchte Anwendung. Mit objektiven Messdaten lassen sich somit Prozesslinien quantitativ beurteilen und optimieren. Die Datenanalyse beruht meist auf statistischen Auswertungen der Maximalbeschleunigung detektierter Stöße. Eine Übertragung von Messdaten elektronischer Früchte auf das reale Produkt sowie ihre Interpretation in Bezug auf das vorliegende Beschädigungsverhalten sind bisher nicht zufriedenstellend gelungen. Trotz übereinstimmender Merkmale wie Form oder Masse führen unterschiedliche Materialeigenschaften der Kunstknollen zu teilweise erheblichen Abweichungen im Bewegungsverhalten gegenüber dem realen Produkt

[Hy92]. Bisherige Entwicklungen künstlicher Früchte berücksichtigen wesentliche Stoßeigenschaften des natürlichen Produktes nur unzureichend. Das Ziel dieser Studie ist der Vergleich des Stoßverhaltens künstlicher und echter Kartoffeln durch Verknüpfung sensorbasierter Freifallexperimente und modellbasierter Simulationsanalysen. In der modellbasierten Simulation wird der gesamte Stoßablauf (3 Stoßphasen: Freifall, Aufprall, Rückprall) analysiert.

2 Material und Methodik

2.1 Freifallexperiment

Die Experimente erfolgten unter Annahme eines geradlinigen Freifalles nach dem Modell des starren Körpers an einer Fallstation (Abb. 1, links, [Ge09]). Die Fallhöhe lag bei 25 cm, als Aufprallunterlagen dienten eine Stahl- und eine Kunststoffplatte (PVC). Zur Messung der Beschleunigung in echten und künstlichen Knollen wurde ein miniaturisierter Datenlogger (MIKRAS, ESYS GmbH, Berlin) implantiert (Messintervall: 0,33 ms). Die Stoßkraft beim Aufprall wurde von einem piezoelektrischen Kraftsensor, mit einem Messintervall von 0,1 ms, aufgezeichnet. Die Ermittlung der Maximalhöhe beim Rückprall, welche für die Bestimmung des Restitutionskoeffizienten notwendig ist, erfolgte messtechnisch mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen (Abb. 1, rechts) sowie rechnerisch aus den Stoßmessdaten im Simulationsmodell (Abb. 2).

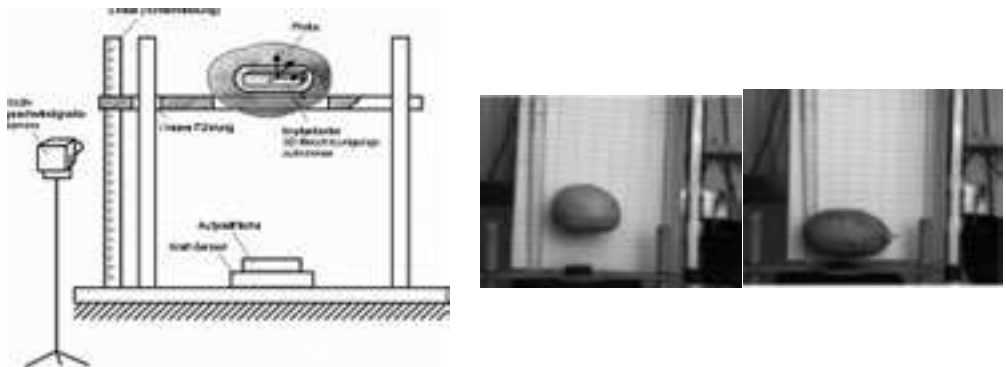


Abbildung 1: links: Prinzipieller Aufbau der Fallstation, rechts: High-Speed Videoaufnahmen der Fallexperimente: echte Kartoffel (oben) und Dummy (unten).

Prüfknollen waren Dummies (Grimme GmbH, Damme) mit drei unterschiedlichen Materialeigenschaften (Elastizitätsmodul, Shore-Härte, Dichte) und echte Knollen der Sorte *Melody* mit zwei unterschiedlichen Wassergehalten (voll turgeszent und 5% Wasserverlust nach Lagerung). Beide Prüfknollenvarianten lagen jeweils in drei Gewichtsklassen (105, 155, 215 g) vor. Die Fallrichtung war vertikal bzw. flach liegend. Jeder Freifallversuch wurde fünffach wiederholt. Mit den aufgezeichneten Sensormesswerten (Kraft und Beschleunigung) wurde eine Simulationsanalyse durchgeführt.

2.2 Simulationsmodell

Aus den Sensordaten wurden die Parameter des ursprünglichen Stoßes (Beginn und Dauer) möglichst genau bestimmt. Die Parameter für den freien Fall und den Rückstoß wurden rechnerisch mit Hilfe der Freifalltheorie ergänzt, so dass die Gesamtbewegung beschreibbar ist. Eine aus diesen Daten zusammengesetzte Matrix (TA- Lookup Tabelle, Abb. 2) ist der Eingang der Simulationsanalyse. Durch numerische Doppelintegration (Abtastintervall 0,01ms) wurden der Verlauf der Geschwindigkeit und Fallbahn (Höhe) ermittelt. Für den Vergleich der Stoßeigenschaften der Prüfnollen wurden daraus Kraft –„Deformationsdiagramme“ (Kraft-Verformung, bzw. virtuelle Penetration durch die Aufprallfläche) erstellt. Im Ergebnis der Simulation wurde eine Energiebilanz aufgestellt und die absorbierte Energiemenge bestimmt. [Ze03].

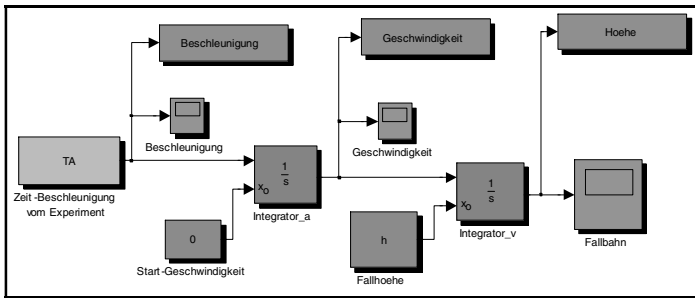


Abbildung 2: SIMULINK Modell „Fallsimulator“ (MATLAB 2007b).

3. Ergebnisse und Ausblick

Die Werte des Restitutionskoeffizienten aus der Simulationsanalyse zeigen im Vergleich mit den Videoaufnahmen in allen Experimenten eine relativ gute Übereinstimmung. Typische Kraft-Verformungsdiagramme (Abb. 3) liefern signifikante Unterschiede ermittelter Stoßeigenschaften echter und künstlicher Knollen. Besonders ausgeprägt sind diese beim Aufprall auf die Stahlunterlage (Abb. 3, links). Beim Dummy wird eine geringere „Durchdringung“ (virtuelle Penetration) beim Erreichen einer fast doppelt so großen Kraft erreicht. Beim Fall auf PVC (Abb. 3, rechts) sind die Unterschiede aufgrund der dominanten Verformung der Aufprallunterlage nicht so stark ausgeprägt. Wie erwartet wird beim Dummy auch hier eine höhere Stoßkraft erreicht. Der Kunststoffkörper besteht im Vergleich zur echten Kartoffel aus einem härteren und steiferen Material welches mit der biologischen Hülle nicht adäquat vergleichbar ist. Für die Bewertung von Stoßereignissen entlang landwirtschaftlicher Logistikketten bietet eine Kombination aus innovativer Sensortechnologie und mathematischer Modellierung von Stoßverläufen eine attraktive und umfangreiche Analysemethode. Die Erkenntnisse dieser Studie zeigen, dass mit wenigen Messparametern (Kraft, Beschleunigung) eine ausführliche und brauchbare Simulation des realen Stoßverlaufes erzielt werden konnte. Die unterschiedlichen Materialien der Dummies zeigten ein abweichendes Stoßverhalten im Vergleich mit realen Kartoffelknollen. Um weitgehende Übereinstimmungen mit dem realen Pro-

dukt zu erreichen, sind zukünftig vor allem die Materialeigenschaften künstlicher Früchte weiter anzupassen.

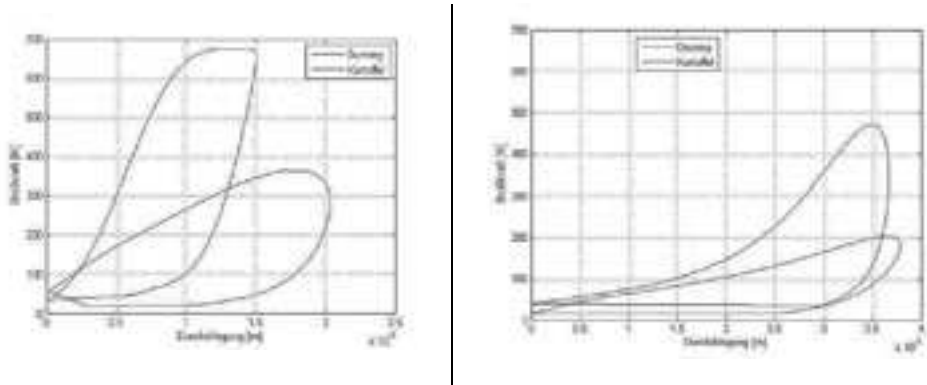


Abbildung 3: Kraft- Deformations- Diagramme, links : Fall auf Stahl, rechts: Fall auf PVC. (Masse der Prüfknochen: 155 g, Dummysphäre-Härte 90, Kartoffel voll turgeszent).

Literaturverzeichnis

- [Ah10] Ahmadi, E. et al.: The effect of impact and fruit properties on the bruising peach, Journal of Food Engineering, 97 (1), 2010, S. 110-117.
- [AAJ10] Arazuri, S., Arana, I., Jaren, C.: Evaluation of Mechanical Tomato Harvesting Using Wireless Sensors, Sensors, 10, 2010, S. 11126-11143.
- [Br96] Brook, R.: How and Why Emphasizing Black Spot Bruise - A Publication of the National Potato Anti-Bruise Comittee, 1996.
- [Ge09] Geyer, M.O. et al.: Measuring behavior of an acceleration measuring unit implanted in potatoes, Transactions of the ASABE, Vol. 52(4), 2009, S.1267-1274.
- [Hy92] Hyde, G.M. et al.: Instrumented sphere evaluation of potato packing line impacts, Transactions of the ASABE, Vol. 35(1), 1992, S. 65-69.
- [Hy97] Hyde, G.M.: Bruising impact, why apple bruise and what you can do to minimize bruising, Tree Fruit Postharvest Journal, 8(4), 1997, S. 9-12.
- [Mo00] Molema, G.J. et al.: Subcutaneous tissue discoloration in ware potatoes. 2. Impact measured by an instrumented sphere. Potato Research 43, 2000, S. 225- 238.
- [Yu11] Yu, P. et al.: Development of the Berry Impact Recording Device sensing system: Hardware design and calibration, Computers and Electronics in Agriculture 79, 2011, S. 103-111.
- [Ze03] Van Zeebroeck, M. et al.: Determination of the dynamical behaviour of biological materials during impact using a pendulum device, Journal of Sound and Vibration 266, 2003, S. 465-480.