

Ulrike Praeger, Jelena Surdilovic und Martin Geyer

TuberLog und Co. – Messverhalten künstlicher Früchte im Labor

Künstliche Früchte werden eingesetzt, um Stoßbelastungen bei der Ernte und Aufbereitung von empfindlichen Produkten zu detektieren. Für die realistische Erfassung der Stoßbeschleunigung sollten die Messkörper den Produkten möglichst ähnlich sein. Hier werden Ergebnisse von Fallversuchen und von Messungen in einer Laborförderstrecke mit verschiedenen elektronischen Früchten sowie eines in eine Kartoffel implantierten Sensors vorgestellt. Die Messsysteme TuberLog, IRD und Mikras sind nach dieser Untersuchung in ähnlicher Weise geeignet, kritische Stellen in einem Aufbereitungsprozess zu detektieren. Beim Aufprall auf feste Unterlagen wird die Stoßintensität durch die verwendeten Messkörper aus Kunststoff im Vergleich zur Messung im echten Produkt überbewertet.

Schlüsselwörter

Stoßbeschleunigung, Stoßkraft, Kartoffel, mechanische Belastung

Keywords

Impact acceleration, impact force, potato, mechanical damage

Abstract

Praeger, Ulrike; Surdilovic, Jelena and Geyer, Martin

TuberLog and Co. – measuring behavior of artificial fruits in laboratory

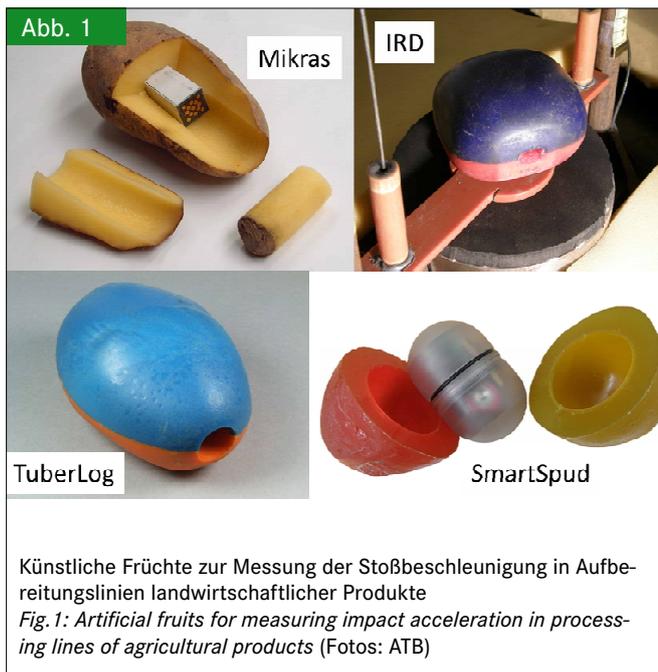
Landtechnik 68(4), 2013, pp. 259–264, 5 figures, 2 tables, 9 references

Artificial fruits are used for measuring mechanical load in order to detect critical points in harvest and following processing lines. For realistic measurement of impact acceleration the measuring devices should have similar physical properties as the real products. Results are presented of drop experiments and measurements in a laboratory processing line. Therefore, different acceleration sensors with plastic cover and a sensor which is implanted in a potato tuber were used. The measuring systems TuberLog, IRD and Mikras are in a similar manner appropriate for detection of critical points in a processing line according to this study. Measuring with synthetic devices results in an overestimation of impacts onto firm material compared to measuring in a real product.

■ Mechanische Belastungen verursachen bei der Ernte und Aufbereitung landwirtschaftlicher Produkte erhebliche äußerliche, aber auch innere Schädigungen, wie z. B. die Schwarzfleckigkeit an Kartoffeln, die von außen nicht erkennbar ist. Seit etwa 30 Jahren werden in Ernte- und Aufbereitungslinien sogenannte künstliche oder elektronische Früchte eingesetzt, um besonders kritische Stellen, bei denen eine hohe Stoßintensität auftritt, zu detektieren. Durch veränderte Maschineneinstellungen oder die Verwendung von weichen Aufprallmaterialien und Fallsegeln können die Transportstrecken produktschonender gestaltet werden.

Künstliche Früchte messen meist die triaxiale Stoßbeschleunigung. Sie wurden in unterschiedlicher Form und Größe entwickelt, um reale Produkte zu simulieren. Es gibt z. B. kugelförmige wie Zwiebeln oder Äpfel (IS 100, Techmark, USA) [1], knollenförmige wie Kartoffeln (PTR-200, SM Manufacturing, Dänemark; TuberLog, Esys, Berlin) [2] oder einen in Form einer kleinen Kugel (\varnothing 2,5 cm) wie Beerenobst (Berry Impact Recording Device, BIRD, USA) [3]. Auch gibt es Systeme, bei denen der Stoßsensor in Kunststoffhüllen verschiedener Form eingebettet ist (IRD, Techmark, USA) oder vom Anwender in verschiedene Hüllen gesteckt werden kann (Smart Spud, Sensorwireless, Canada) [4]. Um bei der Erfassung der Stöße neben der Form auch die Gewebeeigenschaften zu berücksichtigen, wurde der miniaturisierte Sensor Mikras (Esys, Berlin) entwickelt, der in beliebige Produkte wie Kartoffel, Apfel, Möhre oder Einlegegurke implantiert werden kann [5; 6].

Ziel dieser Arbeit war der Vergleich der Stoßbeschleunigung, die von den elektronischen Früchten TuberLog, IRD und Smart Spud und dem implantierten Sensor Mikras unter definierten Bedingungen gemessen wurde. Mit diesem Vergleich können die Messergebnisse der jeweiligen Systeme besser eingeordnet und bewertet werden. Die Untersuchungen wurden an



Künstliche Früchte zur Messung der Stoßbeschleunigung in Aufbereitungslinien landwirtschaftlicher Produkte
 Fig. 1: Artificial fruits for measuring impact acceleration in processing lines of agricultural products (Fotos: ATB)

einer Fallstation mit freiem Fall auf Stahl oder PVC und mithilfe einer Laborförderstrecke durchgeführt.

Material und Methoden

Messkörper

Für den Vergleich der Messung triaxialer Beschleunigung im Labor wurden folgende Systeme verwendet (**Abbildung 1**):

- der implantierbare Sensor Mikras in echten Kartoffelknollen
- der Sensor Mikras in einem von der Fa. Grimme (Landmaschinenfabrik, Damme) hergestellten Kunststoffdummy in Kartoffelform (nicht abgebildet)
- IRD (Impact Recording device)
- Smart Spud mit einer von der Fa. Grimme angefertigten Kunststoffhülle anstatt der Originalhülle
- der Beschleunigungslogger TuberLog

In **Tabelle 1** sind die technischen Daten der Messkörper und die spezifischen Einstellungen der Untersuchung dargestellt. Die Systeme unterscheiden sich neben den in der Tabelle genannten Parametern auch in der Datenaufzeichnung, wobei bei allen Sys-

Tab. 1

Messkörper für Stoßbeschleunigung mit ihren spezifischen Einstellungen für diese Untersuchung

Table 1: Impact acceleration measuring devices with selected specific settings for the application in this study

	Mikras	Mikras	IRD	Smart Spud	TuberLog
Form/Shape	in Kartoffelknolle implantiert <i>implanted in potato tuber</i>	in Dummy implantiert <i>implanted in dummy</i>	flach, kissenförmig <i>flattened sphere</i>	eiförmig <i>egg-shaped</i>	knollenförmig <i>like potato tuber</i>
Hüllmaterial <i>Skin material</i>	Kartoffelgewebe <i>potato tissue</i>	Kunststoffdummy <i>plastic dummy</i>	Kunststoff <i>plastic</i>	Kunststoff <i>plastic</i>	Kunststoff <i>plastic</i>
Masse/Mass	14 g + Produktmasse <i>14 g + mass of real product:</i> Kartoffelknolle/potato tuber 203 g (Fallversuch/free-fall test), 170 bzw. 245 g (Test in Förderstrecke/processing line simulator test)	14 g + Produktmasse <i>14 g + mass of real product:</i> Dummy/dummy 213 g	270 g	314 g	200 g
Größe/Dimension	Implantat/ <i>implant</i> 42 x 13 x 13 mm Kartoffel/potato Länge/length 81 mm, Durchmesser/diameter 59 mm	Dummy/ <i>dummy</i> Länge/length 97 mm, Durchmesser/diameter 66 mm/53 mm	Länge/length 90 mm Durchmesser/diameter 79 mm/52 mm	Länge/length 108 mm, Durchmesser/diameter 75 mm	Länge/length 90 mm, Durchmesser/diameter 65 mm/50 mm
Härte/Hardness	nicht bekannt <i>not specified</i>	90° Shore A	nicht bekannt <i>not specified</i>	90° Shore A	80–85° Shore A
Messparameter <i>Measuring parameter</i>	Triaxiale Gravitationsbeschleunigung/ <i>triaxial gravitational acceleration</i>				
Abtastrate <i>Scanning rate</i>	3 kHz	3 kHz	4 kHz	nicht bekannt <i>not specified</i>	3 kHz
Messwertschwelle <i>Threshold for triggering measurement</i>	30 g ¹⁾	30 g ¹⁾	30 g ¹⁾	nicht bekannt <i>not specified</i>	30 g ¹⁾
Messbereich <i>End of measuring range</i>	200 g ¹⁾	200 g ¹⁾	500 g ¹⁾	nicht bekannt <i>not specified</i>	250 g ¹⁾
Auflösung/Resolution Genauigkeit/Accuracy (Herstellerangabe/ Manufacturer)	~ 1 g ¹⁾ nicht bekannt <i>not specified</i>	~ 1 g ¹⁾ nicht bekannt <i>not specified</i>	~ 2 g ¹⁾ 3 %	nicht bekannt <i>not specified</i> nicht bekannt <i>not specified</i>	0,1 g ¹⁾ +/- 1 g ¹⁾

¹⁾ Vielfaches von g (Erdbeschleunigung)/Multiple of g (gravitation).

temen die gemessenen Stöße dem Zeitverlauf zugeordnet werden können. Bei Mikras und IRD sind die Stoßverläufe (Beschleunigung) in 3 Achsrichtungen verfügbar. Bei dem IRD-Messkörper wird außerdem die Veränderung der Geschwindigkeit angegeben, welche aussagt, ob gemessene Stöße anhand voreingestellter Schwellwerte produktschädigend sind. Smart Spud und TuberLog liefern nur die maximalen Stoßbeschleunigungswerte der Messverläufe.

Fallversuche

Mithilfe einer Fallstation wurden die Messkörper jeweils 10-mal aus 10 cm Höhe auf Stahl fallengelassen oder auf eine 5 cm dicke PVC-Unterlage, die wahlweise auf der Aufprallfläche aus Stahl befestigt werden kann [6]. Dazu wurden die Messkörper manuell so auf ein rundes Loch (Durchmesser 40 mm)

in einer beweglichen Metallplatte mit Drahtseilführung gelegt, dass sie nach dem freien Fall mittig an der flachen Seite des Messkörpers auf der Unterlage auftrafen. Unterhalb der runden Aufprallfläche der Fallstation befand sich ein piezoelektrischer Kraftsensor, der bei einem Aufprall den Verlauf der Stoßkraft mit einer Abtastrate von 10 kHz maß. Für die Messungen mit Mikras wurde der Sensor in eine 4 Monate gelagerte Kartoffelknolle der Sorte Karlana mit rundlicher Form implantiert.

Lauf in einer Laborförderstrecke

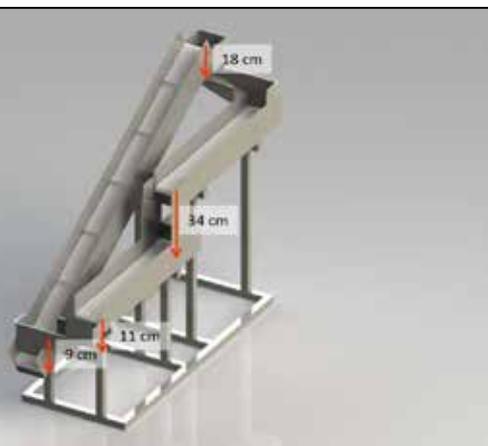
Um die Stoßdetektion im Transportprozess zu vergleichen, durchliefen die Messkörper jeweils 10-mal die Förderstrecke (**Abbildung 2**), bei der die Produkte von 3 Bändern befördert wurden (2 in horizontaler Richtung und eines im Winkel von $30,5^\circ$ ansteigend). Die Bänder laufen auf einer Gesamtlänge von 5,2 m mit Bandgeschwindigkeiten zwischen $0,19 \text{ m s}^{-1}$ und $0,35 \text{ m s}^{-1}$. Die Produkte überwand pro Runde 4 Fallstufen und 2 kleine Rutschen. Die Messungen mit Mikras wurden in gelagerten Kartoffelknollen der rundlichen Sorte Karlana und der länglichen Sorte Ludmilla durchgeführt. Es wurden jeweils 5 Knollen mit $170 \pm 10 \text{ g}$ und $245 \pm 10 \text{ g}$ Masse verwendet.

Ergebnisse

Fallversuche

Der in eine Kartoffelknolle implantierte Sensor Mikras maß beim seitlichen Fall aus 10 cm Höhe auf Stahl eine mittlere maximale Stoßbeschleunigung von 110 g's (**Abbildung 3**). Bei der Messung mit Mikras im Kartoffeldummy war die maximale Beschleunigung fast doppelt so hoch. Auch mit den elektronischen Knollen IRD und TuberLog wurden hohe Beschleunigungswerte von beinahe 200 g's aufgezeichnet. Eine Ursache ist vermutlich die im Vergleich zur gelagerten Kartoffelknolle höhere Festigkeit der Kunststoffmaterialien. Bei Verwendung von frisch ge-

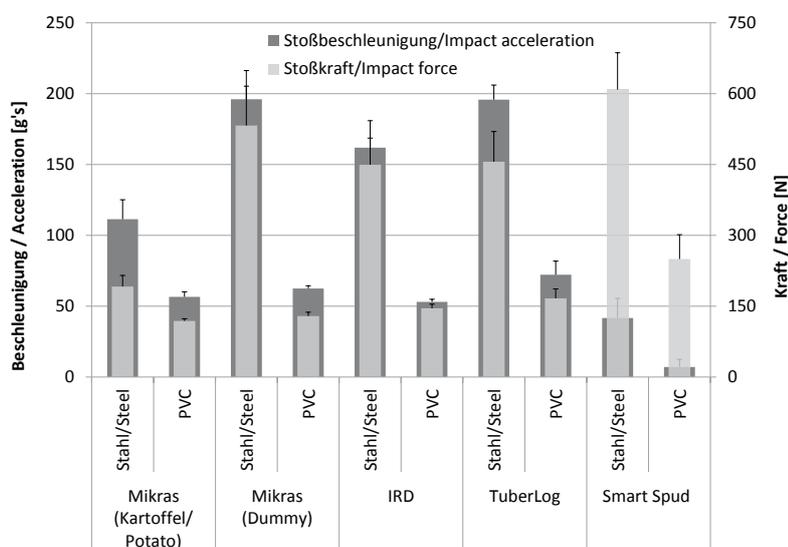
Abb. 2



Förderstrecke zur Simulation des Transportes landwirtschaftlicher Produkte nach der Ernte

Fig. 2: Processing line simulator for conveying agricultural products after harvest

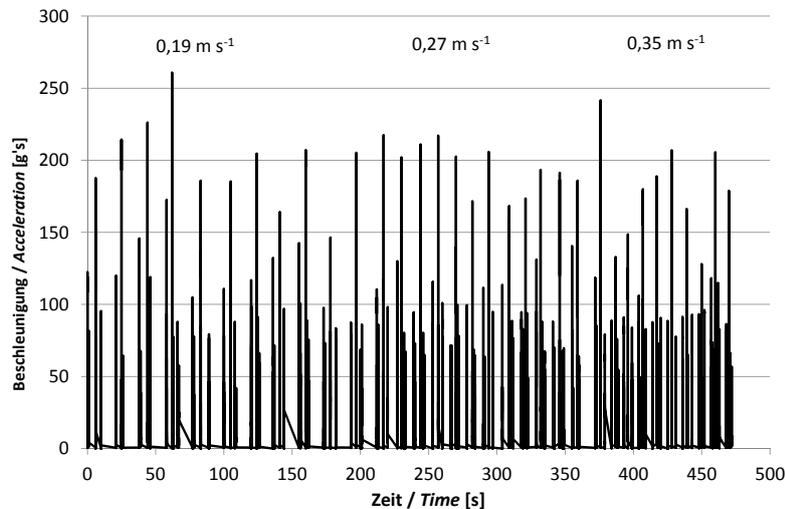
Abb. 3



Von verschiedenen elektronischen Früchten gemessene maximale Stoßbeschleunigung beim seitlichen Fall aus 10 cm Höhe auf Stahl oder PVC und in der Fallstation gemessene maximale Stoßkraft

Fig. 3: Peak acceleration measured from different electronic fruits (lateral drop, height 10 cm, onto steel or PVC) and peak force measured by a sensor in the drop simulator

Abb. 4



Messung der Stoßbeschleunigung mit Mikras implantiert in einer Kartoffel Karlena (170 g) beim Durchlauf der Förderstrecke (3 Bandgeschwindigkeiten, jeweils 10 Durchläufe)

Fig. 4: Measurement of impact acceleration with Mikras implanted in a potato Karlena (170 g) running through the processing line simulator (3 conveyor speeds, each ten runs)

ernteten, turgeszenten Kartoffelknollen wäre der Unterschied der maximalen Stoßbeschleunigung beim Fall aus der gleichen Höhe vermutlich geringer. In früheren Fallversuchen mit Kartoffeln hatten wir eine Abnahme der maximalen Stoßkraftwerte von 10–20% während der Lagerung beobachtet. Allgemein zeigten die wiederholten Fallversuche der elektronischen Früchte stabile Stoßbeschleunigungswerte, was an der niedrigen Standardabweichung der Maximalwerte bis zu 14 g's erkennbar war.

Beim Fall aus 10 cm Höhe auf die PVC-Unterlage lag die mittlere Stoßbeschleunigung von 50 ± 20 g's bei allen Systemen außer Smart Spud in ähnlicher Größenordnung. Beschleunigungsmessungen mit Mikras in einem Kartoffelrodeprozess zeigten bei Verwendung einer echten Kartoffelknolle ähnliche Ergebnisse wie bei Verwendung des Kunststoffdummys [7]. Wahrscheinlich wurden die gemessenen Stöße in den Ernteprozessen hauptsächlich durch Fall auf weiche Materialien (z.B. Erde, andere Knollen, gepolsterte Förderbänder) verursacht und nicht durch Aufprall auf feste Unterlagen wie Stahl.

Trotz vergleichbarer Härte der Hülle hat Smart Spud wesentlich niedrigere maximale Beschleunigungswerte gemessen als die anderen Systeme. Eine geringere Empfindlichkeit bei der Stoßdetektion von Smart Spud, z. B. gegenüber IRD, wurde auch von anderen Autoren beobachtet [8].

Die von dem Kraftsensor an der Fallstation aufgezeichneten maximalen Stoßkraftwerte bei einem Fall aus 10 cm Höhe auf Stahl waren bei den Kartoffelknollen deutlich niedriger als bei dem Kartoffeldummy, bei IRD, TuberLog und Smart Spud. Der Grund dafür ist die höhere Festigkeit und Masse der elektronischen Früchte. Das stark abweichende Verhältnis der Kraftwerte von den Beschleunigungswerten bei Smart Spud lässt darauf schließen, dass die Stoßintensität durch diesen Beschleunigungssensor unzureichend gemessen wird.

Der Fallversuch zeigt, dass sowohl das Material der Sensorhüllen als auch die Aufprallunterlage einen deutlichen Einfluss auf die maximalen Stoßbeschleunigungs- und Stoßkraftwerte haben. Beim Fall auf weiches Material wird ein großer Teil der Aufprallenergie absorbiert und nicht in Rückprallenergie umgewandelt [9].

Lauf in einer Förderstrecke

Beispielhaft ist in **Abbildung 4** der Stoßverlauf einer Kartoffel (Karlena), in die der Sensor Mikras implantiert ist, beim mehrmaligen Durchlauf durch die Förderstrecke dargestellt (3-mal 10 Runden bei 3 Bandgeschwindigkeiten ($0,19 \text{ m s}^{-1}$, $0,27 \text{ m s}^{-1}$ und $0,35 \text{ m s}^{-1}$)). Die hohen Stoßbeschleunigungswerte wurden jeweils beim Fall von der höchsten Fallstufe aus 34 cm Höhe gemessen (**Abbildung 2**).

Für die 10 Durchläufe in der Förderstrecke unterschied sich – bei einer eingestellten Messschwelle von 30 g's – die Anzahl der durch die verschiedenen Messsysteme erfassten Stöße deutlich. TuberLog zeichnete die meisten Stöße auf, Smart Spud die wenigsten (**Tabelle 2**). Neben dem Datenerfassungsmodus und der Empfindlichkeit der Sensoren können auch die Form und die Materialeigenschaften der Messkörper die Anzahl der aufgenommenen Stöße beeinflussen. Beispielsweise rollt der eiförmige Messkörper Smart Spud leichter als abgeflachte oder knollenförmige Messkörper.

Eine Erhöhung der Bandgeschwindigkeit bewirkte bei allen Messsystemen eine Zunahme der detektierten Stöße, außer bei Mikras. Die Häufigkeit kleiner Stöße zwischen 60 und 100 g's nahm bei gleichzeitiger Verringerung der starken Stöße zu. Dies wurde möglicherweise durch die wegen der schnelleren Bandbewegung besseren Pufferung an der hohen Fallstufe verursacht (Daten hier nicht dargestellt).

Tab. 2

Anzahl der detektierten Stöße während 10 Durchläufen in der Förderstrecke

Table 2: Number of impacts detected during 10 runs through the processing line simulator

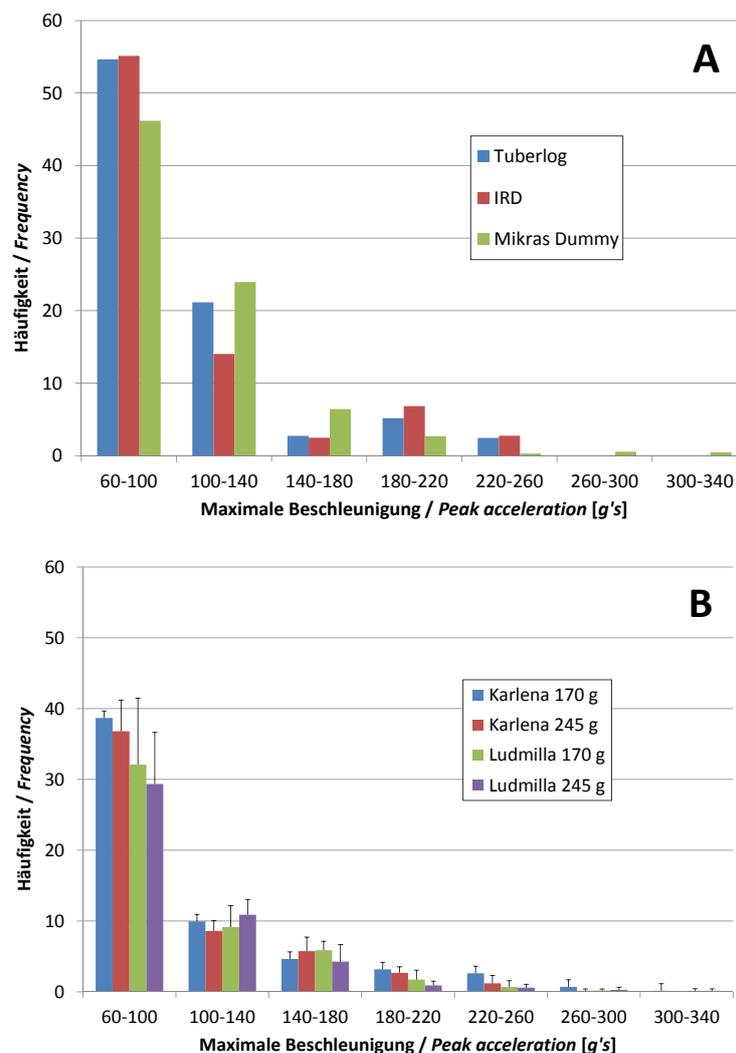
Bandgeschwindigkeit Conveyor velocity	Mikras (Kartoffel/potato)	Mikras (Dummy/dummy)	IRD	Smart Spud	TuberLog
0,19 m s ⁻¹	117	136	129	69	163
0,35 m s ⁻¹	102	117	139	78	170

Da für Beschädigungen an Kartoffelknollen – entsprechend früheren Untersuchungen – erst Stöße > 60 g's als relevant erachtet wurden, wurden in den Häufigkeitsverteilungen die Stöße mit niedrigerer maximaler Beschleunigung nicht berücksichtigt (Abbildung 5). Die Häufigkeitsverteilungen der maximalen Beschleunigungswerte von Mikras implantiert im Dummy, IRD und TuberLog in der Förderstrecke bei 0,35 m s⁻¹

Bandgeschwindigkeit sind ähnlich (Abbildung 5, A). Von Smart Spud wurden keine Werte > 100 g's gemessen.

Bei den Messungen mit dem Sensor Mikras in Kartoffelknollen wurden deutlich weniger Stöße im Bereich von 60 bis 140 g's erfasst als bei den Messungen mit elektronischen Knollen. Bei Verwendung der länglichen Sorte Ludmilla wurden weniger Stöße im Bereich von 60 bis 100 g's gemessen als mit

Abb. 5



Häufigkeitsverteilung von Stößen mit maximaler Beschleunigung ≥ 60 g's mit elektronischen Früchten gemessen (A) und mit Mikras in Kartoffelknollen (B) von 10 Durchläufen in der Laborförderstrecke (Bandgeschwindigkeit 0,35 m s⁻¹)

Fig. 5: Frequency distribution of impacts with peak acceleration of ≥ 60 g's measured with electronic fruits (A) and Mikras in potato tubers (B) during 10 runs through a processing line simulator (conveyor speed 0.35 m s⁻¹)

der rundlichen Karlena, was eventuell durch unterschiedliches Laufverhalten der Knollen auf dem Förderband bedingt war (**Abbildung 5, B**).

Schlussfolgerungen

Die Elastizität bzw. Härte der Aufprallunterlage und der Materialien der Messkörper haben beim Fall aus einer einheitlichen Höhe einen großen Einfluss auf die gemessenen maximalen Stoßbeschleunigungswerte. Die deutlich höheren Beschleunigungswerte der Messkörper IRD, TuberLog und Mikras im Dummy als von Mikras in der Kartoffel lassen auf eine Überbewertung der Stoßintensitäten beim Aufprall auf feste Unterlagen schließen. Bei Unterlagen mit höherer Dämpfung spielen die Materialeigenschaften der elektronischen Früchte eine geringere Rolle. Deshalb ist bei Prozessen, bei denen die Produkte nicht auf harte Materialien wie Stahl aufprallen, eine ähnliche Bewertung der mechanischen Belastung durch die verschiedenen Messkörper möglich.

Für eine Schadensprognose in Ernte- und Nachernteprozessen mithilfe eines Stoßbeschleunigungssensors ist eine vorherige Bestimmung des Zusammenhangs zwischen gemessener Stoßbeschleunigung und des spezifischen Produktschadens erforderlich. Die Systeme Mikras, IRD und TuberLog waren nach dieser Untersuchung in ähnlicher Weise geeignet, kritische Stellen in einem Aufbereitungsprozess zu detektieren. Die Ursache für die extrem niedrigen und in geringer Anzahl aufgezeichneten Beschleunigungswerte von Smart Spud konnte nicht geklärt werden.

Die beschriebenen Systeme unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Handhabbarkeit und der Möglichkeiten der Datenauswertung. Beispielsweise ist die Anwendung von TuberLog vergleichsweise unkompliziert. Für Forschungszwecke sind Mikras und IRD geeignet, da die kompletten Stoßverläufe triaxial aufgezeichnet werden.

Literatur

- [1] Tennes, B. R.; Zapp, H. R.; Marshall, D. E.; Armstrong, P. R. (1988): Bruising impact data acquisition and analysis in apple packing and handling systems utilizing the Instrumented Sphere (IS). ASAE Paper N° 88-6032; ASAE: Rapid City, South Dakota
- [2] Van Canneyt, T.V.; Tijssens, E.; Ramon, H.; Verschoore, R.; Sonck, B. (2003): Characterization of a potato-shaped instrumented device. *Biosyst. Eng.* 86, pp. 275-285
- [3] Yu, P.; Li, C.; Rains, G.; Hamrita, T. (2011): Development of the Berry Impact Recording Device sensing system: Hardware design and calibration. *Comput. Electron. Agr.* 79, pp. 103-111
- [4] Bollen, A.F. (2006): Technological innovations in sensors for assessment of postharvest mechanical handling systems. *Int. J. Postharvest Tech. and Innovation.* 1, pp. 16-31
- [5] Herold, B.; Truppel, I.; Jacobs, A.; Geyer, M. (2005): Stoßdetektor zum Implantieren in empfindliche Früchte. *Landtechnik* 60(4), S. 208-209
- [6] Geyer, M.O.; Praeger, U.; König, C.; Graf, A.; Truppel, I.; Schlüter, O.; Herold, B. (2009): Measuring behavior of an acceleration measuring unit implanted in potatoes. *Trans. ASABE* 52, pp. 1267-1274
- [7] Praeger, U.; Geyer, M.; Surdilovic, J.; Truppel, I.; Riske, D.; Heeren, S.; Flick, G. (2011): Mechanische Belastungen beim Roden von Kartoffeln – Messen von Stoßbelastungen mit einem implantierbaren Sensor. *Kartoffelbau* 7, S. 28-31
- [8] Jaren, C.; Arazuri, S.; Arana, I. (2008): Electronic fruits and other sensors. *Chronica Horticulturae* 48, pp. 4-6
- [9] Hyde, G.M.; Bajema, R.W.; Zhang, W. (1993): Measurement of impact damage threshold in fruits and vegetables. *Proc. IV Intl. Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Eng., Valencia-Zaragoza, Spain*, pp.1-8

Autoren

Dr. Ulrike Praeger ist wissenschaftliche Mitarbeiterin, **Dipl. Ing. Jelena Surdilovic** ist Doktorandin, **Dr. Martin Geyer** ist Abteilungsleiter der Abteilung Technik im Gartenbau am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (Wiss. Direktor: **Prof. Dr. Reiner Brunsch**), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: mgeyer@atb-potsdam.de

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Herrn Ulf Kemper (Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG, Damme) für die Bereitstellung des Kartoffeldummys und die Unterstützung bei der Untersuchung sowie bei Herrn Dr. Rolf Peters, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Dethlingen, der die elektronische Knolle IRD (Techmark) zur Verfügung gestellt hat.