

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

Stoßbelastung von Möhren beim maschinellen Verpacken

Waschmöhren werden maschinell geerntet, aufbereitet und verpackt. Dabei sind sie intensiven Belastungen durch Stöße ausgesetzt, welche Qualität und Haltbarkeit der Möhren vermindern können. Ein Verfahrensabschnitt mit besonders hoher Stoßbelastung ist das Abpacken. Um hier die Stoßbelastung zu bestimmen, wurde ein Stoßdetektor direkt in eine Möhre implantiert und die Belastung beim Durchlaufen von Abpackmaschinen aufgezeichnet. Aus der Analyse der Stoßdaten lassen sich Anzahl und Stärke der auftretenden Stöße ermitteln und kritische Punkte in den Verfahrensabschnitten identifizieren, um gezielt Maßnahmen zur Verminderung zu ergreifen.

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

Schlüsselwörter

Mechanische Belastung, empfindliche Frucht, implantierbarer Stoßdetektor

Keywords

Mechanical load, perishable fruit, impact detector for implementation

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 06305 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Beim Abpacken mit Hilfe einer Vielkopfwägemaschine durchlaufen die Möhren mehrere Abschnitte: Zuführen, Aufreihen, Vereinzeln, Wägen, Ausrichten und Zusammenführen in die Verpackung. Bei einzelnen Abschnitten wie beispielsweise dem Aufreihen und Vereinzeln werden durch Anregung von Vibration definierte Kräfte zur Auflockerung des Gutstroms ausgeübt. Um die Möhren zügig von Abschnitt zu Abschnitt zu transportieren, sind unterschiedliche Übergabestellen zwischen diesen Abschnitten eingeordnet. In Abhängigkeit von der konstruktiven Gestaltung dieser Übergabestellen und der Gleichmäßigkeit des Gutstroms gleiten oder fallen die Möhren, es kommt dabei zu Belastungen durch Stöße. Die Übergabestellen sind daher als kritische Punkte anzusehen.

Messung mit implantiertem Sensor

Zur Messung der Stoßbelastungen von Möhren beim Verpackungsprozess wurde ein Datensender mit Stoßsensor implantiert [1]. Dieser Datensender ist 42 mm lang und weist Querabmessungen von 13 • 13 mm² auf. Der Sensor erfasst triaxiale Beschleunigungen mit einer Abtastrate von 3 kHz je Achse, die Messdaten werden online per Funk zu einem tragbaren Datenempfänger gesendet.

Für das Implantieren wurden zwei Möhren von etwa 30 mm Durchmesser, aber unterschiedlicher Länge ausgewählt. Der Datensender wurde jeweils in einer Möhre platziert, indem vom Kopfende her ein etwa

60 mm tiefes Loch von 15 mm Ø gebohrt und nach Einfügen des Datensenders die verbleibende Öffnung mit einem passenden Stück einer zweiten Möhre verfüllt wurde. Die eingesetzten Teile wurden mit Klebeband gegen Herausrutschen gesichert. Das Klebeband diente gleichzeitig als Markierung, um die Möhre mit dem Datensender im Fließprozess visuell identifizieren zu können. Diese Möhre wurde eingesetzt, um die Stoßbelastung von Möhren beim Abpacken in 1 kg-Schalen zu untersuchen (Bild 1). Mit den beiden ausgewählten Möhren wurden mit der einen zwei Abpackmaschinen verschiedener Hersteller, mit der anderen nur eine dieser Maschinen geprüft.

Parameter der Stoßbelastung

Ein einzelner Stoß lässt sich durch den zeitlichen Verlauf der Stoßbeschleunigung oder Stoßkraft und daraus abgeleitete Parameter wie beispielsweise Spitzenwert und Impuls (= Integral der Stoßkraft über die Zeit) charakterisieren. Durch die hohe Abtastrate werden auch Stöße von wenigen Millisekunden zuverlässig erfasst (Bild 2).

Für das Risiko einer Qualitätsminderung an der Möhre durch eine einzelne Stoßbelastung ist in der Regel der Spitzenwert ausschlaggebend. Um dieses Risiko bewerten zu können, muss man den Schwellenwert kennen, oberhalb dessen eine Schädigung auftritt.

Außer durch die Stärke des einzelnen Stoßes wird das Risiko der Qualitätsminde-

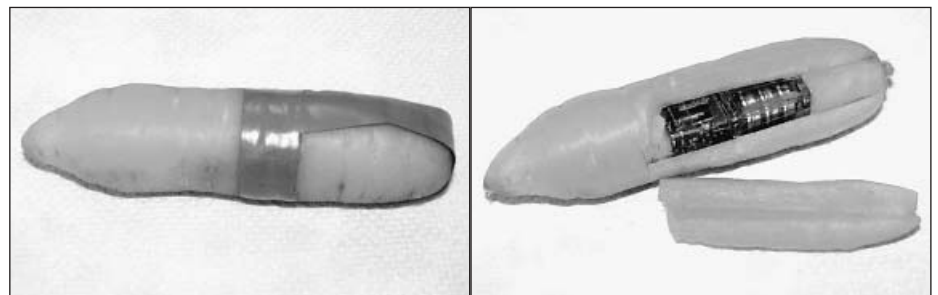


Bild 1: Möhre mit implantiertem Datensender (links: Möhre fertig zur Messung, rechts: Möhre geöffnet nach Abschluss der Messungen)

Fig. 1: Carrot with implanted data transmitter (left: carrot ready for measurement, right: carrot opened after completing measurements)

rung von Möhren durch die Anzahl der auftretenden Stöße insgesamt bestimmt [2, 3]. Beim Durchlaufen der Ernte- und Nacherteprozesse sind die Möhren einer Vielzahl von Stoßbelastungen ausgesetzt. Davon werden viele allein durch das maschinelle Verpacken hervorgerufen (Tab. 1).

Ergebnisse der Stoßmessung

Bei beiden Abpackmaschinen werden durchschnittlich pro Abpackvorgang über 100 Stöße registriert, darunter bei Maschine A sogar über 200 Stöße. Der überwiegende Anteil dieser vielen Stöße lässt sich dem Abschnitt von der Zuführung bis zur Wägung zuordnen. Es wurden nur Stöße berücksichtigt, deren Spitzenwert mindestens 12 g's erreichte (die Maßeinheit g's entspricht dem Vielfachen der Erdbeschleunigung). Diese hohe Anzahl von Stößen wurde vor allem im Abschnitt der Zuführung und Aufreihung der Möhren festgestellt und ist starken Schwankungen unterworfen. Als Ursache dafür wird ein an der Zuführungsseite unangemessen hoher Massestrom bei Maschine A angesehen.

Die beiden Maschinen unterscheiden sich nicht signifikant bei den durchschnittlichen Werten der Spitzenbeschleunigung. Die in Tabelle 1 aufgeführten Maximal- und Minimalwerte geben an, wie stark innerhalb aller Messläufe die je Messlauf registrierte höchste Einzelbelastung variiert. Die höchsten Einzelbelastungen lagen nahe der Messobergrenze des Beschleunigungssensors. Zur Analyse der Stoßbelastungen ist es zweckmäßig, den Zusammenhang zwischen Bewegung und Beschleunigung auf Körper beim elastischen Stoß zu betrachten. Beim Aufprall einer Möhre (M) auf eine feststehende Unterlage (U) ist die Beschleunigung a von der Aufprallgeschwindigkeit v_M und der Masse m_M der Möhre sowie von den elastischen Eigenschaften der Möhre und der Unterlage abhängig. Werden die elastischen Ei-

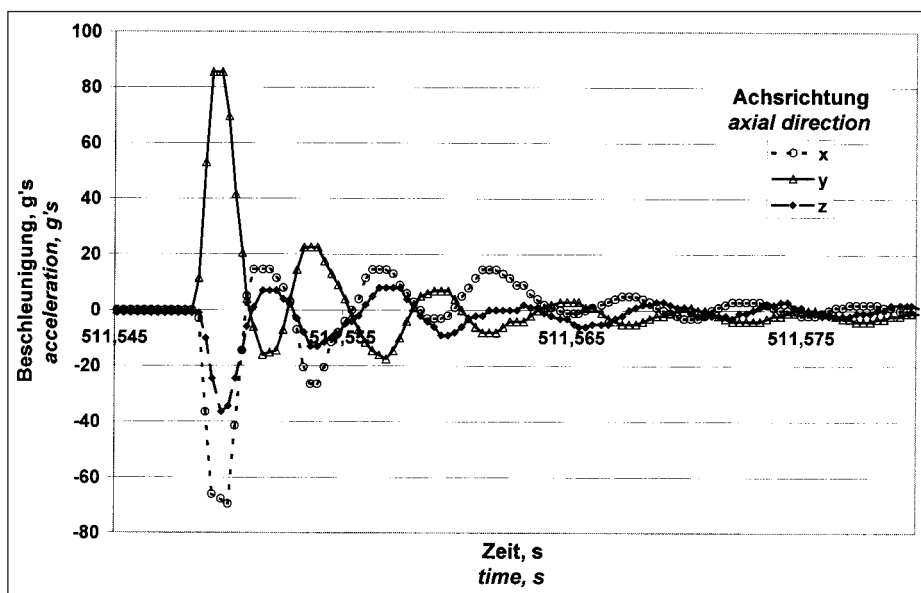


Bild 2: Aufzeichnung der Beschleunigungen in den drei Achsenrichtungen während eines Stoßvorgangs über einen Zeitabschnitt von 35 ms (Datensender implantiert in eine Möhre von 152 g Gewicht und 170 mm Länge)

Fig. 2: Record of accelerations in the three axial directions during an impact event over a period of 35 ms (data transmitter implanted in a carrot with weight of 152 g and length of 170 mm)

genschaften durch die Federkonstanten k_M und k_U beschrieben, so kann der Zusammenhang in vereinfachter Weise wie folgt formuliert werden

$$a = v_M \cdot \sqrt{\frac{1}{m_M} \cdot \frac{k_M \cdot k_U}{k_M + k_U}}$$

Aus dieser Beziehung lassen sich auch die beiden hauptsächlichsten Ansatzpunkte für Maßnahmen zur Reduzierung der Stoßbelastung ableiten. Dies sind die Geschwindigkeit v_M und die Federkonstante k_U der Unterlage, auf welche die Möhre aufschlägt. Hohe Geschwindigkeiten v_M sind durch große Fallhöhen, aber auch durch hohe Relativgeschwindigkeiten der Fördererlemente vor und nach der Übergabestelle bedingt. Hohe Federkonstanten bedeuten harte Unterlagen und hohe Stoßbeschleunigungen.

An Hand dieser Beziehung lässt sich auch erklären, dass mit der weniger schweren Möhre 2 gegenüber der Möhre 1 etwas höhere Spitzenwerte der Beschleunigung registriert wurden.

Bewertung der Stoßbelastungen

Die Beziehung zwischen einerseits der Anzahl und Stärke der Stöße und andererseits der dadurch hervorgerufenen Qualitätsminderung (Schädigung) des Produkts ist keine Konstante. Sie wird in hohem Maße durch genetische, physiologische und Umgebungs-faktoren beeinflusst und ist nur mit hohem Aufwand zu ermitteln. Für eine wirtschaftliche Bewertung von mechanischen Belastungen ist es zweckmäßig, darüber hinaus den Verwendungszweck des Produkts und die dafür wichtigen Qualitätseigenschaften zu berücksichtigen. Daher gibt es sehr unterschiedliche Ansätze zur Beurteilung des Risikos von Qualitätsminderungen.

Beispielsweise wurde aus den Ergebnissen von Belastungsmessungen ein Risikoindex gebildet, der an Hand der Messdaten aus mehreren Messläufen durch einen Verfahrensabschnitt ermittelt wird. Dieser Risikoindex errechnet sich aus dem Produkt der durchschnittlichen Stoßstärke (Spitzenwert der Beschleunigung) und der durchschnittlichen Anzahl der Stöße [4]. Ein vergleichbarer Index, welcher für einen kartoffelähnlich gestalteten elektronischen Produkt-Dummy verwendet wurde, umfasst die Summe der aus Beschleunigungswerten berechneten Stoßenergiepunkte [5].

Wendet man den erstgenannten Index auf die vorliegenden Ergebnisse an, so ergibt sich für Maschine A ein Wert von 7215 und für Maschine B ein Wert von 4269 und 4826. Diese Indexwerte eignen sich zum Vergleich der beiden Verfahrensvarianten, liefern jedoch keine Aussage über das Ausmaß und die wirtschaftliche Bedeutung der verursachten Qualitätsminderungen.

Tab. 1: Ergebnisse von Messungen der Stoßbelastung von Möhren mit einem implantierten Stoßdetektor an zwei Abpackmaschinen

Table 1: Measuring results of mechanical impact on carrots in two different packaging machines by using the implanted impact detector

Maschinentyp (Anzahl Messläufe) Parameter	Möhre 1 (m = 152 g, l = 170 mm)		Möhre 2 (m = 71 g, l = 117 mm)			
	A (n = 27)	B (n = 29)	Anzahl Stöße	Spitzenbe- schleunigung g's	Anzahl Stöße	Spitzenbe- schleunigung g's
Mittelwert	237	117	237	30	127	38
Standard- abweichung	165	35	165	20	30	28
Maximum	646	223	646	276	183	297
Minimum	69	51	69	110	57	118