

Bernd Herold, Ingo Truppel, Andree Jacobs und Martin Geyer, Potsdam

# Stoßdetektor zum Implantieren in empfindliche Früchte

*Für ein verbessertes Qualitätsmanagement werden aussagekräftige Kriterien benötigt, an Hand derer das produktspezifische Beschädigungsrisiko beurteilt werden kann. Zurzeit fehlen für die Zertifizierung der Produktionsverfahren nach Qualität und Sicherheit geeignete Methoden und Hilfsmittel, die dieser Anforderung gerecht werden. Die innovative Entwicklung eines in das reale Produkt implantierbaren miniaturisierten Stoßdetektors mit Echtzeit-Übertragung und computergestützter Datenauswertung könnten helfen, die bestehenden Probleme zu überwinden.*

Dr. Bernd Herold, Dipl.-Ing. Ingo Truppel und Dipl.-Ing. Andree Jacobs sind Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor (komm.): Prof. Dr. Reiner Brunsch); e-mail: [bherold@atb-potsdam.de](mailto:bherold@atb-potsdam.de).  
Dr. Martin Geyer ist Leiter der dortigen Abteilung „Technik im Gartenbau“.  
Die Arbeiten zu diesem Forschungsvorhaben wurden durch BMBF/PTJ gefördert.

## Schlüsselwörter

Mechanische Belastung, empfindliche Frucht, implantierbarer Stoßdetektor

## Keywords

Mechanical load, perishable fruit, impact detector for implementation

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05419 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/literatur.htm> abrufbar.

**K**artoffeln, Möhren, Zwiebeln und teilweise auch Äpfel unterliegen von der Ernte bis zum Verpacken für den Handel einer Vielzahl von mechanischen Belastungen. Es ist allgemein bekannt, dass einzelne Belastungen, aber insbesondere die Summe der Belastungen zu Qualitätsminderungen und letztlich zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten führen. Eine detaillierte Bewertung der mechanischen Belastung hinsichtlich ihrer produktspezifischen Auswirkung ist jedoch sehr schwierig. Für die praktische Umsetzung des umfangreichen Wissens über die kausale Beziehung zwischen Belastung und Beschädigung empfindlicher Agrarprodukte zum Beispiel in Leitfäden für die Zertifizierung der Produktionsverfahren [1] gibt es bisher keine brauchbaren Methoden und Hilfsmittel.

Der Stand der Technik zur Erfassung der Produktbelastungen in den Produktionsverfahren wird durch den Produkt-Dummy („elektronische Frucht“) bestimmt, also einen elektronischen Messkörper, der dem realen Produkt hinsichtlich der Größe und teilweise auch der Form nachgebildet und fähig ist, Stoßbeschleunigungen oder Druckbelastungen zu erfassen [2, 3, 4, 5]. Für die Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis sind diese Messsysteme zurzeit jedoch nicht ausreichend produktspezifisch angepasst, und daher lassen sich die Messergebnisse nur eingeschränkt auf das reale Produkt übertragen. Hinzu kommt, dass die verfügbaren Produkt-Dummys noch relativ kostenaufwändig sind.

## Anpassen durch „Einpassen“

Eine Möglichkeit zur Lösung dieses Problems ist, das elektronische Messsystem so weit zu miniaturisieren, dass es in das reale Produkt, beispielsweise eine Kartoffelknolle, eine Möhre oder einen Apfel, hineinpasst und implantiert werden kann. Zur technischen Umsetzung dieser Idee wurden Entwicklungsarbeiten gemeinsam vom ATB Potsdam-Bornim und zwei kleinen Industrieunternehmen aus Teltow (deka Sensor+Technologie und teleBITcom) durchgeführt.



*Bild 1: Implantierbarer Datensender (alle Teile sind eingegossen in einen Epoxydharzblock; rechts sind die Knopfzellen, links die elektronischen Funktionsbaugruppen, und links außen einer der beiden Ladekontakte zu sehen)*

*Fig. 1: Data transmitter for implantation (all parts are cast integral in an epoxy resin block; right the button cells, left the PCB's, and left outside one of the two charging connectors are visible)*

In den Ernte- und Nachernte-Verfahren für Agrarprodukte wie zum Beispiel für Kartoffeln überwiegen die Stoßbelastungen. Diese sollten durch eine triaxiale Beschleunigungsmessung mit hoher Abtastrate aufgenommen und in Echtzeit per Funk übertragen werden. Das Miniaturisierungsziel konnte durch Einsatz herkömmlicher SMD-Technologie erreicht werden, wodurch eine kostengünstige Fertigung möglich ist. Abschließend war das Implantat gegen mechanische und chemische Einwirkungen hermetisch zu schützen.

## Spezifische Funktechnik zur Datenübertragung

Das entwickelte Messsystem besteht aus zwei Komponenten, einem autarken Datensender mit Beschleunigungssensor und einem leicht tragbaren Datenempfänger. Der Datensender konnte in Größe und Masse kleiner als eine Mignon-Batterie (R6) realisiert werden (Bild 1) und passt wie vorgesehen in einen Apfel, eine Kartoffelknolle oder eine Möhre. Seine Energieversorgung erfolgt über wieder aufladbare NiMH Knopfzellen, deren Kapazität für mehrere Stunden Betriebsdauer ausreicht. Die triaxiale Beschleunigung wird kontinuierlich mit hoher Abtastrate erfasst. Die Messdaten der drei Achsrichtungen werden digitalisiert und vom Datensender über eine zuverlässige Funkverbindung online zum Datenempfänger übertragen und stehen für Echtzeitüber-

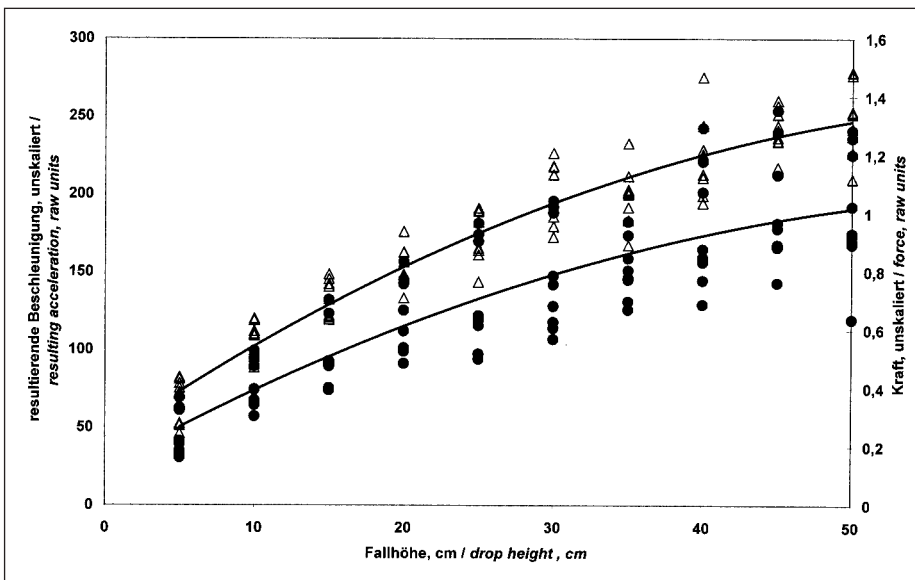


Bild 2: Beschleunigungswerte (•) des in eine Kartoffel implantierten Datensenders im Vergleich zu den als Referenz gemessenen Stoßkraftwerten (Δ) bei einem Fallversuch aus Höhen von 5 bis 50 cm auf eine Stahlplatte

Fig. 2: Acceleration (•) data of data transmitter implanted into a potato in comparison with reference data of measured impact force (Δ) obtained during drop test at heights from 5 to 50 cm onto steel plate

wachung und weitere detaillierte Auswertungen zur Verfügung. Die erreichten Systemparameter sind in Tabelle 1 aufgeführt.

### Falltest mit Kartoffelknollen

Zum Einpassen und Fixieren in einem realen Produkt ist ein längliches Stück aus dem Produkt zu entnehmen und an dessen Stelle der Datensender zu platzieren. Durch das Implantieren des Datensenders erhöht sich das Gewicht einer 100 g schweren Kartoffel um etwa 5 %.

Zur Inbetriebnahme wird der Datenempfänger an die USB Schnittstelle eines PC angeschlossen. PC und Datenempfänger werden eingeschaltet. Sobald der im Produkt

implantierte Datensender mit Hilfe eines Magneten eingeschaltet ist, leuchtet am Datenempfänger eine LED auf. Dann kann die Belastungsmessung beginnen.

Bei einem Labortest wurde der Datensender in eine etwa 160 g schwere Kartoffelknolle der Sorte „Agria“ implantiert. Die Knolle wurde je dreimal bei drei unterschiedlichen Orientierungen aus schrittweise zunehmender Höhe auf eine Stahlplatte mit eingebautem Kraftaufnehmer fallen gelassen. Ausgewertet wurden der Maximalwert der resultierenden Stoßbeschleunigung und als Referenz die maximale Kraft. Beide Messgrößen korrelieren eng miteinander ( $R^2 = 0,86$ ). Die Trendlinien beider Messgrößen stehen mit der Fallhöhe in einem

quadratischen Zusammenhang (Bild 2).

Die Auswertung der Beschleunigungswerte in den drei Messachsen lässt Rückschlüsse auf die von Stößen betroffenen Bereiche an der Oberfläche eines Produkts und damit Hinweise auf produktspezifische Problemstellen zu. Durch Entwicklung einer entsprechenden Auswertesoftware wurden Vor-

Geometrische und mechanische Parameter		
Abmessungen	Länge / mm	42
(Quader mit quadratischer Stirnseite von 13 mm Breite)	größte Querabmessung / mm~	~ 17,5
	Volumen / cm <sup>3</sup>	7
Masse / g		15
Mittlere Dichte / g/cm <sup>3</sup>		2,1
Messtechnische Parameter		
Beschleunigungssensor:	Anzahl der Messachsen	3
	Messbereich / G (1 G = 9,81 m/s <sup>2</sup> )	200
Signalverarbeitung:	Abtastrate / 1/s	~ 3200
	Messaufösung / Bit (jeder Kanal und Vektorsumme)	8
Betriebsparameter:	Ununterbrochene Einsatzdauer / h (mit wieder aufladbarem Akku)	> 5
	Betriebstemperaturbereich / °C	+5 ... 35
Weitere Eigenschaften	Wasserdicht, fruchtsäurebeständig, da Epoxidharz vergossen	
	Funkreichweite / m	> 15
Datenverarbeitung:		
Plattform	PC (Notebook), PIII ab 800MHz, Win2000 oder XP, USB-Schnittstelle	
Datendarstellung	Kalibrierte Beschleunigungs-/Zeit-Grafik (online und offline) alle drei Achsen und Vektor summe	
Datenexport als ASCII-Tabelle	Mehrspaltige Darstellung: Zeit, Beschleunigung, Zeitmarken	

Tab. 1: Parameter des implantierbaren Datensenders

Table 1: Parameters of the data transmitter for implementation

aussetzungen geschaffen, die Verteilung der Stoßbelastung nach Richtung und Intensität zu visualisieren. Ein spezielles Softwaremodul bietet die Möglichkeit, das entsprechende Produkt in Form und Größe zu simulieren und die Verteilung der Belastungen über die Oberfläche eines Produkts als 3D-Projektion darzustellen (Bild 3).

### Ausblick

Der implantierbare Datensender lässt sich in gleicher Weise wie die „elektronische Frucht“ für Messungen in Verfahrensketten der Ernte und Nachernte einsetzen. Nach Einbringen in den zu prüfenden Prozess wird der Lauf des Produkts mit dem implantierten Datensender visuell verfolgt. Erleichtert wird dies dadurch, dass man die Systemfunktion nutzen kann, welche auftretende Stoßereignisse online über Kopfhörer akustisch wiedergibt. Per Tastendruck am Datenempfänger wird das Passieren ausgewählter Punkte in der Verfahrenskette parallel zu den Messdaten aufgezeichnet. Diese Aufzeichnung hilft bei der Auswertung, um die Belastungsdaten zu den verursachenden Stellen in der Verfahrenskette richtig zuzuordnen. Am Ende des zu prüfenden Prozesses wird das Produkt mit dem Datensender wieder entnommen und kann unverzüglich für weitere Messungen eingesetzt werden.

Bei geeigneter Kalibrierung sind Aussagen über die tatsächliche Stoßbelastung sowie produktspezifische Angriffsstellen der Belastung möglich. Dadurch lässt sich die Prüfung der Verfahrenstechnik verfeinern und die Übertragbarkeit von Belastungsmessdaten auf das reale Produkt verbessern. So könnten auch die Methoden zur Zertifizierung der Verfahren hinsichtlich objektiver Kriterien ergänzt werden.

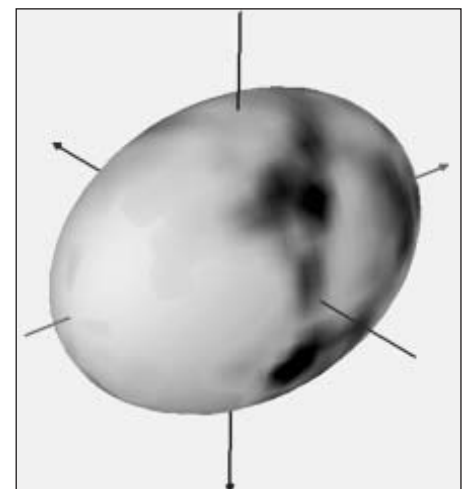


Bild 3: Beispiel für die Visualisierung der Stoßbelastungen nach Richtung und Intensität

Fig. 3: Example of visualisation of impact load distribution according to direction and intensity