

Julia Foerster, Ingo Truppel und Martin Geyer

Spargel – Qualität, die sich hören lässt

Kommerziell verfügbare automatische Sortiermaschinen sind derzeit nicht in der Lage, hohle Spargelstangen, die als Qualitätsfehler auszusortieren wären, zuverlässig zu erkennen. Im Folgenden wird ein neues Verfahren – basierend auf der akustischen Resonanzanalyse – vorgestellt, das potenziell in der Lage ist, intakte von hohlen Stangen zu unterscheiden und somit eine wertvolle Ergänzung zu den optischen Verfahren bietet.

Schlüsselwörter

Spargel, akustische Resonanzanalyse, zerstörungsfrei

Keywords

Asparagus spears, acoustic resonance analysis, non-destructive

Abstract

Foerster, Julia; Truppel, Ingo and Geyer, Martin

Asparagus spears – Quality you can hear

Landtechnik 68(2), 2013, pp. 99–102, 4 figures, 9 references

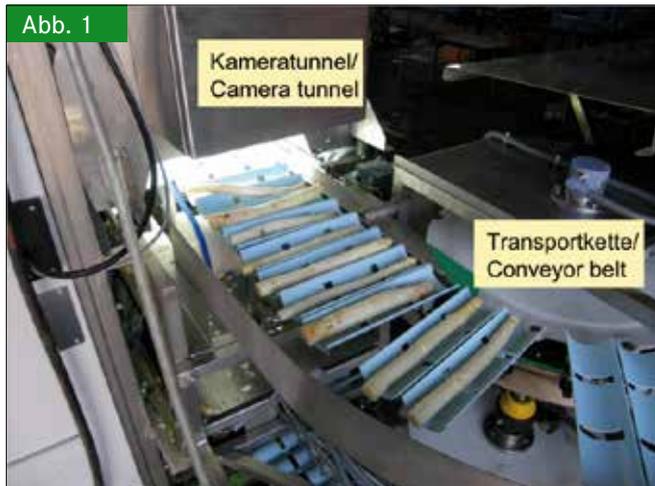
At present, conventional automated sorting systems does not allow the detection of hollow asparagus spears, which represents a severe internal quality defect, with reasonable certainty. Therefore, the following article deals with a newly method based on acoustic resonance analysis, which is potentially capable to distinguish hollow spears from sound. Thus, representing a valuable supplement to existing visual inspections.

■ Obst und Gemüse dürfen in der EU nicht vermarktet werden, wenn sie nicht den vorgegebenen Qualitätsnormen entsprechen. Bleichspargel darf beispielsweise nicht hohl sein. In Jahren nach langen kalten Wintern kann dies jedoch auf bis zu 50% der Stangen zutreffen. Um das Sortieren zu vereinfachen, wird Bleichspargel überwiegend mithilfe leistungsstarker vollautomatischer Sortiermaschinen mit Bildverarbeitungssystemen aufbereitet. Aufgerissene oder doppelte Stangen sowie Stangen mit keuligem Wuchs werden damit zuverlässig erkannt. Große Probleme bereiten jedoch Stangen mit luftgefüllten Kavernen, deren Form keine äußeren Veränderungen aufweist.

In enger Kooperation zwischen zwei Unternehmen (KMU), RTE Akustik + Prüftechnik GmbH (Pfinztal) und HMF Hermeler Maschinenbau, und dem wissenschaftlichen Partner, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB), wurde im Rahmen eines BLE-Projektes ein Sensorsystem zum zerstörungsfreien, objektiven und schnellen Erkennen der Hohlheit von Spargel auf Basis der akustischen Resonanzanalyse im Bereich hörbarer Frequenzen entwickelt. Das bisher bei technischen Produkten angewandte automatisierte Verfahren der akustischen Resonanzanalyse, beispielsweise zur automatischen Fehlererkennung bei Dachziegeln [1], sollte auf Spargel übertragen werden. Dass akustische Methoden geeignet sind, um Reife oder Textureigenschaften gartenbaulicher Produkte zu beschreiben, konnte bereits in zahlreichen Versuchen belegt werden [2]. Insbesondere die sogenannte „impulse-response“-Technik kann genutzt werden, um über den sogenannten „stiffness coefficient“ die Festigkeit von Äpfeln, Pflaumen, Tomaten usw., aber auch sensorische Eigenschaften von Karotten zu bestimmen [3, 4, 5, 6]. Dabei werden die Produkte durch einen kurzen Stoß zum Schwingen angeregt. Diese Schwingungen werden von akustischen Sensoren (z.B. einem Mikrofon) aufgezeichnet. Die Resonanzfrequenzen werden anschließend mittels schneller Fouriertransformation bestimmt. Neben der Lage der Resonanzfrequenzen, die u. a. von den elastischen Eigenschaften, der Dichte, der Größe und der Form des Produktes abhängig sind, können auch andere im Schwingungssignal enthaltene Merkmale, z.B. die Amplitude, Aufschluss über die Eigenschaften des Produktes geben [7].

Fragestellung

Basierend auf den bautechnischen Vorgaben der Spargelsortiermaschinen des Projektpartners HMF Hermeler Maschinenbau, ergaben sich Anforderungen, die bei der Entwicklung eines geeigneten Funktionsmusters berücksichtigt werden mussten. **Abbildung 1** zeigt einen Ausschnitt einer solchen Sortiermaschine. Die Spargelstangen liegen einzeln in Transportschalen, die an einer waagrecht laufenden Transportkette befestigt sind.



Ausschnitt einer automatischen Spargelsortiermaschine
Fig. 1: Part of an automatic asparagus sorter (Foto: M. Geyer)

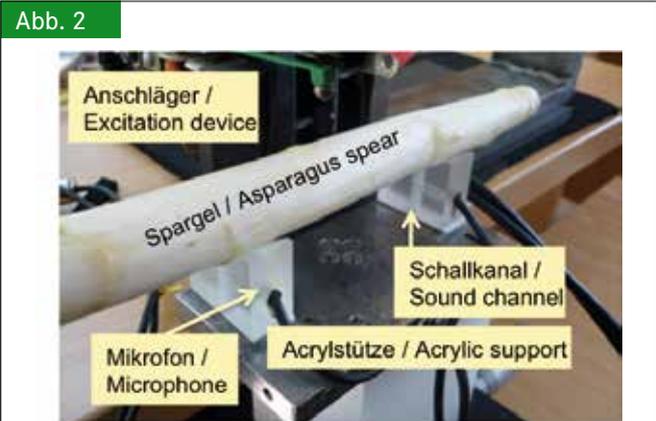
Zu prüfen war,

- wie die Stangen aus den Schalen gehoben werden könnten, um sie unabhängig von den Schalen- bzw. Maschinenschwingungen akustisch zu testen,
- wie eine Schwingungsanregung realisiert werden könnte, die ausreicht, damit die Stangen möglichst breitbandig schwingen, ohne diese durch den Anschlag zu verletzen und
- welche akustischen Sensoren geeignet wären, um die Schwingungsantwort zu detektieren.

Außerdem wurde überprüft, welche Algorithmen geeignet wären, um eine Korrelation zwischen akustischen Messdaten und der Hohlheit der Stangen sowohl im Labormaßstab als auch unter praxisrelevanten Bedingungen im Demonstrator zu zeigen.

Versuchsdurchführung

Es wurde ein Probenhalter, bestehend aus einer Metallgrundplatte und zwei keilförmigen Acrylstützen entwickelt, der mit einem parallel zur Transportkette laufenden Transportschlitten mit Vertikal- und Horizontalantrieb verbunden wurde. Die Aussparungen in den Schalen ermöglichten ein Hindurchtauchen der Acrylstützen und das anschließende Anheben der Spargelstangen. Zur Signalerfassung wurden Miniluftschallmikrofone getestet, die in die Acrylstützen eingebaut wurden (**Abbildung 2**). In einem weiteren Versuchsaufbau wurden drucksensitive Piezofolien zwischen Metallplatte und Acrylstützen geklebt, die den Körperschall aufnehmen konnten. Für die elektromechanische Schwingungsanregung wurden zwei grundsätzlich verschiedene Anschlagmechaniken entwickelt. Bei der ersten schlug ein kleines Hämmerchen mit kugelförmigem Metallkopf die Stangen von oben mittig an. Bei der zweiten Anschlagmechanik befand sich ein Elektromagnet in eine der Stützen integriert, sodass die Stangen fußseitig von unten angeschlagen wurden. Bei diesem Aufbau konnte mit nur einem Schallsensor (kopfsseitig positioniert) gearbeitet werden. Mithilfe der Scanning-Laservibrometrie konnte nachgewiesen werden, dass die Funktionsmuster geeignet waren, die Spar-



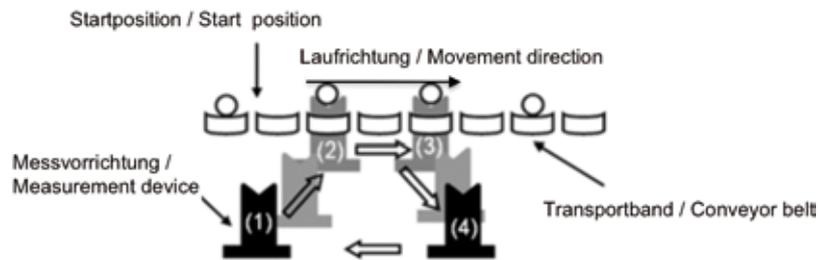
Funktionsmuster: Acrylstützen mit eingeklebten Minimikrofonen zur Spargellagerung und Schwingungsmessung
Fig. 2: Functional model: Acrylic supports with integrated electret microphones (Foto: J. Foerster)

gelstangen zu freien Schwingungen anzuregen, und dass die eingesetzten Sensoren in der Lage waren, diese Schwingungen adäquat zu erfassen [8].

Daraufhin wurden Untersuchungsreihen mit hohlen und intakten Spargelstangen durchgeführt. Im Labor wurden 326 Stangen zufällig orientiert auf die Stützen gelegt und je dreimal in dieser Position sowie nach 90°-Drehung um die Längsachse noch einmal je dreimal akustisch vermessen. Aufgrund der Variabilität von Krümmung und Durchmesser musste der Abstand des „Anschlags von oben“ für jede Stange per Hand einzeln angepasst werden, während der „Anschlag von unten“ prinzipbedingt immer aus konstantem Abstand mittig traf. Wegen der deutlich besseren Ergebnisse mit den Mikrofonen, wurden anschließende Versuche mit diesen Sensoren an einem Demonstrator durchgeführt, bei dem die Schalen im Kreis liefen. Da beim „Anschlag von unten“ die Anschlagmechanik Teil des synchron zur Transportkette bewegten Messschlittens war, funktionierte diese relativ unkompliziert (**Abbildung 3**). Beim „Anschlag von oben“ erfolgte die genaue Positionsbestimmung (Höhe und horizontale Position der Stange) mit einem schnellen Laserabtaster, der den Spargel ($n = 210$) im ausgehobenen Zustand (also sehr kurz vor dem Anschlagen) 1000-mal je Sekunde vermaß. Aufgrund der Trägheit des Anschlags mussten die Lagebestimmung und der Messzyklus in hintereinander folgenden Messrunden erfolgen. Die Lagedaten wurden in einem Controller gespeichert. Ein Messzyklus umfasste je 20 Runden. Pro Messzyklus wurden zehn Stangen akustisch gemessen. Im Anschluss an die zerstörungsfreien akustischen Messungen wurden die Spargelstangen destruktiv auf das Vorhandensein von Kavernen bonitiert. Stangen mit einem Hohlraumvolumen von $\geq 1\%$ des Spargelgesamtvolumens wurden als hohl klassifiziert.

Die durch die Vielzahl der Messkonfigurationen im Labor bzw. durch die automatische Aufzeichnung am Demonstrator bedingte große Datenmenge ($n = 4100$ Messungen/Versuch), verlangte nach weitgehend automatisierter Verarbeitung der Messdaten. Auf Basis der universellen, freien Mathematiksoft-

Abb. 3



Schematischer Bewegungsablauf des horizontal und vertikal beweglichen Transportschlittens: (1) Startposition. (1) => (2) Messvorrichtung bewegt sich schräg nach oben und hebt Stange aus. (2) => (3) Transportschlitten bewegt sich horizontal synchron zum Hauptantrieb der Schalenkette, Messung wird durchgeführt. (3) => (4) Vertikaltrieb fährt Stützen wieder ein. (4) => (1) zurück in Ausgangsposition
 Fig. 3: Schematic course of movement of the horizontally and vertically movable transport carriage: (1) Start position, (1) => (2) Measurement device moves diagonally upwards and rises the asparagus spear. (2) => (3) Transport carriage moves synchronously with the main drive of the conveyor belt, measurement is realized. (3) => (4) Supports are retracted by vertical drive. (4) => (1) Starting position

ware Scilab (ähnlich Matlab) [9] entstand eine Reihe von Programmen zur halbautomatischen Datenverarbeitung, die

- die Aufbereitung der Metadaten,
- die Zerlegung der Messsignale in Frequenzabschnitte,
- die Approximation geeigneter Funktionen,
- das Tabellieren der Parameter dieser Funktionen,
- das automatische Wichten der gewonnenen Parameter,
- die Zuordnung der Messdaten zu den Metadaten und
- die Berechnung der prognostizierten Hohlheit leisteten.

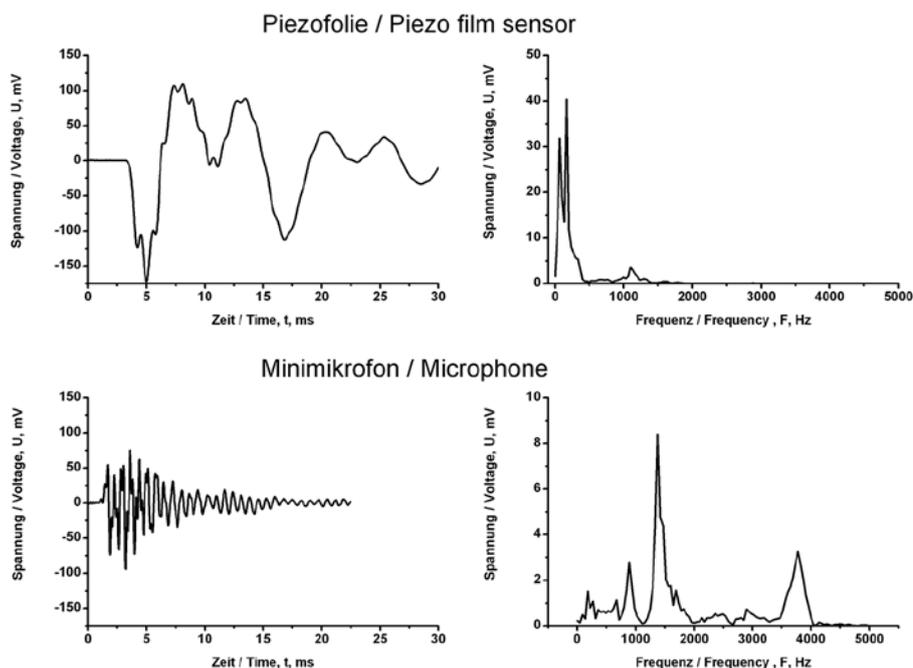
Ergebnisse

Die **Abbildung 4** zeigt in Zeit- und Frequenzdarstellung typische Spargelschwingungen, wie sie von der Piezofolie bzw. dem

Minimikrofon aufgezeichnet wurden. Bei der Piezofolie sind Maxima mit hohen Amplituden unterhalb von 500 Hz zu erkennen und ein vergleichsweise kleines Maximum um 1 000 Hz. Mit dem Mikrofon konnten auch deutlich höhere Frequenzen mit relativ hoher Amplitude aufgezeichnet werden. Dies war wichtig, da sich im Laufe der Versuchsauswertung gezeigt hatte, dass vor allem Resonanzfrequenzen im Bereich zwischen 300 und 1 600 Hz mit der Eigenschaft Hohlheit korrelierten.

In den Laborversuchen konnte durch Kombination der gewonnenen Parameter eine gleichmäßig verteilte Sortiergenauigkeit – d.h. von hohlen Spargel, die als hohl erkannt wurden sowie intakte, die als intakt klassifiziert wurden – von 77,9% (Piezofolie) bis 83,4% (Minimikrofon) erreicht werden. Bei Ver-

Abb. 4



Typische Spargelsignale aufgezeichnet von Piezofolie (oben) und Luftschallmikrofon (unten) in Zeit- und Frequenzbereich
 Fig. 4: Typical time- and frequency-domain signal of an asparagus spear for piezo film sensor (up) and microphone (down)

wendung von zwei Sensoren wurden die besseren Ergebnisse für den Sensor in Kopfnähe der Stange (**Abbildung 2**) erzielt. Die höhere Erkennungsrate bei Verwendung der Minimikrofone konnte auf die höhere Empfindlichkeit der Sensoren im Bereich der relevanten Frequenzen zurückgeführt werden. Auch unter praxisähnlichen Bedingungen konnte mit den Demonstratorversuchen die Brauchbarkeit des entwickelten Sensorsystems gezeigt werden. Die Erkennungsrate lag trotz Umgebungs- und Maschinengeräuschen bei 74,3%.

Schlussfolgerungen

Das neu entwickelte Sensorsystem ist in der Lage, nichtdestruktiv auf Basis der akustischen Resonanzanalyse hohlen von nichthohlem Spargel zu unterscheiden, sowohl im Labor als auch unter praxisnahen Bedingungen. Verbesserungen in der Klassifizierung versprechen weitere Optimierungen bei Schwingungsanregung und Signalverarbeitung sowie die Verknüpfung der Daten aus der Resonanzanalyse mit morphologischen Parametern aus der Bildanalyse, die ebenfalls Bestandteil der Sortieranlage ist.

Literatur

- [1] Hertlin, I. (2007): Endlich geht's: Vollautomatische Endprüfung von Tondachziegeln in der Linie. *Keramische Zeitschrift* 6, S. 429-432
- [2] Ruiz-Altisent, M.; Ruiz-Garcia, L.; Moreda, G.P.; Lu, R.; Hernandez-Sanchez, N.; Correa, E.C.; Diezma, B.; Garcia-Ramos, J. (2010): Sensors for product characterization and quality of specialty crops - A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 74, pp. 176-194
- [3] Landahl, S. (2007): Comprehensive evaluation of the acoustic impulse-response of apples as a measure of fruit quality. Dissertation, Katholieke Universiteit Leuven
- [4] Felföldi, J.; Muha, V. (2007): In-Vivo Acoustic Measurement of Mechanical Properties of Fruits. International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, 21.-24.01.2007, Khon Kaen, Thailand, pp. 1-7
- [5] Schotte, S.; De Belie, N.; De Baerdemaeker, J. (1999): Acoustic impulse-response technique for evaluation and modeling of firmness to tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 17, pp. 105-115
- [6] Kaszab, T.; Kovács, Z.; Szölloosi, D.; Fekete, A. (2011): Prediction of carrot sensory attributes by mechanical tests and electronic tongue. *Acta Aliment.* 40 (Suppl.1), pp. 41-58
- [7] Diezma-Iglesias, B; Ruiz-Altisent, M.; Barreiro, P. (2004): Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response. *Biosystems Engineering* 88(2), pp. 221-230
- [8] Foerster, J.; Truppel, I., Bochow-Neß, O., Geyer, M. (2013): Comparison of acoustic sensor systems for quality analysis of asparagus using scanning laser vibrometry for visualization. *Computers and Electronics in Agriculture* 91, pp. 10-18
- [9] Scilab (2011): <http://www.scilab.org>, Free Open Source Software for Numerical Computation, Version 5.2.2

Autoren

Dipl. Ing. Julia Foerster ist Doktorandin, **Ingo Truppel** ist wissenschaftlich-technischer Mitarbeiter und **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

Diese Arbeit wurde gefördert vom deutschen Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung, Geschäftszeichen: PGI-06.01-28-1-53.053-07