

Julia Foerster, Martin Geyer, Oliver Schlüter, Peter Fey und Michael Kiefer

# Akustische Resonanzanalyse zur Bestimmung der Qualität von Obst und Gemüse

In dem vorliegenden Beitrag wird das Verfahren der akustischen Resonanzanalyse vorgestellt, eine Methode, die erfolgreich in verschiedenen Industriebereichen zur Qualitätskontrolle im laufenden Fertigungsprozess eingesetzt wird. Inwiefern eine Übertragbarkeit der Methode auf die Charakterisierung der inneren Beschaffenheit pflanzlicher Produkte möglich ist, wird zurzeit in Zusammenarbeit zwischen dem Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) und der Akustik Firma RTE, Karlsruhe, überprüft.

## Schlüsselwörter

Akustische Resonanzanalyse, nicht-destruktiv, Qualität

## Keywords

Acoustic resonance analysis, non-destructive, quality

## Abstract

Foerster, Julia; Geyer, Martin; Schlüter, Oliver; Fey, Peter and Kiefer, Michael

Acoustic resonance analysis for quality characterization of fruits and vegetables

Landtechnik 65 (2010), no. 2, pp. 96-98, 4 figures, 5 references

Acoustic resonance analysis is a method which is successfully implemented in various industries for non-destructive quality assessment of different materials like roofing tiles or break discs in series production. The purpose of current investigation of the Leibniz-Institute for Agricultural Engineering Potsdam-Bornim e.V. (ATB) in association with RTE Akustik + Prueftechnik GmbH is the adaption of this method for non-destructive quality determination of fresh fruits and vegetables.

■ In den letzten Jahren ist, verbunden mit dem Ziel einer bewussten und gesunden Ernährung, eine Steigerung der Ansprüche von Verbrauchern an die Qualität von frischem Obst und Gemüse zu verzeichnen. Primär- und Aufbereitungsbetriebe sind bestrebt, diesen Erwartungen gerecht zu werden. Hochspezialisierte Maschinen ermöglichen die Detektierung äußerer, qualitätsrelevanter Parameter wie Größe, Form, Farbe oder Oberflächenbeschaffenheit mit hoher Geschwindigkeit und Sicherheit.

## Zielsetzung

Um Verbraucherenttäuschungen aufgrund mangelnder innerer Qualität infolge physiologischer Fehlentwicklungen oder produktschädigender Bedingungen innerhalb des Produktions- und/oder Aufbereitungsprozesses vorzubeugen, ist eine zusätzliche Beurteilung der inneren Beschaffenheit unerlässlich. Bei Obst und Gemüse ist die Textur ein entscheidender Faktor für die Konsumentenzufriedenheit. So wird beispielsweise ein fester, knackiger Apfel vom Verbraucher als qualitativ hochwertiger eingestuft als ein weicher oder gar mehlig. Konventionell wird die Textur destruktiv über die Gewebefestigkeit bestimmt. Nachteilig ist, dass diese invasiven Verfahren nur stichprobenartig durchgeführt werden können und keine Einzelprobentestung möglich ist.

Bestehende zerstörungsfreie Verfahren verschiedener Hersteller, die durch sanftes Anklopfen der Fruchtoberfläche die elastischen Eigenschaften von Obst und Gemüse erfassen, korrelieren dagegen nur bedingt mit der Festigkeitsmessung mithilfe von Penetrometern bzw. mit der inneren Beschaffenheit. Das Detektieren innerer Veränderungen der Gewebestruktur, wie beispielsweise der Mehligkeit bei Äpfeln und Pfirsichen, die maßgeblich für die Unzufriedenheit von Verbrauchern sind, ist mit diesen Messsystemen nicht möglich.

Ein vielversprechender Ansatz um dieses Problem zu lösen, ist die Anwendung der akustischen Resonanzanalyse (**Abbildung 1**). Ausgenutzt wird dabei der physikalische Effekt, dass ein Körper nach geeigneter Anregung in bestimmten, für diesen Körper charakteristischen Frequenzen schwingt. Untersuchungen annähernd kugelförmiger Früchte haben gezeigt, dass ein enger Zusammenhang zwischen der ersten Resonanzfrequenz und den Elastizitätseigenschaften des biologischen Gewebes besteht, der als Indikator für das Entwicklungsstadium, den Reifezustand oder die Festigkeit verschiedener Früchte genutzt werden kann [1; 2; 3].

Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen ist der Einsatz dieser Methode zur Charakterisierung der inneren Produktbeschaffenheit.

### Material und Methoden

Zur Fehlerprüfung von Industrieprodukten besteht ein Verfahren der Firma RTE auf der Basis der akustischen Resonanz. Hierbei wird die bisher verwendete, subjektive, manuelle Methode der Prüfung von Dachziegeln durch ein standardisiertes, objektives Verfahren ersetzt. Dabei werden am Ende des Produktionsprozesses die Tondachziegel auf einem Förderband an einer Prüfeinheit vorbeigeführt, akustisch angeregt und anhand eines Vergleichs des Ist-Schwingungszustand mit hinterlegten Mustern klassifiziert. **Abbildung 2** zeigt die typische Funktionsstruktur eines akustischen Prüfsystems [4].

Die besondere Herausforderung für die Implementierung der Methode stellte das Material dar, aus dem das Untersuchungsobjekt besteht. Die natürlichen Schwankungen im Körper üben unweigerlich Einfluss auf das charakteristische Schwingungsverhalten aus und komplizieren dadurch die Signalauswertung [5].

Inwiefern diese Methode zum Detektieren innerer Schäden bzw. Veränderungen von pflanzlichen Produkten geeignet ist, wird derzeit am Beispiel mehligler Äpfel überprüft. Die definiert gelagerten Proben werden automatisch mit einem Klöppel reproduzierbar angeregt und die mechanischen Schwingungen in der Struktur (Körperschall) oder die in die umgebende Luft abgestrahlten Schwingungen (hörbarer Luftschall: ca. 20 Hz bis 16 kHz, Ultraschall: > 16 kHz) mit Sensoren berührend oder berührungslos erfasst, in elektrische Signale gewandelt und über Filter und Verstärker an die nachfolgende Datenverarbeitungskette angepasst. Im zweiten Schritt erfolgen mit Hilfe der spezi-

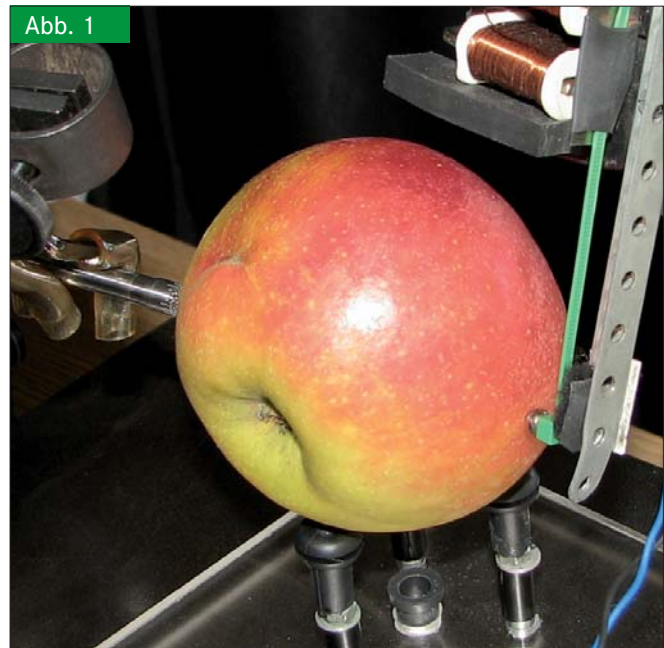
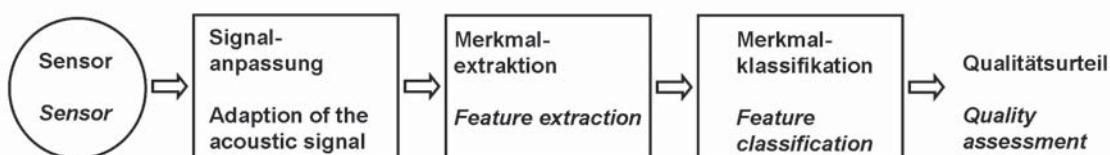


Abbildung 1: Akustische Resonanzanalyse eines Apfels  
 Fig. 1: Acoustic resonance analysis of an apple. Photo: ATB

ellen Software SR20 AT der Firma RTE die Merkmalsextraktion und -klassifikation, die Grundlage für die Berechnung spezifischer akustischer Kennwerte (finger prints) und Zuordnung von Güteigenschaften sind. Für die spätere Klassifizierung wird die zu bewertende Eigenschaft (mehlig/nicht mehlig) parallel dazu organoleptisch und über destruktive Verfahren bestimmt.

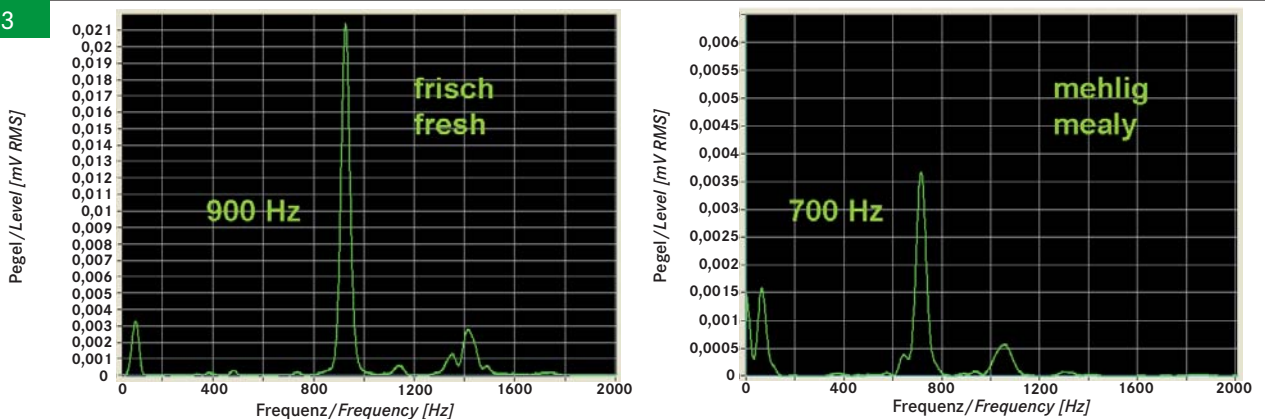
Grundlegende Voraussetzungen für eine erfolgreiche Übertragung der von RTE angewendeten Methode der Dachziegelprüfung auf Äpfel ist die Anpassung der Sensorik an die geometrische Struktur des Prüfobjektes sowie an die herrschenden Umgebungsbedingungen. Die generelle Anregbarkeit des Produktes muss möglich sein, ohne dieses dadurch zu schädigen. Außerdem müssen die Veränderungen in der Gewebestruktur eine akustische Relevanz besitzen. Die **Abbildungen 3** und **4** zeigen exemplarisch das Resonanzverhalten eines für 4 Wochen bei 20 °C und einer Luftfeuchtigkeit von 95 % gelagerten Apfels im Vergleich zum frischen Apfel. Die Verschiebungen einzelner charakteristischer Frequenzen im Leistungsspektrum (**Abbildung 3**) sowie Unterschiede im Spektrogramm (**Abbildung 4**) zeigen, dass die Voraussetzungen für die Übertragung des Verfahrens gegeben sind.

Abbildung 2



Funktionsstruktur eines akustischen Prüfsystems  
 Fig. 2: Structure of an acoustic inspection system

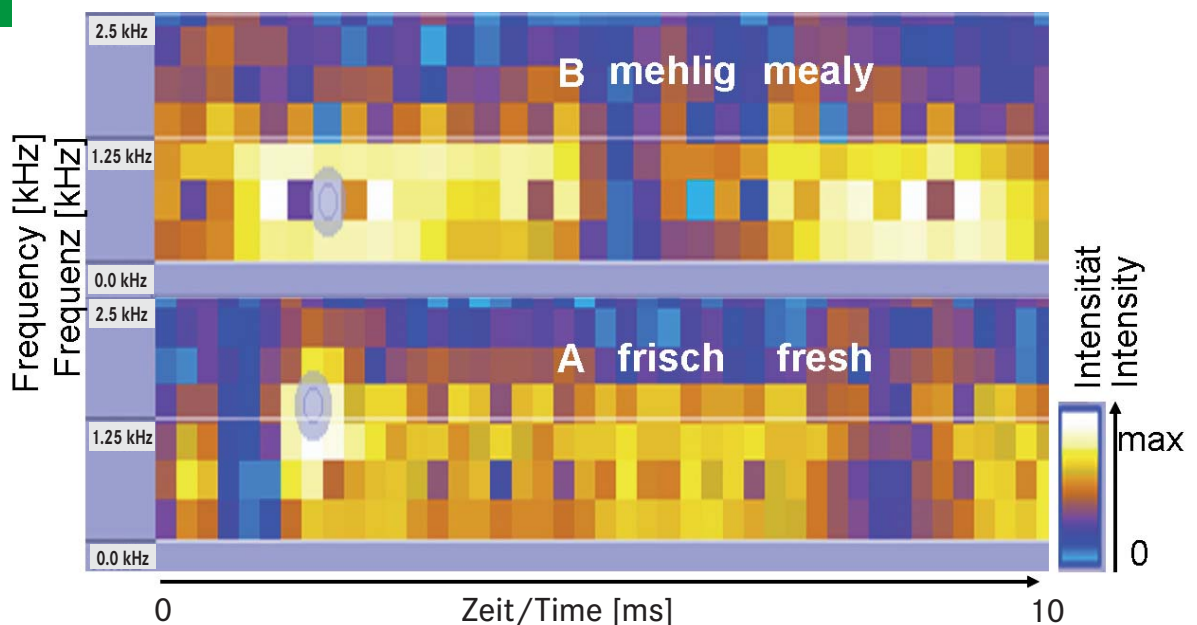
Abb. 3



Leistungsspektrum eines Apfels zu Beginn (links) und nach (rechts) einer vierwöchigen Lagerung (20 °C, RH 95 %)

Fig. 3: Power spectra of an apple before (left) and after a storage period of four weeks (20 °C, RH 95 %)

Abb. 4



Spektrogramm eines Apfels zu Beginn (B) und nach (A) einer vierwöchigen Lagerung (20 °C, RH 95 %)

Fig. 4: Spectrogram of an apple before (B) and after a storage period of four weeks (20 °C, RH 95 %)

### Schlussfolgerungen

Die akustische Resonanzanalyse ist ein volumenorientiertes, qualitatives Verfahren, das den Ist-Schwingungszustand mit hinterlegten Soll-Schwingungszuständen vergleicht. Mithilfe umfangreicher mathematischer Verfahren wird bei der Analyse des charakteristischen Schwingungsverhaltens des Prüfobjektes nicht nur das Vorhandensein oder das Verändern einzelner Frequenzen im Leistungsspektrum geprüft, sondern auch das zeitliche Verhalten analysiert. Veränderungen in der Gewebestruktur sind durch das verwendete Verfahren detektierbar. Inwiefern dies genügt, um eine ausreichend gute Klassierung im laufenden Prozess vornehmen zu können, muss zukünftig geprüft werden.

### Literatur

- Bücher sind durch ● gekennzeichnet
- [1] Vervaeke, F.; Chen, H. and De Baerdemaeker, J.: Applying the acoustic impulse response technique to determine the time for harvest and storage of the apple. *Int. Agrophysics* 8 (1994), pp. 475-483
  - [2] Liljedahl, Louis A. and Abbott, J. A.: Changes in sonic resonance of ‚Delicious‘ and ‚Golden Delocious‘ apples undergoing accelerated ripening. *Transactions of the ASAE* 37 (1994), vol. 3, pp. 907-912

- [3] Abbott J. A.; Massie, D. R.; Upchurch, B. L. and Hruschka, W. R.: Nondestructive sonic firmness measurement of apples. *ASAE* 38 (1995), vol. 5, pp. 1461-1466
- [4] ● Hertlin, I.: *Akustische Resonanzanalyse Band 5*. Castell-Verlag GmbH, Wuppertal, 2003
- [5] Kiefer, M.: Das absolute Gehör. *Akustische Prüftechnik in der Fertigung: Herausforderungen und Lösungen*. *MessTec & Automation* 4 (2006), S. 13-16

### Autoren

**Dipl.-Ing. Julia Foerster** ist Doktorandin und **Dr. Schlüter** ist Mitarbeiter der Abteilung „Technik im Gartenbau“ (Leitung: **Dr. Martin Geyer**) am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: jfoerster@atb-potsdam.de

**Dipl.-Physiker Peter Fey** ist Mitarbeiter und **Dipl.-Inform. (FH) Michael Kiefer** ist Management consultant der RTE Akustik + Prüftechnik GmbH in Pfinztal.

### 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