

**Neuartige Multikontakt-Detektion als Basis eines innovativen
hybriden Systems zur automatischen Erkennung von partikulären,
festen Fremdkörpern in abgefüllten, fließfähigen, nicht-stückigen
Lebensmitteln am Beispiel von Produkten ausgewählter
rheologischer Konstitution**

**DEVELOPMENT OF A HYBRID SYSTEM FOR AUTOMATIC RECOGNITION OF
PARTICULATE FOREIGN MATTER IN FILLED FOOD ON THE BASIS OF
MULTI-CONTACT EXCITATION**

A. Kasprzyk¹, J. Forstner¹, R. Benning¹, S. Bach², J.-P. Majschak² and A. Delgado¹,

¹: Institute of Fluid Mechanics, Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany; ²: Fraunhofer Applications Center for Processing Machinery and Packaging Technology, Dresden, Germany

Behälterbeschleunigung, Multikontakt, Piezosignalgeber, Laserdetektion, KNN

Bin Acceleration, Multicontact, Piezo System, Laser-Based Detection, ANN

Zusammenfassung

Für die Erkennung von partikulären, festen Fremdkörpern in Behältnissen, die mit Lebensmitteln gefüllt sind, ist ein zuverlässiges Verfahren nötig, da diese erhebliche Nachteile und Risiken, sowohl für den Verbraucher, als auch für den Hersteller (Produkthaftung des Abfüllbetriebs), bergen können. Dazu wird derzeit im Rahmen eines Forschungsprojekts ein Verfahren zur Fremdkörpererkennung entwickelt. Dieses Verfahren basiert auf einer Schwingungsanregung der Behältnisse durch ein Schocksignal. Die Signalerfassung erfolgt zunächst durch ein Piezoelement, die Klassifizierung der Multikontaktantwort mittels Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN). Zu einem späteren Zeitpunkt sollen die mittels des Piezosignals erhaltenen Resultate durch laserbasierte Detektion verifiziert werden.

Einleitung

Die Anwesenheit von Fremdkörpern in mit Lebensmitteln gefüllten Behältnissen stellt für Hersteller/Abfüller sowie Zulieferer und Handel in der einschlägigen Wirtschaft ein überaus großes Problem dar. Außer Imageschäden müssen die durch die Produkthaftung entstehenden Risiken – insbesondere Personenschäden – und daraus folgende Regressforderungen sowie mögliche Auslistungen in Betracht gezogen werden.

Im Jahr 2003 wurden von den Glasherstellern etwa 17,2 Mrd. Verpackungsgläser abgesetzt, davon entfielen 5 Mrd. auf Konserven- und Verpackungsgläser für Nahrungsmittel sowie etwa 9,4 Mrd. auf Getränkebehältnisse. Diese Zahlen dokumentieren eindrucksvoll die enorme Bedeutung der mit dem Fortschritt in der automatisierten Erkennung von Fremdkörpern verbundenen wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Problemstellung.

In der Wirtschaft finden bisher zu einem großen Anteil optische Systeme mit anschließender Bildauswertung Verwendung. Neben den hohen Kosten solcher Systeme stellt die Beschränkung auf durchsichtige Lebensmittel einen erheblichen Nachteil dar. Dem Einsatz von Metalldetektoren

obliegt im Unterschied hierzu die Einschränkung einer reinen Erkennung metallischer Fremdkörper. Darüber hinaus dienen noch Systeme auf der Basis von Röntgendetektoren und anschließender Bildauswertung der Fremdkörperdetektion. Diese werden aus Kostengründen selten eingesetzt, da hier zusätzlich zu den hohen Investitionskosten in der Regel die Notwendigkeit einer zusätzlichen Mitarbeiterqualifikation besteht, um gesetzlichen Sicherheitsanforderungen zu entsprechen. Auch erfordern diese Systeme in der Regel Kenntnis über den potentiellen Fremdkörper, um Kalibrierung und Feineinstellungen vorzunehmen. Die Kombination mehrerer Systeme erhöht zwar die Sicherheit, führt jedoch auch zu höheren finanziellen Aufwendungen.

Die vorliegende Arbeit zielt auf solche feste, partikuläre Festkörper und solche Lebensmittelmatrizes ab, welche sich für die weit verbreiteten optischen Detektionssysteme als kaum zugänglich erweisen. Hierunter zählen insbesondere die mit hohem Risiko für den Endkunden verbundenen Fälle der Glasscherbe im Glasbehälter oder im opaken Lebensmittel. Es soll dabei ein Diagnosesystem für Fremdkörper entstehen, welches einen technischen Mehrnutzen erzielt, der sich aber zugleich auch als wirtschaftlicher Vorteil erweist. Dieser liegt dann vor, wenn er zum Verzicht auf teurere Sensorsysteme führt und das Vertrauen der Kunden in die Produkte eines Unternehmens stärkt.

Das angestrebte Forschungsziel besteht in der Schaffung der Grundlage eines automatisierbaren, lernfähigen und daher adaptierbaren Erkennungssystems für partikuläre feste Fremdkörper mit einer typischen Abmessung > 1 mm in mit einem nicht-stückigen, transparenten oder opaken Lebensmittel ausgewählter rheologischer Konstitution gefüllten Behältern beliebiger optischer Zugänglichkeit, basierend auf einer „anregungsgeführten“ Detektion von mechanisch provozierten Multikontaktsignalen und Auswertung mittels eines hybriden Algorithmus. Das angestrebte Einsatzspektrum betrifft die wirtschaftliche Produktion von Bier, Mineralwasser, Säften, Speiseölen, Milch, Joghurt, Spirituosen, Sirupen, Ketchup.

Dabei stellt sich aus wirtschaftlichen Überlegungen das weitere Ziel einer einfachen und günstigen Integration des zu entwickelnden Systems in bereits bestehende Anlagen. Abbildung 1 gibt einen Überblick über den vorgesehenen Ablauf der Fremdkörperdetektion.



Abb. 1: Schematischer Ablauf der Fremdkörpererkennung und zu lösende Fragestellung

Methodischer Ansatz

Die interdisziplinäre Thematik des vorliegenden Projekts erfordert die Entwicklung der Methoden der technischen Sensorik, der mathematischen Modellierung inkl. Simulation und der informationstechnologischen Auswertung sowie die Überführung des Messprinzips und dessen praxisnahe Erprobung. Die wissenschaftliche Herausforderung besteht vor allem darin, die sensible Messaufgabe unter Praxisbedingungen durchzuführen. Dazu wird eine iterative

Lösungsfindung in Hinblick auf die Auswahl des Anregungs- und Messprinzips notwendig. Der gewählte Lösungsweg zum Erreichen der formulierten Ziele gliedert sich wie folgt:

- Numerische Simulationen zum Training der KNN und zur Konzeption der experimentellen Verfahrensparameter (numerische Daten für Gläser mit Lebensmitteln, ohne Fremdkörper, stehen zur Verfügung)
- Effiziente Fremdkörperdetektion in Behältnissen mittels Auswertung von Multikontaktspektren (Systematischer Nachweis der Funktionsfähigkeit des Messprinzips im Labormaßstab)
- Neuronnumerische Klassifizierung der Multikontaktantwort (Erarbeitung der Datenvorverarbeitung, Auswertung von Frequenzspektren mit KNN)
- Integrationsfähigkeit des Systems in bestehende Abfüllanlagen (Nachweis der Funktionsfähigkeit unter Prozessbedingungen)

Material und Methoden

Die zunächst untersuchten Modelllebensmittel sind Wasser und Speiseöl. Wasser hat bei 20°C eine Viskosität von 1,0 mPas und eine Dichte von 1000 kg/m³. Das verwendete Speiseöl besteht aus gesättigten und ungesättigten Fettsäuren. Die Viskosität liegt bei 80,8 mPas.

Der derzeit eingesetzte Fremdkörper ist eine Glasscherbe mit den Abmessungen 15 * 16 mm. Das Glas hat eine Viskosität von 10¹⁸ – 10²⁰ mPas, eine Dichte von 2,5 g/m³ sowie einen Längenausdehnungskoeffizienten von 9,0 * 10⁻⁶ /K.

Das verwendete Behältnis ist eine Mehrweg-Glasflasche mit einem Flüssigkeitsinhalt von 520 ml. Des Weiteren hat diese eine Höhe von 258,5 mm, einen Durchmesser von 67,5 mm und ein Gewicht von 380 g.

Wie in Abbildung 2 ersichtlich, wird das zu untersuchende Behältnis mittels einer speziellen Halterung fest am Flaschenhals eingespannt und im unteren Drittel des Flaschenbauches angeregt.

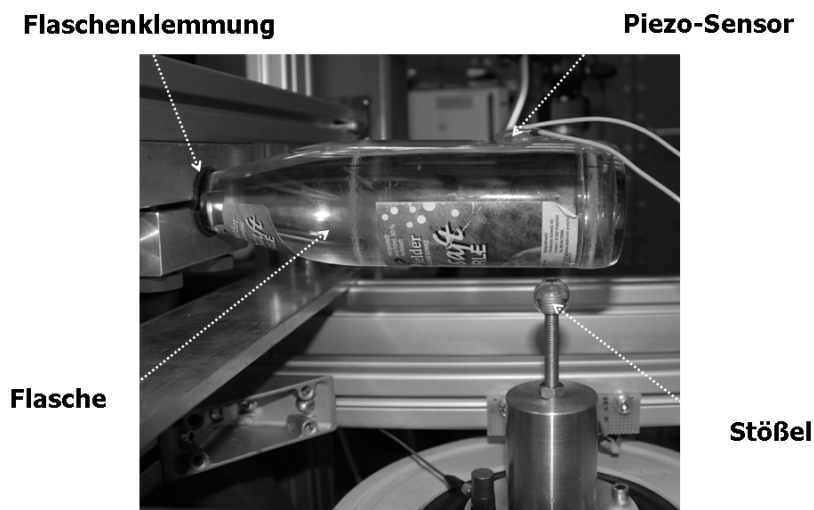


Abb. 2: Experimenteller Versuchsaufbau

Die Krafteinleitung erfolgt durch ein Schocksignal mit einer Dauer von ca. 10 ms und mit einer Beschleunigung von 300 bis 350 m/s². Ein kugelförmiger Stößel überträgt die Kraft auf eine Fläche von circa 1 mm².

Ein auf das Behältnis aufgeklebtes Piezoelement (Abbildung 3) dient der Signalgewinnung (Erfassung der Multikontaktantwort).



Abb. 3: Piezo-Sensor

Das Piezoelement besteht aus einer Ms/Keramik, hat einen Durchmesser von 35 mm, eine Dicke von 1,12 mm und eine Impedanz von 200 Ω.

Die durch die mechanische Krafteinwirkung vom Piezoelement erzeugte elektrische Spannung kann mittels einer Oszillograph-Software dargestellt und ausgewertet werden. Die Bedienoberfläche der dazu verwendeten Software ist in Abbildung 4 ersichtlich.

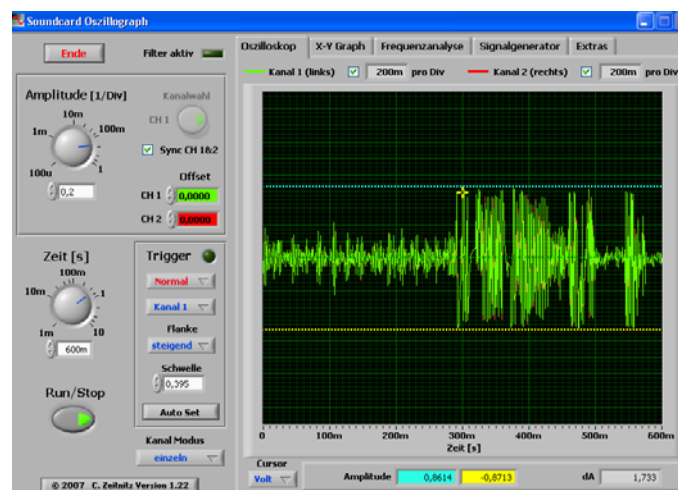


Abb. 4: Bedienoberfläche der Oszillograph-Software

Numerische Simulation

Die numerischen Simulationen dienen sowohl der Bereitstellung von Daten zum Training der KNN als auch zur Erarbeitung der Anforderungen an die Versuchsanlage und der Versuchsdurchführung. Der neuronumerische Ansatz beruht auf der synergetischen Nutzung von experimentellen und numerischen Daten, um das hohe Prädiktionspotential von KNN voll auszuschöpfen. Hierbei erweist sich die numerische Simulation als unabdingbar, da (a) zur systematischen und effizienten Gestaltung von experimentellen Untersuchungen sich spezifische Informationen über das Verhalten des Lebensmittel-Fremdkörper-Verpackungs-Systems (L-F-V) als unverzichtbar darstellen, (b) experimentelle Untersuchungen einen überaus hohen Aufwand bereiten und darüber hinaus keine angemessene Grundlage für die hier angestrebte online Parametrierung des Systems an neue Verpackungen und die Fernwartung bilden und (c) die denkbare Alternative eines Trainings mit reinen mathematisch-analytischen Daten an der Komplexität der zur Diagnose notwendigen L-F-V-Wechselwirkungen scheitert. Die numerischen

Simulationen erfolgen mittels der Software ANSYS CFX. Hierbei werden Modelle von Eurobierflaschen, sowie der GDB-Normbrunnenflasche untersucht.

Resultate der experimentellen Realisierung

Bei den bisher durchgeführten Versuchen hat sich für einen Prüfzyklus von 200 ms ein unterschiedliches Abklingverhalten herauskristallisiert. Es wurden die piezo-elektrischen Multikontaktantworten einer Glasscherbe in Wasser und Speiseöl aufgenommen und ausgewertet. Die dabei gewonnenen Signalverläufe sind in den Abbildungen 5 und 6 dargestellt. Zur exakteren Evaluierung der Signalverläufe ist weiterhin eine genaue Frequenzanalyse nötig.

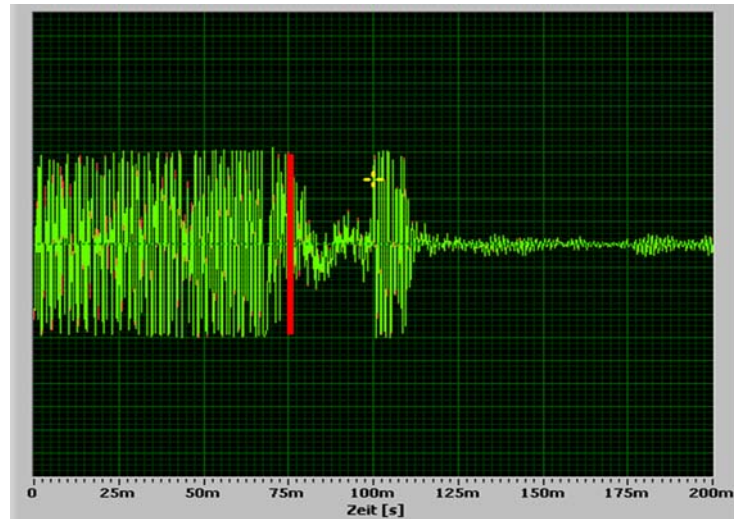


Abb. 5: Signalverlauf Behältnis ohne Fremdkörper (Wasser)

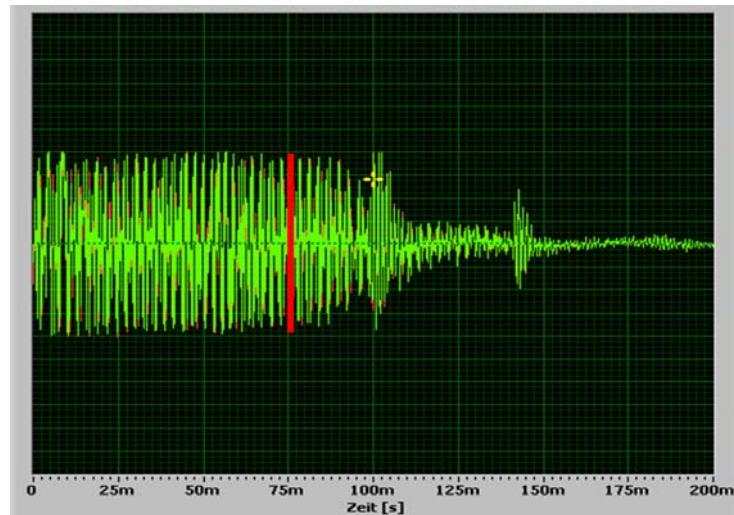


Abb. 6: Signalverlauf Behältnis mit Fremdkörper (Wasser)

Weiterer Projektverlauf

Zur Sicherstellung konstanter Ergebnisse, sind weitere numerische Simulationen nötig. Mit Hilfe der dabei erhaltenen Daten kann eine endgültige Position für die Einleitung des Schocksignals festgelegt werden. Diese dient als Grundlage für eine Weiterentwicklung der Signalgewinnung und Signalverarbeitung.

Die Klassifizierung der Multikontaktantwort hinsichtlich des Vorliegens eines Fremdkörpers erfolgt mittels KNN unter Nutzung eines selbst entwickelten Codes, der das informationstechnologische Management experimenteller und numerischer Daten erlaubt. Der entscheidende Schritt der notwendigen Datenvorverarbeitung reduziert nicht nur die Komplexität der Eingangsdaten, sondern leistet auch bereits in diesem Schritt die Extraktion wesentlicher Informationen aus den zur Verfügung stehenden Daten und vereinfacht somit die Klassifizierung durch das KNN auf effiziente Weise. Methodisch beinhaltet dieser Schritt insbesondere die Transformation des frequenz aufgelösten Antwortsignals auf diskrete Signale durch Integration über kleine Frequenzbänder, vgl. auch [1, 2]. Zur Verifizierung der gewonnenen Resultate soll zu einem späteren Zeitpunkt eine laserbasierte Auswertung durchgeführt werden.

Dabei entsteht ein „Fingerprint“ des Fremdkörpers, welcher gemäß den bisher gesammelten Erfahrungen mit diesem Algorithmus enorme Detektions- und Differenzierungsmöglichkeiten bietet. Dennoch zielt die vorzunehmende Klassifikation im Sinne des Vorkommens eines Fremdkörpers zunächst lediglich auf die beiden Klassen „kein Fremdkörper“ oder „Fremdkörper vorhanden“ ab.

Die Integration der zu entwickelnden Technologie erfordert zunächst die Erarbeitung von anwendungsspezifischen Randbedingungen, wie die Schwingungsentkopplung. Die Realisierung der Detektionstechnik bedarf der technischen Umsetzung verschiedener Teilfunktionen. Besonderes Augenmerk kommt der Fremdkörperseparation an der Behälterwand und der vom Gesamtprozess entkoppelten Schwingungserregung zu. Diesem Schritt folgen die konstruktive Realisierung einer prädestinierten Variante und die praktische Überprüfung ihrer Einsatzfähigkeit.

Dankesworte

Dieses Vorhaben wurde aus den Mitteln der industriellen Gemeinschaftsforschung (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) via AiF über den Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI) gefördert. AiF-Projekt Nr.: AiF-FV 264 ZBG.

Literatur

1 Zacharias, J., Hartmann, C., Delgado, A.: Application of Neuro-Numerics for the damage recognition on crates of beverages. *Neural Network World* 12 (6) (2002) 621-633.

2 Zacharias, J., Hartmann, C., Delgado, A.: Damage detection on crates of beverages by artificial neural networks trained with finite-element data. *Comp. Methods Appl. Mech. Engrg.* 193 (2004) 561-574.