

**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**

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstelle I:</b>	Universität Erlangen-Nürnberg Department für Chemie- und Bioingenieurwesen Lehrstuhl für Strömungsmechanik Prof. Dr. A. Delgado/Dr. R. Benning
<b>Forschungsstelle II:</b>	Fraunhofer-Anwendungszentrum für Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik, Dresden Prof. Dr. J.-P. Majschak/Dipl.-Ing. M. Mauermann
<b>Industriegruppen:</b>	Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. (Wifö), Berlin Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM), Frankfurt VDMA Fachverband Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen, Frankfurt
	Projektkoordinatorin: Dr. E. Hinzmann Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. (Wifö), Berlin
<b>Laufzeit:</b>	2007 – 2009
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 407.100,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

**Ausgangssituation:**

Die Anwesenheit von Fremdkörpern in mit Lebensmitteln gefüllten Behältnissen stellt für Hersteller und 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 und 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 Lebensmittel sowie etwa 9,4 Mrd. auf Getränkebehältnisse. Diese Zahlen illustrieren den erforderlichen Aufwand, um jedes einzelne Glas zu überprüfen und 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 Kenntnisse über den potentiellen Fremdkörper, um eine Kalibrierung sowie Feineinstellungen vornehmen zu können. Die Kombination mehrerer Systeme erhöht zwar die Sicherheit, führt jedoch auch zu höheren finanziellen Aufwendungen.

Angesichts dieser Problemstellung gebot es sich daher, sich auf solche feste, partikuläre Festkörper und solche Lebensmittelmatrizes zu fokussieren, welche sich für die weit verbreiteten optischen Detektionsysteme schlichtweg als nicht zugänglich erweisen. Hierunter zählen insbesondere die mit hohem Risiko für den Endkunden verbundenen Fälle der Glasscherbe im Glasbehälter oder im opaken Lebensmittel.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die Grundlage für ein automatisierbares Erkennungssystem für partikuläre feste Fremdkörper mit einer charakteristischen Abmessung  $> 1$  mm in mit flüssigen Lebensmitteln gefüllten Behältern zu schaffen, wobei der Fokus auf Glasscherben in Glasbehältnissen lag. Die Diagnose basiert auf der automatischen Aufnahme und Analyse von Multikontakt-Schwingungssignalen nach mechanischer Anregung und Auswertung mittels hybridem Algorithmus. Aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus sollte dabei ein Diagnosesystem für Fremdkörper entstehen, welches einen technischen Mehrnutzen erzielt und zugleich einen wirtschaftlichen Vorteil beinhaltet. Dieser liegt dann vor, wenn er zum Verzicht auf teurere Sensorsysteme führt und das Vertrauen der Kunden in die Produkte eines Unternehmens stärkt.

#### Forschungsergebnis:

Als Behältnisse wurden für die durchgeführten Untersuchungen 0,5-Liter-Flaschen genutzt, wie sie für Bier bzw. alkoholfreie Getränke verwendet werden. Für die numerischen Simulationen mittels der Finiten-Elemente-Methode (Simulationssoftware ANSYS CFX) wurde beispielhaft eine mit Wasser gefüllte Flasche gewählt, um zu untersuchen, ob sich zur Positionierung eine translatorische oder eine rotatorische Beschleunigung als besser geeignet erweist. Als Fremdkörper wurden im Wesentlichen sphärische Glaspartikel mit Durchmessern von 0,5 mm, 1,0 mm sowie 1,5 mm betrachtet. Daneben wurden erste theoretische Untersuchungen mit PET-Partikeln, aber auch mit Olivenöl, durchgeführt.

Die Eigenschaften der eingesetzten Versuchsmethoden basieren auf den Stoffdaten von Wasser, Öl und Trinkjogurt. Es wurden Beschleunigungen zwischen 10 und 60  $m/s^2$  (translatorisch) bzw. Umdrehungszahlen zwischen 400 und 1.200  $min^{-1}$  (rotatorisch) festgelegt, wobei als Startposition der Fremdkörper nach Rücksprache mit Industrievertretern der Flaschenboden angenommen wurde. Es konnte gezeigt werden, dass in Hinblick auf die Integration in eine industrielle Abfüllanlage u.a. aufgrund des notwendigen Platzbedarfs für eine lineare Beschleunigungseinrichtung die Alternative der Rotation bevorzugt werden sollte. Hinsichtlich der Umdrehungszahl für diese zweite Alternative zeigte sich, dass diese möglichst 600  $min^{-1}$  überschreiten sollte, um eine sichere Positionierung an der Wand zu gewährleisten.

Die aus den Simulationen erhaltenen Partikelbahnen für unterschiedliche Parameter konnten weiterhin die Anbringungsorte des Piezo-Sensors zur Aufnahme der Antwortsignale einschränken. Die darauf aufbauenden experimentellen Untersuchungen wurden zur Konzeption und Realisierung eines Funktionsmusters genutzt, das sich einfach in bereits bestehende Anlagen integrieren lässt. Das entwickelte Konzept beruht auf einer Implementierung der Fremdkörperdetektion zwischen der Füll- und Verschleißmaschine und der Etikettierung. Als Beschleunigungsprinzip wurde eine Rotation gewählt, die sich aus Gründen der technischen Umsetzung, z.B. hinsichtlich der Fixierung des Prüflings und der Sicherstellung des Kontakts zwischen Piezo-Sensor und Prüfling, sowie des Platzbedarfs wesentlich einfacher umsetzen lässt.

Um sicherzustellen, dass das entwickelte Versuchsprinzip in möglichst einfacher Weise industriell umgesetzt werden kann, wurde bereits für den Aufbau des Funktionsmusters auf industriell übliche Standardkomponenten zurückgegriffen. Da der Versuchsbau auf einem Direktantrieb der Flasche durch einen Servomotor basiert, kann eine Variation der Versuchsparameter, wie Drehzahl, Bewegungsdauer, Beschleunigungsrate und Art der Flaschenfixierung, auf einfache Weise erfolgen. Letzteres wird realisiert, indem die zu testende Flasche von oben festgehalten und mit ausreichendem Druck auf einen Gummiteiler gepresst wird. Dieser überträgt einerseits die Beschleunigung vom Motor auf die Flasche und dient andererseits der Befestigung eines aufgebrauchten Piezo-Sensors. Zudem kann durch die Verwendung von Gummioberflächen eine Verminderung des Schlupfs von Flaschen und ein

Antrieb bei der Bewegung erreicht werden. Durch die Verstellbarkeit der oberen Flaschenzentrierung und der federnden Lagerung des Bodenteils kann die Einspannkraft definiert eingestellt werden. Letzteres bewirkt zugleich eine vergleichsweise einfache Realisierung der notwendigen Entkopplung gegenüber von außen einwirkenden Schwingungen. Die Signalaufnahme durch den Piezo-Sensor erfolgt dabei ausschließlich über dem Boden der Flasche. Die Datenübertragung sowie die Spannungsversorgung der Elektronik übernimmt ein Präzisions-schleifring-Übertrager. Um eine Verfälschung des Signals auf dem Übertragungsweg zu vermeiden, werden für die Datenübertragung Koaxialkabel verwendet.

Als Fremdkörper der experimentellen Untersuchungen dienten sowohl sphärische Stahlkugeln (Durchmesser 3 mm und 1,5 mm) als auch unsymmetrische Glassplitter mit unterschiedlichsten Abmessungen zwischen 8 mm \* 5 mm \* 3 mm und 1 mm \* 1 mm \* 1 mm. Bei den gewählten Flüssigkeiten handelte es sich um Wasser, Zuckerlösungen mit unterschiedlichen Viskositäten (zwischen 15 mPas und 56 mPas) und Sonnenblumenöl. Die gewählten Umdrehungszahlen lehnten sich an die in industriellen Anlagen üblichen Geschwindigkeiten an und lagen bei 600, 800 und 1.000 U/min.

Nach entsprechender Vorverarbeitung der Signalspektren, wie z.B. durch Hochpassfilterung, Fouriertransformation, Peak-Analyse und anschließender Auswertung auf Basis mathematischer Algorithmen, wie künstlichen neuronalen Netzen, zeigte sich, dass die Erkennungsrate mit zunehmender Viskosität stark von der gewählten Anfangs- bzw. Endbeschleunigung (Abbremsen) abhing. Bei niedrigen Viskositäten, wie sie bei wässrigen Fluiden zu erwarten sind, können Glassplitter mit einer Kantenlänge von 1 mm zuverlässig detektiert werden. Bei einer Umdrehungszahl von 1.000 U/min und einer Abbremsrate von 5.000 U/min pro s können in Öl Glas-splitter mit einer Kantenlänge von ca. 2 mm detektiert werden.

#### **Wirtschaftliche Bedeutung:**

Unternehmen der Getränke- und Lebensmittelindustrie in Deutschland, die in erster Linie als Anwender in Betracht kommen, zählen überwiegend zu den kleinen und mittelständischen Unternehmen. Die Marktsituation zeigt insbesondere für solche Unternehmen eine im Preisdruck

begründete Problematik, die die wirtschaftliche Bedeutung der Entwicklung unterstreicht. Mit den Ergebnissen des Forschungsvorhabens steht dieser Zielgruppe eine Entwicklung zur Verfügung, die nicht nur die Produktqualität steigert, sondern auch das Risiko wirtschaftlicher Schäden aufgrund der aus der Produkthaftung erwachsenden Risiken verringert.

Die Markteinführung des zu entwickelnden Detektionssystems könnte durch Unternehmen erfolgen, die sich im Kerngeschäft mit Maschinen- und Anlagenbau beschäftigen. Insbesondere der Teilbereich der deutschen Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen mit einem Produktionsvolumen von 8,7 Mrd. € (2005) bei 57.500 Beschäftigten in etwa 650 Unternehmen nimmt aufgrund seines Anteils von 26 % am Weltexport (Exportquote: 80 %) eine internationale Spitzenstellung ein. Die Einführung eines innovativen Verfahrens zur effektiven Fremdkörpererkennung bietet diesen Unternehmen die Möglichkeit, diese herausragende Stellung, insbesondere unter Berücksichtigung der derzeitigen Aufwärtstrends, weiter auszubauen. Dies gilt auch für die Hersteller industrieller Messsysteme: In Deutschland sind auf diesem Gebiet etwa 600 - 700 Unternehmen tätig. Ihr Jahresumsatz beträgt etwa 15 Mrd. €. Im erweiterten Bereich der Sensorik sind hochgerechnet etwa 2.000 - 2.500 Firmen tätig. Etwa 250.000 Mitarbeiter erwirtschaften dort rund 18 - 20 Mrd. € pro Jahr.

Gerade für die branchentypischen kleinen und mittelständischen Unternehmen der Lebensmittelindustrie ist die Prävention von immenser wirtschaftlicher Bedeutung, da sich damit einhergehende Imageverluste und Absatzverlagerungen Existenz bedrohend auswirken können. Da zu erwarten ist, dass die entwickelte Methodik prinzipiell auch für ähnliche Produktionsbereiche angewandt werden kann (etwa bei verpackten Pharmazeutika), erscheint eine Ausstrahlung der Ergebnisse auf weitere Felder (Life Sciences, Pharmaindustrie) als sehr wahrscheinlich. Auch eine spätere Serienumsetzung der Detektionstechnologie, die vorrangig von Maschinen- und Messgeräteherstellern vorgenommen werden könnte, stellt ein wirtschaftliches Potential dar.

**Publikationen (Auswahl):**

1. FEI-Schlussbericht 2010.
2. Kasprzyk, A., Forstner, J., Benning, R., Mauermann, M., Majschak, J.-P. und Delgado A.: Neuartige Multikontakt-Detektion zur automatischen Erkennung von partikulären, festen Fremdkörpern in abgefüllten Lebensmitteln. Der Lebensmittelbrief - Ernährung aktuell 18-19 (2009).
3. Benning, R., Forstner, J., Hu, M., Groß, F., Mauermann, M., Majschak, J.-P., Franke, S., Vogelpohl, H. und Delgado A.: Vibrationsanalyse zur Zustandserkennung von Gütern in der Lebensmittelindustrie. Tagungsband VVD 2009 - Verarbeitungsmaschinen und Verpackungstechnik, 19.-20.03.2009, Dresden, 141-153 (2009).

**Weiteres Informationsmaterial:**

Universität Erlangen-Nürnberg  
Department für Chemie- und Bioingenieurwesen  
Lehrstuhl für Strömungsmechanik  
Cauerstrasse 4, 91058 Erlangen  
Tel.: 09131/85 29500, Fax: 09131/85 29503  
E-Mail: antonio.delgado@lstm.uni-erlangen.de

Fraunhofer-Anwendungszentrum für  
Verarbeitungsmaschinen und Verpackungs-  
technik  
Heidelberger Str. 20, 01189 Dresden  
Tel.: 0351/436 14-30, Fax: 0351/436 14-59  
E-Mail: corinna.haatz@avv.fraunhofer.de

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn  
Tel.: 0228/372031, Fax: 0228/376150  
E-Mail: fei@fei-bonn.de

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via:

