

## Automatische Selektion von Mehrweggütern der Lebensmittel- und Getränkeindustrie mittels Neuronumerik

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstelle I:</b>	Technische Universität München Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozessautomation Prof. Dr. A. Delgado*/Dipl.-Ing. M. Schmidt/Dr. C. Eder
<b>Forschungsstelle II:</b>	Technische Universität München Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik Prof. Dr. H.-C. Langowski/Prof. Dr. H. Vogelpohl
<b>Industriegruppen:</b>	Wissenschaftsförderung der Dt. Brauwirtschaft e.V., Berlin Verband Deutscher Mineralbrunnen e.V., Bonn Forschungskuratorium Maschinenbau e.V., Frankfurt
<b>Projektkoordinator:</b>	Dr. E. Hinzmann, Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V., Berlin
<b>Laufzeit:</b>	2004 – 2006
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 341.800,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation:

Der Zustand von Flaschen und Stapelkästen (Flaschenkästen, Getränkekästen) der Lebensmittel- und Getränkeindustrie hat entscheidenden Einfluss auf die Sicherheit und die Akzeptanz beim Kunden. Ziel der Produzenten ist es dabei zu vermeiden, dass beschädigte, gealterte und versprödete Flaschen und Kästen in den Handel kommen. Daher hat die Selektion von Mehrweggütern große wirtschaftliche, aber auch technische Bedeutung.

In Anbetracht des mengenmäßigen Umsatzes aller Getränke von zur Zeit 400-500 Mio. Kästen mit ca. 4-5 Mrd. Flaschen im Jahr stellt dies besondere Anforderungen an die Logistik der Unternehmen, da diese Gebinde beim Rücklauf entpackt, sortiert und gereinigt werden müssen. Als problematisch erweist sich dabei auch die wachsende Anzahl von Fremdfabrikaten und teilbaren Stapelkästen. Die Detektion von Schäden, starken Verschmutzungen und Fremdkörpern im Gebinde spart den Mittransport durch die Abfüllung, wodurch Ressourcen und Umwelt geschont sowie Betriebskosten reduziert werden.

Zur Schadenserkennung in der Flaschenabfüllanlage stehen der Industrie optische Schaden-erkennungssysteme und in lokal sehr begrenzten Bereichen Ultraschallsysteme zur Verfügung. Methoden im akustisch hörbaren Bereich werden ausschließlich in der Endkontrolle (Füllstandskontrolle) eingesetzt. Als Schwachpunkte dieser Methoden erweisen sich die mangelnde Erkennung von kleinen und verdeckten Schäden sowie die auf begrenzte Bereiche eines Gebindes beschränkte Analysefähigkeit und die Anfälligkeit gegenüber Störungen aus der Umgebung.

Diese Schwachpunkte kann ein Diagnosesystem auf der Basis der Schwingungsanalyse der Mehrweggutstruktur beseitigen. Bisher werden derartige Diagnosesysteme zur Lösung des Selektionsproblems nicht verwendet. Die Schwingungsanalyse findet gegenwärtig lediglich zur grundlegenden Untersuchung von einzelnen Konstruktionselementen außerhalb des Lebensmittel- und Getränkesektors Einsatz. Auf den Sektoren des Bauingenieurwesens und des Maschinenwesens wird die Schwingungsanalyse häufig zur Beurteilung von Schäden eingesetzt.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, auf der Basis eines von der Forschungsstelle 1 entwickelten Verfahrens zur Detektion und Diagnose von Schäden an Getränkekästen mittels Schwingungsanalyse und neuronumerischen Auswerteverfahren die Grundlagen für eine praxistaugliche Realisierung eines automatischen Selektionssystems für Getränkekästen zu schaffen.

#### **Forschungsergebnis:**

Die Klassifizierung der Mehrweggüter geschieht bei diesem Verfahren erstmalig mithilfe künstlicher neuronaler Netze, deren Parametrierung sowohl mit experimentell als auch mit numerisch gewonnenen Daten erfolgt.

Anhand zweier verschiedener Modellkästen und einer Modellflasche bzw. deren CAD-Zeichnungen, erfolgten in numerischen Simulationen mittels des Finite-Elemente-Verfahrens umfangreiche Analysen. Neben der Modifizierung des Anregungssignals waren auch der Anregungsort, die Signalerfassungsposition sowie die Erprobung einer praxistauglichen Arretierungsvorrichtung Kernpunkte dieser Untersuchungen. Versuche mit impulsartig einwirkenden Schocksignalen und den daraus resultierenden Schockantwortspektren der Prüflinge zeigen deutlich, dass auch hier, analog den Ergebnissen der Vorstudie, Unterschiede in der Kastenformgeometrie, hervorgerufen durch Beschädigungen, Materialalterung, aber auch durch Fremdfabrikate, zu erkennen sind. Die zur Praxistauglichkeit geforderte Taktfrequenz von 1 Hz für den Sortierprozess der Getränkekästen ist damit realisierbar.

Die Planung und konstruktive Umsetzung der Versuchsanlage erfolgte unter Berücksichtigung der Simulationsergebnisse. Ein elektrodynamischer Schwingererzeuger mit Regelungssystem erzeugt über einen Stempel mit einem Durchmesser von 10 cm eine 4 ms dauernde impulsartige Anregung des Prüflings. Dabei erfährt der Stempel eine maximale Beschleunigung von  $400 \text{ m/s}^2$  senkrecht nach oben. Die Erfassung der Schwingung des Prüflings erfolgt optisch und damit berührungslos durch ein Laservibrometer. Um einer Lageänderung des Getränkekastens während der Anregung und Messung vorzubeugen, arretieren kastenformabhängige, pneumatisch gesteuerte Klemmbacken diesen an den Seiten. Die Gesamtdauer für Anregung, Messung, Datenvorverarbeitung und Klassifizierung der Prüflinge beträgt ca. 0,25 s.

Der Einsatz von Künstlichen Neuronalen Netzen zur Klassifizierung der Prüflinge anhand ihres Schwingantwortspektrums brachte sowohl in Labor- als auch in Feldversuchen sehr gute Ergebnisse. Hierzu erstellte Softwarewerkzeuge arbeiten sowohl bei der Datenvorverarbeitung als auch bei der Klassifizierung sehr zuverlässig und tragen in großem Maße zur Realisierung eines automatischen, praxistauglichen Verfahrens bei.

Umfangreiche Tests mit der entwickelten Versuchsanlage an einem Laborversuchspool bestätigten eine Selektionssicherheit von über 99 %. Bei einem ersten Feldversuch in der Abfüllanlage eines Brunnenbetriebes konnten ohne eine spezifische Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten bereits Erkennungsraten von über 92 % erzielt werden. Dies belegt die Tauglichkeit der Methode zur Schadensdetektion unter Praxisbedingungen.

Die abschließende Integration der entwickelten Kasteninspektionsmaschine in eine bestehende Flaschenabfüllanlage erfordert eine kurzzeitige Abkopplung des Prüflings vom Kastenstrom und seine Arretierung. Dies wird durch einen Hebe-Arretierungsmechanismus erreicht. Die Anregung erfolgt durch einen pneumatisch betriebenen Shaker, der neben seiner platzsparenden Bauweise auch die Forderung nach Robustheit erfüllt. Die Registrierung der Zustände erfolgt zu statistischen Zwecken am Computer und zusätzlich für den Benutzer durch eine Anzeige am Bildschirm.

Das ursprünglich für die Getränkekästen entwickelte innovative Selektions- bzw. Detektionsverfahren konnte nach geeigneten Modifikationen des Versuchsaufbaus auch auf Flaschen übertragen werden. Versuche bestätigen, dass sich eine Veränderung der Geometrie - hervorgerufen durch Beschädigungen oder durch Materialabrieb - auf das Schwingverhalten der Flasche auswirkt und somit für eine Klassifizierung der Schäden verwendet werden kann. Auch Simulationsrechnungen mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode belegen dies.

#### **Wirtschaftliche Bedeutung:**

In Deutschland sind Getränke- und Lebensmittelbetriebe überwiegend kleine und mittelständische Unternehmen. Für diese Zielgruppe wurde durch das vorliegende Forschungsvorhaben eine Entwicklung betrieben, die sich dadurch auszeichnet, dass neben der gesteigerten

Produktqualität auch die Herstellungskosten reduziert werden können.

Derzeit befinden sich durch Getränkebetriebe ca. 500 Mio. Mehrwegkästen im Umlauf. Exemplarisch führt der Einsatz verbesserter Detektion bei den Mineralbrunnenbetrieben (92 % KMU, 14.000 Beschäftigte, 200 Mio. umlaufende Kästen) zur Reduzierung der Sortierquote um 0,1 %-Punkte und erspart somit die Erneuerung von 1,2 Mio. unbeschädigten Kästen jährlich. Auch die überwiegend mittelständisch geprägte Brauindustrie mit 1.290 Braustätten in Deutschland (38.000 Beschäftigte, 150 Mio. umlaufende Kästen) ist auf die Effizienz der Mehrwegsortierung angewiesen, weil gerade kleine und mittelständische Braubetriebe ausschließlich in Mehrwegsyste men investieren.

Eine Ausstrahlung der zu erarbeitenden Ergebnisse auf weitere Bereiche des Ernährungsge werbes (Nicht-Getränkeindustrie z. B. Glas- konserven) aber auch des Life Sciences (etwa bei den in Glasbehältnissen verpackten Pharma- zeutika) erscheint durchaus möglich.

#### Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2006.
2. Delgado, A., Langowski, H.- C. und Vogelpohl, H.: Automatische Selektion: Verdeckte Schäden an Mehrwegkästen mittels Schwin- gungsanalyse selektieren. Getränke! Techno- logie & Marketing für die Getränkeindustrie 2, 60-62 (2008).
3. Schmidt, M. Eder, C. und Delgado, A.: De- sign of a pilot set up to sort damaged re- turned empty beverage crates in an auto- matic filling line. Brewing Science May/June, 81-93 (2008).
4. Schmidt, M. Eder, C., Delgado, A., Faehn- drich, P. und Vogelpohl, H.: Neuro-numeric system for real-time damage detection on beverage containers. Brauwelt international 27 (4), 200-203 (2007).
5. Benning, R., Schmidt, M., Eder, C., Faehn- drich, P., Vogelpohl, H. und Delgado, A.: Neuronumerisches System zur Echtzeit- Schadenserkennung bei Getränkegebinden. Herausforderung der Praxis – Impulse für in- novative Forschung. Dokumentation der 64. FEI-Jahrestagung 2006 und der Kölner FoodTec-Tage, 47-72 (2006).

6. Schmidt, M., Eder, C., Delgado, A., Faehn- drich, P. und Vogelpohl, H.: Neuro- numerisches System zur Echtzeit-Schadens- erkennung bei Getränkegebinden. Brauwelt 10, 262-265 (2006).
7. Eder, C., Benning, R. und Delgado, A.: Au- tomatische Schadenserkennung an Geträn- kekästen – Online Detektion defekter Gebin- de mittels Neuronumerik. Brauind. 3, 42-43 (2005).

#### Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozess-  
automation  
Weihenstephaner Steig 23  
85350 Freising-Weihenstephan  
Tel.: 08161/71-3272, Fax: 08161/71-4510  
E-Mail: eder@wzw.tum.de

\*) Prof. Dr. Delgado seit 1.4.2006:  
Universität Erlangen-Nürnberg  
Institut für Chemie- und Bioingenieurwesen  
Lehrstuhl für Strömungsmechanik  
Cauerstraße 4, 91058 Erlangen  
Tel.: 09131/85-29500, Fax: 09131/85-29503  
E-Mail: adelgado@Istm.uni-erlangen.de

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik  
Weihenstephaner Steig 22, 85350 Freising-  
Weihenstephan  
Tel.: 08161/71-3126, Fax: 08161/71-4515  
E-Mail: langowski@wzw.tum.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