

Schadenserkennung bei Glasflaschen durch Schwingungsanalyse
mittels künstlicher neuronaler Netze

J. Forstner¹⁾, R. Benning¹⁾, M. Schmidt²⁾, A. Delgado¹⁾

¹⁾ Lehrstuhl für Strömungsmechanik, Technische Fakultät, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

²⁾ Lehrstuhl für Systemverfahrenstechnik, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, TU München

Vortrag im FA IV der DGG am 12. März 2008 in Würzburg

1. Einführung

Die sichere Detektion von Fehlern und Beschädigungen an neuen und gebrauchten Glasflaschen und -behältern stellt sich als unabdingbar dar. So können Defekte im Laufe der Produktion zu unerwünschten Maschinenstillzeiten führen, z.B. durch Bruch einer Flasche und der Notwendigkeit, Scherben vollständig aus einer Anlage zu entfernen. Letzteres ist umso wichtiger, da Scherben und Splitter, die in abgefüllte Flaschen und auf diese Weise zum Kunden gelangen, dort Verletzungen verursachen können und damit im Rahmen der Produkthaftung finanzielle Folgeschäden nach sich ziehen. Neben rein betriebswirtschaftlichen Erwägungen muss zusätzlich noch der sich daraus ergebende Imageschaden für ein Unternehmen berücksichtigt werden, insbesondere bei vermehrtem Auftreten solcher Schadensfälle.

Der vorliegende Beitrag zeigt methodische Ansätze auf, die bisherige Systeme zur Schadenserkennung synergistisch zu ergänzen oder sogar zu ersetzen vermögen [1, 2].

2. Methodischer Ansatz

Prinzipiell beruhen die beschriebene Vorgehensweisen darauf den zu untersuchenden Gegenstand durch eine definierte Anregung zum Schwingen zu bringen und anschließend das Antwortsignal mittels künstlicher neuronaler Netze (KNN) zu klassifizieren. Dieses Verfahren wurde bereits in der Zustandserkennung von Getränkekästen erfolgreich angewandt. Im Rahmen dieses Vorhabens und einer darauf aufbauenden Diplomarbeit wurden auch erste Erfolg versprechende Untersuchungen zur Schadenserkennung an Mehrwegflaschen durchgeführt. Eine weitere Anwendung der Schwingungsanalyse stellt die Grundlage eines aktuellen Vorhabens zur Erkennung von Fremdkörpern in verschlossenen Lebensmittelbehältnissen dar (AiF 264 ZBG).

Um den Untersuchungsgegenstand definiert anregen zu können, ist derzeit noch eine starre Fixierung nötig. Die Anregung selbst erfolgt durch einen kurzen, definierten Schlag gegen das zu prüfende Objekt. Dieser induziert im Prüfling eine Schwingungsantwort, die von dessen Zustand beeinflusst wird. Unterschiede in der Geometrie, z.B. unterschiedliche Dicken, und vor allem Beschädigungen führen zu detektierbaren Abweichungen im Antwortverhalten.

Bei künstlichen neuronalen Netzen handelt es sich um Algorithmen, die aus Eingangs- und zugehörigen Ausgangsdaten selbständig darin versteckte Zusammenhänge erkennen und erlernen können. Im vorliegenden Fall wurden ausgewählte Amplituden aus der Schwingungsantwort als Eingang gewählt. Als Ausgang soll das KNN nur den Zustand als „intakt“ bzw. „defekt“ angeben. Eine weitere, aber z.B. bezüglich der Schadensart, denkbare Unterteilung wurde nicht angestrebt.

3. Ergebnisse

3.1 Fixierung des Prüflings

Die Fixierung stellt sicher, dass der Prüfling seine Position gegenüber dem anregenden Bauteil und dem Signalaufnehmer nicht verändert und damit die Reproduzierbarkeit der Messung gewährleistet wird. Auch wenn der sichere Halt des Prüflings von großer Bedeutung ist, darf die Schwingung dadurch nur minimal beeinflusst werden.

Für die Ausführung der Fixierung wurden zwei Alternativen untersucht (Abb. 1). Bei der ersten wird die Fixierung der Flasche mit Hilfe von zwei gummibeschichteten Klemmbacken am Flaschenboden realisiert. Bei dem zwei Ansatz wird die Flasche am Flaschenhals durch drei Schrauben, die an ihrer Spitze abgerundet werden, um die Kontaktfläche zur Flasche zu minimieren, gehalten.

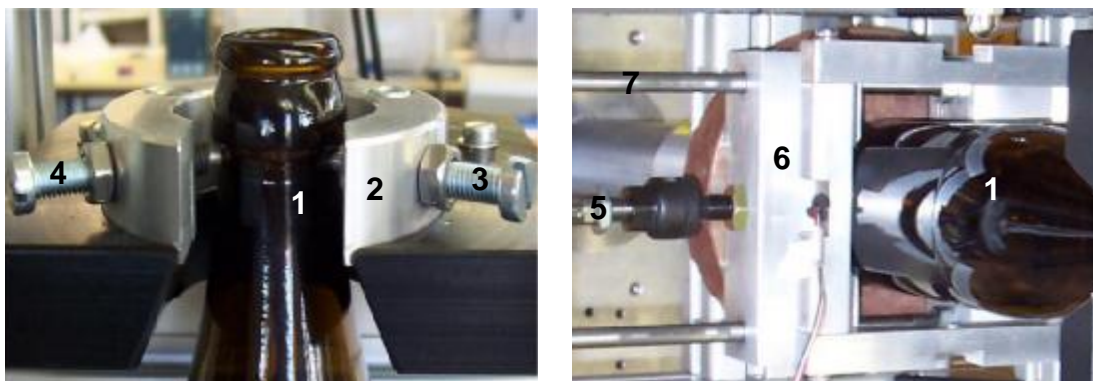


Abb. 1: Untersuchte Methoden der Fixierung. Links: am Flaschenhals (1: Prüfling, 2: Haltering, 3: feste Stellschraube, 4: bewegliche Stellschraube), rechts: am Flaschenboden (1: Prüfling, 5: Kolben mit Kugelgelenk, 6: bewegliche Klemmbacke, 7: Führungsschiene).

Obwohl beim letztgenannten Ansatz die geringere Kontaktfläche als Vorteil anzusehen ist, stehen dem die erschwerte Reproduzierbarkeit der Druckverhältnisse am Flaschenhals sowie die mögliche Beschädigung der Flasche bei zu starkem Anziehen der Schrauben als Nachteile gegenüber. Zudem zeigte sich, dass hier die Schwingungsspektren keine Maxima im Frequenzbereich über 3,5kHz aufweisen. Inwieweit sich eine Fixierung am Flaschenhals für eine automatisierte Anwendung anwenden lässt, müsste Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

3.2 Schwingungsanregung

Die Schwingungsanregung erfolgt einerseits mittels eines Schwingerregers (Shaker), der elektrodynamisch oder pneumatisch angetrieben werden kann, andererseits mittels eines Pendels, bei dem die Kraft der Anregung durch die Auslenkung variiert wird. Als Vorteil des Shakers kann gesehen werden, dass eine Anregung auch für stark beschädigte Flaschen zu realisieren ist, ohne diese zu zerstören. Als Anregungsart bei dem Shaker zeigte sich die Anwendung eines Schocksignals geeigneter im Vergleich zu einer sinusförmigen Anregungsform, da in letzterem Fall eine Dämpfung der Antwort und sogar Sekundärschläge auftreten können.

Als Anregungsorte wurden der Flaschenboden sowie die Seite der Flasche untersucht. Bei der Anregung am Boden ist zu beachten, dass aufgrund der Glasdicke und der nach innen gerichteten Wölbung des Flaschenbodens die Ausbreitung der

Schwingung behindert werden kann. Dieser Effekt tritt bei einer Fixierung am Boden verstärkt in Erscheinung. Bei der Anregung an der Seite, d.h. in der Mitte des zylindrischen Glaskörpers erfolgt zwar formbedingt auch keine gleichmäßige Übertragung des Impulses auf den gesamten Prüfling. Dies wirkt sich jedoch nicht nachteilig auf den Prüfling bzw. die Messung aus.

Abb. 2 gibt schematisch den Versuchsstand zur Anregung von der Seite und von unten wieder. Die Signalaufnahme erfolgte in diesem Fall mittels Mikrofone (3), siehe 3.3. Der Rahmen (1) dient der Befestigung und Positionierung der einzelnen Komponenten des Versuchsstandes, insbesondere der Mikrofone (3), der Arretierungsvorrichtung (4) für den Prüfling (2) und des Druckzylinders (6), auf dem Shakertisch (5).

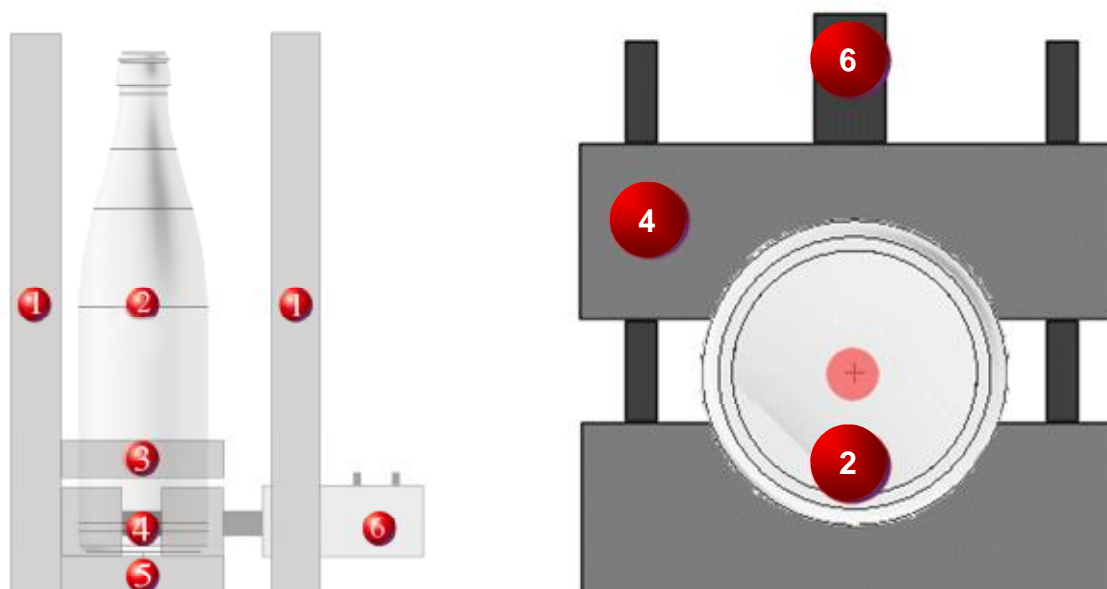


Abb. 2: Schematischer Versuchsaufbau von der Seite (links) und von unten (rechts). 1: Rahmen, 2: Prüfling (mit Anregungspunkt), 3: Mikrofone, 4: Arretierung, 5: Shakertisch, 6: Druckzylinder.

3.3 Schwingungserfassung

Für die Erfassung der aus der Anregung resultierenden Schwingung wurden bislang zwei prinzipiell unterschiedliche Ansätze erprobt, wobei in beiden Fällen die horizontale Schwingungskomponente erfasst wird.

Zum einen wurden zwei sehr empfindliche Mikrofone kleiner Abmessung mit Kugelcharakteristik benutzt. Zum anderen kam ein Laservibrometer zum Einsatz. Als Nachteil der akustischen Messung sind der nur unter erheblichen Aufwand zu realisierende Schutz vor Umgebungseinflüssen sowie das auftretende Hintergrundrauschen zu nennen. Das Laservibrometer weist diese Nachteile nicht auf, da das Signal direkt von der Oberfläche des Prüflings abgegriffen wird.

Mit beiden Erfassungsmethoden weisen die Antwortschwingungen ein Maximum bei einer Frequenz von etwa 3,1kHz auf. Während die Mikrofone zu zusätzlichen aber deutlich weniger ausgeprägten Maxima in den Bereichen von etwa 3,0, 4,0 und 4,3kHz führen, zeigt das Laservibrometer niederfrequente Anteile bis 500Hz. Zudem bleiben die Abweichungen vom Mittelwert im Falle des Vibrometers deutlich geringer.

3.4 Klassifizierung durch künstliche neuronale Netze

Es konnte gezeigt werden, dass sich die Antwortspektren sowohl bei beschädigten, z.B. durch einen Sprung oder ein Loch im Flaschenhals, als auch bei gebrauchten oder im Inneren verunreinigten Flaschen zwar in der Regel von denen intakter Flaschen unterscheiden, siehe beispielhaft Abb. 3, jedoch keine eindeutige Vorhersage über die der Art, z.B. Verschiebung der Peaks oder Peakhöhen, der Veränderung möglich ist. Gerade in solchen Fällen eignen sich KNN hervorragend, da sie es vermögen, Muster in komplexen Signalen zu erkennen.

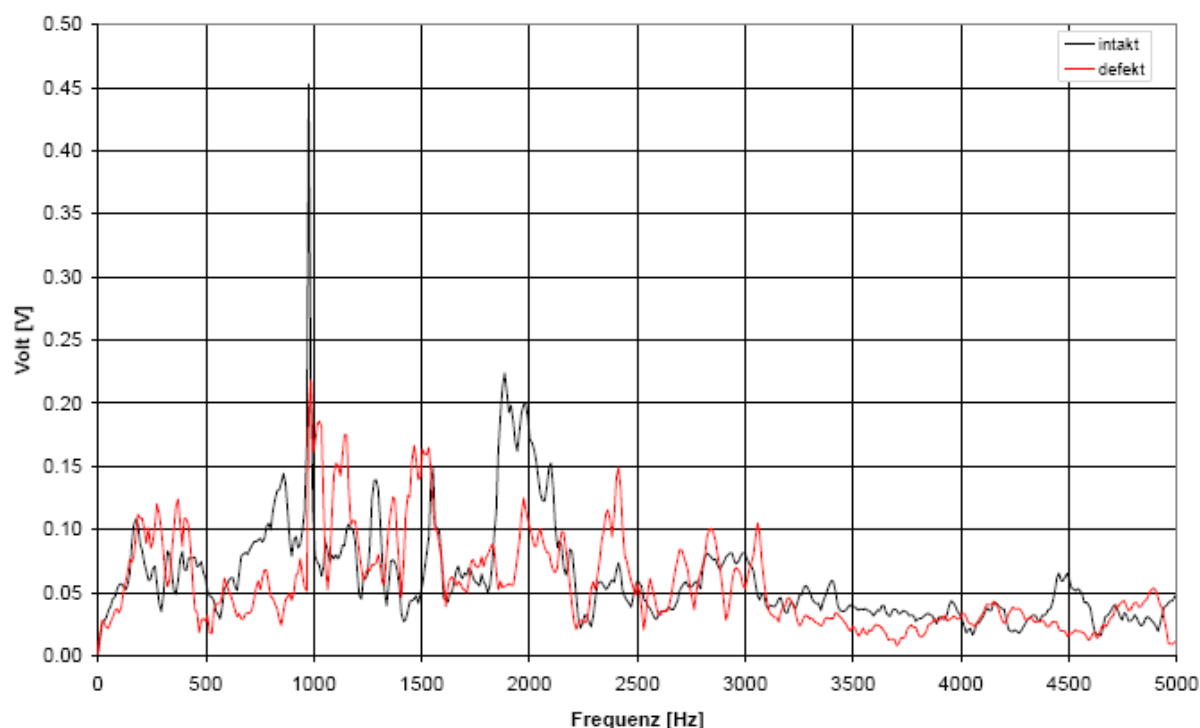


Abb. 3: Vergleich des Spektrums einer intakten Flasche (schwarz) mit dem einer an der Kronkorkenmündung beschädigten Flasche (rot).

In dem in Abb. 3 dargestellten Fall wurden als Antwort Spannungsdaten in Abhängigkeit der Frequenz erhalten. Um die Dimension und damit die Anzahl der notwendigen Eingänge zu reduzieren, wurden nur Frequenzbereiche mit hohen Amplituden berücksichtigt. Dies war z.B. in den Bereichen 1.600 – 2.100Hz sowie 2.900 – 3.600Hz der Fall. Die festgelegten Amplitudenwerte dienten als Eingänge der KNN.

Um einen repräsentativen Trainingspool, bestehende aus intakten und defekten Prüflingen, für die neuronale Netze zur Verfügung zu haben, wurden hüttenneue Flaschen z.T. mit Beschädigungen und Verunreinigungen versehen. Anschließend wurden diese mit den bereits beschriebenen unterschiedlichen Fixierungen, Anregungen und Detektionsarten vermessen. Die Ergebnisse wurden, wie in Punkt 3.2., dargestellt vorverarbeitet, und zum Training bzw. Validierung der KNN genutzt. Das beste Ergebnis konnte mit der Kombination Pendel, Fixierung am Flaschenboden und Mikrofon erhalten werden.

4. Weitere Ansätze

Die Ergebnisse der Klassifizierung und bereits vorhandene Erfahrung legen den Schluss nahe, dass das hohe Potential der Schadenserkennung mittels KNN noch nicht ausgeschöpft werden konnte.

Insbesondere können mittels einer verbesserten Datenvorverarbeitung weitere Informationen aus den Spektren extrahiert werden, die bisher noch nicht genutzt wurden. In einer ähnlichen Anwendung, die auf eine Erkennung von Beschädigungen an Getränkekästen abzielte [1], wurden die Antwortschwingungen mittels eines Laser-vibrometers aufgenommen und als Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Durch eine Fourier-Transformation wird der Frequenzanteil berechnet, d.h. das Resultat stellt die Beschleunigung über der Zeit dar. Nach der Aufteilung dieses Spektrums in 32 äquidistante Klassen erfolgt eine Integration der Fläche unter der Kurve innerhalb dieser Klassen. Dies führt zu einer für die Auswertung vorteilhaften Informationsverdichtung und Datenreduktion. Letztendlich ließ sich mit diesem Vorgehen eine Klassifikationsrate von über 98% erreichen.

Hinsichtlich der Schwingungserfassung erscheinen auch weitere Alternativen anwendbar. So wird in dem bereits angesprochenen Vorhaben zur Fremdkörpererkennung beabsichtigt, Piezokristalle einzusetzen, die direkt mit dem Prüfling in Kontakt gebracht werden. Vorversuche konnten zeigen, dass diese Methode eine sehr hohe Empfindlichkeit aufweist.

5. Zusammenfassung

In dem vorgestellten Beitrag wird eine Methode der Schadenserkennung bei Getränkeflaschen vorgestellt, die bereits bei anderen Gütern, in diesem Fall Mehrwegkästen, erfolgreich, d.h. mit Erkennungsraten über 98%, angewandt werden konnte.

Die Prüflinge werden durch eine mechanische Vorrichtung zum Schwingen angeregt, wobei die damit induzierte Schwingungsantwort vom Zustand der Flasche abhängt. Nach Registrierung des resultierenden Signals mittels optischer oder akustischer Methoden erfolgt nach einer Vorverarbeitung der Daten die Klassifizierung mittels KNN.

Erste durchaus viel versprechende Ergebnisse bedürfen einer weitergehenden Entwicklung, um die für die industrielle Applikation notwendigen Raten zu erreichen. Aufgrund bisher und aktuell durchgeführter Vorhaben erscheint insbesondere die Datenaufbereitung als mögliches Mittel, die Ergebnisse deutlich zu verbessern. Zudem sollten die Methoden der Flaschenfixierung und der Schwingungserfassung weiter untersucht werden auch, um den Durchsatz auf ein in den Unternehmen notwendiges Maß zu erhöhen.

6. Literatur

- [1] Automatische Selektion von Mehrweggütern der Lebensmittel- und Getränkeindustrie mittels Neuronumerik, Schlussbericht AiF-Vorhaben 137/ZN1, 2006.
- [2] Schadenserkennung an Getränkeflaschen mittels Schwingungsanalyse. Diplomarbeit, TU München, 2007.