

Ein hörendes Auge

Lärmreduzierung in Abfüllanlagen

Die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften bei der Lärmentwicklung in Abfüllanlagen ist seit jeher ein Thema für Hersteller wie auch Betreiber von Getränkeabfüllanlagen. Im Rahmen des von der AiF geförderten industriellen Gemeinschaftsprojektes (IGF 16291) wurde an der VLB Berlin ein Messverfahren auf Basis einer akustischen Kamera entwickelt, mit dem das ortsgenaue Lokalisieren von Schallemissionsquellen in Abfüllanlagen erleichtert wird.

Ausgangssituation

Lärmschwerhörigkeit ist die häufigste Berufskrankheit in der Getränkeindustrie. Jahr für Jahr werden im Bereich der Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten mehr als 200 Verdachtsanzeigen für Lärmschwerhörigkeit gemeldet [1]. Über 50 Prozent dieser Anzeigen stammen aus der Getränkebranche. Ursache ist die erhebliche Lärmbelastung des Personals in Getränkeabfüllanlagen. Die Anlagenbetreiber haben deshalb ein berechtigtes Interesse, die Lärmpegel in ihren Abfüllhallen zu reduzieren.

Hierzu drängt auch die geänderte Gesetzeslage mit verschärften Grenzwerten. In der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [5] vom 6. März 2007 wurden ein unterer und ein oberer Auslösewert für den Tages-Lärmexpositionspegel ($L_{EX,8h}$) und den Spitzen-



Abbildung 2: Vorderer Lautsprecher im Fokus der optischen Kamera

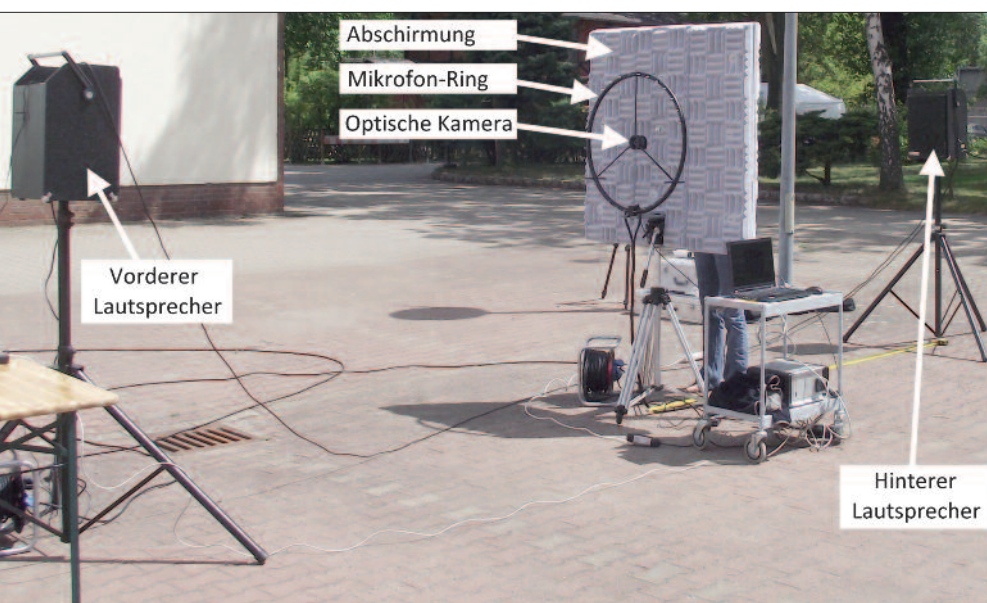


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Überprüfung der Abschirmung

schalldruckpegel ($L_{pC,peak}$) neu definiert. Werden die oberen Auslösewerte $L_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)}$ und $L_{pC,peak} = 137 \text{ dB(C)}$ überschritten, so ist ein Anlagenbetreiber dazu verpflichtet, ein Programm mit technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Verringerung der Lärmexposition aufzulegen.

Viele Abfüllbetriebe sowie der zuliefernde Maschinenbau stehen somit vor der Aufgabe, die Lärmexpositionspegel des Bedienpersonals weiter zu reduzieren. Die Schwierigkeit bei bestehenden Anlagen liegt zunächst darin zu erkennen, wo genau der relevante Lärm in den komplexen Abfüll- und Verpackungsanlagen entsteht.

Die Geräuschmessung an Maschinen erfolgt nach DIN EN ISO 3744 [3] auf einfachen Hüllflächen. Diese werden allerdings der Geometrie von Maschi-

nen in Getränkeabfüllanlagen häufig nicht gerecht. Zudem ist für zielgerichtete Maßnahmen zur Reduzierung der Schallemission eine ortsgenaue Zuordnung der Lärmertstehung notwendig. Diese ist mit den eingesetzten Schallpegelmessgeräten nicht möglich.

Akustische Kamera

Die eingesetzte akustische Kamera besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten: Einem Array-Ring mit 32 Mikrofonen, einer optischen Kamera im Zentrum des Arrays und der Software, mit der die Mikrofonsignale verarbeitet werden. Vereinfacht ausgedrückt werden mit einer solchen akustischen Kamera Schallemissionen aufgenommen und von der Software in unterschiedlichen Farben auf einer Schallkarte dargestellt. Durch Überlagerung des optischen Kamerabildes mit der Schallkarte wird es möglich, den Ursprungsort der Schallemission zu visualisieren.

Die Software bedient sich bei der Berechnung der Schallkarten der Algorithmen des Beamformings, die zum Beispiel von M. Liesegang in [2] beschrieben wurden. Bei den Messungen wird ausgenutzt, dass annähernd ebene Schallwellen, je nach dem, aus welcher Richtung sie kommen, unterschiedlich zeitverzögert auf die 32 Mikrofone des Array-Rings treffen. Sind die Mikrofonpositionen bekannt, können die Laufzeitunterschiede der Schallwellen berechnet, die Signale entsprechend korrigiert und anschließend überlagert werden.

Bei diesem als „Delay and Sum“ bezeichneten Prinzip werden aus derselben Richtung kommende, phasengleiche Signalanteile verstärkt, während Signale aus unterschiedlichen Richtungen abgeschwächt werden. Auf diese Weise entsteht eine akustische Richtungsantenne, deren Signale mittels der zuvor genannten farbigen Schallkarten visualisiert werden.

Die Richtwirkung erlaubt eine genaue Lokalisierung der Schallquellen. Die verwendeten Mikrofone haben jedoch üblicherweise eine omnidirektionale Empfindlichkeit. Dadurch erzeugen Geräusche auf der Rückseite des Mikrofon-Rings ebenfalls Signale auf der Schallkarte, die dann zu Fehlinterpretationen führen können. Aus diesem Grund reagieren Beamforming-Systeme sehr empfindlich auf Hintergrundgeräusche.

Abschirmung

Eine Abfüllanlage mit ihren unzähligen Einzellärmquellen stellt demnach ein denkbar ungünstiges Umfeld für Mes-

sungen mit einer akustischen Kamera dar. Eine der Hauptaufgaben dieses Projektes war es daher, eine Abschirmung zu entwickeln, welche die rückwärtigen Störgeräusche soweit dämmt, dass sie die Geräuschquellen vor der Kamera nicht überlagern und nicht mehr in der Schallkarte erscheinen. Gleichzeitig musste die Abschirmung so klein und leicht wie möglich gehalten werden, um die Mobilität und Flexibilität der akustischen Kamera zu erhalten.

Letztlich hat sich eine doppelte Lage Dämmplatten aus Melaminharzschaumstoff mit einkaschierter Schwertschicht bewährt. Dieses Material kann außer zur Schalldämpfung auch zur

Kontakt:

Dr.-Ing. Georg Wenk

Versuchs- und Lehranstalt
für Brauerei in Berlin (VLB) e.V.,
Forschungsinstitut
für Maschinen- und
Verpackungstechnik (FMV),
Seestraße 13, 13353 Berlin,
E-Mail: wenk@vlb-berlin.org,
Tel.: + 49 (0) 30/4 50 80 - 2 58

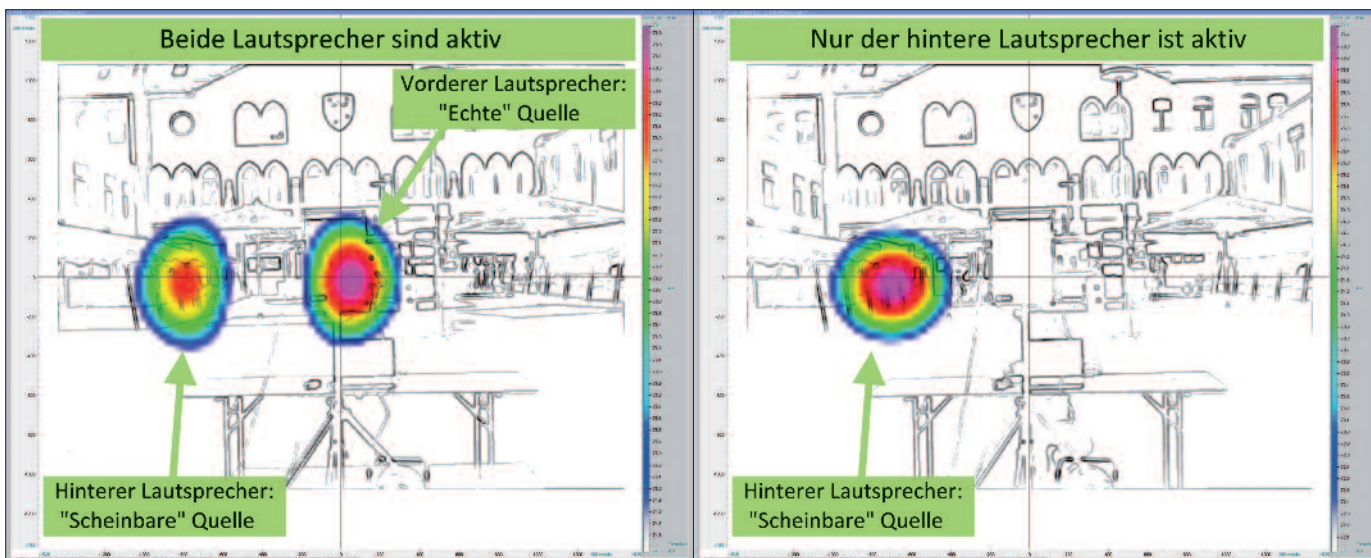


Abbildung 3: Schallkarte ohne Abschirmung

Schalldämmung eingesetzt werden. Die Abschirmung wird zusammen mit dem Mikrofon-Array der akustischen Kamera auf einem fahrbaren Stativ befestigt (siehe Abbildung 1). Der Datenrekorder und die Software sind über einen Kabelstrang mit der akustischen Kamera verbunden und ebenfalls mobil.

Die Qualität der Abschirmung wurde durch einen Versuchsaufbau überprüft, bei dem jeweils eine Lärmquelle vor und hinter dem Mikrofon-Array durch Aktivlautsprecher simuliert wurde (ebenfalls Abbildung 1). Der Array mit der optischen Kamera war auf den vorderen Lautsprecher gerichtet, der im farbigen Originalbild der Kamera (Abbildung 2) in der Bildmitte

zu sehen ist. In den Abbildungen 3 und 4 wurde anstelle des Originalbildes die Konturdarstellung gewählt, da auf diesen Schwarz-Weiß-Bildern die Farben der Schallkarten deutlicher hervortreten. Die Lautsprecher waren um einen Meter versetzt zueinander angeordnet, damit die Lärmquellen in der Schallkarte nicht übereinanderliegen.

Der lauteste Punkt innerhalb einer Schallkarte wird Pink dargestellt. Ausgehend von diesem Punkt verlaufen die Farben von Pink über Rot nach Gelb, Grün, Türkis, Blau bis farblos. Die Ausdehnung dieses Farbverlaufes ist frei wählbar. Der bei den Versuchen mit der Abschirmung gewählte Farbbereich umfasste 4,5 dB. Das bedeutet, dass Orte, deren Wert um 4,5 dB ge-

ringer war als der lauteste Punkt, keine farbige Markierung mehr erhalten. Auf diese Weise lassen sich Lärmquellen anhand der Farbmarkierung präzise in der Schallkarte lokalisieren.

Ohne Abschirmung tauchen auf der Schallkarte, wie erwartet, sowohl der vordere (79,0 dB) als auch der hintere Lautsprecher (78,1 dB) als nahezu gleich starke Lärmquelle in der Schallkarte auf (linkes Bild in Abbildung 3). Wird der vordere Lautsprecher ausgeschaltet, ist nur noch die „scheinbare“ Lärmquelle des hinteren Lautsprechers mit 76,5 dB sichtbar, die sich aufgrund der versetzten Anordnung der Lautsprecher ca. einen Meter weiter links befindet. Die beiden Bilder veranschaulichen deutlich die Notwendigkeit einer geeigneten Abschirmung, da diese Schallkarten unweigerlich zu Fehleinschätzungen bei der Lokalisierung von Lärmquellen führen würden.

Werden Schallquellen auf der Rückseite der akustischen Kamera durch die konstruierte Abschirmung (Abbildung 1) gedämpft, so taucht mit dem vorderen Lautsprecher nur noch die tatsächlich vorhandene Lärmquelle (76,8 dB) in der Schallkarte in Abbildung 4 auf, während der ebenfalls aktive hintere Lautsprecher, im Gegensatz zu Abbildung 3 ohne Abschirmung, unsichtbar bleibt.

Bei diesem Versuchsaufbau konnte durch die Abschirmung der hintere Lautsprecher um insgesamt 15,3 dB gedämpft werden. Bei einer realen Messung würde diese „scheinbare“ Quelle aus dem Rückraum der akustischen Kamera ebenfalls nicht in der Schallkarte dargestellt werden, da durch Festlegen eines Eingangsschwellenwertes leisere Schallquellen ausgeblendet werden können, um nur die lautesten und damit für die Lärmreduzierung relevanten Emittenten in den Schallkarten dazustellen.

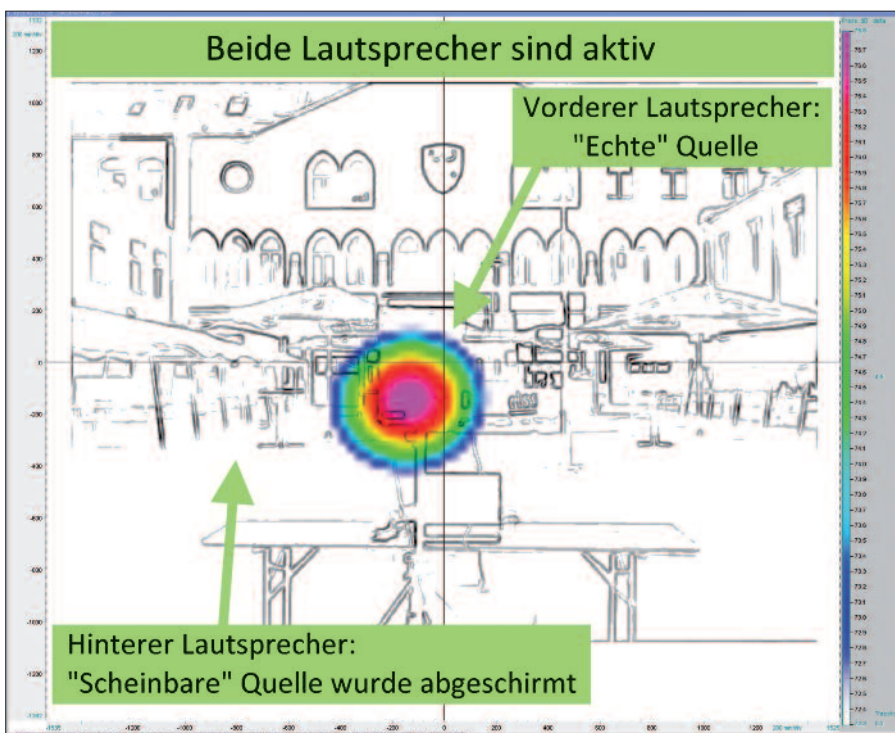


Abbildung 4: Schallkarte mit Abschirmung – scheinbare Quelle wurde abgeschirmt

Anwendungsbeispiele

Das menschliche Gehör, insbesondere in lauten Umgebungen, ist zur Lokalisierung von Lärmquellen nur sehr bedingt geeignet. Auch Schallpegelmessgeräte, wie sie bei der Geräuschmessung von Maschinen oder der Messung der Lärmexposition Verwendung finden, sind hierfür ungeeignet. Zu diesem Zweck bietet sich jedoch das entwickelte bildgebende Messverfahren auf Basis der akustischen Kamera an.

In Abbildung 5 ist beispielhaft die Lokalisierung der Quelle eines hochfrequenten Tones gezeigt, der einen Teil der Abfüllhalle erfüllt hat, der jedoch mit dem Gehör keiner Maschine zugeordnet werden konnte. Wie im Bild zu erkennen ist, wird der Ton von einem Gebläse erzeugt, das auf dem Gehäuse der in der Bildmitte stehenden Maschine sitzt und alle anderen Lärmquellen (Behälter- und Kastentransport, Entpalettierung im Hintergrund) im Blickfeld der optischen Kamera überstrahlt.

Es besteht jedoch nicht nur die Möglichkeit, statische Geräuschquellen sichtbar zu machen. Durch die Aufzeichnung akustischer Filme können außerdem bewegliche Lärmquellen, wie zum Beispiel Flaschen, die auf Transportstrecken aneinanderstoßen, visualisiert werden.

Diese Eigenschaft wurde unter anderem dafür genutzt, die stufenlose Regelung von Behältertransporteuren zu optimieren, die als primäre Lärmschutzmaßnahme am Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik (LVT)

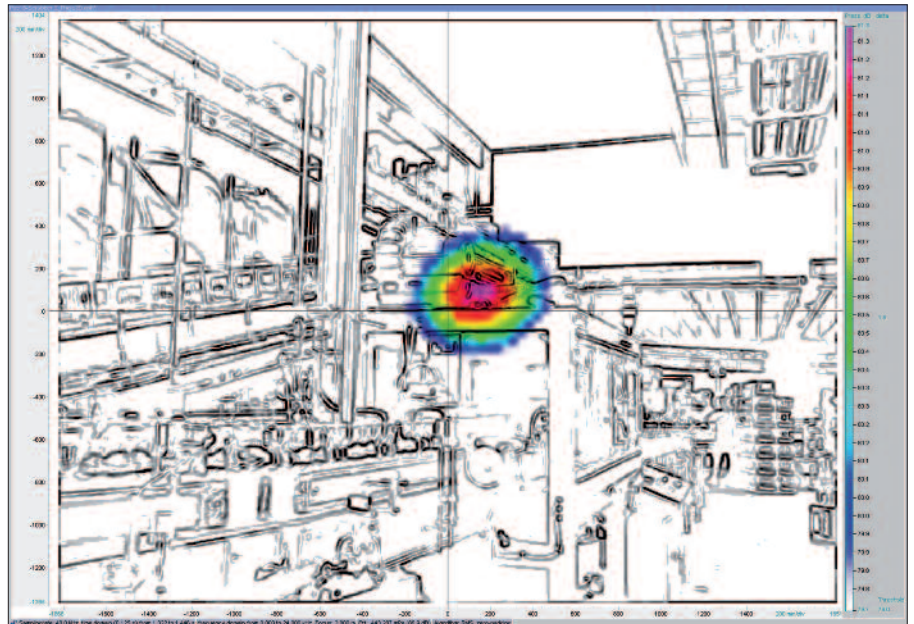


Abbildung 5: Lokalisierung eines hochfrequenten Tones in einer Abfüllanlage

der TU München-Weihenstephan erforscht wurde. Der LVT war bei diesem IGF-Vorhaben Projektpartner der VLB Berlin. Über die stufenlose Transportregelung, die Teil des Forschungsvorhabens war, wurde bereits in der Getränkeindustrie 6/2012 [4] berichtet.

Des Weiteren kann das entwickelte Messverfahren mit der akustischen Kamera dazu genutzt werden, die Auswirkungen von sekundären Lärmschutzmaßnahmen zu bewerten. Bei sekundären Maßnahmen wird, im Gegensatz zu primären Lärmschutzmaßnahmen, keine Lärmentwicklung verhindert oder reduziert, sondern entstandener Lärm abgeschirmt.

Abbildung 7 zeigt den Aufgabebereich einer Flaschenreinigungsmaschine. Während die Flaschen auf den Tisch einlaufen, wandert der lauteste Punkt (89,1 dB im linken Bild, bzw. 88,8 dB im rechten Bild) auf dem Flaschentisch, je nachdem, wo gerade Flaschen mit teilweise hohen Differenzgeschwindigkeiten und entsprechender Lärmentwicklung aufeinanderprallen.

Wird das Schallschutztor geschlossen, verlagert sich der lauteste Punkt (77,9 dB) auf das Transportband vor der Flaschenreinigungsmaschine (Abbildung 6). Durch das Tor werden die Lärmquellen auf dem Aufgabebereich so weit abgeschirmt, dass die um ca. 10 dB

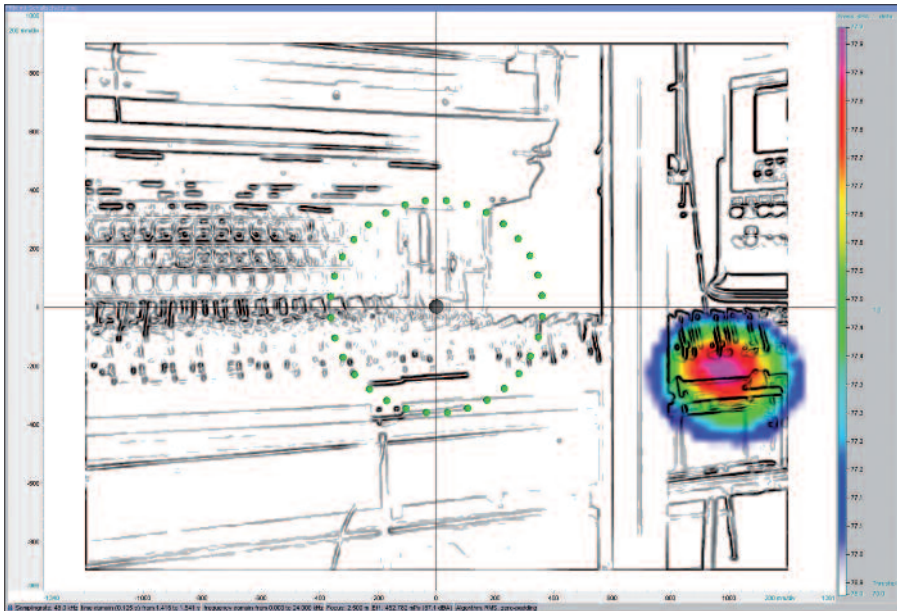


Abbildung 6: Verlagerung der lautesten Stelle bei geschlossenem Schallschutz

leisere Lärmquelle nun den lautesten Punkt auf der Schallkarte darstellt. Welchen Einfluss das auf die Reduzierung des Tages-Lärmexpositionspegel hat, muss wiederum mit einem entsprechenden Schallpegelmessgerät überprüft werden.

Zusammenfassung

Das Ziel dieses IGF-Vorhabens, ein Messverfahren auf Basis einer akustischen Kamera zu entwickeln, das ortsgenaue und dynamische Messungen im Umfeld von Getränkeabfüllanlagen erlaubt, konnte erfolgreich umgesetzt werden. Mithilfe dieses Messverfahrens können lärmtechnische Schwachstellen lokalisiert, primäre und sekundäre Maßnahmen der Lärmreduktion in Abfüllanlagen untersucht, verbessert und neu entwickelt werden. Die bestehenden, bewährten Verfahren der Schallmessung werden dabei nicht ersetzt, sondern vielmehr um ein bildgebendes Verfahren erweitert.

Den vollständigen Schlussbericht zum Forschungsvorhaben „Lärmreduzierung bei Getränkeabfüllanlagen“ können interessierte Unternehmen kostenlos über die VLB Berlin (siehe Kontakt) anfordern.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 16291 N der Forschungsvereinigung Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin e.V., Seestraße 13, 13353 Berlin, in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Lebensmittelverpackungstechnik der Technischen Universität München wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Für diese Förderung möchten wir uns bei der AiF und dem BMWi bedanken. Besonderer Dank gebührt den Mitgliedern

des projektbegleitenden Ausschusses für die großzügige personelle und materielle Unterstützung des Forschungsvorhabens. □

Literatur

- [1] Kilius, H.: Der Gesundheit zuliebe. In: Getränkeindustrie (2002), Nr. 11, Seite 38 bis 42.
- [2] Liesegang, M.: Schallquellenortung in akustisch ungünstigen Industrieumgebungen. In: Tagungsschrift Maschinenakustik 2010 – Wettbewerbsvorteil durch geräuscharme Produkte. Leonberg: VDI Wissenforum, 2010.
- [3] Norm DIN EN ISO 3744 November 2009. Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen.
- [4] Sorgatz, A.: Weniger Lärm – Stufenlose Regelung von Behältertransporteuren. In: Getränkeindustrie (2012), Nr. 6, Seite 28 bis 33.
- [5] Verordnung zur Umsetzung der EG-Richtlinie 2002/44/EG und 2003/10/EG zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibration, erschienen im Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 8 am 8. März 2007.

Dr.-Ing. Georg Wenk



Studium zum Dipl.-Ing. Brauwesen und Getränketechnologie an der TU München-Weihenstephan. Seit 2005 als Spezialist für Filling/Packaging am Forschungsinstitut für Maschinen- und Verpackungstechnik (FMV) der VLB Berlin. 2009 Promotion an der TU Berlin.

Dr.-Ing. Roland Pahl



Nach Ausbildung zum Brauer und Mälzer Studium an der TU Berlin/VLB zum Dipl.-Ing. Brauwesen. Seit 2007 Leiter des Forschungsinstitutes für Maschinen- und Verpackungstechnik (FMV) an der VLB Berlin. 2011 Promotion an der TU Berlin.

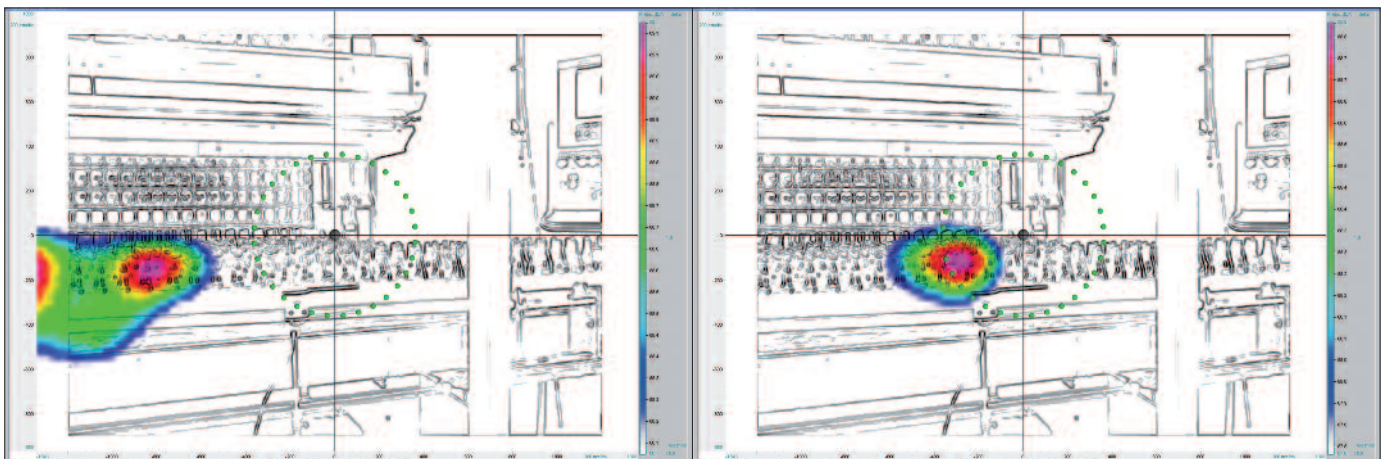


Abbildung 7: Wandernde Schallemissionen auf der Zuführung zur Flaschenreinigungsmaschine (ohne sekundären Schallschutz)