

Akustische Untersuchungen von Druckluftlecks

Udo Wagner¹, Peter Holstein², Matthias Domke¹, Nicki Bader², Christian Probst², Andreas Tharandt²,
Gunther Papsdorf³

¹Microtech Gefell GmbH, Georg-Neumann-Platz., 07926 Gefell 06112 Halle (Saale),
u.wagner@microtechgefell.de

²SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH, Nauendorfer Str. 2,
06112 Halle (Saale), peter.holstein@sonotec.de

³SINUS Messtechnik GmbH, SINUS Messtechnik GmbH
Föpplstraße 13, D-04347 Leipzi, gunther.papsdorf@sinusmess.de

Einleitung

Druckluft ist ein teurer und wertvoller Energieträger. Die Bereitstellung über Kompressoren und Druckluftleitungssystem ist essentiell für das sichere Funktionieren vieler industrieller Prozesse. Leider sind Druckluftverluste nicht vermeidbar. Die Verluste können im Bereich bis zu 30 % liegen. Das impliziert erhebliche volkswirtschaftliche Verluste [1].

Für das Finden von Druckluftlecks gibt es verschiedene Methoden. Ein robustes und wirksames Verfahren beruht darauf, dass das aus Lecks ausströmende Gas strömungsakustisch bemerkbar ist. Diese Geräusche sind auch hörbar. Allerdings ist die industrielle Umgebung oft laut, so dass die Bewertung von Lecks im hörbaren Bereich schwierig ist. Deshalb wird für die Lecksuche Prüftechnik verwendet, die im Ultraschallbereich arbeitet. Dabei werden Ultraschallsensoren eingesetzt, die in einem engen Frequenzbereich sensitiv sind. Für ein Auffinden von Lecks ist eine solche Strategie geeignet. Die Ultraschallsignale werden dabei auch in den hörbaren Bereich transformiert („heterodyned“), so dass Prüfer über den „Lautstärkeindruck“ die Größe eines Lecks abschätzen könnten. Allerdings beruht ein solches Verfahren auf sehr vereinfachenden Annahmen. Die Strömungsakustik wird auf ein schmales Frequenzband abgebildet. Damit steht auch nur ein „willkürlich“ ausgewählter Anteil der spektralen Features zur Verfügung. In der Praxis üblich sind schmale Frequenzbänder um 40 kHz. Gründe sind die Verfügbarkeit preiswerter Sensoren und die Realisierbarkeit des Verfahrens in robuster und einfacher Analogtechnik. Es konnte gezeigt werden [2], dass die Einbeziehung eines breiteren Frequenzbereiches (ca. 20 bis 100 kHz) einen wesentlich tieferen Einblick in die physikalische Natur von Lecks ermöglicht. Sowohl die Frequenzcharakteristik als auch die Anisotropie bei der Abstrahlung geben wertvolle Hinweise auf die Ausströmverhältnisse und damit die Leckverluste. Auf dieser Basis wurde eine neue Ultraschalltechnologie für die Lecksuche und -bewertung entwickelt. Dabei wurden

bestimmte akustische Parameter extrahiert, um neben dem Auffinden von Lecks auch eine Bewertung der Leckverluste vornehmen zu können. Eine Kritik an den schmalbandigen Verfahren Lecksuchverfahren wurde an verschiedenen Stellen ausgeführt [2, 4-6]. Es soll betont werden, dass diese Verfahren für das Finden von Lecks gut geeignet sind. Die Bewertung von Lecks mit solchen stark vereinfachenden Verfahren erscheint bedenklich.

Ein neuer Ansatz für die Bewertung von Lecks führte zur Entwicklung neuer Prüfgeräte auf komplett digitaler Basis [7]. Breitbandige Sensoren ermöglichen den Zugriff auf Frequenzen bis etwa 100 kHz. Der hörbare Bereich wird dabei ausgeblendet. Industrieller Umgebungs- und Betriebslärm geht dadurch nicht in die Bewertung ein. Zur weiteren Verfahrensverbesserung werden die Ergebnisse der industriellen Prüftechnologie mit anderen akustischen Verfahren verglichen.

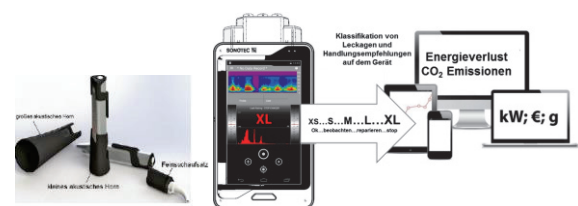


Abbildung 1: Equipment und genereller Ablauf der Lecksuche und -bewertung mit digitaler Ultraschall-Prüftechnik

In der Praxis ist es bedeutsam sowohl die energetischen Verluste zu bewerten als auch eine Aussage zur Reparaturnotwendigkeit für den Instandhalter zur Verfügung zu stellen.

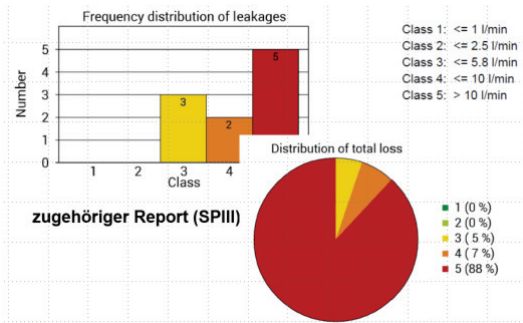


Abbildung 2: Typischer zusammenfassender Report von Druckluft-Lecks. Die Lecks werden dabei (auch entsprechend der möglichen Genauigkeiten) in Größenklassen eingeteilt.

Methodologie

Im Beitrag werden verschiedene, unterschiedlich aufwendige Verfahren eingesetzt, um die physikalischen Vorgänge des Ausströmens von Druckluft unter variierenden Gesichtspunkten zu erfassen.

An einem Prüfstand für die Generierung und Bewertung von Druckluftlecks wurden die folgenden Methoden und Messverfahren eingesetzt. Die Durchflusswerte werden mit Durchflussmessern bestimmt:

- Breitbandige Ultraschallmessung (industrielles Verfahren)
- Akustische Kamera zur Ortung und Anisotropiebewertung (hörbarer Bereich und (niederer) Ultraschallbereich)
- Schallintensitätsmessungen (mit einer Schallintensitätssonde)

Die Messungen wurden z. T. in akustisch „rauer“ Umgebung durchgeführt. Die Schallintensitätsmessungen erfolgten im schalltoten Raum.

Schallintensitätssonden sind nicht für die hohen Frequenzen ausgelegt, die bei der industriellen Lecksuche ausgewertet werden. Trotzdem sind physikalische und akustische Charakteristika der Strömungs- und Schallfeldverteilung bei Frequenzen um 10 kHz erfassbar.

Die Intensitätssonde wurde dafür mit einem 6 mm- Spacer versehen. Die Messungen erfolgten im schalltoten Raum.

Ziel der vergleichenden akustischen Untersuchungen war es, das industriell einzusetzende Verfahren zu validieren und eventuelle Verbesserungsmöglichkeiten zu hinterfragen. Mit der zunehmenden Akzeptanz von mehrkanaliger Messtechnik wie der akustischen Kamera sind sicher zukünftig auch Anwendungen für spezielle Fragestellungen bei der Lecksuche im industriellen Umfeld interessant. Für methodische Entwicklungen sind solchen Messungen sehr hilfreich. Das Gleiche betrifft auch die Bewertung der quantitativen Zusammenhänge von Leckverlusten und Akustik.

Die Lecksuche mit einem Prüfgerät erfolgt handgeführt. Da davon ausgegangen werden kann, dass die Strömung durch das Leck weitgehend stationär ist, spielt die zeitliche Auflösung eine untergeordnete Rolle. Es sind lediglich gewisse Mittelungen erforderlich, die die Fluktuationen im Zeitsignal berücksichtigen. Da die digitale Prüftechnik spektrale Berechnungen ausführen kann, sind auch Spektrenmittlungen zur Verbesserung der Signalqualität möglich. Weiterhin kann die „Bewegung“ des Prüfgeräts genutzt werden, um die angesprochenen Anisotropie des akustischen Verhaltens zu berücksichtigen.

Die komplizierten akustischen Verhältnisse beim Ausströmen von Druckluft aus Lecks werden vor allem mittels empirischer Versuchsreihen untersucht. Hierbei ist eine große Zahl verschiedener Situationen zu berücksichtigen. Die Geometrie der Lecks und die Betriebsbedingungen beeinflussen die Pegel, Frequenzverteilungen und Richtungsabhängigkeiten.

Experimente zur Bewertung von Lecks

Zur Bewertung von Druckluftlecks unter industrienahen Situationen aber auch für arbeiten unter methodischen Gesichtspunkten wurde bei SONOTEC ein Prüfstand aufgebaut. Neben den akustischen Messungen ist auch eine Volumenstrommessung integriert. Dies ermöglicht den direkten Vergleich.

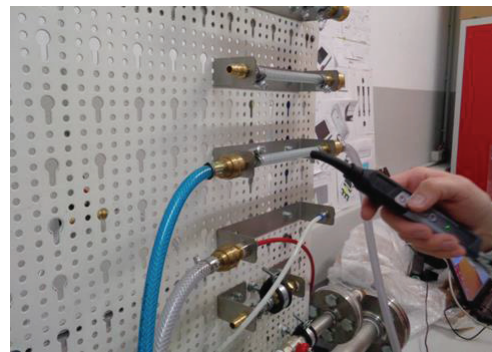


Abbildung 3: Prüfstand zur Bewertung von Druckluftlecks. Hier erfolgt die Messung mit der speziell entwickelten Prüfsonde

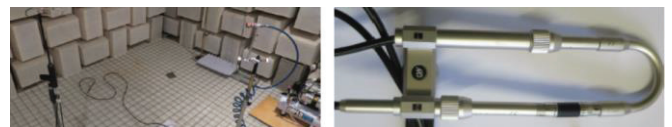


Abbildung 4: Messung der Schallintensität im schallarmen Raum. In die Sonde wurde der kleinstmögliche Spacer eingesetzt. Das Testleck wurde inkremental über einen Stellmotor variiert.

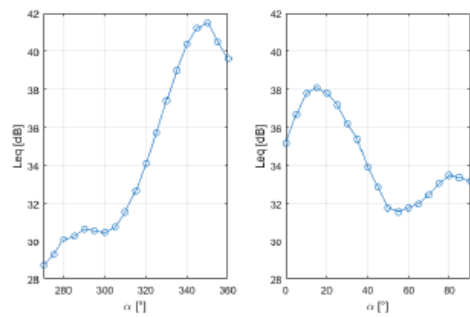


Abbildung 5: Dargestellt ist die Winkelabhängigkeit für die 10 kHz Terz. Das Maximum der Abstrahlung liegt nicht bei 0° [2,3].

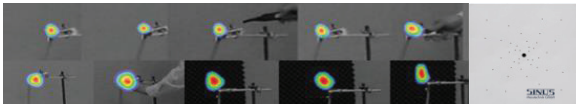


Abbildung 6: Methodisch orientierte Messungen mit der akustischen Kamera (AC 100 – Sinus Messtechnik) an einem Testleck mit einer definierten Bohrung bei verschiedenen Systemdrücken (1..7 bar).

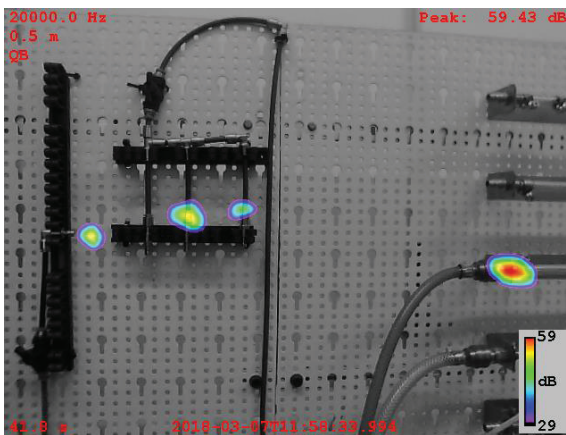


Abbildung 7: Messung mit der akustischen Kamera am Prüfstand. Der Messabstand betrug 1 m. Im Gegensatz zur manuellen Prüfung können alle Lecks simultan erfasst und bewertet werden.

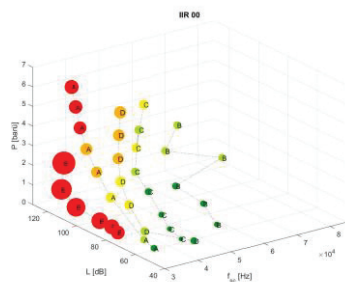


Abbildung 8: Zusammenhang von akustischen Kennwerten und Systemdruck. Verschiedene Lecks sind mit Buchstaben gekennzeichnet. Die Daten lassen sich erst systematisch zuordnen, wenn der Systemdruck mit einbezogen werden kann.

Des Weiteren wurde eine Methode entwickelt, möglichst viele Parameter aus den akustischen Messungen in die Berechnung der Verluste einzubeziehen. Die traditionelle Methode der Berechnung eines schmalbandigen Pegels streut bezüglich der Zuordnung zu Klassen deutlich mehr. Die besten Ergebnisse wurden erzielt, wenn alle

Spektrallinien als Merkmal betrachtet wurden und „individuell“ in die Klassifikation eingingen.

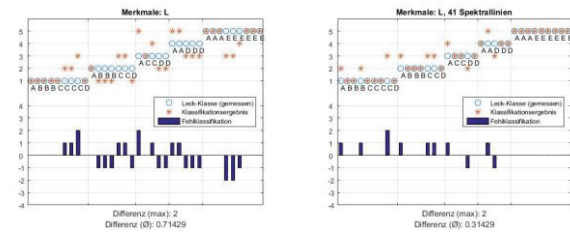


Abbildung 9: Klassifikationsergebnis für die Zuordnung von Leckagen zu einer Größenklasse. Aufgetragen sind die Abweichungen vom direkt gemessenen Durchfluss (Durchflussmesser - Nulllinie).

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass die Kombination verschiedener akustischer Messverfahren zur methodischen Verbesserung der Leckbewertung beitragen kann. Die Methoden ergänzen sich komplementär. Der größere Aufwand lohnt sich vor allem im Hinblick auf die Quantifizierbarkeit von Lecks. Die Bestimmung von Leckverlusten aus akustischen Daten bleibt prinzipiell mit einer großen Ungenauigkeit verbunden. Die Zuordnung von akustischen Parametern zu Verlustmengen kann mittels einer klassifikationsbezogenen Bewertung verbessert werden.

Literatur

- [1] EUROPEAN COMMISSION: Energy prices and costs report, 2014,
http://ec.europa.eu/energy/doc/2030/20140122_swd_prices.pdf
- [2] P. Holstein, M. Barth, C. Probst, Acoustic methods for leak detection and tightness testing, Proceedings, 19th World Conference on Non-Destructive Testing 2016; 13 - 17 June 2016 in Munich, Germany
- [3] Holstein, P., Klepel, A., Gillner, K., Münch, A., 2014: Einsatzmöglichkeit von Ultraschall bei der Einsparung von Energie, Journal Scientific Reports, Journal of the University of Applied Sciences Mittweida, Nr. 5, 2014, 38-41
- [4] Raabe, A., Barth, M., Holstein, P., 2014: Akustische Tomografie und Raumklimatisierung, Journal Scientific Reports, Journal of the University of Applied Sciences Mittweida, Nr. 5, 2014, 42-43
- [5] P. Holstein, N. Bader, A. Raabe, A. Tharandt, M. Barth, H.-J. Münch, Akustische Verfahren zur Dichtheitsprüfung,
- [6] DAGA 2017, Kiel: 06.-09. März 2017 : 43. Jahrestagung für Akustik, ISBN 978-3-939296-12-6
- [7] URL:
<https://www.sonotec.de/produkte/vorbeugende-Instandhaltung/>