Eignung akustisch-thermografischer Leckageortung für Bestandsgebäude

<u>Björn Schiricke</u>¹, <u>Alexander Jahnke</u>², Johannes Pernpeintner¹, Michael Markus Ackermann², Markus Diel¹

- ¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Institut für Solarforschung, Linder Höhe in 51147 Köln, bjoern.schiricke@dlr.de
- ² Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFaI), Volmerstraße 3 in 12489 Berlin, jahnke@gfai.de

Einleitung und Motivation

Schall breitet sich sehr gut in Luft aus und dringt somit auch durch Leckagen in Gebäuden. Jeder kennt das, wenn z.B. eine Tür einen Spalt offen steht und Straßenlärm eindringt. Sobald man die Tür ganz schließt, wird es drinnen deutlich leiser.

Da man Geräuschquellen orten kann, liegt es nahe, Leckagen in Gebäudehüllen auch mit einer akustischen Methode zu suchen. Dies geschieht, indem man auf der einen Seite der Wand mit einem Lautsprecher Geräusche erzeugt und auf der anderen Seite der Wand nach Stellen sucht, an denen der Schall durch undichte Stellen nach außen dringt. Hier gibt es bereits kommerzielle Anwendungen wie z. B. das System Ultragraphyx von ACIN, das mit einer Ultraschallquelle arbeitet und mit dem man verdächtige Bereiche einer Gebäudekomponente mit einem Mikrofon abfährt und so händisch nach Leckagen sucht.

Darauf aufbauend kann durch die spezifische Anordnung einer Vielzahl von Mikrofonen, sogenannten Mikrofonarrays oder auch akustischen Kameras, die Herkunft von Schallquellen im Bildbereich der akustischen Kamera sichtbar gemacht werden. So kann man potentiell große Flächen der Fassade in einer kurzen Messzeit von nur wenigen Sekunden untersuchen. Neben der großflächigen Nutzung ist ein weiterer Vorteil gegenüber der herkömmlichen Leckagesuche mit Anemometer, Rauch oder Nebel, dass man auf eine Vorbereitung eines Raumes zur Nutzung des Blower-Door-Tests verzichten kann. Insgesamt kann die akustische Leckagesuche daher zu einer erheblichen Zeitersparnis führen.

Von entsprechenden Versuchen der Leckageortung mit einer akustischen Kamera an absichtlich erzeugten und daher bekannten Leckagen haben wir in Kölsch et al. (2021) berichtet. Der nächste Schritt war eine Feldmesskampagne an einem Gebäudekomplex in Villingen-Schwenningen, bei der mit der gleichen akustischen Methode eine große Anzahl bisher unbekannter Leckagen gefunden wurden. Darüber haben wir in Schiricke et al. (2024) berichtet.

Die Ergebnisse waren so vielversprechend, dass ein Forschungsprojekt beantragt wurde und vom BMWK gefördert wird, in dem dieses Verfahren zur akustischen Leckageortung weiter verbessert werden soll. Dazu werden die Kompetenzen der Projektpartner Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFaI), SONOTEC GmbH, ecoworks GmbH, alstria office REIT-AG und der Blower Door GmbH zusammengebracht. Im Labor werden Verfahrensgrenzen sowie Verbesserungspotentiale im Detail untersucht, während im Feld die Praxistauglichkeit getestet und weiterentwickelt wird.

Einige dieser Ergebnisse werden in diesem Artikel vorgestellt. Ergänzende thermografische Messungen sind im Forschungsprojekt zur Unterstützung der Interpretation der akustischen Messungen vorgesehen, aber nicht Bestandteil dieses Artikels. Zum Zeitpunkt des Symposiums befindet sich das Forschungsprojekt etwa in der Mitte seiner Laufzeit, so dass nur Zwischenergebnisse präsentiert werden können und im Rahmen des Projektes noch Zeit für weitere Untersuchungen und Entwicklungen vorhanden ist.

Experimentelle Untersuchungen

Laboruntersuchungen

Für die Laboruntersuchungen wurde zunächst ein Prüfstand namens ATLAS (<u>A</u>daptable <u>T</u>esting <u>L</u>aboratory for <u>Air S</u>ealing) konstruiert. Es handelt sich dabei um eine luftdichte Testkammer, an die verschiedene Prüfkörper mit nachgebildeten Leckagepfaden angebracht werden können, siehe Bild 1. Der Prüfstand hat die ungefähren Maße: 2 x 2,5 x 3 m³, ist beheizbar und schallgedämmt. Die Restleckage des Prüfstandes beträgt q₅₀=0,1 m³/h. Auf das Innenvolumen von ca. 11 m³ bezogen ergibt sich eine Luftwechselrate von n₅₀=0,009 1/h. Er verfügt über ein Messgebläse (Ductblaster mit Micro Leakage Meter der Firma Blower Door), mit dem die q₅₀-Werte der untersuchten Leckagen in den Prüfkörpern gemessen werden können. Im Prüfstand befinden sich Lautsprecher und von außen können die Leckagen der Prüfkörper mit der akustischen (oder auch thermografischen) Kamera untersucht werden. Der Prüfstand ist in Diel et al. (2024) detaillierter vorgestellt.



Bild 1: Luftdichte Testkammer ATLAS

Im Folgenden werden einige Ergebnisse vorgestellt, die mit den drei folgenden Prüfkörpern erzielt wurden: MDF-Platte, "Labyrinth-System", "Sandwich-System". Mit diesen Prüfkörpern lassen sich viele Parameter variieren und deren Einfluss auf die Messbarkeit durch das Messsystem untersuchen. Die folgenden Beispiele sollen einen Eindruck vermitteln, welche Arten von Leckagen mit der akustischen Methode detektiert und geortet werden können.



MDF-Platte

An einer MDF Platte der Stärke 12 mm wurde mittels Bohrlöcher und Schlitze das Verhalten des akustischen Messsystems z.B. hinsichtlich des Auflösungsvermögens und dem Verhalten bei mehreren beieinanderliegenden Leckagen untersucht. Bei einem Abstand der akustischen Kamera zur MDF-Platte von 1,5 m war beispielsweise das kleinste noch detektierbare Bohrloch eines mit einem Durchmesser von 1,5 mm mit einem q₅₀-Wert von weniger als 0,06 m³/h.

Wir haben außerdem das Phänomen der Überlagerung untersucht, das auftritt, wenn zwei unterschiedlich große Löcher in geringem Abstand zueinander gebohrt werden. In diesem Fall kann eine große Leckage eine kleine übertönen und somit die Detektion der kleinen verhindern.

Ein Loch mit einem Durchmesser von 6 mm haben wir mit verschiedenen Materialien unterschiedlich stark gefüllt. Alle in Bild 2 (rechts) gezeigten gefüllten Bohrlöcher konnten mit der akustischen Kamera aus 1,5 m Entfernung detektiert werden. Ein Unterschied in der spektralen Signatur konnte hier allerdings mit dem bisherigen Messaufbau nicht festgestellt werden.



Bild 2: Links: MDF-Platte als Probekörper. Mittels Bohrlöcher und Schlitze wurden diverse einfache Leckagen erzeugt. Nicht untersuchte Bohrlöcher können mit luftdichtem Klebeband verschlossen werden. Rechts: Ein Bohrloch wurde mit verschiedenen Materialien gefüllt.

Labyrinth-System

Der Probekörper "Labyrinth-System" besteht aus einer hölzernen Grundplatte mit schachbrettartig angeordneten Nuten, in die Gummidichtungen eingelegt werden können, um Leckagekanäle zu legen. Eine Plexiglasscheibe bildet die vorderseitige Abdeckung und sorgt so für eine Kanalhöhe des Leckagepfades von 7,5 mm. Dies ist in Bild 3 (links) zu sehen. Rechts in Bild 3 ist ein Beispiel für einen Leckagekanal gezeigt, der mit einer Gesamtlänge von ca. 53 cm und zwei Kurven von der akustischen Kamera aus 1,5 m Entfernung noch gut detektiert werden konnte. Das Eingangsloch hat einen Durchmesser von 3 mm und das Ausgangsloch einen Durchmesser von 7mm. Wenn man den Kanal ca. 10 cm länger konstruiert hat, wie in der roten Linie angedeutet, konnte der Schall nicht mehr geortet werden. Hier hat man also die Verfahrensgrenze für die aktuelle Messkonfiguration erreicht. Das Beispiel zeigt jedoch recht eindrucksvoll, dass nicht nur einfache Leckagen wie gerade Löcher, oder auf die Praxis übertragen, fehlerhafte Fensterdichtungen gefunden werden können, sondern durchaus auch komplexere und verwinkelte Leckagepfade in Fassaden detektierbar sind.





Bild 3: Links: Probekörper "Labyrinth-System". Rechts: Mit weißen Maßen versehen, ein Beispiel eines Leckagepfades, dessen Ausgang mit der akustischen Methode gefunden werden konnte. Die roten Linien und Maße deuten einen Leckagepfad an, der nicht mehr messbar war.

Sandwich System

Ob auch Leckagen mit mehreren Hohlräumen detektierbar sind, haben wir mit dem mehrlagigen "Sandwich-System" als Probekörper untersucht. Hier werden durch mehrere Lagen an Plexiglasscheiben eine Reihe von Hohlräumen erzeugt, die durch verschiedene Öffnungen verbunden sind. Der gesamte Prüfkörper ist in vier Quadranten unterteilt, die in allen Ebenen voneinander und nach außen abgedichtet sind. Im Beispiel aus Bild 4 sieht man drei Lagen mit jeweils einem Abstand von 2,4 cm.



Bild 4: Links: mehrlagigen "Sandwich-System" als Probekörper. Rechts: Leckagepfad in seitlicher Ansicht mit Bemaßung und illustriertem Luft- bzw. Schallweg.

Bild 4 (rechts) zeigt einen entsprechenden Leckagepfad mit Bemaßung und illustriertem Luft- bzw. Schallweg. In diesem Aufbau konnte gezeigt werden, dass Leckagen, die sich durch mehrere versetzte Löcher (in unserem Beispiel zweimal die Weglängen von 30 cm) und mehrere Hohlräume (hier zweimal jeweils 2,4 cm tief bei einer Grundfläche von ca. 35 x 35 cm²) zusammensetzen, mit dem Messystem gut nachgewiesen werden können. Wir sind mit dieser Konfiguration noch nicht an die Verfahrensgrenze gestoßen.



Feldmessungen an Bestandsgebäuden

Wie bereits eingangs erwähnt, werden in regelmäßigen Abständen Feldmessungen an Bestandsgebäuden durchgeführt, um die Eignung der akustischen und thermografischen Verfahren zur Detektion von Gebäudeundichtigkeiten unter realen Bedingungen zu erproben sowie Erkenntnisse über die praktischen Anforderungen und Herausforderungen zu gewinnen. In diesem Abschnitt werden ausgewählte Ergebnisse unserer Feldmessungen an einem sanierungsbedürftigen Bestandsgebäude aus den 1960er Jahren in Merseburg vorgestellt. Die Messungen fanden kurz vor den geplanten Sanierungsarbeiten am Gebäude statt. Obwohl inzwischen auch Messungen nach Abschluss der seriellen Sanierung durchgeführt und ausgewertet wurden, werden hier ausschließlich die Ergebnisse der Vorher-Messungen vorgestellt, da sich bei den Nachher-Messungen keine signifikanten Undichtigkeiten mehr feststellen ließen.

Für die akustische Anregung wurden verschiedene Schallquellen eingesetzt. Dies ist notwendig, da sich Leckagen in Abhängigkeit von ihrer Größe, Form und dem umgebenden Material akustisch unterschiedlich verhalten. Tieffrequente Schallanteile werden weniger stark absorbiert und gedämpft als hochfrequenter Schall und können somit verschiedenste Baumaterialien leichter durchdringen. Zudem lassen sich tieffrequente Signale auch über größere Distanzen wahrnehmen, was zu einer größeren räumlichen Abdeckung führt. Hochfrequente Anteile hingegen dringen besser durch kleinere Öffnungen und eignen sich besser für die präzise Ortung von Leckagen. In sehr hohen Frequenzbändern (Ultraschall) treten zudem weniger Störeinflüsse durch Umgebungslärm auf. Zum Einsatz kamen deshalb der Kugellautsprecher "GlobeSource" der Firma "Schalltechnik Süd & Nord GmbH", der im tieffrequenten Bereich zwischen 100 Hz und 9000 Hz arbeitet, sowie ein handflächengroßer Hochtöner, der im Bereich von 10 kHz bis 22 kHz eingesetzt wird. Ergänzend wurde auch die SONOSPEHRE-Ultraschallquelle unseres Projektpartners SONOTEC verwendet, die mit einer Frequenz von ca. 40 kHz abstrahlt.

Der bei den Messungen verwendete Aufbau ist in Bild 5 dargestellt. Er besteht aus einem ringförmigen Mikrofonarray mit 48 Mikrofonen, das die akustische Situation aufzeichnet und die Messdaten über einen Datenrekorder an ein Notebook überträgt. Im Inneren des Gebäudes wird eine der beschriebenen Schallquellen positioniert, deren Schall von außen mit der akustischen Kamera detektiert werden kann Der Messaufbau wurde hierbei bewusst stationär gewählt, da im Projektverlauf verschiedene Komponenten und Algorithmen getestet und weiterentwickelt werden. Hierzu gehört unter anderem die Integration einer Infrarotkamera zur kombinierten Auswertung akustischer und thermografischer Messdaten. Für eine spätere praktische Anwendung wäre jedoch ein kompaktes Embedded-System zu präferieren, das eine mobile und benutzerfreundliche Durchführung der Messungen ermöglicht.





Bild 5: Darstellung des verwendeten Messaufbaus.

Vermessung eines Spitzbodens

Ein Untersuchungsobjekt war der Spitzboden des Gebäudes, der vom Boden aus mit der akustischen Kamera vermessen wurde. Die Entfernung zwischen Mikrofonarray und der Traufe betrug dabei etwa 15 m (Luftlinie). Die Position der akustischen Kamera, sowie der Spitzboden selbst sind in Bild 6 dargestellt. Der Spitzboden war besonders interessant, da sich über die gesamte Länge entlang der Traufkante ein Spalt befand, der eine großflächige Undichtigkeit darstellte. Die Größe dieses Spalts variierte von wenigen Millimetern bis hin zu etwa einem Zentimeter (Bild 6, rechts). Die akustischen Messungen sollten Aufschluss darüber geben, wie gut sich solche Undichtigkeiten aus größerer Entfernung detektieren lassen und welche Ergebnisse mit den jeweiligen Schallquellen erzielt werden können. Hierfür wurden nacheinander der Kugellautsprecher und der Hochtöner jeweils an einer festen Position im Spitzboden platziert und mit dem Mikrofonarray vermessen.



Bild 6: Ausgerichtetes Mikrofonarray mit Blick auf das Gebäude (links). Das Innere des Spitzbodens (Mitte) und eine Detailaufnahme des Spalts entlang der Traufkante (rechts).

Trotz der größeren Entfernung von 15 m konnten die akustischen Messungen mit beiden Schallquellen erfolgreich durchgeführt werden. Die resultierenden Ergebnisse (die sog. akustischen Karten) sind in Bild 7 dargestellt. Es wird deutlich, dass beim Einsatz des Kugellautsprechers (oberes Ergebnis) ein großer Bereich der sichtbaren Traufkante abgedeckt wird, obwohl der Lautsprecher an einer festen Position aufgestellt war. Der Lautsprecher befand sich dort, wo sich der größte Ausschlag im akustischen Bild zu sehen ist. Ursache für die gute räumliche Abdeckung von tieffrequenten Schallanteilen ist, dass der Schall im Inneren von den Wänden reflektiert wird und durch den Spalt austritt. Beim Austritt wird der Schall gebeugt und breitet sich auch in Richtung des Mikrofonarrays aus und kann von diesem registriert werden.



Im Gegensatz dazu entsteht bei Verwendung des Hochtöners (Bild 7, unten) lediglich ein kleiner Fleck in unmittelbarer Nähe der Schallquelle. Höherfrequenter Schall wird zwar auch reflektiert, jedoch verliert er schneller an Energie. Zudem ist hochfrequenter Schall auch deutlich gerichteter, weshalb nur der frontal auf das Mikrofonarray zukommende Schall gemessen werden kann. Der Vorteil hochfrequenter Schallquellen ist jedoch, dass diese sich präziser orten lassen und die Undichtigkeiten dadurch bereits in der resultierenden akustischen Karte deutlich werden.



Bild 7: Resultierende akustische Karten der Vermessung des Spitzbodens. Die obere akustische Karte wurde mit dem tieffrequenten Kugellautsprecher und die untere mit dem Hochtöner erstellt.

Anpassung des bestehenden Verfahrens

Um die Vorteile hochfrequenter Schallquellen auch für größere Bereiche nutzen zu können, wurde das Verfahren auf bewegte Quellen hin angepasst. Dadurch können beliebig große Räumlichkeiten vermessen werden, solange das Mikrofonarray einen direkten Blick auf den gescannten Bereich hat. Der Algorithmus zur Berechnung der akustischen Karten generiert aus diesem Vorgang ein einziges Gesamtbild, das alle detektierten Undichtigkeiten übersichtlich aufzeigt. Hierbei erzeugt er eine zeitliche einzelner Karten und berechnet für jedes Pixel den Abfolge höchsten Schalldruckpegel, der im Laufe der Messung an dieser Stelle aufgetreten ist. In Bild 8 ist exemplarisch das Ergebnis einer solchen Messung dargestellt. Dabei wurde eine gläserne Bürotür mithilfe der zuvor beschriebenen Ultraschallguelle, wie in der Skizze dargestellt ist, entlang der Türdichtung gescannt. Die Auswertung zeigt deutlich, dass die Tür auf der Schlossseite aufgrund des hohen Anpressdrucks sehr dicht ist. An den übrigen Seiten und insbesondere am unteren Rand, an dem keine Dichtung vorhanden ist, wurden hingegen deutliche Undichtigkeiten festgestellt.



Bild 8: Scan einer gläsernen Bürotür mit einer Ultraschallquelle entlang der Türdichtung (links) und die resultierende akustische Karte des angepassten Algorithmus (rechts).



Vermessung eines Fensters

Ein weiteres interessantes Messobjekt war ein Fenster im Erdgeschoss des Wohngebäudes. Mithilfe einer Blower-Door-Messung wurden hier zwei Undichtigkeiten festgestellt, die in Bild 9 markiert sind. Diese Ergebnisse wurden bereits in Schiricke et al. (2025) veröffentlicht. Eine dieser Undichtigkeiten war ein deutlich sichtbares Loch in der Wand. Die andere war weniger offensichtlich und entstand durch einen unscheinbaren Spalt zwischen dem oberen Scharnier und dem Flügelrahmen des Fensters.



Bild 9: Darstellung der Undichtigkeiten, die mit Hilfe einer Blower-Door-Messung an einem Fenster identifiziert wurden. An beiden Leckagen wurde mit einem Anemometer eine Strömungsgeschwindigkeit von 2,3 m/s festgestellt.

Auch hier kam derselbe Messaufbau wie bei den Untersuchungen im Spitzboden zum Einsatz. Sowohl der Kugellautsprecher als auch der Hochtöner wurden nacheinander zentral im Raum positioniert und anschließend mit der akustischen Kamera von außen aus zwei unterschiedlichen Blickwinkeln vermessen. Die resultierenden Ergebnisse sind in Bild 10 dargestellt. Bei der frontalen Messung (a) mit dem tieffrequenten Kugellautsprecher konnten beide Undichtigkeiten lokalisiert werden. Mit dem Hochtöner konnte von dieser Position jedoch nur das Scharnier als einzige Leckage in einem sehr schmalen Frequenzbereich von 17,6 – 18,1 kHz detektiert werden (b). Ursache hierfür ist, dass hochfrequenter Schall sehr gerichtet aus den Undichtigkeiten austritt und somit im Falle des Lochs in der Wand auf keine Mikrofone der akustischen Kamera trifft. Wenn das Mikrofonarray direkten Blick auf das Loch in der Wand hat, dann kann auch diese Undichtigkeit lokalisiert werden (c). Die Undichtigkeit am Scharnier ist aus diesem Blickwinkel sehr schwach zu erkennen, würde jedoch bei der Auswertung wahrscheinlich als Rauschen interpretiert werden. Da mit dem Hochtöner ebenfalls ein sog. Sweep-Signal abgespielt wurde, kann der angepasste Algorithmus beide Undichtigkeiten deutlich hervorstellen. Bei einem Sweep-Signal wird ein Sinus abgespielt bei dem die Frequenz kontinuierlich ansteigt oder abfällt. In unserem Fall stieg die Frequenz von 10 kHz bis 22 kHz an. Der Vorteil solcher Sweeps liegt darin, dass sie von Lautsprechern in der Regel mit höherer Lautstärke abgestrahlt werden können als breitbandige Signale, was die Detektion von Undichtigkeiten erleichtert.





Bild 10: Vermessung eines Fensters mit dem Kugellautsprecher (a) und dem Hochtöner (b,c,d) aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Mit Hilfe des angepassten Algorithmus für instationäre Quellen konnten bei der schrägen Sicht beide Undichtigkeiten deutlich hervorgestellt werden (d).

Mit dem Messverfahren können somit Undichtigkeiten bereits zuverlässig lokalisiert werden. Jedoch erfordert die Deutung der akustischen Karten ein fundiertes akustisches Fachwissen. In Bild 11 werden mögliche Herausforderungen bei der Deutung der Ergebnisse anhand der akustischen Karten (a) und (b) aus Bild 10 dargestellt. Beim Kugellautsprecher in Bild 10 (a) sind bspw. nur die potenziellen Undichtigkeiten dargestellt, deren Schalldruckpegel höchstens 1,3 dB unter dem höchsten Wert der akustischen Karte liegen. Werden stattdessen 1,8 dB als sog. Dynamik der akustischen Karte eingestellt, dann taucht eine potenzielle Undichtigkeit in der unteren rechten Ecke des Fensters auf (siehe Bild 11 (a)). Dies ist jedoch lediglich eine Reflexion des Schalls aus der Umgebung. In Bild 11 (b) wurde für den Hochtöner der auszuwertende Frequenzbereich von 17,6 – 18,1 kHz auf 15 – 20 kHz erweitert. Nun erscheinen potenzielle Undichtigkeiten direkt auf der Fensterscheibe. Ursache hierfür können Reflexionen oder die durch den Schall zum Schwingen angeregte Fensterscheibe sein. Auch kann es passieren, dass die Undichtigkeit an einer falschen Position detektiert wird, weil der Schall einer hochfrequenten Schallquelle durch eine dem Mikrofonarray Undichtigkeit tritt und von einer nahegelegenen festen Oberfläche in Richtung der akustischen Kamera reflektiert wird.



Bild 11: Erschwerte Deutung der akustischen Karten beim Kugellautsprecher (a) durch Reflexionen und beim Hochtöner (b) durch Reflexionen und/oder der zum Schwingen angeregten Fensterscheibe.

Zusammenfassung und Ausblick

Die bisherigen Labormessungen zeigen bereits, dass auch längere und recht komplexe Leckagepfade mit der akustischen Methode gut nachweisbar sind. Mit dem



Versuchsaufbau wird künftig weiter an der Verbesserung des Verfahrens, wie z. B. einer Abschätzung der Leckagegröße aus dem akustischen Signal geforscht.

Bei den Feldmessungen hat sich das vorgestellte Verfahren zur Leckageortung mit Mikrofonarrays, trotz möglicher Störeinflüsse durch Umgebungslärm und akustischer Reflexionen, als zuverlässig und zeiteffizient erwiesen. Die Erweiterung des Algorithmus zur Verarbeitung instationärer Schallquellen ermöglicht den Einsatz hochfrequenter Schallquellen für eine präzise Lokalisierung von Undichtigkeiten in größeren Bereichen. Da zudem selten Störeinflüsse im Ultraschallbereich auftreten, eignen sich Ultraschallquellen gut für Messungen in unruhigen Umgebungen, wie Baustellen.

Zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit befindet sich das Projekt gut in der Hälfte der Laufzeit. Aktuell wird daran gearbeitet die Daten einer Infrarotkamera in die akustische Auswertung einzubinden. Ziel ist es, akustische Störeinflüsse einfacher zu erkennen oder sie sogar automatisiert aus den Messdaten zu entfernen. Auf diese Weise könnte ein robustes und praxisgerechtes Werkzeug zur Detektion von Undichtigkeiten an Gebäuden entstehen. Für den aktuellen Einsatz existieren auf dem Markt bereits mobile Mikrofonarrays. Die LeakCam 600 der Firma CS INSTRUMENTS ist für den Einsatz im Ultraschallbereich optimiert und erzielt für ein mobiles Gerät sehr gute Ergebnisse (Bild 13, links). Als Ultraschallquelle könnte die in diesem Projekt genutzte SONOSPHERE der Firma SONOTEC genutzt werden (Bild 12, rechts).



Bild 12: LeakCam 600 von CS INSTRUMENTS (links, Foto: CS INSTRUMENTS (2025)) und die SONOSPHERE von SONOTEC (rechts, Foto: SONOTEC (2025)).

Referenzen

- Diel, M., Schiricke, B., & Pernpeintner, J. (2024). Test facility for building envelope leakage type analysis and improvement of acoustic and thermographic airtightness measurement methods. *In Proceedings* of 44th AIVC-12th TightVent & 10th venticool Conference. https://www.aivc.org/sites/default/files/072-138-Diel-Markus.pdf
- Kölsch, B., Schiricke, B., Lüpfert, E., and Hoffschmidt, B. (2023). Detection of air leakage in building envelopes using microphone arrays. *In Proceedings of the 41st AIVC ASHRAE IAQ joint conference*. <u>https://www.aivc.org/sites/default/files/1_C12.pdf</u>
- LeakCam 600, Firma CS INSTRUMENTS, letzter Zugriff Mai 2025 <u>https://www.cs-instruments.com/leakcam/</u>

Schiricke B, Diel M, Kölsch B. (2024) Field Testing of an Acoustic Method for Locating Air Leakages in Building Envelopes. *Buildings*.; 14(4):1159. <u>https://doi.org/10.3390/buildings14041159</u>

Schiricke, B., Diel, M., Jahnke, A., Ackermann, M. M., (2025). Acoustic Leak Detection in Building Envelopes – Laboratory and Field Tests. *In Proceedings of the 45th AIVC - ASHRAE IEQ joint conference.* In Begutachtung.

SONOSPHERE, Firma SONOTEC, letzter Zugriff Mai 2025: <u>https://www.sonotec.de/produkte/vorbeugende-instandhaltung/produkte/sonaphone-t/</u>

