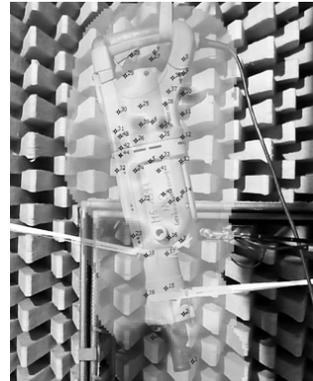


## Schallquellenortung durch Schallintensitätsmessung

Schmelter, R.

*Akustische Optimierung an Strukturen erzielt den größten Effekt, wenn man die jeweils stärkste Quelle der Schallabstrahlung betrachtet. Das Auffinden dieser Quellen an komplexen Maschinen kann sich als sehr aufwändig erweisen. Am Institut für Maschinenwesen (IMW) gibt es dazu seit diesem Jahr eine Lösung zur Schallquellenortung durch Intensitätsmessung.*



*Acoustical optimization of common structures always shows best performance by decreasing the loudest source. Localization of these sources often is very difficult due to the complexity of typical structures. To improve the procedure of localization, the Institute of mechanical engineering (IMW) holds new tool based on sound intensity measurement.*

### 1 Einleitung

Die Einhaltung nationaler und internationaler Richtlinien zum Schutz vor Lärm fordern immer leisere Maschinen und Strukturen. Häufig ist dabei das Ziel, die abgestrahlte Schallleistung zu verringern. Eine wichtige Angabe seitens der Hersteller ist dabei der Schallleistungspegel einer Maschine, ermittelt nach z.B. ISO 9614. Dieser Schallleistungspegel stellt aber nur einen über den gesamten Hörbereich und über der Messfläche gemittelten Gesamtwert dar und sagt nichts über die eigentliche Abstrahlcharakteristik aus. In der Realität strahlen Maschinen die akustische Leistung jedoch oft bandbegrenzt oder örtlich eingegrenzt, ausgehend von solchen strukturellen Quellen, aus. Außerdem ist für die Höhe des Schallleistungspegels hauptsächlich die lauteste Einzelquelle verantwortlich. Eine akustische Optimierung beginnt man daher immer an der Quelle mit der stärksten Schallabstrahlung. Mit zunehmender Komplexität der Maschinen wird es dem Akustiker aber immer schwerer, aufgrund von kinematischen Verhältnissen, Maschinenelementen und Struktureigenschaften auf die lauteste Quelle zu schließen. Existiert ein Prototyp der Maschine oder schon ein Vorserienmodell, können die lautesten Einzelquellen durch Schallquellenortung mit verschiedenen Methoden lokalisiert und optimiert werden. Um diese Arbeit zu vereinfachen, gibt es seit diesem

Jahr am IMW eine Software zur Schallquellenortung basierend auf Messung der Schallintensität als Referenzgröße.

## 2 Schallintensität

Als Schallintensität  $I$  wird die abgestrahlte Schallleistung einer Struktur bezogen auf eine Flächeneinheit bezeichnet. Sie ist damit eine Größe zur Kennzeichnung des akustischen Energieflusses ausgehend von einer Quelle. Definiert wird die Schallintensität in Ausbreitungsrichtung als Produkt aus örtlichem Schalldruck  $p$  und Schallschnelle  $u$  (Formel 2.1) /1/.

$$I = p \cdot u \quad 2.1$$

Der örtliche Schalldruck ist dabei eine skalare Größe, die Schallschnelle ist ein Vektor. Somit erhält die Schallintensität eine Richtungsinformation zur Ausbreitung der Schallenergie.

### 2.1 Messtechnische Ermittlung der Schallintensität

Heutzutage habe sich standardmäßig zwei Verfahren zur Messung der Schallintensität durchgesetzt, ein eher direktes basierend auf Formel 1.1 und ein indirektes. Bei der direkten Messung der Schallintensität mit einer sogenannten p-u Sonde werden örtlicher Schalldruck über eine normale Mikrofonskapsel und die Schallschnelle durch die Abkühlung eines heißen Drahtes in der sich bewegenden Luft gemessen. Die zweite Art der Messung basiert auf der Messung zweier Schalldrücke  $p_1$  und  $p_2$  in einem definierten Abstand zueinander mit sogenannten p-p Sonde. Am IMW existiert seit längerem eine p-p Sonde 50AI der Firma GRAS (Abbildung 1). Die Berechnung der Schallschnelle erfolgt dabei auf dem Druckgradienten, der sich durch den Mikrofonabstand  $\Delta r$  ergibt (Formel 2.2 /2/). Damit ergibt sich mit dem mittleren Schalldruck aus beiden Mikrofonen und der Luftdichte  $\rho_{Luft}$  die Schallintensität nach Formel 2.3 /2/.

$$u = -\frac{1}{\rho_{Luft}} \int \frac{p_1 - p_2}{\Delta r} dt \quad 2.2$$

$$I = -\frac{p_1 + p_2}{2\rho_{Luft}} \int p_1 - p_2 dt \quad 2.3$$

Der durch die p-p Sonde nutzbare Frequenzbereich ergibt sich dabei durch den Mikrofonabstand  $\Delta r$ . Die untere Grenzfrequenz wird dabei definiert durch die Phasenfehlanspassung der beiden Mikrofone. Eine

sinnvolle Berechnung der Schallintensität ist nur dann möglich, wenn die Phasendifferenz der beiden Schalldrucksignale größer ist als der Phasenfehler der beiden Mikrofone. Die obere Grenzfrequenz ergibt sich durch die lineare Näherung des Druckgradienten, der bei sehr kurzen Wellen nicht mehr richtig erfasst wird. Für typische Mikrofonabstände ergibt sich der nutzbare Frequenzbereich einer p-p Sonde bei einer Messgenauigkeit von 1dB nach Tabelle 1 /3/.

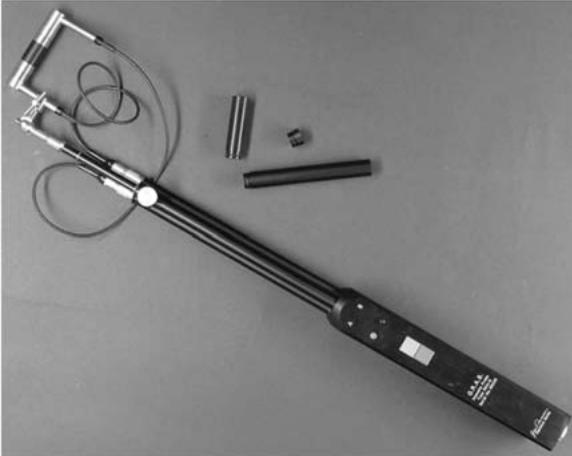


Abbildung 1: p-p Sonde zur Schallintensitätsmessung am IMW.

Tabelle 1: Grenzfrequenzen einer p-p Sonde mit typischen Mikrofonabständen nach /3/ für eine Messgenauigkeit von 1dB.

<b>Mikrofonabstand <math>\Delta r</math></b>	<b>Untere Grenzfrequenz</b>	<b>Obere Grenzfrequenz</b>
12mm	120Hz	4720Hz
50mm	29Hz	1135Hz
120mm	12Hz	470Hz

## 2.2 Schallquellenortung durch Intensitätsmessung

Eine Schallquellenortung aufgrund einer Intensitätsmessung hat gegenüber einer Schallkartierung durch Schalldruck den Vorteil, dass durch die vektorielle Größe der Schallintensität eine Fehlinterpretation durch auftretende virtuelle Quellen verhindert wird. Virtuelle Quellen sind Orte hohen Schalldrucks an einer Struktur, die jedoch

nicht von der Struktur selbst sondern durch den Einfall von Störschall anderer Schallquellen in der Umgebung entstehen. Mit einer Schalldruckmessung sind solche Quellen nur sehr schlecht von realen Quellen auf der Struktur zu unterscheiden, da die auftretenden Effekte die gleichen sind.

Durch die Messung der Schallintensität erhält man die Richtungsinformation des Energieflusses. Man kann daher unterscheiden, ob die Schallenergie von der zu untersuchenden Struktur weg gerichtet ist, also eine reale Quelle darstellt, oder zur Struktur hin gerichtet ist also eine Störquelle darstellt. Bei einer realen Schallquelle wird die Schallintensität aufgrund der Richtung als positiv definiert, bei Störschall wird die Schallintensität negativ.

Am Beispiel eines Elektrohammers wurde mit der Software „Intensity Inspector“ von CAE-Systems eine Schallquellenortung durchgeführt. Dazu wird an diskreten Punkten in einer Messebene vor der Struktur eine Intensitätsmessung durchgeführt. Zur Quellenortung werden diese Messungen dann kartiert und als farbig skaliertes Bild über ein Foto der Struktur gelegt (Abbildung 2). Da die Messung in einem Halbraum durchgeführt wurde, existierte keine Störquelle. Der Betrag der Schallintensität ist gleich der positiven Schallintensität. In Abbildung 2 ist im dargestellten Frequenzbereich eine starke Einzelquelle an der unteren Schlagwerkabdeckung zu finden. Eine Optimierung dieser Abdeckung hat somit erhebliches Potential zu einer Verringerung der abgestrahlten Schalleistung des Hammers. Durch die Darstellung der Schallkartierung der ersten Harmonischen dieser Quelle in Abbildung 3 erhärtet sich diese Vermutung. An der Schallabstrahlung ist nunmehr nicht nur die Einzelquelle beteiligt, sondern ebenfalls die durch die Quelle angeregte umliegende Struktur. An dieser Stelle angreifende Optimierungsmaßnahmen können somit einen großen Effekt erzielen.

Zum Finden einer Einzelquelle kann folgende Verfahrensweise angewendet werden:

1. Grobe Rasterung der Struktur
2. Finden interessanter Frequenzbereiche im Spektrum
3. Darstellung der gefundenen Frequenzbereiche als Fehlfarbdarstellung
4. Aufnehmen von zusätzlichen Messpunkten in Bereichen hoher Schallintensität um die örtliche Auflösung zu verbessern.

Bei der oben genannten Verfahrensweise unterstützt die CAE-Software „Intensity Inspector“ durch die Möglichkeiten, eine Kartierung schon nach wenigen aufgenommenen Messpunkten durchzuführen und die Spektren an den einzelnen Messstellen zum Auffinden der interessanten Messbereiche anzuzeigen. Anschließend kann an

zusätzlichen Messpunkten zusätzlich werden, um die örtliche Auflösung zu verbessern. Ebenfalls können Messpunkte, die z.B. im Bereich einer Luftströmung liegen und das Ergebnis somit verfälschen, nachträglich wieder gelöscht werden.

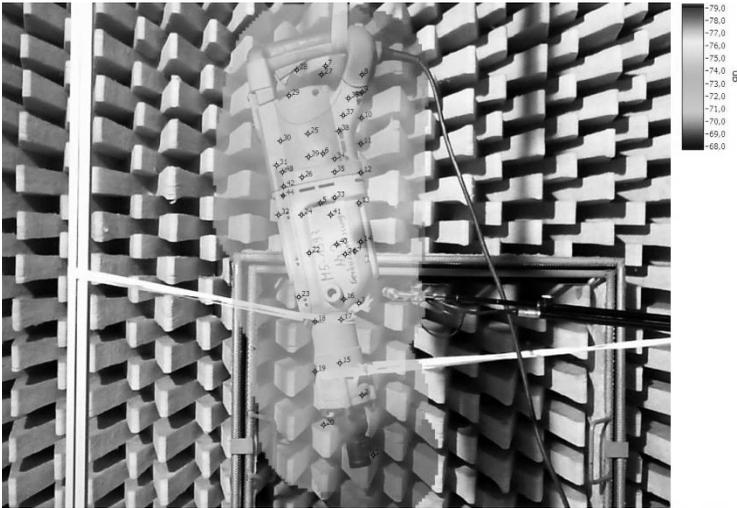


Abbildung 2: Intensitätskartierung für einen Elektrohammer im Frequenzbereich von 1310 Hz bis 1320Hz. Dargestellt ist die positive Schallintensität.



Abbildung 3: Positiver Schallintensitätsanteil im Frequenzbereich von 2620Hz bis 2630Hz.

### 3 Zusammenfassung

Mit der Software „Intensity Inspector“ steht am IMW jetzt eine sinnvolle Ergänzung zur vorhandenen Intensitätssonde zur Schallquellenortung zur Verfügung. Die Software wird in der Forschung eingesetzt um optimierungsmaßnahmen an Maschinenstrukturen abzuschätzen. Ebenfalls findet sie Anwendung in der Lehre, um den Studierenden einen visuellen Eindruck der schallabstrahlenden Bereiche einer Struktur zu vermitteln. Durch die Möglichkeit, verschiedene Komponenten des Schallfeldes getrennt darzustellen und nachträglich die Messung zu verfeinern, wird die Gefahr einer Fehlinterpretation erheblich verringert.

### 4 Literatur

- /1/ Möser, M.: Technische Akustik, Springer Berlin Heidelberg 2007.
- /2/ Fahy, F.J.: Sound Intensity, E & FN Spon 1995.
- /3/ Henn, H., Sinambari, G. R., Fallen, M.: Ingenieurakustik. Praxis, Vieweg+Teubner Wiesbaden 2008