

# Zur subjektiven Lautstärkebeurteilung in flachen Räumen mit absorbierenden Decken

## Einleitung

Die bisher beschriebenen Versuche dienten zur Ermittlung des Schalldruckverlaufs im Raum. Der Schalldruck ist eine rein physikalisch erfaßbare Größe, die mit einem Mikrofon objektiv an jeder Stelle des Raumes eindeutig bestimmt werden kann. Aus diesem Schalldruck ergibt sich, wenn er der Ohrempfindlichkeit gemäß für die verschiedenen Frequenzen bewertet wird, angenähert die Lautstärke, die ein Mensch an der gleichen Stelle wahrnimmt. Für genauere Angaben muß jedoch noch die Richtung und die Zeitfolge des Schalls berücksichtigt werden, da durch das zweiohrige Hören die Orientierung des Kopfes zum Schallfeld von Einfluß ist und durch die weitere Verarbeitung des Schallreizes im Nervensystem auch die Zeitfolge von Bedeutung sein kann. Diese Einflüsse lassen sich nicht mehr durch die bisher beschriebenen Messungen klären, sondern hier sind subjektive Untersuchungen mit möglichst vielen Versuchspersonen erforderlich. Derartige Versuche sind bereits an verschiedenen Stellen durchgeführt worden. Im folgenden sollen die dort gefundenen Ergebnisse im Hinblick auf die besonderen Verhältnisse in flachen Fabrikräumen diskutiert werden.

## Richtungseinflüsse

Im diffusen Schallfeld, in dem der Schall aus allen Richtungen in etwa gleicher Stärke auf den Beobachter einfällt, wird die gleiche Schallintensität lauter empfunden, als wenn sie als ebene Welle nur senkrecht von vorn auf den Beobachter einwirkt<sup>1</sup>. Bei der Orientierung auf die Schallquelle durch Drehen des Kopfes kann die Wegnahme der Reflexionen durch schallabsorbierende Verkleidung der Raumbegrenzungen zusätzlich zu der dadurch bedingten Intensitätsverminderung eine weitere Lautstärkeabnahme hervorrufen, weil der Anteil des diffusen Schallfeldes vermindert wird. Bei einer genauen Betrachtung muß zur Lautstärkebestimmung die jeweilige Einfallsrichtung der Schallwellen berücksichtigt werden. In flachen Räumen sind dabei besonders die schräg von oben kommenden Reflexionen von Interesse, die durch eine schallschluckende Verkleidung der Decke beseitigt werden können. Nach ROBINSON und WHITTLE [26] wird bei Frequenzen über 5 kHz

<sup>1</sup> Die Unterschiede hängen von der Frequenz ab. Nach einer Zusammenstellung von ROBINSON und Mitarbeitern [25] über eigene Messungen und die Messungen anderer Autoren betragen diese Unterschiede bei 1 kHz etwa + 2,5 dB, bei 3000 Hz — 1,5 dB und bei 6 kHz + 5 dB.

Schall aus diesen Richtungen im Mittel um 5 dB lauter bewertet, als wenn er bei gleicher Intensität direkt von vorn kommt (im Bereich 1–5 kHz erscheinen jedoch die schräg von oben kommenden Schallwellen dem Beobachter zwischen 0 und 3 dB leiser, als wenn sie mit gleicher Intensität direkt von vorn kommen). Für genauere Aussagen muß deshalb auch noch das Frequenzspektrum der Schallquelle bekannt sein.

#### *AIGNER-STRUTT-Effekt*

AIGNER und STRUTT [27] fanden eine subjektiv erhöhte Lautstärke gegenüber der einfachen Addition der Schallintensität, wenn bei einer Musikdarbietung auf den primären Schall sein Echo mit gleicher Intensität folgte. Von LÜBCKE [28] wurden entsprechende Untersuchungen für technische Geräusche durchgeführt. Bei einer Echolaufzeit von 20 bis 60 msec wurde im Bereich 60–80 Phon das Geräusch mit Echo im Mittel um 3 Phon lauter empfunden, als nach der Addition der Intensität von direktem Schall und Echo zu erwarten wäre.

Im Lautstärkebereich von 55 Phon konnte dagegen HAAS [29] bei Sprache den Effekt nicht finden, während MEYER und SCHODDER [30] bei einer Wiederholung der Haasschen Versuche bei Lautstärken von 65 und 75 Phon wieder eine subjektive Überschreitung der Energieaddition fanden. Sie war bei Echolaufzeiten von 50 msec am größten und betrug 1,8 Phon. Bei allen diesen Versuchen wurden Primärschall und Echo über getrennte Lautsprecher abgestrahlt, so daß auch noch Richtungseinflüsse von Bedeutung sein konnten.

Bei neueren Untersuchungen wurden die Geräusche über Kopfhörer dargeboten. THIESSEN und SUBBARAO [31] fanden für Impulse, die mit einem Nachhallgerät von 1,1 sec Nachhallzeit mit drei Primärrückwürfen »verhallt« wurden, bei der Lautstärkebeurteilung eine Überschreitung der Energieaddition um bis zu 3 Phon für Lautstärken um 85 Phon. Für größere und kleinere Lautstärken war der Effekt geringer.

SCHWARZE [32] konnte beim Vergleich von Einfach- und Doppelimpulsen den Effekt im Lautstärkebereich 50–70 Phon nicht finden. Lediglich bei 80 Phon und für tiefe Frequenzen (250 Hz) wurden die Doppelimpulse gegenüber den einfachen um etwa 1 dB lauter empfunden, als der Energieaddition entspricht, wenn sie einen Zeitabstand von 20 bis 40 msec hatten.

Eigene Versuche wurden an einem über Kopfhörer dargebotenen Dieselmotorgeraus (Grundfrequenz 10 Hz) durchgeführt. Von fünf Versuchspersonen wurde das Originalgeräusch im Eingrenzungsverfahren verglichen mit dem Geräusch, dem sein Echo in gleicher Intensität zugemischt wurde. Die Verzögerung des Echos erfolgte dabei über hochwertige R-C-Ketten, die eine maximale Verzögerungszeit von 20 msec zuließen. Bei Lautstärken von 80 Phon waren die subjektiv festgestellten Abweichungen von der Energieaddition im Mittel geringer als 1 Phon.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die von verschiedenen Autoren gefundenen Werte für den AIGNER-STRUTT-Effekt eine subjektiv gegenüber der Schallintensität erhöhte Lautstärke zwischen 0 und + 3 Phon ergeben.

Eine Erklärung für die teilweise widersprüchlichen Ergebnisse kann in den Streuungen gesehen werden, die bei subjektiven Untersuchungen auftreten. Die Unterschiede in der Lautstärkebeurteilung des gleichen Geräusches durch zwei verschiedene Beobachter können  $\pm 8$  Phon betragen. Eine genauere Aussage über die Größe des Effektes kann bei dem augenblicklichen Stand der Untersuchungen nicht gemacht werden.

### Zusammenfassung

In flachen Fabrikräumen kommen die ersten Echos von der Decke mit einer Zeitverzögerung in der Größenordnung 20 msec. Sie können durch schallschluckende Behandlung der Decke ausgeschaltet werden und zusätzlich zur physikalisch meßbaren Intensitätsverminderung die subjektiv empfundene Lautstärke um den durch den AIGNER-STRUTT-Effekt hervorgerufenen Betrag herabsetzen. Dieser macht sich erst bei größeren Lautstärken zwischen 80 und 100 Phon bemerkbar. Die Veränderungen des diffusen Schallfeldes können nach ROBINSON eine weitere subjektive Herabsetzung der Lautstärke im gedämpften Raum bewirken. Man kann auch sagen: die bei Deckenverkleidungen beobachtete subjektive Wirkung, die über die gemessene Schallpegeldifferenz hinausgeht, ist dadurch zu erklären, daß die subjektive Wahrnehmung im unverkleideten Raum gegenüber der Lautstärke in einer ebenen Welle merklich erhöht ist, während im verkleideten Raum letztere wirksamer ist.

## Literaturverzeichnis zum Anhang

- [25] ROBINSON, D. W., L. S. WHITTLE und J. M. BOWSER, The loudness of diffuse sound fields. *Acustica* 11 (1961), 397–404.
- [26] ROBINSON, D. W., und L. S. WHITTLE, The loudness of directional sound fields. *Acustica* 10 (1960), 74–80.
- [27] AIGNER, F., und M. J. O. STRUTT, Über die physiologische Wirkung mehrerer Schallquellen auf das Ohr und ihre Anwendung auf die Raumakustik. *Z. f. techn. Phys.* 15 (1934), 355–360.
- [28] LÜBCKE, E., Über die Zunahme der Lautstärke bei mehreren Schallquellen. *Z. f. techn. Phys.* 16 (1935), 77–80.
- [29] HAAS, H., Über den Einfluß eines Einfachechos auf die Hörsamkeit der Sprache. *Acustica* 1 (1951), 49–58.
- [30] MEYER, E., und G. R. SCHODDER, Über den Einfluß von Schallrückwürfen auf Richtungslokalisation und Lautstärke. *Nachr. Akad. d. Wiss. Göttingen, Kl. IIa*, Nr. 6 (1952), 31–42.
- [31] THIESSEN, G. J., und K. SUBBARAO, Effect of reverberation on assessment of repetitive impulse noise. *JASA* 34 (1962), 1761–1763.
- [32] SCHWARZE, D., Über die Lautstärke von Doppelimpulsen. *Techn. Bericht Nr. 56 d. Heinrich-Hertz-Inst. für Schwingungsforschung, Berlin-Charlottenburg* (1961).