

Bemerkungen zu Geräuschmessungen an Maschinen

Gustav A. Sehrndt, Beratung zur Lärminderung, Köln/Münster

1 Schalldruckpegelmessungen auf Quadermeßflächen

Kann mit den vorliegenden internationalen Normen ISO 3744 und 3746 als Ergebnis der Schalleistungsbestimmung mittels Schalldruckmessungen an Maschinen der wahre Wert angestrebt werden? Müssen diese Normen entsprechend weiterentwickelt werden? Unter anderem sind zwei Punkte zu prüfen: Die Bestimmung der Umgebungskorrektur und die Auswahl der Mikrofonanordnung für Quadermeßflächen. Dazu wurde ein in [1,2] vorgeschlagenes Verfahren zur Bestimmung der Umgebungskorrektur mittels Vergleichsschallquelle an einer Modellmaschine erprobt. Weiterhin wurden verschiedene Mikrofonanordnungen verglichen. Die Konsequenzen für die Rahmennormen und ihre Umsetzung in maschinenspezifischen Geräuschmeßnormen werden diskutiert.

2 Winkelfehler

Das in [1,2] benutzte Verfahren steht im Zusammenhang mit der Erklärung der Fehler nach [3], wie neuerdings in [4] gezeigt wird. Das Verfahren geht davon aus, daß der hier vereinfacht Winkelfehler genannte Fehler durch Berechnung in Abhängigkeit von Größe und Form der Quadermeßfläche ermittelt und damit vom reinen Umgebungseinfluß getrennt werden kann. Damit ist nun eine einheitliche Bestimmung der mittleren Umgebungskorrektur möglich. Neben der zu messenden Maschine wird eine Vergleichsschallquelle entsprechend ISO 6926 aufgestellt. Auf einer „Standard“-Quadermeßfläche, d.h. hier auf einem Kubus der Kantenlänge $a=2\text{m}$, $S=20\text{m}^2$, wird die Umgebungskorrektur gemäß Anhang A.3.1 der Norm ISO 3744 bestimmt. Von dieser Korrektur läßt sich der berechnete Winkelfehler abtrennen, der reine Umgebungseinfluß wird dann auf die Meßfläche der Maschine umgerechnet und mit dem hierfür berechneten Winkelfehler kombiniert. Das Verfahren wurde für eine Modellmaschine erprobt [5] und auf vorliegende Ergebnisse aus [6] erfolgreich angewendet. Die in [6] zum Vergleich mit Intensitätsmessungen herangezogenen Schalldruckpegelwerte waren nur mit der Umgebungskorrektur gemäß ISO 3744 Anhang A.4.2 korrigiert, d.h. mit Benutzung der aus Nachhallzeitmessungen ermittelten äquivalenten Absorptionsfläche.

3 Mikrofonanordnung und -zahl

Bei den Untersuchungen nach [5] wurde der Winkelfehler auf dem Standardkubus über der Vergleichsschallquelle im Halbfreifeldraum überprüft. Mit der nach ISO 3744 vorgegebenen Anordnung der Mikrophone in der Mitte der Kubusflächen und auf den Ecken, d.h. also mit 9 Positionen ergab sich nur in einigen Oktaven eine schwache Übereinstimmung mit dem berechneten Winkelfehler. Das war wegen der rotationssymmetrischen aber vertikal ungleichmäßigen Abstrahlung der verwendeten Vergleichsschallquelle B&K Typ 4204 nicht unerwartet, da ähnliche Effekte mit dieser Quelle auch bei Messungen auf der Halbkugel mit

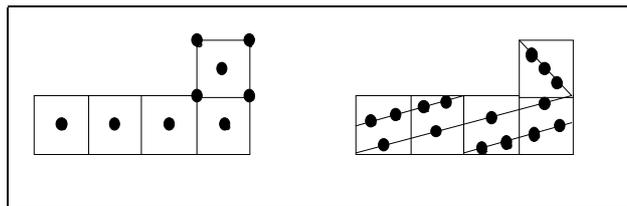


Bild 1 Mikrofonpositionen, links ISO 3744, rechts Vorschlag [5]

jeweils mehreren Mikrophenen auf gleicher Höhe seit längerem bekannt sind [7]. Deshalb wurde in ISO 6926 zur Überprüfung von Vergleichsschallquellen die spiralförmige Anordnung fester Meßpunkte bzw. die Spiraltastung mit bewegtem Mikrophen empfohlen. Hier wurden in Anlehnung an ISO 6926 die 15 Positionen gemäß Bild 1 gewählt. Auf den Kubuseiten befindet sich jede Position auf einer anderen Höhe. Bezüglich der Anzahl der Mikrophenpositionen enthalten die Normen ISO 3744 und 3746 Regeln, die in [8] mittels statistischer Methoden untersucht wurden. Weitere grundsätzliche Überlegungen, z.B. im Hinblick auf das Shannonsche Abtasttheorem, enthalten [9,10].

4 Vergleichsrechnungen mit Versuchsergebnissen

Besonders kritisch ist die Mikrophenanordnung für stark gerichtet abstrahlende Schallquellen. So wurden die Ergebnisse der Versuche mit einem Maschinenmodell [5] entsprechend ausgewertet. Mit dem Modell, einer Großraumlimousine des Typs 806 des Herstellers Peugeot, Baujahr 1998, kann ebenso wie mit den in ähnlichen Vorhaben [2] benutzten Fahrzeugen eine Maschine mit einer großen Spanne des Freifeld-Richtwirkungsmaßes nachgebildet werden. Dazu wird mit einem Dodekaeder-Lautsprechersystem des Typs UVW des Herstellers Norsonic weißes Rauschen durch ein einzelnes geöffnetes Fenster oder vom allseits geschlossenem Fahrzeug abgestrahlt. Die Messungen des Schalldruck- und Intensitätspegels im Halbfreifeldraum wurden an 94 Positionen der Quadermeßfläche mit $S=80\text{m}^2$ ausgeführt, in den Terzbändern 200 bis 5000 Hz. Es wurden nun folgende Gruppen von je 6 ähnlichen Anordnungen mit jeweils 28 – 32 Meßpunkten gebildet:

R	spiralförmige oder diagonale Anordnung,
S	senkrecht betonte Anordnung,
W	waagrecht betonte Anordnung,
ZGG	zufällig auf der Gesamtmeßfläche ausgewählte Positionen,
ZG	zufällig auf 4 Teilflächen ausgewählte Positionen,
ZM	zufällig auf 8 Teilflächen ausgewählte Positionen,
ZF	zufällig auf 14 Teilflächen ausgewählte Positionen.

Außerdem wurden Anordnungen angelehnt an ISO 3744 bzw. mit gleichmäßiger Verteilung mit steigender Anzahl an Positionen gewählt:

VISO	Variabel von 5 bis 48 Positionen, ähnlich ISO 3744,
V	Variabel von 5 bis 73 Positionen, gleichmäßig verteilt

Für die gerichtete Abstrahlung wurde weiterhin eine auf die Hauptquelle konzentrierte Auswahl von 12 Meßpunkten mit je 1 Meßpunkt auf den übrigen vier Quaderflächen zu insgesamt 16 Positionen kombiniert, siehe Bild 2.

5 Ergebnisse

Für die o.g. Gruppen wurde in den Oktaven und für ein A-bewertetes Industriespektrum die mittlere Differenz DL zwischen den Schalleistungspegeln aus Schalldruckpegelmeßwerten und dem wahren Wert aus Intensitätspegelmessungen mit 94 Positionen sowie die Standardabweichung s berechnet. Für die Gruppen R, S, W, ZGG und ZM sind die Ergebnisse im Bild 3 für ungerichtete und in Bild 4 für gerichtete Abstrahlung dargestellt. Da im Halbfreifeldraum im betrachteten Frequenzbereich der Umgebungseinfluß Null ist, gibt die Differenz DL den Winkelfehler an. Er weicht nur geringfügig vom theoretischen Wert 2,1 dB nach [2] ab.

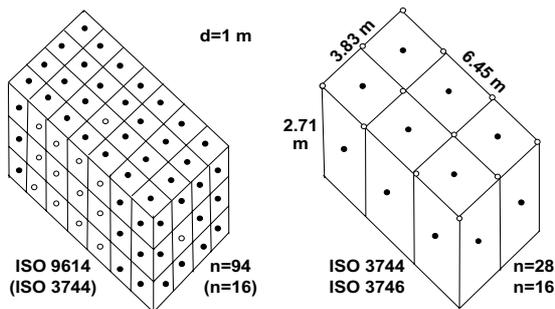


Bild 2 Meßfläche für die Modellmaschine nach [5], links mit 94 Meßpunkten für die Intensitätsmessung bzw. Teilflächen, rechts mit ISO-Meßpunkten.

Zumindest für diese Quellenart scheinen die Strahlereigenschaften mit denen übereinzustimmen, die im Verfahren nach [2] vorausgesetzt werden. Bild 3 zeigt, daß die Differenz DL bei ungerichteter Abstrahlung nur wenig durch die Anordnung der Meßpunkte beeinflusst wird, wie auch die Standardabweichung s. Bei gerichteter Abstrahlung in Bild 4 dagegen unterscheiden sich die Gruppen deutlicher. Die spiralförmige Anordnung R hat eine niedrige Standardabweichung s, die Gruppe W scheint ungünstig, die Zufallsanordnungen sind nicht vorteilhafter, siehe auch [10]. Letzteres trifft auch für die hier nicht dargestellten Gruppen ZG und ZF zu.

Reicht für die gerichtete Abstrahlung die Anzahl der Mikrofonpositionen aus? Dies wurde mit der Berechnung der Standardabweichung s zu dem aus je 5 Oktaven gebildeten Mittelwert der Differenz DL für die unterschiedlichen Meßpunktzahlen versucht zu klären, siehe Bild 5. Der Zusammenhang mit der Vergleichs-

Standardabweichung bedarf der weiteren Untersuchung. Es wird aber deutlich, daß die in ISO 3744 bzw. 3746 vorgeschriebene Zahl an Mikrofonpositionen für gerichtete Strahler ein Mindestmaß ist. Allerdings verlangen die Normen zusätzliche Meßpunkte auf entsprechenden Teilflächen, hier abgewandelt nach Bild 2, links, n=16. Das Ergebnis näherte sich dem wahren Wert auf weniger als 1 dB. Die Definition des Winkelfehlers ist hier strittig.

6 Diskussion

Abgesehen von der Messung der Vergleichsschallquelle scheinen diagonale/spiralige Meßpunktanordnungen nur geringe Vorzüge bei großen Maschinen zu besitzen.

Mit dem Verfahren nach [2] zur Berücksichtigung des Winkelfehlers sollten weitere Erfahrungen gesammelt werden.

Die Regeln für zusätzliche Meßpunkte an gerichtet abstrahlenden Maschinen oder gekapselten Maschinen mit Öffnungen sollten eine gleichzeitige Verringerung auf wenig abstrahlenden Teilflächen zulassen, wie für maschinenspezifische Geräuschmessungen schon gehandhabt.

Schrifttum: [1] Probst, W.: Schriftenreihe BAuA, Fb 556, 1988 [2] Probst, W.: Schfr. BAuA, Fb 851, 1999 [3] Hübner, G.: JASA 54(4), 1973, 967-977 [4] Wittstock, V.; Bethke, C.: DAGA'02 [5] Sehmdt, G.: Internoise'01 [6] Hübner, G.; Rieger, W.: Schfr.BAuA Fb 550, 1988 [7] Finke, H.-O.: DAGA'86, 761 [8] Hübner, G.; Mewes, D.: ICA '74, 33 [9] Hesselmann, N.; Hirsch, G.: DAGA'84, 307 [10] Batko, W.; Giergiel, J.: DAGA'86

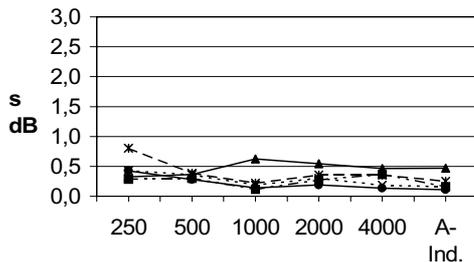
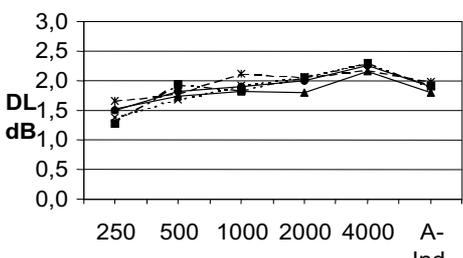


Bild 3 Mittlere Differenz DL zum wahren Wert und Stdabw. s für **ungerichtete** Abstrahlung für Oktaven und A-bew. Industriespektrum, mit den Gruppen

● R, ★ S, x W, ▲ ZGG, ■ ZM

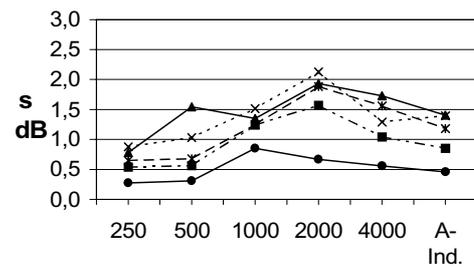
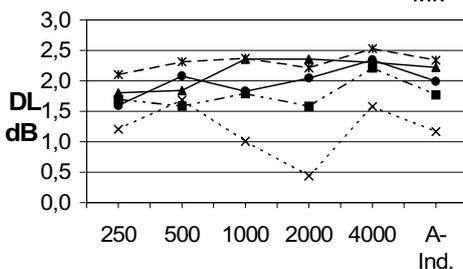


Bild 4 DL und s für die Gruppen entspr. Bild 3 für **gerichtete** Abstrahlung.

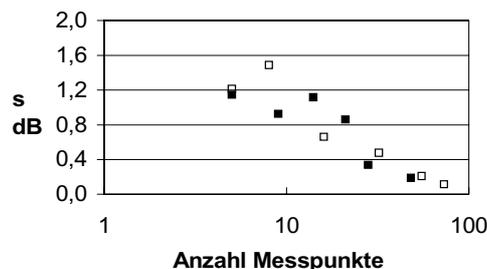
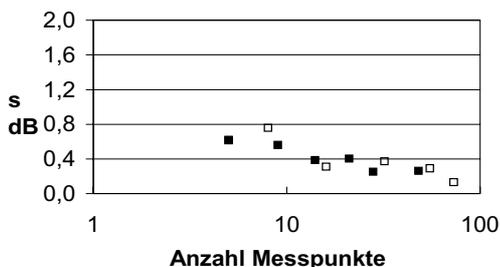


Bild 5 Standardabweichung s zur mittleren Differenz DL für die 5 Oktaven abhängig von der Meßpunktzahl, links für **ungerichtete**, rechts für **gerichtete** Abstrahlung, mit den Gruppen ■ VISO, □ V