

# Anforderungen an die Probeflächengeometrie bei der Messung des Streugrades im Diffusfeld

Márcio Henrique de Avelar Gomes<sup>1,2</sup> (mav@akustik.rwth-aachen.de)

Michael Vorländer<sup>1</sup> (mvo@akustik.rwth-aachen.de)

Samir Nasri Yousri Gerges<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Technische Akustik – RWTH-Aachen

<sup>2</sup>Laboratório de Vibrações e Acústica – Universidade Federal de Santa Catarina-Brasilien

## 1. Einleitung

Es ist lange bekannt, dass die Verwendung des Streugrades ( $\delta$ ) beim Simulieren der Akustik eines Raums mit Ray-tracing wichtig ist. Durch ihn werden die diffusen Reflexionen berücksichtigt. In einem Ray-tracing Algorithmus können die diffusen Reflexionen folgendermaßen simuliert werden: Wenn ein Schallteilchen eine Wand trifft, wird eine Zufallszahl ( $Z$ ) zwischen 0 und 1 generiert. Diese Zahl wird dann mit dem Streugrad verglichen. Wenn  $Z \geq \delta$ , wird das Teilchen in die gespiegelte Richtung reflektiert. Sonst wird es in eine zufällige Richtung gestreut [1]. Zu beachten ist, dass der „Streugrad“ („Scattering Coefficient“) nicht das gleiche wie der „Diffusionskoeffizient“ („Diffusion Coefficient“) ist. Der Diffusionskoeffizient, wie er heutzutage bekannt ist, wird mit der Uniformität eines Polardiagramms einer Reflexion verbunden. Er ist also ein Maß der Gleichförmigkeit einer diffusen Reflexion. Der Streugrad wird durch das Verhältnis zwischen die Energie, die nicht geometrisch reflektiert ist, zu der Energie, die insgesamt reflektiert ist, definiert [2]. Aktuell beschäftigen sich zwei Arbeitsgruppen mit den Messungen der beiden Koeffizienten (ISO und Audio Engineering Society). Die ISO Arbeitsgruppe wird in Kürze eine Norm herausgeben, um die Messung des Streugrades im Hallraum mit einer Korrelationstechnik zu standardisieren. Das Messprinzip nutzt den Ansatzpunkt, dass gemessene Impulsantworten an der gleiche Stelle für verschiedene Orientierungen eines Diffusors, Unterschiede von Phase und Amplitude im Nachhallbereich enthält. Addiert man die verschiedenen Impulsantworten nach einer kompletten Drehung dieses Diffusors, so erhält man eine „geometrisch reflektierte“ Impulsantwort, deren Energie im Vergleich zu einem Einzelmessergebnis schneller mit der Zeit abklingt. Daraus lässt sich der Absorptionsgrad ( $\alpha$ ) und der „geometrische Absorptionsgrad“ ( $a$ ) ermitteln. Schließlich wird der Streugrad berechnet [2] und zwar durch:

$$\delta = \frac{a - \alpha}{1 - \alpha} \quad (1)$$

In Hallraum wird  $\alpha$  durch die Messung der Nachhallzeit zuerst ohne ( $T_1$ ) und dann mit ( $T_2$ ) Probefläche bestimmt [3]. Auf ähnliche Art wird  $a$  aus der „geometrisch reflektierten“ Impulsantwort bestimmt. Dadurch erhält man eine entsprechende Nachhallzeit nach einer kompletten Drehung einer Grundplatte ( $T_3$ ) und der Probefläche selbst ( $T_4$ ).

Obwohl die Methode schon weit entwickelt ist, müsse einige mögliche Fehlerquellen noch besser untersucht werden. Hier werden zwei Effekte diskutiert, die eine Messung beeinflussen können. Beide beziehen sich auf die Form der Probefläche. Zunächst wurden periodische Probeflächen gebaut, die zwar von den Proportionen her identisch sind, aber verschiedene Maßstäbe aufwiesen. Ziel dieser Untersuchung war, zu bestimmen, ob es eine minimale Anzahl von Perioden gibt, mit welcher der Streugrad einer periodischen Struktur richtig ausgewertet wird. Zweitens wird die Form einer Struktur diskutiert. Hier wurden Messwerte verglichen, die mit runden und eckigen Probeflächen erzielt wurden.

Alle Messungen sind im einen reduzierten Modellraum durchgeführt worden, dessen Nachhallzeit ungefähr 1/5 der des Hallraums des ITAs beträgt. Die Ergebnisse, die hier vorgestellt werden, beziehen sich auf einen Frequenzbereich zwischen 800Hz und 10kHz. Zu tiefen Frequenzen hin wird die Grenze des Messverfahrens durch die Modendichte des Raums bestimmt, während die Luftabsorption die entscheidende Rolle bei höheren Frequenzen spielt.

## 2. Periodenzahl

Periodische Strukturen sind häufig in Räumen zu sehen. Sie manifestieren sich z.B. in Form von Säulen, Sitzplätzen, oder spezielle Diffusoren. Wenn repräsentative Streugrade periodischer Strukturen gemessen werden müssen, stellt man sich die Frage, ob die Probefläche eine minimale Zahl der Perioden enthalten muß. Um diese Frage zu beantworten und die minimale Zahl der Perioden zu bestimmen, wurden zwei Arten von Strukturen gemessen, eine mit sinusförmiger Oberfläche und eine andere mit quadratischen Stäben. Sie wurden mit verschiedenen Skalierungsfaktoren gebaut, so dass die sinusförmigen Proben elf, zweiundzwanzig bzw. vierundvierzig Perioden enthalten (siehe Abb.1). Die Probe mit quadratischen Stäben enthalten sechs bzw. zwölf Perioden, sind viereckig und haben eine Oberfläche von  $0,36\text{m}^2$  ( $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ ).

Die Sinusproben sind rund, mit einer Oberfläche von  $0,5\text{m}^2$  ( $\phi = 80\text{cm}$ ). In Abb.2 werden die gemessenen Streugrade von den drei Sinusproben dargestellt, und zwar als eine Funktion vom Verhältnis

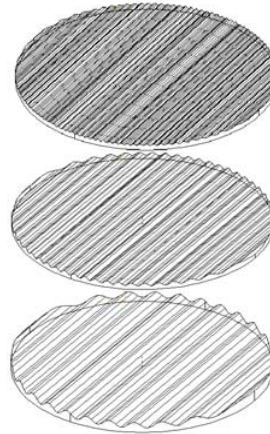


Abb.1. Sinusförmige Probefläche

zwischen der Strukturperiode und der Schallwellenlänge ( $\Lambda/\lambda$ ). Diese Art der Darstellung ist nützlich, wenn man Ergebnisse von Probeflächen vergleichen muss, die mit unterschiedlichen Maßstäbe gemessen wurden. In Abb.2 sieht man kaum Unterschiede zwischen den Streugraden von Probeflächen mit 11, 22 oder 44 Perioden. Fast alle Unterschiede fallen geringer aus als die Messunsicherheit. Das gleiche passiert aber nicht mit den anderen Probeflächen, deren Streugrade im Abb.3 zu sehen

ist. Ab  $\Lambda/\lambda = 0,83$  werden die Unterschiede zwischen den Streugraden immer größer. Streugrade, die von der Probefläche mit 6 Perioden gemessen wurden, sind mindestens 30% kleiner als die Streugrade von der Probe mit 12 Perioden, also Unterschiede, die viel größer als die Messunsicherheiten sind.

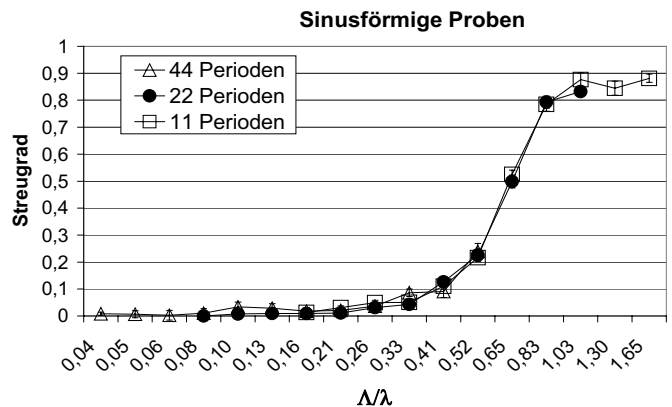


Abb.2. Streugrade von sinusförmigen Probeflächen, die in verschiedenen Maßstäben gebaut wurden

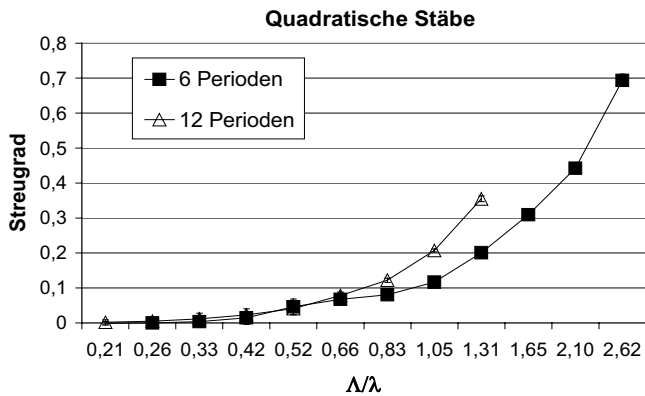


Abb.3. Streugrade von Probeflächen, die mit quadratischen Stäben und verschiedenen Maßstäben gebaut wurden

Da schon feststellbar war, dass 11 Perioden ausreichen, um den Streugrad einer periodischen Struktur richtig auszuwerten, lässt sich gleichermaßen daraus schließen, dass 6 Perioden dafür zu wenig sind. Obwohl die Probefläche mit quadratischen Stäben viereckig ist, spielen mögliche Kanteneffekte hier keine entscheidende Rolle. In Zukunft werden weitere Messungen mit periodischen runden Proben durchgeführt.

### 3. Form einer Probefläche

Es wird schon in der ISO Norm festgeschrieben, dass alle Probeflächen rund sein sollen. So wird sicher gestellt, dass Kanteneffekte keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Es ist aber manchmal nicht möglich, eine runde Probefläche zu bauen.

Um Kanteneffekte eckiger Proben zu quantifizieren, sind Halbkugeln gemessen worden, die in zufälliger Anordnung sowohl auf eine runde als auch auf eine viereckige Fläche aus Papier gelegt wurden. Zusätzlich wurde eine Messung mit einer viereckigen Platte (1,6cm hoch) durchgeführt, die unter die Halbkugeln gelegt wurde. Vier Kanten wurden so in die Messung „eingefügt“. Die Ergebnisse sind in Abb.4 dargestellt. Mit der untersuchten Probefläche sind die Streugrade sehr ähnlich, egal ob sie rund oder viereckig ist. Die zusätzlichen Kanten, die später in den Messaufbau eingefügt wurden, zeigten erhebliche Wirkung auf die Ergebnisse. Das zeigt, dass Kanteneffekte von eckigen Proben die Messung des Streugrades stark beeinflussen können.

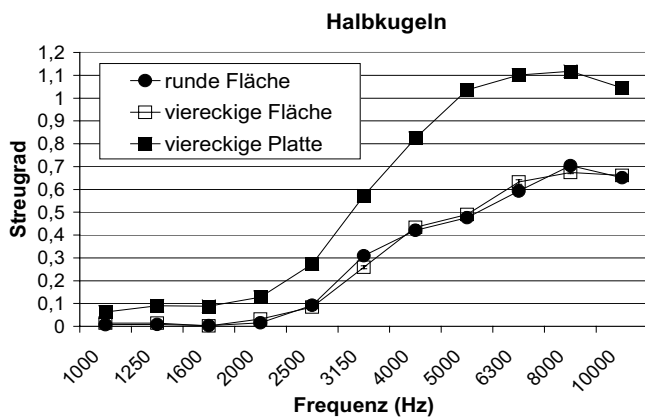


Abb.4. Streugrade von Halbkugeln auf: 1) runder Fläche, 2) viereckiger Fläche und 3) viereckiger Platte (1,6cm Hoch).

Um diese Art von Kanteneffekten zu vermeiden oder wenigstens zu minimieren, wäre es möglich, die Kanten von eckigen Proben zu „verstecken“, ähnlich wie bei der Messung des Absorptionsgrades im Hallraum. Bei der Korrelationsmesstechnik sind Proben unsichtbar, die symmetrisch zu der Achse der Rotation sind. Ähnlich ist es auch mit Kanten. Eine neue runde Grundplatte mit einem eckigen Loch wurde gebaut. Während der Referenzmessungen ( $T_1$  und  $T_3$ ), wurde dieses Loch mit einer flachen Platte geschlossen. Um  $T_2$  und  $T_4$  zu

messen, wurde die Probe in das Loch eingefügt. Für eckige Proben, deren Höhe auf den Ecken ( $h$ ) konstant ist (z.B. die Decke vom Studio in der PTB, siehe Abb.6a), sollte sich diese Korrektur positiv auswirken. Wenn die Höhe auf der Ecke nicht konstant ist (wie z.B. bei einer viereckigen sinusförmigen Probe, siehe Abb.6b), können diese Art von Kanteneffekten nur minimiert werden. Abb.5 zeigt Streugrade von einer sinusförmigen Oberfläche, deren Probefläche rund und eckig gebaut wurde. Ergebnisse von der runden Probefläche bilden dabei die Referenz. Die eckige Probefläche wurde zweimal gemessen. Einmal ohne Korrektur und ein weiteres mal mit so vielen versteckten Kantenflächen wie möglich. Wenn die Kanten nicht versteckt sind, sind die Fehler noch einmal gesteigert. Sonst sind die Unterschiede schon geringer.

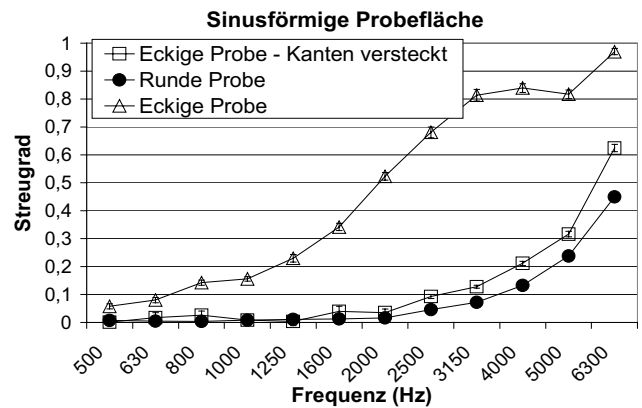


Abb.5. Streugrade einer sinusförmigen Oberfläche, die auf einer runden bzw. einer eckigen Probefläche aufgebaut wurde

Zu diskutieren ist, ob diese Unterschiede ausreichend sind. Mit der eckigen sinusförmigen Probe wäre es möglich, noch einen Schritt weiter zu gehen. Der Zahl der Perioden war hier nicht gerade. Wenn sie aber gerade wäre, würden die Unterschiede noch geringer ausfallen. Es ist auch zu bestimmen, wie der Impedanzunterschied zwischen der Grundplatte und der Probefläche die Ergebnisse beeinflussen kann.

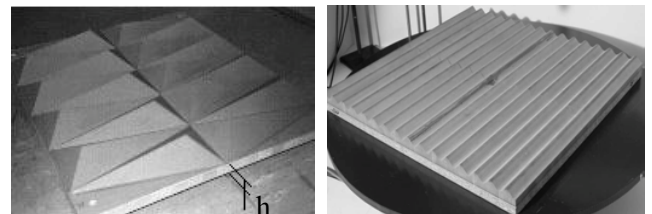


Abb.6. Eckige Proben: a) vom Diffusor an der Studiodecke im PTB (Skalierung: 1/10) und b) sinusförmiger Oberfläche

### 4. Ausblick

Es wurden Parameterstudien durchgeführt, um die Einflüsse der Probegröße und -geometrie auf die Streugradmessung nach ISO zu studieren. Mit einer Modifikation der Grundplatte ist es möglich, eckige Proben zu messen. Diese Ergebnisse sollen noch mit Hilfe numerischer Simulation bestätigt werden.

### Literatur

- [1] Embrechts J.J., Archambeu D. und Stan G.B., Determination of the Scattering Coefficient of Random Rough Diffusing Surfaces for Room Acoustics Application, *Acustica* 87 (2001), S. 482-494.
- [2] Vorländer M., Mommertz E., Definition and Measurement of Random-incidence Scattering Coefficients, *Applied Acoustics* 60 (2000), S. 187-199.
- [3] ISO/DIS 354:2001, Messung der Schallabsorption in Hallräumen.