

# Praktischer Leitfaden zur Messung und Beurteilung der Nachhallzeit in Hörräumen

(verfasst von Werner Schwierzock im März 2011)

## 1. Einleitung

Aufgabe raumakustischer Messungen ist die Erfassung wichtiger raumakustischer Messgrößen, allen voran der Nachhallzeit, um den Raum hinsichtlich der Eignung für bestimmte Nutzungen beurteilen zu können. Dies gilt dabei auch für die raumakustische Planung und Beurteilung von Hörräumen.

Für die Auslegung und Beurteilung der Raumakustik liegt in Deutschland die DIN18041 Ausgabe Mai 2004 mit dem Titel „Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen“ vor.

Für Messungen kann die DIN EN ISO 3382 Teil 2 Ausgabe September 2008 herangezogen werden, die den Titel „Messung von Parametern der Raumakustik - Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen“ hat.

Speziell für die Auslegung und Beurteilung von Hörräumen ist auch die Veröffentlichung des Surround Sound Forums „Empfehlungen für die Praxis SSF 01.1/2002“ gut geeignet und fasst dabei den Stand der Erkenntnis zusammen.

Nachfolgend werden die wesentlichen Punkte, die bei der Messung und Beurteilung der Nachhallzeit in Hörräumen zu beachten sind, zusammengefasst.

## 2. Messungen

Üblicherweise werden raumakustische Messungen mit einem in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlenden Lautsprechersystem (meist einem Dodekaeder) durchgeführt um den Raum gleichmäßig mit Schall anzuregen. Gute Ergebnisse lassen sich auch mit einem kleinen Würfel gewinnen in den sechs gleiche Breitbandsysteme eingebaut sind. Ebenfalls wird ein Empfangsmikrofon mit einer kugelförmigen Richtcharakteristik verwendet um wiederum den Schalleinfall aus allen Richtungen gleichmäßig einzufangen.

Im Einzelnen ist folgendes zu beachten:

Während der Messungen dürfen sich in dem Raum nur so viele Personen aufhalten wie üblich; alle offenbaren Bauteile (Fenster, Türen etc.) sind zu schließen. Der Störgeräuschpegel ist auf ein Minimum zu reduzieren. Insbesondere bei Nachhallzeitmessungen mit einem Pegelabfall von 30 und mehr Dezibel ist ein hoher Störsignalabstand erforderlich wenn die Messungen mit breitbandig anregenden Geräuschen (rosa Rauschen, MLS etc.) durchgeführt werden.

Der Sender (kugelförmig abstrahlender Lautsprecher) ist mindestens in einer Ecke des Raumes aufzustellen. Die Empfangspositionen richten sich nach der Größe des Raumes; der Abstand der Mikrofons zur Schallquelle muss mind. 2m bzw. zu den Raumbegrenzungsflächen mind. 1m sein. Bei kleinen Räumen sollten etwa zwei Lautsprecherpositionen und je drei Mikrofonpositionen mit unterschiedlicher Höhe aufgezeichnet und anschließend gemittelt werden; also insgesamt sechs unabhängige Sender-Mikrofonpositionen.

Die Nachhallzeit ist so definiert, dass Messungen nur im diffusen Schallfeld eines Raumes durchzuführen sind. Hier tritt bei kleinen Räumen ein Problem auf.

Ein annähernd diffuses Schallfeld ist nicht in allen Frequenzbereichen gegeben. Bei tieferen Frequenzen (unterhalb der Schröderfrequenz) tritt anstelle eines diffusen Schallfeldes ein modales Schallfeld auf, bei dem der Schalldruckpegel stark ortsabhängig ist. Bei einem nicht diffusen Schallfeld ist der Begriff Nachhallzeit zunächst nicht anzuwenden kann aber sinngemäß noch verwendet werden. Manche Autoren sprechen hier auch von Ausklingzeit.

Die gemessenen Nachhallzeiten sind im modalen Schallfeld vom Sende- und Empfangsort abhängig und es können starke Unterschiede auftreten.

Es empfiehlt sich daher zusätzlich zu dem Dodekaeder mit einem Subwoofer zu arbeiten der in einer Raumecke steht um alle möglichen Raummoden gleich stark anzuregen. Weiterhin sollten Mikrofonpositionen wie oben beschrieben an möglichst vielen Positionen durchgeführt werden um die Bandbreite der Schwankung aller Messwerte mit zu erfassen.

Genauer betrachtet treten die Eigenfrequenzen in kleinen Räumen bei diskreten Frequenzen auf, sind also sehr schmalbandig. Bei einer Auswertung in Terzen oder Oktaven fallen also ggf. bereits mehrere Moden in einem Band zusammen. Insbesondere bei tiefen Frequenzen ist aufgrund der örtlichen Schwankungen nicht nur der Mittelwert aus allen Messwerten sondern auch die einzelnen Messwerte von Interesse. Neben einer Auswertung der Messdaten über den gesamten Raum kann zusätzlich eine Auswertung speziell am Hörplatz mit erfolgen. Umgekehrt ist es aber nicht sinnvoll nur am Hörplatz zu messen, da dann das akustische Verhalten des gesamten Raumes nicht erfasst würde.

Bietet das Messsystem die Möglichkeit die Auswertung der Nachhallzeitgeraden auch von Hand zu beeinflussen, so sollte dies bei tiefen Frequenzen auch genutzt werden um Fehler der Automatik bei stark welligem Verlauf der Ausklingkurve zu vermeiden.

Es ist ratsam bei der Dokumentation der Messdaten auch die einzelnen Messpositionen/-höhen und deren Einzelergebnisse mit anzugeben. Neben der mittleren Nachhallzeit mit 30dB Abfall (=T30) kann auch die Anfangsnachhallzeit EDT und T10 mit ausgewertet werden. Letztere entsprechen mehr dem subjektiven Hörempfinden also der vom Menschen empfundenen Halligkeit eines Raumes.

Hinweis:

Neben der Nachhallzeit kann für die Beurteilung von Hörräumen auch die Sprachverständlichkeit mit herangezogen werden. Hierzu liegen die Verfahren RASTI und STI vor. Die Messung der Sprachverständlichkeit erfordert jedoch den Einsatz eines geeigneten Sprechersimulators. Diese stellt wie bei einem menschlichen Sprecher eine gerichtete Schallquelle dar und unterscheidet sich dadurch vom rundum gleichförmig abstrahlenden Dodekaeder.

### 3. Beurteilung der Messergebnisse

Für übliche Hörräume ist eine möglichst kurze Nachhallzeit mit Werten von unter 0.5sec anzustreben. Unabhängig von allgemeinen Empfehlungen sollte jedoch letztlich der Hörer selber entscheiden welche Größe zum Hören noch als angenehm empfunden wird.

Die Nachhallzeiten sollten bei möglichst allen Frequenzen im gesamten Hörbereich etwa gleich sein, dürfen aber bei tiefen Frequenzen auch etwas ansteigen. Schwankungen bis zu 0,1sec sind im Allgemeinen nicht wahrnehmbar und daher zu vernachlässigen.

Grundsätzlich ist im gesamten Raum eine möglichst ausgewogene Raumakustik anzustreben, daher sollten die einzelnen Messwerte bei mittleren und hohen Frequenzen nur wenig vom Mittelwert abweichen. Ist dies der Fall, kann im Sinne der Definition der Nachhallzeit auch von einem weitestgehend diffusen und damit ausgewogenen Schallfeld im Raum ausgegangen werden.

Übliche mittlere Nachhallzeiten in kleinen und möblierten Räumen liegen bei 0.5 - 1sek; in größeren Wohnräumen mit vielen stark reflektierenden Oberflächen kann der Wert aber auch deutlich über eine Sekunde ansteigen. Räume mit schweren Bauteilen aus Mauerwerk oder Beton neigen bei tiefen Frequenzen zu längeren Nachhallzeiten, dagegen reduzieren leichte Bauteile wie Gipskartonwände, glatte abgehängte Unterdecken, Holzverkleidungen, Schrankwände o.ä. die Werte bei tiefen Frequenzen.

Hinweis:

Eine weitere wesentliche Rolle können energiereiche Reflexionen, welche bis etwa 15ms nach dem Direktschall am Hörplatz eintreffen, spielen. Diese können insbesondere dann wenn sie über die Seitenwände erfolgen die räumliche Wahrnehmung verändern. Weiterhin können Flatterechos, die vor allem zwischen reflektierenden, parallelen Flächen erscheinen, die Wahrnehmung beeinträchtigen. Zeitlich einzeln wahrnehmbare Reflexionen in der Form von Echos treten bei üblichen Hörräumen dagegen eher nicht auf. Bei der Planung von akustisch wirksamen Flächen sollte daher auf diese Punkte mit geachtet werden.