

Nachhallzeiten und Sprachverständlichkeit in Hörsälen

Gerhard Krump

Hochschule Deggendorf, 94469 Deggendorf, E-Mail: gerhard.krump@fh-deggendorf.de

1. Einleitung

In Klassen- und Vorlesungsräumen ist es vielfach aufgrund ungünstiger raumakustischer Bedingungen zu laut, um sich gut auf den Vortragenden konzentrieren zu können. Zu hohe Nachhallzeiten und eine zu geringe Sprachverständlichkeit tragen entscheidend zu dieser Situation bei und führen zu Unaufmerksamkeit und erhöhtem Unterhaltungslärm, der die Aufmerksamkeit weiter reduziert, so dass ein Teufelskreis entsteht. Gemäß DIN 18041 (Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen) dürfen die drei Komponenten der Sprachkommunikation, nämlich Sprachquelle, Übertragung und Zuhörer möglichst wenig durch Schallreflexionen, Störgeräusche und Nachhall beeinflusst werden, so dass viel Direktschall und deutlichkeitsfördernde Anfangsreflexionen zum Zuhörer geleitet werden sollten [1]. Die seit 1968 bestehende und 2004 überarbeitete Norm gibt bei Sprachdarbietung für den mit Personen voll besetzten Raum folgende nur vom Raumvolumen V abhängige Berechnung der Soll-Nachhallzeit T_{NSoll} zwischen 250 Hz bis 2 kHz an:

$$T_{NSoll} = \left(0,32 \log \frac{V}{m^3} - 0,17 \right) s$$

Im unbesetzten Zustand sollte die Nachhallzeit nicht mehr als 0,2 s über dem Sollwert liegen [1]. Die Nachhallzeit sollte bei guter Sprachverständlichkeit ab 250 Hz zu tiefen Frequenzen hin abfallen bzw. zumindest nicht mehr als 20 % über T_{NSoll} ansteigen. Die empfohlene Abnahme ab 2 kHz zu hohen Frequenzen ist wegen Höhenabsorber und Zuhörerabsorption meist gegeben. Für Personen mit Hörschädigung, Sprachverständnisproblemen, Konzentrations- und Aufmerksamkeitsstörungen sollte die Nachhallzeit idealerweise T_{NSoll} um 20 % unterschreiten. Die Norm gibt zudem eine Volumenkennzahl k an, welche das Raumvolumen in Kubikmeter bezogen auf die Platzanzahl darstellt. Um eine für Sprachnutzung gute Nachhallzeit zu erzielen, sollte k zwischen 3 bis 6 sein. Im Überschreitungsfall können laut Norm größere schallabsorbierende Maßnahmen erforderlich sein [1].

2. Hörsäle

Es wurden fünf im Jahr 1997 fertiggestellte Hörsäle unterschiedlicher Größe, Architektur und Absorptionseigenschaften untersucht. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Grundfläche, Volumen, Absorberausstattung und gemäß DIN 18041 errechneter Sollnachhallzeit T_{NSoll} im besetzten und unbesetzten Zustand. Hierbei sind vorhandene Helmholtz-Resonatoren unter der Sitzfläche der Holzstühle, Plattenabsorber aus Pressspanplatten an der Wand und reflektierende Fensterflächen, Sitzplatzanzahl sowie ebene oder ansteigende Stuhlreihen aufgeführt. Ebenso ist die absorbierende Deckenfläche angegeben, die gemäß DIN 18041 aus umlaufenden Lochabsorbern besteht, während die Innenfläche (Differenz zwischen Grundfläche und Absorberfläche) zur Erzeugung günstiger erster Reflexionen wenig absorbiert.

Da Hörsaal A außer Plattenabsorber an der Außenwand keine stärker absorbierenden Elemente aufweist, ist er raumakustisch am schlechtesten und besitzt die höchste Nachhallzeit. Daher wurde er im unbesetzten Zustand, aber auch mit halber Besetzung mit und ohne zusätzliche poröse Absorberplatten untersucht. Hörsaal B ist mit Hörsaal A vergleichbar, weist jedoch eine schallabsorbierende Decke auf, so dass deren Einfluss sehr gut ermittelt werden kann. Die Hörsäle B bis E wurden stets im unbesetzten Zustand vermessen.

Tabelle 1: Eigenschaften der Hörsäle A bis E.

Hörsaal	A	B	C	D	E
Grundfläche [m ²]	112	112	100	97	215
Volumen [m ³]	330	330	317	327	944
Sitzplätze	84	84	70	90	220
k [m ³ /Platzanzahl]	3,9	3,9	4,5	3,6	4,3
T_{NSoll} besetzt [s]	0,64	0,64	0,63	0,64	0,78
T_{NSoll} unbesetzt [s]	0,84	0,84	0,83	0,84	0,98
absorbieren. Decke [m ²]	nein	77	50	44	140
Stuhlresonatoren	nein	nein	nein	ja	ja
Plattenabsorber [m ²]	11	11	keine	13	keine
Fensterfläche [m ²]	17	17	30	20	100
ansteigende Stuhlreihen	nein	nein	nein	ja	ja

3. Ergebnisse

Die Nachhallzeiten wurden mit einem Dodekaeder und NC10 Analyzer gemessen. Die Sprachverständlichkeit wurde mit einer Talkbox, welche ein Signal mit sprachähnlichem Spektrum und Richtcharakteristik wiedergibt, und einem Acoustilyzer AL1 festgestellt, indem der STI-PA im Bereich von 125 Hz bis 8 kHz nach DIN IEC 60268-16 ermittelt wurde. Bei beiden Verfahren wurde der arithmetische Mittelwert von fünf hörplatzspezifischen Mikrofon- und drei Lautsprecherpositionen berechnet.

Hörsaal A sollte laut Norm im unbesetzten Zustand eine berechnete Nachhallzeit T_{NSoll} unter 0,84 s aufweisen. Tatsächlich liegt sie gemäß Abbildung 1 vom tieffrequenten Bereich bis 2 kHz über 2 s und bei höheren Frequenzen immer noch weit über 1 s. In Abbildung 3 ist die zugehörige Sprachverständlichkeit dargestellt, bei der eine laut DIN IEC 60268-16 vorgeschlagene Verständlichkeitsqualifikationseinteilung für junge Hörer (20 Jahre, 0 dBHL) mit gesundem Gehör verwendet wird. Bei Zuhörern mit Hörschädigungen oder Sprachproblemen müssten die Grenzen der Qualifikationskategorien etwas höher angesetzt werden [2]. Im unbesetzten Zustand liegt der Index mit 0,47 gerade noch in der Einstufung „ausreichend“, welcher Indizes von 0,45 bis 0,6 umfasst. Studierende und Dozenten empfinden diesen Hörsaal als sehr hallig, wodurch die Konzentrationsfähigkeit und Aufmerksamkeit spürbar leidet und als Folge wiederum störender Unterhaltungslärm entsteht. Das Anbringen von 8,5 m² poröser Absorberplatten (BASO PLAN 50, Datenblatt s. [3]), welche über 500 Hz einen Schallabsorptionsgrad von über 1,0 aufweisen, gemäß Norm im oberen Drittel der

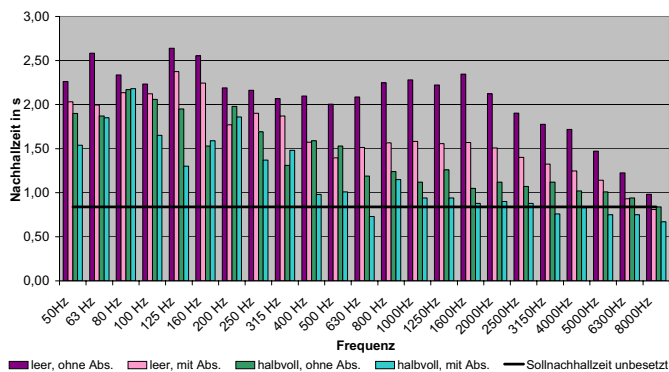


Abbildung 1: Nachhallzeit von Hörsaal A im unbesetzten Zustand ohne bzw. mit Absorber sowie im halbbesetzten Zustand ohne bzw. mit Absorber. Linie: T_{NSoll} im unbesetzten Zustand.

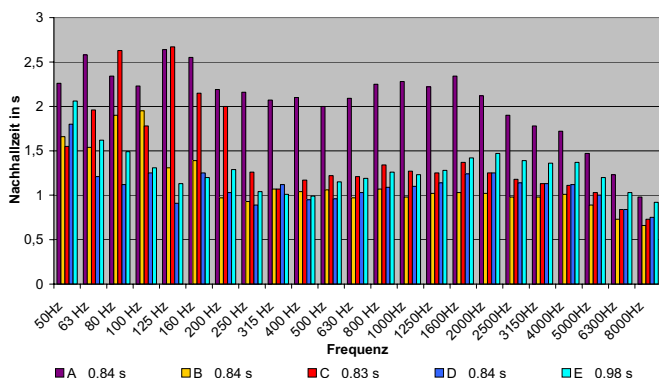


Abbildung 2: Nachhallzeiten der Hörsäle A bis E im unbesetzten Zustand, in Legende: T_{NSoll} der einzelnen Hörsäle, unbesetzt.

Seitenwände reduzierte die Nachhallzeit nach Abbildung 1 im mittleren Frequenzbereich um mehr als 0,6 s, also über 25 %. Die Sprachverständlichkeit erhöhte sich dadurch auf eine Indexziffer von 0,53, also um ca. 13 %. Mit halber Besetzung, aber ohne Absorberplatten wird die Nachhallzeit weiter reduziert, während die Sprachverständlichkeit mit einem Wert von 0,54 weitgehend gleich bleibt. Erst mit halber Besetzung und den zusätzlichen Absorberplatten ergibt sich im mittleren und hohen Frequenzbereich eine Nachhallzeit von unter 1 s, die aber immer noch über T_{NSoll} von 0,64 s (voll besetzt) bzw. 0,84 s (unbesetzt) liegt. Die Sprachverständlichkeit verbessert sich dadurch von ursprünglich 0,47 auf 0,58, also nur um 0,11 bzw. um 23 %, obwohl die Nachhallzeit in etwa halbiert wurde.

Der ein Stockwerk tiefer gelegene Hörsaal B ist identisch zu Hörsaal A, besitzt jedoch auf ca. 70 % der Decke umlaufend verteilte Lochabsorber. Die Deckenmitte ist reflektierend gehalten. Abbildung 2 zeigt im Vergleich zu Hörsaal A die damit reduzierbare Nachhallzeit, die im unbesetzten Zustand bei mittleren Frequenzen um 1 s liegt. Die Sprachverständlichkeit erreicht mit einem Wert von 0,6 die Grenze zu „gut“ und würde damit im besetzten Zustand akzeptabel sein. Der Hörsaal C ist etwas kleiner und weist zwar zur Hälfte eine absorbierende Decke, aber keine Plattenabsorber und eine relativ große Fensterfläche auf. Daher verschlechtern sich Nachhallzeiten, insbesondere bei tiefen Frequenzen, und Sprachverständlichkeit. Die Hörsäle D und E unterscheiden sich in Größe und Fensterfläche sehr stark, besitzen aber absorbierende Decken mit Lochabsorbern und Helmholtz-Resonatoren unter den Sitzflächen. Dennoch sind auch bei

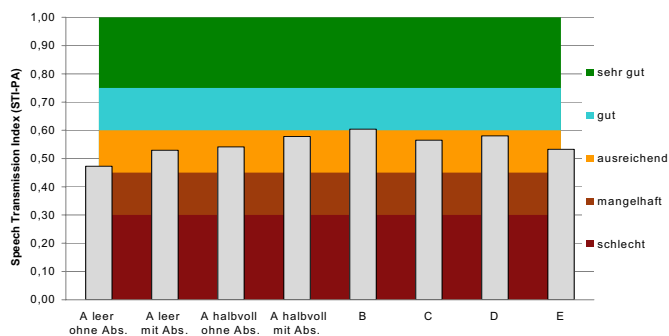


Abbildung 3: Vergleich der Sprachverständlichkeit in Hörsälen A bis E im unbesetzten Zustand. Qualifikationskategorien gemäß DIN IEC 60268-16 für junge Hörer (20 Jahre, 0 dBHL) [2].

diesen Hörsälen die Nachhallzeiten über T_{NSoll} und die Sprachverständlichkeit bleibt in Kategorie „ausreichend“. Für Zuhörer mit Hörschädigung oder bei denen die Vortragssprache nicht die Muttersprache ist, sieht DIN 18041 sogar eine um 20 % unter T_{NSoll} liegende Nachhallzeit vor, was bei keinem der untersuchten Hörsäle zutrifft.

4. Zusammenfassung

Die betrachteten Hörsäle weisen gegenüber den Empfehlungen der DIN 18041 viel zu hohe Nachhallzeiten auf, die im Bereich von 250 bis 2000 Hz ausnahmslos über T_{NSoll} liegen. Der zu tiefen Frequenzen zwischen 250 und 50 Hz anzustrebende abfallende Verlauf der Nachhallzeit ist nicht vorhanden, sondern übersteigt bei jedem Hörsaal die maximal erlaubte Grenze von 20 % über T_{NSoll} . Noch schwieriger wird die Sprachkommunikation für Personen mit Hörschäden oder Sprachproblemen, da hierfür eine Nachhallzeit bis 20 % unter T_{NSoll} gefordert wird. Die Sprachverständlichkeit liegt bei allen untersuchten Hörsälen im unbesetzten Zustand im für Lehrräume nicht akzeptablen Bereich „ausreichend“. Obwohl die Volumen Kennzahl k bei allen Hörsälen im Wertebereich der Norm liegt, kommen die untersuchten Hörsäle ohne größere schallabsorbierende Maßnahmen nicht aus, so dass die Volumen Kennzahl nur geringe Aussagekraft besitzt. Absorbierende Decken und Absorberplatten mit Anordnung gemäß DIN 18041 sind sehr wirkungsvoll. Da der Sprachverständlichkeitsindex sich erst bei starker Nachhallzeitreduktion spürbar verbessert, muss aber auf ausreichende Absorberfläche geachtet werden, so dass auch bei geringer Besetzung eine gute Sprachverständlichkeit hohe Aufmerksamkeit zulässt. Zusätzlich sind genügend wirksame Tiefenabsorber erforderlich. Die Untersuchungen verdeutlichen, dass bereits bei der Planung von Hörsälen raumakustische Notwendigkeiten berücksichtigt werden müssen und DIN 18041 bisher immer noch zu wenig Beachtung findet.

Der Autor dankt Frau Anabel Böhme, Martha Kieloch und Herrn Bernhard Bösl für die Messungen im Rahmen ihrer Studienarbeit.

Literatur

- [1] DIN 18041: 2004-05, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, Beuth-Verlag GmbH, 10772 Berlin
- [2] DIN IEC 60268-16, 2009-11, Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex, Beuth-Verlag GmbH, 10772 Berlin
- [3] www.sonatech.de, Produktbeschreibung BASO PLAN