

Auralisierung und subjektive Bewertung von Klassenräumen

Christian Nocke¹, Dirk Heydinger², Markus Meis^{2,3}, August Schick²

¹Akustikbüro Oldenburg, ²Institut für Mensch-Umwelt-Beziehungen, Universität Oldenburg,

³Hörzentrum Oldenburg GmbH;

Kontakt Email: nocke@akustikbuero-oldenburg.de

Einleitung

Anders als beim Schallschutz im Hochbau, der durch eine Reihe von Vorschriften und Normen baurechtlich verbindlich (z.B. DIN 4109 [1]) geregelt ist, wird der Raumakustik meist wenig Beachtung geschenkt. Klassenzimmer, Kindergärten, Besprechungsräume, Arztpraxen etc. werden meist nicht vorab in ihrer raumakustischen Gestaltung geplant. Einschlägige Regelwerke wie die DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen“ [2] haben nur empfehlenden Charakter. Dabei kann prinzipiell jeder Raum akustisch optimal gestaltet werden.

Im Folgenden wird ein Experiment vorgestellt, mit dem anhand von virtuell erzeugten Hörbeispielen die Möglichkeit einer subjektiven Beurteilung der raumakustischen Eigenschaften erprobt werden soll. In diesem Beitrag werden die Details der raumakustischen Modellierung ebenso wie die entwickelte Methode zur subjektiven Beurteilung dargestellt.

Computermodell und -simulation

Die wichtigste Größe zur Charakterisierung der raumakustischen Eigenschaften eines Raums ist die Nachhallzeit. Diese kann nach DIN EN ISO 3382 leicht gemessen oder theoretisch beispielsweise nach der DIN 18041 abgeschätzt werden. In der ISO 3382 werden weitere raumakustische Parameter definiert, von denen im weiteren Verlauf des Experiments lediglich der Deutlichkeitsgrad D_{50} (in %), die Schwerpunktzeit T_S (in ms) und das Stärkemaß G (in dB) Verwendung finden. Neben diesen Größen werden ferner das Bassverhältnis bzw. Bass Ratio BR (dimensionslos) und der RASTI-Wert (RASTI = Rapid Speech Transmission Index in %) als objektive raumakustische Größen verwendet. Insgesamt werden fünf verschiedene Raumsituationen in die Untersuchung einbezogen. Die Computermodellierung orientiert sich an der Situation in realen Klassenräumen. Ausgangsgröße für die raumakustische Modellierung ist die frequenzabhängige Nachhallzeit.

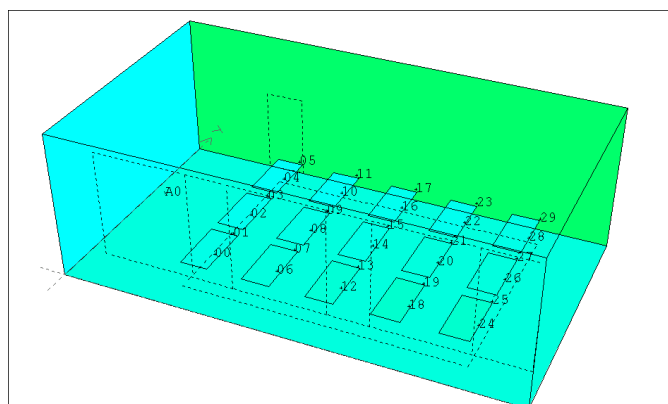


Abbildung 1: Ansicht des virtuellen Klassenraums.

Zur Einstellung verschiedener raumakustischer Situationen wurde ein 3D-Modell eines Klassenraums mit Hilfe einer kommerziell erhältlichen Raumakustik-Simulationssoftware (CATT Acoustic in der Version 7.2) erstellt. Die fünf verschiedenen Raumvarianten,

im Folgenden mit Version 1, 3, 5, 6 und 7 bezeichnet, orientieren sich bezüglich der gezielt eingestellten Nachhallverläufe weitgehend an realen Räumen.

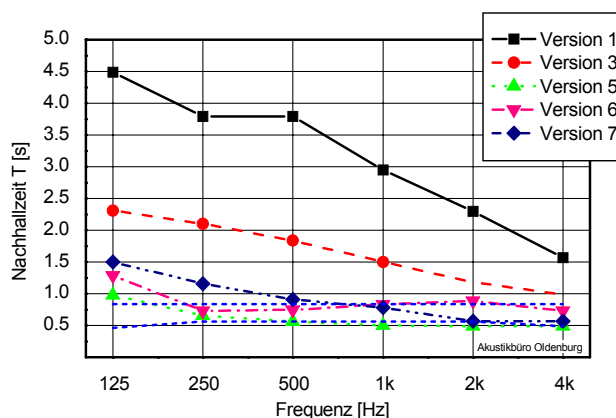


Abbildung 2: Frequenzabhängige Nachhallzeit der verschiedenen Raumvarianten.

Insgesamt wurden in das Computermodell eine Sende- bzw. Sprecherposition und 30 Empfängerpositionen aufgenommen. Aus diesen 30 Hörerpositionen wurden zwei Positionen für die Auralisierungen ausgewählt. Die erste Position befindet sich in der ersten Reihe nahezu in der Mitte, während die zweite Position in der vorletzten Reihe außen gelegen ist. Für jede Empfängerposition wurde ein Satz verschiedener raumakustischer Parameter (Deutlichkeitsgrad D_{50} , Klarheitsmaß C_{80} , Seitenschallgrad LF, Schwerpunktzeit T_S , Stärkemaß G) für die sechs Oktavmittelfrequenzen berechnet, von denen im Folgenden nur ein Teil berücksichtigt wurde. Ferner wurde der von CATT v7.2 berechnete RASTI-Wert und das Bassverhältnis in die weitere Auswertung einbezogen.

Auralisierungen

Als Sprachsignale zur Auralisierung im virtuellen Klassenraum wurden im reflexionsarmen Raum aufgenommene Sprachsignale verwendet. Um Effekte des Sprachverständnisses in der subjektiven Beurteilung so vermeiden, wurden Hörbeispiele in dänischer Sprache herangezogen. Sämtliche Auralisierungen der fünf Raumvarianten und zwei Hörpositionen wurden für eine weibliche und eine männliche Stimme durchgeführt. Somit standen insgesamt 20 verschiedene Hörbeispiele (5 Räume x 2 Positionen x 2 Signale) zur subjektiven Beurteilung durch die Versuchspersonen Verfügung. Sämtliche Details der raumakustischen Modellierung sind in [3] ausführlich beschrieben.

Subjektive Bewertung

Bislang liegen im Bereich der (Klassen-)Raumakustik wenig empirische Daten zur subjektiven Bewertung der klanglichen Eigenschaften von Räumen mit vorwiegend sprachlicher Nutzung vor. Die Fragestellung dieses Experiments lautet: Ist die Hörsamkeit von Klassenräumen durch subjektive Befragungen auch mit akusti-

schen „Laien“ empirisch messbar? Und falls ja, wie hoch ist der Auflösungsgrad?

Weiterhin wurde mit dem Experiment überprüft, ob es möglich ist, ein psychometrisch geprüftes Verfahren zu entwickeln, mit dem es zukünftig möglich sein wird, durch eine „Ferndiagnose“ aufgrund subjektiver Bewertungen raumakustische Defizite prognostisch zu erfassen. Da im Normalfall eine exakte raumakustische Diagnose von den Schulträgern aus finanziellen Gründen abgelehnt wird, könnte eine Beurteilung durch Schüler und Lehrer erste Hinweise auf den Grad der Notwendigkeit einer exakten Untersuchung liefern.

Subjektive Beurteilung

Der erste Schritt der Konstruktion und Überprüfung eines Werkzeugs zur subjektiven Beurteilung („Oldenburger Hörsamkeits-Inventar“) von Klassenräumen bestand darin, in einer fragebogen-gestützten Erhebung, Aussagen zu objektiven Parametern und subjektiv empfundenen Bewertungen raumakustischer Eigenschaften zu sammeln. Als Experten auf diesem Gebiet wurden Mitglieder der DEGA (Deutsche Gesellschaft für Akustik) und der EAA (European Acoustics Association) sowie Mitarbeiter im Bereich Akustik am Standort Oldenburg mittels teilstrukturierter Telefon-interviews befragt. Im Einzelnen wurden die Themen Hörsamkeit, Raumakustik und die subjektive Anmutung eines Raumes angesprochen. Des weiteren sollten Begriffe und Verbalisierungen, die die raumakustische Situationen beschreiben, systematisch gesammelt werden. Hierbei ging es in erster Linie um Adjektive, die von den oben angesprochenen Experten im Kontext der Raumakustik verwendet werden. In diesem Zusammenhang sollte eine erste Liste mit Adjektiven zur subjektiven Einschätzung der Raumakustik erstellt werden, mit deren Hilfe auch akustische Laien in der Lage sind, die Akustik bzw. den Klang eines Raumes zu beschreiben. Zur Konstruktion einer bipolaren Adjektivliste wurden jene Adjektive ausgewählt, die von den Experten als am sinnvollsten eingeschätzt und am häufigsten genannt wurden. Mit Hilfe einer zweiten Expertenbefragung wurden dann die gegensätzlichen Adjektive (z.B. leise-laut, gedämpft-ungedämpft, komfortabel-unkomfortabel)

Adjektiv	extrem	sehr	eher	teils, teils	eher	sehr	extrem	Adjektiv
deutlich	0	0	0	0	0	0	0	undeutlich
brummig	0	0	0	0	0	0	0	hell
dröhnend	0	0	0	0	0	0	0	klar
schrill	0	0	0	0	0	0	0	dumpf
angenehm	0	0	0	0	0	0	0	unangenehm
hallig	0	0	0	0	0	0	0	trocken
rauh	0	0	0	0	0	0	0	glatt
laut	0	0	0	0	0	0	0	leise
anstrengend	0	0	0	0	0	0	0	müheles
gedämpft	0	0	0	0	0	0	0	ungedämpft
hart	0	0	0	0	0	0	0	weich
gutklingend	0	0	0	0	0	0	0	schlechtklingend
klar	0	0	0	0	0	0	0	verschommen
klirrend	0	0	0	0	0	0	0	gedämmt
unverständlich	0	0	0	0	0	0	0	verständlich
beaglich	0	0	0	0	0	0	0	unbeaglich

Abbildung 3: Adjektivliste zur Beurteilung der Hörsamkeit von (Klassen-)Räumen.

hinsichtlich ihrer Geeignetheit eingeschätzt. Dabei sollte vor allem die Geeignetheit der Adjektive zur Charakterisierung von Klassenräumen beurteilt werden. Die Experten konnten dabei Ihre Wertungen als Zahl (1= sehr geeignet, 5=sehr ungeeignet) in eine Tabelle eintragen. Durch Vortests mit einigen Probanden im Labor wurde die Adjektivliste noch einmal überarbeitet und kondensiert, sodass nur die am meisten geeigneten Adjektivpaare aufgenommen wurden (vgl. Abb. 3).

Diese Adjektivliste wurde anschließend im Experiment mit 20 Hörbeispielen von 79 Versuchspersonen zur Beurteilung der Räume verwendet. Im Rahmen der vollständigen Auswertung wurden u.a. Korrelationen zwischen objektiven und subjektiven Werten berechnet, beispielsweise Rangkorrelationen zwischen den objektiven Nachhallzeiten und dem Adjektivpaar „trocken-hallig“. Dem exemplarisch dargestellten Boxplot in Abb. 4 ist ein starker Zusammenhang zu entnehmen. Weitere Zusammenhänge waren auch zwischen dem Adjektivpaar „deutlich-undeutlich“ und dem Deutlichkeitsmaß D_{50} und RASTI nachzuweisen. Weitere Details können in [3] nachgelesen werden.

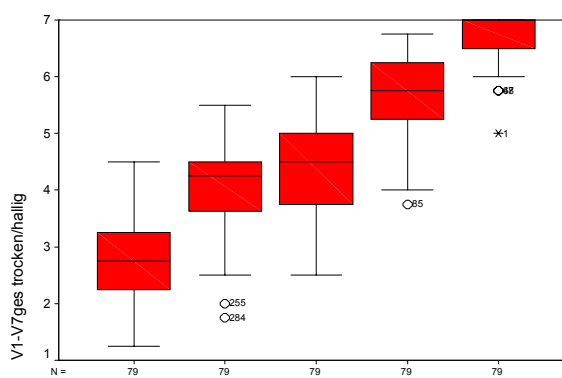


Abbildung 4: Boxplots der objektiven und subjektiv bewerteten Nachhallzeit.

Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellte Laborstudie hat gezeigt, dass

- die verwendete Adjektivliste zwischen guten, mittleren und schlechten virtuellen Räumen differenzieren kann.
- eine 4-faktorielle Struktur mit einem dominanten Komfort/Verständlichkeitsfaktor nachweisbar war.
- hohe Korrelationen zwischen objektiven und subjektiven Parametern nachweisbar waren, besonders bei der Deutlichkeit/Verständlichkeit und Nachhallzeit.
- jedoch nur geringe Differenzierungen bezüglich der Stimme und Sitzposition nachweisbar waren.

Erste kulturvergleichende Arbeiten zwischen Japan und Deutschland zeigen nahezu identische Ergebnisse [4].

Literatur

[1] DIN 4109 (1989) Schallschutz im Hochbau.
 [2] DIN 18041 (1968). Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen. (Diese Norm befindet sich aktuell in der Überarbeitung)
 [3] A. Schick, M. Klatte, M. Meis & C. Nocke (eds.). Tagungsband zum 9. Oldenburger Symposium zur Psychologischen Akustik: Hören in Schulen. Oldenburg BIS, erscheint im Mai 2003
 [4] Kahl, C.H., Heydinger, D., Meis, M., Nocke, C., Schick, A., Moringa, M., Kuwano, S. & Namba, S. (in Vorbereitung). Subjective impression of speech in classrooms- The effect of reverberation time. Osaka University.