Variationen raumakustischer Messungen in einem Unterrichtsraum

Ulrich Schanda[1], Sandra Dullinger[2]
[1] *Labor für Schallmesstechnik, Technische Hochschule Rosenheim, Email: ulrich.schanda@th-rosenheim.de*
[2] *Email: sandradullinger@yahoo.de*

Einleitung

Im Rahmen einer Bachelorarbeit [1] wurde eine Grundschule in Wasserburg a. Inn hinsichtlich der raumakustischen Verhältnisse untersucht. Vorausgegangen waren viele Beanstandungen von Seiten der Lehrerschaft bzgl. der Lärmbelastung. Ziel der Bachelorarbeit war die Durchführung von Messungen und eine nachfolgende Ausarbeitung von raumakustischen Verbesserungsmassnahmen.
Die ersten Gebäudeteile der Grundschule entstanden Mitte des 19 Jahrhunderts mit einer Mädchenschule inklusive Turnhalle. Das Schulgebäude wurde 1912 jedoch neu gebaut, 1956 folgte eine Erweiterung inklusive eines Umbaus der Turnhalle. 1987 wurde eine Generalinstandsetzung der Schule und der Turnhalle vorgenommen, die Erweiterung der Schule um den zweistöckigen Neubau wurde im Jahr 2000 abgeschlossen. Das Dachgeschoss des Altbaus wurde 2004 ausgebaut, sodass dieser nun fünf Stockwerke umfasst. Der Verwaltungstrakt der Grundschule, die Mittagsbetreuung sowie der Großteil der Unterrichtsräume befinden sich im Altbau (s. Abbildung 1) . Durch den Neubau wurde die Schule um vier Klassenzimmer erweitert. Der raumkakustische Ist-Zustand mehrerer Unterrichtsräume als auch der Turnhalle wurde anhand von Nachhallzeitmessungen gemäß der DIN EN ISO 3382-2 [2] untersucht. Die Nachhallzeitmessungen erfolgten mit der Methode der integrierten Impulsantwort, ausgewertet wurde T_{30} mit Hilfe der Raumakustik-Software m|reverb von Müller-BBM Acoustic Solutions. In dem im Folgenden beschriebenen Unterrichtsraum wurde das Standardverfahren gemäß der DIN EN ISO 3382-2 [2] verwendet. Die Messungen des Sprachverständlichkeitsindex STI erfolgten gemäß DIN EN ISO 60282[3] mit Hilfe der Prüfschallquelle Talkbox von NTI Audio und dem Schallpegelanalysator Nor140 von Norsonic.

Abbildung 1: Grundschule am Gries in Wasserburg a. Inn

Um jedoch den Einfluss der Aufstellorte der Mikrofone, der Richtwirkung der Schallquelle sowie den Einfluss von anwesenden Kindern als auch die Auswirkung von Wandabsorbern auf die Messgrößen zu erörtern, wurden etliche Messvarianten durchgespielt.

Unterrichtsraum

Der ausgewählte Unterrichtsraum (s. Abbildung 2) hat eine Grundfläche von 79 m^2, das Raumvolumen beträgt 270 m^3. Der Unterrichtsraum weist schallharte Wände als auch eine schallharte Decke auf, der Boden hat einen Linoleumbelag, Schulbänke und Stühle sind als Standardausstattung zu bezeichnen. Die Nachallzeiten sind in Abbildung 3 eingetragen. Zusätzlich wurden die Nachhallzeiten für eine 80 % als auch für eine 100 % Besetzung unter Zuhilfenahme von Daten zur äquivalenten Schallabsorptionsfläche von Schülern an Holztischen gemäß der DIN 18041 [4] prognostiziert. Es ist unschwer zu erkennen, dass die Beschwerden über unerträgliche akustische Verhältnisse vollends berechtigt waren.

Abbildung 2: Unterrichtsraum

Messpositionen der Nachhallzeit

Oftmals ergibt sich die Frage, an welchen Positionen die Nachhallzeiten gemessen werden sollen. Gemäß der DIN EN ISO 3382-2 [2] werden für die Positionen der Schallquelle sowie für die Messpositionen der Mikrofone eine Empfehlung abgegeben, jedoch nicht für die Höhe der Mikrofone. In Unterrichtsräumen stellt sich somit die Frage, ob die Mikrofonhöhen ähnlich den Empfehlungen für bauakustische Messungen verteilt sein oder ob denn nicht die Nachhallzeiten an den tatsächlichen Hörpositionen gemessen werden sollen. Abbildung 4 zeigt eine Übersicht der Messpositionen aller nachfolgenden Untersuchungen. Für die Messung der Nachhallzeit wurden für die Auf-

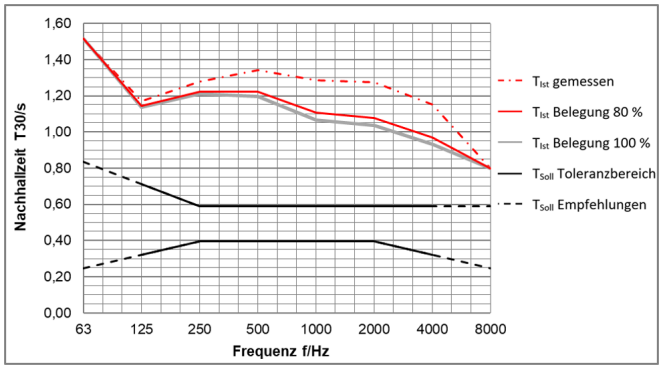

Abbildung 3: Nachhallzeiten des Unterrichtsraumes

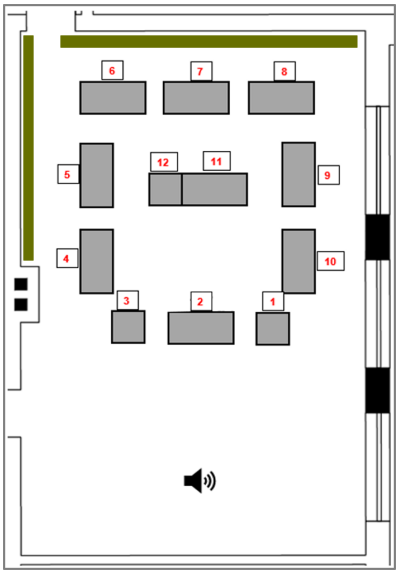

Abbildung 4: Messpositionen; in grün sind die Positionen der Wandabsorber markiert.

stellung der Schallquelle gemäß DIN EN ISO 3382-2 [2] zwei Positionen im Aufenthaltesbereich der Lehrkraft bei Frontalunterricht gewählt. Aus den zwölf markierten Empfangsplätzen der Kinder wurden vier Plätze für die Nachhallzeitmessung ausgewählt. Alle vier Messpositionen erfüllen die Empfehlungen für die Aufstellung gemäß DIN EN ISO 3382-2 [2]. Zum Vergleich wurden jedoch die Höhen der Mikrofone nun an den vier Messpositionen auf entweder beliebige Höhe bzw. alle auf die gleiche Höhe von 1 m an der Tischkante gewählt.

Abbildung 5 zeigt die Messwerte für den zuvor beschriebenen (A23) als auch für zwei weitere Unterrichtsräume (N01, N11). Es ist zu erkennen, dass sich die Mikrofonhöhe nicht auf die Messwerte auswirkt, bis auf leichte Unterschiede im 125 Hz-Oktavband. Die Standardabweichung der Messwerte beträgt weniger als 0,05 s. Es empfiehlt sich deshalb, immer auf Höhe der maßgeblichen Empfangspositionen zu messen.

Messpositionen der Deutlichkeit D50

Gleiche Frage wie bei den Nachhallzeiten ergab sich für die Messung der Deutlichkeit als mögliche Größe für die Beurteilung der Sprachverständlichkeit. Hierfür wurde an allen Messpositionen gemäß Abbildung 4 gemes-

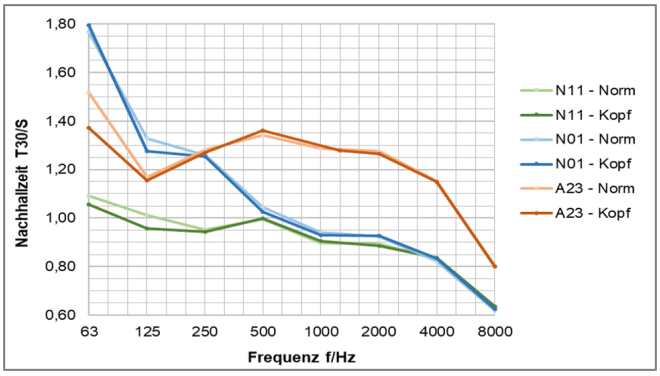

Abbildung 5: Nachhallzeiten in drei Unterrichtsräumen N01, N11 und A23, gemessen entweder in beliebiger Höhe („Norm “) oder alle Messpositionen in 1m Höhe („Kopf“).

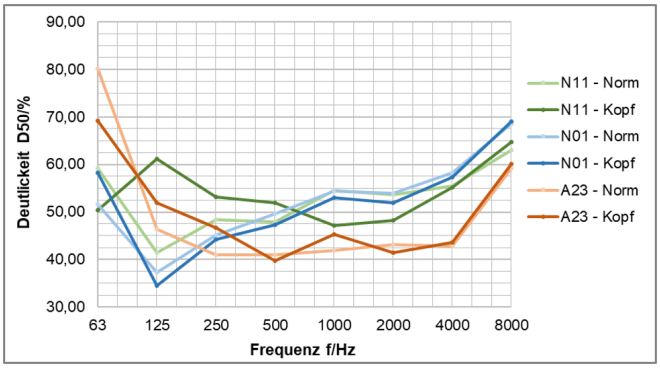

Abbildung 6: Deutlichkeit D50 in drei Unterrichtsräumen N01, N11 und A23, s. Abbildung 5.

sen, die Mikrofonhöhe jedoch von beliebig, jedoch mindestens 1 m, und alle Mikrofone auf 1 m Höhe gemessen. Abbildung 6 zeigt die Messwerte für drei Unterrichtsräume (N01, N11 und A23). Es ist zu erkennen, dass sich die Mikrofonhöhe auf die Messwerte im bereits im 250 Hz-Oktavband und darunter doch deutlich auswirkt. Die Standardabweichungen der Messwerte sind unanhängig von der Mikrofonhöhe sowie für die unterschiedlichen Räume stark schwankend. Im 125 Hz-Oktavband betragen diese meist über 35 %, im 250 Hz-Oktvband meist 20 %. Es empfiehlt sich deshalb, immer auf Höhe der maßgeblichen Empfangspositionen zu messen.

Schallabsorbierende Kinderattrappen

Um die Auswirkung der Schallabsorption als auch der Schallstreuung durch anwesende Kinder auf raumakustische Messgrößen zu untersuchen, wurden schallabsorbierende Attrappen (i.w. als „Normkinder“ bezeichnet), bestehend aus einer 18 mm Holzspanplatte, beidseits belegt mit 20 mm angefertigt. Die Normkinder werden abgebildet durch einen rechteckigen Korpus mit einer Fläche von 0,18 m^2 sowie einem runden, zum Korpus orhtogonal stehenden Kopf mit einer Fläche von 0,05 m^2 (s. Abbildung 7). Es wurden 21 Normkinder im Unterrichtsraum an den Sitzpositionen auf den Stühlen aufgestellt. Zur Bestimmung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche der Kinder im vorliegenden Fall wurden Nachhallzeitmessungen mit acht Sende-Empfangskombinationen ohne und mit Normkinder durchgeführt. Die Messergebnisse für die

Abbildung 7: Schallabsorbierende Kinderattrappen (Normkinder)

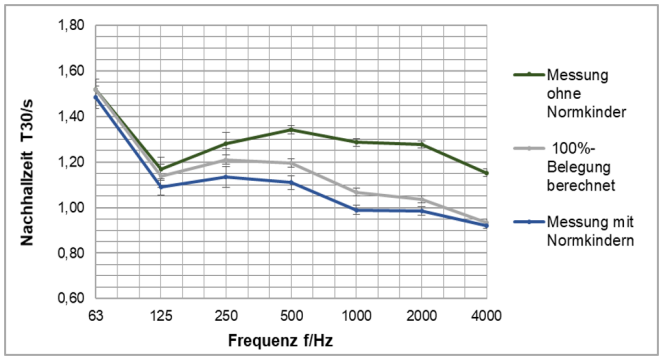

Abbildung 8: Auswirkung der Normkinder auf die Nachhallzeit.

Nachhallzeit, gemessen an allen zwölf Empfangpositionen gemäß Abbildung 4, sind in Abbildung 8 dargestellt. Als Vergleich ist ebenso eine Prognose bei 100 % Belegung mit den Daten für die äquivalete Schallabsorptionsfläche aus der DIN 18041 eingezeichnet. Der ähnliche spektrale Verlauf der Messung und der Prognose bestätigt die Tabellenwerte der DIN 18041; im vorliegenden Fall hätten die Normkinder um ca. 30 % kleiner ausgeführt werden sollen.

Abbildung 9 zeigt die Messwerte für die Deutlichkeit, ebenso bestimmt an allen zwölf Messpositionen, mit und ohne Normkinder. Es ist zu erkennen, dass die Anwesenheit der Normkinder bereits zu einer deutlichen Änderung der Deutlichkeit von absolut ca. 10 % ab dem 500 Hz-Oktavband beitragen.

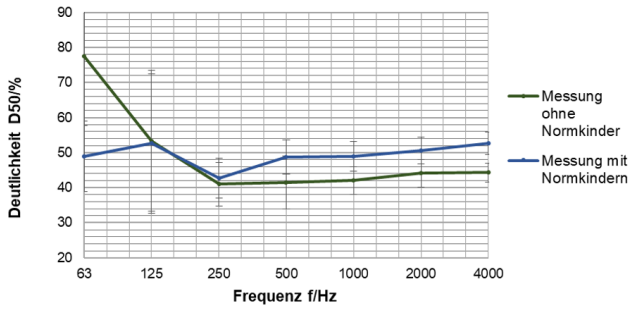

Abbildung 9: Auswirkung der Normkinder auf die Deutlichkeit D50

Abbildung 10: Wandabsorber aus 10 cm dicken Matten aus Polyesterfaservlies

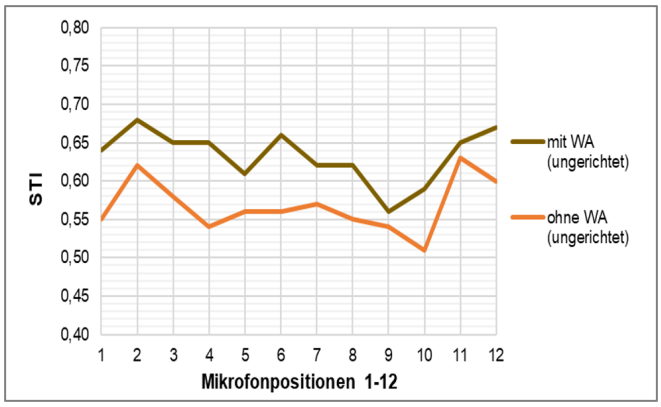

Abbildung 11: Änderung des Sprachverständlichkeitsindex durch Wandabsorber

Schallabsorbierende Wandflächen

Um die alleinige Auswirkung von Wandabsorbern an der Rückwand auf die Sprachverständlichkeit zu untersuchen, wurden 10 cm dicke Matten aus Polyesterfaservlies an der Rückwand als auch an einer Seitenwand angebracht. Abbildung 10 zeigt ein Foto dieser Untersuchungsvariante, Abbildung 4 den Grundriss mit den in grün markierten Positionen der Wandabsorber. Die Messungen wurden in Anwesenheit der Normkinder durchgeführt; die Höhe der Mikrofone betrug 1,2 m und war geschuldet der Positionierung der Mikrofone überhalb der Köpfe der Normkinder. Die mittlere Nachhallzeit der Oktavbänder von 250 Hz und 200 Hz beträgt im Fall ohne Wandabsorber 1,05 s, mit Wandabsorber 0,83 s. Abbildung 11 zeigt die Verbesserung des Sprachverständlichkeitsindex STI. Die Messung erfolgte in diesem Fall bei Beschallung mit einer omindierektional abstrahlenden Schallquelle (Dodekaeder). Die Auswirkung der Verwendung einer gerichteten Schallquelle ist weiter unten dokumentiert. Festzuhalten ist, dass sich der STI doch deutlich um ca. 0,07 an allen Mikrofonpositionen erhöht; die Messpositionen an Platz 9 und 10 weisen einen etwas geringeren STI auf, bedingt durch die fehlende Seitenabsorption auf Grund der Fenster. Für einen Vergleich des STI mit dem D50 wurden ebenso die Messungen der Raumvarianten ohne und mit Wandabsorber ausgewertet. Die beiden Abbildungen 12 und 13 zeigen zum Einen, dass sich sowohl der STI im Positionsmittel von 0,57 auf 0,63 aund beim D50 von 47 % auf 57 % erhöhen. Zum Anderen zeigt die

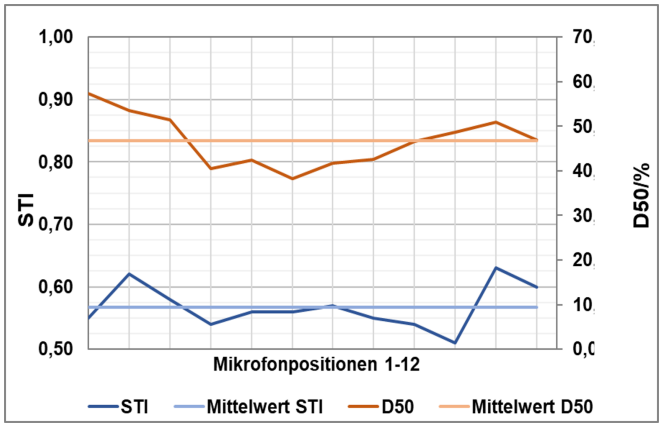

Abbildung 12: STI (li.) und D50 (re.) ohne Wandabsorber

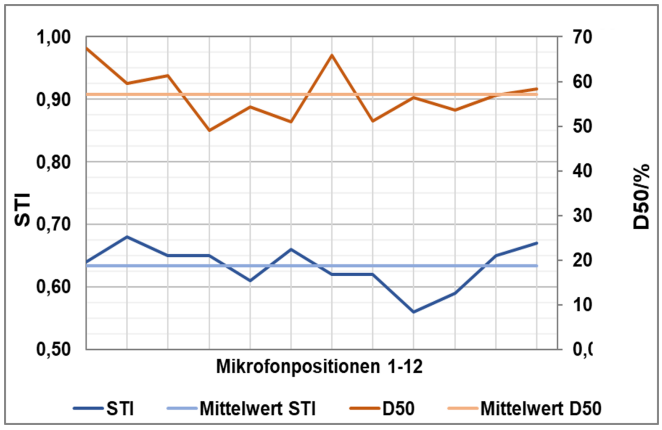

Abbildung 13: STI (li.) und D50 (re.) mit Wandabsorber

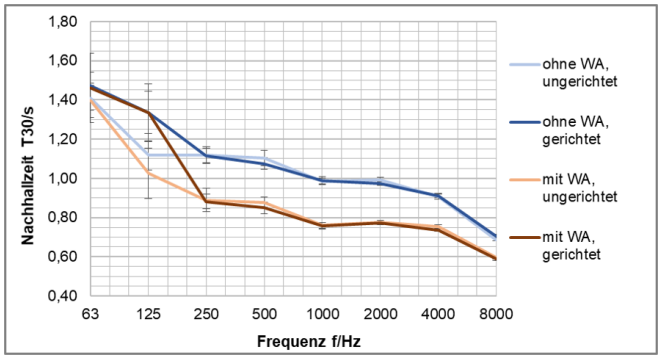

Abbildung 14: Auswirkung der Richtwirkung der Schallquelle auf die Nachhallzeit, bei der Raumaustattung ohne und mit Wandabsorber

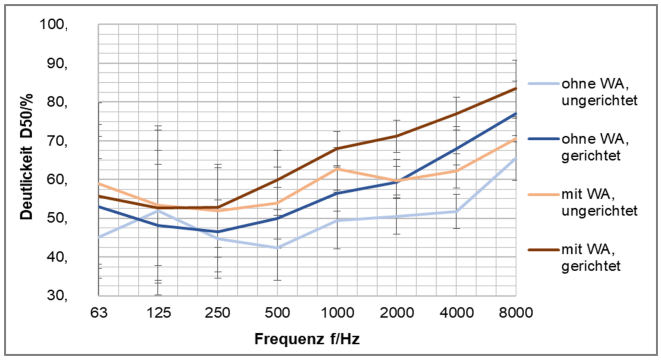

Abbildung 15: Auswirkung der Richtwirkung der Schallquelle auf die Deutlichkeit, bei der Raumaustattung ohne und mit Wandabsorber

Auswertung aber auch, dass die positionsbezogene Korrelation beider Größen mit einem Bestimmheitsmaß von 0,32 doch recht klein ist.

Richtwirkung der Schallquelle

Aus messpraktischen Gründen wäre es eine Vereinfachung, nur eine Schallquelle für alle Messungen zu verwenden. Die Abbildungen 14 und 15 zeigen die Auswirkung der Richtwirkung der Schallquelle von einer omnidirektionalen und einer gerichteten Schallquelle auf die Nachhallzeit und auf den Deutlichkeitsgrad D50, und zwar in beiden Raumaustattungsvarianten ohne und mit Wandabsorber. Die Nachhallzeit ist lediglich im 125 Hz-Oktavband bei Verwendung der omnidirektionalen Schallquelle niedriger, ansonsten hat die Richtwirkung keine Auswirkung. Im Fall der Deutlichkeit hat die Richtwikrung der Schallquelle erwartungsgemäß einen Einfluss; die Deutlichkeit steigt ab dem 500 Hz-Oktavband bei einer gerichteten Schallquelle doch deutlich an.

Fazit

Die Messungen haben ergeben, dass die Nachhallzeit hinsichtlich unterschiedlicher Messsetups eine durchwegs stabile Messgröße ist. Es empfiehlt sich, die Höhen der Messpositionen im Bereich der Ohrhöhe sitzender Schulkinder zu wählen. Bei Messungen zur Bestimmung des STI oder auch der Deutlichkeit D50 zeigen sich doch stärkere Einflüsse sowohl bzgl. der Höhe der Messpositionen als auch der Verwendung der Schallquelle. Da auch hier die Sprachverständlichkeit auf Ohrhöhe wichtig ist, sollten die Messmikrofone entsprechend positioniert werden. Als Schallquelle sollte eine gerichtete Schallquelle verwendet werden, da diese eher einer direkten Adressierung der Kinder durch die Lehrkraft entspricht. Tatsächlich sind bei der Nennung von Messwerten die Informationen zum Messsetup anzugeben.

Danksagung

Großer Dank geht an die Müller-BBM Acoustic Solutions GmbH für die Zurverfügungstellung von Messtechnik.

Literatur

[1] Dulllinger, S.: Raumakustische Analyse und Bewertung von Unterrichtsräumen am Fallbeispile der Grundschule Wasserburg am Inn. Bachelorarbeit. Technische Hochschule Rosenheim, 2019

[2] DIN EN ISO 3382-2:2008-09: Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik: Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen: Deutsche Fassung EN ISO 3382-2:2008

[3] DIN EN 60268-16:2012-05: Elektroakustische Geräte: Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex

[4] DIN 18041:2016-03: Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. Hrsg. von Deutsches Institut für Normung e.V.