

Vorhersagen und Nachweise zur Nachhall-Charakteristik kleiner Räume

Helmut V. Fuchs, Xueqin Zha

Stiftung Casa Acustica, Berlin, <hvfuchs@hotmail.com>

Absorptionsspektren im Raum entscheiden über die Verständlichkeit von Sprache und Klarheit von Musik und so auch über Schallbelastungen der Nutzer. Lehrbücher und DIN18041 empfehlen eine im raumakustisch relevanten Frequenzbereich (63 bis 8000 Hz) möglichst gleichmäßige Nachhallzeit. Konventionelle dünne Decken- und Wandabsorber erreichen dies oft nur bis 250 Hz. Darunter fallen auch rechnerische Prognosen und messtechnische Nachweise schwer wegen fehlender Diffusität in den Modenfeldern. Eine genügend breitbandige Bedämpfung des Raumes offenbart aber, dass auch oberhalb der Schröder-Frequenz die Wirksamkeit quasi identischer Absorberelemente in verschiedenen gestalteten und eingerichteten Räumen stark variiert. Trotzdem ermöglichen geeignete Breitbandabsorber nur in einigen Raumkanten niedrige quasi frequenzunabhängige Nachhallzeiten. Die damit erzielte akustische Transparenz entkräftet den verhängnisvollen Lombard-Effekt und reduziert den bei Kommunikation und Unterricht sonst unvermeidlich eskalierenden Schallpegel, weit mehr als nach Sabine physikalisch zu erwarten. Sanierungsbeispiele von Unterrichts-, Spiel-, Musik-, Speise-, Konferenz- und Aufenthaltsräumen in diversen Bildungseinrichtungen, die Installationen an Decken und Möblierungen an Wänden unange-tastet lassen, erfüllen höchste Anforderungen, auch hinsichtlich Inklusion behinderter Nutzer.

Erste Realisierungen mit Kanten-Absorbern KA in Hörsälen und IT-Räumen einer Hochschule für Medien und Kommunikation, den Wasch- und Aktivräumen einer Kita sowie den Speiseräumen einer Schule wurden schon auf der DAGA 2012 diskutiert [1]. Die Beruhigung eines Hortes ist in [2] ausführlich dokumentiert. Inzwischen sind akustische Sanierungen in 50+ Räumen verschiedener Größe und Nutzung mit minimaler dreidimensionaler Anordnung in einigen Raumkanten mit Erfolg ausgeführt worden [3]. **Abb.1** zeigt z.B. einseitig perforierte KA (0.4 x 0.5 m im Querschnitt) aus GK-Platten mit MW-Füllung in einem Musik-Unterrichtsraum. Im Mittel der bisherigen Sanierungen werden mit einer Belegung von 5 bis 10 % der Wand- bzw. Deckenflächen im möblierten und besetzten Raum die Anforderungen der DIN 18041 im gesamten relevanten Frequenzbereich (63 bis 4000 Hz) erfüllt. Das gelingt auch, wenn die Absorber im Hohlraum abgehängter Unterdecken UD 'versteckt' und durch 2 senkrechte KA im Raum ergänzt werden, s. 4 Speiseräume in [3, Abschn. 4.3]. Bei aktuellen Diskussionen in Ausschüssen der DEGA und des DIN wurde deutlich, dass hinsichtlich der Anforderung, Messung und Berechnung der Nachhallzeit $T(f)$ bei tiefen Frequenzen etwa unter 250 Hz auch bei erfahrenen Praktikern Unsicherheit herrscht. Deshalb sollen hier quantitative Ergebnisse aus unterschiedlichen Musterräumen analysiert werden.

Die Ergebnisse in **Abb. 2** und [4] zeigen zunächst, dass T von maximal 1.6 s selbst bei geringer Möblierung und Belegung (hier nicht dargestellt) breitbandig unter 1 s sinkt. Bezieht man den entsprechenden Zuwachs an Absorptionsfläche $\Delta A(f)$ auf die Länge der installierten KA, so ergibt sich oberhalb 125 Hz ein konstanter Wert von 0.3 m² pro m, bei 63 Hz aber nur etwa 0.2 m² pro m. Im Hallraum wurden dagegen 1 m² pro m bei mittleren und bis 3 m² pro

m bei den tiefsten Frequenzen gemessen [3, Bild 29c). Dies zeigt, dass man sich für raumakustische Planungen nicht einfach auf Daten aus Schluckgrad-Tabellen oder Firmen-Broschüren verlassen kann, selbst wenn diese nach Norm ermittelt wurden. Aber auch die Ergebnisse aus nur einem Musterraum können nicht als Maß für einen beliebigen anderen Raum dienen.

In einem Hörsaal stieg T zunächst typischerweise von hohen zu tiefen f von 1.5 auf nahe 4 s an. Bei Belegung mit 30 Personen fiel der Anstieg noch krasser aus – mit den z.B. in [3] beschriebenen Folgen für die Sprachverständlichkeit. Nach der Sanierung stellt sich bei dieser Belegung wiederum ein etwa konstantes $T < 1$ s ein [1, Abb. 3]. Das ist aber nur möglich, weil die KA hier gemäß **Abb. 3** mit einem ΔA von 0.3 bei mittleren bis 1 m² pro m bei tiefen f recht gut dem T -Verlauf folgen. Dies zeigt, wie wirksam die KA die im Raum tobenden Moden zähmen. Dünnere Absorber können das nicht, selbst wenn damit viel größere Flächen belegt würden.

Über einem Konferenzraum wurden Breitband-Absorber ringsum im ca. 40 cm tiefen Hohlraum einer GK-UD eingebaut. Hier folgt deren Absorptionsgrad, bezogen auf die 25 x 0.35 m² große geöffnete Fläche, mit einem Anstieg von 0.5 auf über 1 noch besser dem T -Anstieg von 1.5 auf 2.5 s im für eine entspannte Kommunikation untauglichen Ausgangszustand (**Abb. 4**). Auch hier könnten noch zwei senkrechte KA und die Belegung mit ca. 20 Personen dafür sorgen, dass T breitbandig unter 1 s bleibt. Dazu fehlte aber die Akzeptanz des Architekten. Überhaupt lehren viele Sanierungsprojekte den Raumakustiker, dass es selten darum geht, eine bestimmte (baurechtlich ohnehin unverbindliche) Norm zu erfüllen; vielmehr stehen die für diesen Zweck überhaupt verfügbaren Flächen im Raum und die im Budget gerade noch vorhandenen Mittel im Vordergrund der Diskussion um eine befriedigende Akustik. Umso wichtiger ist es daher,

Breitband-Absorber auf engstem Raum möglichst preiswert und leicht renovierbar zu implementieren.

Die Kernaussagen dieses Beitrags gelten grundsätzlich auch für *breitbandige* Resonanz-Absorber und für passive (poröse/faserige) Absorber, wenn diese nur eine ausreichende Bautiefe aufweisen [6]:

Frequenzbereich: KA können bei entsprechender Bautiefe ihre Wirkung im gesamten relevanten Frequenzbereich von 63 bis 4000 Hz entfalten.

Absorptionsgrad: Ihre Absorptionsfläche beträgt – stark abhängig von der Ausgangssituation im jeweiligen Raum – sehr breitbandig zwischen 0.3 und 1 m² pro m bzw. ihr Absorptionsgrad, bezogen auf ihre offene Fläche, zwischen etwa 0.5 und 1.

Wirksamkeit: Diese passt sich dem aktuellen Dämpfungsdefizit im Raum an, der meist bei den tiefen (Beispiel Hörsaal), gelegentlich auch bei mittleren f (Beispiel Musikraum) liegen kann.

Linearität: KA können T nicht nur auf das erforderliche Maß absenken, sondern auch deren Frequenz-Charakteristik vergleichmäßigen.

Planungssicherheit: Obgleich die Ergebnisse sehr deutlich machen, dass das auf einem diffusen Schallfeld im Raum basierende *Sabine*-Konzept eigentlich in keinem Frequenzbereich streng anwendbar ist, kann man doch ganz gut abschätzen, was die geschilderten raumakustischen Maßnahmen im jeweiligen Fall bringen können.

Normanforderung: Ein aktueller Entwurf empfiehlt gegenüber der gültigen DIN 18041 für barrierefreies Bauen eine Absenkung von T bei mittleren f um 20 %. Dies erscheint angesichts der für Absorber verfügbaren Flächen und Ressourcen z.B. in Schulen ebenso unmöglich wie unnötig. Gleichzeitig soll die Toleranz für T(f) bei 250 Hz bis 120 %, bei 125 Hz bis 145 % und bei 63 bis 170 % angehoben werden. Ein solches Konzept würde dem hier propagierten diametral widersprechen und die baurechtliche Bedeutung dieser Norm weiter mindern.

Wie das Beispiel in [2] zeigt, lässt sich ein leerer Raum in Massivbauweise allein durch den Einbau von KA mit $A \approx 0.5 \text{ m}^2$ pro m in einen allen kommunikativen und Schallschutz-Anforderungen gewachsenen Zustand versetzen (**Abb. 5**). Die teils überraschenden Befunde aus gemeinnütziger Praxis könnten vielleicht für hier aktive F&E-Teams Ansporn sein, es den Kollegen in Essex gleichzutun, die in einer umfangreichen Studie kürzlich ebenfalls herausfanden, wie wichtig eine *breitbandige* Bedämpfung von Unterrichtsräumen tatsächlich ist, besonders natürlich für die Behinderten! [7, Bild 7].

Literatur

- [1] DAGA 2012, S. 503-504
- [2] Bauphysik 35 (2013), H. 2, S. 126-132
- [3] Bauphysik-Kalender 2014, Kap. D1, S. 581-602
- [4] Bauphysik 36 (2014), H. 2, S. 87-93
- [5] Bauphysik 36 (2014), H. 5, S. 257-265
- [6] Bauphysik-Kalender 2014, Kap. B1, S. 185-238
- [7] Essex-Study, s. Lärmbekämpfung. 10 (2015), H. 2



Abb. 1: Kanten-Absorber KA nach [1] im Musik-Unterrichtsraum einer Schule in Berlin-Spandau [4]

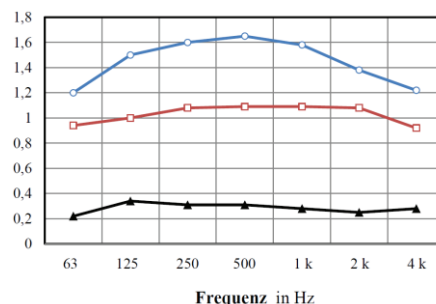


Abb. 2: Zur Wirksamkeit von KA; T vorher (○) bzw. nachher (◻) im leeren Raum von Bild 1, A in m² pro KA-Länge in m (▲)

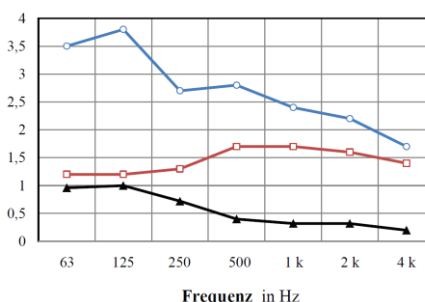


Abb. 3: Wirkung von KA in dem möblierten Hörsaal einer Medien-Hochschule nach [1]; Erklärungen wie in Abb. 2

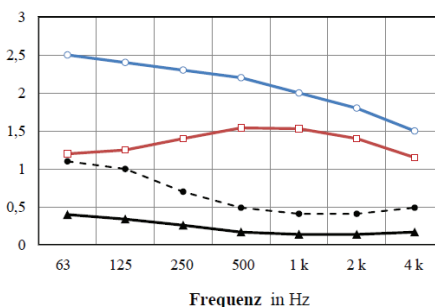


Abb. 4: Wirkung von Breitband-Absorbern im Hohlraum einer GK-DU über einem Konferenzraum nach [7]; Erklärungen wie in Abb. 2 und Absorptionsgrad, bez. auf die geöffnete Fläche (●)

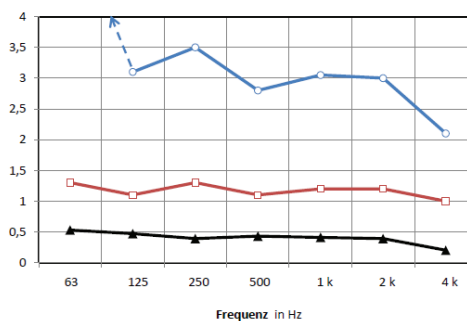


Abb. 5: Wirkung von KA im Massivbau eines leeren Ganztages-Horts einer Schule in Berlin-Lichtenberg; Erklärungen wie in Abb. 2