

Flexibel installierbare Breitband-Schallabsorber für Kommunikationsräume

Helmut V. Fuchs¹, Bradley Alexander², Stefan Weinzierl²
¹CASA ACUSTICA Berlin; ²TU Berlin, FG Audiokommunikation

1. Ein altes Problem und eine Lösung

Entspannte Kommunikation z.B. in Unterrichts-, Büro-, Versammlungs- und Speiseräumen erfordert eine hohe Sprachverständlichkeit. Diese hängt nicht nur von der Artikulation der Sprechenden und der Hörfähigkeit der Hörenden ab, sondern nach [1] u.a. von Störgeräuschen, insbesondere tiefrequenten und sprachähnlichen. In Räumen mit einer Schröder-Frequenz $f_s > 250$ Hz kann Dröhnen die besonders relevanten Frequenzen oberhalb 500 Hz verdecken [2, 11.4]. Wenn diese Raumresonanzen nicht nachhaltig bedämpft werden, bewirkt der Lombard-Reflex [3] eine allgemeine Anhebung von Lautstärke und Tonlage der Stimme, die unweigerlich die bekannte Lautheitsspirale in Gang setzt.

Mit Teppichen, Vorhängen, Wandpaneelen, Akustikdecken, -schirmen, -baffeln und -segeln ist notwendige breitbandige Absorption, die auch bei tiefen Frequenzen wirksam ist, kaum zu erreichen. Deswegen kommen Verbundplatten-Resonatoren VPR und Breitband-Kompaktabsorber BKA [2, 5.3 und 10.2] großflächig an Decken und Wänden seit 20 Jahren zum Einsatz. In Schulen haben sich seit 10 Jahren preiswertere Kanten-Absorber KA [2, 10.3] bewährt, die kompakt und robust in Trockenbauweise bevorzugt direkt in den Raumkanten dauerhaft eingebaut werden. Man hat auch schon vielfach Räume mit unzureichenden Akustikdecken dadurch aufgewertet, dass man in deren Hohlraum entlang der Raumkanten hinter Lochplatten zusätzlich eine dickere Absorberschicht eingebaut hat [2, 14.1.7]. Inzwischen sind Deckensysteme auf dem Markt, die auf dieses Konzept „versteckter“ KA aufbauen [4]. Im Gegensatz dazu weisen konventionell von der Decke abhängbare Module aus maximal 50 mm dickem faserigem oder porösem Dämpfungsmaterial in entsprechend schmalen Metallrahmen eine unter 500 Hz üblicherweise stark abfallende Absorption auf. Es fehlten aber bisher breitbandig wirksame, flexibel handhabbare Absorber-Module, die eine besonders im Bassbereich klaffende Lücke preisgünstig füllen können.

2. Entwicklung von Breitband-Schallabsorbern

Die Raummoden mit Plattenresonanzen reaktiv dämpfende VPR- und mit passiven Absorbern ergänzte BKA-Module wurden, komplett vorgefertigt, immer schon besonders wirksam auch in Raumkanten installiert. Sie belegen dort aber mit 1-2 m² pro Modul kostbare Wand- oder Deckenflächen und sind für viele Anwendungen zu teuer. Für Kitas, Klassenzimmer und Seminarräume haben im Trockenbau fest installierte KA mit Mineralfaserfüllung in lang gestreckten GK-Koffern diese beiden Nachteile in etlichen Räumlichkeiten bereits überwunden und setzen sich im Schulbau immer mehr durch. Dort bieten sich aber auch die Ferien zur Durchführung der recht aufwendigen Vorbereitung und Ausführung der Bauarbeiten an. In Bürogebäuden, Dienstleistungszentren, Werkstätten und Restaurants muss eine vielerorts ebenso dringend gebotene raumakustische Nachrüstung dagegen in der Regel bei laufender Geschäftstätigkeit erfolgen. Hier gibt es Bedarf, Chancen und Herausforderungen für eine neuerliche Innovation nicht nur für

Kommunikationsräume. Diese verknüpft alle reaktiven und passiven akustischen Mechanismen der vorgenannten Erfindungen und Patente in einer vorteilhaften Kombination:

- Vom Raum direkt auftreffende Luftschallwellen regen zahlreiche gekoppelte Schwingungen in den Glatblechen an.
- Von Decke und Wänden reflektierte und um die Glatbleche gebeugte Schallwellen regen 3D-Stehwellen innerhalb des Hohlkörpers an.
- Allseitig eng umschlossenes faseriges Material sorgt für eine breitbandige Absorption aller Resonanzen im gesamten relevanten Frequenzbereich (63 bis 4000 Hz).

Abb. 1 und 2 veranschaulichen, wie das neue kompakte Modul dem Raum jeweils nur geschlossene Flächen zuwendet und Luftschall direkt nur durch Lochbleche eindringen kann, die der Decke oder Wand zugewandt sind.

Messungen im Hallraum der TU Berlin an 12 Prototypen haben alle Erwartungen erfüllt, und erste raumakustische Sanierungen bestätigen das neue Konzept der komplett vorzufertigenden Breitband-Absorber-Traps BAT.

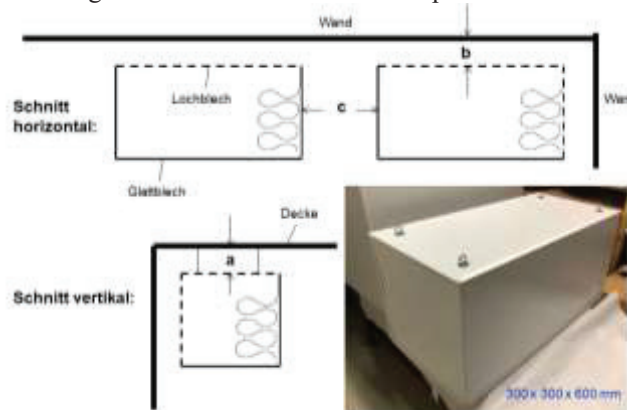


Abb. 1: Mit geschlossenen bzw. perforierten Blechen umhüllte BAT im Abstand a unter der Decke und b vor Wänden

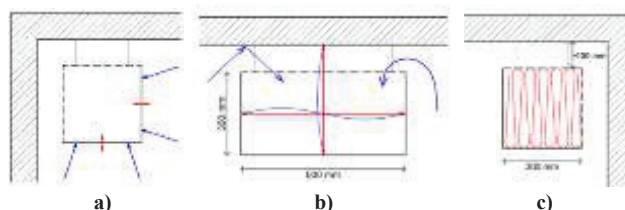


Abb. 2: Die drei akustischen Mechanismen vereint im BAT

3. BAT-Elemente auf schallhartem Boden

An der TU Graz hat man versucht, den starken Einfluss der Positionierung der KA im Raum auf deren Wirksamkeit zu ergründen [5, 6], um so auch die rechnerische Prognose bei ihrer Planung zu verbessern. Das stellt schon bei den nur passiv wirkenden KA eine Herausforderung dar. Umso größer ist diese, wenn in den BAT neben passiven auch reaktive Elemente eine wichtige Rolle spielen. Deswegen wurde hier ein Satz von 12 etwas unterschiedlich perforierten Prüflingen in ganz verschiedener Anordnung zunächst auf dem Boden des normgerecht nach [2, Abschn. 15.1] leicht

bedämpften 200 m³ großen Hallraum der TU Berlin gemäß ISO 354 untersucht. Zunächst wurden die Elemente unmittelbar nebeneinander ausgebreitet und zwar zum einen so, dass ihre großen perforierten Flächen auf dem Boden, also für den Schall unzugänglich, lagen und zum anderen so, dass diese dem Raum zugekehrt waren, wobei die mit Glattblechen geschlossenen Seiten eine Art Rahmen der insgesamt etwa 2,5 m² belegten Fläche bildeten (Abb. 3). In beiden Fällen wird unter 250 Hz eine breitbandige resonanzartige Überhöhung der äquivalenten Absorptionsfläche

$$A_{eq} = 0,16 V \left(\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_0} \right)$$

aus den gemessenen Nachhallspektren T_m mit bzw. T_0 ohne die Prüflinge sehr deutlich.

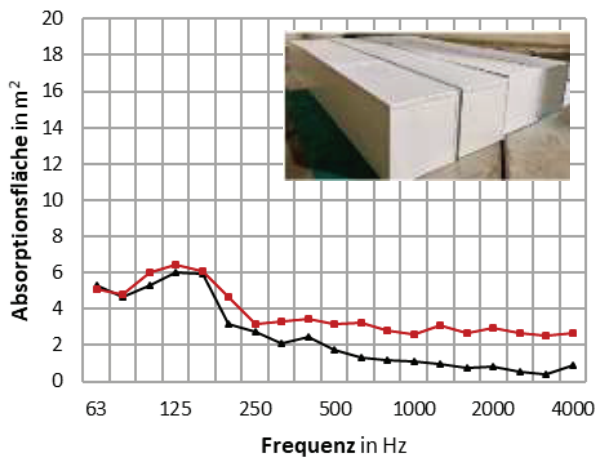


Abb. 3 Absorptionsfläche A_{eq} von 12 eng nebeneinander auf dem Hallraumboden ausgelegten Prüflingen mit den perforierten Flächen auf dem Boden (\blacktriangle) bzw. zum Raum, s. Foto (\blacksquare)

Im zweiten Fall wird, wie nicht anders zu erwarten, die Absorption im oberen Frequenzbereich erheblich verstärkt auf $A_{eq}(\geq 250 \text{ Hz}) \approx 3 \text{ m}^2$. Wenn man die gleichen Elemente mit einem beidseitigen Abstand zwischen 100 und 400 mm verlegt (Abb. 4), kann $A_{eq}(\geq 250 \text{ Hz})$ bis zum doppelten Wert ansteigen und so eine fast konstante Absorption oberhalb 63 Hz von breitbandig gut 0,5 m² pro Element erreichen. An diesem Ergebnis ändert sich nicht viel, wenn man alle Elemente 200 mm hoch aufständert (Abb. 5), was etwa ihrer Abhängung wie Baffles von einer Decke entspräche. Womit aber ausdrücklich *keine* solche Anordnung etwa in Deckenmitte empfohlen sei, wo damit die wertvollen frühen Reflexionen unterbunden würden [1].

4. BAT-Elemente vor schallharten Kanten

Abb. 6 zeigt eine im gesamten relevanten Spektrum noch stärkere Absorption bis 1,2 m² pro Element. Wenn die überwiegend geschlossenen Flächen der nun unmittelbar in den Kanten platzierten Elemente alle zum Raum weisen, werden die zur Bedämpfung der Raum-Moden besonders wichtigen Resonanzen noch deutlicher als in Abschn. 3. Aber auch wenn stattdessen die perforierten Flächen dem Raum zugekehrt werden, bleiben diese sehr stark, und oberhalb 250 Hz verdoppelt sich dann die Absorption, ähnlich wie in Abb. 3. Abb. 7 simuliert eine bevorzugte BAT-Installation in nicht zu großen Abständen a von der Decke. Erst für größere Abstände b von der Wand erhöht sich zwar die Absorption bei den höheren, aber etwas auf Kosten der tiefen Frequenzen. In dieser Messreihe wurde zwar der Einfluss

des Abstands c der Prüflinge voneinander nicht bestimmt. Aber aus den Abb. 3 und 4 kann man schließen, dass deren Absorption bei höheren Frequenzen etwas geringer zu erwarten ist, wenn die einzelnen Elemente parallel zu einer Raumkante enger zusammen installiert werden, wie es in den Beispielen von Abschn. 6 geschehen ist.

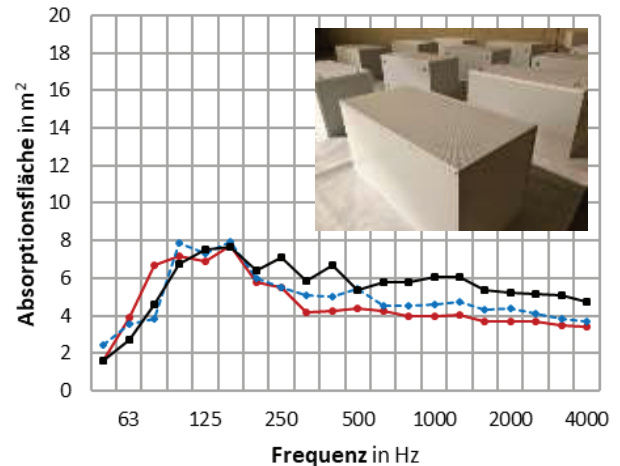


Abb. 4: wie in Abb. 3, perforierte Flächen zum Raum; Abstände zwischen den Elementen: $c = 100$ (\bullet), 200 (\blacklozenge), 400 mm, s. Foto (\blacksquare)

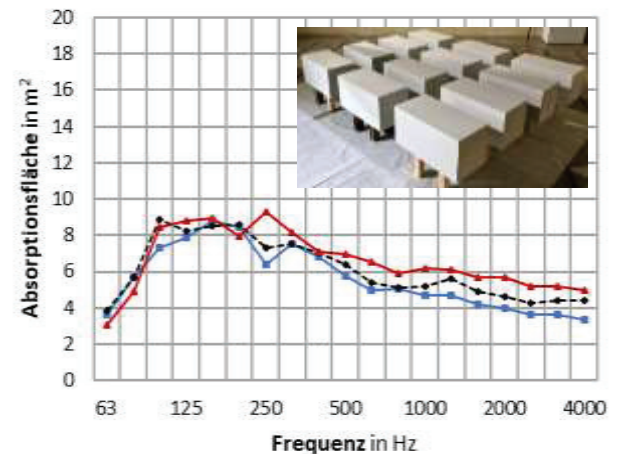


Abb. 5: wie in Abb. 3, perforierte Flächen zum Raum, Abstände $a = 200$ mm vom Boden; Abstände zwischen den Elementen: $c = 100$ (\blacksquare), 200 , s. Foto (\blacklozenge), 400 mm (\blacktriangle)

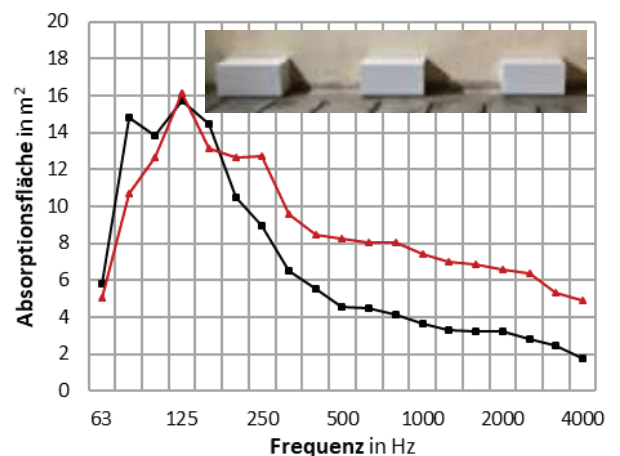


Abb. 6: A_{eq} von 12 Prüflingen entlang der 4 unteren Kanten des Hallraums; perforierte Flächen auf dem Boden und zur Wand, s. Foto (\blacksquare), perforierte Flächen zum Raum (\blacktriangle)

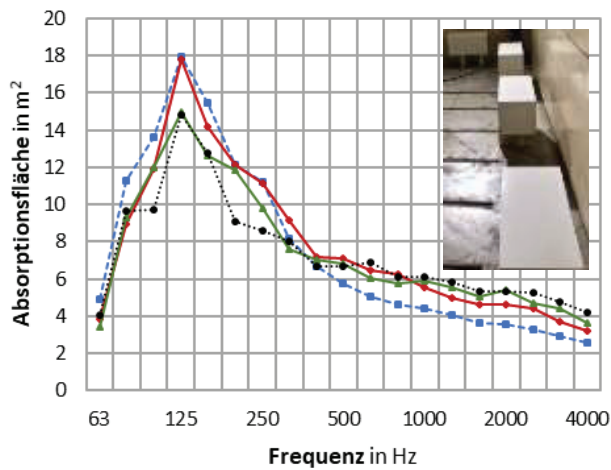


Abb. 7: A_{eq} von 12 BAT-Prüflingen entlang der unteren Kanten des Hallraums (Perforationen zur Wand), Abstände voneinander ähnlich wie in Abb. 6, Abstand $a = 200$ mm vom Boden; Abstände von der Wand: $b = 0$ (■), 100 (◆), 200, s. Foto (▲), 400 mm (●)

5. Einordnung der Ergebnisse aus dem HR

Sowohl auf dem Boden als auch in den Kanten zeigen die BAT eine bisher nicht erreichbare Absorptionscharakteristik, die angesichts der in vielen Räumen zu den tiefen Frequenzen ansteigenden Nachhallzeiten bemerkenswert ist. In der für praktische Umsetzungen gebräuchlichen Darstellung in Abb. 8 ist die projizierte Fläche eines einzelnen BAT mit nur $0,3 \times 0,6 = 0,18 \text{ m}^2$ blau ange deutet.

In Abb. 9 ist die im Hallraum erreichbare A_{eq} der BAT gemäß Abb. 7 (◆) mit derjenigen von handelsüblichen, nur passiv wirksamen Absorber-Baffles mit einer Dicke von 50 mm im Abstand von 0,5 bis 1 m parallel zueinander, etwa wie es in DIN 18041-2016, Bild 4 c) empfohlen wird, verglichen, wenn man A_{eq} jeweils auf die *gesamten* dem Schallfeld zugänglichen Oberflächen aller Elemente bezieht.

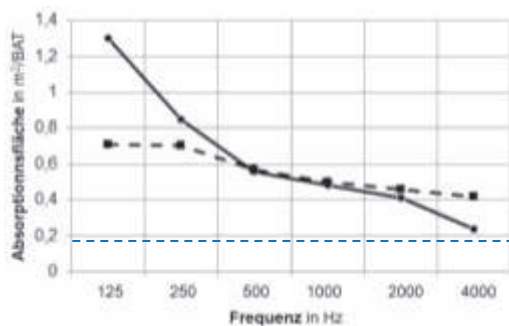


Abb. 8: A_{eq} pro Prüfling bei Anordnung in der Fläche (■) gemäß Abb. 5 (▲) bzw. in den Kanten (●) gemäß Abb. 7 (◆)

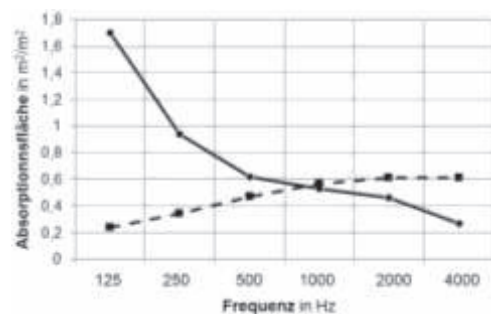


Abb. 9: A_{eq} bezogen auf die *gesamte* Oberfläche von BAT im Vergleich zu konventionellen, 50 mm dicken Absorber-Baffles

6. Akustische Sanierungen mit BAT

Für die erste Bemusterung mit den neuartigen BAT wurden deren geschlossene glatte Sichtflächen speziell auf diesen kleinen Besprechungsraum ausgelegt, s. Abb. 10, die sogleich deutlich macht, dass hier die als optimal ermittelte Anordnung möglichst nahe den oberen Raumkanten wegen der drei ca. 50 cm tiefen Betonunterzüge leider nicht möglich war. Auch an die anderen haustechnischen Abhängungen von der Decke mussten und konnten die neuartigen Schallabsorber angepasst werden. Deswegen kann es nicht verwundern, dass die Absenkung der Nachhallzeit gemäß Abb. 11 zwar breitbandig überzeugend ausfällt, aber doch nicht ganz den Erwartungen aus Abb. 7 (▲) entspricht. Für die Messungen vorher/nachher war der Raum fast leer. Mit einigen Möbeln fällt erwartungsgemäß $T(f > 250 \text{ Hz})$ weiter ab. Wenn man noch die Absorption von etwa 5 Personen in Sitzposition nach DIN 18041, Tab. G.2 dazu abschätzt, wird ein fast konstanter Wert unter 0,6 s erreicht, was für den 72 m^3 großen Raum unter den Vorgaben als akzeptabler Wert erscheint. Interessanter Weise hatte sich in Vorversuchen mit nur 6 der Prototypen, die aber alle versuchsweise tatsächlich nahe den *unteren* Raumkanten aufgeständert wurden, ein ähnliches Nachhall-spektrum angedeutet.



Abb. 10: Installation von BAT nahe den Beton-Unterzügen in einem kleinen Besprechungsraum

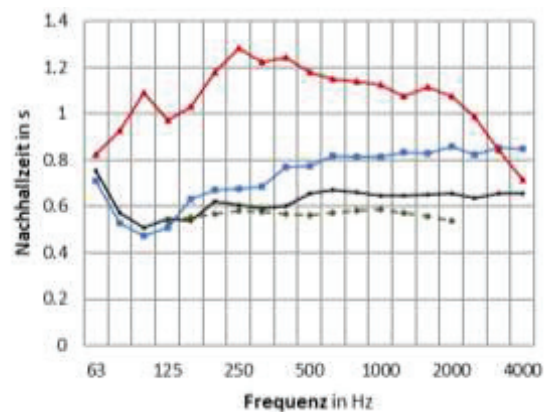


Abb. 11: Nachhallzeiten im Testraum gemäß Abb. 10; gemessen unmöbliert vorher (▲), nachher (■), gemessen möbliert (●), geschätzt mit zusätzlich 5 Personen (◆)

Eines der größten Anwendungsfelder für BAT- Module liegt sicherlich in Schulbauten. Deshalb wurde ein 6,9 x 5,1 x 3,5 m großes Klassenzimmer in der denkmalgeschützten *Max Dortu* Grundschule in Potsdam gemäß **Abb. 12** mit 21 vierseitig geschlossenen BAT im Abstand $a \approx b \approx 100$ mm ausgestattet; bei einer projizierten Gesamtfläche von 3,8 m² also auf nur ca. 3% der Deckenfläche! Die Nachhallzeit (**Abb. 13**) konnte so zwischen 125 und 250 Hz im möblierten unbesetzten Raum etwa halbiert werden. Die Prognose auf Basis der Hallraum-Ergebnisse von Abschnitt 4 wird zwar bei mittleren und hohen Frequenzen, nicht erreicht. Aber mit 20 Kindern wird der Sollwert nach Norm ($T_{\text{soll}} = 0,5$ s) gemäß Tabelle A.1, Zeile 6 in DIN 18041-2016 nur um die tolerablen 20% überschritten. Aber der starke Anstieg der Absorption zu den Tiefen ist hinsichtlich der Sprachverständlichkeit natürlich ausgesprochen positiv zu beurteilen. Die neuartigen BAT-Module können dadurch jede Sprache und Kommunikation in kleineren Räumen hörbarer machen und generell Lärm in lauten Arbeitsbereichen reduzieren, ohne Decken und Wände großflächig zu belegen.



Abb. 12: BAT in der *Max Dortu* Grundschule in Potsdam

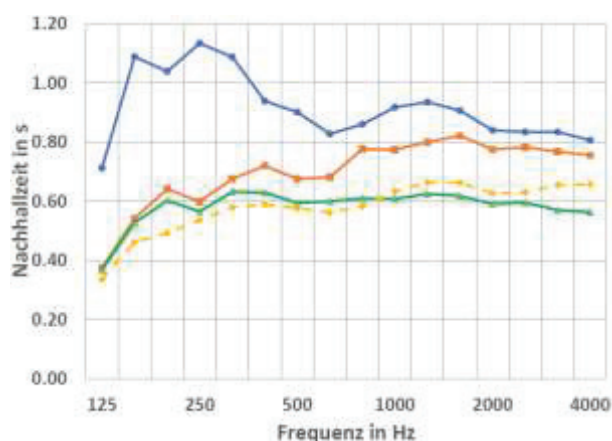


Abb. 13: Nachhallzeit möbliert vorher (●) und nachher (■) sowie mit 20 (▲) Kindern und Prognose aus Hallraum-Tests (◆)

7. Zusammenfassung

Seit langem weiß man, wie kleinere Räume akustisch zu konditionieren sind [2]. Auch die dazu notwendigen, breitbandig wirksamen Schallschlucker wurden längst entwickelt und vielfach zum Einsatz gebracht [7]. Bisher fehlte es aber an leicht handhabbaren Absorbern, die flexibel und bevorzugt nur nahe den Raumkanten im gesamten für Musik und Sprache relevanten Frequenzbereich wirksam werden. Das neuartige Modul, das allseitig stabil von einem nur teilweise perforierten Metallgehäuse umschlossen ist, eignet sich nicht nur zur Beruhigung von Büros und Unterrichtsräumen, sondern auch für Speise-, Warte-, Besprechungs-, Praxis- und Behandlungsräume. Tests im Hallraum und raumakustische Sanierungen versprechen eine praktikable Lösung für ein noch immer allgegenwärtiges Lärmproblem. Dabei bleibt stets das Problem, dass weder ein Hall- noch ein beliebiger anderer Raum bei tiefen Frequenzen ein diffuses Schallfeld als Voraussetzung für eine Prognose nach Sabine ausbildet. **Abb. 14** zeigt die Streuungen, die z.B. an 55 Messpositionen im ersten Sanierungsfall auftraten, dessen Abfall statt eines Anstiegs des Nachhallspektrums zwischen 250 und 63 Hz übrigens eher untypisch ist für zahlreiche Klassenzimmer und ganz unbehandelte Büro- und Kommunikationsräume.

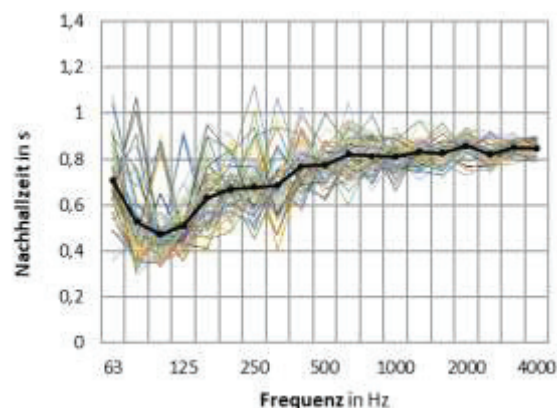


Abb. 14: Charakteristische Streuungen bei der Mittelung der Messergebnisse von Abb. 11 (■)

Literatur

- [1] Fuchs, H.V.; Graber, G.: Erreicht DIN 18041-2016 ihr Ziel hinsichtlich Sprachverstehen, Schallbelastung und Lärminderung in Unterrichts- und Kommunikationsräumen? DAGA 2019, Rostock, 1321-1324
- [2] Fuchs, H.V.: Raum-Akustik und Lärm-Minderung. Berlin: Springer, 2017
- [3] Bottalico, P.; Passione, I.I.; Graetzer, S.; Hunter, E.J.: Evaluation of the starting point of the Lombard effect. Acta Acust Ac 103 (2017), S. 169-172
- [4] Fuchs, H.V.; Becker, B.: Im Hohlraum die Tiefen schlucken. Trockenbau Akustik 34 (2017), H. 8, 34-39
- [5] Peters, B. (2018): Raumakustische Sanierungen mittels Kantenabsorber und herkömmlicher Methodik im Vergleich. Bachelorarbeit am Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation der TU Graz
- [6] Reisinger, D. (2019): Entwicklung und Messung von Kantenabsorbern. Masterarbeit am Institut wie bei [5]
- [7] Fuchs, H.V.; Zha, X.: Schall lenkende und dämpfende Maßnahmen in kleineren Räumlichkeiten. In: Fouad, N.A. (Ed.) Bauphysik-Kalender 2020, Beitrag C4, S. 725-753