

**Forschungsgesellschaft
für angewandte
Systemsicherheit und
Arbeitsmedizin**



**Optimierung akustischer Qualität
kommunikationsintensiv genutzter Räume**

F 03-1801

Abschlussbericht, FSA e.V.

Janna-Lena Lamprecht

Diplom-Physikerin

Mannheim, Dezember 2024

Inhaltsverzeichnis

Glossar	3
1. Einleitung und Aufgabenstellung	6
2. Akustik in kommunikationsintensiv genutzten Räumen	9
3. Akustik in Kantinen und Gaststätten	13
3.1. <i>Relevante Regelwerke zur raumakustischen Beurteilung</i>	13
4. Akustische Situation der BGN-Kantine als praktisches Beispiel	15
4.1. <i>Überblick über die akustischen Sanierungen</i>	16
4.2. <i>Zustand vor den Sanierungen</i>	17
4.3. <i>Erste Stufe der Sanierung: Nischenbildung mit Schallabsorbern</i>	20
4.4. <i>Zustand nach zweiter Stufe der Sanierung</i>	23
4.5. <i>Raumakustische Beurteilung der BGN-Kantine</i>	25
4.6. <i>Computerbasierte Simulationen der BGN-Kantine</i>	32
4.7. <i>Zusammenfassung der Ergebnisse</i>	34
5. Absorber für Kantinen und Gaststätten	36
5.1. Poröse Absorber	36
Faserplatten und Akustikschaumplatten	36
Kantenabsorber.....	37
Akustikputz	37
Textile Absorber.....	38
5.2. Resonanzabsorber	38
Gelochte und geschlitzte Absorber.....	38
Mikroperforierte Absorber	39
5.3. Mögliche Realisierungen der akustischen Maßnahmen	39
5.4. Anbringungsvarianten	41
6. Nachhallzeitmessung mit dem Smartphone	43
6.1. <i>Untersuchung der Güte von Smartphone-Apps für Nachhallzeitmessungen</i>	43
6.2. <i>Raumanregung</i>	44
6.3. <i>Vergleichsmessungen unterschiedlicher Apps mit dem geeichten Messgerät</i>	44
6.4. <i>Messergebnisse und Zusammenfassung</i>	45
7. Leitfaden und Berechnungshilfe	46
8. Diskussion und Ausblick	47
Anhang:	49
A Verwendete Apps	49

A.1	ClapIR	49
A.2	IAudioTool.....	50
A.3	RevMeterPro-App.....	51
A.4	myRaumklang	52
A.5	Bosig-App	53
A.6	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	54
B	Leitfaden zur Raumakustik in Gaststätten und Kantinen.....	61
1.	Akustik in Gaststätten und Kantinen	62
2.	Schallquellen in Gaststätten und Kantinen.....	63
2.1.	Unerwünschte Schallquellen in Kantinen und Gaststätten.....	63
3.	Anforderungen für Raumakustik in Gaststätten und Kantinen	64
3.1.	Bewertung eines Raumes mit Hilfe des A/V-Verhältnis	64
3.2.	Fallbeispiel 1: Gaststätte.....	66
3.3.	Fallbeispiel 2: Kantine	68
4.	Typische Schallabsorber und weitere Maßnahmen	69
4.1.	Absorber	69
4.1.1.	Poröse Absorber.....	69
4.1.2.	Resonanzabsorber	73
4.2.	Realisierung akustischer Maßnahmen	75
5.	Fallbeispiele.....	77
5.1.	Fallbeispiel Gaststätte.....	77
5.1.1.	Gaststätte Variante 1A - Einfügen einer Akustikdecke.....	77
5.1.2.	Gaststätte Variante 1B – Einfügen von Akustikbildern und Kantenabsorbern	78
5.1.3.	Vergleich der Varianten 1A und 1B zur akustischen Sanierung einer Gaststätte	79
5.2.	Fallbeispiel Kantine.....	80
5.2.1.	Kantine Variante 2A - Einfügen einer Akustikdecke	80
5.2.2.	Kantine Variante 2B – Einfügen von Akustikbildern und Stellwänden	81
5.2.3.	Vergleich der Varianten 2A und 2B zur akustischen Sanierung einer Kantine.....	82
6.	Berechnungsblatt zum A/V-Verhältnis:	83
	Literaturverzeichnis.....	85

Glossar

Äquivalente Schallabsorptionsfläche: Die äquivalente Schallabsorptionsfläche ist die mit deren jeweiligen Schallabsorptionsgrad gewichtete Summe aller Flächen eines Raumes. Das heißt, hätten alle Flächen einen Schallabsorptionsgrad von 1, wäre die Äquivalente Schallabsorptionsfläche gerade die Summe aller Flächen.

dB(A): Die mittleren und hohen Frequenzen werden vom menschlichen Gehör besonders gut aufgenommen. Es ist in diesen Frequenzen besonders empfindlich. Durch die A-Bewertung werden Messwerte an das menschliche Gehör angepasst. Man schreibt dB(A).

Impulsschall: Unter Impulsschall versteht man ein Schallereignis was kurzfristig auftritt, z.B. ein knallartiges Geräusch.

Lombardeffekt: Unterhalten sich mehrere Personen in einem Raum mit schlechter Raumakustik, so sorgen diese Gespräche für ein hohes Hintergrundgeräusch. Folglich müssen die Personen noch lauter sprechen und es entsteht ein sich selbst verstärkender Effekt, der Lombardeffekt.

Nachhall: Der Nachhall eines Raumes entsteht durch die Reflexion von Schallwellen an den Oberflächen des Raumes. Treffen Schallwellen auf eine Oberfläche, so werden sie zum Teil reflektiert, absorbiert und transmittiert. Je nach Größe und Beschaffenheit des Raumes kann der Nachhall durch harte Oberflächen stark ausgeprägt sein. Die physikalische Größe, die den Nachhall beschreibt, ist die Nachhallzeit.

Nachhallzeit: Die Nachhallzeit in einem Raum entspricht der Zeit, die der Schalldruckpegel benötigt, um nach Ausschalten der Schallquelle um 60 Dezibel abzusinken (vergleiche **Abbildung 1**). Abgekürzt wird die Nachhallzeit mit T_{60} . Die Nachhallzeit wird in Sekunden angegeben und ist eine frequenz- und ortsabhängige Größe.

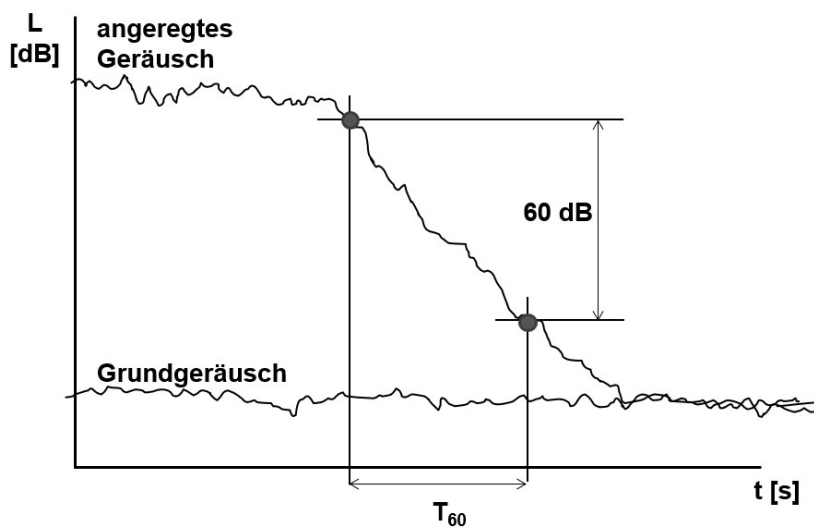


Abbildung 1: Darstellung der Nachhallzeit; Anregung des Raumes; Messung der Zeit, die der Schallpegel braucht um 60 dB abzufallen nach Ausschalten des Geräusches; Quelle: Lamprecht

Rosa Rauschen: Bei dem Rosa Rauschen nehmen Menschen alle Frequenzen als etwa gleich laut wahr. Die Amplitude des Rosa Rauschens nimmt mit steigender Frequenz ab.

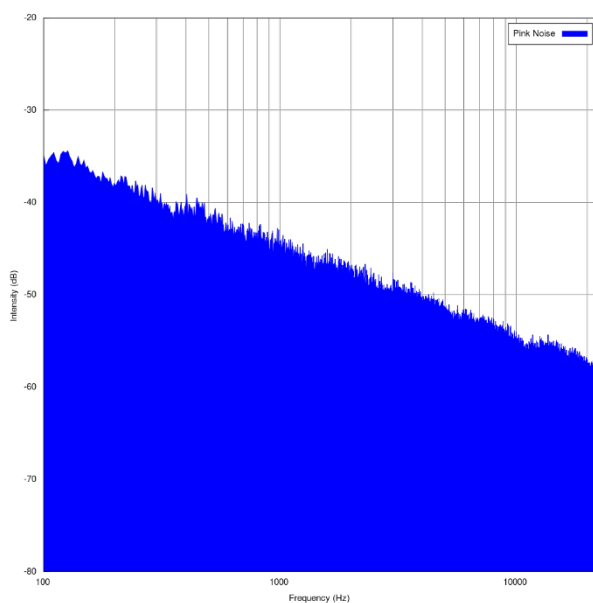


Abbildung 2: Spektrum Rosa Rauschen; Quelle Warrakkk - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19273415>

Schallausbreitungskurve (SAK): Die Schallausbreitungskurve zeigt die Pegelabnahme im Raum mit zunehmender Distanz zu einer Schallquelle. Sie gibt die Differenz von einer ortsfesten, ungerichtet Punktquelle verursachten Schalldruckpegels und dem Schalleistungspegel dieser Quelle an.

Schalldruckpegel: Die physikalische Größe, mit der die Intensität der Lautstärke einer Schallwelle angegeben wird, ist der Schalldruckpegel L_p . Die Einheit des Schalldruckpegels ist Dezibel (dB).

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) \text{ dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ dB}$$

Der Schalldruckpegel ist eine logarithmische Größe und wird in Bezug auf den Schalldruck $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ als Bezugswert angegeben. Ein Schalldruckpegel von 0 dB bedeutet folglich einen Schalldruck von $p = p_0$. Die Hörschwelle liegt bei 0 dB und die Schmerzschwelle bei 120 dB.

Da der Schalldruckpegel logarithmisch vom Schalldruck abhängt, bedeutet jede Verdopplung des Schalldrucks eine Erhöhung des Schalldruckpegels um $10 \cdot \log 4 \text{ dB} = 6 \text{ dB}$, jede Halbierung des Schalldrucks führt zu einer Abnahme des Schalldruckpegels um 6 dB.

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Räume, in denen Menschen miteinander reden, sollten so gestaltet sein, dass die Sprechenden einander gut verstehen können. Besonders wichtig ist dies für Räume, in denen besonders viel kommuniziert wird, also für kommunikationsintensiv genutzte Räume wie beispielsweise Gaststätten und Kantinen, Klassenzimmer oder Großraumbüros.

Eine gute akustische Ausstattung solcher Räume verbessert nicht nur das Wohlbefinden, sondern senkt auch die Belastung von Menschen, die in diesen Räumen arbeiten. Die physikalische Grundlage dazu bietet die Raumakustik.

Der Einbezug von raumakustischen Überlegungen bei der Gestaltung von Räumen ist besonders wichtig für kommunikationsintensiv genutzte Räume, und zwar abhängig von der Art der Nutzung.

Man unterscheidet bei kommunikationsintensiv genutzten Räumen zwischen unterschiedlichen Arten der Kommunikation. In einem Klassenzimmer befinden sich beispielsweise meist eine sprechende Person und mehrere Zuhörende. Die sprechende Person, meist die Lehrkraft, sollte im Klassenzimmer über weite Distanzen hinweg gut verstanden werden.

In Besprechungsräumen und Gaststätten hingegen erfolgt die Kommunikation über kurze Distanzen. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Raumnutzungen besteht darin, dass für Besprechungsräume ein Sprechender und mehrere Zuhörende charakteristisch sind, während in Gasträumen mehrere Sprechende parallel sprechen.

Man sieht also, dass es in kommunikationsintensiv genutzten Räumen höchst unterschiedliche Arten der Kommunikation gibt, was die akustischen Anforderungen an diese Räume sehr unterschiedlich macht. Aus diesem Grund sind auch die raumakustischen Maßnahmen bzw. die geltenden Regelwerke jeweils verschieden.

- 1) Verstehen über große Distanzen, einzelne Sprechende: Beispiel Klassenzimmer oder Hörsaal
Charakteristisch für Hörsäle und Klassenzimmer ist es, dass der Vortragende sich meist an einem fest definierten Punkt im Raum befindet, während sich im restlichen Raum die Zuhörenden verteilen. Hierbei ist es wichtig, dass der Vortragende auch in der letzten Reihe gut verstanden wird. Geeignete Reflexionen an den Wänden und an der Decke können die Sprache verstärken und dafür sorgen, dass der Sprechende ohne zu große Anstrengung kommunizieren kann. Zusätzlich ist die Unterdrückung von unerwünschtem Schall wie beispielsweise der Nebengeräusche der Zuhörenden relevant.

2) Verstehen über kurze Distanzen, einzelne Sprechende: Beispiel Besprechungsraum

In einem Besprechungsraum sind die Distanzen zwischen Hörerenden und Sprechenden kürzer als in einem Hörsaal. Zudem wechseln sich hier Personen beim Sprechen weitaus stärker ab, weshalb sich auch die Position der Sprechenden ständig verändert. Eine Ausstattung mit schallabsorbierenden Materialien kann in solchen Räumen die Sprachverständlichkeit erhöhen [1]. Da jeweils nur eine Person spricht und die Distanzen gering sind, ist die Belastung der Beteiligten in dieser Art von Räumen nicht groß.

3) Verstehen und Zuhören über kurze Distanzen, mehrere Sprechende gleichzeitig:

Beispiel Gaststätte

Charakteristisch für Gaststätten ist, dass mehrere Personen gleichzeitig separate Gespräche führen, wobei jeweils das eigene Gespräch über kurze Distanzen hinweg verständlich sein soll, während andere Gespräche und Nebengeräusche möglichst gedämpft sein sollen.

Ist eine gute Sprachverständlichkeit aufgrund der raumakustischen Situation nicht gegeben, erhöht sich der Schalldruckpegel, was die Atmosphäre im Raum verschlechtert und eine Belastung für das Personal darstellt.

Kommunikationsintensiv genutzte Räume mit einem Sprecher über große Distanzen sind bereits sehr gut untersucht. Hierzu gibt es eine Vielzahl von Hilfestellungen und Veröffentlichungen (vergleiche [2], [3]). In diesem Projekt wird der Fokus auf die Gaststätten und Kantinen gelegt, also Räume mit vielen Sprechern und Hörern über kurze Distanzen. In diesem Bereich existieren wenig Hilfestellungen und Veröffentlichung zur Raumakustik. Viele Hersteller von Akustikmaterialien bieten sogenannte Raumakustikrechner online an. Diese lassen sich aber ohne jegliche Sachkenntnis schwer bedienen und bieten nur Möglichkeiten die jeweiligen Materialien der Hersteller zu Verbesserung zu nutzen. Der Bedarf die Akustik in Restaurants zu verbessern ist aber ein wichtiges Thema. In einer Feldstudie wurden 13 Restaurants in Berlin untersucht. Es zeigte sich, dass in den betroffenen Restaurants ein hoher Lautstärkepegel zu einer signifikant schlechteren Gesamtbewertung in der Studie führte. Eine geringere Nachhallzeit hingegen führte zu einer angenehmeren akustischen Umgebung. Die Autoren empfehlen daher, der akustischen Qualität von Restaurants noch mehr Aufmerksamkeit zu schenken [4].

Die Beschäftigten in Kantinen und Gaststätten sind einer Vielzahl von Geräuschen ausgesetzt (Gespräche, Geschirrklopfen, Stühlerücken etc.). Der Lärm, der hier auftritt, ist in der Regel nicht gehörgefährdend, kann aber dennoch gesundheitsgefährdend sein. Spricht ein Mensch ohne Anstrengung, so liegt der Schalldruckpegel bei ca. 63 dB(A). Sprechen mehrere Menschen, so versucht jeder gegen das Hintergrundgeräusch anzusprechen und erhebt weiter seine Stimme. Es wird noch lauter; dies nennt man Lombardeffekt. Durch eine schlechte Raumakustik wird dieser Effekt noch verstärkt. Ein dauerhaft hoher Schalldruckpegel führt nachgewiesenermaßen zur Erhöhung des Stresslevels und damit zu gesundheitlichen Folgen führen. In der Broschüre „Kein Stress mit dem Stress Lösungen und Tipps für Betriebe im Gastgewerbe“ der BGN wird neben Zeitdruck und hoher Verantwortung auch Lärm zu den arbeitsbedingten Belastungen gezählt [5]. So mindert in Kantinen ein hoher Schalldruckpegel nicht nur die Konzentration des Personals, sondern auch den Erholungseffekt der Gäste, welche in der Kantine ihre Mittagspause verbringen.

Der Lombardeffekt funktioniert auch umgekehrt: Kann das Hintergrundgeräusch durch raumakustische Maßnahmen gesenkt werden, so sprechen die Personen im Raum in der Folge leiser.

Wird ein Raum neugestaltet, dann planen Architekten den Raum nach den geltenden Regelwerken wie zum Beispiel die DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ [6]. Doch auch im Ist-

Zustand kann ein Raum akustisch oft deutlich angenehmer gestaltet werden. Weisen Räume z.B. schallharte Begrenzungsflächen wie Beton, Fenster oder ähnliches auf, so kann durch zusätzliches Einfügen von Absorbern die akustische Qualität eines Raumes verbessert werden.

Es sollte untersucht werden, ob die Einschätzung der raumakustischen Situation von bereits existierenden Räumen durch eine rudimentäre Analyse und mit einfachen Hilfsmitteln ohne professionelle, umfassende raumakustische Untersuchungen möglich ist.

Das Projekt gliedert sich in unterschiedliche Phasen.

In der **ersten Phase** sollen Informationen aus vorherigen Projekten zusammengestellt werden.

Objekte zur akustischen Sanierung sollen in der **zweiten Phase** gesucht werden und die Messungen des IST-Zustandes durchgeführt werden.

Die **dritte Phase** soll die akustische Umgestaltung der Räume sowie Messung der verbesserten Akustik beinhalten.

In der **vierten Phase** sollen alle Auswertungen vorgenommen und die computerbasierten Simulationen durchgeführt werden.

Mit Hilfe der Ergebnisse aus Phase vier sollen in **Phase fünf** Informationen gebündelt, bewertet werden und unter den relevanten Aspekten wie Umsetzung, Kosten und Aufwand soll ein Leitfaden erstellt werden.

Die dritte und vierte Phase wird durch Computersimulationen und Berechnungen begleitet.

Durch die Corona Pandemie mussten einzelne Phasen abgeändert durchgeführt werden. Die Umgestaltung und Messung von realen Objekten war in dieser Zeit durch Zugangsbeschränkungen nicht möglich. Es wurde deshalb in Phase zwei und drei die Kantine der BGN, die 2014 saniert wurde, als Beispielraum ausgewählt, vermessen und bewertet.

Hierbei sollte zunächst anhand einer exemplarischen Untersuchung der BGN-Kantine eine professionelle raumakustische Bewertung vorgenommen und mit den Bewertungsmöglichkeiten verglichen werden. So sollte eine Möglichkeit gefunden werden mit einfachen Berechnungen die raumakustische Güte eines Raumes abzuschätzen und Verbesserungen vorzuschlagen.

Inzwischen besitzt fast jeder ein Smartphone mit verschiedenen physikalischen Sensoren. Dafür gibt es auf dem Markt unterschiedliche Apps. Unter anderem existieren mehrere Apps, mit denen man die Nachhallzeit messen könne. Durch Vergleichsmessungen wurde die Qualität und Reproduzierbarkeit dieser Nachhallzeitbestimmungen untersucht.

Auf Grundlage dieser Untersuchungen war es das Ziel einen Leitfaden für die Betreibenden von Kantinen und Gaststätten zu entwickeln. Mit Hilfe dieses Leitfadens sollten einfache Berechnungen zur raumakustischen Güte zugänglich gemacht werden.

2. Akustik in kommunikationsintensiv genutzten Räumen

Die akustische Qualität kommunikationsintensiv genutzter Räume hängt im Wesentlichen von der Gestaltung des Raumes und dessen Nutzungsweise ab. Dabei ist entscheidend, wie groß der Anteil der schallharten und schallabsorbierenden Flächen im Raum ist. Auch die Raumgröße und die Nutzungsart spielen bei der Bewertung eine große Rolle. Wird ein Raum von mehreren Personen genutzt, die miteinander kommunizieren, so ist eine gute Sprachverständlichkeit essenziell. Man unterscheidet hierbei zwischen der subjektiven Sprachverständlichkeit, die über die prozentual richtigen Silben, Wörter und Sätze ermittelt werden kann und der objektiven Sprachverständlichkeit die durch Messungen z.B. der Schallausbreitung ermittelt wird.

Das Frequenzspektrum der menschlichen Stimme (Erwachsene) ist in Abbildung 3 zu sehen. Hier ist der Schalldruckpegel in dB gegen die Frequenz in Hertz aufgetragen. Die untere Kurve kennzeichnet die Hörschwelle und die obere Kurve die Schmerzgrenze. Abbildung 3 zeigt, dass besonders in den tiefen Frequenzen zwischen 125 Hz und 250 Hz die Schalldruckpegel hoch sind. Zum Verstehen von Sprache ist es besonders wichtig, die Konsonanten zu verstehen. Deshalb werden, um die Halligkeit des Raumes zu reduzieren meist die mittleren und hohen Frequenzen bedämpft. Ein langer Nachhall verschmiert aber durch die Reflexionen die Deutlichkeit der Sprache in allen Frequenzen. Die Verständlichkeit ist dann nicht mehr gegeben und für den Zuhörer wird es sehr anstrengend. Das liegt daran, dass die Grundtöne der Stimme ein lautes Hintergrundgeräusch erzeugen, welches ebenfalls gedämpft werden sollte. Anhand Abbildung 3 wird deutlich, dass für eine effektive Raumakustik Absorber eingesetzt werden sollten, die in dem Bereich von 125 Hz bis 4000 Hz besonders effektiv sind. So werden die Reflexionen des Schalls optimal vermindert [7].

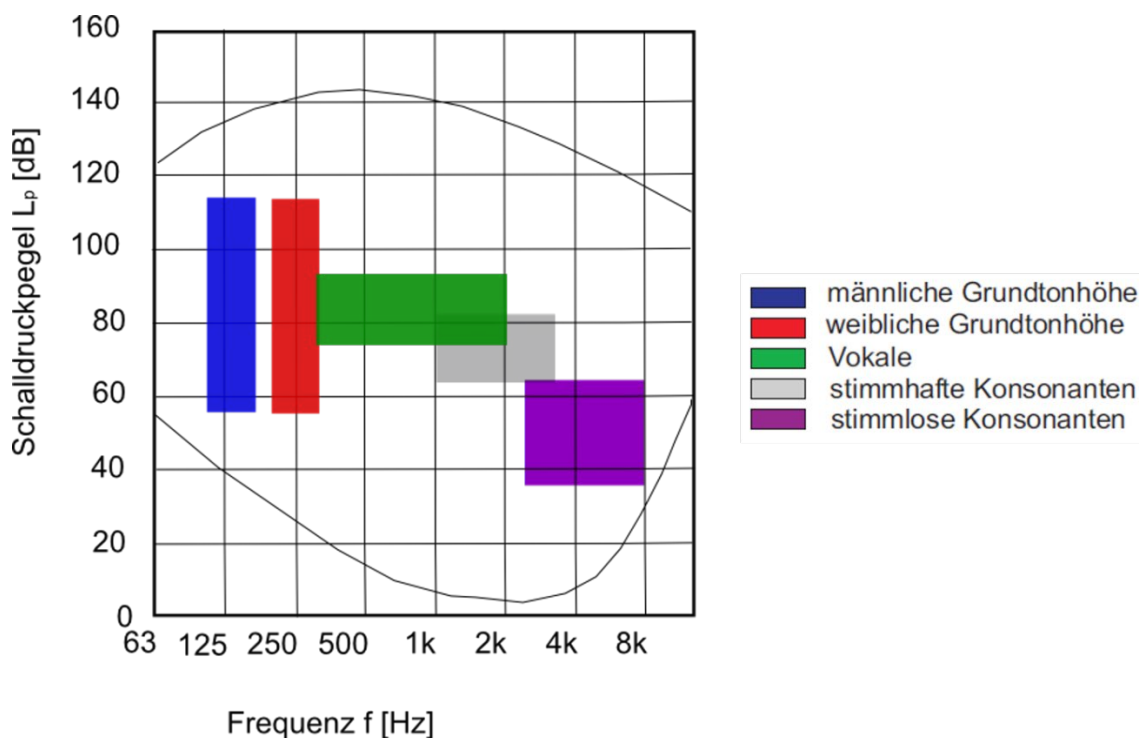


Abbildung 3: Spektrum der menschlichen Stimme zwischen Schmerzgrenze (obere Kurve) und Hörschwelle (untere Kurve); Aufgetragen ist die Frequenz in Hertz gegen den Schalldruckpegel in dB.

In der **ersten Phase** des Projektes wurden die Untersuchungen von früheren Projekten zusammengetragen. Von besonderer Relevanz waren hier das Projekt „Innovative Schallabsorber für kommunikationsintensiv genutzte Räume, Schulen und Kitas“ sowie das Projekt „Untersuchung innovativer Schallabsorber im industriellen Umfeld“. In diesen Projekten wurde die Verbesserung der akustischen Situation durch einfache Maßnahmen untersucht [1], [8].

Das Projekt „Untersuchung innovativer Schallabsorber im industriellen Umfeld“ war darauf angelegt günstige Lösungen für die Industrie zu finden. In Zusammenarbeit mit Prof. Fuchs, dem früherem Leiter des Bereichs Akustik am Fraunhofer Instituts für Bauphysik, wurden umfangreiche Untersuchungen zu Kantenabsorbern durchgeführt [9]. Kantenabsorber absorbieren Schall in den tiefen Frequenzen besonders gut. Poröse Schallabsorber hingegen wirken hauptsächlich durch die Umwandlung von Schallenergie in Wärmeenergie mittels Reibung und je nach Einbautiefe vor allem im mittleren und hohen Frequenzbereich. So kann die Nachhallzeit in den hohen und mittleren Frequenzen durch die am häufigsten verbauten raumakustischen Maßnahmen, wie z.B. eine Akustikdecke, gut gemindert werden. Der Anstieg der Nachhallzeit zu den tiefen Frequenzen, im Bereich unterhalb von 500 Hz, ist aber auch Bestandteil der menschlichen Wahrnehmung und bleibt durch diese Maßnahmen meist erhalten. Stellen die Sprecher selbst die Lärmquelle dar, so ist eine zu starke Bedämpfung nur der hohen Frequenzen nicht geeignet. Es würden die für die Sprachverständlichkeit so wichtigen Zisch- und Explosivlaute der Konsonanten (zwischen 1 und 8 kHz) gedämpft werden. Hier können Kantenabsorber eine kostengünstige Lösung sein, die dem Raum individuell angepasst werden kann. Sie können platzsparend in die Kanten des Raumes eingebracht werden. So kann durch wenig Material eine hohe Absorption in den tiefen Frequenzen erreicht werden. In Abbildung 4 ist der gemittelte Absorptionsgrad von Kantenabsorbern in den Abmessungen 400 · 500 mm mit Mineralwolle-Füllung im Vergleich zur flächigen Anordnung mit geschlossenem Rahmen und geöffneter Fläche von 12 m² abgebildet. Deutlich

ist der Anstieg des Absorptionsgrades zu den tiefen Frequenzen zu sehen. In derselben Abbildung findet sich auch eine Skizze des Kantenabsorbers. Im den meisten Fällen wird dieser aus einer geschlossenen Seite, z.B. aus Gipskartonplatten der Stärke 9,5 mm, und einer Schalleintrittsseite, z.B. gelochte Gipskartonplatten der Stärke 9,5 mm und einem Lochanteil von 16 %, mit einer Mineralwollefüllung (mit einer Dichte von 25 kg/m^3) bestehen (siehe Abbildung 4 b)).

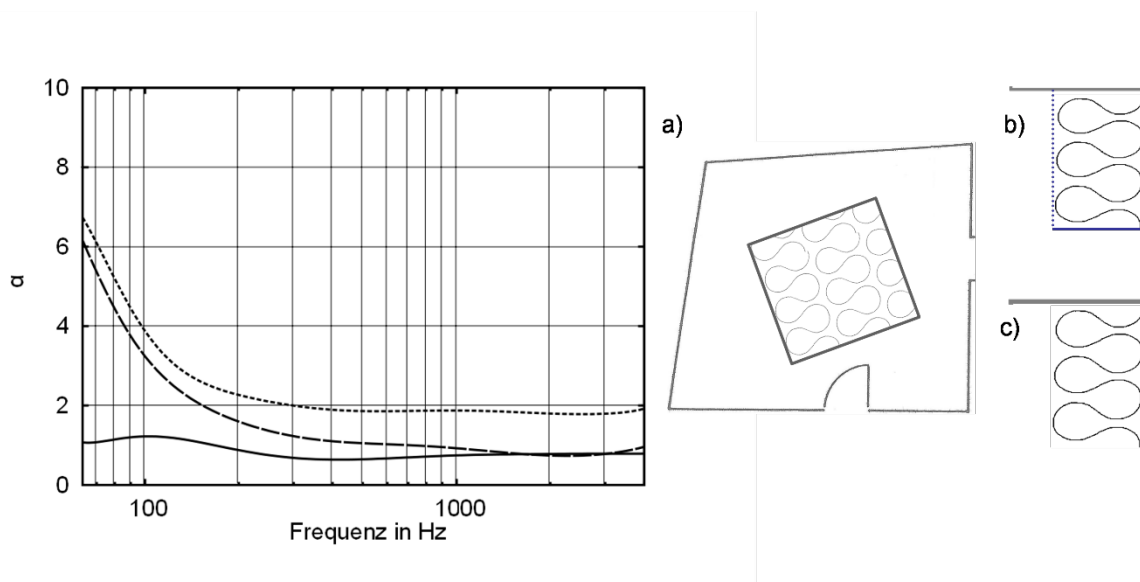


Abbildung 4: Gemittelter Absorptionsgrad von Kanten-Absorbern in den Abmessungen $400 \cdot 500 \text{ mm}$ mit Mineralwolle-Füllung im Vergleich zur flächigen Anordnung desselben Materials mit umlaufenden Rahmen, jeweils bezogen auf die offene Fläche SA. a) breite Seite mit GK-Platten, schmale Seite mit GK-Lochplatten abgedeckt (strichliert); b) schmale Seite mit GK-Platten, breite Seite mit GK-Lochplatten abgedeckt (gestrichelt); c) 12 m² flächig ausgelegte Mineralwolle (durchgezogen).

Die DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung“ [6] erlaubt einen Anstieg zu den tiefen und mittleren Frequenzen. Das steht im Gegensatz zur Verbesserung der Verständlichkeit der Sprache, vgl. [10], [11], [9]. Der Schall der menschlichen Stimme besitzt in den tiefen Frequenzen besonders viel Energie. Für das Verständnis von Sprache ist es essenziell, die Konsonanten zu erfassen. Diese liegen in den hohen Frequenzen (vgl. Abbildung 3). Wird durch Absorption die Nachhallzeit nur in den hohen Frequenzen gesenkt, so bleibt die Schallenergie in den tiefen Frequenzen bestehen. Dies hat zur Folge, dass die Verständlichkeit der Sprache darunter leidet. Um die Verständlichkeit der Sprache zu verbessern, müsste die Nachhallzeit in den tiefen Frequenzen ebenfalls reduziert werden. Aufgrund ihrer Wirkungsweise absorbieren Kantenabsorber auch viel Schallenergie in den tiefen Frequenzen und tragen somit besonders zur Verbesserung der Verständlichkeit der Sprache bei.

Die Effekte in den Raumkanten können von den gängigen Prognoseprogrammen zur Raumakustik nur unzureichend abgebildet werden. Deswegen lässt sich die Wirkung von Kantenabsorbern in Räumen nur unzureichend prognostizieren. Da aber vor großen akustischen Sanierungen oder Neubauten in den meisten Fällen eine Simulation der akustischen Situation des Raumes durchgeführt wird, um die Wirksamkeit von Maßnahmen zu berechnen, sind die ungenauen Ergebnisse einer Simulation für den Einsatz von Kantenabsorbern ein wesentlicher Nachteil. Aus diesem Grund untersucht eine Forschungsgruppe an der Universität Graz das Absorptionsverhalten von Kantenabsorbern und entwickelt Simulationsmöglichkeiten für deren Wirksamkeit bei den tiefen Frequenzen (vgl. [12]) mit ersten Erfolgen zur Abschätzung einfacher Konfigurationen.

In dem Projekt „Innovative Schallabsorber für kommunikationsintensiv genutzte Räume, Schulen und Kitas“ wurden erste Erfahrungen mit Kantenabsorbern in verschiedenen Unterrichts- und Gruppenräume gemacht. Es wurden fünf Räume akustisch mit Kantenabsorbern saniert und die objektive Wirksamkeit der Maßnahme wurde durch die Nachhallzeitmessungen vorher und nachher validiert. Die subjektive Verbesserung der akustischen Situation der Räume wurde durch eine Befragung der Nutzenden zu deren Wahrnehmung aufgenommen. Insgesamt wurde die Raumakustik nach den Maßnahmen subjektiv besser bewertet als vor den akustischen Sanierungen. Die Untersuchung zeigte, dass in allen Räumen die Nachhallzeit deutlich gesenkt und geglättet wurde. Nicht immer konnte durch diese Maßnahme allein die geforderte Sollnachhallzeit nach DIN 18041 erreicht werden. Die Nutzenden empfanden den Raum dennoch akustisch als positiv [13]. Es zeigte sich in diesem Projekt, dass Kantenabsorber eine wertvolle Maßnahme in diesen kommunikationsintensiv genutzten Räumen darstellen.

3. Akustik in Kantinen und Gaststätten

In Kantinen und Gaststätten spielt das Verstehen auf kurze Entfernungen eine große Rolle. Geräusche aus großen Entfernungen sollen bedämpft werden, so dass die Hintergrundgeräusche wie Geschirrkloppern, Hintergrundmusik oder Gespräche des Nachbartisches keinen störenden Einfluss auf Gespräche am eigenen Tisch haben. Wir unterscheiden zwischen gewollten Geräuschen und ungewollten, störenden Geräuschen. Zu gewollten Geräuschen zählen die Gespräche am eigenen Tisch sowie Hintergrundmusik, die in der Lautstärke reguliert werden kann. Diese Hintergrundmusik hat den Effekt, dass die Gespräche an den umliegenden Tischen sozusagen maskiert werden. Dadurch wird eine gewisse Privatsphäre erzeugt, da die Inhalte der Gespräche der Nachbartische nicht für alle Anwesenden hörbar sind. Ist eine gute Sprachverständlichkeit aufgrund der raumakustischen Situation nicht gegeben, so verschlechtert sich nicht nur das Zuhören, auch die psychische Belastung von Personal und Gästen steigt.

Kantinen sind Räume, die sich durch große Grundflächen und viele Sitzplätze auszeichnen. Die reflektierenden und absorbierenden Flächen des Raumes sind die Decke, Wände und Boden. Diese sind von den Sitzplätzen unterschiedlich weit entfernt. So haben absorbierende Wände einen großen Einfluss auf die Sitzplätze, die nah an den Wänden sind, während der Einfluss auf Sitzplätze weit entfernt abnimmt. Den größten Einfluss hat wegen ihrer großen und überall verteilten Fläche die Decke. Diese kann schallabsorbierend ausgestaltet werden, um die akustische Situation deutlich zu verändern. Doch es gibt noch weitere Möglichkeiten die Akustik in großen flachen Räumen wie Kantinen zu verbessern (vergl. Kapitel 5).

3.1. Relevante Regelwerke zur raumakustischen Beurteilung

In Räumen, in denen sprachliche Kommunikation eine wichtige Rolle spielt, liegt der Schalldruckpegel in den meisten Fällen unterhalb der Gehörgefährdung von 80 dB(A). In diesem Bereich werden die Anforderungen durch die Technischen Regeln für Arbeitsstätten Lärm (**ASR A3.7**) [14] geregelt. Diese geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene sowie sonstige gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten wieder.

Des Weiteren gilt für kleine bis mittelgroße Räume mit einem Volumen von bis zu 5000 m³. die **DIN 18041**: „Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung“ [6]. Diese DIN-Norm gibt die anerkannten Regeln der Technik im Bereich der Raumakustik für Arbeitsräume mit Sprachkommunikation wieder. Die DIN unterscheidet zwischen zwei Raumgruppen: A und B. Die Raumgruppe A beinhaltet Räume, in denen über große Distanzen kommuniziert wird, wie z.B. Unterrichtsräume, Vorlesungsräume, Schwimmhallen oder Musikräume. Zur Raumgruppe B gehören Räume, in denen über kurze Distanzen kommuniziert wird, wie z.B. Büroräume, Schalterhallen oder Speiseräume und Kantinen. Räume zu längerfristigem Verweilen, zu denen auch Kantinen und Speiseräume zählen, sind in der Raumgruppe B in der Untergruppe 3 zu finden. Die DIN beschreibt abhängig von der Raumgruppe zwei voneinander unabhängige Verfahren zur Bewertung von Räumen. Zum einen für Räume der Gruppe A über die ermittelte Nachhallzeit, zum anderen für Räume der

Gruppe B über die Berechnung von raumakustischen Kenngrößen. Die Berechnungen in der Gruppe B sind denen der ASR A3.7 sehr ähnlich. Im Gegensatz zur ASR A3.7 erfolgt die Bewertung zusätzlich noch frequenzbezogen. Sind die Anforderungen der DIN 18041 erfüllt, so sind die Anforderungen der ASR A3.7 ebenfalls erfüllt [15], [16].

Zur Messung der akustischen Situation von Arbeitsräumen mit Sprachkommunikation werden die **DIN EN ISO 3382-2** „Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen“ [17] und die **VDI 3760** „Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen“ herangezogen [18].

Liegt der Schalldruckpegel über 80 dB(A), greift die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, die in den Technischen Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (**TRLV Lärm**) [19] konkretisiert wird. Diese gibt den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm wieder. Kommunikationsintensiv genutzte Räume in denen der Schalldruckpegel über 80 dB(A) liegt, wie Diskotheken, Musikclubs, etc. sind nicht Gegenstand dieser Arbeit. Diese Räume müssen gesondert betrachtet werden.

4. Akustische Situation der BGN-Kantine als praktisches Beispiel

Am Anfang des Projektes stand die Idee, die Sanierung einer Kantine in der Praxis zu begleiten und im Zuge dessen die erreichten Verbesserungen in Bezug auf die Raumakustik zu dokumentieren. Noch bevor eine geeignete Kantine für das Projekt gefunden werden konnte, traten im Frühjahr 2020 die Maßnahmen gegen die Corona-Pandemie in Kraft, in deren Folge Gaststätten und Kantinen vorübergehend geschlossen wurden. Auch in der Zeit nach den Lockdowns und Schließungen stand die Gastronomie vor großen Herausforderungen. So musste beispielsweise im Rahmen der Abstandsregelungen das Platzangebot deutlich eingeschränkt und die betrieblichen Abläufe an die jeweils geltenden Regeln angepasst werden.

Da in dieser sehr spezifischen Situation eine realistische Betrachtung der Raumakustik unter normalen Umständen nicht möglich war, musste eine Ausweidlösung gefunden werden. Es bot sich an, die Kantine der BGN-Hauptverwaltung zu untersuchen, die im Jahre 2014 saniert wurde.

In der **zweiten Phase** sollen raumakustische Messungen in der Kantine der BGN im aktuellen Zustand durchgeführt, um diese mit vorherigen Messungen aus dem Jahr 2009, Zustand vor akustischen Sanierungen, und der Messung aus dem Jahr 2014, nach dem Einfügen von Stellwänden und Schallabsorbern, verglichen werden.

Am Beispiel der Kantine der BGN soll im Rahmen des Projekts festgestellt werden, inwieweit die raumakustische Bewertung eines Raumes für Betreiber von Gaststätten und Kantinen einfach vorzunehmen ist und wie gut die Ergebnisse sind.

4.1. Überblick über die akustischen Sanierungen

Zustand vor den Sanierungen Alte Kantine – Holzelemente

Vor den Sanierungen ist die Kantine der BGN geprägt durch die Holz-Elemente an der Decke und den Wänden. Durch Anstriche hat der Akustikputz an der Decke seine schallabsorbierenden Eigenschaften fast gänzlich verloren.

Gespräche sind bei voller Kantine sehr schlecht zu verstehen.



1.Sanierung Nischenbildung – Schallabsorber

Ohne eine komplette Sanierung der Decke wurde versucht, die Kantine ruhiger zu gestalten. Hierfür wurden Nischen aus Schallabsorbern eingefügt und die hintere Wand schallabsorbierend belegt.

Es entstehen unterschiedlich ruhige Sitzplätze. In der Mitte des Raumes besteht weiterhin Verbesserungsbedarf.



2.Sanierung Akustikdecke

Durch Einbringung einer vollflächigen Akustikdecke und Erhaltung der schallabsorbierenden Wand im hinteren Teil konnte die Raumakustik deutlich verbessert werden.

Auch in der Mitte des Raumes sind nun Gespräche gut zu verstehen.



Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Sanierungen aufgegriffen und die Messergebnisse bewertet.

4.2. Zustand vor den Sanierungen



Abbildung 5: Kantine der BGN 2009; Geprägt von Holzelementen. Der alte Akustikputz wurde überstrichen und ist nicht mehr wirksam

Die Kantine der BGN ist bis 2009 durch ihre Holzelemente geprägt. Der schallharte Boden und die Fensterfronten reflektieren den Schall stark. Der Akustikputz ist nicht mehr wirksam, im Zuge einer vorherigen Renovierung wurde er nicht fachgerecht überstrichen.

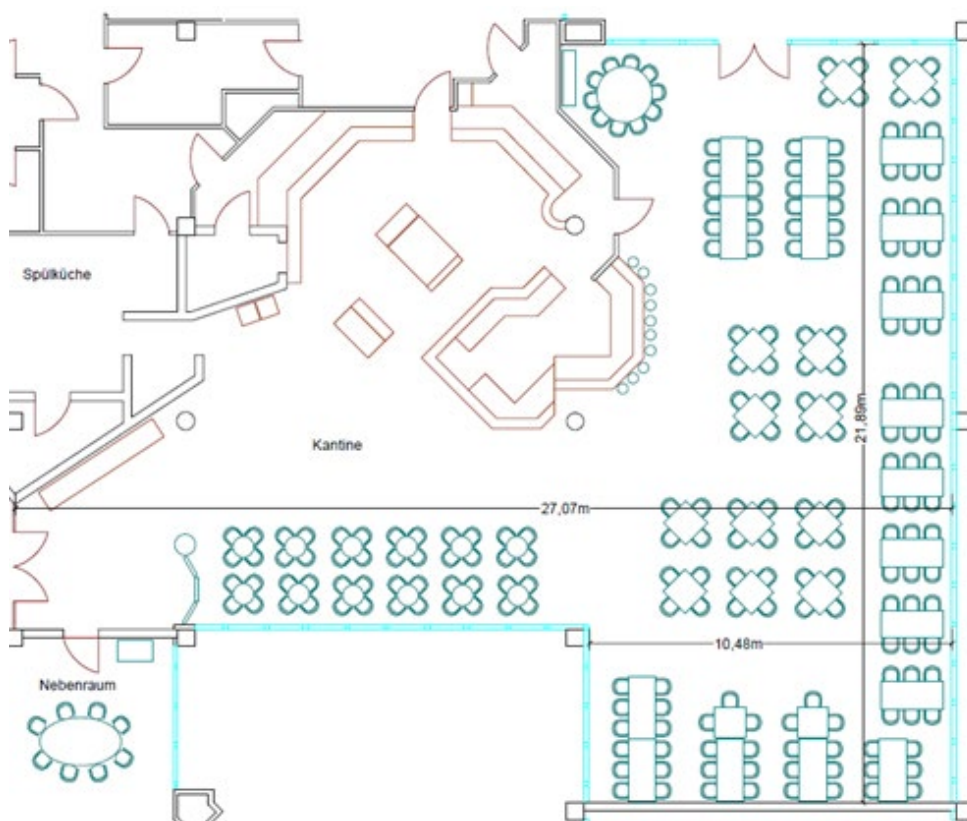


Abbildung 6: Grundriss der Kantine der BGN 2009

Der Grundriss der Kantine zeigt den Eingang der Kantine links. Neben der Essensausgabe befindet sich die Kaffecke (auf dem Plan unterhalb). Der Bereich zum Essen ist im hinteren Teil zu finden. Hier sind die meisten Sitzplätze. An kleinen bis großen Tischkombinationen können vier bis 12 Personen Platz nehmen. In der Ecke befindet sich der runde Tisch. Dieser ist durch seine Lage abseits einer der ruhigsten Plätze der Kantine. Vor der Sanierung der Kantine beschwerten sich die Gäste und das Personal über eine zu hohe Lautstärke in der Kantine.



Abbildung 8: Runder Tisch BGN Kantine 2009



Abbildung 7: Kaffeebereich in der BGN-Kantine 2009

Um eine objektive Einschätzung der Raumakustik in der Kantine zu erhalten, wird eine Nachhallzeitmessung durchgeführt. Im gesamten Bereich der Kantine sieht man, dass die Nachhallzeit zu hoch ist (vergl. Abbildung 9). Besonders zu den tiefen Frequenzen steigt der Pegel stark an, aber auch im mittleren Bereich liegt der Pegel mit 1,6 s über der von der damalig geltenden DIN 18041 aus dem Jahr 2004 [20] geforderten Nachhallzeit für Sprache T_{soll} von 1,2 s.

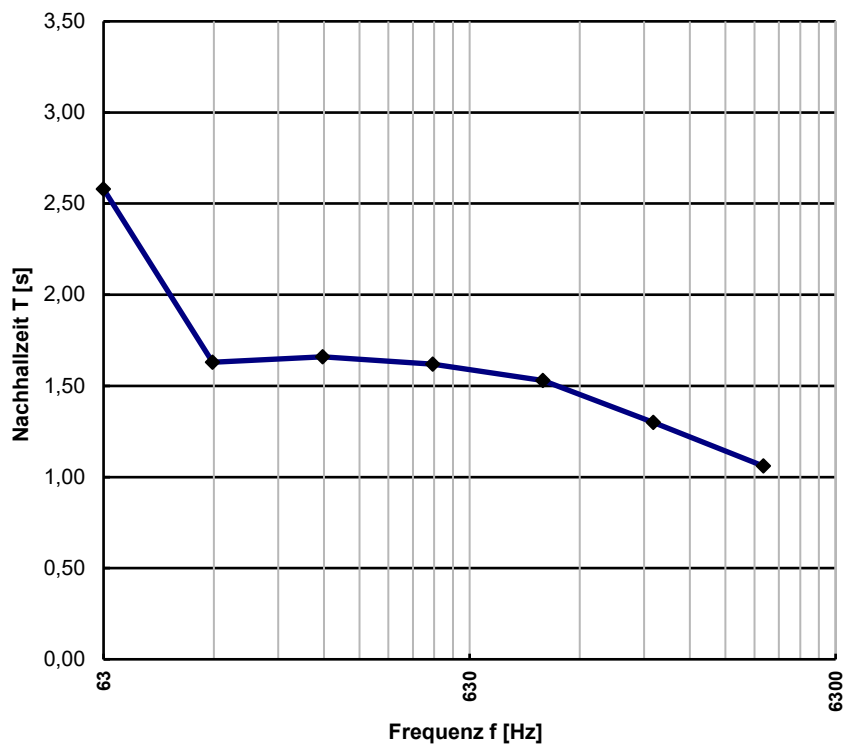


Abbildung 9: Nachhallzeit in s gegen Frequenz in Hz in der Kantine der BGN 2009

Tabelle 1: Nachhallzeit in der BGN-Kantine 2009 für die einzelnen Oktaven

f in Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000
T₆₀ vorher in s	2,58	1,63	1,66	1,62	1,53	1,30	1,06

Mittlere Nachhallzeit vorher: 1,6 s

4.3. Erste Stufe der Sanierung: Nischenbildung mit Schallabsorbern

Es wird ein Stufenplan entwickelt, in dem in einem ersten Schritt die Decke in ihrem ursprünglichen Zustand erhalten bleibt, so können Licht und Lüftung weiter genutzt werden. Um dennoch die Raumakustik zu verbessern, werden Nischen aus einer Kombination von Absorbern und Glas eingefügt. Auch Wände im Gastraum werden mit Absorbern belegt. Es entsteht ein „neuer“ Gastraum mit mehr Privatsphäre, sowohl optisch als auch akustisch (Abbildung 10).



Abbildung 10: Kantine der BGN mit Nischen durch Schallabsorber sowie Schallabsorber an der Rückwand des Raumes

Im vorderen Bereich der Kantine wurde durch die Schallabsorber als Stellwände eine Nische für den Bereich der Kaffeecke geschaffen (Abbildung 13). An den Wänden im hinteren Bereich sind die Wände mit Schallabsorbern belegt (Abbildung 14). An der langen Fensterseite wurden drei mal zwei beidseitig absorbierende Absorber als Schwerter im Raum installiert. Diese sind mit einer Glasscheibe zwischen den absorbierenden Elementen versehen, um den Durchblick zur anderen Seite zu ermöglichen (Abbildung 12). An der kurzen Fensterseite im hinteren Bereich wurde eine weitere Nische durch zwei beidseitig absorbierende Absorber geschaffen (Abbildung 11 Hintergrund).



Abbildung 14: Blick auf den Kaffeebereich. Dieser wird vorne und hinten mit Schallabsorbern abgeschirmt



Abbildung 13: Runder Tisch mit Schallabsorbern an der Wand



Abbildung 12: Schallabsorber als Schwerter im Raum mit Glasscheibe im Zwischenraum



Abbildung 11: In der hinteren Fensterecke trennen Schallabsorber einige Sitzplätze akustisch von den übrigen Sitzplätzen

Mit Hilfe dieser schallabsorbierenden Elemente konnte die mittlere Nachhallzeit von 1,6 s auf 1,0 s deutlich gesenkt werden. Sie liegt nun unterhalb der Planungsempfehlung der damalig geltenden DIN 18041 aus dem Jahr 2004 [20] geforderten Nachhallzeit für Sprache von 1,2 s.

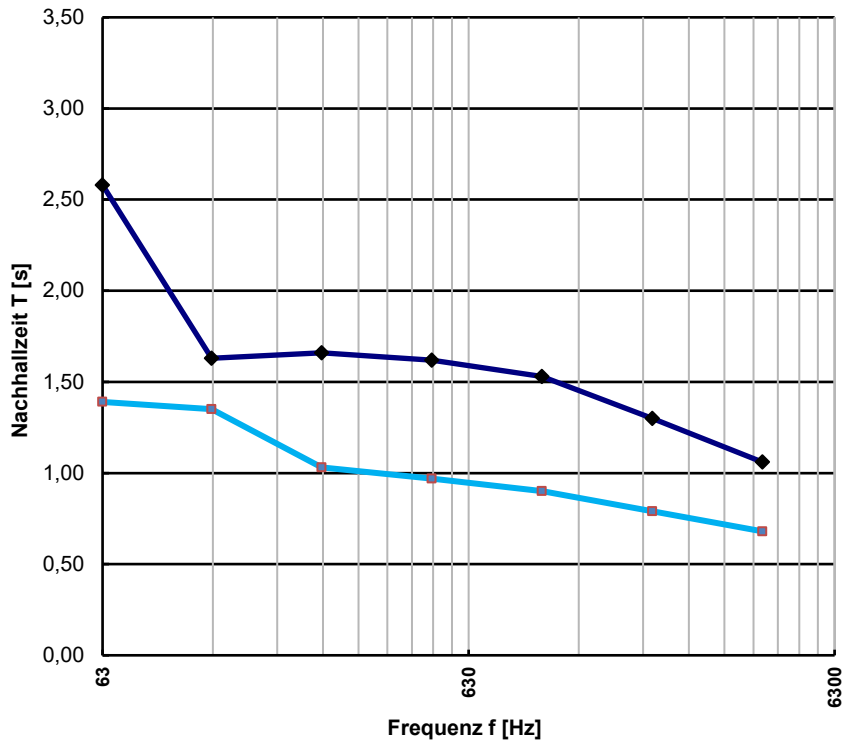


Abbildung 15: Vergleich der Nachhallzeiten in der gesamten Kantine vor (dunkelblau) und nach (hellblau) dem Einbau von Schallabsorbieren

Tabelle 2: Vergleich der Nachhallzeiten der Kantine in den einzelnen Frequenzen vorher (dunkelblau) und nachher (hellblau)

f Hz in s		63	125	250	500	1000	2000	4000
T₆₀ vorher in s		2,58	1,63	1,66	1,62	1,53	1,30	1,06
T₆₀ nachher in s		1,39	1,35	1,03	0,97	0,90	0,79	0,68

Mittlere Nachhallzeit vorher: 1,6 s

Mittlere Nachhallzeit nachher: 1,0 s

Die objektiven Messwerte der Kantine liegen nun unterhalb der Planungsempfehlung, allerdings ist die Akustik in der Kantine noch nicht überall zufriedenstellend. Es gibt Plätze, an denen die Akustik sehr gut ist, wie z.B. am runden Tisch in Abbildung 14 der in der Nähe der Wandabsorber platziert ist oder auch innerhalb der Nischen (siehe Nischen im Hintergrund in Abbildung 11). An anderen Plätzen, wie an den langen Tischen in der Raummitte (siehe Abbildung 10 im Vordergrund) reichen die absorbierenden Elemente am Rand noch nicht für eine angenehme Lautstärke, um bei gut besuchter Kantine, unangestrengt Gespräche am eigenen Tisch zu führen.

4.4. Zustand nach zweiter Stufe der Sanierung

In einem weiteren Schritt wurde beschlossen, bei der grundlegenden Sanierung der Kantine auch die Akustik neu zu gestalten. Hierbei wurde zusätzlich zu den bereits bestehenden Schallabsorbern an der hinteren Wand eine Akustikdecke installiert. Auf die Nischenbildung hingegen wurde verzichtet. Bei einer grundlegenden Sanierung oder einem Neubau ist eine Installation einer Akustikdecke kein Kostenfaktor. Eine Akustikdecke in einen bestehenden Raum einzubringen kann allerdings deutlich teurer werden, da unter Umständen z.B. Lüftung- und Lichtinstallationen neugestaltet werden müssen. So war die Option einer vollflächigen Akustikdecke bei den früheren Sanierungen zu teuer und wurde deshalb damals nicht umgesetzt.

Im aktuellen Zustand nach erfolgreicher Sanierung ist die Kantine der BGN seit 2014. Im Zuge der Sanierung wurden diverse schallabsorbierende Maßnahmen eingebracht. So besteht etwa die Decke zum größten Teil aus absorbierenden Deckenflächen mit integriertem Licht und integrierter Lüftung. An den Wänden ist eine Kombination von porösen Absorbieren und Plattenresonatoren aufgehängt und als Raumteiler sind weitere poröse Absorber aufgestellt.



Abbildung 16: Grundriss der BGN-Kantine im IST-Zustand

Durch die Konstruktionsweise der Kantine mit den großen Fensterfronten wirkt der Raum groß und offen. Bei der Sanierung der Kantine wurde nicht nur auf die optischen Aspekte Wert gelegt, sondern auch darauf, im gesamten Bereich eine ruhige, angenehme Atmosphäre zu erzeugen. So kann sich das Personal der Kantine während der Arbeit konzentrieren, und die Gäste können sich in ihrer Pause entspannen.



Abbildung 17: Kantine der BGN-Hauptverwaltung mit abgehängter Akustikdecke und schallabsorbierenden Elementen an der hinteren Wand im IST-Zustand

4.5. Raumakustische Beurteilung der BGN-Kantine

In der Raumakustik gibt es unterschiedliche Möglichkeiten einen Raum zu messen und zu bewerten. Im Beispiel der sanierten BGN-Kantine sollen die wichtigsten Möglichkeiten verglichen werden. Hierzu sollen die in Abschnitt 3.1 aufgeführten Regelwerke, Nachhallzeitmessung nach DIN EN ISO 3382-2 [17], Ermittlung der Schallausbreitungskurve (SAK) nach VDI 3760 [18], Berechnung des Schallabsorptionsgrades nach ASR A3.7 [14], Ermittlung des A/V Verhältnisses nach DIN 18041 Gruppe B [6] genauer untersucht werden.

1. Nachhallzeitmessung nach DIN EN ISO 3382-2:

Um die raumakustische Situation der Kantine zu beurteilen, wurde eine Ist-Zustand-Messung durchgeführt. Die Messwerte wurden mit dem geeichten Messgerät B&K 2270 (Gerätenummer 2808488) aufgenommen. Als Schallquelle wurde die GlobeSource mit rosa Rauschen verwendet. Um alle vorhandenen Raumeigenschaften zu erfassen, wurden insgesamt 4 Quellpositionen und 12 Mikrofonpositionen gemessen. Die Mittelung der Werte ergibt die Nachhallzeit des Raumes (siehe Abbildung 18 blaue Kurve). Aus der DIN 18041 wurde der Grenzwert des Verhältnisses der Absorption im Raum zum Raumvolumen mit Hilfe der Sabine'schen Formel auf die Nachhallzeit umgerechnet (rot). Allerdings wird dieser Grenzwert nur für die Frequenzen 250 Hz bis 2000 Hz angegeben.

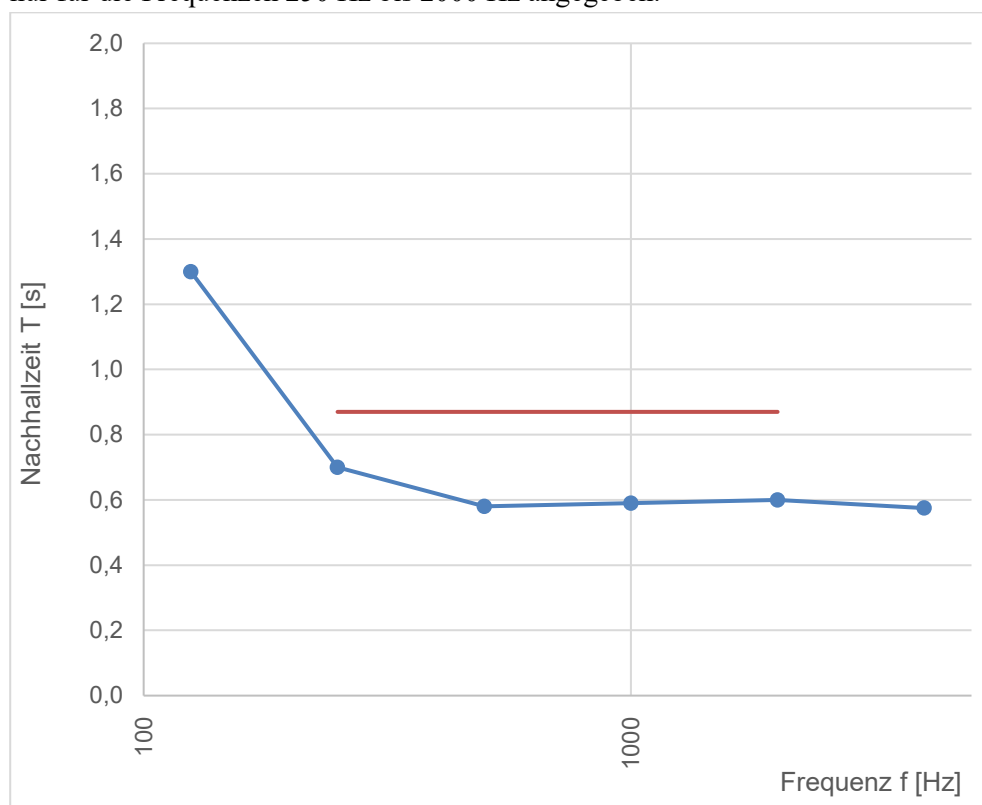


Abbildung 18: Nachhallzeit der BGN-Kantine ermittelt nach DIN EN ISO 3382-2 (blau), Grenzwert berechnet aus dem A/V-Verhältnis für Räume der Gruppe B3 der DIN 18041 für die Frequenzen zwischen 250 Hz und 2000 Hz (rot)

In der Abbildung ist zu erkennen, dass der berechnete Grenzwert eingehalten ist. Dieser ist aber durch die Zugehörigkeit zur Gruppe B3 der DIN 18041 nur für die Frequenzen zwischen 250 Hz und 2000 Hz definiert. Deutlich erkennbar ist in Tabelle 3 der Anstieg der Nachhallzeit

zu den tiefen Frequenzen. Da in den tiefen Frequenzen viel Energie der menschlichen Stimme liegt wäre hier eine höhere Absorption wünschenswert [11], [10]. Dies kann beispielsweise durch das Aufdoppeln von porösem Absorptionsmaterial (z.B. Mineralwolle) auf die vorhandene Akustikdecke in den Kanten des Raumes erreicht werden, ähnlich einem Kantenabsorber jedoch nicht sichtbar oberhalb der Akustikdecke.

Tabelle 3: Die Tabelle zeigt die Werte der Nachhallzeitmessung in der BGN-Kantine in den einzelnen Oktaven

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T ₆₀ [s]	1,30	0,70	0,58	0,59	0,60	0,58

Bei einem Raumvolumen von ca. 1385 m³ liegt die mittlere Nachhallzeit zwischen 125 und 4000 Hz im leeren, unbesetzten Zustand bei 0,7 s. Der berechnete Grenzwert der Nachhallzeit aus der DIN 18041 für Räume zum längerfristigen Verweilen wie Speiseräume und Kantinen (Kategorie B3) liegt bei 0,9 s.

2. Messung und Beurteilung nach VDI 3760

Da es sich bei der Kantine um einen flachen, langen Raum handelt, wurden mit dem gleichen Messequipment zusätzlich die Schallausbreitungskurven (SAK) nach VDI 3760 [18] ermittelt. Die Schallausbreitungskurve zeigt die Pegelabnahme mit zunehmender Distanz zur Quelle. Liegt die Schallausbreitungskurve möglichst nah an der Kurve der Schallausbreitung im Freien, dann ist dies ein Zeichen dafür, dass möglichst viel Schall absorbiert wird, bzw. wenig Reflexionen entstehen. Je höher die Frequenz, desto näher verläuft die SAK im Beispiel der BGN-Kantine an der freien Schallausbreitung (siehe Abbildung 20). Das heißt in den tiefen Frequenzen nimmt der Schalldruckpegel mit der Distanz zur Quelle nicht so stark ab wie in den hohen Frequenzen. Betrachtet man das Spektrum der menschlichen Stimme, so sind die Schalldruckpegel in den tieferen Frequenzen besonders hoch. In diesen Frequenzen liegen die Grundtöne der menschlichen Stimme (vergleiche Abbildung 3). Besonders in diesem Frequenzbereich ist ein hoher Absorptionsgrad für die Sprachverständlichkeit wünschenswert. Die Schallausbreitungskurven der Kantine verlaufen in den tiefen Frequenzen nicht so dicht an der Kurve der freien Schallausbreitung. In diesen Frequenzen könnte noch mehr Absorption eingebracht werden, um die Sprachverständlichkeit zu verbessern.

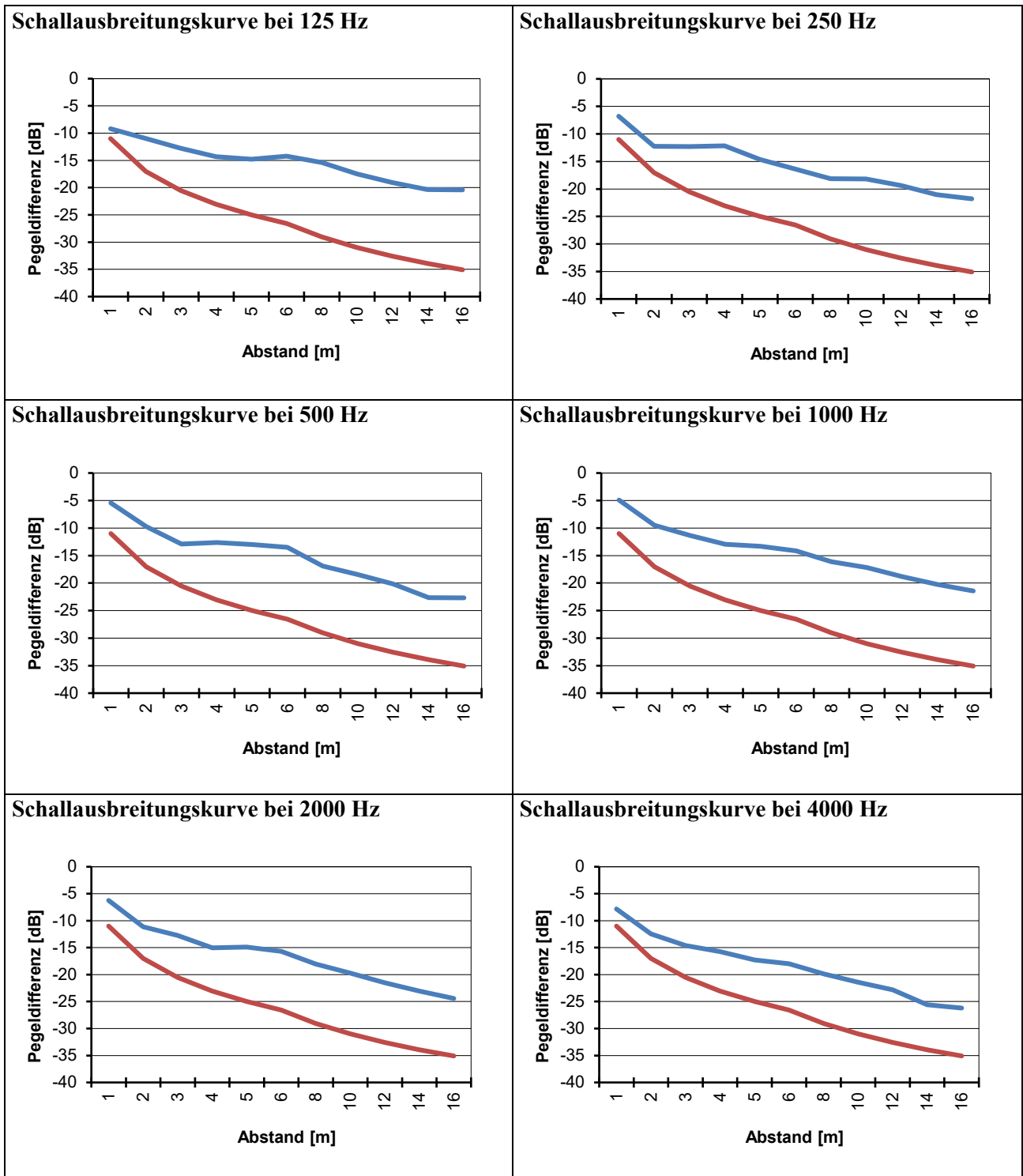


Abbildung 19: Schallausbreitungskurven in der Kantine zwischen 125 und 4000 Hz (blau) im Vergleich zur freien Schallausbreitung (rot).

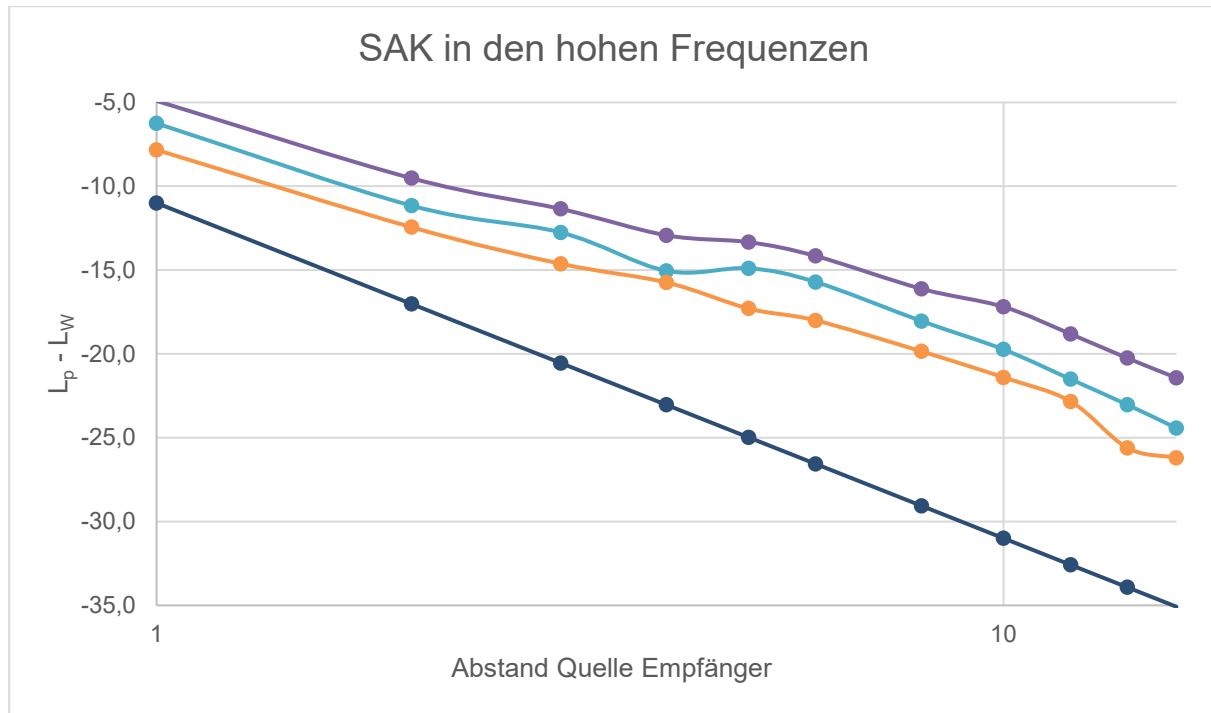


Abbildung 20: Je höher die Frequenz (1000 Hz lila, 2000 Hz blau, 4000 Hz orange) desto näher verläuft die SAK an der freien Schallausbreitung (dunkelblau). Die Schallabsorption wird also mit zunehmender Frequenz besser.

BGN-Kantine							
Schallausbreitungskurve (SAK) gemäß VDI 3760							
r m	D in dB / f in Hz						D _B in dB
	125	250	500	1000	2000	4000	
1	-9,2	-6,8	-5,4	-4,9	-6,2	-7,8	-11,0
2	-11,0	-12,3	-9,7	-9,5	-11,2	-12,4	-17,0
3	-12,8	-12,3	-12,9	-11,4	-12,8	-14,6	-20,5
4	-14,3	-12,2	-12,6	-12,9	-15,0	-15,7	-23,0
5	-14,8	-14,7	-13,0	-13,3	-14,9	-17,3	-25,0
5	-14,8	-14,7	-13,0	-13,3	-14,9	-17,3	-25,0
6	-14,2	-16,4	-13,5	-14,2	-15,7	-18,0	-26,6
8	-15,4	-18,1	-16,9	-16,1	-18,0	-19,9	-29,1
10	-17,5	-18,2	-18,5	-17,2	-19,7	-21,4	-31,0
12	-19,1	-19,4	-20,2	-18,8	-21,5	-22,8	-32,6
14	-20,3	-21,0	-22,6	-20,3	-23,0	-25,6	-33,9
16	-20,4	-21,8	-22,7	-21,4	-24,4	-26,2	-35,1

Es bedeuten:

r = Abstand Schallquelle - Messposition

D = Pegeldifferenz Schallleistung Quelle abzüglich Schalldruckpegel in Entfernung r (Lp-LW)

f = Oktavmittenfrequenz

D_B = Pegeldifferenz bei freier Schallausbreitung

Tabelle 4: Pegelüberhöhung $DL_f(r,f)$ und die Pegelabnahme $DL_2(r,f)$ für die Kantine der BGN

r in m	DL _f in dB						DL ₂ in dB					
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
1	6,2	6,8	7,8	8,3	6,7	5,2	2,5	2,9	3,4	3,7	3,9	4,0
2												
3												
4												
5												
5	13,1	11,8	12,3	13,1	10,9	9,0	5,3	5,6	5,7	5,3	6,0	6,6
6												
8												
10												
12												
14												
16												

Zur Beurteilung eines Arbeitsraumes werden aus der SAK die Pegelüberhöhung $DL_f(r,f)$ und die Pegelabnahme $DL_2(r,f)$ nach VDI 3760 [18] berechnet. Die akustische Qualität eines Raumes ist umso besser je größer $DL_f(r,f)$ und je kleiner $DL_2(r,f)$ ist.

Im Mittelbereich von 5 m bis 16 m sollte nach VDI 3760 gelten:

$$DL_2(r,f) \geq 4 \text{ dB}$$

$$DL_f(r,f) \leq 8 \text{ dB}$$

Der gemittelte Wert der Pegelabnahme DL_2 im Mittelbereich liegt bei 5,7 dB und ist somit größer als 4 dB.

Der gemittelte Wert der Pegelüberhöhung DL_f ist im Mittelbereich 11,7 dB und somit nicht wie gefordert ≤ 8 dB. Das bedeutet, dass im Mittelbereich (5 m bis 16 m) der Einfluss des Raumes und seiner reflektierenden Elemente noch recht groß ist.

3. Berechnung nach ASR A3.7

In der ASR A3.7 wird ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung raumakustischer Kenndaten angewendet. Nach ASR A3.7 soll für alle Arbeitsräume (außer Schulen und Büros), in denen Sprachkommunikation erforderlich ist, der Raum so gestaltet sein, dass ein mittlerer Schallabsorptionsgrad von mindestens $\bar{\alpha} = 0,3$ im Raum mit Einrichtung erreicht wird. Bei der Berechnung werden die gemittelten Schallabsorptionsgrade α in den Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen von 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz und 2000 Hz aller Oberflächenmaterialien im Raum und der Einrichtungsgegenstände mit einbezogen.

Es gilt für den mittleren Schallabsorptionsgrad $\bar{\alpha}$ mit den einzelnen Flächen S_i und jeweiligem Absorptionsgrad α_i :

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{S} \sum \alpha_i \cdot S_i$$

Die Oberflächenmaterialien für die Kantine der BGN-Hauptverwaltung und die zugehörigen gemittelten Absorptionsgrade aus der ASR A3.7 und der jeweiligen Flächen S sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Oberflächenmaterialien der BGN-Kantine, gemittelter zugehöriger Absorptionsgrad Alpha und die zugehörige Fläche

Material	Alpha	Fläche
Glattputz	0,03	112,28
Marmor	0,02	34,69
Boden	0,05	461,00
Fenster	0,10	158,31
Stühle Kunstleder	0,12	37,95
Tische	0,06	46,88
Absorber	1,21*	60,20
Decke	0,90	461,00

*Theoretisch sind Werte über 1 nicht möglich. Hier wurden die normgemäß messtechnisch ermittelten Werte des Herstellers verwendet.

$$\bar{\alpha} = 0,39 \geq 0,3$$

Mit den Werten aus Tabelle 5 und der obigen Formel ergibt sich der gemittelte Schallabsorptionsgrad für die Kantine von 0,39. Dieser liegt über den von der ASR A3.7 geforderten 0,3. Die Anforderungen sind somit erfüllt.

4. Berechnung nach DIN 18041 für Räume der Gruppe B

In der DIN 18041 sind Empfehlungen für eine detaillierte raumakustische Planung angegeben. Die DIN 18041 unterscheidet hierbei zwischen zwei Raumgruppen: Räumen der Gruppe A, das sind Räume mit Sprachkommunikation, wie z.B. Klassenräume, und Räumen der Gruppe B, das sind Räume zum Verweilen, wie Kantinen. Für Räume der Gruppe B ist das Verhältnis von der äquivalenten Absorptionsfläche aller Einbauten und dem Raumvolumen, das A/V-Verhältnis, entscheidend. Es gibt an, ob der Raum genügend gedämmt ist. Das A/V-Verhältnis wird jeweils in den einzelnen Oktaven von 250 Hz bis 2000 Hz berechnet. Die Räume der Gruppe B werden je nach Nutzungsart in Untergruppen unterteilt. Für Räume der Gruppe B3, Räume zum längerfristigen Verweilen, gelten folgende A/V-Verhältnisse.

Für eine lichte Raumhöhe h (gemessen von Boden bis Decke) von bis zu 2,5 m, muss:

$$\frac{A}{V} \geq 0,2 \frac{m^2}{m^3}$$

gelten.

Ist die lichte Raumhöhe h größer als 2,5 m, muss

$$\frac{A}{V} \geq \frac{1}{3,13 + 4,69 \log(h/1m)} \frac{m^2}{m^3}$$

erfüllt sein.

Wobei $A = \alpha * S$.

Mithilfe der Absorptionswerte aus der DIN 18041 und den Flächenangaben der einzelnen Elemente des Raumes können die A/V-Verhältnisse in den einzelnen Oktaven berechnet werden.

Die für die BGN-Kantine berechneten A/V-Verhältnisse liegen alle im Bereich $0,37 - 0,42 \frac{m^2}{m^3}$ (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Berechnete A/V-Verhältnisse der einzelnen Oktaven für die BGN-Kantine

Frequenz in Hz	250	500	1000	2000
A/V Verhältnis in $\frac{m^2}{m^3}$	0,37	0,39	0,39	0,42

Für die lichte Raumhöhe von 3 m muss nun gelten:

$$\frac{A}{V} \geq \frac{1}{3,13 + 4,69 \log\left(\frac{3}{1}\right)} \frac{m^2}{m^3} = 0,19 \frac{m^2}{m^3}$$

Das A/V-Verhältnis der BGN-Kantine ist in den Oktaven von 250 Hz bis 2000 Hz besser als die Orientierungswerte der DIN 18041.

4.6. Computerbasierte Simulationen der BGN-Kantine

Alternativ zu Messungen ist die Ermittlung der raumakustischen Parameter über computerbasierte Simulationen möglich. Dies wird mit der Software IMMI von Wölfel für die BGN-Kantine durchgeführt und anschließend mit den Ergebnissen der Messung (siehe voriges Kapitel) verglichen.

Die Software IMMI bietet neben den bekannten Möglichkeiten der Strahlverfolgung auch ein Tool zur Simulation der Raumakustik in Innenräumen.

Zur Simulation wird ein dreidimensionales, virtuelles Modell der Kantine im Zustand nach der zweiten Sanierung mit der Software IMMI erstellt. Dieses Modell beinhaltet sowohl die schallabsorbierende Decke als auch die Schallabsorber im Raum und an der hinteren Wand.

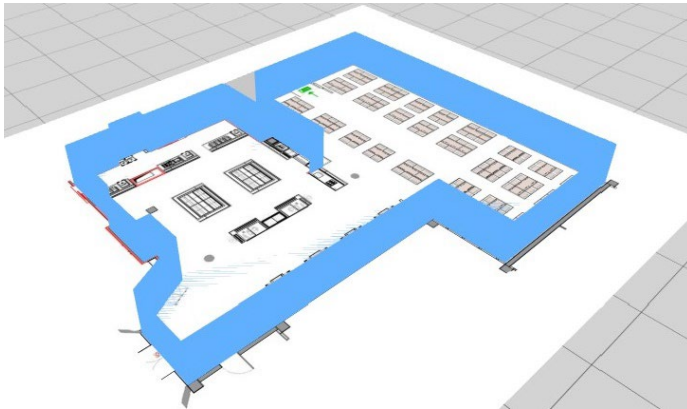


Abbildung 21: Modell der BGN-Kantine

Nach Definition des Raumes inklusive aller Maße, Oberflächen, Fenster, Türen etc. (siehe Abbildung 21) kann nun die Auswertung der Raumakustik erfolgen.

Die Software ermittelt aus den eingegebenen akustischen Kenndaten und den Aufmaßen des Raumes eine frequenzabhängige Nachhallzeit für das Modell der BGN-Kantine.

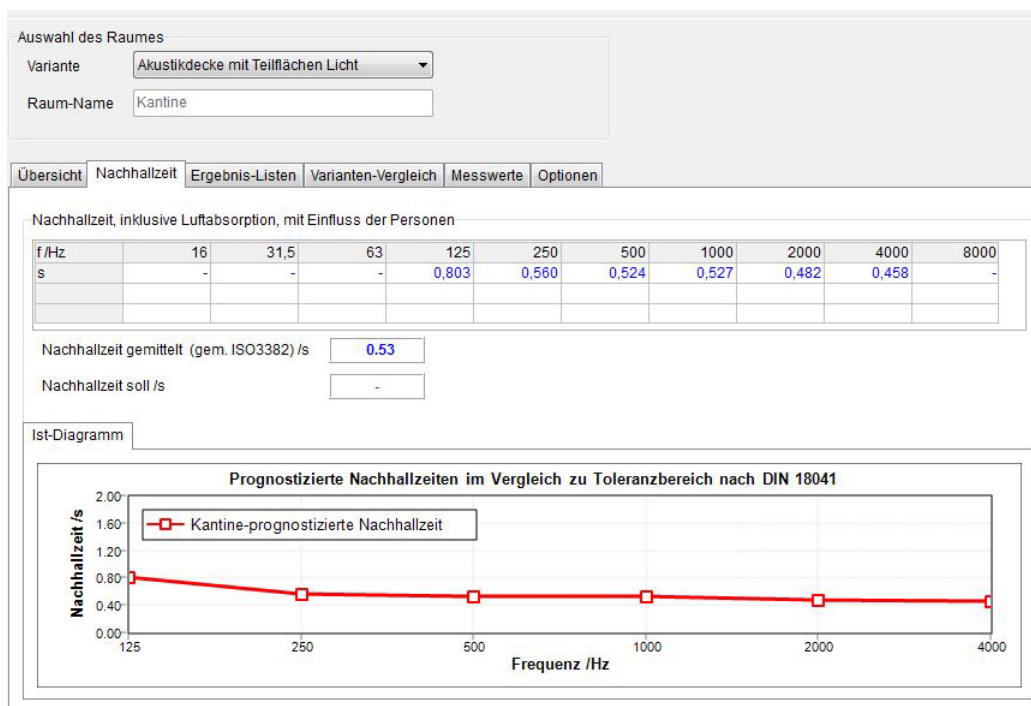


Abbildung 22: Ergebnisprotokoll der Kantinen-Berechnung mit Immi

In Abbildung 22 sind die raumakustischen Ergebnisse der Simulationssoftware IMMI zu sehen.

Der Mittelwert der gemessene Nachhallzeit liegt mit 0,7 s oberhalb der simulierten Nachhallzeit. Diese wird im leeren, unbesetzten Zustand mit einem Mittelwert von 0,53 s angegeben. Der Verlauf der Nachhallzeitkurve ist dem der gemessenen Kurve sehr ähnlich. Beide steigen zu den tiefen Frequenzen deutlich an.

Tabelle 7: Vergleich gemessene und simulierte Nachhallzeit in der BGN-Kantine

f in Hz	125	250	500	1000	2000	4000
T ₆₀ gemessen in s	1,30	0,70	0,58	0,59	0,60	0,58
T ₆₀ simuliert in s	0,8	0,56	0,52	0,53	0,48	0,46

Vergleicht man die Werte der einzelnen Oktaven (siehe **Tabelle 7**) so wird deutlich, dass die Simulation mit den Eingangsparametern noch deutlich abweicht. Die gemessenen Nachhallzeitwerte liegen in der Simulation unterhalb der gemessenen Nachhallzeitwerte, das heißt die Absorption in dem Raum wird rechnerisch überschätzt.

4.7. Zusammenfassung der Ergebnisse

Am Beispiel der sanierten BGN-Kantine konnte eine Überprüfung der Raumakustik durchgeführt werden. Anhand dieser wurde untersucht, wie einfach eine solche Beurteilung durchführbar ist.

Es wurden folgende Beurteilungen durchgeführt:

1. Nachhallzeitmessung nach DIN EN ISO 3382-2
2. Messung der Schallausbreitungskurve und Beurteilung nach VDI 3760
3. Berechnung nach ASR A3.7
4. Berechnung nach DIN 18041 für Räume der Gruppe B (z.B. Kantinen)

Es konnte gezeigt werden, dass fundierte Vorkenntnisse, das richtige -Messausrüstung sowie eine professionelle Durchführung nötig sind, um bei einer Messung nach Norm valide Messergebnisse zu erzielen. Allerdings wurde sowohl bei der Nachhallzeitmessung nach DIN EN ISO 3382-2 als auch bei der Messung der SAK nach VDI 3760 deutlich, dass in der Kantine die hohen Frequenzen besser absorbiert werden als die tiefen Frequenzen. Hier wäre es möglich, weitere Absorption in den Raum einzubringen, z.B. durch Kantenabsorber oder Aufdoppeln von absorbierendem Material (z.B. Mineralwolle) in den Kanten auf der Akustikdecke umlaufend als O-Form im Raum.

Hingegen kann eine Berechnung und Beurteilung nach ASR A3.7 beziehungsweise nach DIN 18041 (Gruppe B) auch ohne große Vorkenntnisse durchgeführt werden. Eine Messung ist hierfür nicht notwendig.

Die Ergebnisse unterscheiden sich in folgenden Punkten:

Tabelle 8: Vergleich der Bewertungen eines Raumes in Bezug auf die Raumakustik

	Messung	Berechnung	Frequenz-bezogen	Vorteile
Nachhallzeitmessung DIN EN ISO 3382-2	Ja	Nein	Ja	Sehr genaue Ergebnisse
Schallausbreitungskurve Messung und Beurteilung nach VDI 3760	Ja	Nein	Ja	Gut geeignet für große flache Räume
Berechnung nach ASR A3.7	Nein	Ja	Nein	Sehr einfache Berechnung
Berechnung nach DIN 18041 Gruppe B	Nein	Ja	Ja	Einfache Berechnung trotzdem frequenzbezogen Spezielle Kategorie für Kantinen und Gaststätten

Unter dem Gesichtspunkt einen Leitfaden für Betreibende als Hilfestellung zu entwickeln, wurde nach einer einfachen Beurteilung von Gasträumen gesucht. Soll auf eine professionelle Messung verzichtet werden, sind die Berechnung nach ASR A3.7 und die Berechnung nach DIN 18041 Gruppe B geeignet (vergl. Tabelle 8). Der Vorteil der Berechnung nach DIN 18041 Gruppe B im Vergleich zur ASR A3.7 liegt darin, dass die Norm speziell für Kantinen eine Berechnung vorgibt und die Bewertung

frequenzbezogen erfolgt. Somit ist es möglich, die schallabsorbierenden Materialien je nach Anspruch des Raumes frequenzbezogen auszuwählen. Sind die Anforderungen nach DIN 18041 Gruppe B eingehalten, so kann auf die Betrachtung der ASR A3.7 verzichtet werden (vergleiche [16]). Deshalb ist die DIN 18041 am besten für eine einfache Berechnung und Bewertung der raumakustischen Situation in Kantinen geeignet.

5. Absorber für Kantinen und Gaststätten

Schallabsorber werden in einen Raum eingebracht, um dort Schallausbreitung und Schallreflexionen zu reduzieren. Sie absorbieren Schall und wandeln die Schallenergie in Wärme um. Die Wirksamkeit der Absorber ist abhängig von der Frequenz des auftreffenden Schalls. Die Eignung eines Absorbers für einen bestimmten Zweck beziehungsweise für den Einsatz in einem bestimmten Raum hängt neben Parametern wie Bauweise, Aussehen oder anderen Anforderungen vom Absorptionsgrad in den jeweiligen Frequenzbereichen ab. Es gibt unterschiedliche Arten von Absorbern. Die meisten kann man, abhängig von ihrer Funktionsweise, in zwei große Gruppen einteilen: poröse Absorber und Resonanzabsorber.

5.1. Poröse Absorber

Poröse Absorber sind offenporig, so dass der Schall eindringen kann. Durch das Schwingen und damit Reiben der Luftmoleküle in dem Absorber wird die Schallenergie in Wärme umgewandelt. Bei porösen Absorbern ist es wichtig, die offenporige Struktur zu erhalten. Daher darf die Oberfläche eines porösen Absorbers nicht abgedeckt oder überstrichen werden.

Poröse Absorber absorbieren gut im hochfrequenten Bereich. Durch dickere Materialien oder mehr Abstand zur Wand oder Decke kann die Absorption bis zu tiefen Frequenzen ausgeweitet werden. Auf diese Weise verbessern die porösen Absorber dann die Sprachverständlichkeit. Im Folgenden werden einzelne Arten poröser Absorber mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen beispielhaft aufgelistet:

Faserplatten und Akustikschaumplatten

Zu Faserplatten und Akustikschaumplatten zählen poröse Platten aus Steinwolle, Holzwolle oder Glaswolle. Diese Absorber absorbieren Schall von tiefen bis zu hohen Frequenzen und werden häufig in Deckenkonstruktionen eingesetzt.



Abbildung 23: Kantine mit Faserplatten,
Quelle: Lamprecht

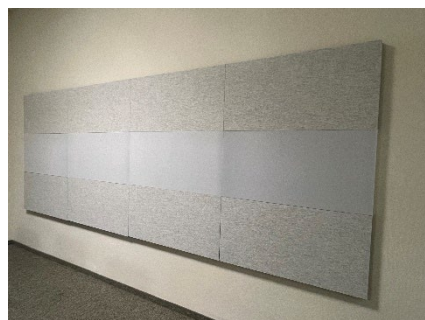


Abbildung 24: Akustikschaumplatten an der
Wand (Mitte); Akustikschaum-platten mit
textiler Beschichtung (unten und oben)
Quelle: Lamprecht

Vor allem dort kann mit Akustikplatten eine große absorbierende Fläche geschaffen werden. Die Platten können teilweise direkt an die Wand oder Decke geklebt werden. Durch eine Unterkonstruktion kann ein größerer Wandabstand (60 - 200 mm) realisiert werden. Dadurch kann die Absorption zusätzlich verbessert werden. Ebenfalls möglich ist ein Einsatz als freihängende oder stehende Elemente im Raum.

Kantenabsorber

Kantenabsorber werden in den Kanten eines Raumes sowohl waagrecht als auch senkrecht eingebracht. Sie sind freistehend oder als Eckelemente verfügbar. Kantenabsorber können auch fest im Raum installiert werden. Hierfür wird eine Verkleidung wie gelochter Gipskarton oder Holz mit Steinwolle oder Mineralwolle gefüllt. Durch die Anbringung in den Kanten können Kantenabsorber auch dann eingesetzt werden, wenn die Decke nicht großflächig belegt werden soll oder kann. Kantenabsorber wirken besonders gut in den tiefen Frequenzen, solange die Einbautiefe groß genug (mind. 40 cm) ist.



*Abbildung 25: Kantenabsorber in einem Berliner Klassenzimmer
Quelle: Lamprecht*

Akustikputz



Abbildung 26: Kantine mit Akustikputz an der Decke, Quelle Lamprecht

Akustikputze werden meist direkt auf die Wand oder Decke gespritzt. Sie absorbieren den Schall im höheren Frequenzbereich. Bei der Absorption ist die Dicke des Materials und die Porosität entscheidend. Akustikputze dürfen nur mit speziell dafür geeigneter Wandfarbe überstrichen werden.

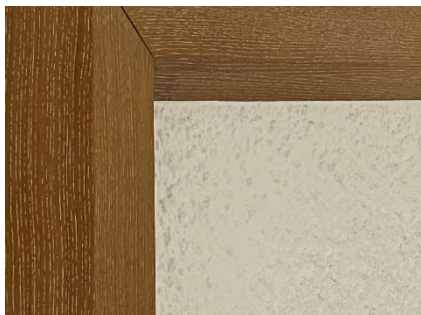


Abbildung 27: Akustikputz; Quelle Lamprecht

Textile Absorber

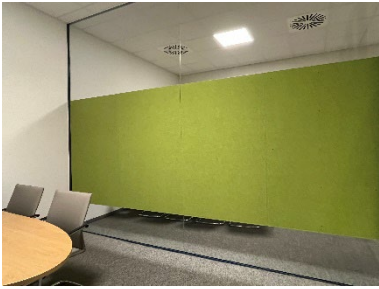


Abbildung 28: Textile Absorber aus Vlies; Quelle Lamprecht

Textile Absorber wie etwa Akustikvorhänge oder Teppiche absorbieren im mittel- bis hochfrequenten Bereich. Die Absorptionseigenschaften hängen von der Dicke, den jeweiligen Materialeigenschaften sowie von der Anbringung ab. Teppiche auf dem Boden wirken im hochfrequenten Bereich, werden aber in der Gastronomie wegen Verschmutzung wenig eingesetzt.

Da es eine große Auswahl an textilen Absorbern gibt, können sie leicht an individuelle Wünsche angepasst werden. Sie können sowohl als Trennwände genutzt, als auch an Decken oder Wänden

angebracht werden.

5.2. Resonanzabsorber

Als Resonanzabsorber bezeichnet man Plattenschwinger, Lochplattenschwinger sowie mikroperforierte Absorber. Bei einem Plattenschwinger wird eine feste Platte mit Abstand vor einer Wand oder Decke montiert. Trifft der Schall auf eine Platte wird diese dadurch in Schwingung versetzt. Durch das dahinter liegende Luftpolster wird die Schwingung der Platte gedämpft und der Schall absorbiert.

Gelochte und geschlitzte Absorber

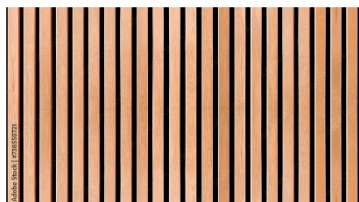


Abbildung 29: geschlitzter Absorber; Adobe Stock

Bei einem gelochten oder geschlitzten Absorber wird eine Platte mit möglichst regelmäßigen Öffnungen wie Kreisen oder Schlitzten verwendet. Diese Absorber können aus Gipskarton, Holz oder anderen Materialien gefertigt werden. Sie werden zur Decken- oder Wandgestaltung eingesetzt. Durch eine Füllung aus zusätzlichem porösem Material hinter den Platten kann die Absorption noch deutlich verbessert werden. Die Absorptionseigenschaften werden bestimmt durch den Abstand zur Wand, den Lochflächenanteil des

Absorbers sowie durch die Füllung.

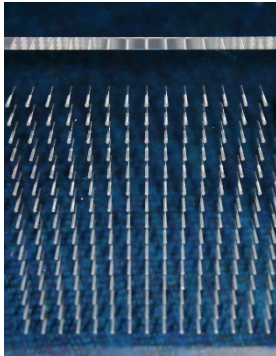


Abbildung 30:
Mikroperforierter Absorber
aus Makrolon;
Quelle Lamprecht

Mikroperforierte Absorber

Im Gegensatz zu gelochten Absorbern verfügen mikroperforierte Absorber über nur sehr feine Öffnungen. Diese Absorber werden vor einer schallharten Oberfläche angebracht. Der Schall versetzt die Luft in den Öffnungen und die Luft hinter der Platte in Schwingung. Bereits durch die Reibung der Luftmoleküle am Rand der Öffnungen wird Schallenergie absorbiert. Mikroperforierte Absorber können aus transparentem Material hergestellt werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, sie auch direkt vor Fenstern oder als lichtdurchlässige Raumteiler einzusetzen. Man kann mikroperforierte Absorber mehrlagig anbringen, wodurch die Absorption zusätzlich verbessert wird.

5.3. Mögliche Realisierungen der akustischen Maßnahmen

Sind die Schallquellen gefunden und alle Möglichkeiten zur Geräuschreduzierung an der Quelle ausgereizt, ist es wichtig, geeignete Flächen zu identifizieren, die zur Schallpegelreduktion im Raum genutzt werden können. Dies können die Decke, die Wände, die Fenster oder auch zusätzlich eingebrachte Flächen wie etwa Stellwände sein.

Im Folgenden werden die Anbringungsarten von unterschiedlichen Absorptionsmaterialien aufgezeigt. Auch eine ungefähre Kostenabschätzung ist jeweils angegeben (Stand Januar 2024), wobei die genauen Kosten von diversen Faktoren bestimmt werden (Abnahmemenge, Hersteller, Transportkosten, Anbringungskosten etc.).

- **Abschirmen von Schallquellen**
Schallquellen wie Kaffeemaschinen oder Besteckkörbe sollten, wenn möglich, räumlich von den Sitzplätzen getrennt werden. Für die räumliche Trennung eignen sich akustisch wirksame Stellwände. Das Klappern von Besteckkörben, Gläsern und Tassen lässt sich durch akustisch wirksame Unterlagen reduzieren.
- **Absorbierende Decke**
Besonders geeignet für die Anbringung eines großflächigen Absorbers ist, vor allem in größeren Räumen, die Decke. Eine Akustikdecke kann in unterschiedlichen Varianten realisiert werden. Möglich sind ein abgehängtes Akustiksegel, eine vollflächige schallabsorbierende Decke (besonders wirksam) oder Akustikputz. Durch die große Fläche ist es möglich, besonders viel Schall zu absorbieren. Einfache Akustikdecken starten bei ca. 25 €/m² plus Unterkonstruktion (10 - 12 €/m²). Je nach Ausführung kann der Preis deutlich variieren. Die Materialkosten für Akustikputze belaufen sich auf ca. 110 €/m²
- **Vollflächige schallabsorbierende Akustikdecke**
In Räumen, in denen sich viele Personen aufhalten, wird ein großer Anteil des Störgeräusches durch die Personen selbst erzeugt. Es ist wichtig, nicht zu wenig schallabsorbierendes Material einzubringen und dieses gut im Raum zu verteilen. Eine gute Pegelminderung an jedem Platz wird

z.B. durch eine vollflächige Akustikdecke erzielt. Die folgende Tabelle gibt Orientierungswerte dafür, wie viele Quadratmeter der Decken- oder Wandfläche in Abhängigkeit der Grundfläche des Raumes mit Schallabsorbern belegt werden müssen. Hierbei wird von einer Raumhöhe von 3 m ausgegangen. Da unterschiedliche Absorber verschiedene Absorptionsgrade haben, muss nochmals unterschieden werden.

Tabelle: Orientierungswerte für die mit Schallabsorbern zu bekleidende Decken- oder Wandfläche für verschiedene Raum-Grundflächen und unterschiedliche Absorber bei einer Raumhöhe von 3 m

Grundfläche des Raumes in m ²	Schallabsorptionsgrad des Absorbers a								
	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
100	57	60	63	67	71	76	81	88	95
200	114	120	127	134	143	152	163	175	190
300	171	180	190	201	214	228	244	263	285
400	228	240	253	268	285	304	326	351	380

- Trennwände**
 Die Einrichtung von Nischen im Restaurantbereich steigert nicht nur die Privatsphäre der Gäste und damit die Gemütlichkeit des Raumes, sondern bietet zudem ein gutes Mittel zur akustischen Trennung von Sitzplätzen. Für die Einrichtung von Nischen können akustische Trennwände genutzt werden. Diese bringen zusätzlich zu den Raumbegrenzungsflächen weitere akustisch wirksame Oberflächen in den Raum ein. Es gibt eine Vielzahl von akustischen Trennwänden. Akustisch wirksame Stellwände erhält man ab 85 €/m².
- Absorbierende Wandmodule**
 Besonders viel Gestaltungspotential bieten an die Wand montierte schallabsorbierende Bilder, Moosabsorber, Plattenresonatoren und weitere Wandmodule. Die Fläche von einzelnen schallabsorbierenden Elementen ist allerdings in der Regel zu klein, um als alleinige Maßnahme ausreichend Schall zu reduzieren. Absorbierende Wandmodule eignen sich vor allem als Ergänzung zu weiteren akustischen Maßnahmen. Die Preisspanne für diese schallabsorbierenden Module ist sehr groß. Für ein schallabsorbierendes Modul in der geringsten Dicke muss man mit Kosten ab ca. 80 €/m² rechnen, für Akustikbilder liegen die Kosten bei ca. 180 €/m².
- Kantenabsorber**
 In kleinen bis mittelgroßen Räumen sind Schallabsorber in den Kanten des Raumes eine gute Möglichkeit, die Pegel der tiefen und mittleren Frequenzen zu senken. Besonders wirksam sind Kantenabsorber, wenn alle drei Raumrichtungen belegt werden und sie mindestens eine Dicke von 0,4 m haben. Sie können auch in Kombination mit einer Sitzbank eingesetzt werden. Die Kosten hängen von der Einbautiefe und der Ausführung ab. Man muss mit einem Preis ab 120 € pro laufendem Meter inklusive Einbau rechnen.
- Vorhänge**
 Vorhänge absorbieren vor allem die höheren Frequenzen. Hierbei wirkt eine Faltung des Materials von mindestens 1:3 (vor einem Meter Wand werden drei Meter Vorhang gehängt) besonders effektiv.

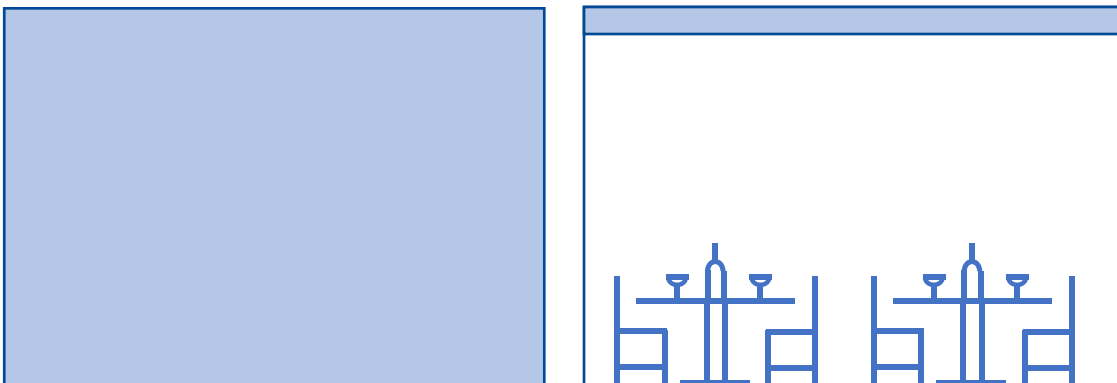
5.4. Anbringungsvarianten

Wenn mehrere Sprecher in einem Raum sprechen, so wie es für Kantinen und Gaststätten typisch ist, ist es wichtig den Schall möglichst überall im Raum zu absorbieren.

Im Folgenden werden unterschiedliche Anbringungsvarianten für eine günstige Akustik vorgestellt. Hierbei ist jeweils das erste Bild die Deckenansicht und das zweite Bild der Querschnitt im Raum.

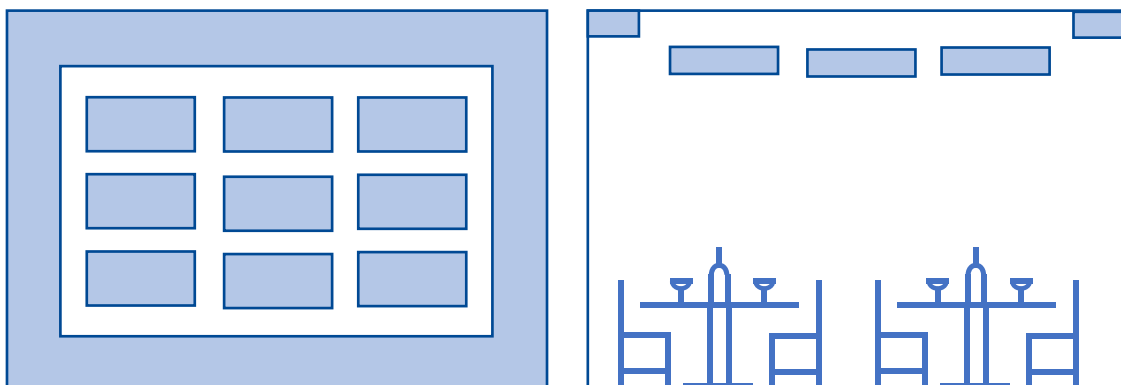
- **Variante 1: Vollflächige Akustikdecke**

Ein vollflächige Akustikdecke bietet den Vorteil, dass an jedem Platz im Raum der Schalldruckpegel gleichermaßen gesenkt und die Akustik verbessert wird.



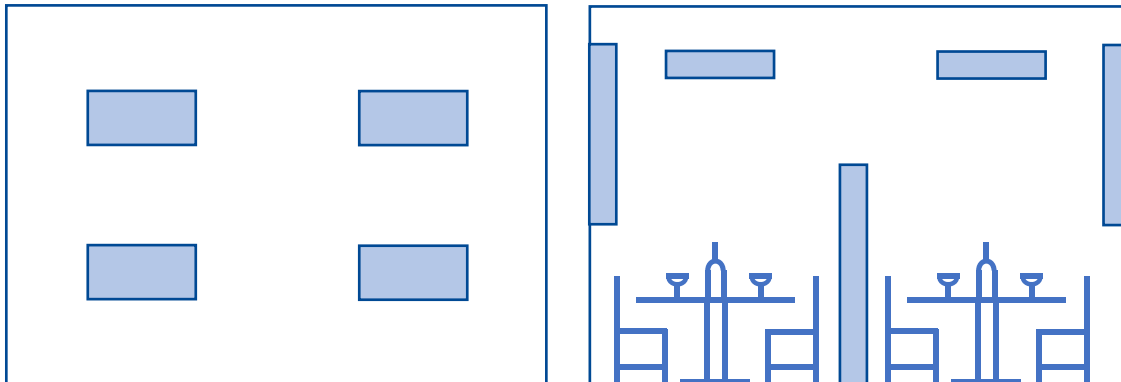
- **Variante 2: Akustikelemente und Kantenabsorber**

Die Anbringung von Kantenabsorbern in den Kanten des Raumes ermöglicht eine gute Reduktion der tiefen Frequenzen. Durch eine Anbringung von Akustikelementen an der Decke kann zudem an jedem Platz eine zusätzliche Verringerung des Schalldrucks erreicht werden.



- **Variante 3: Nischenbildung, Wandabsorber und Akustikelemente**

In dieser Variante wurden mittels geeigneter Trennwände Nischen für die einzelnen Tische gebildet. Durch die zusätzliche Installation von abgehängten Akustikelementen über den Tischen und der Anbringung von Wandabsorbern wird genügend schallabsorbierendes Material eingebracht.



6. Nachhallzeitmessung mit dem Smartphone

Smartphones bieten aufgrund ihrer Sensoren mittlerweile die Möglichkeit, die akustische Situation mit Hilfe von Apps in Räumen auf einfache Weise zu untersuchen und zu bewerten. Betreibende könnten so ohne professionelle Hilfe Maßnahmen zur akustischen Verbesserung ermitteln. Es wird untersucht, wie gut sich das Smartphone als leicht zugängliches Messinstrument eignet. Dabei steht die Frage im Vordergrund, ob es für ungeübte Personen möglich wäre, mit einem Smartphone valide Messungen durchzuführen.

6.1. Untersuchung der Güte von Smartphone-Apps für Nachhallzeitmessungen

Moderne Smartphones haben eine Vielzahl unterschiedlicher physikalischer Sensoren verbaut, und sowohl Software als auch Hardware wurden in den letzten Jahren stark weiterentwickelt. So kann ein Smartphone mit passenden Apps als Messgerät verwendet werden. Einige Apps versprechen zudem die Nachhallzeit zu messen. Somit bieten sie für akustische Laien – scheinbar - die Möglichkeit, ohne professionelles Messequipment die Nachhallzeit in Räumen zu bestimmen.

Um die Qualität der einzelnen Apps beurteilen zu können, wurde eine systematische Untersuchung der Genauigkeit und der Reproduzierbarkeit der Nachhallzeit mit unterschiedlichen Apps durchgeführt. Die mithilfe der jeweiligen Apps erzielten Ergebnisse wurden anschließend mit einer Nachhallzeitmessung nach DIN EN ISO 3382-2 [17] eines geeichten Messgeräts verglichen.

Die Smartphone Messungen wurden mit einem iPhone 7 im April 2019 durchgeführt. Hierbei wurden die Apps ClapIR (Version 1.3), IAudioTool (Version 5.6.16) und RevMeterPro (Version 3.9) untersucht. Weitere Messungen wurden mit einem iPhone 12 im Juli 2022 durchgeführt. Hierbei wurden die Apps MyRaumklang (Version 1.1) und Bosig (Version 3.0.3) verwendet. Allen Apps war gemeinsam: erhältlich im iOS-Store, Messung der Nachhallzeit möglich und eine Bewertung von mehr als drei (von fünf erreichbaren) Sternen.

Die aktuellen Versionen der Apps sind (Stand November 2024): ClapIR (Version 1.5), IAudioTool (Version 5.7.1), RevMeterPro (Version 4.1), MyRaumklang (Version 1.2) und Bosig (Version 3.0.3).

Weitere Informationen zu den Apps sind im Anhang zu finden.

6.2. Raumanregung

Nach DIN EN ISO 3382-2 „Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen“ [17] ist die Messung der Nachhallzeit sowohl nach dem Verfahren mit angeregtem Rauschen als auch mit Anregung des Raumes durch Impulsschall möglich. Alle untersuchten Apps arbeiten bei der Nachhallzeitmessung nach dem Prinzip des Impulsschalls. Dies ist ein Verfahren, welches mit einfachen Hilfsmitteln durchgeführt werden kann. Hierbei wird der Raum lediglich mit einem kurzen, impulsartigen Geräusch angeregt.

Zur Erzeugung des Impulsschalls wurde zum einen eine Starterklappe aus Holz und zum anderen ein zerplatzender Luftballon genutzt [21]. In einigen Apps wird vorgeschlagen, den Impulsschall durch Händeklatschen zu erzeugen. Der hierbei erzeugte Impuls ist jedoch nicht zwingend ausreichend, um einen Raum für eine Nachhallzeitmessung genügend anzuregen, je nach Art und Stärke des Händeklatschens. Eine Vergleichbarkeit der Raumanregung über mehrere Versuche hinweg kann also nicht gewährleistet werden.

6.3. Vergleichsmessungen unterschiedlicher Apps mit dem geeichten Messgerät

Die Vergleichsmessungen wurden nach DIN EN ISO 3382-2 „Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen“ [17] durchgeführt. Hierbei wurde das Standardverfahren genutzt. Die Raumanregung erfolgte ergänzend zu der Anregung durch Impulsschall auch durch rosa Rauschen (verwendete Schallquelle: Globe Sub siehe Abbildung 31).



Abbildung 31: Reflexionsarmer Halbraum der BGN mit Globe Sub zur Ermittlung der Nachhallzeit mit konstantem rosa Rauschen

Als geeichtes Messgerät zur Aufnahme der Abklingkurve wurde das Brüel & Kjaer 2270 (B&K 2270) genutzt.

6.4. Messergebnisse und Zusammenfassung

Die Eignung von Smartphones beziehungsweise der jeweiligen Apps zur Messung der Nachhallzeit wurden systematisch untersucht. Dazu wurden Nachhallzeitmessungen fünf gut bewerteter Apps auf Genauigkeit und Reproduzierbarkeit in unterschiedlichen Räumen hin überprüft. Die von den Apps bestimmte Nachhallzeit nach Anregung durch einen Impulsschall wurde jeweils mit einer geeichten Messung nach Standardverfahren verglichen (siehe Anhang 1A.6).

Die mit den Apps ermittelten Nachhallzeiten im reflexionsarmen Halbraum wichen zum Teil deutlich von den Ergebnissen der Vergleichsmessung mit dem geeichten Messgerät B&K 2270 ab. Einige Apps ermittelten zudem unphysikalische Werte wie negative Nachhallzeiten. Auch die Messungen mit Apps in Nutzräumen (Büros und Musikraum) zeigten deutliche Abweichungen von der Vergleichsmessung. Die Messungen der Apps ClapIR, myRaumklang, Bosig und IAudioTool zeigten keine ausreichende Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Nachhallzeit in allen Räumen, in denen sie getestet wurden. Die mit den Apps gemessenen Werte unterschieden sich signifikant von den Werten der Vergleichsmessung.

Die App RevMeterPro lieferte vielversprechende Nachhallzeitwerte im reflexionsarmen Halbraum. Da die App häufig während des laufenden Messbetriebs automatisch geschlossen wurde, war es sehr aufwändig, die Messungen zu erfassen. Die Untersuchung der App RevMeterPro wurde wegen des instabilen Betriebs nicht weiterverfolgt. In diesem Entwicklungsstand der Software ist es nicht zumutbar sie für Messungen zu verwenden.

Folglich ist es zu dem Zeitpunkt der Untersuchung nicht möglich, durch den alleinigen Einsatz dieser Apps und der Messung mit Hilfe eines Smartphones auf einem praktikablen Weg zu verlässlichen Werten der Nachhallzeit zu gelangen.

7. Leitfaden und Berechnungshilfe

Das Ziel, Betreibende von Gaststätten und Kantinen sowie Sicherheitsfachkräfte und Aufsichtspersonen in die Lage zu versetzen, raumakustische Probleme zu identifizieren und eine raumakustische Einschätzung eines bestehenden Gastraums oder einer Kantine durchzuführen, konnte durch eine Messung mit Smartphones und den damaligen Apps nicht ohne weiteres erreicht werden (siehe Untersuchungen in Kapitel 6). Die beste Möglichkeit besteht darin, die betreffenden Personen über raumakustische Grundlagen zu informieren und sie so in die Lage zu versetzen, eigenständige raumakustische Kenndaten im speziellen das A/V-Verhältnis (siehe Abschnitt 4.5) zu berechnen sowie geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik selbstständig zu initiieren. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde der Leitfaden „Raumakustik in Gaststätten und Kantinen“ erstellt (siehe Anhang).

Dieser Leitfaden enthält folgende Inhalte:

1. Schall in Kantinen und Gaststätten
2. Regelwerke für Raumakustik in Kantinen und Gasträumen
3. Typische Schallabsorber und Maßnahmen

In Kapitel 1 des Leitfadens „Raumakustik in Gaststätten und Kantinen“ wird auf die Geräusche in Kantine und Gaststätte sowie auf die Ausstattung der Räume eingegangen. In diesem Kapitel sollen Grundlagen zu Akustik, Reflexion und Absorption vermittelt werden.

Die Grundlagen und Begriffserklärungen zu Beginn des Leitfadens sind die Basis dafür, die später folgenden Erklärungen zu verstehen. In Kapitel 2 wird erklärt, wie eine einfache Berechnung zur Überprüfung der raumakustischen Güte eines Raumes durchgeführt werden kann. So wird vermittelt wie das A/V-Verhältnis berechnet wird und es sind Tabellen als Hilfestellung zur Berechnung abgebildet. Anhand von zwei exemplarischen Gasträumen, wird die Berechnung verdeutlicht und auch die Beurteilung und Kostenabschätzung von möglichen akustischen Maßnahmen dem Lesenden nähergebracht.

In Kapitel 3 wird ein Überblick über die typischen Schallabsorber für Kantinen und Gasträume gegeben. Des Weiteren werden die Anbringungsvarianten der Absorber und die ungefähren Kosten vorgestellt.

Der Lesende erhält durch den Leitfaden einen guten, leicht verständlichen Überblick über die akustischen Maßnahmen in Kantinen und Gaststätten. Der Leitfaden ist in der aktuellen Version (ohne fertiges Layout) im Anhang B zu finden.

8. Diskussion und Ausblick

Das Ziel des Projektes war es eine Hilfestellung und eine Informationsbündelung zur Raumakustik in kommunikationsintensiv genutzten Räumen zu erstellen. Räume, in denen die Sprachverständlichkeit eine große Rolle spielt, sind zum Teil gut untersucht, wie Klassenzimmer oder Büros.

Gaststätten und Kantinen wurden als Raumart identifiziert, deren akustische Situation durch kommunikationsbedingten Schall bestimmt wird und die bislang wenig beachtet wurden. So existieren für Betreiber dieser Räume kaum Informationsmaterialien über Raumakustik oder Handlungshilfen zur Verbesserung der Raumakustik.

In diesem Projekt wurden unterschiedliche Möglichkeiten untersucht, die akustische Situation von Kantinen und Gaststätten, auch für akustische Laien, zu erfassen und geeignete Hilfestellungen zur Verfügung zu stellen. Dies umfasste geplante, exemplarische Bewertungen von Kantinen, Untersuchungen von Apps zur Nachhallzeitmessung und Erarbeitung eines branchenspezifischen akustischen Leitfadens.

Aufgrund der im Frühjahr 2020 beginnenden Corona-Pandemie und der mit ihren einhergehenden Maßnahmen, wurde die BGN-Kantine in Mannheim als exemplarisches Beispiel gewählt. In der BGN-Kantine wurde gezeigt, wie die raumakustischen Kenndaten für Kantinen und Gaststätten ermittelt und bewertet werden können. Die Untersuchungen in der BGN-Kantine bildeten eine Grundlage für die Erstellung des Leitfadens.

Apps werden ständig verbessert und neue Apps kommen auf den Markt, Smartphones und deren Sensoren werden weiterentwickelt, so dass das vorgestellte Ergebnis nur eine Momentaufnahme wiedergeben kann und nicht die Smartphones prinzipiell als Messgerät ausschließt. Die Möglichkeit, die Nachhallzeit mit App und Smartphone zu bestimmen sollte auch in Zukunft im Blick behalten werden. Sollten die vorhandenen Raumakustik-Apps weiterentwickelt werden oder neue, vielversprechende Apps auf den Markt kommen, wäre eine erneute Beurteilung von den verfügbaren Raumakustik-Apps sinnvoll. Bereits jetzt nutzen Aufsichtspersonen für eine erste Einschätzung des Lärmpegels an Arbeitsplätzen die App DezibelX.

Um Betreibern von Kantinen und Gaststätten ohne spezifische Vorkenntnisse eine gute Möglichkeit an die Hand zu geben, selbst Probleme zu erkennen und geeignete Maßnahmen zu ergreifen, wurde ein Leitfaden zu Raumakustik in Kantinen erstellt.

Der Leitfaden erklärt die in Gaststätten relevanten Grundlagen der Raumakustik in einfachen Worten und angepasster Fachsprache. Er gibt so Betreibern, auch ohne Vorwissen im Bereich der Akustik, einen guten Einblick in die Problematik einer zu lauten Gaststätte. Der Leitfaden erläutert die Berechnung des A/V-Verhältnisses nach DIN 18041 [6]. Dies wurde zur objektiven Beurteilung von Räumen ausgewählt, das es im Gegensatz zur Beurteilung nach VDI 3760 [18] und DIN EN ISO 3382-2 [17] ohne Messung vorgenommen werden kann. Im Vergleich zur ASR A3.7 [14] existiert sogar eine spezielle Unterkategorie für „Räume zum längerfristigen Verweilen“ wie Kantinen und Speiseräume (Gruppe B3). Der Leitfaden versetzt die Lesenden somit in die Lage selbstständig eine Einschätzung der raumakustischen Situation vorzunehmen auch ohne weitere Vorkenntnisse. Die Betreibenden erhalten durch die Übersicht der Absorbentypen und Einbauvarianten wichtige Vorinformationen für akustische Sanierungen sowie für zielführende und erfolgreiche Gespräche mit Fachfirmen, Beurteilung/Einschätzung unterschiedlicher Lösungsvorschläge, Angebote etc.

Es wäre sinnvoll mit Betreibenden in einen Dialog zu kommen, um den Nutzen des Leitfadens zu evaluieren. Gegebenenfalls könnte im Einzelfall die akustische Sanierung von Gasträumen begleitet werden.

Anhang

A Verwendete Apps

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Apps vorgestellt.

A.1 ClapIR

ClapIR ist eine Nachhallzeit-App, bei der die ermittelten Daten direkt gemittelt werden. Das bedeutet, dass nach jeder Messung die aus allen Messwerten gemittelte Nachhallzeit angezeigt wird. Nach Ermittlung des Hintergrundgeräusches wartet die App auf einen Pegelabfall. Es ist möglich, mehrere Messungen direkt nacheinander durchzuführen. Alternativ kann man zwischen zwei Messungen die Pause-Taste drücken. Aus den gemessenen Pegelabfällen wird die Nachhallzeit ermittelt. Sollte eine fehlerhafte Messung durchgeführt worden sein, ist es möglich, den letzten ermittelten Wert zu revidieren. ClapIR bietet die Möglichkeit, die Daten per E-Mail zu versenden und so am PC weiter zu nutzen.

Die Vergleichsmessungen wurden in dem reflexionsarmen Halbraum der BGN durchgeführt. Nach der Kalibrierung und der Ermittlung des Hintergrundgeräusches wurden je 6 Messungen durchgeführt. Hierbei wurde eine Starterklappe (Klatsche) und das Zerplatzen des Luftballons (Ballon) als Impulsschallquelle genutzt.

Alle Ergebnisse wurden gemittelt und per E-Mail übertragen. Die Messungen zeigen eine deutliche Streuung der Messwerte (siehe Abbildung 33).

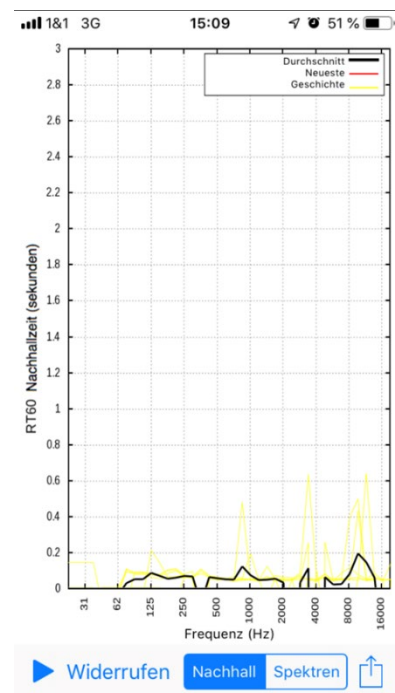


Abbildung 32: ClapIR App

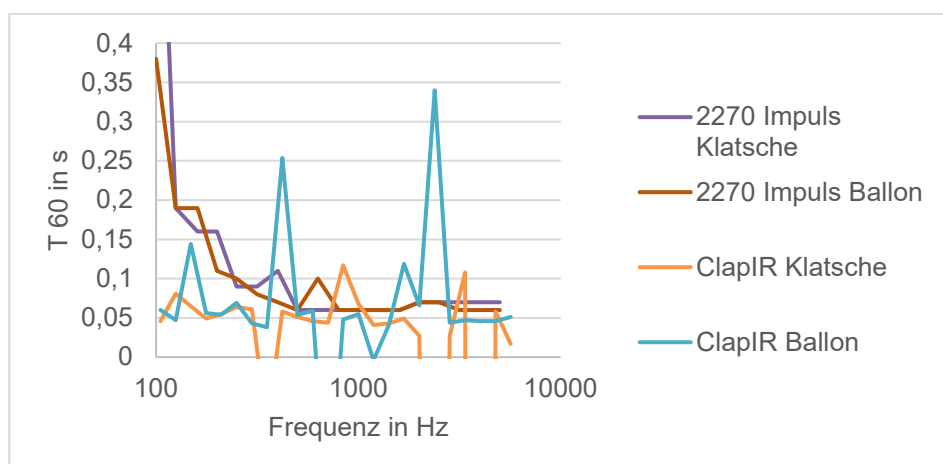


Abbildung 33: Ermittelte Nachhallzeiten mit der App ClapIR im Vergleich mit dem geeichten Messgerät B&K 2270 in jedem Frequenzbereich

A.2 IAudioTool

In der App IAudioTool können die ermittelten Daten nach der Messung durch Impulsanregung direkt gespeichert und auch später als E-Mail versandt werden. Die App enthält keine Möglichkeit, die einzelnen Messungen zu mitteln.

Die Vergleichsmessungen im reflexionsarmen Halbraum wurden parallel mit dem Schallpegelmessgerät B&K 2270 und der App IAudioTool aufgenommen. Im ersten Schritt wird in dieser App eine Kalibration durchgeführt. Die Messwerte nach Impulsanregungen mit der Starterklappe (Klatsche) stimmen in den mittleren und hohen Frequenzen gut mit dem geeichten Messgerät überein. Allerdings sind die Messwerte beim Zerplatzen eines Ballons deutlich zu hoch im Vergleich zu der Messung mit dem geeichten Messgerät (siehe Abbildung 35).

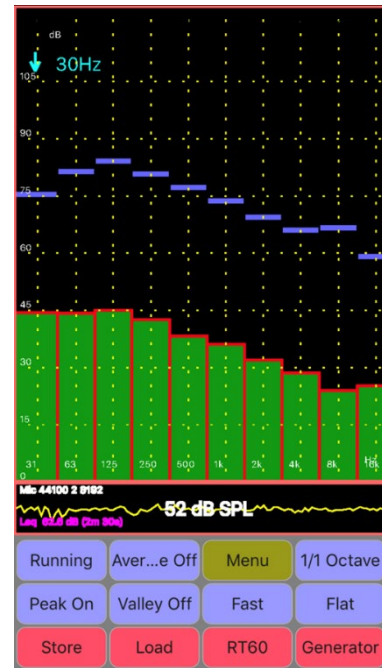


Abbildung 34: IAudioTool

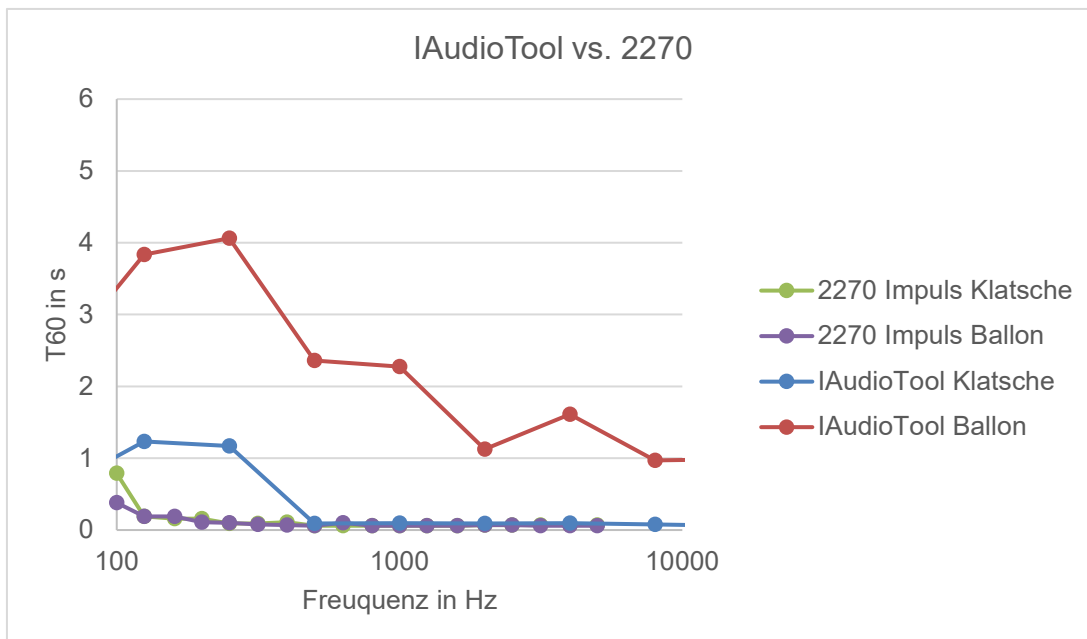


Abbildung 35: Nachhallzeitmessung mit der App IAudioTool im Vergleich zur Messung mit dem B&K 2270

A.3 RevMeterPro-App

Die RevMeterPro-App bietet die Möglichkeit, ermittelte Daten direkt als E-Mail zu versenden. Es ist zudem möglich, die Daten als csv in Excel zu importieren. Ein schönes Tool ist die Übersicht über den dB(A)-Abfall in den einzelnen Frequenzen. Allerdings kann der Nachhallzeitmesswert nur aus dem Bild direkt abgelesen werden. Es werden keine Nachhallzeitwerte der einzelnen Frequenzen angegeben.

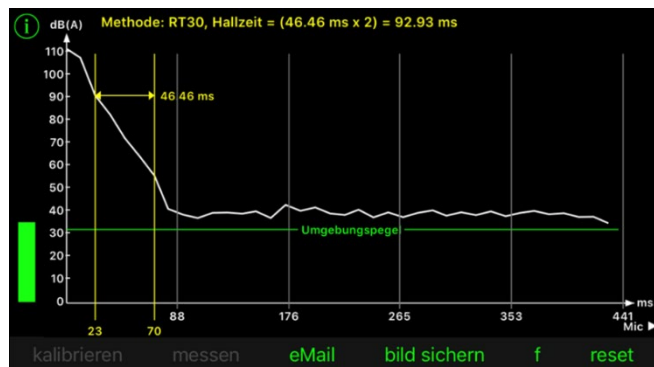


Abbildung 36: RevMeterPro App

Die Messung der Nachhallzeit mit der RevMeterPro-App wurde mit dem iPhone7 im reflexionsarmen Halbraum durchgeführt. Die gemittelten Messwerte lagen bei beiden Impulschallquellen - der Starterklappe und dem Luftballon - in derselben Größenordnung wie mit dem Messgerät B&K 2270. Leider lief die App sehr instabil und schloss sich wiederholt während der Messungen.

A.4 myRaumklang

Die App myRaumklang bietet die Möglichkeit, für einen angegebenen Raum (Breite, Tiefe, Höhe) mit einer bestimmten Raumnutzung (Büro, Wohnraum) die Nachhallzeit zu ermitteln. Nach einer kurzen Anweisung wird man gebeten, vier Nachhallzeitmessungen durch Impulsschallanregung in den Ecken des Raumes aufzunehmen. Nach der Messung wird das gemittelte Ergebnis der Nachhallzeit angezeigt. Die App bietet je nach Ergebnis Produkte, die zur Verbesserung der Raumakustik in den Raum eingefügt werden können.

Die Messung mit der App myRaumklang wurde in einem Musikraum einer Schule durchgeführt. Es wurde in der App die Einstellung für Büroräume gewählt, da diese der akustischen Situation in einem Klassenraum am meisten ähneln. Als Impulsschallquelle wurde hier sowohl das Zerplatzen eines Luftballons als auch Händeklatschen gewählt.

Die ermittelten Ergebnisse sowohl für die Impulsanregung mit Luftballon als auch beim Klatschen lagen deutlich über der mittleren Nachhallzeit von einer Sekunde, die mit dem geeichten Messgerät für den selben Raum ermittelt wurde.

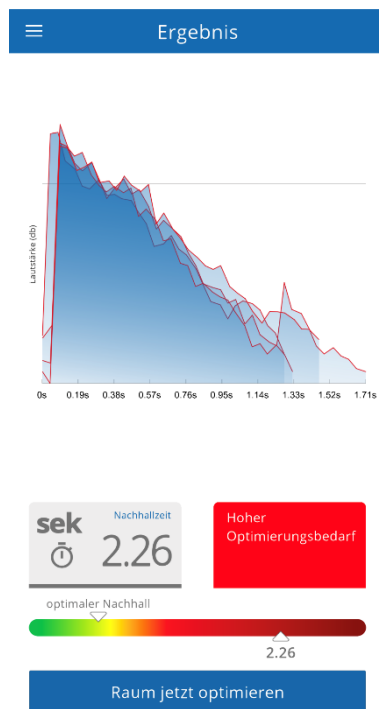


Abbildung 37: App myRaumklang

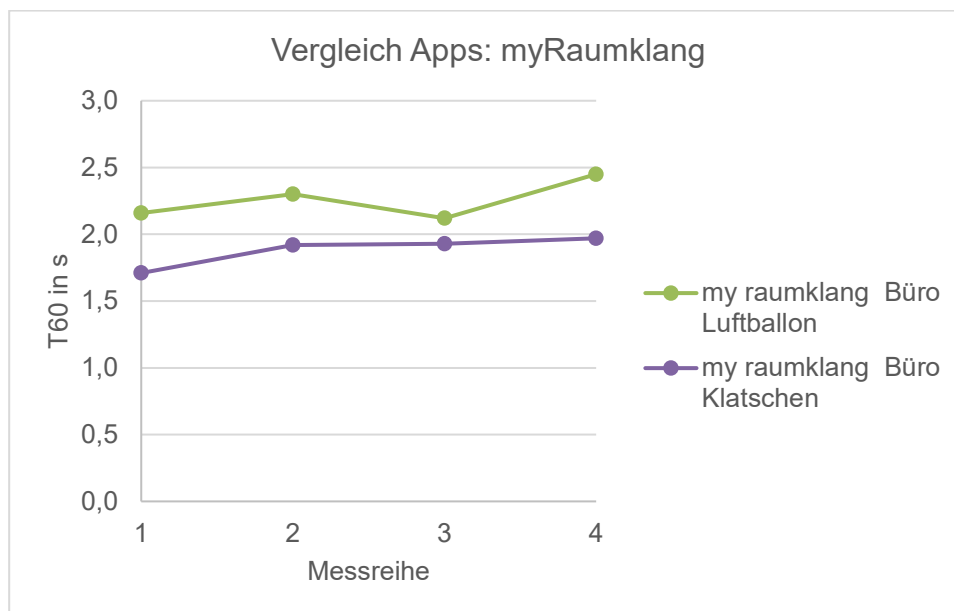


Abbildung 38: Vergleich 4 Messungen mit der App myRaumklang. Die ermittelte Nachhallzeit mit dem geeichten Messgerät liegt bei 1s.

A.5 Bosig-App

Die Bosig App ermittelt ebenso wie die App myRaumklang gemittelte Nachhallzeiten. Auch in der Bosig-App wird zuerst die Raumnutzung ausgewählt. Hierbei stehen folgende Varianten zur Auswahl 1. Büro und Callcenter, 2. Hotel und Restaurant, 3. Industrie, 4. Kindergarten und Schule, 5. Probenraum und Musikstudio sowie 6. Wohnbereich. Nach der Auswahl der Raumnutzung wird die Größe des Raumes eingegeben (Länge, Breite, Höhe). Nach der Kalibrierung des Ruhepegels kann die Messung erfolgen. Die App gibt nach Ermittlung der Nachhallzeit nun detailliert ein Bild des Pegelabfalls, die benötigte und effektive Nachhallzeit, sowie wie die benötigte und effektive Absorptionsfläche an. Des Weiteren werden Produktvorschläge zur Verbesserung der Raumakustik aufgeführt.

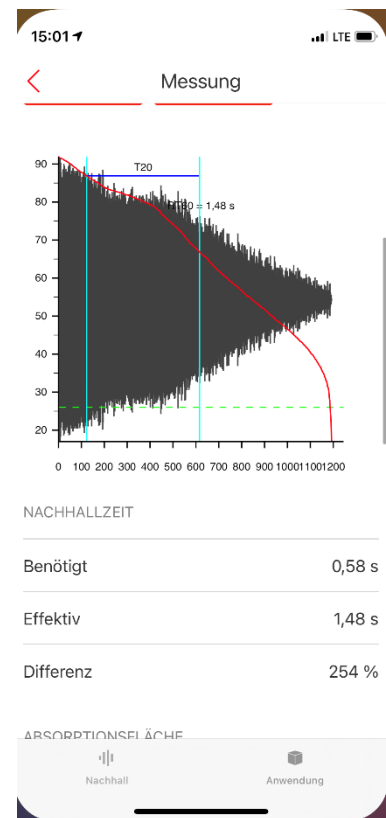


Abbildung 39: App Bosig

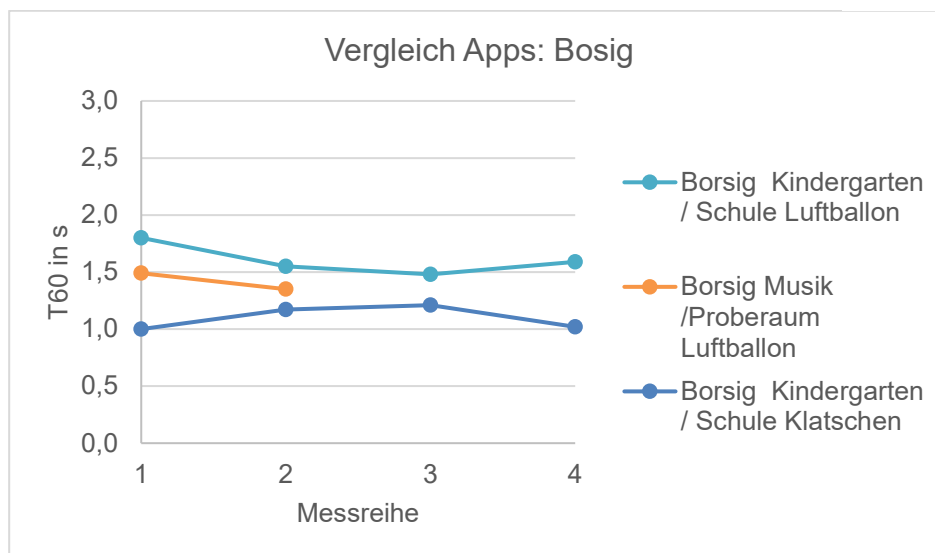


Abbildung 40: Vergleich von Messungen mit der Bosig App mit unterschiedlichen Einstellungen und unterschiedlichen Impulsschallquellen. Die ermittelte Nachhallzeit für diesen Musikraum lag bei dem geeichten Messgerät bei 1s.

Die mit der Bosig App ermittelte Nachhallzeit bei der Anregung des Raumes mit Hilfe des Luftballons ist etwas zu hoch. Die Werte mit einfachem Händeklatschen kamen nahe an die mit dem geeichten Messgerät ermittelte Nachhallzeit von 1s. Diese App bietet nach Durchführung einer Nachhallzeitmessung ebenfalls Produkte zur Verbesserung der Raumakustik an.

A.6 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Die Nachhallzeitmessungen mit den Smartphones sowie die Vergleichsmessungen wurden in vier Räumen mit unterschiedlichen schallabsorbierenden Eigenschaften durchgeführt, nämlich in einem reflexionsarmen Halbraum, in zwei Büros und einem Musikraum einer Schule.

Die Apps der Smartphones sind nicht als Ersatz für das eingesetzte Schalldruckpegelmessgerät programmiert. Stattdessen gibt es appspezifische Protokolle, um die Nachhallzeit jeweils mit dem Smartphone zu bestimmen. Falls möglich wurde bei den Vergleichsmessungen das Messprotokoll an die standardisierte Messung nach DIN EN ISO 3382-2 [17] angepasst. Für eine Messung nach DIN EN ISO 3382-2 [17] sind eine bestimmte Mindestanzahl der Messpositionen einzuhalten. Diese sind in Tabelle 9 aufgeführt. Hierbei müssen die Messpositionen die unterschiedlichen Raumeigenschaften abdecken.

Tabelle 9: Mindestanzahl der Messpunkte und Messungen

	Kurz Verfahren	Standardverfahren
Sender-Mikrophon-Kombinationen	2	6
Senderpositionen	≥ 1	≥ 2
Mikrofonpositionen	≥ 2	≥ 2

Als erstes wurden drei unterschiedliche Apps (ClapIR, IAudioTool und RevMeterPro) im reflexionsarmen Halbraum untersucht. Dieser Raum befindet sich im Erdgeschoss der Hauptverwaltung der BGN in Mannheim und ist an allen Wänden und der Decke mit keilförmigem, absorbierendem Material belegt (vergleiche Abbildung 31). Der Raum besitzt eine geringe Nachhallzeit und eine hohe Absorption. Alle Messungen mit den Apps in diesem Raum wurden nach dem Standardverfahren mit je sechs Messpositionen durchgeführt. Mit dem geeichten Messgerät wurde eine gemittelte Nachhallzeit von 0,09 s ermittelt. Die gemittelte Nachhallzeit war für alle drei gemessenen Raumanregungen (rosa Rauschen, Impulsschall Starterklappe/Luftballon) innerhalb des Messfehlers identisch.

Tabelle 10: Messung im reflexionsarmen Halbraum

Messgerät	Anregungsart	gemittelte Nachhallzeit
B&K 2270	Rosa Rauschen, Impulsanregung mit Starterklappe	0,09
B&K 2270	Rosa Rauschen, Impulsanregung mit Luftballon	0,09
ClapIR	Impulsanregung mit Starterklappe	-0,36*
ClapIR	Impulsanregung mit Luftballon	0,07
IAudioTool	Impulsanregung mit Starterklappe	0,46
IAudioTool	Impulsanregung mit Luftballon	2,55
RevMeterPro	Impulsanregung mit Starterklappe	0,1
RevMeterPro	Impulsanregung mit Luftballon	0,11

*negative Nachhallzeitwerte existieren nicht. Hier liegt ein Messfehler der App vor.

Die gemessene Nachhallzeit der App ClapIR lag bei der Impulsanregung mit einem zerplatzenden Luftballon in der richtigen Größenordnung. Der ermittelte Wert für die Nachhallzeit bei der Anregung mit einer Starterklappe, war unphysikalisch ($T_{60} < 0$ s).

Bei der App IAudioTool wichen die gemessenen Werte signifikant von den Standardmessungen ab und lagen deutlich über dem Vergleichswert.

Die App RevMeterPro ergab einen Wert für die Nachhallzeit von 0,1 s mit einem statistischen Fehler von 0,01 s (sechs Messungen). Sie lieferte für beide Impulsanregungen mit der Vergleichsmessung übereinstimmende Werte.

Leider erwies sich die App RevMeterPro in der Bedienung als kompliziert und wenig benutzerfreundlich. Des Weiteren lief die App nicht stabil und stürzte oft ab, so dass keine weitere Messung mit dieser App durchgeführt werden konnte und sie als potenzieller Kandidat vorerst ausschied.

Um zu überprüfen, ob die deutliche Abweichung der Nachhallzeiten an der starken Absorption im Raum liegt, wurden weitere Räume mit der App IAudioTool und ClapIR untersucht.

Die zweite Messung erfolgte im Raum A451. Dabei handelt es sich um ein Eckbüro der BGN (siehe Abbildung 41 und Abbildung 42).

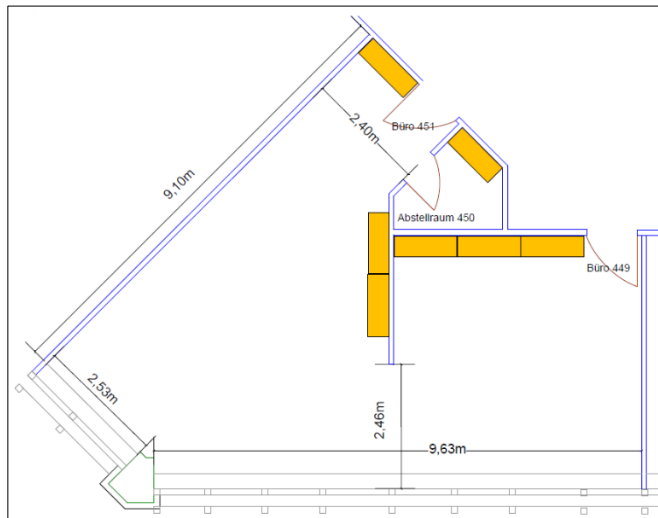


Abbildung 41: Eckbüro A451



Abbildung 42: Raum A451

In diesem Büro wurden alle Nachhallzeitmessungen mit Impulsanregung durch das Zuschlagen einer Starterklappe durchgeführt. Es wurden jeweils mindestens sechs Messpunkte nach dem Standardverfahren gemessen. Die ermittelte Nachhallzeit mit dem geeichten Messgerät lag im Raum A451 bei 0,64 s. Die mittels der Apps ClapIR und IAudioTool bestimmten Nachhallzeiten waren hingegen deutlich zu niedrig (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Messung in Raum A451

Messgerät	Anregungsart	gemittelte Nachhallzeit
B&K 2270	Impulsanregung mit Starterklappe	0,64
ClapIR	Impulsanregung mit Starterklappe	0,19
IAudioTool	Impulsanregung mit Starterklappe	0,47

Der frequenzabhängige Verlauf, der mit der App IAudioTool gemessen wurde, stimmt qualitativ mit der Messung des Messgeräts B&K 2270 überein. Er weist jedoch einen Offset von der Größenordnung 0,2 s auf (siehe Abbildung 43).

Die mit der App ClapIR ermittelten Werte wichen noch weiter ab. Da sich bereits während der Messung zeigte, dass die Nachhallzeiten zu gering ausfielen, wurde die Anzahl der Messungen erhöht. Insgesamt wurden sechs mal sechs Messungen mit dieser App durchgeführt. Allerdings waren selbst bei hohen Wiederholungsrate die Messergebnisse zu niedrig.

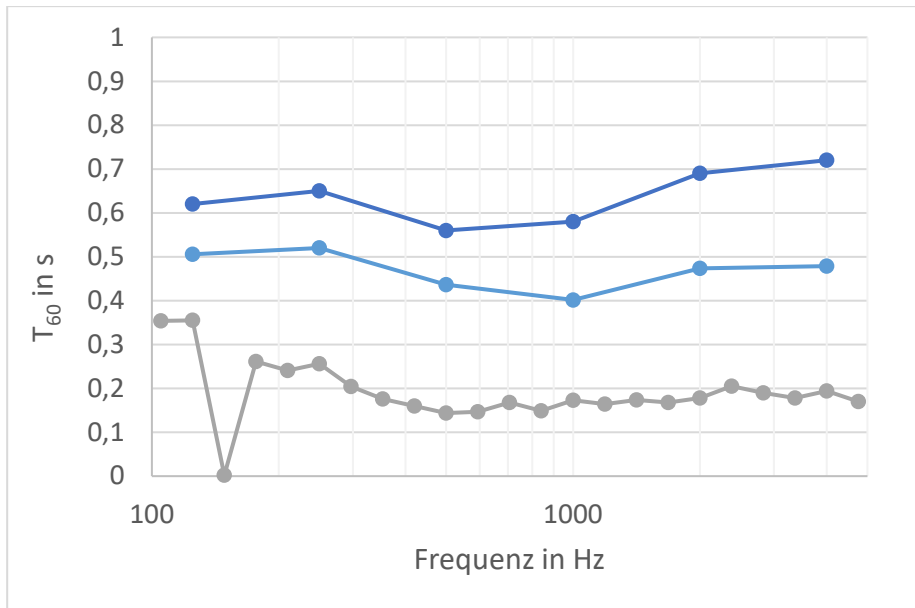


Abbildung 43: Nachhallzeiten im Raum A451 ermittelt mit dem B&K 2270 dunkelblau, der App ClapIR grau, der App IAudioTool hellblau

Als weiterer Raum wurde das Büro A407 in der Hauptverwaltung der BGN in Mannheim nach DIN EN ISO 3382-2 vermessen. Es wurden jeweils 6 Messungen mit den Apps ClapIR und IAudioTool durchgeführt.



Abbildung 44: Raum A407 in der Hauptverwaltung der BGN in Mannheim

Mit dem geeichten Messgerät B&K 2270 wurde eine mittlere Nachhallzeit von 0,54 s bei Impulsanregung durch Zuschlagen einer Starterklappe und eine um 0,03 s niedrigere mittlere Nachhallzeit bei Impulsanregung durch Zerplatzen eines Luftballons, also von 0,51 s ermittelt.

Tabelle 12: Gemittelte Nachhallzeiten in Raum A407

Messgerät	Anregungsart	gemittelte Nachhallzeit
B&K 2270	Impulsanregung mit Starterklappe	0,54
B&K 2270	Impulsanregung mit Luftballon	0,51

ClapIR	Impulsanregung mit Starterklappe	0,35
ClapIR	Impulsanregung mit Luftballon	0,35
IAudioTool	Impulsanregung mit Starterklappe	0,66
IAudioTool	Impulsanregung mit Luftballon	0,48

Wie in Tabelle 12 zu sehen ist, weichen die gemittelten Nachhallzeiten der Apps deutlich von den mit der geeichten Messkette ermittelten Nachhallzeiten ab. Trägt man die einzelnen Nachhallzeiten gegen die Frequenzen auf, so fällt auf, dass zwischen den mit dem B&K 2270 gemessenen Kurven und den ermittelten Kurven der ClapIR-App ein Offset von ca. 0,2 s liegt.

Die ermittelten Werte mit IAudioTool bei der Impulsanregung mit dem Luftballon stimmen in den tiefen und mittleren Frequenzen gut mit den Werten des B&K 2270 überein (siehe Abbildung 46 und Tabelle 12). Allerdings weichen sie in den hohen Frequenzen ab. Bei Impulsanregung mit der Starterklappe ist dies genau umgekehrt (siehe Abbildung 45). In diesem Fall sind die Ergebnisse der Messung bei mittleren und hohen Frequenzen gut, die Messwerte der tiefen Frequenzen sind aber deutlich zu hoch.

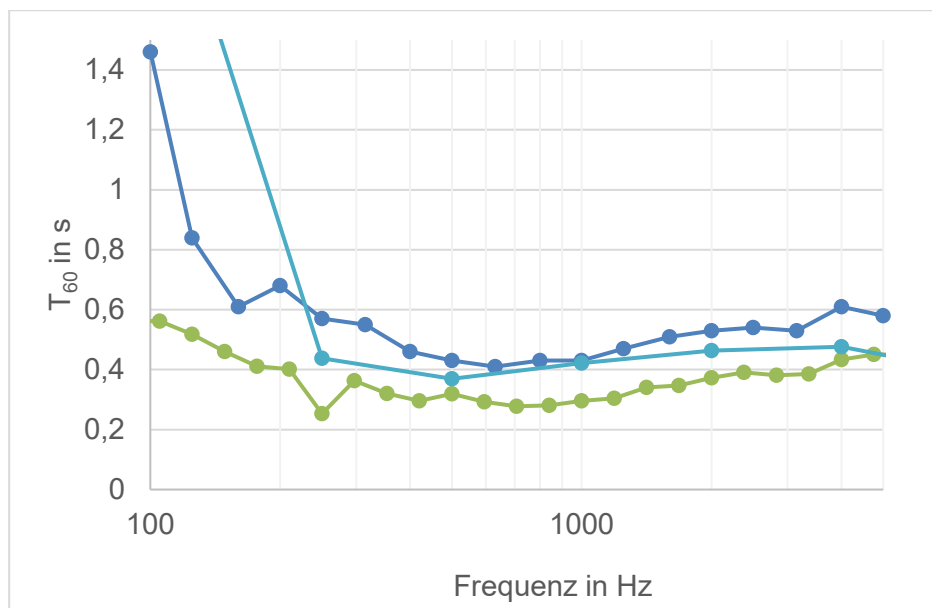


Abbildung 45: Vergleich der Nachhallzeiten in Raum A407 bei der Anregung mit Starterklappe; Blau B&K 2270, grün ClapIR, türkis IAudioTool

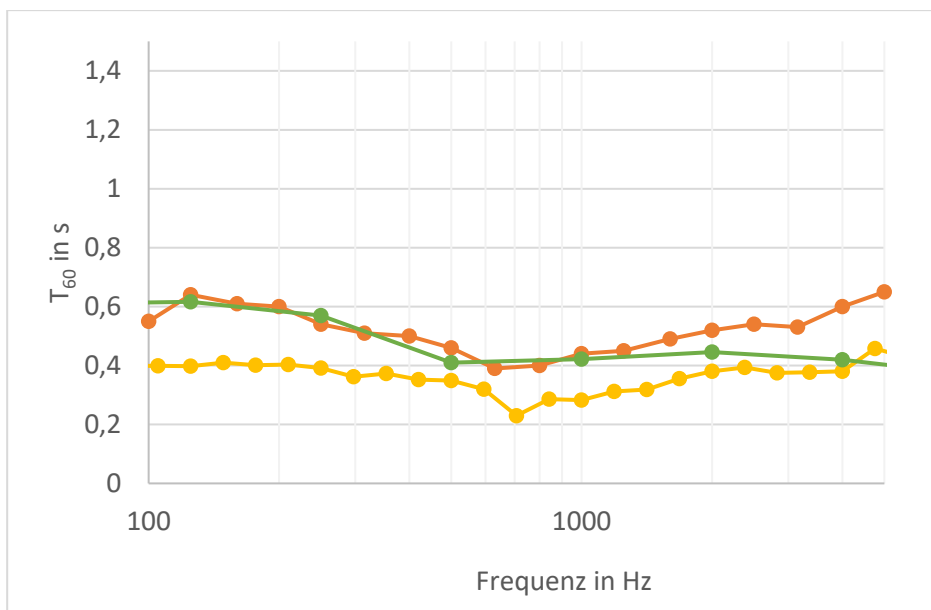


Abbildung 46: Vergleich der Nachhallzeiten in Raum 407 bei Anregung mit Luftballon; Orange B&K 2270, gelb ClapIR, grün IAudioTool

Die Messungen mit den bis jetzt betrachteten Apps IAudioTool und ClapIR wurden aufgrund der nicht reproduzierbaren Ergebnisse nicht weitergeführt.

In einem Musikraum in einer Schule in Bad Rappenau konnten zwei weitere Apps getestet werden. Die Apps Bosig und MyRaumklang bieten die Möglichkeit vor der Nachhallzeitmessung den Raumtyp auszuwählen.



Abbildung 47: Musikraum einer Schule in Bad Rappenau mit Aufbau der Globe Source zu Ermittlung der raumakustischen Kenndaten mit dem B&K 2270

Es wurden jeweils 4 Messungen nach Anweisung der Apps durchgeführt. Die Apps Bosig und MyRaumklang zeigen jeweils gemittelte Nachhallzeiten an und schlagen bei der Ausgabe der Messergebnisse auch gleich je nach Raumnutzung den Einsatz von Absorbieren vor.

Tabelle 13: Vergleich der Nachhallzeiten in einem Musikraum

Messgerät	Anregungsart	gemittelte Nachhallzeit in s
B&K 2270	Rosa Rauschen	1,03
MyRaumklang	Impulsanregung mit Luftballon	2,26
MyRaumklang	Impulsanregung mit Händeklatschen	1,88
Bosig (Schule)	Impulsanregung mit Luftballon	1,61
Bosig (Schule)	Impulsanregung mit Händeklatschen	1,1
Bosig (Probe)	Impulsanregung mit Luftballon	1,24

Die Nachhallzeiten beider Apps zeigten eine deutliche Streuung der Werte der Nachhallzeit bei unterschiedlicher Raumanregung (siehe Tabelle 13). Diese lag in der Größenordnung von 0,5 s. Die ermittelten Werte wichen fast alle signifikant von dem Wert der Vergleichsmessung ab.

B Leitfaden zur Raumakustik in Gaststätten und Kantinen

In Anhang B ist der Leitfaden für Unternehmerinnen und Unternehmer im Gastgewerbe zur Raumakustik in seiner aktuellen Version noch, ohne das endgültige Layout zu finden. Durch die Entwicklung des Leitfadens in dem Projekt wiederholen sich Passagen aus dem Projektbericht.

Inhaltsverzeichnis

1.	<u>Akustik in Gaststätten und Kantinen</u>	62
2.	<u>Schallquellen in Gaststätten und Kantinen</u>	63
2.1.	<u>Unerwünschte Schallquellen in Kantinen und Gaststätten</u>	63
3.	<u>Anforderungen für Raumakustik in Gaststätten und Kantinen</u>	64
3.1.	<u>Bewertung eines Raumes mit Hilfe des A/V-Verhältnis</u>	64
3.2.	<u>Fallbeispiel 1: Gaststätte</u>	66
3.3.	<u>Fallbeispiel 2: Kantine</u>	68
4.	<u>Typische Schallabsorber und weitere Maßnahmen</u>	69
4.1.	<u>Absorber</u>	69
4.1.1.	<u>Poröse Absorber</u>	69
4.1.2.	<u>Resonanzabsorber</u>	73
4.2.	<u>Realisierung akustischer Maßnahmen</u>	75
5.	<u>Anhang</u>	77
5.1.	<u>Fallbeispiel Gaststätte</u>	77
5.1.1.	<u>Gaststätte Variante 1A - Einfügen einer Akustikdecke</u>	77
5.1.2.	<u>Gaststätte Variante 1B – Einfügen von Akustikbildern und Kantenabsorbern</u>	78
5.1.3.	<u>Vergleich der Varianten 1A und 1B zur akustischen Sanierung einer Gaststätte</u>	79
5.2.	<u>Fallbeispiel Kantine</u>	80
5.2.1.	<u>Kantine Variante 2A - Einfügen einer Akustikdecke</u>	80
5.2.2.	<u>Kantine Variante 2B – Einfügen von Akustikbildern und Stellwänden</u>	81
5.2.3.	<u>Vergleich der Varianten 2A und 2B zur akustischen Sanierung einer Kantine</u>	82
6.	<u>Berechnungsblatt zum A/V-Verhältnis:</u>	83
	<u>Impressum</u>	84

1. Akustik in Gaststätten und Kantinen

Zu einem gelungenen Restaurantbesuch gehört neben feinem Essen, freundlichem Service und angenehmer Gesellschaft auch eine Atmosphäre zum Wohlfühlen. Diese hängt nicht nur vom Ambiente des Restaurants, sondern auch von der dort herrschenden Lautstärke ab. In gut besuchten Gaststätten herrscht oft eine charakteristische Geräuschkulisse, bestehend aus Gesprächsfetzen, Hintergrundmusik, dem Klappern von Geschirr und Besteck, Stühlerücken sowie den allgegenwärtigen Hintergrundgeräuschen von Elektrogeräten wie Kaffeemaschinen oder Klimaanlage. Diese Geräuschkulisse gehört zu einem Restaurantbesuch einfach dazu und wird nicht als störend empfunden, sondern sogar erwartet.

Übersteigt der Geräuschpegel allerdings ein als angenehm empfundenen Niveau, fällt es den Gästen schwer, untereinander Gespräche zu führen oder die Servicekraft zu verstehen. Die Geräuschkulisse wird dann zum Problem: Die Gäste nehmen die Hintergrundgeräusche nunmehr als Lärm wahr, fühlen sich unwohl und besuchen die Gaststätte eventuell nicht mehr. Dies kann auch zu negativen Bewertungen in Vergleichsportalen führen.

Besonders häufig werden Kantinen als unangenehm laut empfunden. Dies kann so weit führen, dass sich die Kantinengäste während der Mittagspause in der Kantine nicht mehr gut erholen können und diese in Folge meiden.

Abbildung 48: Belebte Gaststätte

Von dieser Geräuschbelastung besonders betroffen ist das Personal, das dem Lärm täglich und über mehrere Stunden ausgesetzt ist. Mögliche Folgen sind eine Belastung der Stimmbänder durch den Zwang, mit den Gästen besonders laut zu sprechen, sowie zusätzlicher Stress durch die Lärmbelastung. Dieser kann unter anderem zu Kopfschmerzen, erhöhtem Blutdruck und sinkender Arbeitsleistung führen.

Mit diesem Leitfaden möchten wir Sie als Inhaber und Betreiber in die Lage versetzen, die Raumatmosphäre zu verbessern, indem Sie die Schallquellen im Raum ermitteln und verringern, die Reflexionen des Schalls reduzieren und durch gezielte Maßnahmen eine angenehmere Akustik schaffen.

Es wird erläutert, wie Sie die akustische Situation selbst bewerten können. Die Berechnung wird detailliert erklärt und durch passende Fallbeispiele veranschaulicht. Im Anschluss stellt der Leitfaden verschiedene Maßnahmen vor, mit denen Sie die Raumakustik verbessern können. In mehreren Beispielen werden für unterschiedliche Räume verschiedene Maßnahmen miteinander verglichen. Dabei werden sowohl die Wirksamkeit als auch die Kosten berücksichtigt.

Zunächst stellt sich die Frage: Wie entsteht dieser hohe Geräuschpegel?

2. Schallquellen in Gaststätten und Kantinen

Unterhalten sich viele Personen gleichzeitig in einem Raum, können die Sprechenden einander oft nicht gut verstehen. Im Bemühen, selbst verstanden zu werden, erhöhen sie unbewusst die eigene Stimmlautstärke. Dies wiederum führt dazu, dass die Geräuschkulisse insgesamt lauter wird. Dieser Effekt wird Lombardeffekt genannt. Der Lombardeffekt wirkt umso stärker, je schlechter die Akustik im Raum ist und je mehr Personen gleichzeitig sprechen. Da in einem Gastraum viele Personen gleichzeitig anwesend sind, muss man die Raumakustik verbessern, um den Lombardeffekt zu verringern.

Abbildung 49: Typische Kantine, geprägt von schallharten Oberflächen

Doch wie gelingt es, die Raumakustik an einem Ort zu verbessern, an dem viele Hintergrundgeräusche nicht nur unvermeidlich, sondern sogar charakteristisch sind? Eine wichtige Rolle spielt hierbei die Reflexion von Schall.

In Abbildung 49 zeigt eine typische Kantine. Sie ist - wie für Kantinen üblich - geprägt von großen Fensterfronten, einem glatten Boden sowie ungepolstertem Mobiliar. Diese sogenannten schallharten Oberflächen reflektieren den Schall stark und führen zu einem lauten Hintergrundgeräusch.

Durch eine geeignete raumakustische Ausstattung eines Gastraumes können die Schallreflexionen verringert werden, wodurch das Hintergrundgeräusch leiser wird.

Dies hat gleich mehrere positive Folgen: Für das Personal sinkt das Stresslevel, die Gäste fühlen sich wohler und die angenehmere Raumatmosphäre wirkt sich auf die positive Wahrnehmung der Gaststätte bzw. Kantine aus.

Man sieht also, dass es sich durchaus lohnt, die raumakustische Situation von Gasträumen im Blick zu behalten. Das gilt für neu geplante Gasträume ebenso wie für bereits bestehende, bei denen mit den richtigen raumakustischen Maßnahmen sehr viel für eine Verbesserung der Raumatmosphäre getan werden kann.

2.1. Unerwünschte Schallquellen in Kantinen und Gaststätten

Neben den gewünschten Geräuschen wie den Gesprächen am eigenen Tisch oder Hintergrundmusik hört man in Gaststätten auch oft störende Geräusche. Einige dieser Geräuschquellen können bereits durch einfache Maßnahmen reduziert werden, wie in Tabelle 14 beispielhaft dargestellt.

Tabelle 14: Typische störende Schallquellen mit Maßnahmen zur Reduzierung der Lautstärke

Störende Schallquelle	Primäre Maßnahme
Besteck- und Geschirrklopfen	Dämpfende Unterlagen
Stuhlquietschen durch Stühlerücken	Stuhlgleiter
Kaffeemaschine oder andere Maschinen	Akustische Abschirmung, falls möglich
Lüftung	Überprüfen der Einstellungen

Das Ziel ist es, eine Wohlfühlatmosphäre zu schaffen, die nicht durch störende Geräusche beeinträchtigt wird und in der man sich gut unterhalten kann. Wenn alle störenden Geräusche so weit wie möglich beseitigt sind, bleiben Gespräche als Hauptschallquellen im Raum. Diese kann man nicht vermeiden, aber ihre Reflexionen im Raum lassen sich reduzieren. Durch den Einsatz schalldämmender Materialien sowie durch eine optimale Anordnung der Möbel lassen sich Reflexionen verringern und die Raumakustik verbessern.

3. Anforderungen für Raumakustik in Gaststätten und Kantinen

In der Raumakustik werden die wichtigsten Anforderungen in zwei Regelwerken formuliert: in der Arbeitsstättenregel ASR A3.7 „Lärm“ [BAuA - Regelwerk - ASR A3.7 Lärm - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin](#) sowie in der DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung“.

Die DIN 18041 betrachtet Gaststätten und Kantinen detaillierter. Hier werden die Anforderungen explizit für diese Räume angegeben und im Vergleich zur Arbeitsstättenregel frequenzbezogen betrachtet. Dadurch ist es möglich, besonders jene Frequenzen zu beachten, die für eine gute Sprachverständlichkeit wichtig sind.

Der hier vorliegende Leitfaden orientiert sich deshalb im Folgenden an der DIN 18041.

3.1. Bewertung eines Raumes mit Hilfe des A/V-Verhältnis

Die genaue Analyse der Akustik in einem Raum ist komplex. Dennoch ist es auch ohne große Vorkenntnisse möglich, eine vereinfachte objektive Abschätzung vorzunehmen und zu prüfen, ob eine gute Raumakustik vorhanden ist.

Im Folgenden werden zunächst die wichtigsten Begriffe vorgestellt.

Info-Box **Absorptionsgrad:**

Der **Absorptionsgrad α** eines Materials ist ein Maß dafür, wie stark dieses Material den Schall absorbiert. Er liegt zwischen 0 und 1. Ein hoher Absorptionsgrad nahe 1 entspricht einer starken Schallabsorption (z.B. dicke Mineralwolle oder Schaumstoff), ein niedriger Absorptionsgrad entspricht einer schwachen Schallabsorption bzw. einer starken Schallreflexion (z.B. Betonwände oder andere glatte, harte Oberflächen).

Eine Liste von Absorptionsgraden findet man unter: [Absorptionswerte von verschiedenen Stoffen zur Akustikberechnung \(schweizer-fn.de\)](#)

Die Absorptionsgrade für Absorber sind bei den jeweiligen Herstellern zu finden.

A/V-Verhältnis

Zur Einschätzung der Raumakustik eines Raumes ist das Verhältnis von Absorptionsfläche A im Raum zum Raumvolumen V eine relevante Kenngröße, das sogenannte A/V-Verhältnis. Um dies zu berechnen, bestimmt man zunächst die Absorptionsfläche A .

Absorptionsfläche A

Alle Flächen im Raum absorbieren Schall, manche stärker, andere schwächer. Die Absorptionsfläche A ist eine Kenngröße dafür, wie viel Schall ein Objekt oder der Raum selbst absorbiert. Sie wird in der Einheit m^2 angegeben.

Zur Bestimmung der Absorptionsfläche eines Raumes muss man alle einzelnen Flächen im Raum kennen und wissen, wie gut diese Flächen den Schall absorbieren. Jede Oberfläche hat einen

Absorptionsgrad, der angibt, wie gut der Schall aufgenommen wird. Der Absorptionsgrad liegt immer zwischen 0 (keine Absorption) und 1 (vollständige Absorption). Die Flächen im Raum multipliziert man mit ihrem jeweiligen Absorptionsgrad. Anschließend bildet man aus diesen Ergebnissen die Summe für den gesamten Raum. Diese Summe entspricht der gesamten Absorptionsfläche des Raumes.

Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Ermittlung der **Absorptionsfläche A**:

1. Bestimmen der Flächen im Raum
Ausmessen aller Flächen (Wände, Boden, Decke, Fenster, etc.)
Beispiel: Fensterfläche Größe 10 m^2
2. Ermitteln der Absorptionsgrade
Nachschauen welchen Absorptionsgrade die Materialien haben (siehe Info-Box Absorptionsgrade)
Beispiel: Absorptionsgrad Fenster $a = 0,1$
3. Berechnen der Absorptionsfläche
Multiplizieren der ausgemessenen Fläche mit dem dazugehörigen Absorptionsgrad
Beispiel: $10 \text{ m}^2 * 0,1 = 1 \text{ m}^2$
4. Addieren aller Absorptionsflächen
Addieren der einzelnen Absorptionsflächen. Dies ergibt die Absorptionsfläche des Raumes

Wenn man nun die gesamte Absorptionsfläche durch das Raumvolumen teilt, erhält man das A/V-Verhältnis. Die Einheit, in der das A/V-Verhältnis angegeben wird, ist $1/\text{m}$. Dies ergibt sich daraus, dass bei der Berechnung eine Fläche (m^2) durch ein Volumen (m^3) geteilt wird. Aus dem A/V-Verhältnis m^2/m^3 wird einmal m^2 herausgekürzt; übrig bleibt die Einheit $1/\text{m}$.

Mit dem A/V-Verhältnis kann man abschätzen, wie gut die Raumakustik in einem bestimmten Raum ist. Je größer der A/V-Wert ist, desto besser ist die Dämpfung von Hintergrundgeräuschen.

Info-Box **Akustikrechner**:

Zur Durchführung der Berechnung kann auch ein Akustikrechner im Internet genutzt werden. Viele Hersteller von Akustikmaterialien bieten solche Akustikrechner zur DIN 18041 an.

Zum Beispiel: hunecke.de | [Raumakustik-Rechner](#)

Bei der Nutzung eines solchen Akustikrechners für Gaststätten und Kantinen muss die richtige Kategorie ausgewählt werden, das ist entweder „Restaurants“ oder „Gruppe B“. In der Gruppe B sind Räume, in denen mehrere Menschen gleichzeitig sprechen. Gaststätten und Kantinen fallen in der DIN 18041 in die Untergruppe B3.

In der DIN 18041 sind **Richtwerte für das A/V-Verhältnis** angegeben. Dabei hängt der zu erreichende Wert des A/V-Verhältnisses von der Deckenhöhe ab. In einer Kantine mit einer Deckenhöhe von 3 m wird beispielsweise eine gute Raumakustik erreicht, wenn das A/V-Verhältnis mindestens $0,19 \text{ 1/m}$ beträgt. Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die A/V-Verhältnisse, die für verschiedene Deckenhöhen jeweils mindestens erreicht werden sollten, um eine gute Raumakustik zu gewährleisten.

Tabelle 15: Mindestwerte für das A/V-Verhältnis von Gaststätten und Kantinen je nach Deckenhöhe. Berechnung der Werte nach DIN 18041

Deckenhöhe in m	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Mindestens zu erreichendes A/V-Verhältnis in 1/m	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16

Gaststätten und Kantinen ohne spezielle raumakustische Ausstattung sind oft hallig und laut. Hier ist das A/V-Verhältnis viel zu niedrig. Es sind also nicht genügend absorbierende Flächen vorhanden. Meist liegt das A/V-Verhältnis in solchen Räumen unter 0,10 - und damit weit unterhalb des empfohlenen Wertes, der in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** angegeben ist.

Die DIN 18041 berechnet das A/V-Verhältnis in den einzelnen Tonhöhen. Für die Bewertung von Gaststätten und Kantinen kann meist eine vereinfachte Verfahrensweise angewendet werden, bei der die Frequenzabhängigkeit des A/V-Verhältnisses vernachlässigt wird. Hierfür werden die Absorptionsgrade gemittelt.

Dies wird im Folgenden anhand von Beispielen erklärt.

3.2. Fallbeispiel 1: Gaststätte

In einer Gaststätte gibt es von Gästeseite Beschwerden über die Lautstärke. Der Betreiber möchte die Gaststätte daher akustisch sanieren. Der Gastraum hat eine Grundfläche von 100 m² und eine Deckenhöhe von 3 m. Nähere Angaben zur Raumausstattung, zum Material der Elemente, zu deren Größe und deren mittlerem Absorptionsgrad finden Sie in den folgenden Tabellen.

Multipliziert man die Fläche S der einzelnen Elemente (Spalte 3) mit dem mittleren Absorptionsgrad α (Spalte 4), so erhält man für jede Fläche des Raumes jeweils deren Absorptionsfläche A (Spalte 5). Neben flächigen Objekten, wie zum Beispiel Wänden, gibt es außerdem gemäß DIN 18041 Einzelobjekte, das sind zum Beispiel Stühle oder Schränke. Für Einzelobjekte wird die Absorptionsfläche A_{obj} pro Einzelobjekt angegeben und mit deren Anzahl multipliziert. Diese findet man in der zweiten Tabelle.

Um die Absorptionsfläche des gesamten Raumes zu ermitteln, addiert man alle Absorptionsflächen aus den beiden Tabellen. Teilt man diese Summe durch das Volumen des Raumes, erhält man das A/V-Verhältnis für die Gaststätte.

Ausstattung	Material	Fläche S	Mittlerer Absorptionsgrad a	Absorptionsfläche $A = a * S$
Boden	Parkettfußboden, aufgeklebt	100 m ²	0,05	5 m ²
Fensterfront	Isolierverglasung, lange Seite	30 m ²	0,10	3 m ²
Wände	Glattputz	88 m ²	0,03	2,6 m ²
Tür	Holz	2 m ²	0,06	0,1 m ²
Decke	Putz	100 m ²	0,03	3 m ²
Theke*	Funierte Holz- oder Spanplatte	14 m ²	0,05	0,7 m ²
4er-Tische	Holz	20,5 m ²	0,06	1,2 m ²

* Die Länge der Theke beträgt 4 m. Für die Berechnung der Fläche S müssen alle Seitenteile und die Oberfläche der Theke wie bei einem Quader addiert werden.

Ausstattung	Material	Anzahl n	Absorptionsfläche Einzelobjekt A _{obj}	Absorptionsfläche $A = n * A_{obj}$
Stühle	Kunstleder	64	0,12 m ²	7,7 m ²

Absorptionsfläche A_{gesamt}

23,3 m²

$$A / V = 23,3 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^3 = 0,08 \text{ 1/m}$$

Mit Hilfe der Absorptionsgrade wird, wie oben beschrieben, das A/V-Verhältnis berechnet. Es ergibt sich für diese Kantine ein A/V-Verhältnis von 0,08 1/m. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Mindestwert von 0,19 1/m. Die Beschwerden sind nachvollziehbar und es sollte gehandelt werden. Geeignete Maßnahmen, um eine Wohlfühlatmosphäre für die Gäste und eine angenehme Arbeitsumgebung für das Personal zu schaffen sind in Kapitel 5.1 aufgeführt.

3.3.Fallbeispiel 2: Kantine

In einer Kantine gibt es von Gästeseite Beschwerden über die Lautstärke. Außerdem klagen die Beschäftigten über Kopfschmerzen. Der Betreiber möchte daher die Kantine akustisch sanieren. Der Raum hat eine Grundfläche von 200 m^2 und eine Deckenhöhe von 3 m.

Nähere Angaben zur Raumausstattung, zum Material der Elemente, zu deren Größe und deren mittlerem Absorptionsgrad finden Sie in den folgenden Tabellen.

Multipliziert man die Fläche S der einzelnen Elemente (Spalte 3) mit dem mittleren Absorptionsgrad a (Spalte 4), so erhält man für jede Fläche des Raumes jeweils deren Absorptionsfläche A (Spalte 5).

Neben flächigen Objekten, wie zum Beispiel Wänden, gibt es außerdem gemäß DIN 18041 Einzelobjekte, das sind zum Beispiel Stühle oder Schränke. Für Einzelobjekte wird die Absorptionsfläche A_{obj} pro Einzelobjekt angegeben und mit deren Anzahl multipliziert. Diese findet man in der zweiten Tabelle.

Um die Absorptionsfläche des gesamten Raumes zu ermitteln, addiert man alle Absorptionsflächen aus den beiden Tabellen. Teilt man diese Summe durch das Volumen des Raumes, erhält man das A/V-Verhältnis für die Kantine.

Ausstattung	Material	Fläche S	Mittlerer Absorptionsgrad a	Absorptionsfläche $A = a * S$
Boden	PVC-Fußboden auf Beton	200 m^2	0,03	$5,5 \text{ m}^2$
Fensterfront	Isolierverglasung, lange Seite	60 m^2	0,10	6 m^2
Wände	Glattputz	118 m^2	0,03	$3,5 \text{ m}^2$
Tür	Holz	2 m^2	0,06	$0,1 \text{ m}^2$
Decke	Putz	200 m^2	0,03	6 m^2
Essensausgabe*	Marmor	27,8	0,02	$0,6 \text{ m}^2$
4er-Tische	Holz	41 m^2	0,06	$2,5 \text{ m}^2$

* Die Länge der Essensausgabe beträgt 8 m. Für die Berechnung der Fläche S müssen alle Seitenteile und die Oberfläche der Theke wie bei einem Quader addiert werden.

Ausstattung	Material	Anzahl n	Absorptionsfläche Einzelobjekt A_{obj}	Absorptionsfläche $A = n * A_{\text{obj}}$
Stühle	Kunstleder	128	$0,12 \text{ m}^2$	$15,4 \text{ m}^2$

Absorptionsfläche A_{gesamt}

$39,6 \text{ m}^2$

A/V-Verhältnis: $A_{\text{gesamt}} / V = 39,6 \text{ m}^2 / 600 \text{ m}^3 = 0,07 \text{ 1/m}$

Es ergibt sich für diese Kantine ein A/V-Verhältnis von 0,07 1/m. Dieser Wert liegt deutlich unter dem Mindestwert von 0,19 1/m. Die Beschwerden sind nachvollziehbar und es sollte gehandelt werden. Geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsumgebung für das Personal und zur Schaffung einer Umgebung, in der sich die Gäste während ihrer Pausen erholen können, sind in Kapitel 5.2 aufgeführt.

4. Typische Schallabsorber und weitere Maßnahmen

4.1. Absorber

Schallabsorber werden in einen Raum eingebracht, um die Schallausbreitung und Schallreflexionen zu reduzieren. Es gibt unterschiedliche Arten von Absorbern, von denen die meisten nach ihrer Wirkungsweise in zwei große Gruppen eingeteilt werden: poröse Absorber und Resonanzabsorber. Die Eignung eines Absorbers hängt neben der Bauweise, dem Aussehen oder anderen Anforderungen vom Absorptionsgrad in den jeweiligen Frequenzbereichen ab.

Info-Box **Frequenzen in der Sprache**

Schallwellen werden durch Schwingungen erzeugt. Die Frequenz gibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde in Hertz (Hz) an. Je höher die Frequenz, desto höher ist der gehörte Ton. Die Geräusche in unserem Alltag bestehen in der Regel aus einer Mischung vieler Frequenzen. Auch unsere Sprache ist aus vielen Frequenzen zusammengesetzt (Frequenzbereich 100 Hz - 8000 Hz). Die hohen und mittleren Frequenzen, die beim Sprechen erzeugt werden, enthalten die Vokale und Konsonanten. Die tiefen Frequenzen, (unter 250 Hz) enthalten die Grundtöne der menschlichen Stimme. Der Schall in diesem Bereich enthält wenige Sprachinformationen. Wird der Schalldruckpegel in den tiefen Frequenzen reduziert, wird die Sprache in den mittleren und hohen Frequenzen besser verständlich.

4.1.1. Poröse Absorber

Poröse Absorber sind offenporig, so dass der Schall in sie eindringen kann. Durch das Schwingen und damit Reiben der Luftmoleküle in dem Absorber wird die Schallenergie in Wärme umgewandelt. Um die offenporige Struktur zu erhalten, darf ein poröser Absorber nicht abgedeckt oder überstrichen werden.

Poröse Absorber absorbieren gut im hochfrequenten Bereich. Mit ihnen können Geräusche wie Besteck- oder Geschirrklingen verringert werden. Durch dickere Materialien oder mehr Abstand zur Wand oder Decke kann die Absorption bis zu tiefen Frequenzen ausgeweitet werden. Auf diese Weise verbessern die porösen Absorber dann die Sprachverständlichkeit, siehe Info-Box Frequenzen.

Im Folgenden werden einzelne Arten poröser Absorber mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen beispielhaft aufgelistet:

Faserplatten und Akustikschaumplatten

Zu Faserplatten und Akustikschaumplatten zählen poröse Platten aus Steinwolle, Holzwolle, Glaswolle oder Schaumstoff. Diese Absorber absorbieren Schall von tiefen bis zu hohen Frequenzen. Sie werden häufig in Deckenkonstruktionen eingesetzt. Vor allem dort kann mit



Abbildung 50: Kantine mit Faserplatten als Akustikdecke auf einer Unterkonstruktion montiert, Quelle: BGN Mannheim; Foto: Lamprecht



Abbildung 4: Gastraum im Erdgeschoss mit Akustikschaumplatten an der Decke; Quelle: Cantinaccia Heidelberg; Foto: Lamprecht

Akustikplatten eine große absorbierende Fläche geschaffen werden. Die Platten können teilweise direkt an die Wand oder Decke geklebt werden. Durch eine Unterkonstruktion kann ein größerer Wandabstand (60 - 200 mm) realisiert werden. Dadurch kann die Absorption zusätzlich verbessert werden. Ebenfalls möglich ist ein Einsatz als freihängende oder freistehende Elemente im Raum.



Abbildung 5: Gastraum mit Akustikschaumplatten, an der Decke; Quelle: Cantinaccia Heidelberg; Foto: Lamprecht



Abbildung 51: Von der Decke abgehängte Faserplatten im Gastraum; Quelle Bootshaus Mannheim; Foto: Lamprecht

Kantenabsorber

Kantenabsorber werden in den Kanten eines Raumes sowohl waagrecht als auch senkrecht eingebracht. Sie sind freistehend oder als Eckelemente verfügbar. Kantenabsorber können auch fest im Raum installiert werden. Hierfür wird eine Verkleidung wie gelochter Gipskarton oder Holz mit Steinwolle oder Mineralwolle gefüllt. Durch die Anbringung in den Kanten können Kantenabsorber auch dann eingesetzt werden, wenn die Decke nicht großflächig belegt werden soll oder kann. Kantenabsorber wirken besonders gut in den tiefen Frequenzen, solange die Einbautiefe groß genug (mind. 40 cm) ist.



Abbildung 52: Kantenabsorber in einem Berliner Klassenzimmer Foto: Lamprecht

Akustikputz



Abbildung 53: Gaststätte mit Akustikputz an den Wänden, Quelle Fürstenfelder Gastronomie & Hotel GmbH, Fürstenfeldbruck; Foto: Toby Binder

Akustikputze werden meist direkt auf die Wand oder Decke gespritzt oder über Platten aufgetragen. Sie absorbieren den Schall im höheren Frequenzbereich. Bei der Absorption ist die Dicke des Materials und die Porosität entscheidend. Akustikputze dürfen nur mit speziell dafür geeigneter Wandfarbe überstrichen werden.



Abbildung 54: Beispiel für den Aufbau eines Akustikputzes Schritt 1: Aufkleben von porösen Platten (unten), Schritt 2: Verputzen mit speziellem Akustikputz, der wie eine Spachtelmasse aufgetragen und glattgestrichen wird (oben); Quelle Fürstenfelder Gastronomie & Hotel GmbH

Textile Absorber

Textile Absorber wie etwa Akustikvorhänge oder Teppiche absorbieren im mittel- bis hochfrequenten Bereich. Die Absorptionseigenschaften hängen von der Dicke, den jeweiligen Materialeigenschaften sowie von der Anbringung ab. Teppiche auf dem Boden wirken im hochfrequenten Bereich, werden aber in der Gastronomie wegen Verschmutzung wenig eingesetzt.

Da es eine große Auswahl an textilen Absorbern gibt, können sie leicht an individuelle Wünsche angepasst werden. Sie können sowohl als Trennwände genutzt, als auch an Decken oder Wänden angebracht werden.



Abbildung 55: Von der Decke abgehängte textile Absorber; Quelle: Rosso Vivo Mannheim; Foto: Lamprecht

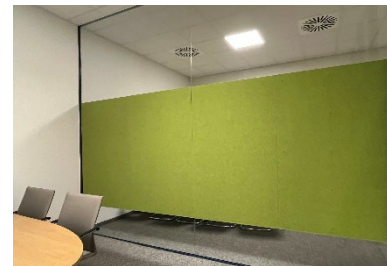


Abbildung 56: Textile Absorber aus Vlies an eine Glasscheibe geklebt; Quelle: BGN Mannheim; Foto: Lamprecht

Weitere Absorber: poröse Absorber

Die komplexe, poröse Struktur von Moos ermöglicht eine effektive Schallabsorption. Moos dämpft in der Regel besonders gut mittlere und hohe Frequenzen, die typischerweise in Innenräumen vorkommen. Moosabsorber eignen sich daher gut zur Verbesserung der Raumakustik. Sie sind eine nachhaltige und natürliche Lösung zur Reduzierung von Lärmbelastung in akustisch anspruchsvollen Umgebungen.

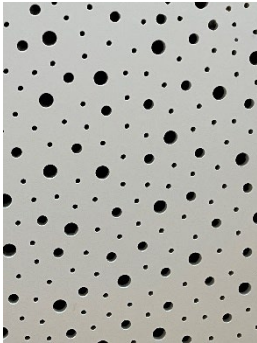


Abbildung 57: Moosabsorber, Quelle: Stern Heidelberg, Foto: Lamprecht

4.1.2. Resonanzabsorber

Bei Resonanzabsorbern trifft der Schall auf eine Platte oder Folie, die dadurch in Schwingung versetzt wird. Durch eine Dämpfung dieser Schwingung wird der Schall absorbiert.

Gelochte und geschlitzte Absorber



Diese Absorber können aus Gipskarton, Holz oder anderen Materialien gefertigt werden. Sie werden vor allem zur Decken- oder Wandgestaltung eingesetzt. Durch eine Füllung aus zusätzlichem porösem Material hinter den Platten kann die Absorption noch deutlich verbessert werden. Die Absorptionseigenschaften werden bestimmt durch den Abstand zur Wand, den Lochanteil im Absorber sowie durch die Füllung.

Abbildung 58: gelochter Absorber an der Decke; Foto Lamprecht



Abbildung 59: Akustikpaneel aus geschlitztem Holz an der Tür und der Theke, Historische Wand in Wellenform zur Schallstreuung im Hintergrund Quelle Bootshaus Mannheim; Foto Lamprecht

Mikroperforierte Absorber

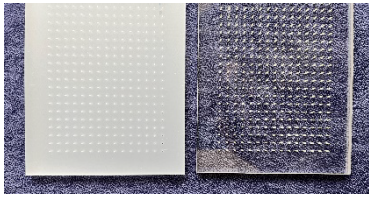


Abbildung 60: Mikroperforierter Absorber aus Makrolon weiß und transparent;

Quelle: Lamprecht

Im Gegensatz zu gelochten Absorbern verfügen mikroperforierte Absorber über nur sehr feine Öffnungen. Sie können aus transparentem Material hergestellt werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, sie auch direkt vor Fenstern oder als lichtdurchlässige Raumteiler einzusetzen. Man kann mikroperforierte Absorber mehrlagig anbringen, wodurch die Absorption zusätzlich verbessert wird.

4.2. Realisierung akustischer Maßnahmen

Sind die störenden Schallquellen gefunden und alle Möglichkeiten zur Geräuschreduzierung ausgereizt, ist es zur Verbesserung der Raumakustik wichtig, geeignete Flächen zu finden, die für Maßnahmen, wie zur Anbringung von Absorbern, genutzt werden können. Dies können die Decke, die Wände, die Fenster oder auch zusätzlich eingebrachte Flächen wie etwa Stellwände sein.

Im Folgenden finden Sie eine Übersicht über die verschiedenen Möglichkeiten zur Anbringung unterschiedlicher Absorptionsmaterialien. Auch eine grobe Kostenabschätzung ist jeweils angegeben (Stand Januar 2024), wobei die genauen Kosten von diversen Faktoren bestimmt werden (Abnahmemenge, Anbringungskosten etc.).

- **Abschirmungen**
Schallquellen wie Kaffeemaschinen oder Besteckkörbe sollten, wenn möglich, räumlich von dem Sitzbereich getrennt werden. Für die räumliche Trennung eignen sich akustisch wirksame Stellwände. Das Klappern von Besteckkörben, Gläsern und Tassen lässt sich durch akustisch wirksame Unterlagen reduzieren.
- **Absorbierende Decke**
Besonders geeignet für die Anbringung eines großflächigen Absorbers ist die Decke, vor allem in größeren Räumen. Eine Akustikdecke kann in unterschiedlichen Varianten realisiert werden. Möglich sind ein abgehängtes Akustiksegel, eine vollflächige schallabsorbierende Decke (besonders wirksam) oder Akustikputz. Durch die große Fläche ist es möglich, besonders viel Schall zu absorbieren. Einfache Akustikdecken starten bei ca. 25 €/m² plus Unterkonstruktion (10 - 12 €/m²). Je nach Ausführung kann der Preis deutlich variieren. Die Materialkosten für Akustikputze belaufen sich auf ca. 110 €/m²
- **Vollflächige schallabsorbierende Akustikdecke**
In Räumen, in denen sich viele Personen aufhalten, wird ein großer Anteil des Störgeräusches durch die Personen selbst erzeugt. Es ist wichtig, nicht zu wenig schallabsorbierendes Material einzubringen und dieses gut im Raum zu verteilen. Eine gute Pegelminderung an jedem Platz wird z.B. durch eine vollflächige Akustikdecke erzielt. Die folgende Tabelle gibt Orientierungswerte dafür, wie viele Quadratmeter der Decken- oder Wandfläche in Abhängigkeit der Grundfläche des Raumes mit Schallabsorbern belegt werden müssen. Hierbei wird von einer Raumhöhe von 3 m ausgegangen. Da unterschiedliche Absorber verschiedene Absorptionsgrade haben, muss nochmals unterschieden werden.

Tabelle 16: Orientierungswerte für die mit Schallabsorbern zu bekleidende Decken- oder Wandfläche für Räume mit unterschiedlichen Grundflächen und für unterschiedliche Absorber bei einer Raumhöhe von 3 m

Grundfläche des Raumes in m ²	Schallabsorptionsgrad des Absorbers a								
	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
100	57	60	63	67	71	76	81	88	95
200	114	120	127	134	143	152	163	175	190
300	171	180	190	201	214	228	244	263	285
400	228	240	253	268	285	304	326	351	380

- **Trennwände**
Die Einrichtung von Nischen im Gastraum steigert nicht nur die Privatsphäre der Gäste und damit die Gemütlichkeit des Raumes, sondern bietet zudem ein gutes Mittel zur akustischen Trennung von Stühlen. Für die Einrichtung von Nischen können akustische Trennwände genutzt werden. Diese bringen zusätzlich zu den Raumbegrenzungsflächen weitere akustisch wirksame Oberflächen in den Raum ein. Es gibt eine Vielzahl von akustischen Trennwänden. Akustisch wirksame Stellwände erhält man ab 85 €/m².
- **Absorbierende Wandmodule**
Besonders viel Gestaltungspotential bieten an die Wand montierte schallabsorbierende Bilder, Moosabsorber, Plattenresonatoren und weitere Wandmodule. Die Fläche von einzelnen schallabsorbierenden Elementen ist allerdings in der Regel zu klein, um als alleinige Maßnahme ausreichend Schall zu reduzieren. Absorbierende Wandmodule eignen sich vor allem als Ergänzung zu weiteren akustischen Maßnahmen. Für ein schallabsorbierendes Modul in der geringsten Dicke muss man mit Kosten ab ca. 80 €/m² rechnen, für Akustikbilder liegen die Kosten bei ca. 180 €/m² und natürliche Moosabsorber beginnen bei ca. 480 €/m².
- **Kantenabsorber**
In kleinen bis mittelgroßen Räumen sind Schallabsorber in den Kanten des Raumes eine gute Möglichkeit, die Pegel der tiefen und mittleren Frequenzen zu senken. Besonders wirksam sind Kantenabsorber, wenn alle drei Raumrichtungen belegt werden und sie mindestens eine Dicke von 0,4 m haben. Sie können auch in Kombination mit einer Sitzbank eingesetzt werden. Die Kosten hängen von der Einbautiefe und der Ausführung ab. Man muss mit einem Preis ab 120 € pro laufendem Meter inklusive Montage rechnen.
- **Vorhänge**
Vorhänge absorbieren vor allem die höheren Frequenzen. Hierbei wirkt eine Faltung des Materials von mindestens 1:3 (vor einem Meter Wand hängen drei Meter Vorhang) besonders effektiv.

5. Fallbeispiele

5.1. Fallbeispiel Gaststätte

Im Folgenden werden zwei Varianten zur Verbesserung der Raumakustik in einer Gaststätte vorgestellt. Das A/V-Verhältnis dieser Beispiel-Gaststätte wurden bereits in Kapitel 3.2 berechnet.

Für jede der beiden Ausstattungsvarianten wird das A/V-Verhältnis der Gaststätte neu berechnet. Durch den Vergleich der Ergebnisse kann die effektivste Maßnahme zur akustischen Optimierung des Raumes gefunden werden.

5.1.1. Gaststätte Variante 1A - Einfügen einer Akustikdecke

Ein besonders großes Potenzial zur Verbesserung der Raumakustik bietet die Decke. Eine vollflächig schallabsorbierende Decke reduziert den Lärm im gesamten Raum. Jeder Sitzplatz profitiert von einer solchen Akustikdecke.

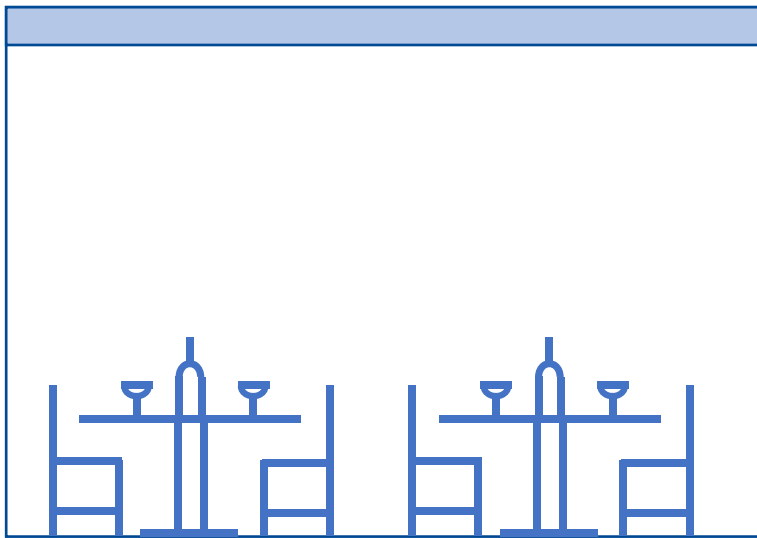


Abbildung 61: Gaststätte mit vollflächiger Akustikdecke

Da sich an der Decke auch Leuchtkörper und Lüftungsklappen befinden, kann die Decke meist nicht zu 100% mit einer Akustikdecke belegt werden. In diesem Beispiel wird mit einer 80%-igen Belegung mit schallabsorbierendem Material gerechnet.

Ausstattung	Material	Fläche S	Mittlerer Absorptionsgrad a	Absorptionsfläche $A = a * S$
Akustikdecke	Faserplatten	80% der Deckenfläche 80 m ²	0,89	71,2 m ²
Decke	Putz	20 % der Deckenfläche 20 m ²	0,03	0,6 m ²

Die ehemals schallharte Decke wird in diesem Beispiel also zu einem schallabsorbierenden Element in der Kantine. Daher muss in der Berechnung der Absorptionsfläche der Wert für die Decke durch den neuen Wert ersetzt werden (80 % Akustikdecke, und 20 % „normale“ Decke). Das Ergebnis ist die neue Absorptionsfläche A:

Absorptionsfläche A_{gesamt}

92,2 m²

$$A / V = 92,2 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^3 = 0,31 \text{ 1/m}$$

Mit einer guten Akustikdecke kann das A/V-Verhältnis in diesem Beispiel auf 0,31 1/m verbessert werden. Dieser Wert liegt somit deutlich über den geforderten 0,19 1/m. Die Materialkosten für eine solche Akustikdecke würden sich auf ca. 5.700 € ohne Montage belaufen.

5.1.2. Gaststätte Variante 1B – Einfügen von Akustikbildern und Kantenabsorbern

Um auch ohne eine Akustikdecke ein ausreichendes Resultat zu erzielen, wurde in einer zweiten Variante eine Kombination aus Akustikbildern und Kantenabsorbern gewählt.

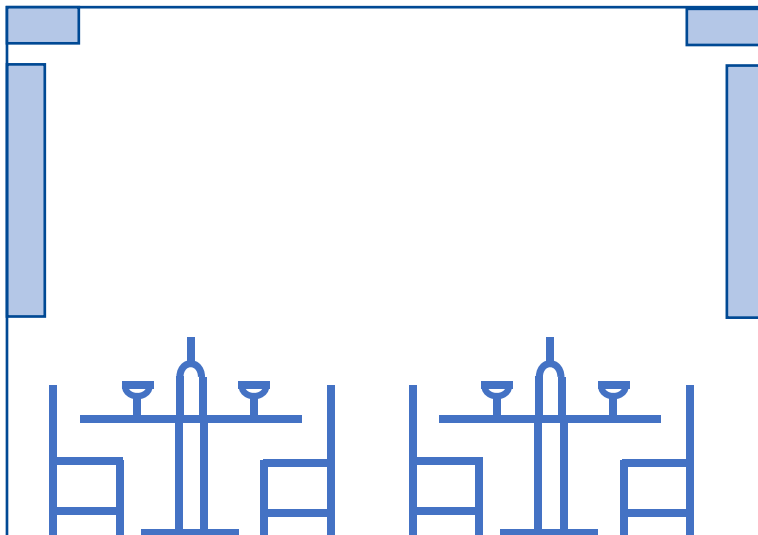


Abbildung 62: Gaststätte mit Kantenabsorbern an der Decke umlaufend sowie in einer vertikalen Kante und Akustikbildern

Dies sind im Einzelnen drei gestaltbare Akustikbilder (je 2 m²) an den Wänden und umlaufend in der oberen Kante zwischen Wand und Decke ein Kantenabsorber (Breite 0,4 m, Tiefe 0,5 m) sowie ein weiterer Kantenabsorber an einer Kante senkrecht vom Boden bis zur Decke. Die Kantenabsorber bestehen im Beispiel aus gelochtem Gipskarton mit einer Füllung aus Mineralwolle.

Ausstattung	Material	Fläche S	Mittlerer Absorptionsgrad a	Absorptionsfläche $A = a \cdot S$
Akustikbilder	Polyestervlies	3*2 m ²	0,75	4,5 m ²
Kantenabsorber	Gelochter Gipskarton, Mineralwolle-Füllung	36,7 m ²	0,85	31,2 m ²

Absorptionsfläche A_{gesamt}

59,1 m²

$$A / V = 59,1 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^3 = 0,20 \text{ 1/m}$$

Durch die Kombination dieser Maßnahmen wird ein A/V-Verhältnis von 0,20 1/m erreicht, was dem geforderten Mindestwert entspricht. Die Kosten für diese Absorber belaufen sich auf ca. 5.500 € mit Einbau der Kantenabsorber.

5.1.3. Vergleich der Varianten 1A und 1B zur akustischen Sanierung einer Gaststätte

Die beiden Varianten können nun hinsichtlich des A/V-Verhältnisses, der Kosten und anderer Vor- und Nachteile verglichen werden

	Ohne Maßnahme	Variante 1A Akustikdecke	Variante 1B Akustikbilder und Kantenabsorber
A/V in 1/m	0,08	0,31	0,20
Kosten ca.	-	5.700 € + Montage	5.500 € mit Einbau
Vorteile		Besonders wirksam (hohes A/V-Verhältnis) Jeder Sitzplatz profitiert gleichermaßen von der Akustikdecke	Individuell gestaltbare Akustikbilder Kantenabsorber verlaufen umlaufend an der Decke
Nachteile		Montageaufwand Z.B. Lüftungs-, Beleuchtungs- und Brandschutzeinrichtungen müssen integriert werden	Die Anzahl der Sitzplätze kann durch die senkrechten Kantenabsorber reduziert werden Einbau von Kantenabsorbern vor Fenstern teilweise schwierig

5.2. Fallbeispiel Kantine

Im Folgenden werden zwei Varianten zur Verbesserung der Raumakustik in einer Kantine vorgestellt. Das A/V-Verhältnis dieser Beispiel-Kantine wurden bereits in Kapitel 3.3 berechnet.

Für jede der beiden Ausstattungsvarianten wird das A/V-Verhältnis der Kantine neu berechnet. Durch den Vergleich der Ergebnisse kann die effektivste Maßnahme zur akustischen Optimierung des Raumes gefunden werden.

5.2.1. Kantine Variante 2A - Einfügen einer Akustikdecke

Ein besonders großes Potenzial zur Verbesserung der Raumakustik bietet die Decke. Eine vollflächig schallabsorbierende Decke reduziert den Lärm im gesamten Raum. Jeder Sitzplatz profitiert von einer solchen Akustikdecke.

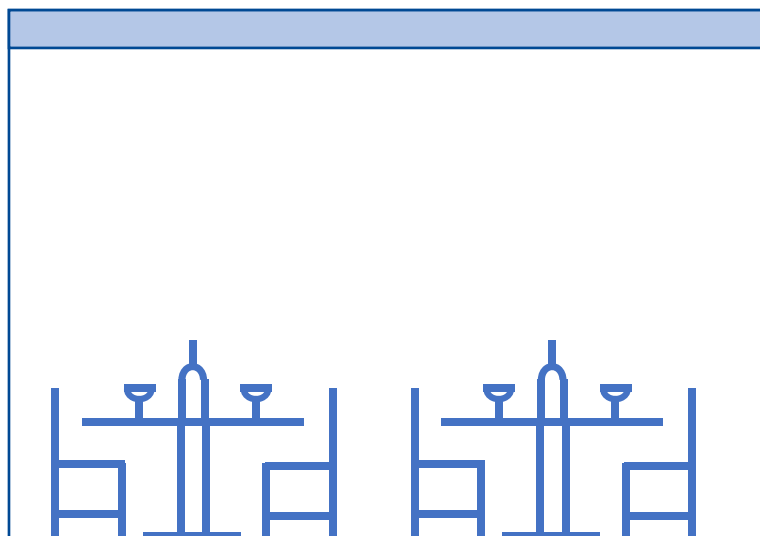


Abbildung 63: Kantine mit vollflächiger Akustikdecke

Da sich an der Decke auch Leuchtkörper und Lüftungskappen befinden kann die Decke meist nicht zu 100% mit einer Akustikdecke belegt werden. Es wird in diesem Beispiel mit einer 80%-igen Belegung mit schallabsorbierendem Material gerechnet.

Ausstattung	Material	Fläche S	Mittlerer Absorptionsgrad a	Absorptionsfläche $A = a * S$
Akustikdecke	Faserplatten	80% der Deckenfläche 160 m ²	0,89	142 m ²
Decke	Putz	20 % der Deckenfläche 40 m ²	0,03	1,2 m ²

Die ehemals schallharte Decke wird in diesem Beispiel also zu einem schallabsorbierenden Element in der Kantine. Daher muss in der Berechnung der Absorptionsfläche der Wert für die Decke durch den neuen Wert ersetzt werden (80 % Akustikdecke, 20 % „normale“ Decke). Das Ergebnis ist die neue Absorptionsfläche A:

Absorptionsfläche A_{gesamt}

176,8 m²

A/V-Verhältnis: $A_{\text{gesamt}} / V = 176,8 \text{ m}^2 / 600 \text{ m}^3 = 0,29 \text{ 1/m}$

Mit einer guten Akustikdecke kann das A/V-Verhältnis in diesem Beispiel auf 0,29 1/m verbessert werden. Dieser Wert liegt somit deutlich über den geforderten 0,19 1/m. Die Kosten für eine solche Akustikdecke würden sich auf ca. 11.000 € ohne Montage belaufen.

5.2.2. Kantine Variante 2B – Einfügen von Akustikbildern und Stellwänden

Um auch ohne eine Akustikdecke ein ausreichendes Ergebnis zu erzielen, wurde in einer zweiten Variante eine Kombination aus Nischenbildung mit Stellwänden und dem Einsatz von Akustikbildern gewählt.

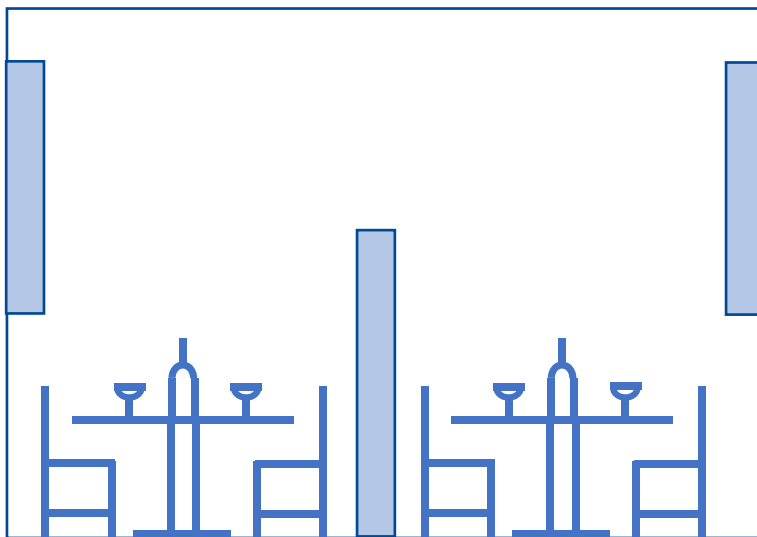


Abbildung 64: Kantine mit Nischenbildung und Akustikbildern

Dafür wurden Stellwände (24*2 m²) aufgestellt sowie sechs individuell gestaltbare Akustikbilder (je 2 m²) an den Wänden angebracht.

Ausstattung	Material	Fläche S	Mittlerer Absorptionsgrad a	Absorptionsfläche $A = a \cdot S$
Akustikbilder	Polyestervlies	6*2 m ²	0,75	9 m ²

Ausstattung	Material	Anzahl n	Absorptionsfläche Einzelobjekt A _{obj}	Absorptionsfläche $A = n \cdot A_{obj}$
Stellwände	Polyesterfasern	24	2,65 m ²	63,6 m ²

Bringt man also die Stellwände und die Akustikbilder in den Raum ein, so ergibt sich eine Absorptionsfläche von:

Absorptionsfläche A_{gesamt}

112,2 m²

A/V-Verhältnis: $A_{gesamt} / V = 112,2 \text{ m}^2 / 600 \text{ m}^3 = 0,19 \text{ 1/m}$

Durch Stellwände und Akustikbilder erreicht das A/V-Verhältnis also einen Wert von 0,19 1/m und entspricht somit ebenfalls dem geforderten Mindestwert von 0,19 1/m. Die Kosten für diese Absorber belaufen sich auf ca. 12.000 €.

5.2.3. Vergleich der Varianten 2A und 2B zur akustischen Sanierung einer Kantine

Nun kann man die beiden Varianten in Hinblick auf das A/V-Verhältnis, die Kosten sowie die sonstigen Vor- und Nachteile miteinander vergleichen:

	Ohne Maßnahme	Variante 2A Akustikdecke	Variante 2B Akustikbilder und Stellwände
A/V in 1/m	0,07	0,29	0,19
Kosten ca.		11.000 € + Montage	12.000 €
Vorteile		Besonders wirksam (hohes A/V-Verhältnis) Jeder Sitzplatz profitiert gleichermaßen von der Akustikdecke	Es gibt besonders leise Plätze Mehr Privatsphäre durch Nischenbildung Individuell gestaltbare Akustikbilder
Nachteile		Montageaufwand Z.B. Lüftungs-, Beleuchtungs- und Brandschutzeinrichtungen müssen integriert werden	Die Anzahl der Sitzplätze kann durch die Stellwände reduziert werden

6. Berechnungsblatt zum A/V-Verhältnis:

Ausstattung	Material	Fläche S	Mittlerer Absorptionsgrad a	Absorptionsfläche $A = a \cdot S$

Ausstattung	Material	Anzahl n	Absorptionsfläche Einzelobjekt A_{obj}	Absorptionsfläche $A = n \cdot A_{obj}$

Absorptionsfläche A_{gesamt}

A/V-Verhältnis: $A_{gesamt} / V = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2 / \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ 1/m}$

In der Praxis ist jeder Gastraum einzigartig. Daher sind auch die Anforderungen und die damit verbundenen Lösungen individuell. Dieser Leitfaden bietet einen ersten Überblick über Möglichkeiten zur akustischen Sanierung von Räumen im Gastronomiebereich. Bei tiefergehenden Problemen oder Detailfragen wenden Sie sich an die FSA e.V. oder an ein Ingenieurbüro.

Impressum

Leitfaden Raumakustik in Gaststätten und Kantinen

Dipl. Phys. Janna Lamprecht

FSA e.V.

Dynamostr. 7-11

68165 Mannheim

Literaturverzeichnis

- [1] DGUV Information 215-443, 2021.
- [2] IFA, „IFA-Raumakustikrechner,“ [Online]. Available: <https://www.dguv.de/ifa/praxishilfen/praxishilfen-laerm/laermmessung-und-laermminderung/software-raumakustik-in-unterrichtsraeumen/index.jsp>.
- [3] „Lärm-Akustik-Belastungen in Schulen,“ *UK NRW*.
- [4] Wilczek, „Zum Einfluss der Akustik auf die Qualität von Restaurants. eine Feldstudie,“ *DAGA*, 2020.
- [5] BGN, „Kein Stress mit dem Stress Lösungen und Tipps für Betriebe im Gastgewerbe“.
- [6] *DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen*, 2016-03.
- [7] J. Lamprecht und H. V. Fuchs, *Zur Wirkungsweise von Kanten-Absorbern in kleinen bis mittelgroßen Räumen*, *DAGA*, 2012.
- [8] J. Lamprecht und S. Radandt, „Untersuchung innovativer Schallabsorber,“ 2012.
- [9] H. V. Fuchs, J. Lamprecht und X. Zha, *Zur Steigerung der Wirkung passiver Absorber: Schall in Raumkanten schlucken!*, *Gesundheitsingenieur*, 2012.
- [10] H. V. Fuchs, J. Lamprecht und X.Zha, *Erfahrungen mit innovativen Kanten-Absorbern in kommunikativ genutzten Räumen*, *DAGA*, 2012.
- [11] H. V. Fuchs, J. Lamprecht und X. Zha, *Lärmbekämpfung in Bildungsstätten: Kanten-Absorberfür besseres Verstehen und Lernen*, *Lärmbekämpfung*, 2012.
- [12] C. Santer, G. Graber und E. e. a. Kurz, *Messung und Berechnung von Kantenabsorbern*, 2021.
- [13] J. Lamprecht und S. Radandt, „Innovative Schallabsorber für kommunikationsintensiv genutzte Räume, Schulen und Kitas,“ 2016.
- [14] *ASR A 3.7 Lärm*, 2021-03-24 .
- [15] C. Nocke, „ASR A3.7 - Akustik nach Arbeitstättenverordnung,“ *Lärmbekämpfung Bd.13*, 2018.
- [16] C. Nocke, „Memorandum zur ASR A3.7 „Lärm“ und den anerkannten Regeln der Technik in der Raumakustik,“ *DEGA*, 2021.
- [17] *DIN EN ISO 3382-2 Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen*, 2008.
- [18] *VDI 3760 Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen*, 1996-02.

[19] *TRLV Lärm Teil 3*, 2017-08.

[20] *DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen*, 2004-05.

[21] Goossens, „Impulsquellen zur Nachhallzeitmessung,“ *DAGA*.

[22] J. Lamprecht und S. Radandt, *Innovative Schallabsorber für kommunikationsintensiv genutzte Räume, Schulen und Kitas*.