



## Abschlussbericht

# Untersuchung innovativer Schallabsorber im industriellen Umfeld

Dipl.-Phys. **J. Lamprecht** FSA, Mannheim  
Prof. **S. Radandt** FSA, Brühl

Projekt-Nr.: F-03-0901

Datum: 13.09.2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Innovative Schallabsorber</b> .....	<b>2</b>
1.1 <i>Verbundplatten-Resonator</i> .....	3
1.2 <i>Breitbandkompakt-Absorber</i> .....	4
1.3 <i>Mikroperforierte Absorber</i> .....	5
1.4 <i>Kanten-Absorber</i> .....	7
1.5 <i>Geschlitzte Absorber</i> .....	8
<b>2 Hygienic Design</b> .....	<b>10</b>
2.1 <i>HACCP</i> .....	10
2.2 <i>Rechtliche Grundlagen</i> .....	10
2.2.1 <i>EG-Verordnungen</i> .....	10
2.2.2 <i>Lebensmittelhygieneverordnung (LMHV)</i> .....	10
2.2.3 <i>Hygieneleitlinien</i> .....	11
2.2.4 <i>HACCP-Konzept</i> .....	11
2.3 <i>Hygienic Design von Maschinen</i> .....	11
2.4 <i>Einteilung der Hygienebereiche</i> .....	11
2.5 <i>Konstruktionsdetails</i> .....	11
2.5.1 <i>Konstruktionswerkstoffe</i> .....	11
2.5.2 <i>Oberflächen</i> .....	12
2.5.3 <i>Feste und lösbare Verbindungen</i> .....	12
2.5.4 <i>Abfluss von Flüssigkeiten</i> .....	12
2.5.5 <i>Innere Ecken, Winkel und Rillen</i> .....	12
2.5.6 <i>Toträume</i> .....	12
<b>3 Akustische Sanierung der BGN-Kantine</b> .....	<b>13</b>
3.1 <i>Bedarf</i> .....	13
3.2 <i>Bestand</i> .....	13
3.3 <i>Messung</i> .....	14
3.4 <i>Maßnahmen</i> .....	17
3.5 <i>Messung</i> .....	18
3.6 <i>Computersimulation</i> .....	21
3.7 <i>Zusammenfassung der Ergebnisse</i> .....	22
<b>4 Akustik in kommunikationsintensiv genutzten Räumen</b> .....	<b>24</b>
<b>5 Der Kanten-Absorber</b> .....	<b>26</b>
5.1 <i>Untersuchung an Kanten-Absorbern im Hallraum</i> .....	26
5.2 <i>Vorteile von Kanten-Absorbern</i> .....	30

5.3	<i>Praxisbeispiel</i> .....	33
5.4	<i>Kanten-Absorber in hygienisch sensiblen Bereichen?</i> .....	35
<b>6</b>	<b>Untersuchungen von SonoPerf A im Hallraum</b> .....	<b>36</b>
6.1	<i>Referenzmessungen</i> .....	36
6.2	<i>SonoPerf A als Kanten-Absorber</i> .....	37
6.3	<i>Vergleich von Kanten-Absorbern mit SonoPerf A-Kanten-Absorbern</i> .....	39
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick</b> .....	<b>41</b>
7.1	<i>Fazit</i> .....	41
7.2	<i>Ausblick</i> .....	42
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>43</b>

# Zusammenfassung

Mit der EU-Richtlinie 2003/10/EG sind die Zielstellungen an den Lärmschutz in Betrieben noch einmal erhöht worden. Die Einhaltung dieser Richtlinie gestaltet sich insbesondere in den Betrieben der Nahrungsmittelindustrie, in denen hohe Ansprüche an die Hygiene herrschen, als schwierig. Dort können konservative Schallabsorber nicht eingesetzt werden, da diese nicht den hygienischen Ansprüchen genügen. In dem Projekt F-03-0901 wurde die Tauglichkeit von unterschiedlichen innovativen Absorbern für den Einsatz im industriellen Umfeld, mit besonderem Blick auf hygienische Aspekte, untersucht. Einen ersten Einsatz fanden innovative Absorber, der Verbundplatten-Resonator und der Breitbandkompakt-Absorber, in der BGN-Kantine [1]. Die signifikante Verbesserung der akustischen Situation konnte durch vorher-nachher Messungen der Nachhallzeit, der Schallausbreitungskurven und der Schalldruckpegel quantifiziert werden. Neben hohen Kosten bleibt die Modifikation entsprechend hygienischer Anforderungen ein Problem der innovativen Absorber. Der Kanten-Absorber wurde aufgrund seiner relativ geringen Kosten und seiner platzsparenden Anbringung für eine Parameterstudie im Hallraum ausgewählt und untersucht. Systematische Messungen im Hallraum identifizierten optimierte Bauweisen des Kanten-Absorbers und es ergab sich eine bis dato unbekannte, wirksame Konfiguration mit einem Kanten-Absorber, der nicht direkt in der Kante des Raums angebracht ist [2, 3]. Weitere Messungen zeigten, dass der Kanten-Absorber für den Einsatz in hygienisch anspruchsvollen Bereichen mit Folie bezogen werden kann, ohne seine Wirksamkeit in den tiefen Frequenzen zu verlieren. In einer zweiten Messstudie konnte die Tauglichkeit von SonoPerf A, einem Absorptionsmaterial aus der Klasse der mikroperforierten Absorber, als Möglichkeit in hygienisch sensiblen Bereichen bestätigt werden, allerdings mit einem geringeren Absorptionsgrad im Vergleich zu den anderen untersuchten, innovativen Absorbern.

Der Einsatz von innovativen Absorbern in hygienisch anspruchsvollen Bereichen stellt sich aufgrund ihrer Konstruktionsweise und ihren Kosten weiterhin als schwierig heraus. Besonders bei Problemen in tiefen bis mittleren Frequenzen in nicht zu großen Räumen kann der in Folie verpackte Kanten-Absorber als Lösung dienen. Auch die Verwendung von mikroperforierten Absorbern, wie SonoPerf A, kann in hygienischen Bereichen empfohlen werden. Die systematische Optimierung des Kanten-Absorbers ermöglicht einen kostengünstigen und flexiblen Einsatz auch in anderen Bereichen, wie zum Beispiel kommunikativ genutzten Räumen. Insbesondere die abgerückte Bauweise eröffnet hier viele neue Möglichkeiten der Raumakustik mit dem Kanten-Absorber als akustisches Element, das sich ansprechend und funktional zum Beispiel als Sitzbank oder mit indirekter Beleuchtung in den Raum integrieren lässt.

# 1 Innovative Schallabsorber

Die Bandbreite an innovativen Schallabsorbern wächst stetig. Es werden den räumlichen, hygienischen und Kosten abhängigen Umständen innovative Absorber für unterschiedliche Frequenzen entwickelt. In diesem Kapitel wird eine Auswahl der innovativen Schallabsorber vorgestellt.

Im Jahr 1995 entwickelte Prof. Fuchs und sein Team im Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart einen neuartigen breitbandigen hochwirksamen Resonatorbaustein, der die vom Schallfeld in einer bis zu 3 mm dicken Stahlplatte angeregten Schwingungen mit einer Dämpfung innovativ miteinander verbindet. Die so kreierte Verbundplatten-Resonatoren und Breitbandkompakt-Absorber absorbieren zwischen 63 und 8000 Hz vollständig bei einer Bautiefe von nur 100 mm. Breitbandkompakt-Absorber kombinieren in einem kompakten Bauteil mittels mehrerer physikalischer Verfahren die Absorption tiefer, mittlerer und hoher Frequenzen. Die Besonderheit gegenüber konventionellen Absorbern liegt dabei insbesondere in der Dämpfung tiefer Frequenzen bei sehr bescheidener Baugröße.

Diese Innovation wurde 2004 in Monaco mit dem Europäischen Innovationspreis bedacht. Die neuen Absorber sind in zahlreichen Büroumfeldern mit großem Erfolg eingesetzt worden. Für Einsätze im industriellen Umfeld gibt es bislang nur wenige Beispiele.

Eine weitere Innovation im Bereich des Schallschutzes sind die mikroperforierten Absorber. Sie bestehen aus dünnen Platten oder auch transparenten Folien mit Bohrungen von deutlich weniger als 1 mm Durchmesser. Mit diesen Bauteilen können sogar schallharte Glasfronten nahezu unsichtbar akustisch wirkungsvoll behandelt werden. Sie schaffen damit Schallabsorptionsflächen an Wänden, die bislang überhaupt nicht zu behandeln waren (z. B. Fensterfronten).

Ein weiterer Absorber, der hauptsächlich in Räumen genutzt wird in denen die Kommunikation im Vordergrund steht, ist der Kanten-Absorber. Dieser zeichnet sich durch seine geschickt gewählte Lage im Raum aus. Kanten-Absorber befinden sich in den Raumkanten, in denen sich eine Drucküberhöhung des Schalls befindet. Durch Ausnutzung dieses Effektes absorbieren Kanten-Absorber besonders effizient an dieser Stelle. Ihre hohe Wirksamkeit im gesamten Frequenzbereich, besonders aber bei den Tiefen, unterstützt die Verständlichkeit von Sprache und die Klarheit von Musik. Die Absorber nehmen ein minimales Volumen in einem Raumbereich in Anspruch, der in der Regel für keinen anderen Zweck genutzt wird und keiner anderen Installation im Wege ist, weil jene in ihrem Inneren „versteckt“ werden können. Sowohl geschlossene Platten, als auch Lochplatten können einfach vor Ort aus Gipskarton, aber ebenso auch aus Holz, Metall oder Kunststoff gefertigt werden. Sie dienen dem Kanten-Absorber als Verkleidung. Im Gegensatz zu vielen Akustik-Paneelen und -Putzen lassen sie sich leicht reinigen und bei einer Renovierung einfach überstreichen, ohne dass ihre Wirksamkeit darunter leidet.

## 1.1 Verbundplatten-Resonator

Der Verbundplatten-Resonator nutzt das Masse-Feder-Prinzip, kann aber zusätzlich zu verschiedenen Biegeschwingungen angeregt werden [3]. Dazu muss eine massive Platte (Stahlplatte der Dicke 0,5 bis 3 mm) möglichst frei schwingbar und damit anregbar gelagert werden, gleichzeitig aber sowohl Schwingungen der Platte bei der Masse-Feder-Resonanz als auch bei den angeregten Biegeschwingungen gedämpft werden. Dies wird durch eine Elastomerschicht umgesetzt, die direkt hinter der Frontplatte befestigt ist.

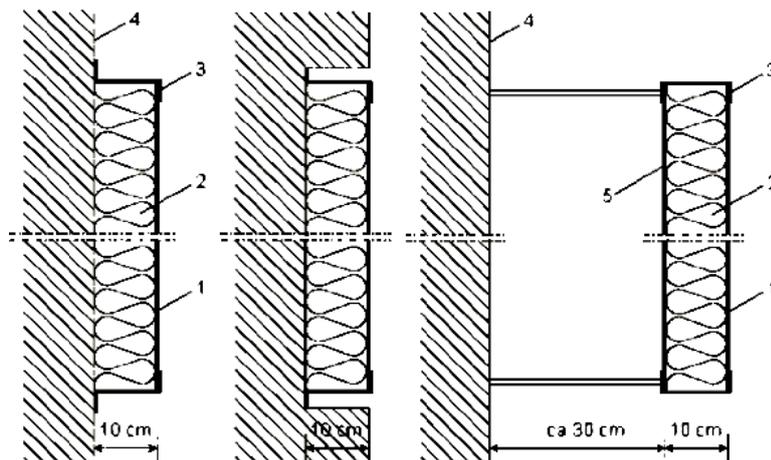


Abbildung 1 Prinzipskizze eines Verbundplatten-Resonators, Aufbau aus Stahlblech und porösem Material, Skizze aus Fuchs, Schallabsorber und Schalldämpfer

Gegenüber dem klassischen Platten-Resonator unterscheidet sich der neuartige Verbundplatten-Resonator (VPR) durch:

- Eine sehr geringe Bautiefe von höchstens 100 mm (Frequenzbereich von 31 bis 125 Hz)
- Große zusammenhängende absorbierende Flächen
- Ungleiche Kantenlängen zur Absorption unterschiedlicher Frequenzen
- Elastische Verbindungen zwischen der Stahlplatte und der porösen Dämpfungsschicht
- Eine Wand- oder Deckenbefestigung, die der Platte freies Schwingen ermöglicht



Abbildung 2 Verbundplatten-Resonator in einem Büro, Quelle Fa. Renz Solutions

Vorteile des VPR sind durch seine gute Absorption in den tiefen Frequenzen gegeben, wobei die visuelle Erscheinung des VPRs auf Grund seiner geringen Einbautiefe und seiner glatten Oberfläche zusätzlich flexibel gestaltet werden kann (entweder versteckt oder sichtbar z. B. als Tafel, Spiegel, Projektionsfläche oder sogar als künstlerisch nutzbare Fläche für Bilder und Malerei). Im Gegensatz dazu fällt die Absorption zum mittleren Frequenzbereich ab. Ferner sind die Anschaffungskosten des VPRs relativ hoch.

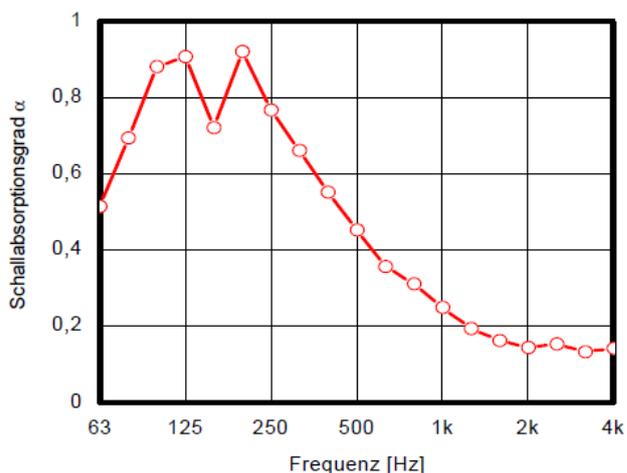


Abbildung 3 Schallabsorptionsgrad eines Verbundplatten-Resonators, sehr gute Absorptionswerte im tiefen- bis mittelfrequenten Bereich, Abbildung von Fa. Renz Solutions

## 1.2 Breitbandkompakt-Absorber

Eine Weiterentwicklung des VPRs ist der Breitbandkompakt-Absorber (BKA), der ebenfalls mittels einer schwingenden Stahlplatte absorbiert. Im Gegensatz zum VPR ist diese jedoch nicht nur auf einer faserigen oder porösen Schicht angebracht, sondern noch zusätzlich mit einer absorbierenden Schicht bedeckt. Dies führt zu einem hohen Absorptionsgrad auch in den mittleren bis hohen Frequenzen.



Abbildung 4 Breitband-Kompaktabsorber in der BGN-Kantine in Mannheim

Der BKA erreicht somit eine breitbandige Absorption mit einem Absorptionsgrad nahe eins in dem gesamten Bereich von 50 Hz bis 3 kHz, der nur zu den tiefen Frequenzen (< 150 Hz) niedriger als der des VPRs ist. Üblicherweise ist der BKA mit einer akustisch transparenten Schicht eingepackt. Durch diese Verkleidung des BKAs, die als glatte, perforierte Oberfläche

ausgebildet sein kann, hat dieser bezüglich des Raumdesigns die gleichen Vorteile wie der VPR. Der BKA hat jedoch genau wie der VPR einen hohen Anschaffungspreis.

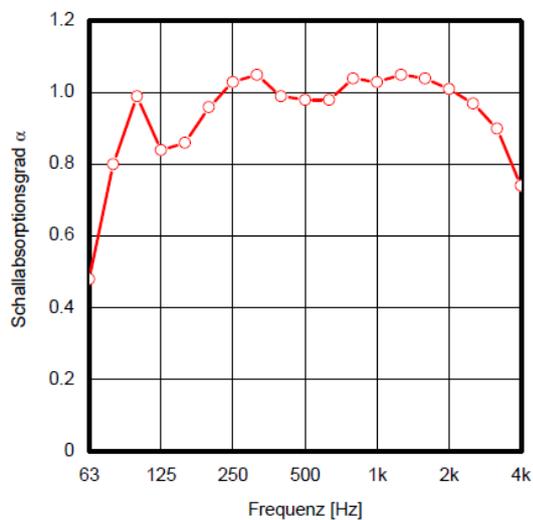


Abbildung 5 Schallabsorptionsgrad eines Breitband-Kompaktabsorbers, sehr gute breitbandige Absorption, Abbildung von Fa. Renz Solutions

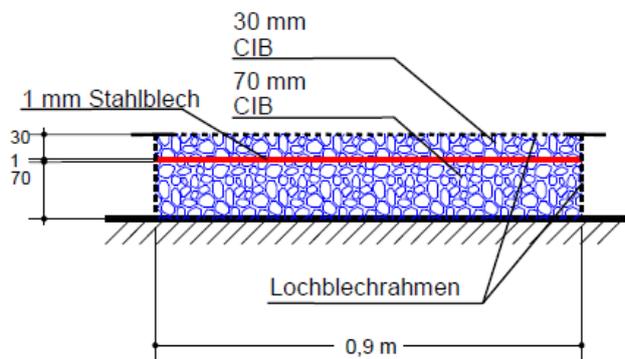


Abbildung 6 Prinzipskizze eines Breitband-Kompaktabsorbers, Aufbau aus Stahlblech und porösem Material, Abbildung von Fa. Renz Solutions

## 1.3 Mikroperforierte Absorber

Mikroperforierte Absorber (MPA) kommen im Gegensatz zu den oben vorgestellten, innovativen Schallabsorbern ohne poröse Dämpfungsmaterialien aus. Sie nutzen das Prinzip der Reibung des Luftstroms in kleinen Bohrungen oder Schlitzen und gehen weit zurück auf eine Idee von D.-Y. Maa (1975) [4].



Abbildung 7 Mikroperforierter Absorber, deutlich zu sehen sind die Bohrungen

MPAs bestehen aus einem gelochten Material mit in der Regel dahinterliegender, schallharter Wand. Im Vergleich zu konventionellen Lochflächen-Absorbern, die Bohrungen mit einem Radius  $r_0$  im Bereich von  $2 < r_0 < 25$  mm besitzen, wirkt ein MPA mit vielen Bohrungen des Radius  $0.05 < r_0 < 5$  mm. Dabei wird die Abmessung der Bohrungen klein genug gewählt, dass sie von der Größenordnung der akustischen Grenzschicht einer gleichmäßig, schichtweise gleitenden Strömung in den Löchern ist. Der MPA funktioniert nach dem Prinzip des Helmholtz Resonators, wobei sich in den Bohrungen laminare Strömungen bilden und der Schall durch die hierbei entstehende Reibungswärme absorbiert wird. Die Luft schwingt in den nebeneinander angeordneten Bohrungen als Masse, während das Luftpolster zwischen der Platte mit den Bohrungen und einer schallharten Rückwand als Feder fungiert.

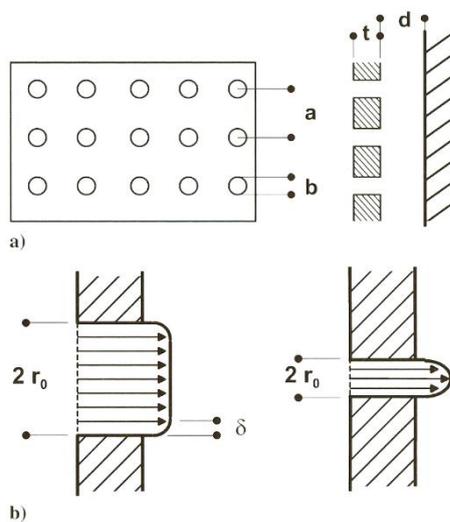


Abbildung 8 a) Prinzipskizze des Mikroperforierten Absorbers; b) Vergleich Schnelleverteilung zwischen großen und kleinen Bohrungen; Skizze aus Fuchs, Schallabsorber und Schalldämpfer

Die maximale Anregung des MPA liegt bei der Resonanzfrequenz des Helmholtz-Resonators und das Absorptionsverhalten hängt stark von der gewählten Lochgröße ab. Zu große Löcher verhindern eine effektive Dämpfung, während zu klein gewählte Löcher eine effektive Anregung bei der Resonanzfrequenz verhindern. Bei korrekt gewählter Lochgröße absorbiert der MPA breitbandig um die Resonanzfrequenz.

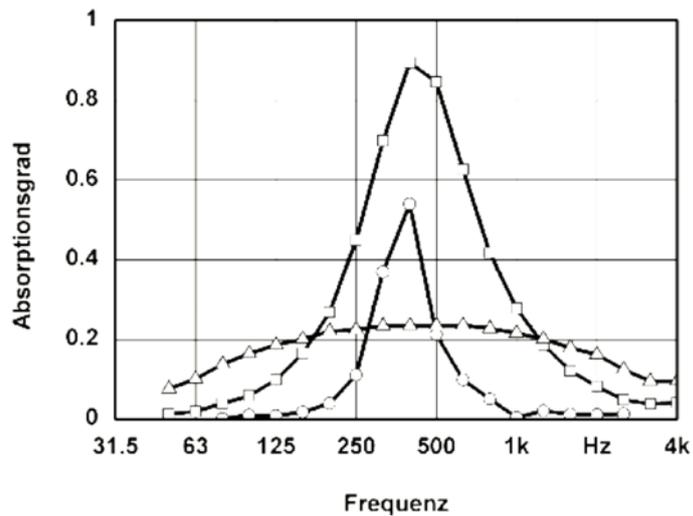


Abbildung 9 Einfluss der Lochgröße auf den Absorptionsgrad eines Mikroperforierten Absorbers,  $\circ r_0 = 1,5$  mm,  $\square r_0 = 0,27$  mm,  $\triangle r_0 = 0,07$  mm; Abbildung von Fuchs, Schallabsorber und Schalldämpfer.

Der MPA erlaubt die Verwendung von vielen unterschiedlichen Materialien zur Realisierung von akustisch wirksamen Bauelementen. So ist es zum Beispiel möglich MPAs aus schallharten Platten aus Kunststoff, PVC oder Holz herzustellen, die ansonsten einer guten Raumakustik abträglich sind. Auch das Herstellen von MPA-Folien ist möglich und wird unter anderem in der Kraftfahrzeugindustrie genutzt. Eine relativ hohe Absorption in tiefen Frequenzen ist mit einem MPA höchstens mit großer Bautiefe zu erreichen. Obwohl der MPA sich nassreinigen lässt, stellt sich für den Einsatz in hygienisch anspruchsvollen Bereichen die Frage, ob auch ein gutes Trocknen gewährleistet werden kann und ob die Stabilität der Platten mit den Bohrungen weiterhin gewährleistet ist.

## 1.4 Kanten-Absorber

Die Idee des Kanten-Absorbers stammt ursprünglich aus dem Bereich des Tonstudios. Hier werden schon seit einiger Zeit Kanten-Absorber aus z. B. Polyester, meist in einer dreieckigen Variante, in die Ecken und Kanten des Raumes gestellt, um ungewünschte Reflexionen und Dröhnen von tiefen Frequenzen zu verhindern. Eine Weiterentwicklung dieser Absorber stellen Kanten-Absorber aus Mineralwolle in einem Kasten aus schallundurchlässigem und schalldurchlässigem Material, wie z. B. Gipskarton und gelochtem Gipskarton, dar, die fest im Raum installiert werden.



Abbildung 10 Kanten-Absorber in einer Schule in Berlin

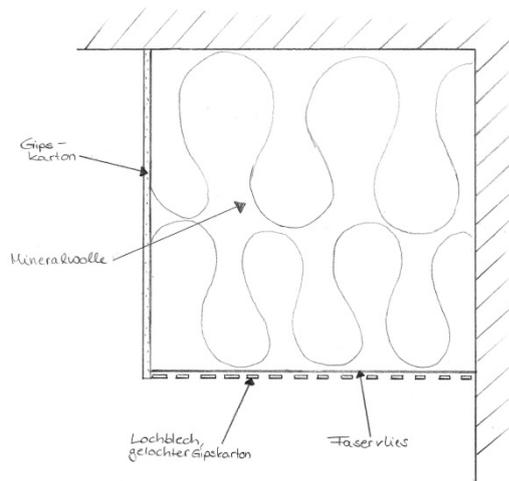


Abbildung 11 Prinzipskizze des Aufbaus eines Kanten-Absorbers

Bei Kanten-Absorbern wird der Effekt der Drucküberhöhung in den Ecken und Kanten des Raumes ausgenutzt. In diesen Bereichen ist die Energie besonders hoch, die durch das Einbringen von geeignetem Dämpfungsmaterial absorbiert werden kann. Die Ausnutzung dieses Effektes führt bei ausreichender Absorbergröße zu einer besonders hohen Wirksamkeit der Kanten-Absorber in den tiefen Frequenzen. Durch die Menge an porösem Material, die in den Raum gebracht wird, absorbiert der Kanten-Absorber auch in den mittleren bis hohen Frequenzen breitbandig, in denen wegen der kurzen Wellenlänge der Effekt der Drucküberhöhung fast keine Rolle spielt.

Kanten-Absorber können gut genutzt werden

- wenn der Absorber dem Raum angepasst werden muss
- wenn eine vollflächige Akustikdecke ausscheidet
- in Räumen in denen Sprechen und Verstehen wichtig ist
- in Kombination mit indirekter Beleuchtung
- in Kombination mit mechanischer Raumlüftung

Kanten-Absorber können bei Renovierungsarbeiten mit gestrichen werden und verschwinden so in der Deckenstruktur. Eine Individuelle Anpassung an den jeweiligen Raum wird von einem Trockenbauer vorgenommen.

### 1.5 Geschlitzte Absorber

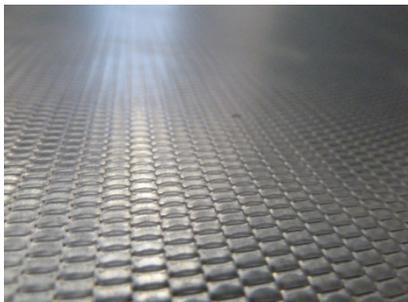


Abbildung 12 Aufsicht auf ein metallisches geschlitztes Blech

Geschlitzte Absorber aus Werkstoffen wie Stahl, Aluminium oder Edelstahl nach der Funktionsweise von MPAs haben in hygienisch sensiblen Bereichen viele Vorteile. So absorbiert diese Art von Absorbern durch Schlitze  $< 0,14$  mm breitbandig mit einem Absorptionsgrad um 0,4. Durch die Kombination von mehreren Schichten kann dieser noch verbessert werden, aber erreicht nicht den Bereich um eins, in dem der Absorptionsgrad der anderen vorgestellten innovativen Absorbern liegen kann.

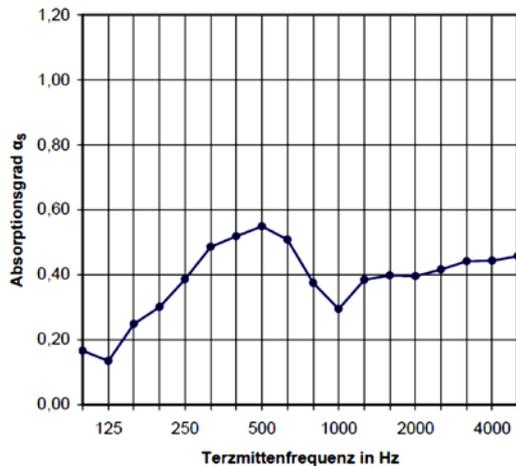


Abbildung 13 SonoPerf A einlagig liegend, Abstand 200 mm, ohne Vlies, ohne Hohlraumbedämpfung, Quelle Jansen Maritim

Ohne weitere Hohlraumbedämpfung lässt sich ein solches mikrogeschlitztes Blech gut nass reinigen und bietet damit auch in hygienisch anspruchsvollen Bereichen eine Möglichkeit Schall zu absorbieren. Es ist faserfrei und hitze-, feuchtigkeitsbeständig und kann mit Hochdruckreinigern gereinigt werden. Ein weiterer Vorteil ist die hohe Lebensdauer.

## 2 Hygienic Design

In der Nahrungsmittelproduktion, wie z. B. in der Getränkeindustrie, der Fleischwirtschaft oder in Molkereien sind die Anforderungen an die Hygiene besonders hoch. Es werden bevorzugt glatte Oberflächen eingesetzt, die sich besonders gut reinigen und desinfizieren lassen. Der Schall der Maschinen wird an diesen glatten Oberflächen reflektiert und führt so zu einer Überlagerung der Schallenergie. Die Nachhallzeit in solchen Räumen ist folglich sehr hoch, deshalb wäre hier der Einbau von Absorbern und damit die Reduzierung der Nachhallzeit wünschenswert. Das in Schallabsorbern üblicherweise verwendete poröse Material darf aber aufgrund der Keimgefahr nicht in Lebensmittelbereiche eingebracht werden. In diesem Kapitel wird erklärt, auf welche Details der Konstruktionen in Bereichen mit hohen hygienischen Anforderungen geachtet werden muss [5].

### 2.1 HACCP

HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) ist ein System zur Sicherung der Verbrauchergesundheit. Es gibt Anhand von wichtigen zu kontrollierenden Punkten den Betrieben Hilfestellung die hygienische Verunreinigung von Lebensmitteln zu vermeiden. Verbraucher werden vor Gesundheitsgefahren durch verunreinigte Lebensmittel während der Herstellung geschützt und die hygienische Unbedenklichkeit der Lebensmittel wird gewährleistet.

HACCP wird von Betrieben individuell angewandt. Es zeigt Punkte auf, die nacheinander beachtet und kontrolliert werden müssen. Der Betrieb passt das Grundkonzept von HACCP hierbei seinen Arbeitsvorgängen an.

### 2.2 Rechtliche Grundlagen

#### 2.2.1 EG-Verordnungen

##### **EG-Verordnung 852/2004 über Lebensmittelhygiene [5]**

Sie nennt neben den allgemeinen Zielsetzungen für die hygienische Sicherheit der Lebensmittel vor allem grundlegende Hygieneanforderungen, die diese Sicherheit gewährleisten sollen.

##### **EG-Verordnung 853/2004**

mit spezifischen Lebensmittelvorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs

##### **EG-Verordnung 854/2004**

mit besonderen Vorschriften für die amtliche Überwachung von zum menschlichen Verzehr bestimmten Erzeugnissen tierischen Ursprungs

#### 2.2.2 Lebensmittelhygieneverordnung (LMHV)

Eine neue deutsche Lebensmittelhygieneverordnung (LMHV) gilt seit 14. August 2007. Sie enthält nur noch deutsche Sonderregelungen und auf EU-Ebene nicht geregelte Bereiche des Lebensmittelrechts.

### 2.2.3 Hygieneleitlinien

Zur praktischen Umsetzung der europäischen Rechtsvorschriften gibt es auf nationaler Ebene branchenspezifische Hygieneleitlinien. Diese Leitlinien haben ein genau festgelegtes nationales Anerkennungsverfahren durchlaufen. Sie sollen den Betrieben und auch den Kontrollpersonen Hilfestellung geben, die Vorgaben des Lebensmittelrechts zu erfüllen.

#### **Leitlinie für eine gute Hygienepraxis in ortsveränderlichen Betriebsstätten und Desinfektion von Getränkeschankanlagen (ASI 6.84)**

### 2.2.4 HACCP-Konzept

In dem HACCP-Konzept werden sieben Grundsätze definiert, die für eine sichere Überwachung zu bearbeiten sind:

1. Gefahrenanalyse durchführen
2. Kritische Kontrollpunkte identifizieren
3. Grenzwerte festlegen
4. Überwachungsverfahren einrichten
5. Korrekturmaßnahmen vorsehen
6. Dokumentation durchführen
7. System verifizieren

## 2.3 Hygienic Design von Maschinen

### 2.4 Einteilung der Hygienebereiche

nach DIN EN 1672-2:2005

- a. **Lebensmittelbereich**  
Lebensmittel kann zurück in den Hauptproduktstrom gelangen
- b. **Spritzbereich**  
Lebensmittel kann nicht zurück in den Hauptstrom gelangen
- c. **Nicht-Lebensmittelbereich**  
alle Bereiche außer a und b

## 2.5 Konstruktionsdetails

### 2.5.1 Konstruktionswerkstoffe

Stoffe im Lebensmittelbereich müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- korrosionsbeständig
- nicht toxisch
- nicht absorbierend
- keine Übertragung unerwünschter Gerüche, Farb- oder Geschmacksstoffe
- keine Kontamination des Lebensmittels
- keine nachteiligen Auswirkungen auf das Lebensmittel

Im Nicht-Lebensmittelbereich müssen Oberflächen so behandelt sein, dass sie korrosionsbeständig gegenüber dem Produkt und den Reinigungs- und Desinfektionsmitteln sind.

### **2.5.2 Oberflächen**

Alle Oberflächen müssen reinigungsfähig und frei von Defekten wie Löchern, Falten, Rissen und Spalten sein.

Im Lebensmittelbereich müssen alle Oberflächen desinfizierbar und der Reinigung zugänglich sein. Die Oberflächen sollten glatt und versiegelt sein. Sie sollten so gestaltet sein, dass keine Lebensmittel in Vertiefungen verbleiben können oder negativ beeinflusst werden. Die Oberflächenrauheit sollte  $R_a = 0,8 \mu\text{m}$  betragen.

Im Spritzbereich und Nicht-Lebensmittelbereich sind die Anforderungen grundsätzlich die gleichen Anforderungen wie im Lebensmittelbereich. Die Anforderungen an die Oberflächenrauheit sind jedoch nicht ganz so streng.

### **2.5.3 Feste und lösbare Verbindungen**

Verbindungen müssen versiegelt und Klebstoffe haltbar sein. Spalten, Risse, Vertiefungen und Toträume müssen vermieden werden.

Verbindungselemente müssen im Lebensmittelbereich vermieden werden.

### **2.5.4 Abfluss von Flüssigkeiten**

Flüssigkeiten dürfen nicht zurück in den Produktstrom gelangen, sondern müssen nach außen abfließen.

### **2.5.5 Innere Ecken, Winkel und Rillen**

Um eine wirksame Reinigung und gegebenenfalls Desinfektion zu gewährleisten müssen alle Abrundungen (zum Beispiel an inneren Ecken und Winkel) einen Mindestradius besitzen. Vorhandene Rillen müssen breiter als tief sein.

### **2.5.6 Toträume**

Das Auftreten von Toträumen und Lücken ist grundsätzlich auf ein Mindestmaß zu beschränken.

# 3 Akustische Sanierung der BGN-Kantine

Zum Jahreswechsel 2009 / 2010 wurde die Kantine der BGN akustisch saniert. Seit Januar 2010 hat die Kantine ein neues Erscheinungsbild.

## 3.1 Bedarf

Die Situation in der BGN Kantine vor dieser Sanierung war sehr unbefriedigend. Saß man zu sechst an einem Tisch, so war es fast nicht möglich, mittags ein Gespräch zu führen. Gäste und Kantinenpersonal beklagten sich. Im Herbst 2009 wurde deshalb mit der Planung der Kantinensanierung begonnen. Besondere Priorität hatten dabei der Erhalt aller Sitzplätze und die Flexibilität der neuen Lösung. Es sollte für große Veranstaltungen (z. B. Personalversammlung, Jubilärfest) ein möglichst großer Raum erhalten bleiben. Aus Kostengründen sollte die Sanierung in einem Stufenplan umgesetzt werden, wobei zunächst eine Sanierung der Decke nicht in Frage kam.

## 3.2 Bestand

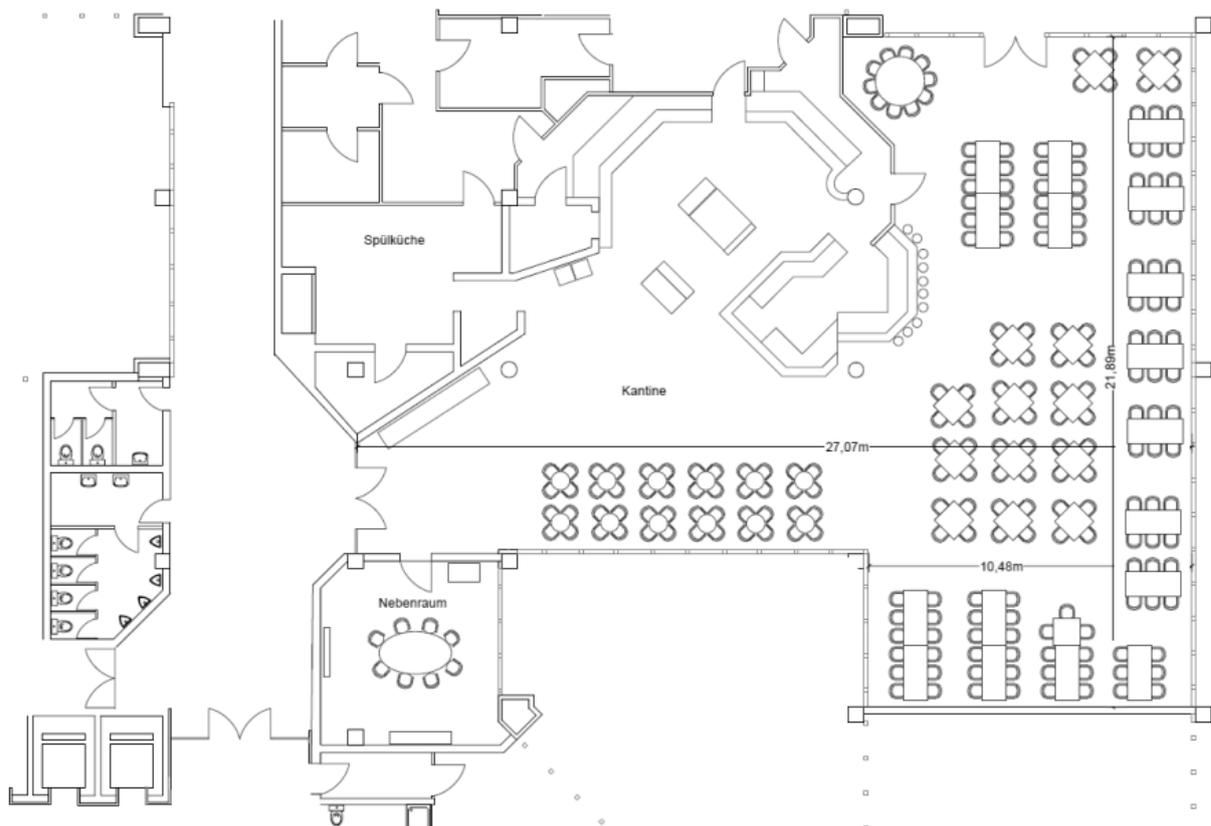


Abbildung 14 Grundriss der Kantine vor der akustischen Sanierung

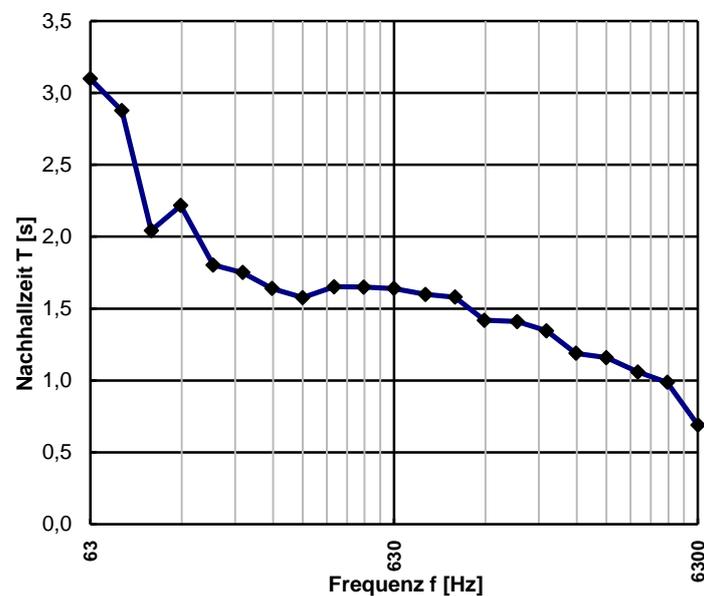
Die offene Konstruktionsweise der Kantine mit den großen, schlecht absorbierenden Fensterfronten dämpften die Küchengeräusche und die Gespräche der Gäste schlecht, so dass der Geräuschpegel mittags bis auf 76 dB(A) anstieg. In einer solch lauten Umgebung hebt jeder unbewusst die Stimme an, um sich verständlich zu machen. Dies führt zu einem sich selbst verstärkenden Effekt, der die Situation noch weiter verschlimmert (Lombard - Effekt).



Abbildung 15 Kantine der BGN vor der akustischen Sanierung mit Holzwurm an der Wand

### 3.3 Messung

Eine der wesentlichen Größen zur Beurteilung von Räumen ist die Nachhallzeit. Um die Qualität des Raumes objektiv festzuhalten, wurde deshalb die Nachhallzeit sowohl im Kaffee- als auch im Essens-Bereich messtechnisch ermittelt. Als Quelle wurde hierbei die Globe Source verwendet und das Messgerät NC 10. Die Nachhallzeit wurde hierbei mit dem Verfahren des abgeschalteten Rauschens nach DIN EN ISO 3382 [6] ermittelt. Es wird der Raum mit rosa Rauschen angeregt und nach Abschalten des Rauschens wird die Zeit gemessen, die der Schalldruckpegel benötigt, um 60 dB abzufallen.

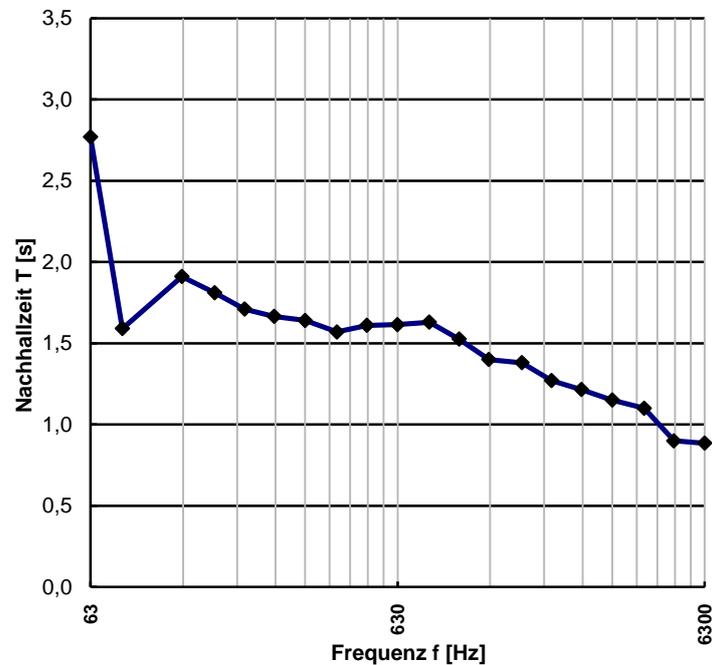


f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{Okt}}$ [s] vorher	2,99	2,02	1,66	1,65	1,53	1,31	1,07

Abbildung 16 Nachhallzeit der Kantine im hinteren Essens-Bereich vor der akustischen Sanierung. Die Sollnachhallzeit im leeren, unbesetzten Zustand beträgt 1,1 s.

Bei einem Raumvolumen von ca. 680 m<sup>3</sup> lag die mittlere Nachhallzeit zwischen 125 und 4000 Hz bei der Bestandsaufnahme im leeren, unbesetzten Essensbereich bei 1,5 s. Die DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ [7] gibt als

Planungsempfehlung für einen solchen Raum jedoch 1,1 s im leeren, unbesetzten Zustand vor. Im Kaffeebereich war die Situation vergleichbar. So lag die mittlere Nachhallzeit zwischen 125 und 4000 Hz im leeren, unbesetzten Zustand bei 1,5 s und sollte bei dem Raumvolumen von ca. 340 m<sup>3</sup> jedoch nach DIN 18041 höchstens bei 1 s liegen.



f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{Okt}}$ [s] vorher	2,18	1,24	1,67	1,60	1,52	1,29	1,05

Abbildung 17 Nachhallzeit der Kantine im hinteren Kaffee-Bereich vor der akustischen Sanierung. Die Sollnachhallzeit im leeren, unbesetzten Zustand beträgt 1,0 s.

Da es sich bei der Kantine um einen flachen, langen Raum handelt, wurden mit dem gleichen Messequipment zusätzlich die Schallausbreitungskurven nach VDI 3760 [8] in beiden Bereichen ermittelt. Schallausbreitungskurven sind frequenzabhängig und beschreiben eine weitere akustische Eigenschaft von Räumen. Sie sollten nach Möglichkeit nahe der freien Schallausbreitung verlaufen.

Die Schallausbreitungskurven weisen zwischen 125 und 4000 Hz alle einen sehr flachen Verlauf auf.

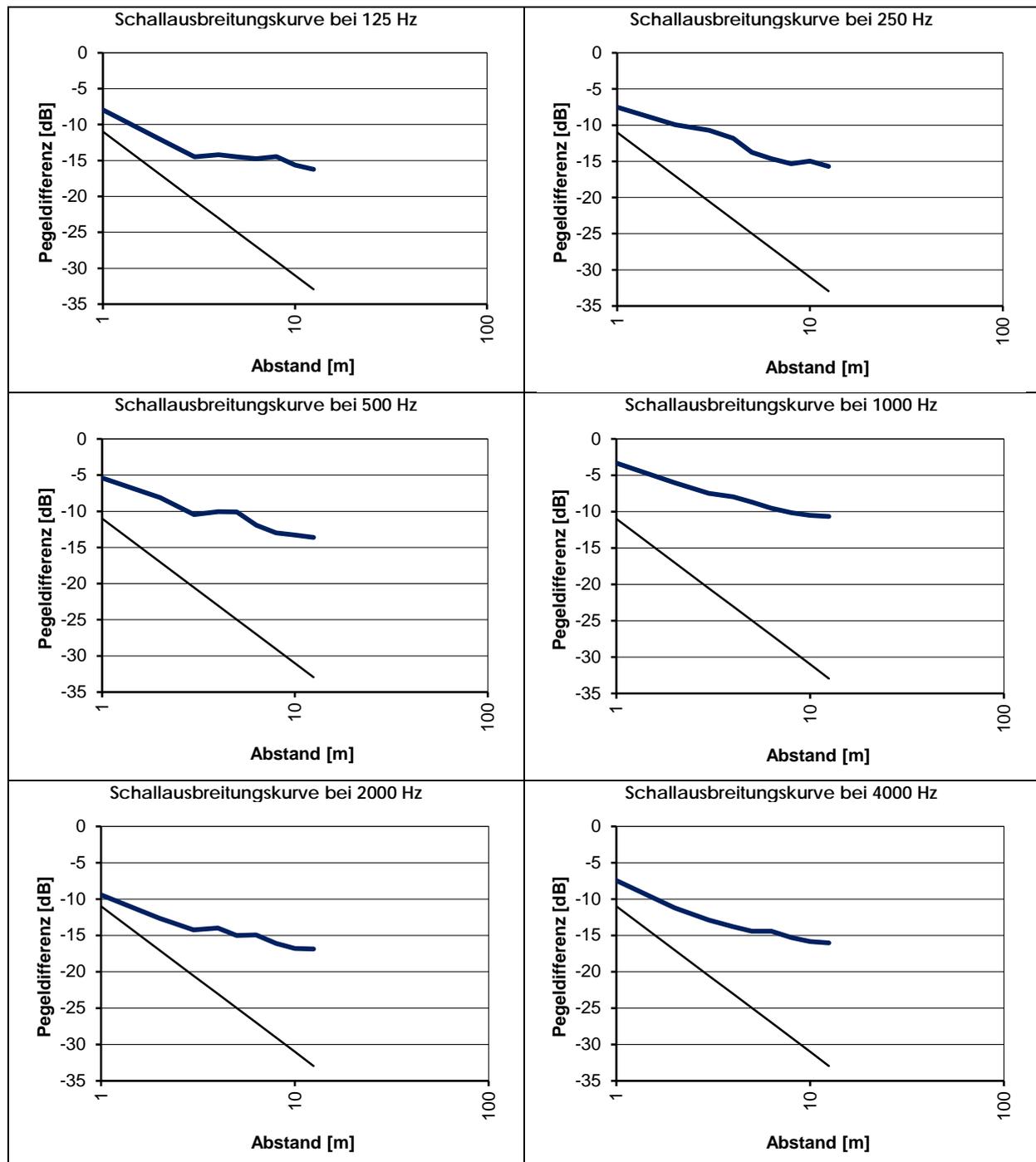


Abbildung 18 Schallausbreitungskurven in der Kantine zwischen 125 und 4000 Hz vor (dunkelblau) der akustischen Sanierung im Vergleich zur freien Schallausbreitung.

Die Akustik ist für die anwesenden Personen abhängig vom Platz unterschiedlich gut. Aus diesem Grund wurden zusätzlich als Vergleich während der Mittagszeit die Schalldruckpegel an unterschiedlichen Plätzen ermittelt und auf die Anzahl der anwesenden Personen normiert.

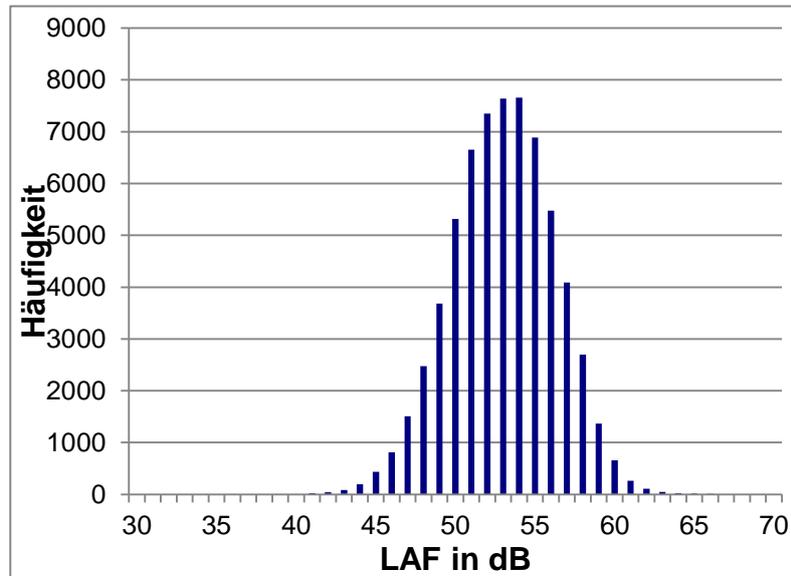


Abbildung 19 Verteilung der Schalldruckpegel zu Mittagszeit

### 3.4 Maßnahmen

Um den Anforderungen gerecht zu werden und den Grundgeräuschpegel wirksam zu senken, entschied sich die Geschäftsführung auf unsere Empfehlung hin für den Einbau innovativer Schallabsorber.

Es wurde ein Stufenplan ausgearbeitet, in dem der erste Schritt der Einbau der Breitband-Kompaktabsorber sein sollte. Nur falls diese Maßnahme nicht ausreichen würde, würden weitere Maßnahmen ergriffen werden. So wurden im Essens-Bereich der BGN-Kantine Breitband-Kompaktabsorber an den zur Verfügung stehenden Wandflächen, sowie als Raum trennende Schwerter eingesetzt. Insgesamt ergab sich hiermit eine belegte Fläche von ca. 80 m<sup>3</sup>. Im Kaffee-Bereich sollten die Absorber für Feiern und Versammlungen verschiebbar bleiben, damit der Raum nicht an Größe verliert. Deshalb fiel hier die Wahl auf beidseitig absorbierende Hochleistungsabsorber. Diese wurden ebenfalls als raumtrennende Schwerter mit beidseitiger Absorption von 10 m<sup>3</sup> geplant.

Die Anforderung von dem Küchenchef Herrn Diem, dass alle Plätze erhalten werden sollten konnte durch die Umstellung weniger Tische realisiert werden.

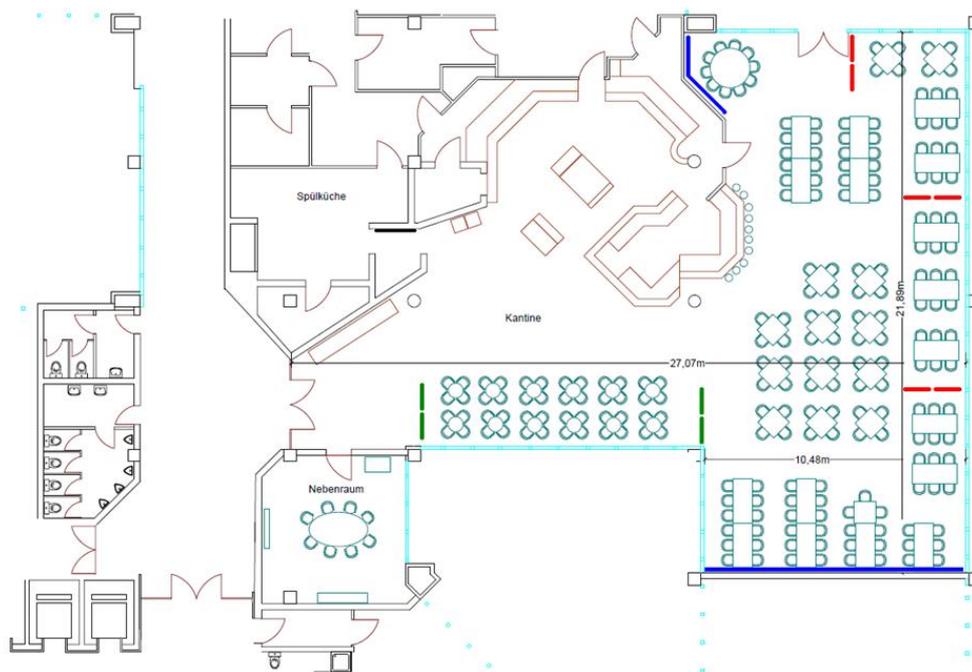
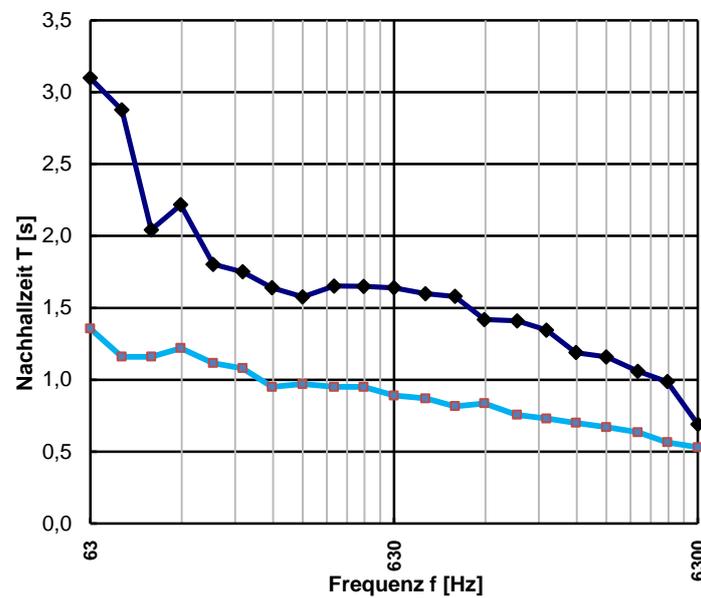


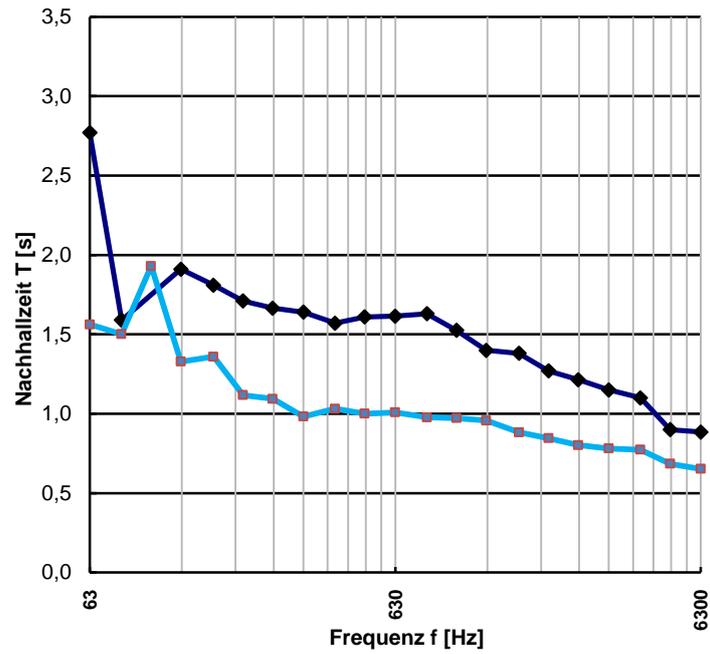
Abbildung 20 Grundriss der BGN-Kantine mit Breitband-Kompaktabsorbern als Schwerter im Raum (rot), an der Wand (blau) und mit beidseitig absorbierenden Hochleistungsabsorbern (grün)

### 3.5 Messung



f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{Okt}}$ [s] vorher	2,99	2,02	1,66	1,65	1,53	1,31	1,07
$T_{\text{Okt}}$ [s] nachher	1,24	1,17	1,00	0,93	0,84	0,73	0,62

Abbildung 21 Nachhallzeit der Kantine im hinteren Essens-Bereich vor (dunkelblau) und nach (hellblau) der akustischen Sanierung. Die Sollnachhallzeit im leeren, unbesetzten Zustand beträgt 1,1 s.



f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
T <sub>okt</sub> [s] vorher	2,18	1,24	1,67	1,60	1,52	1,29	1,05
T <sub>okt</sub> [s] nachher	1,53	1,54	1,06	1,01	0,97	0,84	0,75

Abbildung 22 Nachhallzeit der Kantine im hinteren Kaffee-Bereich vor (dunkelblau) und nach (hellblau) der akustischen Sanierung. Die Sollnachhallzeit im leeren, unbesetzten Zustand beträgt 1,0 s.

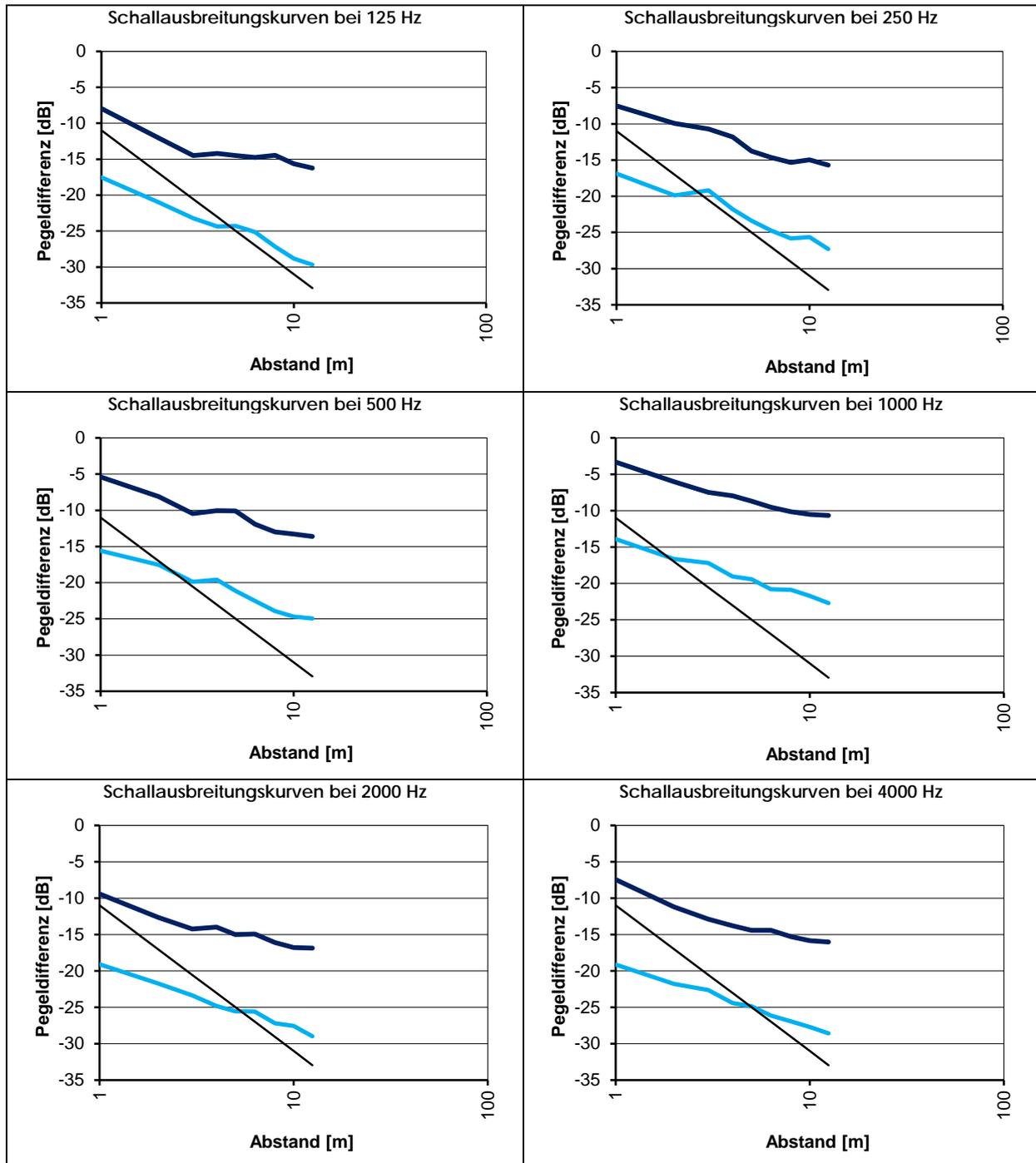


Abbildung 23 Schallausbreitungskurven in der Kantine zwischen 125 und 4000 Hz vor (dunkelblau) und nach (hellblau) der akustischen Sanierung im Vergleich zur freien Schallausbreitung.

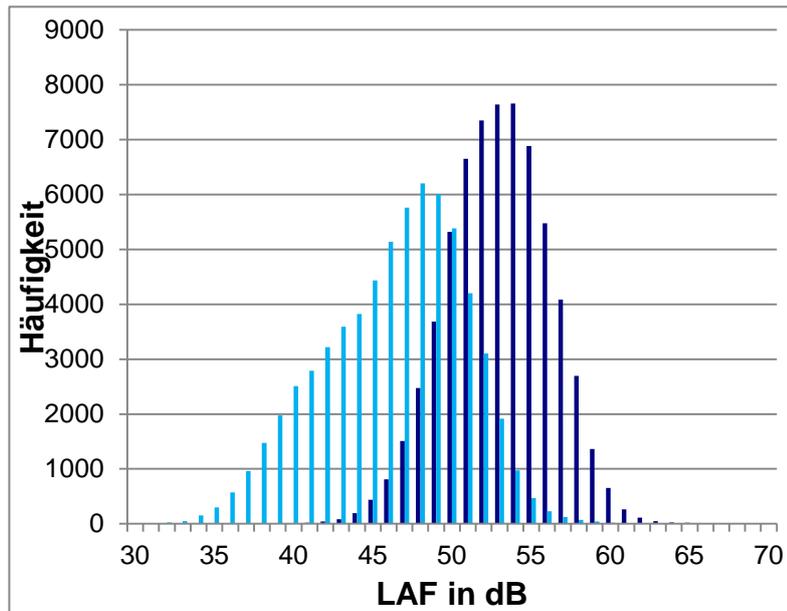


Abbildung 24 Verteilung der Schalldruckpegel vor (dunkelblau) und nach (hellblau) der akustischen Sanierung während der Mittagszeit im Essens-Bereich der Kantine.

## 3.6 Computersimulation

In Zusammenarbeit von Wölfel mit der BGN und der FSA ist das „Arbeitslärm-Modul“ zu dem Programm „IMMI 2009“ entstanden. Simulationsprogramme baten bis zu diesem Zeitpunkt nur die Möglichkeit der Simulation über statistische Mittelung, das heißt, wenn z. B. Wände aus unterschiedlichen Materialien bestehen, so wird bei diesen Programmen mathematisch das Mittel der Absorptionskoeffizienten ermittelt und mit Hilfe diesem werden die Reflexionen des Schalls und somit die Nachhallzeit des Raumes statistisch berechnet. Das neu entwickelte Programm bietet die Möglichkeit akustische Situationen sehr genau mittels Strahlverfolgung zu simulieren. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich der Schall von einem Punkt, der Schallquelle, mittels Strahlen im Raum ausbreitet. Mit Hilfe dieser Art von Simulation können nun Schallwege und Reflexionen sehr viel genauer simuliert werden. Zur Ermittlung von sinnvollen Ergebnissen wurden die Computersimulationen, die zu einem ersten Eindruck verhalfen, durch Feinheiten aus Messungen ergänzt. Die Auswirkungen der Lärmschutz-Maßnahmen können so gut prognostiziert werden. Hiermit werden zukünftige Maßnahmen vor ihrer Umsetzung zuverlässig bewertet.

Während der Simulationen wurde festgestellt, dass es bei dem Programm IMMI notwendig ist, bei Berechnungen mittels Strahlverfolgung mit mindestens sieben Reflexionen zu rechnen, um gute Ergebnisse zu erzielen.

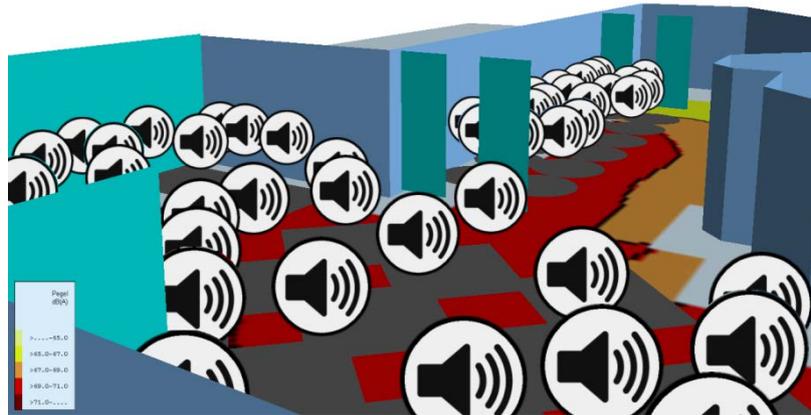


Abbildung 25 Simulation der Mittagssituation in der BGN-Kantine

### 3.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Durch die Maßnahmen konnte der Schalldruckpegel – anhängig von Tisch und Platz – in der Hauptessenszeit um 3 bis 5 dB gesenkt werden. Eine Reduktion um 3 dB entspricht, durch die logarithmische Einheit dB, einer Halbierung der Energie bzw. einer Halbierung der Schallquellen. Der heutige Schalldruckpegel der voll besetzten Kantine entspricht also dem früheren Pegel bei etwa zu einem Drittel bis halb besetzter Kantine.



Abbildung 26 Kantine der BGN nach der akustischen Sanierung mit Breitband-Kompaktabsorbern

Die Nachhallzeit, als eines der objektiven Bewertungskriterien, konnte soweit verringert werden, dass sie innerhalb der Planungsempfehlungen der DIN 18041 liegt.

Die Schallausbreitungskurven konnten der der freien Schallausbreitung deutlich angenähert werden.

So reduzieren die innovativen Absorber in der Kantine der BGN, Mannheim die Nachhallzeit und verbessern deutlich die Sprachverständlichkeit. Durch die Abschwächung des Lombardeffektes verbessert sich die akustische Behaglichkeit erheblich.

Die Lärmprognosesoftware IMMI wurde während der akustischen Sanierung weiter etabliert und erste Lärmprognosen für die Kantine wurden erstellt. Um bei Prognosen mittels

Strahlverfolgung gute Ergebnisse zu erzielen, müssen mindestens sieben Reflexionen berücksichtigt werden.

Für den Einsatz in der Nahrungsmittelindustrie ist eine rundum geschlossene Konstruktion der Absorber notwendig, deren Umsetzung ist eine Herausforderung.

## 4 Akustik in kommunikationsintensiv genutzten Räumen

In akustisch schlecht konditionierten Räumen erzeugen die Nutzer selbst durch ihre Kommunikation sehr hohe Schallpegel. Oft verdeckt ein Störgeräusch nützlichen Schall am stärksten in genau dem Frequenzbereich, der seinem jeweiligen Spektrum entspricht, also z. B. eine Kinderstimme die andere. Erst wenn die zweite im Pegel deutlich über der ersten Stimme liegt, wird sie verständlich. Dies kann bereits bei im Freien tobenden Kindern zu hohen Gesamtpegeln führen. Es lag deshalb nahe, dass man sich auch mit der Dämpfung im Raum zunächst auf den für Sprache generell wichtigsten Frequenzbereich oberhalb 500 Hz konzentriert hat. Aber auch zu beiden Seiten eines Störgeräusches oder -tones ist eine deutliche Anhebung der Hörschwelle im Spektrum festzustellen. Die Sprachverständlichkeit, die wesentlich durch Frequenzanteile im kHz-Bereich bestimmt ist, wird selbst durch extrem tiefe Frequenzen (jedenfalls unter 250 Hz, mindestens bis 63 Hz herunter) noch stark beeinträchtigt.

In Gaststätten z. B. wird man Zeuge des so genannten Lombard-Effekts. Dabei handelt es sich um den unbewussten Versuch, durch lauterer Sprechen, Kommandieren oder Musizieren das Verdeckungs-Phänomen zu durchbrechen. Die Anhebung der Geräuschpegel eskaliert entlang der Lautheits-Spirale siehe Abbildung 27, nach welcher Stimmentfaltung und Hörschwellen-Verschiebung, sich gegenseitig bedingend, immer stärker werden, bis schließlich keiner sein eigenes Wort mehr versteht.

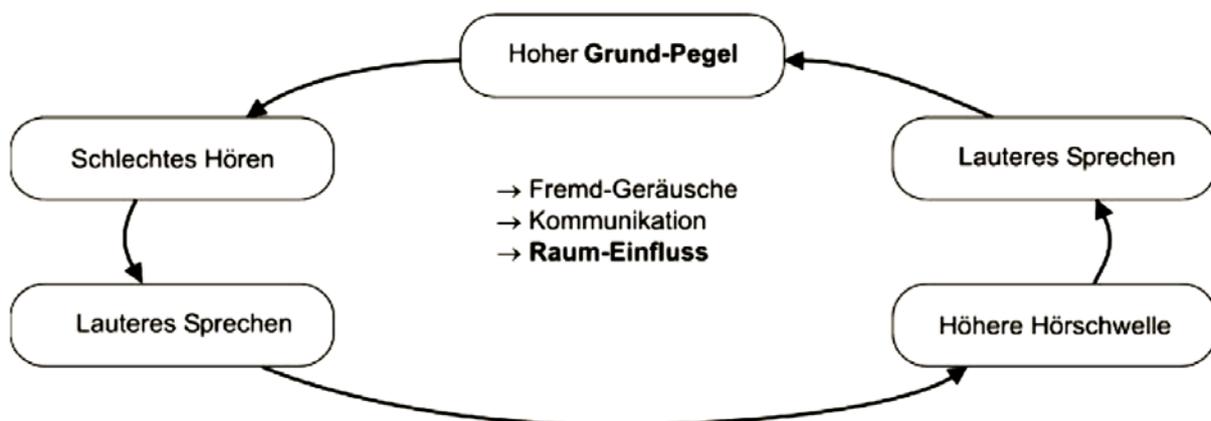


Abbildung 27 Lombard-Effekt: Modell für das Zustandekommen unnötig hoher Schallpegel in akustisch schlecht konditionierten, kommunikationsintensiv genutzten Räumen

Wenn im Gegensatz zu Maschinen die Sprecher selbst die Lärmquelle darstellen muss eine Dämpfung gefunden werden, die die Sprachverständlichkeit verbessert. Schaut man sich das Spektrum der menschlichen Stimme an, vergleiche Abbildung 28, so wird deutlich, dass die für die Verständlichkeit der Sprache wichtigen Konsonanten und Vokale sich im mittel- bis hochfrequenten Bereich befinden. Dagegen liegen die Grundtöne der menschlichen Stimme bei tieferen Frequenzen und weisen eine sehr hohe Energie auf. Diese Grundtöne der männlichen und weiblichen Stimme tragen nicht zum Verständnis bei und werden oft als Hintergrundgeräusch (Mulm) in Restaurants wahrgenommen.

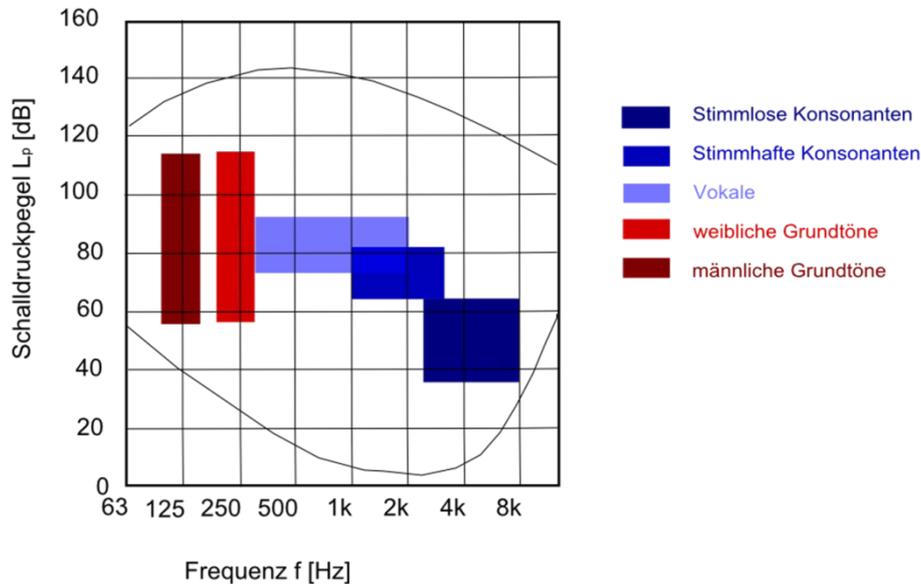


Abbildung 28 Frequenzspektrum der menschlichen Stimme eines Erwachsenen.

Wenn man die mittleren und ganz gezielt die tiefen bis sehr tiefen Frequenzanteile im Raum absorbiert, dann dämpft man die Sprache in dem Bereich, der ohnehin keine für die Verständigung wichtigen Informationen enthält. Alle Anregungen bei den Tiefen durch Sprache, Geräte und Anlagen, aber auch durch Nutzergeräusche, wie Räuspern strapazierter Kehlen oder Stuhlrücken auf hartem Boden, bilden zusammen sonst eine Art von „Nebel“, den die viel wichtigeren Schallwellen höherer Frequenz nur schwer durchdringen können. Gelingt es aber, den Raum von diesem „Mulm“ zu befreien, schafft man der Sprache (wie übrigens auch jeder Musik) ein tragfähiges Fundament für ihre Kommunikationsfunktion.

Durch gezielte Absorption auch in den tiefen Frequenzen wird:

- akustische Transparenz geschaffen,
- gute Sprachverständlichkeit erreicht,
- entspannte Unterhaltung möglich.

Erst wenn der Raum „durchhörbar“ gemacht wird, können die jeweiligen Gesprächsteilnehmer einander akustisch folgen, ohne im Geringsten laut werden zu müssen – gleichgültig wie viele gleichzeitig an der Kommunikation teilnehmen. Nur so wird auch ausdrucksvollere Sprache mit der dazu notwendigen Dynamik möglich, ohne dass dadurch die Lautheits-Spirale nach Abbildung 27 angestoßen wird. Wenn sich in einem dementsprechend konditionierten Raum alle Nutzer akustisch behaglich fühlen, werden sie ihre Stimmen zurücknehmen und gleichzeitig im Raum kommunizieren können. Es entsteht ein verhaltener, sehr gleichmäßiger Grundgeräuschpegel. Dieser sorgt dann für eine angemessene Vertraulichkeit vielfacher Unterhaltungen. Nur wer still im Raum sitzt und seine Ohren spitzt, kann auch etwas entfernte Gespräche verfolgen.

## 5 Der Kanten-Absorber

In kommunikativ genutzten Räumen ist eine gute Akustik sehr wichtig. Durch bauliche Maßnahmen müssen meist relativ große Flächen belegt werden. Das macht sie zu einem unbeliebten Hindernis im immer mehr rationalisierten Baugeschehen, sowohl für Architekten als auch für Investoren. Aktuell werden deshalb neu gebaute, aber auch aufwändig restaurierte Räume wie Versammlungsstätten, Restaurants, Schulen oder Kindertageseinrichtungen überwiegend ohne akustische Maßnahmen zur Reduzierung der Nachhallzeit und entsprechend hallig den jeweiligen Nutzern übergeben. Die Nutzer haben dann mit den akustischen Unzulänglichkeiten für die Darbietung und Kommunikation in diesen professionellen, öffentlichen und privaten Räumen zu leben oder müssen versuchen, mit meist untauglichen Hilfsmitteln nachträglich selbst für höheren akustischen Komfort zu sorgen. So suchen z. B. Eltern von Lärm geplagten Kindern und Lehrer oder Leiter von Musikkapellen für ihre Räumlichkeiten zum Lernen, Üben und Darbieten weiter nach Möglichkeiten wie Schaumstoffmatten, um ihre Ohren und Nerven zu schonen und effizienter arbeiten zu können. Viel sinnvoller wäre es, die Akustik unabdingbaren Bestandteil des Innenausbau zu machen. So ließen sich mögliche Schall- und Lärmprobleme nachhaltig lösen.

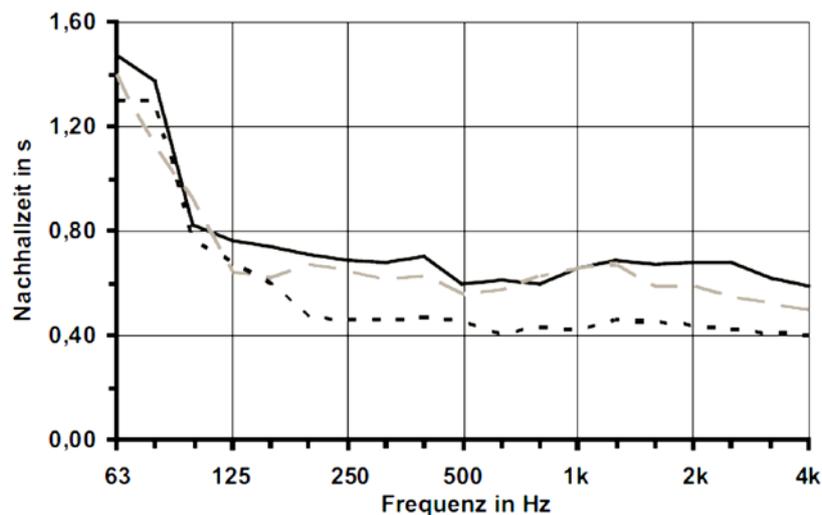


Abbildung 29 Nachhallzeit in einem Klassenzimmer mit Akustik-Decke a) unbesetzt (durchgezogen), b) besetzt (punktirt), c) unbesetzt, mit zusätzlicher Absorption in den oberen Kanten an Rück- und einer Seitenwand (strichliert).

### 5.1 Untersuchung an Kanten-Absorbern im Hallraum

Damit ein raumakustisches Konzept unter den Bedingungen des Marktes überhaupt eine Chance hat, müssen breitbandig wirksame Schallabsorber angeboten werden, die das Problem auch in den Tiefen lösen, ohne die mittleren und hohen Frequenzen zu vernachlässigen. Sie müssen sich kostengünstig und optisch attraktiv noch besser in den Innenausbau integrieren lassen als jedwede Schall dämpfenden Vorsatzschalen und Paneele an Decken, Wänden oder Einrichtungsgegenständen. Schalltechnisch ideal ist natürlich eine Anordnung, deren äquivalente Absorptionsfläche  $A$  in  $\text{m}^2$  etwa die gleiche Frequenz-Charakteristik aufzuweisen hat, wie die zu reduzierende Nachhallzeit  $T$  in  $\text{s}$  (vergleiche Abbildung 29), damit diese nach

$$T = 0.16 \frac{V}{A} \quad (5.1)$$

im jeweiligen Raum optimal geglättet werden kann. Poröse oder faserige Akustik-Paneele oder -Putze vor einer schallharten Fläche weisen bekanntlich einen Absorptionsgrad, bezogen auf ihre Oberfläche  $S_A$  in  $m^2$ ,

$$\alpha = \frac{A}{S_A} \quad , \quad (5.2)$$

bei hohen Frequenzen von nahe 1 auf, der aber unterhalb einer Frequenz  $f_u$  in Hz nach Maßgabe seiner Dicke  $d_\alpha$  in mm steil abfällt:

$$f_u \approx \frac{43}{d_\alpha} 10^3 \quad . \quad (5.3)$$

Nur mit einer unrealistisch dicken Absorber-Belegung, z. B.  $d_\alpha = 400$  mm in einer Fläche von  $S_A = 12 m^2$  auf dem Boden eines mit  $V = 220 m^3$  mittelgroßen Raumes von einem Rahmen aus 9,5 mm dicken Gipskarton (GK)-Platten umschlossen, ergäbe sich nach Abbildung 30 ein Absorptionsgrad, der auch unter 100 Hz noch dem maximal möglichen Wert nahe kommt.

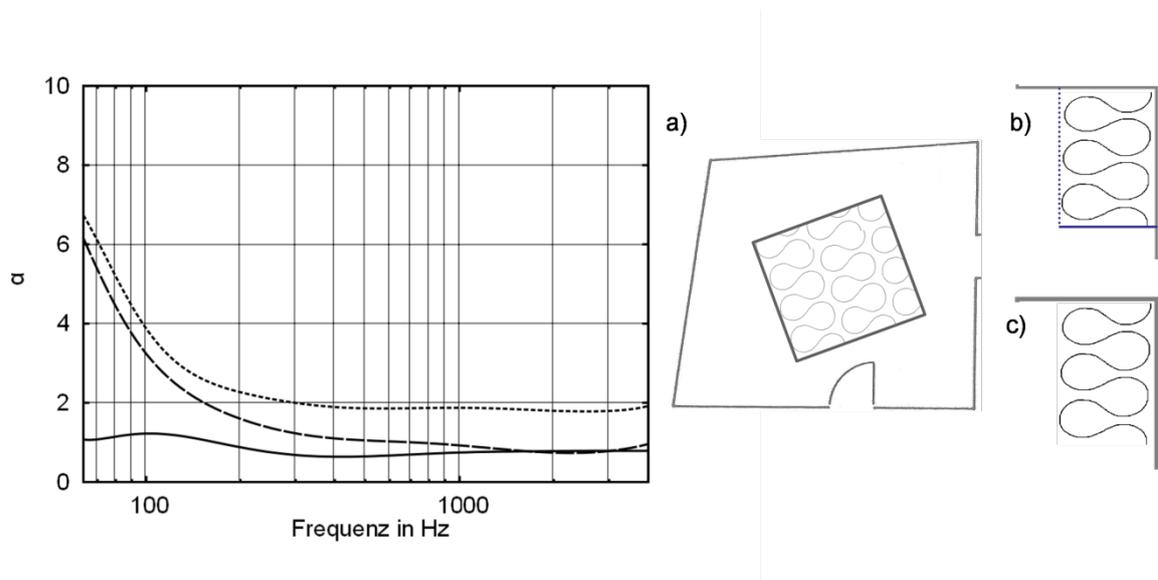


Abbildung 30 Gemittelter Absorptionsgrad von Kanten-Absorbern in den Abmessungen 400 • 500 mm mit Mineralwolle-Füllung im Vergleich zur flächigen Anordnung desselben Materials mit umlaufenden Rahmen, jeweils bezogen auf die offene Fläche  $S_A$ . a) 12  $m^2$  flächig ausgelegte Mineralwolle (durchgezogen); b) breite Seite mit GK Platten, schmale mit GK-Lochplatten abgedeckt (strichliert); c) ohne Verkleidung (punktirt);.

Wenn man denselben Absorber (hier stets: Mineralwolle mit einer Dichte von ca. 25  $kg/m^3$ ) dagegen als Streifen, 400 mm dick und 500 mm breit (mit schmalseitig wiederum einem GK-Rahmen und breitseitig mit einer 9,5 mm dicken GK-Lochplatte mit einem Lochanteil von 20 %) 6,48 m lang entlang einer unteren Kante von Ecke zu Ecke im selben Raum auslegt, so misst man, bezogen auf die Fläche  $S_A = 3,24 m^2$ , bei hohen Frequenzen (oberhalb 1 kHz) etwa denselben Absorptionsgrad. Zu den tiefen Frequenzen (bis 125 Hz) steigt dieser aber schon auf den doppelten und zu den sehr tiefen (bis 63 Hz) sogar auf den sechsfachen Wert an, siehe Abbildung 30 b).

Auch wenn man die Abdeckungen der schmalen und breiten Seiten des Kanten-Absorbers vertauscht, ergibt sich, entsprechend bezogen auf  $S_A = 2,59 \text{ m}^2$ , eine ganz ähnliche Absorptions-Charakteristik, siehe Abbildung 30 a).

Die Messungen wurden alle im Hallraum des Institutes für Arbeitsschutz in Sankt Augustin in Anlehnung an die DIN EN ISO 354 „Messung der Schallabsorption in Hallräumen“ [9] durchgeführt [11]. Es sei betont, dass alle Messungen unter etwa 250 Hz relativ stark streuen. Deswegen wurden mindestens zwei Sende- und sechs Empfangspositionen zur Ermittlung der jeweiligen, stets in Terzen gemessenen Nachhallzeiten im Raum ausgewertet und anschließend die Kurven einer Glättung unterzogen.

Bereits ein nur oberflächlicher Vergleich der Ergebnisse in Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigt, dass die Kanten-Absorber ein sehr probates Mittel zur Glättung der Nachhall-Charakteristik mittelgroßer Räume darstellen.

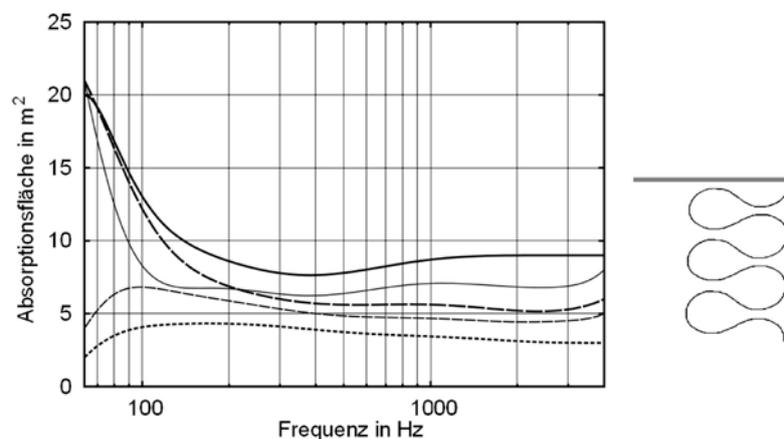


Abbildung 31 Gemittelte äquivalente Absorptionsfläche von Mineralwolle unterschiedlichen Querschnitts lose in einer unteren Kante eines mittelgroßen Raumes in einer Länge von 6,48 m von Ecke zu Ecke angebracht. a) 400 x 1000 mm:  $S_A = 9,07 \text{ m}^2$  (dicke Linie); b) 200 x 1000 mm:  $S_A = 7,78 \text{ m}^2$  (dünne Linie); c) 400 x 500 mm:  $S_A = 5,83 \text{ m}^2$  (dick strichliert); d) 200 x 500 mm:  $S_A = 4,54 \text{ m}^2$  (dünn strichliert); e) 200 x 250 mm:  $S_A = 2,92 \text{ m}^2$  (punktiert).

Abbildung 30 zeigt für Kanten-Absorber ganz ohne jede Abdeckung, dass die gemessene Absorptionsfläche  $A$  bei mittleren und hohen Frequenzen näherungsweise der freien Oberfläche  $S_A$  entspricht. Zu den sehr tiefen Frequenzen hin fällt  $A$  bei einer Bautiefe von  $d_\alpha = 200 \text{ mm}$  etwa entsprechend Gleichung

$$f_u \approx \frac{43}{d_\alpha} 10^3 \quad (5.3)$$

deutlich ab. Das charakteristische Spektrum der Kanten-Absorber stellt sich offenbar erst für  $d_\alpha \geq 400 \text{ mm}$  ein: Beim Absorber 400 x 500 mm steigt  $A$  mit  $20 \text{ m}^2$  bis auf das 6,2-fache seiner Grundfläche von  $3,24 \text{ m}^2$ .

Diese besondere Wirksamkeit bleibt auch bei einer Abdeckung mit den oben beschriebenen GK-Lochplatten erhalten, vgl. Abbildung 33 a) und b).

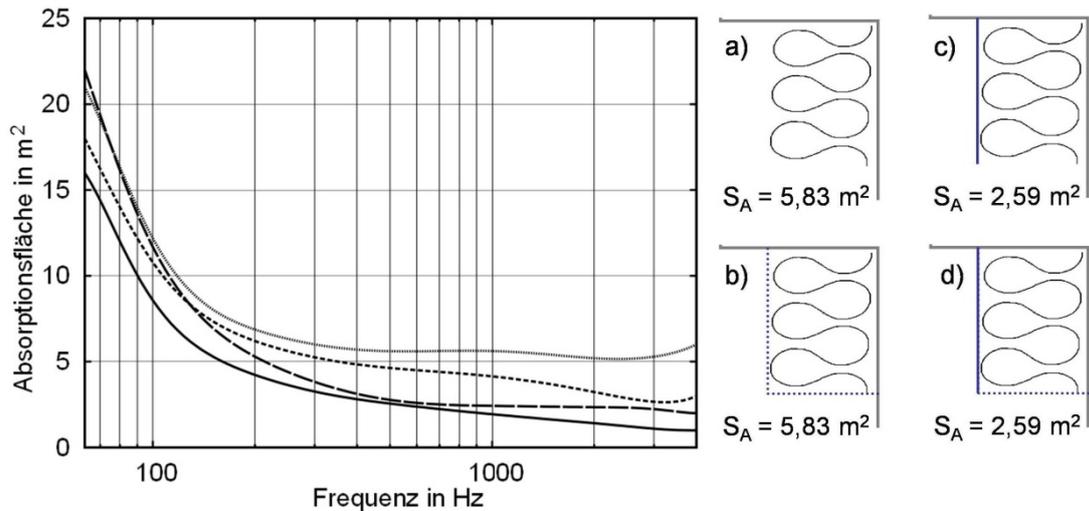


Abbildung 32 Gemittelte äquivalente Absorptionsfläche eines Kanten-Absorbers gemäß Abbildung 31 b) mit unterschiedlichen Abdeckungen. a) ohne Abdeckung (dünne Linie); b) beide Seiten mit GK-Lochplatten abgedeckt (9,5 mm dick, 20 % Lochflächenanteil) (punktiert); c) breite Seite mit GK abgedeckt (Dicke: 9,5 mm), schmale Seite offen (strichliert); d) breite Seite mit GK abgedeckt, schmale mit GK-Lochplatten (dicke Linie).

Natürlich könnte man den darin erkennbaren Absorptionsverlust weiter reduzieren, indem man Abdeckungen mit größerem Lochanteil bzw. geringerem Strömungswiderstand zum Einsatz brächte. Eine Abdeckung der breiten Seite des Absorbers mit 9,5 mm dicken GK-Platten gemäß Abbildung 32 schmälert erwartungsgemäß die Dämpfung der mittleren und hohen Frequenzen; dagegen bleibt die Absorption bei den Tiefen praktisch unverändert, was auf Resonanzeffekte in dieser Art von Absorbern hindeuten könnte. Für eine von den Einbauverhältnissen etwas unabhängige Auslegung empfiehlt sich etwa die Kurve d) in Abbildung 32.

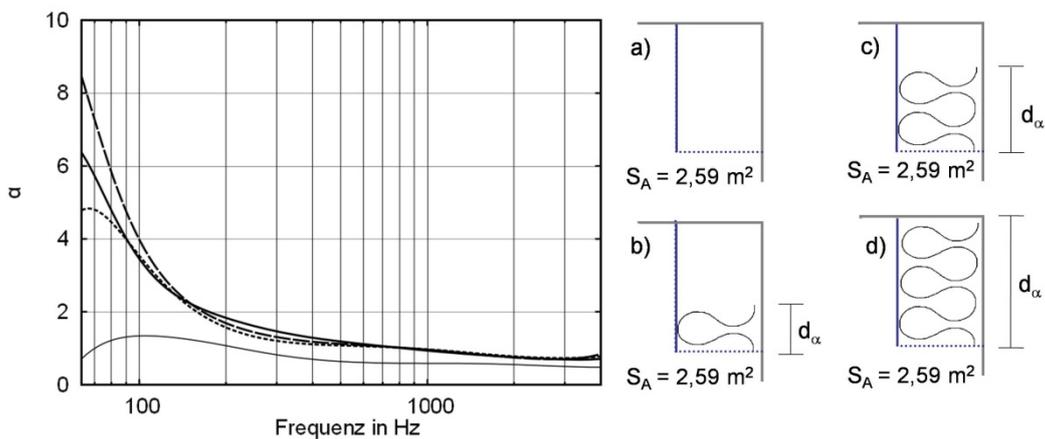


Abbildung 33 Gemittelter Absorptionsgrad eines Kanten-Absorbers gemäß Abbildung 30 mit unterschiedlich dicker Mineralwolle-Füllung ( $d_\alpha$ ), jeweils bezogen auf  $S_A = 2,59 \text{ m}^2$ . a) 0 mm (durchgezogen); b) 160 (punktiert); c) 320 (strichliert); d) 500 (fett durchgezogen).

Die Kurven in Abbildung 33 deuten darauf hin, dass die Stopfung dieser Absorber mit Dämpfungsmaterial keinen großen Einfluss auf ihre Wirkung nimmt. Es sieht so aus, als wenn eine nicht vollständige Füllung bei den tiefsten Frequenzen vielleicht sogar einen

kleinen Vorteil bringen könnte. In dieser Hinsicht und auch was die Ausführung der Rahmenkonstruktion betrifft müssen hier noch einige Fragen offen bleiben.

Man könnte meinen, dass es von großem Vorteil wäre, die Kanten-Absorber in drei Kanten des Raumes senkrecht zueinander, also z. B. zwei friesartig unter der Decke und einen senkrecht darunter, zu installieren, um so alle Raum-Moden optimal zu erfassen. Abbildung 34 zeigt aber, dass die auf die jeweilige Gesamtfläche oder -länge bezogene Absorption, selbst bei den tiefsten Frequenzen, sich bei diesen drei Absorberanordnungen nicht wesentlich unterscheidet.

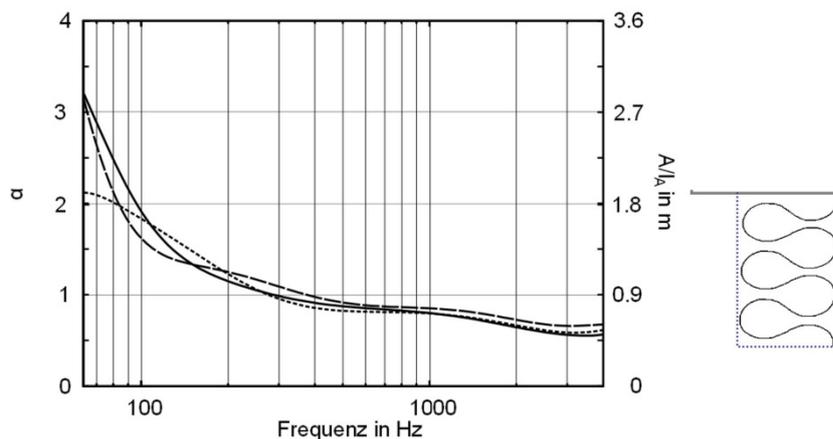


Abbildung 34 Gemittelter Absorptionsgrad (linke) bzw. Absorptionsfläche pro m Kantenlänge (rechte Skala) von Kanten-Absorbern gemäß Abbildung 32 in drei Raumkanten senkrecht zueinander. a) eine Kante (Länge: 6,48 m;  $S_A = 5,83 \text{ m}^2$ ) (durchgezogen); b) zwei Kanten (Länge: 11,48 m;  $S_A = 10,33 \text{ m}^2$ ) (strichliert); c) drei Kanten (Länge: 17,27 m;  $S_A = 15,54 \text{ m}^2$ ) (gepunktet).

## 5.2 Vorteile von Kanten-Absorbern

- Ihre hohe Wirksamkeit im gesamten für Sprache wichtigen Frequenzbereich, besonders aber bei den Tiefen, unterstützt die Verständlichkeit und kann so den von den Nutzern selbst erzeugten Schallpegel senken und die akustische Behaglichkeit des Raumes generell anheben.
- Die Absorber nehmen ein minimales Volumen in einem Raumbereich in Anspruch, der in der Regel für keinen anderen Zweck genutzt wird und keiner anderen Installation im Wege ist, weil jene in ihrem Inneren „versteckt“ werden können. Zu den Kanten hin halten üblicherweise auch die im Beton verlegten Rohre von „Kühldecken“ einen gewissen Abstand, so dass die Kanten-Absorber hier den Wärmetransport nicht behindern.
- Sowohl die geschlossenen als auch die Lochplatten können am einfachsten vor Ort aus Gipskarton, aber ebenso auch aus Holz, Metall oder Kunststoff gefertigt, u.U. auch vorgefertigt werden. Im Gegensatz zu vielen Akustik-Paneelen und -Putzen lassen sie sich leicht reinigen und bei einer Renovierung einfach überstreichen.

In den Produktionsstätten der Nahrungsmittelindustrie sowie in Großküchen muss Aufgrund der hohen hygienischen Anforderungen eine Verschmutzung des faserigen/porösen Dämpfungsmaterials im Absorber verhindert werden. Das geschieht z. B. indem man den Absorber rundum hermetisch und dauerhaft mit einer Metall- oder Kunststoff-Folie umhüllt,

die den jeweiligen Anforderungen des Betriebes genügt. Das muss aus akustischer Sicht so geschehen, dass die Folie weder auf dem Dämpfungsmaterial noch auf dessen perforierter Abdeckung anliegt. Selbst wenn dies konstruktiv entsprechend gelöst wird, reduziert solch eine Verkleidung in jedem Fall die Wirksamkeit des Absorbers. Die schalltechnische Wirksamkeit, abhängig vom Flächengewicht  $m''$  in  $\text{kg/m}^2$  der Abdeckung, bleibt oberhalb einer Frequenz  $f_0$  in Hz,

$$f_0 \approx \frac{90}{m''} \quad , \quad (5.4)$$

mit wachsender Frequenz immer mehr hinter derjenigen des unverkleideten Absorbers zurück. Abbildung 35 zeigt diesen Abfall bereits oberhalb 200 Hz für die schwerste Abdeckung, Edelstahl mit  $390 \text{ g/m}^2$ . Aber auch noch dünnere Edelstahl-Folien als in Abbildung 35 können bei sorgfältiger Montage diese Schutzfunktion erfüllen, ohne die Absorption bei den oft dominanten Frequenzanteilen um 1 kHz in Werkhallen wesentlich zu mindern, weil sie in den stabilen Lochplatten einen sicheren mechanischen Schutz hinter sich haben.

Ein Vergleich der Messkurven c) und d) in Abbildung 32 macht aber auch deutlich, dass man die den Schalleintritt erlaubende Seite möglichst widerstandsfrei und offen gestalten sollte. Die letzte Forderung lässt sich gut erfüllen, wenn man die offene Fläche nicht so, wie allgemein üblich, dem Raum zugewandt und deshalb schutzbedürftig baut, sondern dem Raum ab- und stattdessen einer Wand oder Decke zuwendet.

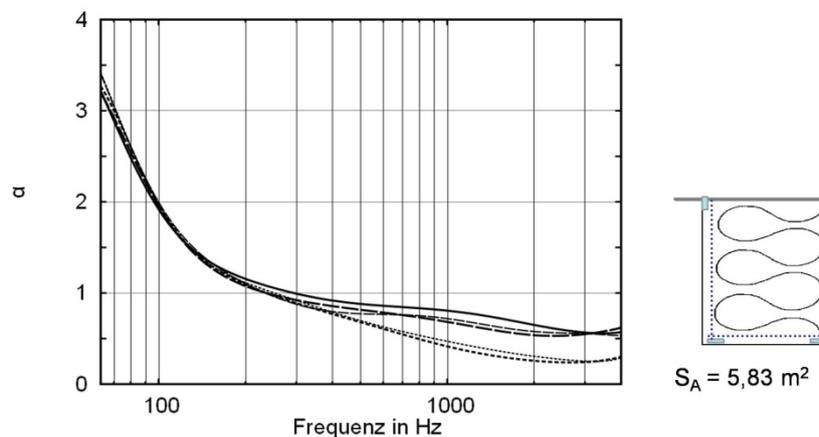


Abbildung 35 Einfluss einer Folienabdeckung auf den gemittelten Absorptionsgrad eines Kanten-Absorbers gemäß Abbildung 32 b. a) ohne Abdeckung (durchgezogen); b)  $30 \mu\text{m}$  Aluminium ( $m'' = 81 \text{ g/m}^2$ ;  $f_0 = 1111 \text{ Hz}$ ) (weit strichliert); c)  $50 \mu\text{m}$  Aluminium ( $m'' = 135 \text{ g/m}^2$ ;  $f_0 = 666 \text{ Hz}$ ) (eng strichliert); d)  $38 \mu\text{m}$  Edelstahl ( $m'' = 296 \text{ g/m}^2$ ;  $f_0 = 304 \text{ Hz}$ ) (weit punktiert); e)  $50 \mu\text{m}$  Edelstahl ( $m'' = 390 \text{ g/m}^2$ ;  $f_0 = 230 \text{ Hz}$ ) (eng punktiert).

Einen zweiten wichtigen Schritt zur Fortentwicklung der prinzipiell bekannten Kanten-Absorber stellt deshalb Abbildung 36 dar: Überraschenderweise verliert der hier schalltechnisch optimierte Kanten-Absorber gemäß Abbildung 32 d) kaum seine Wirksamkeit bei tiefen Frequenzen, wenn man diesen mit seiner Öffnung nahe zu einer Wand oder Decke anordnet, ihn quasi falsch herum einbaut. Die vom Raum her dann noch sichtbare Öffnungsfläche  $S_0$  kann so nicht nur viel kleiner als die Absorberoberfläche, sondern

geradezu verschwindend klein gegenüber seiner äquivalenten Absorptionsfläche gewählt werden:

$$S_o \ll S_A \ll A \quad . \quad (5.5)$$

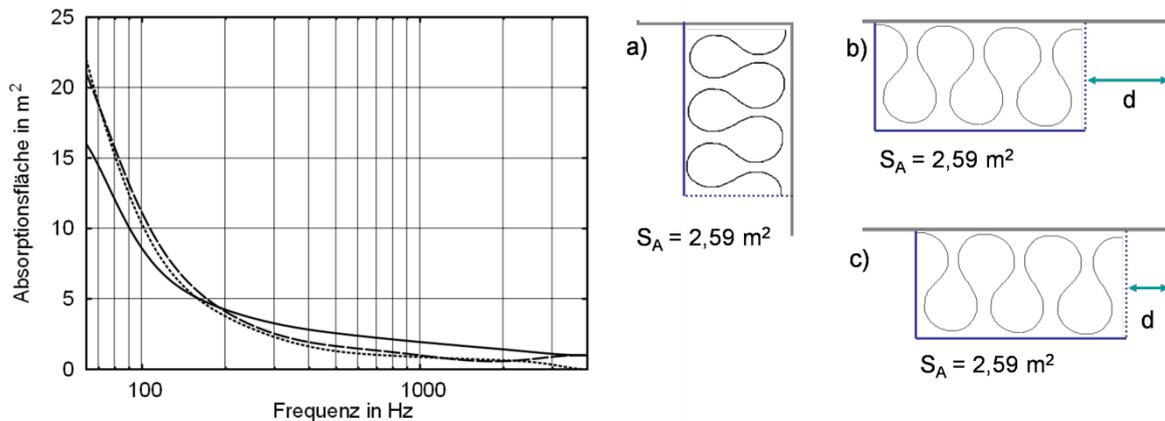


Abbildung 36 Gemittelter Absorptionsgrad von Kanten-Absorbern in den Abmessungen 400 x 500 mm mit Mineralwolle-Füllung im Vergleich von der Wand oder Decke abgerückten Kanten-Absorbern, a) breite Seite mit GK-Platten, schmale mit GK-Lochplatten abgedeckt (durchgezogen); b) schmale Seite zur Wand hin mit GK-Lochplatten abgedeckt; Absorber-Spalt  $d = 200$  mm (strichliert); c) schmale Seite zur Wand hin mit GK-Lochplatten abgedeckt; Absorber-Spalt  $d = 100$  mm (gepunktet).

Sowohl die Variante b) als auch c) in Abbildung 36 eröffnen sehr vielfältige neue Problemlösungen für die akustische Konditionierung von kommunikativ genutzten Räumen und könnten diese Aufgabe vom Nutzer bzw. Mieter wieder zum Investor bzw. Vermieter zurück bringen, wohin sie eigentlich auch gehört.

Vorteile des von der Wand abgerückten Kanten-Absorbers:

- Der nahe (400 bis 20 mm) bis an eine Wand oder Decke herangeführte, sozusagen gänzlich „umgestülpte“ Kanten-Absorber erscheint visuell nicht mehr als Schallabsorber, sondern eher wie ein „Unterzug“ aus schallhartem Material (z. B. Beton) oder „Koffer“ bzw. Verkleidung für Kabel und Kanäle (z. B. aus Gips, Holz oder Blech)
- Insbesondere wenn die breitere Platte in Abbildung 36 etwas über den Rand zur offenen Fläche übersteht, lässt die dadurch gebildete „Schattenfuge“ den Spalt zwischen Absorber und Decke oder Wand als bewusst gestaltetes Designelement erscheinen.
- Da die offene Fläche sehr nahe zu einer Decke oder Wand angeordnet ist, kann die Abdeckung der offenen Fläche weitgehend nach schalltechnischen Gesichtspunkten gestaltet werden. Vorzugsweise besteht sie aus einem vollständig schalldurchlässigen Material, z. B. einer Folie mit geringem Gewicht bzw. einem Faservlies mit niedrigem Strömungswiderstand.
- Der Absorber-Spalt zur Decke oder Wand bietet Sichtschutz für ebenfalls bevorzugt in Raumkanten zu verlegende diverse Kabel, Leitungen und Kanäle.
- Im Absorber-Spalt lassen sich Leuchten und Lichtbänder für jede Art indirekter Beleuchtungstechnik optisch sehr attraktiv unterbringen.

- Obgleich die Einbauten im Absorber-Spalt den Blicken der Nutzer verborgen sind, bleiben sie für jedwede Revisionen, Reparaturen und Änderungen durch Handwerker leicht zugänglich.
- Dieser Absorber wird leicht zu einem äußerst robusten multifunktionalen Bauelement, in dessen vorzugsweise weit gehend mit Mineralwolle gefülltem Hohlraum alle möglichen Installationen untergebracht und geführt werden können.
- An jeder seiner drei Oberflächen können Öffnungen für den Lufteintritt und -austritt angebracht werden.
- Seine rundum glatten Oberflächen machen den neuartigen Absorber besonders geeignet als hygienisch qualifiziertes Bauteil, wenn man diesen als Ganzes oder in Teilen mit einer dünnen resistenten Folie z. B. aus Edelstahl umhüllt.
- Er kann kostengünstig vor Ort in Trockenbauweise installiert, aber auch komplett oder in Einzelteilen beim Hersteller vorgefertigt werden.

## 5.3 Praxisbeispiel

Von der Hochschule für Medien und Kommunikation wurden sechs mittelgroße Räume für Unterricht und Seminare, als Bibliothek und Cafeteria in einem für diese und andere Nutzungen komplett restaurierten historischen Gebäudekomplex einer ehemaligen Druckerei in Berlin-Tempelhof angemietet. Das schöne Erscheinungsbild der sehr massiv umschlossenen Räume mit einer imposanten Höhe von ca. 3,8 m wird durch eine Vielzahl gewaltiger Beton-Unterzüge (0,4 m tief unter der Betondecke) geprägt. Nach kurzem Unterrichtsbetrieb zwangen aber die Klagen von Studenten und Dozenten gleichermaßen zu einer umgehenden Nachrüstung – natürlich, wie fast immer in solchen Fällen, am besten sozusagen im Handumdrehen und mit möglichst niedrigen Kosten!

Die Nachhallzeit in den Schulungsräumen stieg, ganz typisch für solche baulichen Situationen, von 1,5 s bei 4 kHz bis auf 4 s bei 100 Hz an, siehe Abbildung 37.

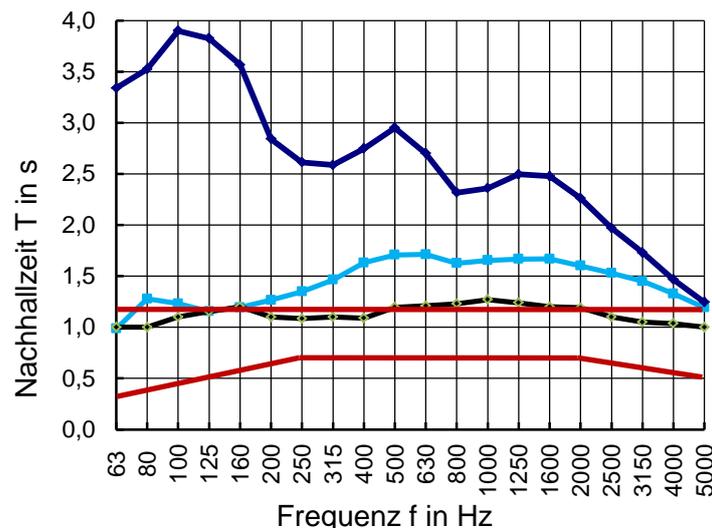


Abbildung 37 Nachhallzeit in zwei etwa baugleichen unbesetzten Schulungsräumen ohne (dunkelblau) bzw. mit Kanten-Absorbern (hellblau), sowie berechnet mit 25 Nutzern (schwarz). Der rote Bereich gibt die Planungsempfehlungen der DIN 18041 wieder.

Eine vom Investor und Vermieter dieser Immobilie angedachte „Akustikdecke“ hätte nicht zu der für diesen Zweck bei einer Raumgröße von ca. 300 m<sup>3</sup> zu empfehlenden Nachhallzeit von ca. 1 s, möglichst konstant bis 63 Hz herunter, geführt. Allenfalls eine ca. 1 m breite Hinterfüllung mit einer mindestens 80 mm dicken Dämpfungsschicht im Deckenhohlraum hinter einer akustisch hinreichend absorbierenden bzw. transparenten Mineralfaser-Unterdecke hätte den Anforderungen vielleicht genügt. Gegen eine derart aufwändige Nachrüstung sprachen aber sowohl die durchaus ansprechende Architektur einer alten Fabrikhalle als auch der enge Kosten- und Zeitplan.

Die Unterzüge gaben schließlich das Design-Motiv ab für 400 mm tiefe Kanten-Absorber, die eine ganzflächig abgehängte Decke mit etlichen teuren Ausschnitten und Durchbrechungen für Leuchten, Kabel und Kanäle ganz entbehrlich machen [12]. Beginnend im 272 m<sup>3</sup> großen Unterrichtsraum wurden diese auf einer Länge von ca. 25 m an den drei fensterlosen Wänden waagrecht unter der Decke sowie senkrecht in einer Raumkante, ca. 400 bis 600 mm breit jeweils den baulichen Gegebenheiten angepasst, eingebaut, siehe Abbildung 38. Der von Gipskarton-Platten einerseits und Lochblech-Kassetten andererseits (rückseitig mit Faservlies als Rieselschutz) umschlossene Hohlraum der Kanten-Absorber wurde ganz mit Mineralwolle ausgefüllt.



Abbildung 38 Waagrechte und senkrechte Kanten-Absorber aus Mineralwolle hinter Gipskarton und Lochblech zur raumakustischen Sanierung von sechs Schulungsräumen der *Hochschule für Medien und Kommunikation* in Berlin-Kreuzberg.

Nach sorgfältiger Verspachtelung aller Wand- und Deckenanschlüsse sorgten Anstriche der Einbauten im gleichen Weiß der Wände und Decken dafür, dass diese Maßnahme den Nutzern nach einer kurzen Ferienpause optisch überhaupt nicht auffielen, siehe Abbildung 38. Im Vergleich zur Nachhallzeit eines fast baugleichen Raumes mit 254 m<sup>3</sup> ist in Abbildung 37 eine gewaltige Absenkung insbesondere des tieffrequenten Nachhalls auf etwas über 1 s zu erkennen. Wenn man die Absorption durch etwa 25 Personen berücksichtigt, dann ergibt sich so eine frequenzunabhängige Nachhallzeit von ungefähr 1 s, wie sie für kommunikationsintensiv genutzte Räume dieser Größe schon fast als ideal anzusehen ist. Entsprechend zufrieden waren alle Nutzer und sofort wurden auch die anderen oben aufgeführten Räume mit derselben Technologie nachgerüstet.

## **5.4 Kanten-Absorber in hygienisch sensiblen Bereichen?**

Lärmreduzierung in hygienisch sensiblen Bereichen wie z. B. in der Nahrungsmittelproduktion stellt an die Betriebe eine große Herausforderung. Sind die Räume nicht zu groß und haben ausreichend verwendbare Kanten so können Kanten-Absorber mit einer Ummantelung aus z. B. Edelstahl-Folien eine Möglichkeit zur Absorption darstellen. Dabei muss allerdings die Dichtigkeit gewährleistet bleiben, damit keine Feuchtigkeit als Grundlage für Verunreinigungen in das innere, poröse Material des Kanten-Absorbers eindringen kann. Einfacher sind Absorber die nur aus gut reinigbarem Material wie Edelstahl bestehen. Das geschlitzte Blech SonoPerf A ist in Aluminium und Edelstahl erhältlich und bietet somit eine Alternative Absorptionsmöglichkeit die sich auch nass reinigen lässt.

## 6 Untersuchungen von SonoPerf A im Hallraum

Eine gute Möglichkeit in hygienisch anspruchsvollen Bereichen Schall zu absorbieren bieten die mikrogeschlitzten Bleche SonoPerf A aus Aluminium oder vorzugsweise Edelstahl. Diese Absorber absorbieren im mittel bis hochfrequenten Bereich. Ihre Effektivität kann durch mehrfache Lagen gesteigert werden. Da diese Art von Absorbern besonders gut nass gereinigt werden kann stellen sie evtl. eine gute Möglichkeit zur Absorption von Schall in Nahrungsmittelbetrieben dar. Um die akustischen Eigenschaften zu untersuchen wurden weitere Hallraummessungen durchgeführt. So wurde im Hallraum des Instituts für Arbeitsschutz, Sankt Augustin, sowohl der Aufbau mittig im Hallraum mit Abstand zu Boden, als auch der Aufbau unterschiedlicher Kanten-Absorber aus SonoPerf A getestet. Für alle Messungen wurde SonoPerf A aus Aluminium der Stärke 8 mm.

### 6.1 Referenzmessungen

Um Referenzwerte für die Kanten-Absorber Messungen zu erhalten, wurden zuerst 12 m<sup>2</sup> SonoPerf A flächig auf dem Hallraumboden auf einen Holzrahmen aufgebracht und im Abstand 200 und 400 mm zu Hallraumboden gemessen.

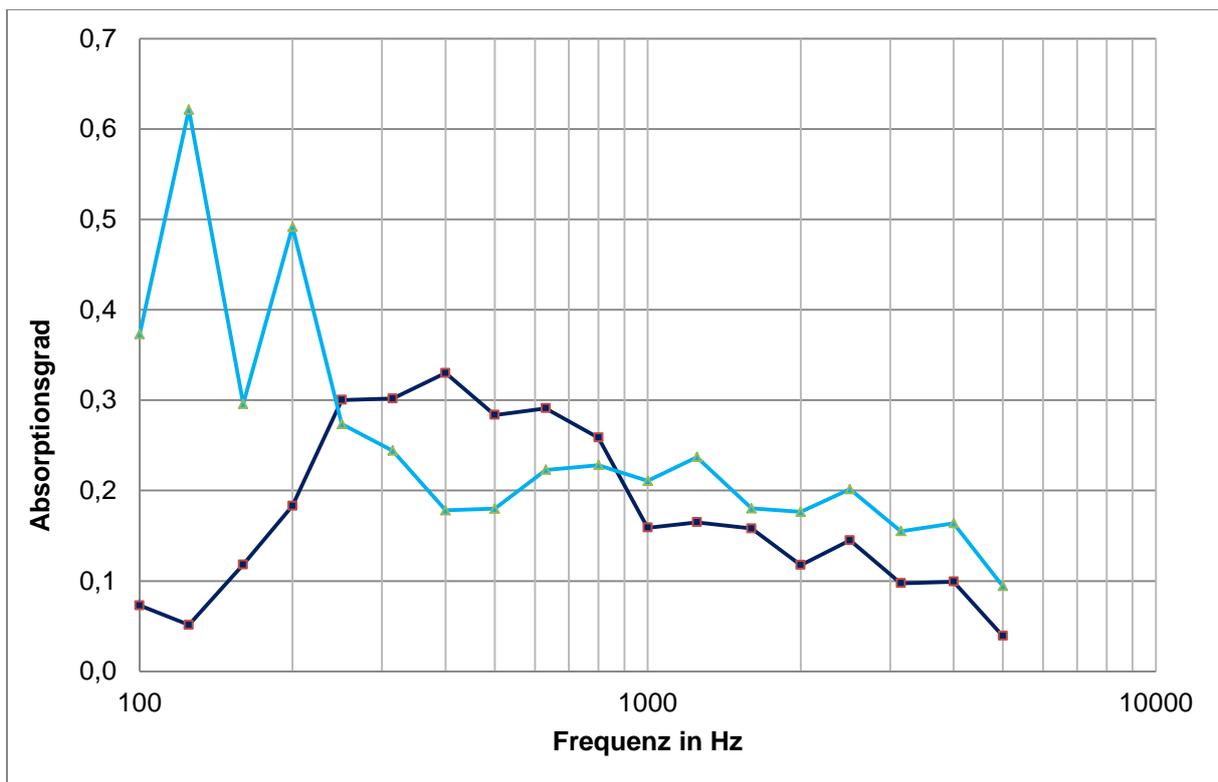


Abbildung 39 Vergleich von 12 m<sup>2</sup> SonoPerf A mittig auf dem Hallraumboden in einem Holzkasten mit Bodenabstand 200 mm (dunkelblau) und 400 mm Bodenabstand (hellblau)

Die Messungen zeigen einen Anstieg in den mittleren Frequenzen (Bauch) und fallen zu den tiefen Frequenzen hin ab, wie bei mikroperforierten bzw. geschlitzten Absorbern erwartet, vgl. Abbildung 9 mit Abbildung 39. Das Maximum verschiebt sich mit größer werdendem Abstand zum Boden zu tieferen Frequenzen.

## 6.2 SonoPerf A als Kanten-Absorber

Um die Wirksamkeit von Absorbern zu steigern, können sie in den Ecken und Kanten des Raumes, wo die Schalldruckenergie besonders hoch ist, platziert werden. Dieser Aufbau wurde mit den Aluminiumblechen von SonoPerf A ebenfalls vorgenommen. Der geschlitzte Kanten-Absorber wurde entlang einer Kante des Hallraumes über eine Länge von 6,48 m in unterschiedlichen Weisen aufgebaut und die Nachhallzeit des Hallraumes mit diesen Absorbern gemessen. Daraus wurden die Absorptionsgrade berechnet.

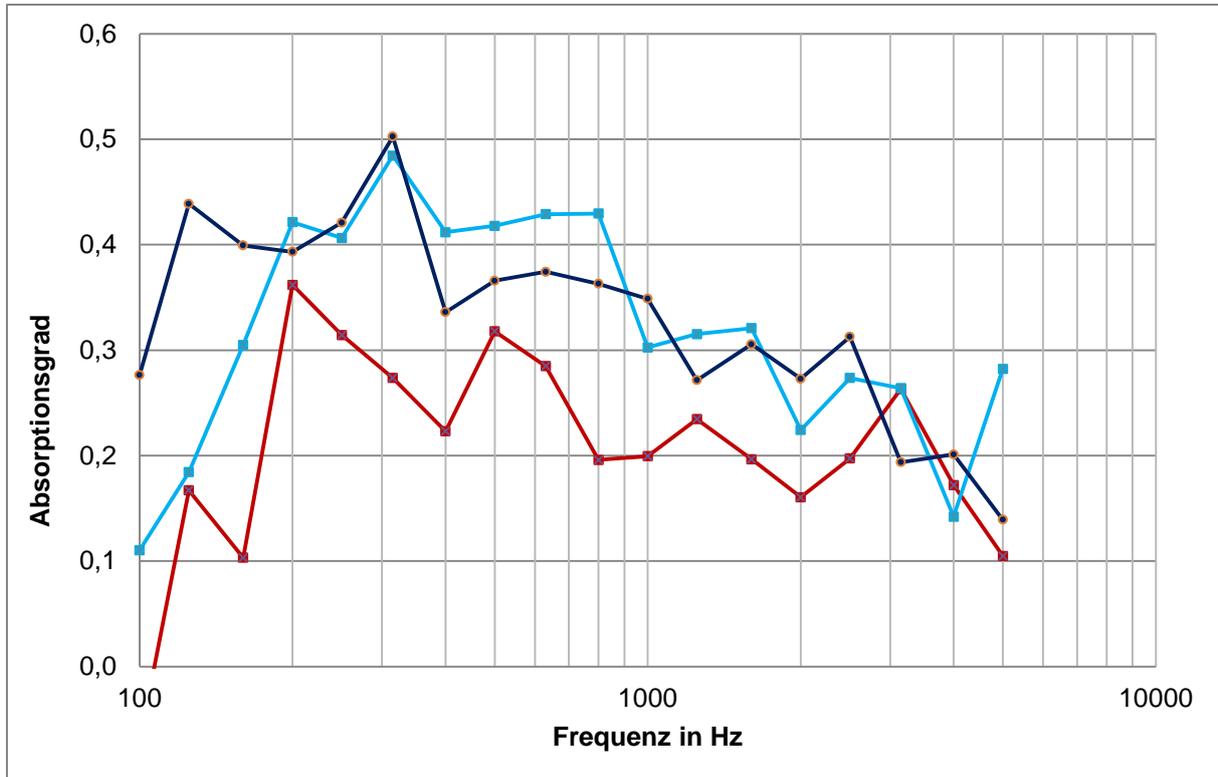


Abbildung 40 Vergleich von SonoPerf A als 400 x 500 mm großem Kanten-Absorber der Länge 6,48 m; einlagiger Kanten-Absorber (rot) mit zweilagigem Kanten-Absorber Plattenabstand 20 mm (hellblau) und mit zweilagigem Kanten-Absorber Plattenabstand 50 mm (dunkelblau).

Der Absorptionsgrad dieses einlagigen Kanten-Absorbers kann durch eine zweite Lage von SonoPerf A noch um ca. 0,1 verbessert werden, vgl. Abbildung 40.

Verwendet man anstatt eines kastenförmigen Absorbers nur die Diagonale als Absorber, so erreicht dieser diagonale Kanten-Absorber einen ähnlichen Absorptionsgrad, allerdings nicht über einen solch großen Frequenzbereich, siehe Abbildung 42. Die Kombination aus den Diagonalen und dem kastenförmigen Kanten-Absorber (siehe Abbildung 41) verbessert den Absorptionsgrad im Spektrum.

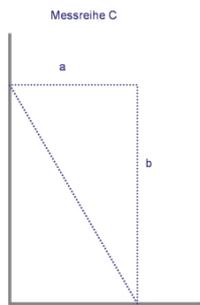


Abbildung 41 Schnitt des Aufbaus der Kombination aus der Diagonalen und dem Kanten-Absorber

Formt man das SonoPerf A zu einem zylindrischen Absorber, so sind die Unterschiede im Absorptionsgrad verglichen mit dem diagonalen Absorberblech gering, siehe Abbildung 43.

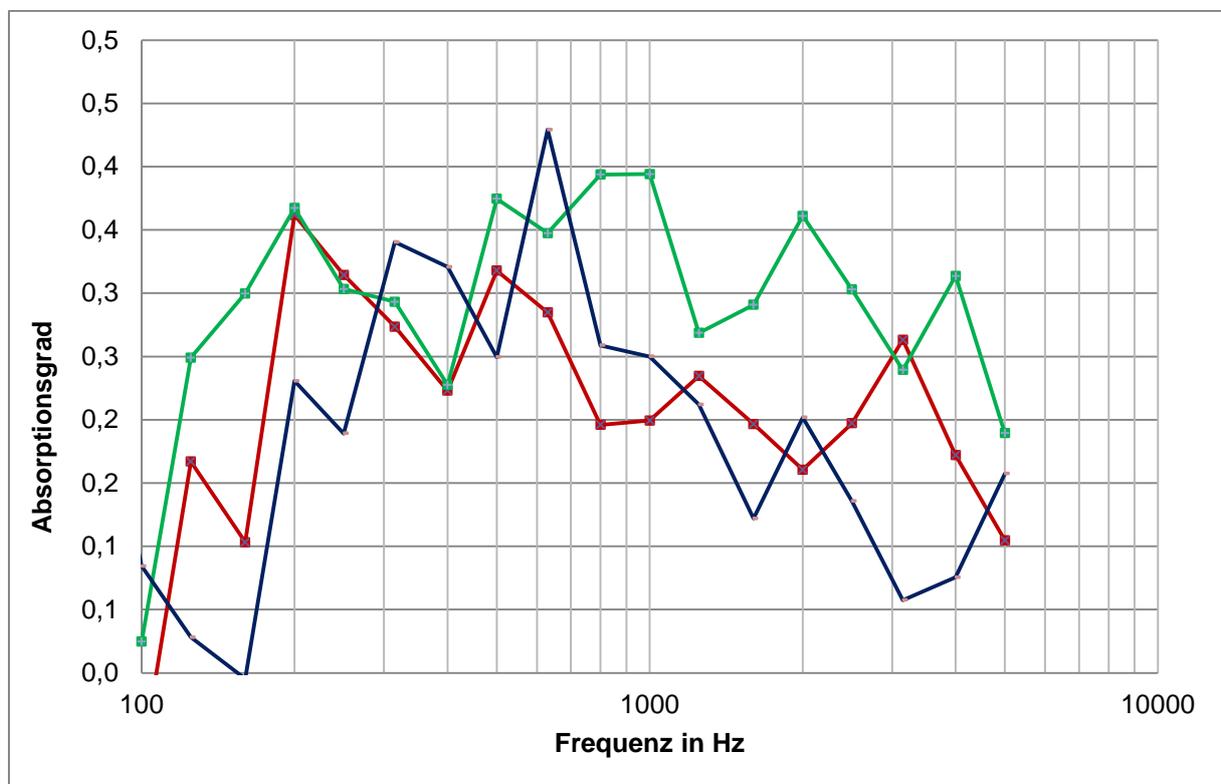


Abbildung 42 Vergleich von SonoPerf A in einer Raumkante der Länge 6,48 m als einlagiger 400 x 500 mm großem Kanten-Absorber (rot), mit diagonalem Absorber ebenfalls in der Raumkante (dunkelblau) und mit der Kombination aus diagonalem Absorber mit davorgesetzter einlagigem 400 x 500 mm großem Kanten-Absorber (grün)

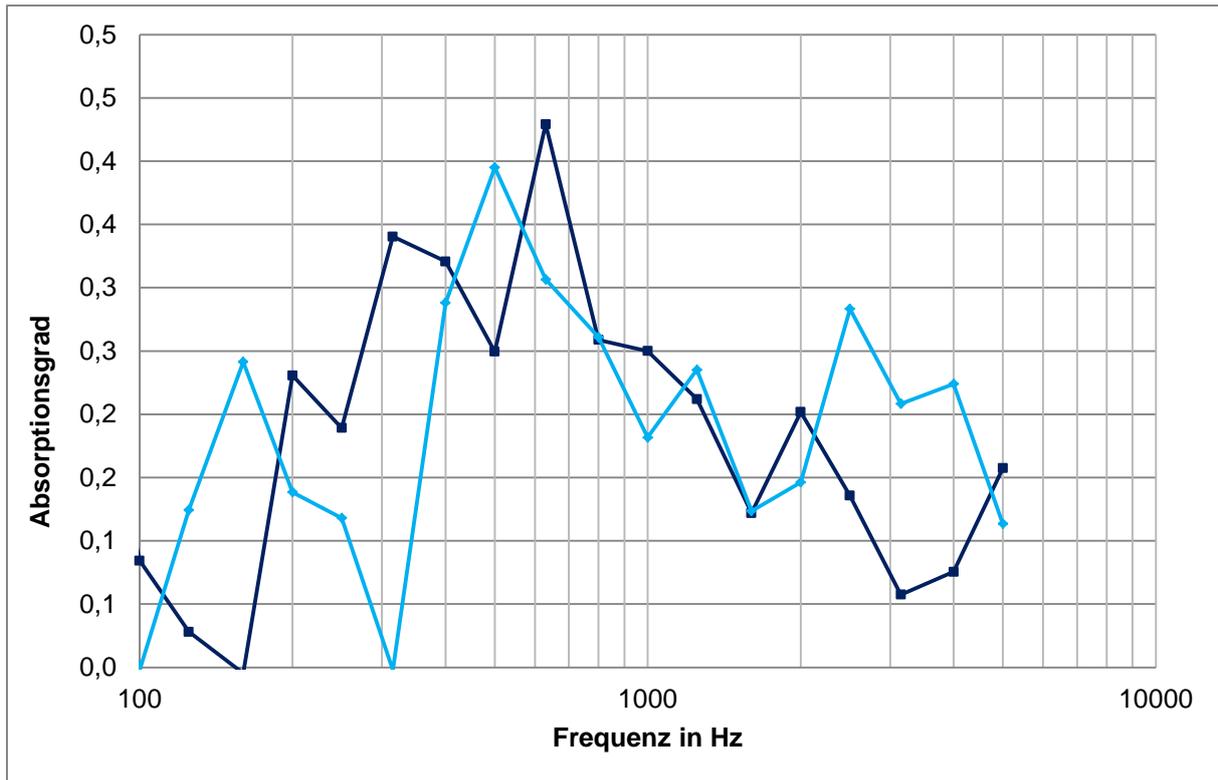


Abbildung 43 Vergleich von SonoPerf A in einer Raumkante der Länge 6,48 m als diagonalem Absorber (dunkelblau) und zylindrischem Absorber (hellblau)

## 6.3 Vergleich von Kanten-Absorbern mit SonoPerf A-Kanten-Absorbern

Kanten-Absorber bieten durch ihren Aufbau aus porösem Material eine bessere Absorptionsmöglichkeit, die besonders in den Ecken und Kanten sinnvoll genutzt werden kann. Baut man einen solchen Absorber aus z. B. SonoPerf A-Blechen auf, so werden die langen Wellenlängen, also die tiefen Geräusche, nicht wesentlich besser absorbiert als bei einem sonst üblichen Aufbau von SonoPerf vor der Wand. Der Kanten-Absorber mit porösem Material ist dem aus geschlitztem Blech vorzuziehen, wenn es die hygienischen Gegebenheiten erlauben. Der Vergleich zweier Kanten-Absorber der Größe 400 x 500 mm, zum Einen aus Gipskarton mit Mineralwollefüllung zum Anderen aus SonoPerf A, zeigt deutlich (siehe Abbildung 44), dass in den höheren Frequenzen der Absorptionsgrad des Absorbers mit Mineralwollefüllung ca. doppelt so hoch ist wie der des Absorbers aus SonoPerf A. In den tiefen Frequenzen wird der Unterschied sogar noch deutlicher. Hier absorbiert der Absorber aus SonoPerf A deutlich schlechter als der Kanten-Absorber mit Mineralwollefüllung.

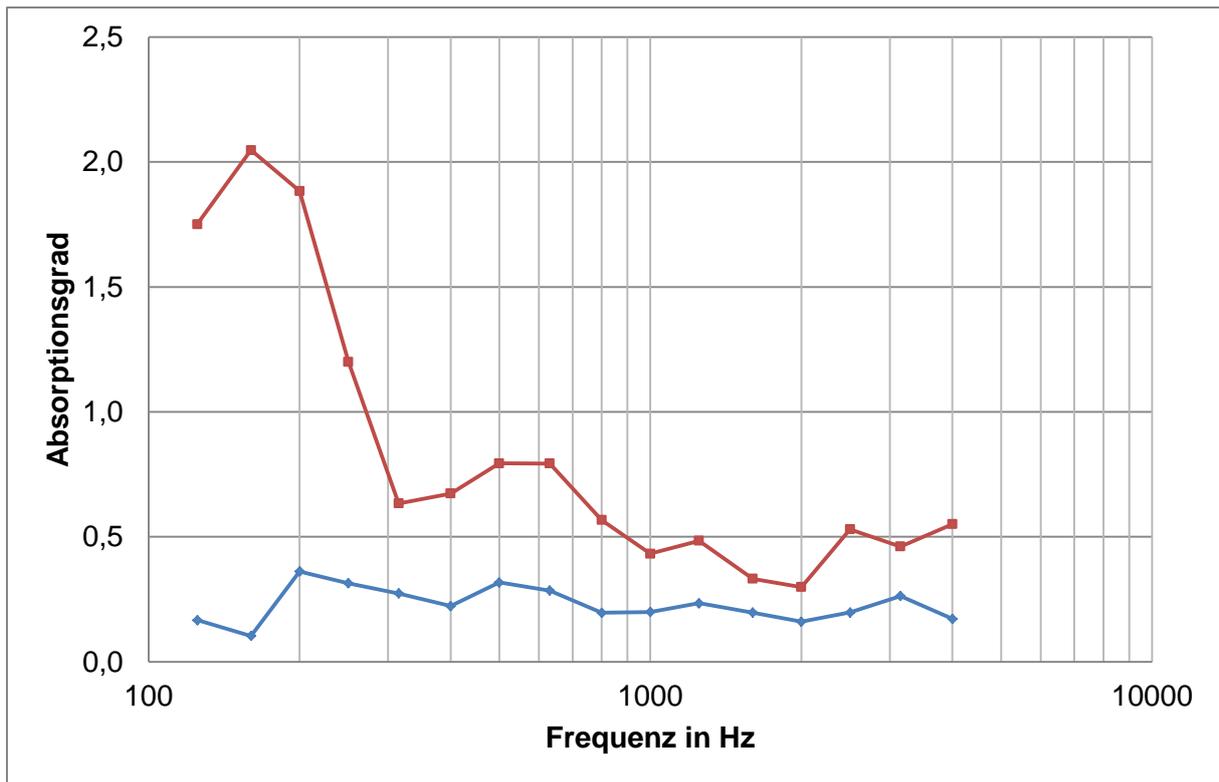


Abbildung 44 Vergleich zweier Kanten-Absorber der Größe 400 x 500 mm zum einen rot aus Gipskarton mit Mineralwolle Füllung zum anderen blau aus SonoPerf A

# 7 Fazit und Ausblick

## 7.1 Fazit

Der Einsatz innovativer Schallabsorber eröffnet eine Vielzahl neuer raumakustischer Lösungen. Je nach gegebenen Anforderungen und Bedingungen bieten unterschiedliche innovative Absorber Vorteile gegenüber herkömmlichen schallabsorbierenden Maßnahmen.

Stehen Design und geringe Einbautiefe, wie z. B. in Bürogebäuden oder Gaststätten, im Vordergrund, so können Breitband-Kompaktabsorber oder Verbundplatten-Resonatoren eine gute Wahl sein. Wird hauptsächlich auf Kosten und Funktionalität Wert gelegt und sollen Licht- und Lüftungstechnik erhalten bleiben, so können Kanten-Absorber, je nach Raumeigenschaften und Platzangebot, gut geeignet sein. Mikroperforierte oder geschlitzte Absorber hingegen eignen sich gut zur Reduktion von mittel- bis hochfrequenten Geräuschen in Räumen, in denen die Anforderungen an die Hygiene hoch sind, da diese Art von Absorbern nass gereinigt werden kann.

In der Kantine der BGN konnten Breitband-Kompaktabsorber mit sehr gutem Erfolg eingesetzt werden. Raumakustische Messungen und Messung von Schalldruckpegeln zur Mittagszeit bestätigten die subjektiven Eindrücke. So konnte die Nachhallzeit um ca. 0,6 s gesenkt werden. Die Sollnachhallzeit wurde erreicht. Die Schallausbreitungskurven konnten ebenfalls deutlich verbessert werden, sie verlaufen nun sehr nah an der Kurve der freien Schallausbreitung ohne Reflexion. Zur Mittagszeit wurden die Pegel, abhängig von Sitzplatz und Besetzungszahl der Kantine, um 3 – 5 dB gesenkt. Computersimulationen bestätigten ebenfalls die Verbesserung der akustischen Situation.

Ein vielversprechender, innovativer Absorber ist der sogenannte Kanten-Absorber, der den Schall in den Ecken und Kanten des Raumes absorbiert. Die Vorteile dieses breitbandig wirksamen Absorbers sind neben der sehr guten Absorption in den tiefen Frequenzen, die geringen Kosten und die Möglichkeit sie individuell dem Raum anzupassen, da sie vom Trockenbauer direkt vor Ort eingebaut werden können. Zusätzlich entfällt eine Neugestaltung der gesamten Decke. Belüftung und Beleuchtung können in der Regel erhalten bleiben. Auch bei thermisch aktivierten Decken ist der Einbau von Kanten-Absorbern gut möglich. Durch den Einbau von Kanten-Absorbern werden insbesondere die tiefen Frequenzen sehr gut absorbiert. Somit sind Kanten-Absorber geeignete Schallabsorber für Räume, in denen Sprache eine wichtige Rolle spielt. Durch umfangreiche Messreihen ist es in diesem Projekt gelungen, den Kanten-Absorber zu optimieren. Hierbei wurden Erkenntnisse über den Einfluss der Bauweise des Kanten-Absorbers auf seine Wirksamkeit gewonnen und so eine optimierte Form gefunden. Bemerkenswerterweise wurde eine neuartige Konfiguration des Kanten-Absorbers entdeckt. Der Einbau des Absorbers mit etwas Abstand zur Wand oder Decke absorbiert den Schall in den tiefen Frequenzen noch besser als der bereits sehr gut absorbierende Kanten-Absorber und ermöglicht einen noch flexibleren Einsatz des Kanten-Absorbers. Für den Einsatz in hygienisch anspruchsvollen Bereichen ist es möglich, den Kanten-Absorber in Folien (z. B. aus sehr dünn gewalzten Edelstahl) zu verpacken und dadurch eine nasse Reinigung zu ermöglichen, ohne die Wirksamkeit des Absorbers in den tiefen Frequenzen signifikant zu verringern.

Ein weiterer Ansatz für hygienisch anspruchsvolle Bereiche waren in diesem Projekt geschlitzte Absorber aus Aluminium. Diese sogenannten SonoPerf A Bleche sind auch in der

Edelstahlvariante erhältlich und absorbieren Schall durch Reibung in den Schlitzten. Das Absorptionsverhalten dieser Absorber ist in einem schmalen Frequenzbereich sehr gut. Durch die Anbringung in den Raumkanten kann der Absorptionsgrad verbessert werden. Der Vergleich mit einem Kanten-Absorber mit Mineralwollefüllung zeigt allerdings, dass dieser zu bevorzugen ist, wenn es die Anforderungen an die Hygiene erlauben.

## 7.2 Ausblick

In diesem Projekt ist es gelungen, mit innovativen Schallabsorbern in einem ersten Ansatz gute Ergebnisse in der Kantine zu erzielen. Die dort verwendeten Absorber sind für designorientierte Räume vielversprechend und können in weiteren Anwendungsbeispielen eingesetzt und bewertet werden.

In umfangreichen Messreihen wurde der Kanten-Absorber weiter entwickelt. Sowohl die optimierte Bauweise als auch der Kanten-Absorber in der neuen Konfiguration sollte in Praxisbeispielen angewendet und die Wirksamkeit bewertet werden.

Die Messungen des eingepackten Kanten-Absorbers zeigen, dass dieser prinzipiell für den Einsatz in hygienisch anspruchsvollen Bereichen geeignet ist. Neben den akustischen Nachweis stehen Untersuchungen unterschiedlicher Reinigungsmöglichkeiten für den Kanten-Absorber weiter im Fokus. Ist es z. B. möglich, den Aufbau des Absorbers so zu verifizieren, dass eine Reinigung mit UV-Licht möglich ist? Dabei stellen sich weitere Fragen nach dem Schutz der Arbeitnehmer vor den für die Augen nicht ungefährlichen Strahlen des UV-Lichtes. Um die Wirksamkeit der Reinigung zu gewährleisten, wären weitere mikrobiologische Untersuchungen notwendig, sowie sich anschließende praxisnahe Untersuchungen des Absorbers in hygienisch hoch anspruchsvollen Bereichen der Nahrungsmittelindustrie.

# 8 Literaturverzeichnis

- [1] J. Berger, M. Haaß, P. Rietschel und H. V. Fuchs, *Ein schallschutzkonzept für höchste hygienische Ansprüche*, DAGA, 2010.
- [2] H. V. Fuchs, J. Lamprecht und X. Zha, *Lärmbekämpfung in Bildungsstätten: Kanten-Absorber für besseres Verstehen und Lernen*, Lärmbekämpfung, 2012.
- [3] H. V. Fuchs, J. Lamprecht und X. Zha, *Zur Steigerung der Wirkung passiver Absorber: Schall in Raumkanten schlucken!*, Gesundheitsingenieur, 2012.
- [4] H. V. Fuchs, *Schallabsorber und Schalldämpfer*, Springer.
- [5] D.-Y. Maa, *Theory and design of microperforated panel sound absorbing constructions*, Scientia Sinica, 1975.
- [6] ASI 11.03/09, *Hygienic Design (Hygienegerechte Konstruktion von Nahrungsmittelmaschinen)*.
- [7] DIN EN ISO 3382-2 *Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen*, 2008.
- [8] DIN 18041 *Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen*, 2004-05.
- [9] VDI 3760 *Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen*, 1996-02.
- [10] DIN EN ISO 354 *Messung der Schallabsorption in Hallräumen*, 2003-12.
- [11] J. Lamprecht und H. V. Fuchs, *Zur Wirkungsweise von Kanten-Absorbern in kleinen bis mittelgroßen Räumen*, DAGA, 2012.
- [12] H. V. Fuchs, J. Lamprecht und X.Zha, *Erfahrungen mit innovativen Kanten-Absorbern in kommunikativ genutzten Räumen*, DAGA, 2012.