



## Abschlussbericht

# **Innovative Schallabsorber für kommunikationsintensiv genutzte Räume, Schulen und Kitas**

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

**Projekt-Nr.: F-03-1201**

Datum: 15.07.2016

# Inhaltsverzeichnis

.....	0
<b>Abschlussbericht .....</b>	<b>0</b>
<b>Einführung.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Hintergrund .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Ermittlung geeigneter Objekte .....</b>	<b>11</b>
<b>3 Übersicht der Objekte vor der Sanierung .....</b>	<b>11</b>
3.1 Grundschule Bad Rappenau: Filmraum .....	11
3.2 Hohenlohe Gymnasium Öhringen: Unterrichtsraum .....	12
3.3 Kita Kirnberger Straße Darmstadt Eberstadt: Bewegungs- und Schlafraum .....	13
3.4 Integrative Kindertagesstätte Ludwigshafen Oggersheim: Turnraum .....	13
3.5 Goethe-Mozart-Schule Ludwigshafen Oppau: Klassenzimmer .....	14
<b>4 Akustische Situation der Räume .....</b>	<b>15</b>
4.1 Messungen der Nachhallzeit zur Bewertung der Räume .....	15
4.2 Subjektive Einschätzung der Verständlichkeit der Sprache in den Räumen .....	15
<b>5 Ergebnisse der einzelnen Objekte .....</b>	<b>17</b>
5.1 Grundschule Bad Rappenau: Filmraum .....	17
5.1.1 Umbau Maßnahmen .....	17
5.1.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten .....	18
5.1.3 Bewertung der Maßnahme .....	18
5.2 Hohenlohe Gymnasium Öhringen: Klassenzimmer .....	19
5.2.1 Umbau Maßnahmen .....	19
5.2.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten .....	20
5.2.3 Bewertung der Maßnahme .....	20
5.3 Kita Kirnberger Straße Darmstadt Eberstadt: Bewegungs- und Schlafraum .....	21
5.3.1 Umbau Maßnahmen .....	21
5.3.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten .....	22
5.3.3 Bewertung der Maßnahme .....	23
5.4 Integrative Kindertagesstätte Ludwigshafen Oggersheim: Turnraum .....	23
5.4.1 Umbau Maßnahmen .....	23
5.4.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten .....	24
5.4.3 Bewertung der Maßnahme .....	24
5.5 Goethe-Mozart-Schule Ludwigshafen Oppau: Klassenzimmer .....	25
5.5.1 Umbau Maßnahmen .....	25
5.5.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten .....	25

---

5.5.3	Bewertung der Maßnahme .....	26
<b>6</b>	<b>Übersicht .....</b>	<b>27</b>
6.1	<i>Messergebnisse der Nachhallzeiten</i> .....	27
6.2	<i>Bewertung der Maßnahme</i> .....	28
6.3	<i>Computersimulation</i> .....	28
6.4	<i>Kosten Nutzen Abwägung</i> .....	30
<b>7</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>32</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>33</b>

# Einführung

In diesem Gemeinschaftsprojekt der FSA e.V., der BGN sowie der UK BW, der UK RLP und der UK Hessen wurden Klassen- und Gruppenräume in Schulen und Kitas akustisch saniert.

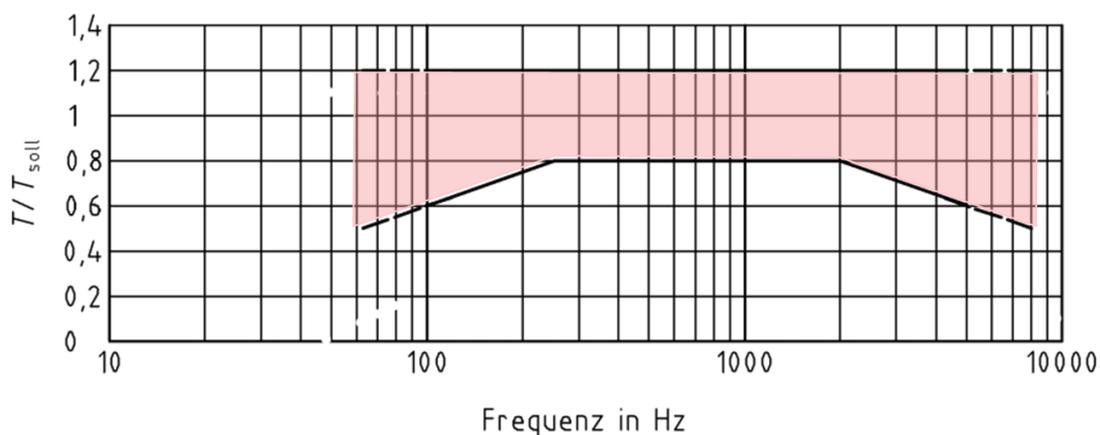
Für den Lärmschutz und die Hörsamkeit in kommunikativ genutzten Räumen ist nach DIN 18041 unter anderem die Nachhallzeit ein entscheidendes Kriterium. Um diese breitbandig in den vorgegebenen engen Grenzen zu halten, werden konventionell möglichst große Flächen an Decke und Wänden mit faserigen und/oder porösen Dämpfungsschichten belegt. Um deren Wirksamkeit zu den tiefen Frequenzen auszudehnen, sind Bautiefen von mindestens ca. 40 cm erforderlich. Diese lassen sich insbesondere in den Raumkanten sinnvoll realisieren, da sich dort auch die Schallenergie konzentriert. Diese Eigenschaften sind in Kanten-Absorbern zu finden.

Es wurden fünf Räume in Schulen und Kitas mit Kanten-Absorbern akustisch saniert und mit guten Ergebnissen raumakustisch bewertet. Bei allen Einbauten wurde die akustische Verbesserung durch vorher / nachher Messungen überprüft. Die subjektive Verbesserung der Räume wurde Anhand von Umfragen bzw. Befragungen der Nutzer bestätigt. In einem Beispiel wird außerdem gezeigt, wie die Verbesserung der akustischen Situation durch den Einbau von Kanten-Absorbern simuliert werden kann. So ist es möglich vor der akustischen Sanierung die Menge und Platzierung der Absorber genau festzulegen.

# 1 Hintergrund

Viele im täglichen Leben verwendete Räume dienen primär der Kommunikation zwischen Menschen. Hierfür ist eine gute Sprachverständlichkeit bei möglichst geringer Beanspruchung des Redners oder der Redner eine wesentliche Voraussetzung. Die ist aber in zahlreichen Räumen aufgrund raumakustischer Mängel nicht gegeben.

Eine gute Raumakustik zeichnet sich dadurch aus, dass es dem Sprecher (z.B.: Frontalunterricht in der Schule) oder auch mehreren Sprechern gleichzeitig (z.B.: Kindergarten, Gaststätte) möglich ist, ohne besondere körperliche Anstrengung zu sprechen und von den Zuhörern gut verstanden zu werden. Für die Bewertung der Sprachverständlichkeit können verschiedene Bewertungsmaßstäbe herangezogen werden. Eine universelle, leicht anzuwendende und daher oft herangezogene Größe ist die Nachhallzeit eines Raumes (DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05).



$$\text{Sprache: } T_{\text{soll}} = (0,37 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14)\text{s}$$

$$\text{Unterricht: } T_{\text{soll}} = (0,32 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,17)\text{s}$$

**Abbildung 1: Anforderungen der DIN 18041 an die Nachhallzeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen**

Abbildung 1 zeigt die Grenzen auf, innerhalb derer sich die Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Raumgröße und der Frequenz nach (DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05) bewegen soll, um eine gute Sprachverständlichkeit zu gewährleisten. Sobald die Sprachverständlichkeit zu niedrig ist, wird jeder Sprecher unwillkürlich die Stimme anheben, um sich dennoch verständlich zu machen. Sind mehrere Sprecher im Raum, werden alle anderen auch so verfahren, wodurch die Verständlichkeit der Sprache noch schlechter wird, was wiederum zu einem weiteren Anheben der Stimmen führt. Diesen Effekt nennt man „Lombardeffekt“ (s. Abbildung 2). In der Regel weisen die Räume mit schlechter Sprachverständlichkeit, in denen solche Effekte bevorzugt auftreten, Mängel in der Schallabsorption der tiefen Frequenzen auf. Aber auch bereits ein einzelner Sprecher kann in einem Raum mit ungünstiger Raumakustik schwer zu verstehen sein.

Zur Erklärung des Lombardeffektes dient eine Darstellung der Frequenzanteile der menschlichen Sprache und deren Schalldruckpegel Abbildung 3. Die Sprache lässt sich

nach (Fasold W, 1987) vereinfacht folgendermaßen aufteilen: Die tiefen Grundtöne (125 bis 250 Hz) weisen einen hohen Schalldruckpegel, aber einen geringen Informationsgehalt auf. Die Vokale liegen im Bereich von 250 Hz bis 2000 Hz, im Bereich bis 3000 Hz liegen die stimmhaften Konsonanten und bis 8000 Hz die stimmlosen Konsonanten.

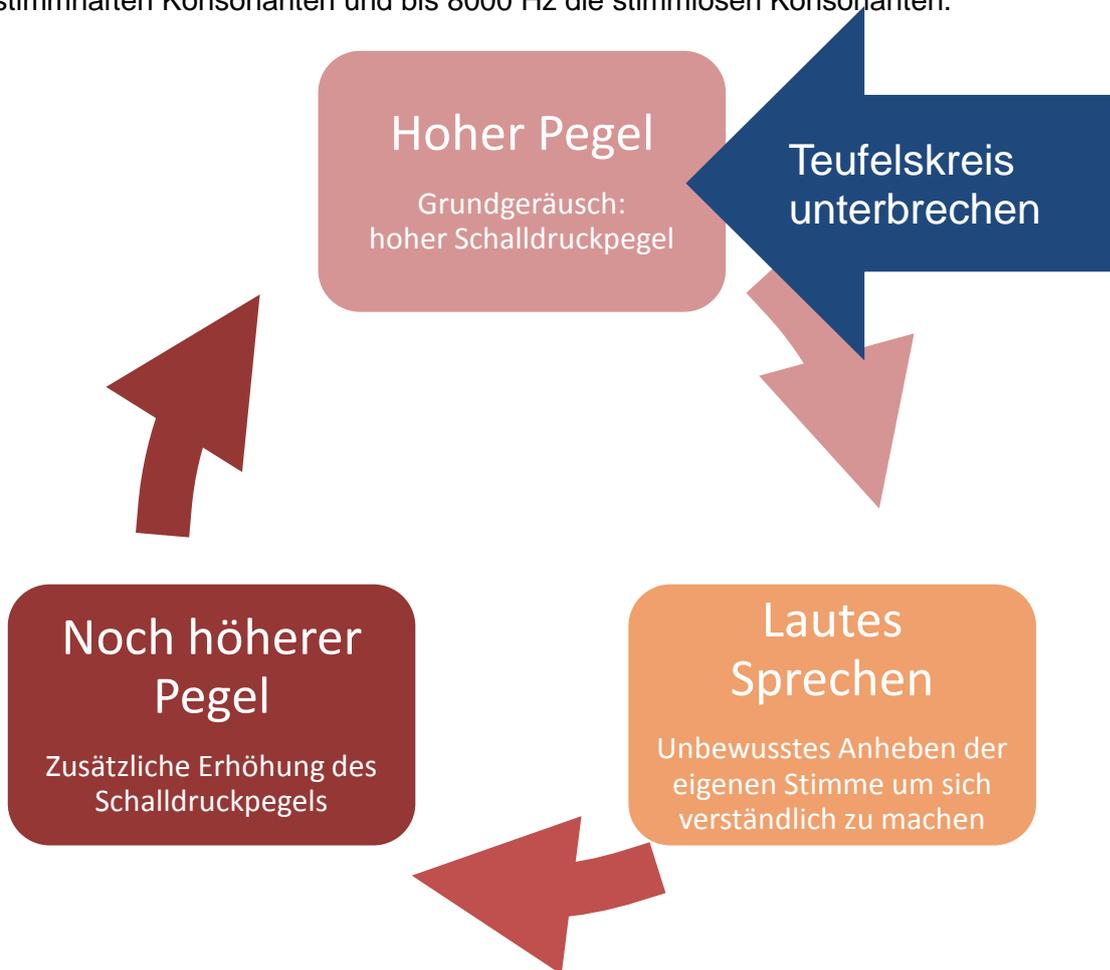


Abbildung 2: Lombardeffekt

Mit steigender Frequenz steigt der Informationsgehalt, sinkt aber der Schalldruckpegel. Insbesondere die Grundtöne haben einen hohen Schalldruckpegel, aber einen geringen Informationsgehalt. Bei einer Reihe gleichzeitig sprechender Personen wird der Raum folglich auch mit diesen tiefen, informationsarmen Frequenzen angefüllt. Bei mangelnder Absorption der tiefen Frequenzen, oder wenn diese Frequenzen durch Raummoden sogar noch verstärkt werden, führt das dazu, dass alle höheren, informationshaltigen Frequenzen der Sprache zugedeckt werden. Die Sprache wird somit trotz hohen Pegels unverständlich.

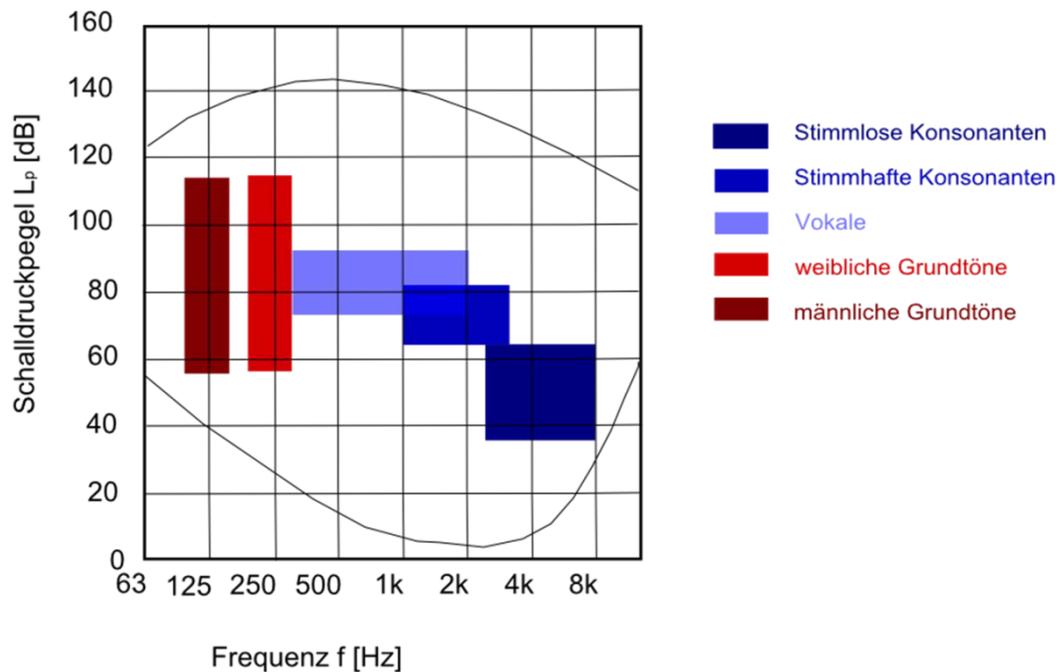
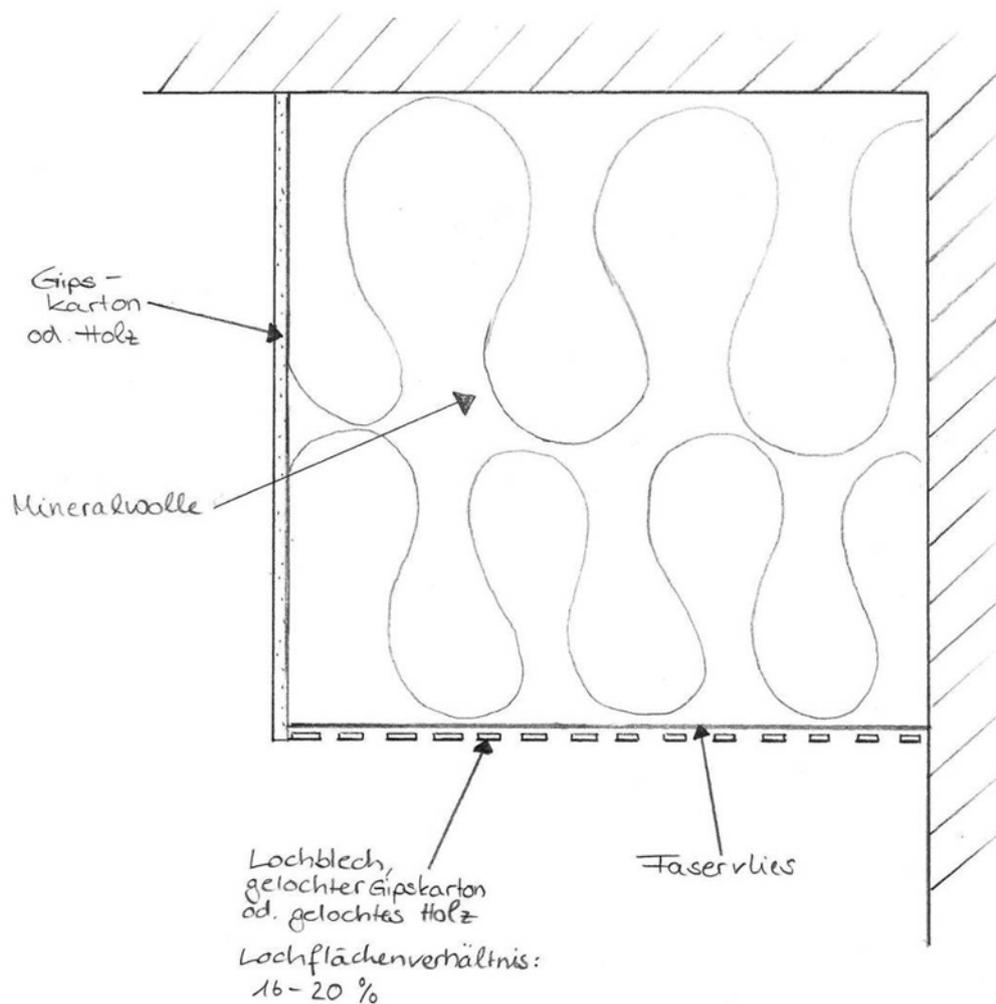


Abbildung 3: Frequenzbereiche der menschlichen Stimme (Fasold W, 1987)

Zur Lösung des Problems werden Schallabsorber eingesetzt. Für eine bestmögliche Unterstützung der Sprachverständlichkeit wäre es dabei wünschenswert, eine homogene Bedämpfung, also auch der tiefen Frequenzen, zu erzielen. In der Praxis wird dieser Grundsatz häufig jedoch nicht umgesetzt: Viele Schallabsorber wirken nur im mittleren und hohen Frequenzbereich und werden nicht durch Tiefenabsorber ergänzt. Das heißt, die Frequenzanteile der Sprache mit Informationsgehalt, also die für das Verständnis wichtigen Konsonanten, werden bedämpft und die tieffrequenten „Störungen“ bleiben ungedämpft. Eine Lösung um Sprache verständlicher zu machen ist, die tiefen Frequenzen z.B. durch einen Kanten-Absorber zu absorbieren.

Kanten-Absorber stellen ein besonders einfaches und kostengünstiges System dar, gezielt die tiefen Frequenzen zu absorbieren. Sie bestehen einfach aus einer 40 ... 50 cm dicken Verkofferung aus Gipskartonplatten mit Mineralfaserfüllung. Die Gipskartonplatten müssen hierbei einen Lochflächenanteil von rund 20 % oder mehr aufweisen. Damit die Mineralfaser nicht in den Raum transportiert wird, ist diese z. B. mit einem Rieselschutz und/oder einer geeigneten Abdeckung schalldurchlässig zu verkleiden. (Abbildung 4: Aufbau eines Kanten-Absorbers im Querschnitt). Die Belegung des Raumes wird hierbei ausschließlich auf die Raumkanten beschränkt, so dass sich die Raumverhältnisse (Deckenhöhe etc.) und auch der Materialaufwand in Grenzen halten. Durch die Positionierung im Raum erhält der Kanten-Absorber seinen Namen.



**Abbildung 4: Aufbau eines Kanten-Absorbers im Querschnitt**

Die hohe Wirksamkeit der Kanten-Absorber beruht darauf, dass die Schallenergie sich in den Kanten und Ecken eines Raumes konzentriert. Platziert man Absorber in den Kanten und Ecken, haben diese folglich eine höhere Wirkung als an allen anderen Orten im Raum. Dieser Effekt spielt besonders bei niedrigen Frequenzen (auf Grund der großen Wellenlänge) eine wichtige Rolle.

Abbildung 5 stellt den Absorptionsgrad in Abhängigkeit von der Frequenz von Mineralwolle dar, die einmal mittig im Raum ausgelegt ist (Fall a), in Form eines Kanten-Absorbers mit Abdeckungen in den Kanten angebracht ist (Fall c) oder ohne Abdeckung in den Kanten liegt (Fall b). Letzterer Fall ist akustisch am vorteilhaftesten, aber in der Praxis wegen der offenen Mineralwolle nicht anwendbar. Der Fall c) stellt eine gut verwendbare Anwendung des Absorbers dar. Die Absorption in den tiefen Frequenzen übertrifft die Anordnung mittig im Raum (Fall a) deutlich.

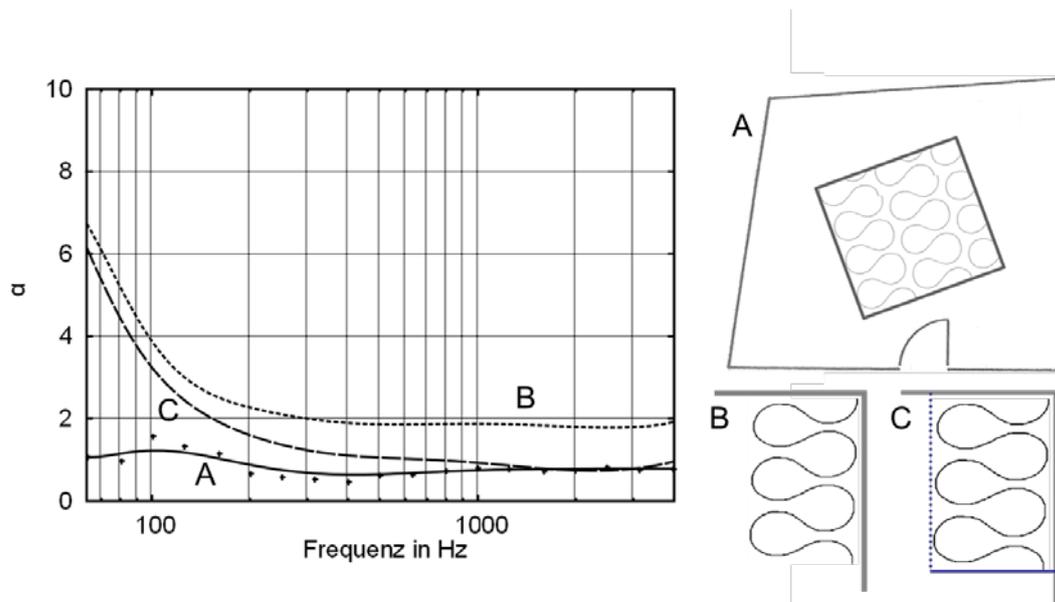


Abbildung 5: Absorptionsgrad von Kanten-Absorbern

Typischerweise besteht der Kanten-Absorber aus einer geschlossenen Seite (z.B. aus einer Gipskartonplatte) und einer halboffenen Seite. Dies kann z.B. eine gelochte Gipskartonplatte oder ein Lochblech sein. Für höhere Anforderungen an die Hygiene sind hier bereits auch Abdeckungen aus einer dünnen Metallfolie (Edelstahl oder Aluminium) getestet worden (Berger, Haaß, Rietschel, & Fuchs, 2010).

Zum Erreichen besonderer architektonischer Vorgaben kann der Kanten-Absorber auch aus der Kante herausgerückt werden Abbildung 6. In diesem Fall kann die halboffene Seite der Wand zugewandt werden und ist vom Raum aus somit nicht zu sehen. Der entstehende Spalt zwischen Absorber und Raumkante kann z.B. für eine indirekte Beleuchtung, zu Lüftungszwecken oder für verdeckt geführte Leitungen genutzt werden.

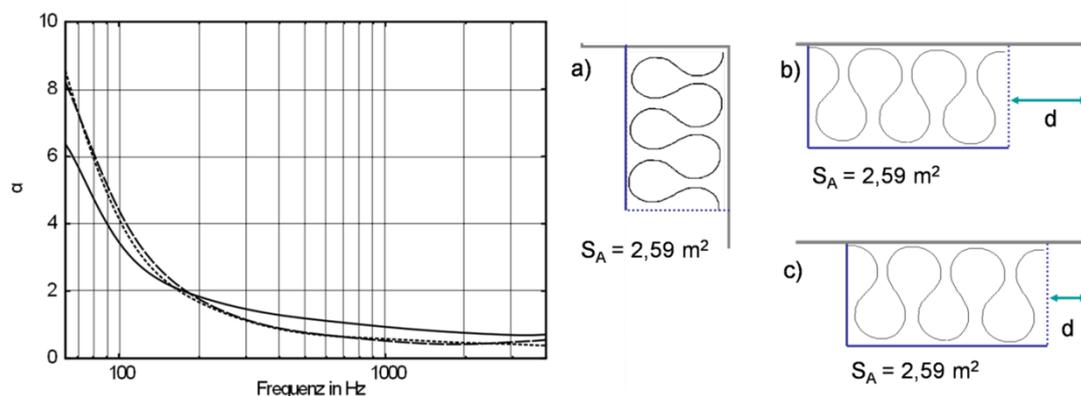


Abbildung 6: Kanten-Absorber mit Abstand zur Wand



**Abbildung 7: Kanten-Absorber mit Abstand zur Wand in der Praxis**

Die besondere Stärke der Kanten-Absorber liegt darin, dass ein hoher Schallabsorptionsgrad gerade in den tiefen Frequenzen erreicht wird, ohne dass Raumflächen vollflächig belegt werden müssen. Das ist insbesondere wertvoll, wenn Raumdecken als thermisch aktivierte Bauteile nicht verkleidet werden dürfen, die Raumhöhe nicht beschnitten werden kann oder diese Flächen aus anderen technischen oder optischen Gründen frei bleiben sollen. Die zu belegenden Kanten können in Grenzen frei gewählt werden. Aus Gründen der Wirksamkeit sollte je Raumrichtung zumindest eine Kante belegt werden.

Die Wirksamkeit des Kantenabsorbers konnte in der Praxis gezeigt werden. Am Beispiel eines Schulungsraumes Abbildung 7 in einem typischen Berliner Gewerbehof konnte mit einer vergleichsweise geringen Investition – optisch an die Betonunterzüge angelehnt - mit der Belegung von vier Kanten des Raumes die Sprachverständlichkeit deutlich verbessert werden.



Abbildung 8: Praxisbeispiel: Kanten-Absorber in einer Schule

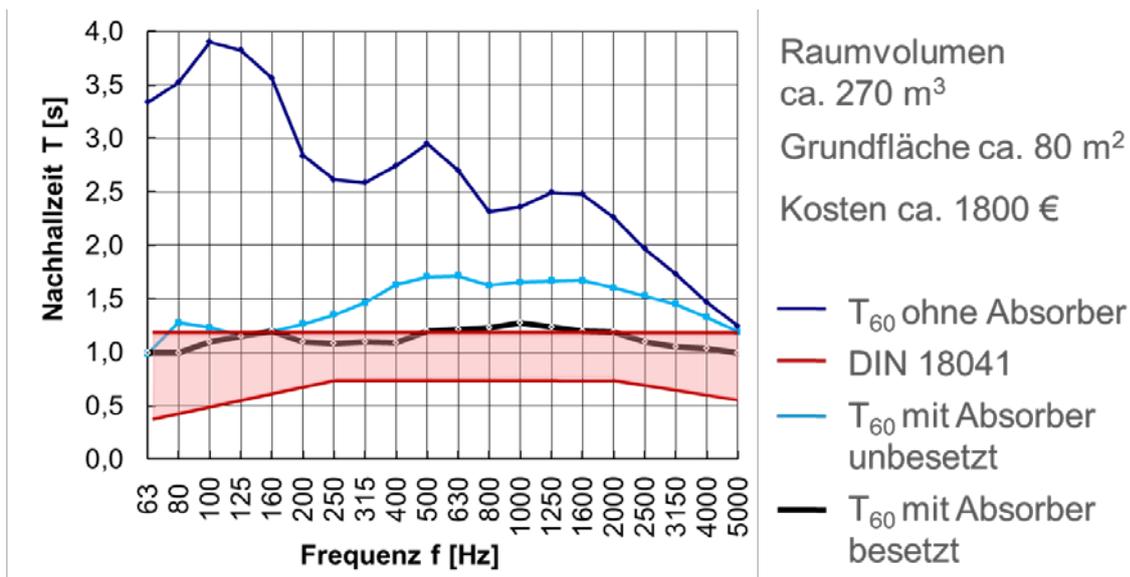


Abbildung 9: Wirkung der Absorber aus Abbildung 7

Die ursprüngliche Nachhallzeit des schallharten Raumes lag in den tiefen Frequenzen bei bis zu 4 Sekunden. Ein Indikator für eine sehr schlechte Sprachverständlichkeit, die deutlich über der Empfehlung liegt. Der Einbau von Kanten-Absorbern in vier Kanten reduzierte die Nachhallzeit bereits auf 1,2 bis 1,7 Sekunden. Mit rechnerischer Berücksichtigung der Schallabsorption durch die Personen im Raum selbst kommt die Nachhallzeit dann an den von der (DIN 18041 Hörbarkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05) geforderten Bereich. Der Raum wies nun die für seinen Zweck unbedingt erforderliche Sprachverständlichkeit auf.

## 2 Ermittlung geeigneter Objekte

In jedem der drei Bundesländer (Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Hessen) sollten zwei geeignete Objekte mit subjektiv schlechter Raumakustik in Schulen und Kitas gefunden und akustisch mit Kanten-Absorbern saniert werden. Wichtig für die Auswahl der Objekte war zusätzlich, dass genügend Platz für Kanten-Absorber in den Ecken und Kanten des Raumes vorhanden war. Ein potenzielles Objekt musste während des Projektes auf Grund der Struktur des Raumes und weiterer anfänglicher Schwierigkeiten wieder verworfen werden.

Es wurden folgende fünf Objekte ausgewählt:

### **Baden-Württemberg:**

1. Grundschule Bad Rappenau: Filmraum
2. Hohenlohe Gymnasium Öhringen: Unterrichtsraum

### **Hessen:**

3. Kita Kirnberger Straße Darmstadt Eberstadt: Bewegungs- und Schlafräum

### **Reinland-Pfalz:**

4. Integrative Kindertagesstätte Ludwigshafen Oggersheim: Turnraum
5. Goethe-Mozart-Schule Ludwigshafen Oppau: Unterrichtsraum

## 3 Übersicht der Objekte vor der Sanierung

### 3.1 Grundschule Bad Rappenau: Filmraum

Die akustische Situation in der Grundschule Bad Rappenau blieb seit dem Bau des Gebäudes fast unverändert. Besonders auffällig war der sehr hallige Aulabereich, aber auch die einzelnen Unterrichts- und Funktionsräume wiesen keine gute Akustik auf. Einige Unterrichtsräume wurden bereits akustisch umgestaltet. Hier wurden Akustikdecken eingezogen. Der Unterschied konnte bei der Begehung deutlich wahrgenommen werden.

Der Filmraum der Schule wurde für den Einbau von Kanten-Absorbern ausgewählt. ( $V = 299 \text{ m}^3$ ). Durch die bereits vorhandene Decke aus Pi-Trägern bot sich der Einbau von Kanten-Absorbern an den Deckenkanten umlaufend an.



Abbildung 10: Filmraum in der Grundschule in Bad Rappenau vor dem Umbau

### 3.2 Hohenlohe                      Gymnasium                      Öhringen: Unterrichtsraum

Die akustische Situation in den besichtigten Räumen des Hohenlohe Gymnasiums Öhringen ist seit dem Bau der Schule nahezu unverändert.

Während der Besichtigung wurde der Raum A 16 ausgewählt, um die Kanten-Absorber einzubauen. Im Raum A 16 wurde bereits mit einfachen Mitteln, z.B. Teppich an der Wand, versucht die Akustik zu verbessern. Die Maßnahmen waren jedoch nicht ausreichend um eine gute Sprachverständlichkeit im Raum zu erreichen.



Abbildung 11: Klassenzimmer A16 Hohenlohe Gymnasium, Öhringen vor dem Umbau

In diesem Klassenzimmer ( $V = 253 \text{ m}^3$ ) konnten die Kanten-Absorber auf Grund der Architektur gut eingebracht werden. Zusätzliche Absorptionsfläche wurde durch den Abbau des Schrankes an der Rückwand gewonnen.

### 3.3 Kita Kirnberger Straße Darmstadt Eberstadt: Bewegungs- und Schlafräum

Die akustische Situation in der Kita Kirnberger Straße Darmstadt wird von Kindern und Erziehern als unangenehm empfunden. Gruppen- und Funktionsräume weisen nicht genügend Bedämpfung auf.

Besichtigt wurden der Bewegungs- und Schlafräum ( $V = 212 \text{ m}^3$ ), sowie einige Gruppenräume. Im Bewegungs- und Schlafräum war der Einbau von Kanten-Absorbern an den Deckenkanten über dem Fenster und an der parallelen Wandseite gut möglich, deshalb wurde der Raum für die akustische Sanierung ausgewählt.

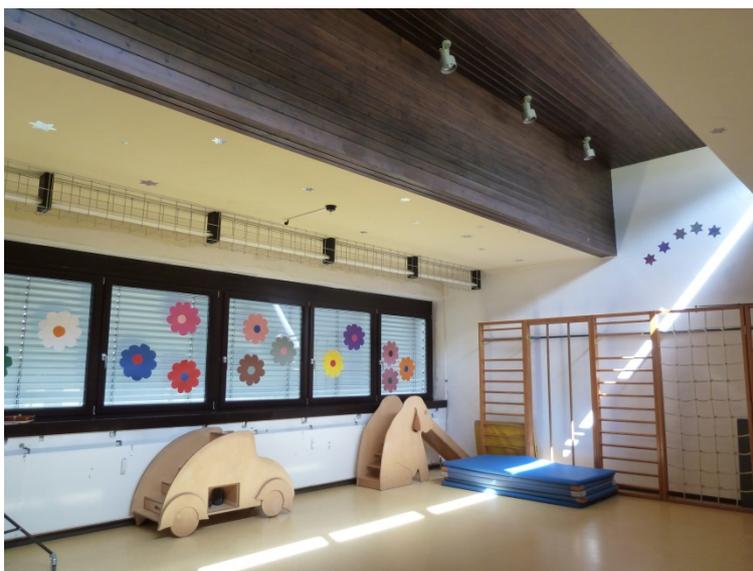


Abbildung 12: Bewegungs- und Schlafräum der Kita Kirnberger Str. in Darmstadt Eberstadt vor dem Umbau

### 3.4 Integrative Kindertagesstätte Ludwigshafen Oggersheim: Turnraum

Der Turnraum ( $V = 179 \text{ m}^3$ ) in der integrativen Kita in Ludwigshafen Oggersheim eignet sich auf Grund der Abmessungen und schlechten akustischen Situation gut für den Einbau von Kanten-Absorbern. Dieser Raum wurde ausgewählt obwohl sich bereits einige schallabsorbierende Matten in den Ecken und Kanten des Raumes befanden.



Abbildung 13: Turnraum des Integrativen Kindergartens in Ludwigshafen Oggersheim vor dem Umbau

### 3.5 Goethe-Mozart-Schule Ludwigshafen Oppau: Klassenzimmer

In der Goethe-Mozart-Schule in Oppau wurden mehrere, sehr ähnliche Räume besichtigt. Zur akustischen Sanierung wurde der Raum 307 ( $V = 266 \text{ m}^3$ ) ausgewählt. Der Raum weist eine Fensterfront im hinteren Bereich und seitlich vorne ein weiteres Fenster auf. Er ist mit Tischen und Bänken möbliert und die Oberflächen sind schallhart.



Abbildung 14: Klassenzimmer der Goethe Mozart Schule in Oppau vor dem Umbau

## **4 Akustische Situation der Räume**

### **4.1 Messungen der Nachhallzeit zur Bewertung der Räume**

Eine der wesentlichen Größen zur Beurteilung von Räumen ist die Nachhallzeit (siehe S.4). Um die Qualität des jeweiligen Raumes objektiv festzuhalten, wurde die Nachhallzeit sowohl vor als auch nach dem Einbau der Kanten-Absorber gemessen. Als Schallquelle wurde die Globe Source und als Messgerät die Cortex NC 10 verwendet. Die Nachhallzeit wurde mit dem Verfahren des abgeschalteten Rauschens nach (DIN EN ISO 3382-2 Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen, 2008) ermittelt. Hierbei wird der Raum mit rosa Rauschen angeregt und nach Abschalten des Rauschens wird die Zeit gemessen, die der Schalldruckpegel benötigt, um um 60 dB abzufallen.

### **4.2 Subjektive Einschätzung der Verständlichkeit der Sprache in den Räumen**

Die subjektive Einschätzung der Nutzer konnte am besten durch einen Fragebogen abgefragt und verglichen werden. Der hier eingesetzte Fragebogen wurde wesentlich von einer Psychologin der UK Rheinlad-Pfalz entwickelt. Die Fragen sollen einen Eindruck geben, wie die Verständlichkeit der Sprache von den Personen, die sich in diesem Raum regelmäßig aufhalten, eingeschätzt wird. In den Schulen durften Lehrer/innen und Schüler/innen die Fragen beantworten (Lehrer/innen sollten drei Fragen mehr beantworten) in den Kitas haben die Erzieher/innen die Fragen beantwortet.

## Fragebogen zu Lärm und zur Sprachverständlichkeit in Gruppen- und Unterrichtsräumen

Die Einschätzung bezieht sich auf den Raum: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

	eher ja	eher nein
In diesem Raum ist es laut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Geräuschpegel stört mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Sprechen in diesem Raum strengt mich an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Zuhören in diesem Raum strengt mich an.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich verstehe alles was gesprochen wird.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sprache empfinde ich im Raum als angenehm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei Gruppenarbeiten ist es zu laut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Nur für Lehrkräfte / Erzieherinnen

Der Lärmpegel belastet mich gesundheitlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich muss meistens mit stark erhobener Stimme sprechen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es gibt Plätze im Raum, wo man besonders schlecht hört.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 5 Ergebnisse der einzelnen Objekte

Zu jedem Objekt werden in diesem Kapitel folgende Ergebnisse diskutiert:

- a) Umbau Maßnahmen  
Es wird jeweils vorgestellt, in welche Ecken und Kanten die Kanten-Absorber in die Räume eingebracht wurden. . Leider war es auf Grund von Platzmangel oder wegen mechanischen Einflüssen nicht immer möglich Kanten-Absorber als senkrechte Säule im Raum auszuführen.
- b) Messergebnisse der Nachhallzeiten  
Es werden die Messergebnisse vorgestellt. Die Messprotokolle sind im Anhang zu finden.
- c) Bewertung der Maßnahme  
Anhand von vier ausgewählten Fragen wird die Bewertung der Nutzer vorgestellt. Eine Übersicht über alle Meinungen zu dem jeweiligen Objekt ist in Form von Diagrammen im Anhang zu finden.

### 5.1 Grundschule Bad Rappenau: Filmraum

#### 5.1.1 Umbau Maßnahmen

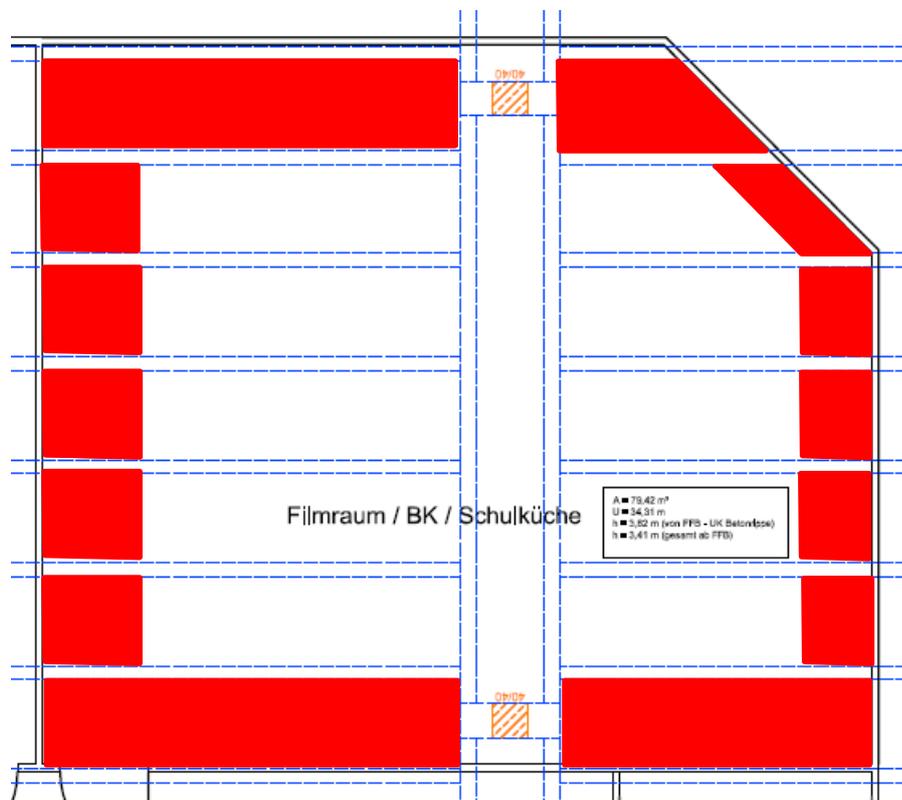


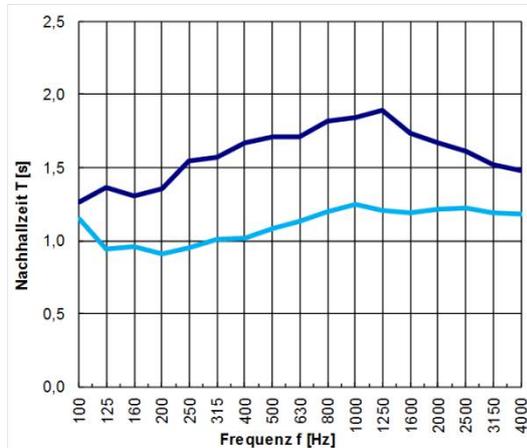
Abbildung 15: Skizze des Filmraums mit Kanten-Absorbern (rot)

In den Filmraum der Grundschule in Bad Rappenau wurden Kanten-Absorber umlaufend unter die Decke eingefügt. Hierbei wurde die vorhandene Deckenstruktur ausgenutzt. Die Kanten-Absorber wurden in die Zwischenräume der Pi-Träger eingebracht. So entstand eine

650 mm bis 95 mm breite Fläche. Diese ist teilweise einseitig, teilweise zweiseitig absorbierend (gelochte GK-Platten) ausgestattet.

### 5.1.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten

Bad Rappenau, Grundschule



—  $T_{60}$  ohne Absorber  
 $T_{60}$  mit Absorber  
 — möbliert und unbesetzt



f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{Okt}$ [s]	1,21	1,31	1,49	1,70	1,85	1,67	1,45
	0,69	1,02	0,96	1,08	1,22	1,21	1,15

Abbildung 16: Reduzierung der Nachhallzeit vs. Frequenz, dunkelblau Bestand, hellblau nach Einbau der Kanten-Absorber

Die Nachhallzeit konnte im Mittel (Bereich 50 – 5000 Hz) um 35 % von 1,5 s auf 1,0 s verbessert werden. Die Sollnachhallzeit nach (DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05) von 0,8 s konnte nur in den tiefen Frequenzen erreicht werden.

### 5.1.3 Bewertung der Maßnahme

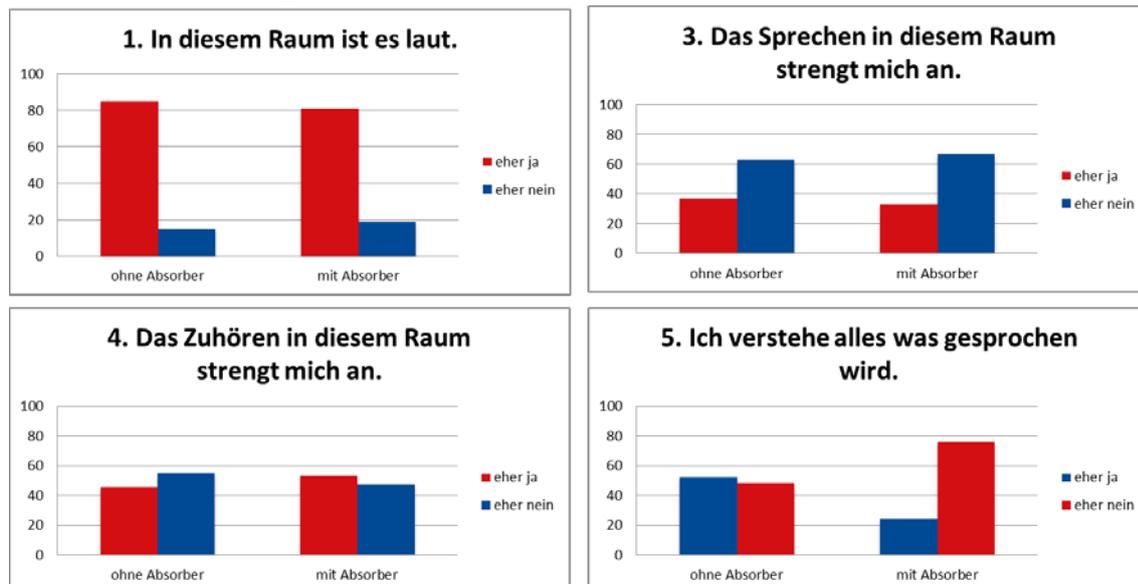


Abbildung 17: Auswahl der Fragen, Vergleich ohne und mit Absorber, positiv blaue Balken, negativ rote Balken

Die Fragebögen wurden in Bad Rappenau von mehreren Klassen ausgefüllt. Es wurden insgesamt 136 Fragebögen vor der Maßnahme ausgefüllt und 18 danach. Da es sich um einen Filmraum handelt, wird der Raum von mehreren unterschiedlichen Klassen genutzt. Die Maßnahme wurde folglich von verschiedenen Klassen beurteilt und die Aussagekraft der Fragebögen ist auf Grund der geringen Anzahl der Fragebögen nach den Maßnahmen kritisch zu betrachten.

Es wurde jedoch von Lehrern im Gespräch die Akustik des Raumes mit Kanten-Absorbern gelobt. Die Schulleitung hat den Musikraum direkt daneben ebenfalls mit Kanten-Absorbern ausgestattet, da sie sehr zufrieden mit dem Ergebnis ist.

## 5.2 Hohenlohe Klassenzimmer

## Gymnasium

## Öhringen:

### 5.2.1 Umbau Maßnahmen

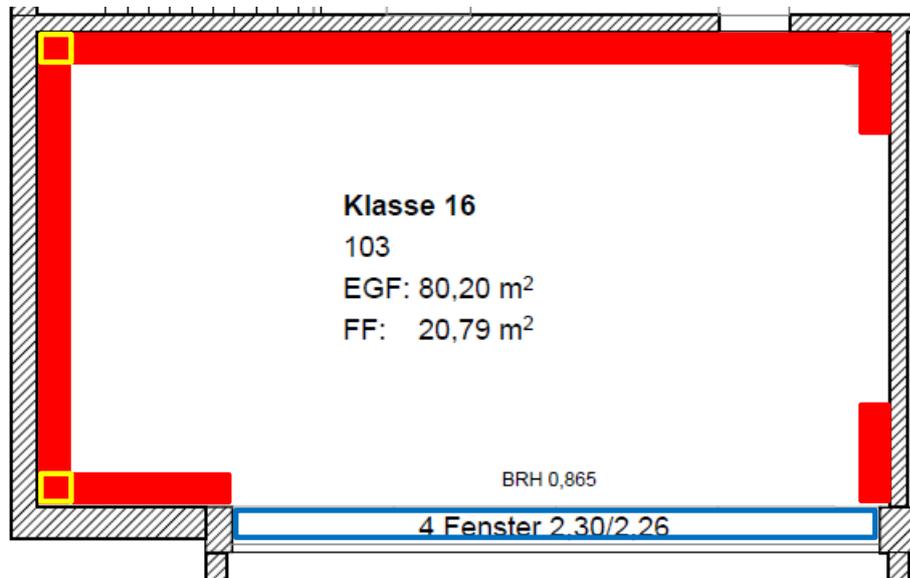
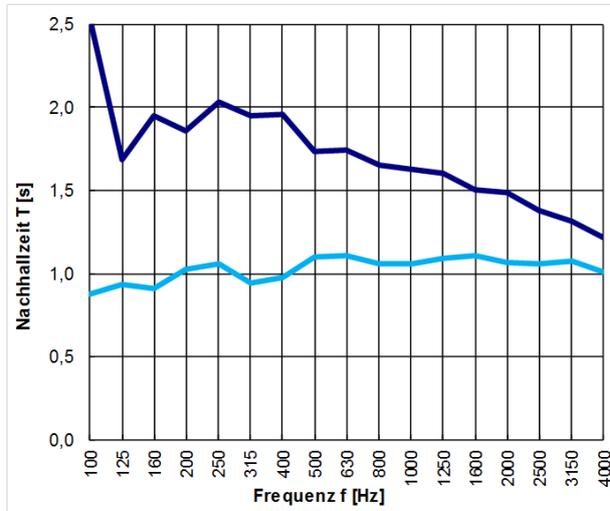


Abbildung 18: Skizze des Unterrichtsraumes mit Kanten-Absorbern (rot, blau, gelb)

In den Unterrichtsraum A16 wurden umlaufend an der Decke Kanten-Absorber der Größe 0,5 m x 0,43 m eingebracht. Hierbei wurde über dem Fenster der flache Hohlraum (0,13 m x 0,5m) ausgenutzt (s. blauer Kasten in Abbildung 16: Skizze des Unterrichtsraumes mit Kanten-Absorbern (rot, blau, gelb)). Des Weiteren sind zwei vertikale Kanten-Absorber in die hinteren Ecken des Unterrichtsraumes eingebracht worden. Alle sichtbaren Flächen des Absorbers sind gelocht ausgestattet.

### 5.2.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten

Öhringen, Gymnasium



—  $T_{60}$  ohne Absorber  
 $T_{60}$  mit Absorber  
 — möbliert und unbesetzt



f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{Okt}}$ [s]	2,40	2,05	1,95	1,81	1,63	1,46	1,22
	1,77	0,91	1,01	1,06	1,07	1,08	1,00

Abbildung 19: Reduzierung der Nachhallzeit vs. Frequenz, dunkelblau Bestand, hellblau nach Einbau der Kanten-Absorber

Die Nachhallzeit wurde im Mittel (Bereich 50 – 5000 Hz) um 39 % von 1,8 s auf 1,1 s verbessert. Der Verlauf der Nachhallzeit ist deutlich glatter als vor dem Umbau. Dadurch ist die Verständlichkeit der Sprache deutlich besser. Die Sollnachhallzeit (DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05) von 0,8 s konnte fast erreicht werden.

### 5.2.3 Bewertung der Maßnahme

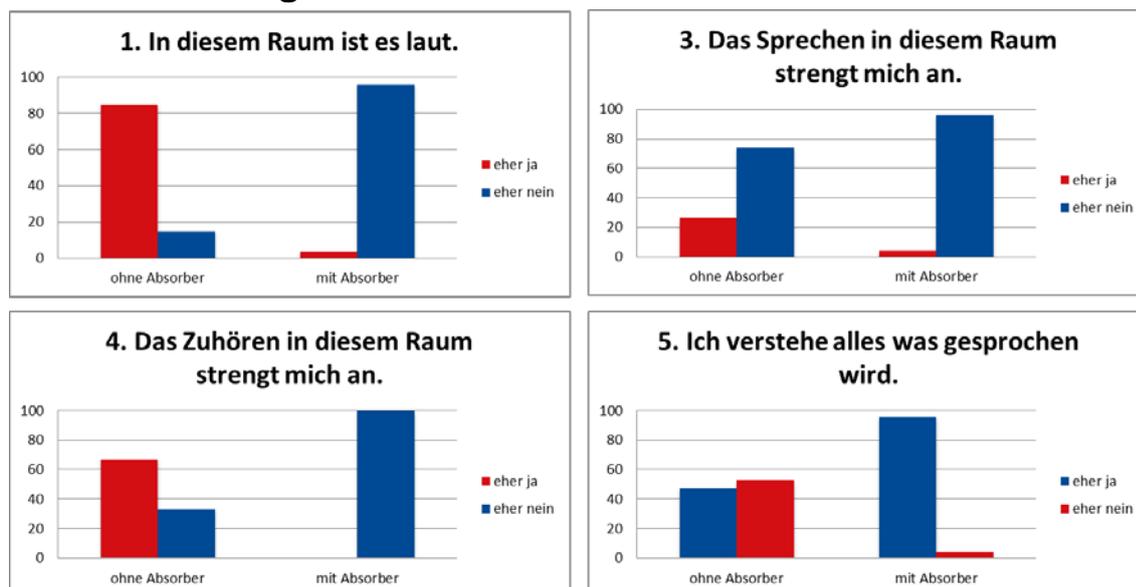


Abbildung 20: Auswahl der Fragen, Vergleich mit und ohne Absorber, Bewertung in blau positiv, in rot negativ

In Öhringen haben eine Klasse und mehrere Lehrer/innen den Unterrichtsraum bewertet. Vor der Maßnahme wurden 34 Fragebögen ausgefüllt nach der Maßnahme lagen 27 ausgefüllte Fragebögen zur Auswertung vor.

Die akustische Sanierung durch Einbringen der Kanten-Absorber wurde sowohl von Lehrern/innen als auch von Schüler/innen als sehr positiv empfunden.

So wurde vor der Maßnahme von den Nutzern die Lautstärke, das Zuhören und die Verständlichkeit als nicht gut bewertet. Nach dem Umbau sind die Nutzer sehr zufrieden mit der Akustik in dem Unterrichtsraum.

## 5.3 Kita Kirnberger Straße Darmstadt Eberstadt: Bewegungs- und Schlafräum

### 5.3.1 Umbau Maßnahmen

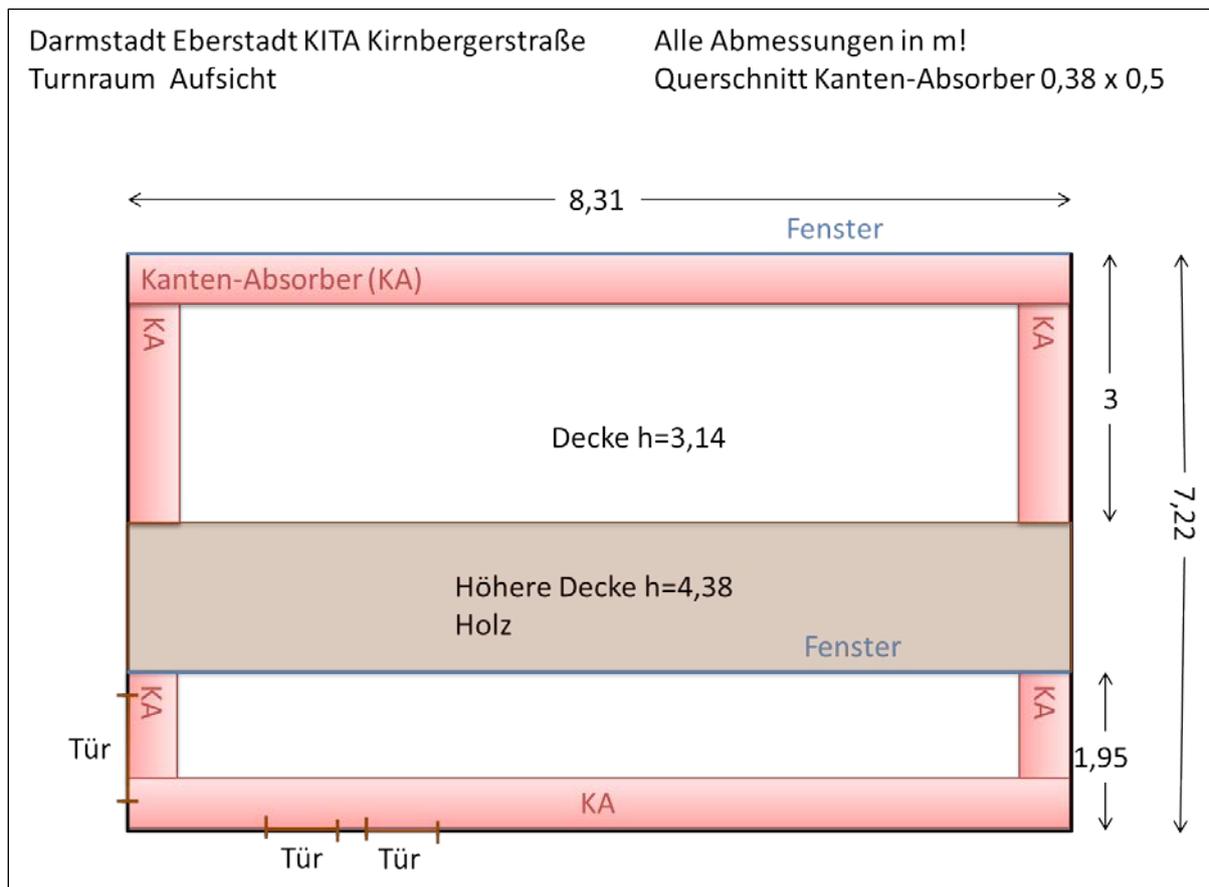


Abbildung 21: Skizze des Bewegungs- und Schlafräums mit Kanten-Absorbern (rot)

In Darmstadt Eberstadt ist der Bewegungs- und Schlafräum mit Kanten-Absorbern ausgestattet worden. Es wurden an beiden Längsseiten Kanten-Absorber über die gesamte Breite eingebracht (s. Abbildung 21). An den Querseiten wurde der Kanten-Absorber der Decke angepasst. Es wurde dabei der Bereich der hohen, hölzernen Decke ausgespart (s. Abbildung 22). Die Flächen des Absorbers die in den Raum zeigen sind gelocht ausgestattet.

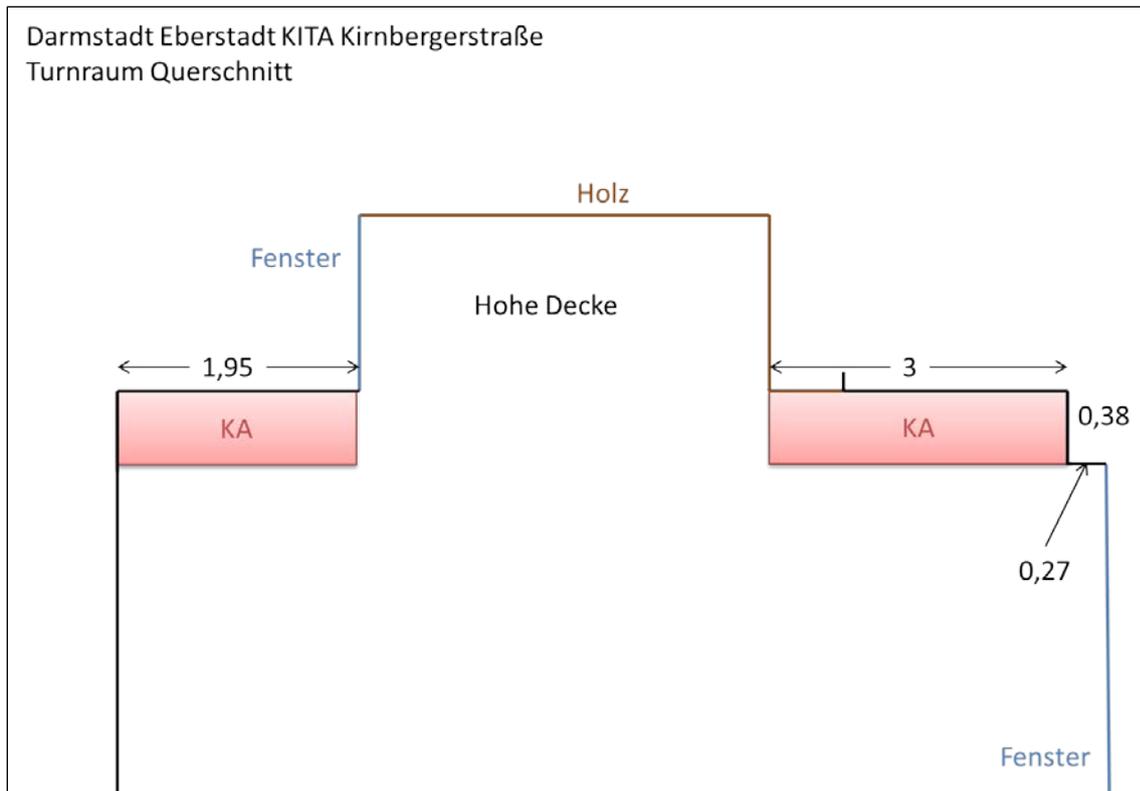
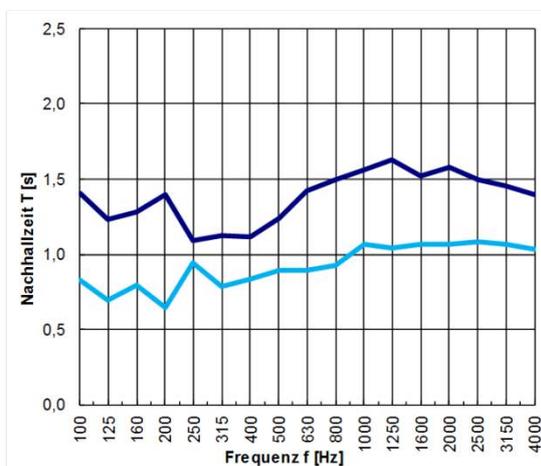


Abbildung 22: Querschnitt des Bewegungs- und Schlafraums

### 5.3.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten

Eberstadt, Kindertagesstätte



—  $T_{60}$  ohne Absorber  
—  $T_{60}$  mit Absorber  
möbliert und unbesetzt



f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{Okt}}$ [s]	1,55	1,31	1,20	1,26	1,56	1,53	1,38
	0,85	0,77	0,79	0,88	1,01	1,07	1,01

Abbildung 23: Reduzierung der Nachhallzeit vs. Frequenz, dunkelblau Bestand, hellblau nach Einbau der Kanten-Absorber

Die Nachhallzeit wurde im Mittel (Bereich 50 – 5000 Hz) um 38 % von 1,4 s auf 0,9 s verbessert. Die Sollnachhallzeit nach (DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05) liegt bei 0,8 s. In den tiefen Frequenzen konnte die Sollnachhallzeit gut erreicht werden, die Nachhallzeiten in den hohen Frequenzen liegen leicht darüber (s. Messbericht im Anhang).

### 5.3.3 Bewertung der Maßnahme

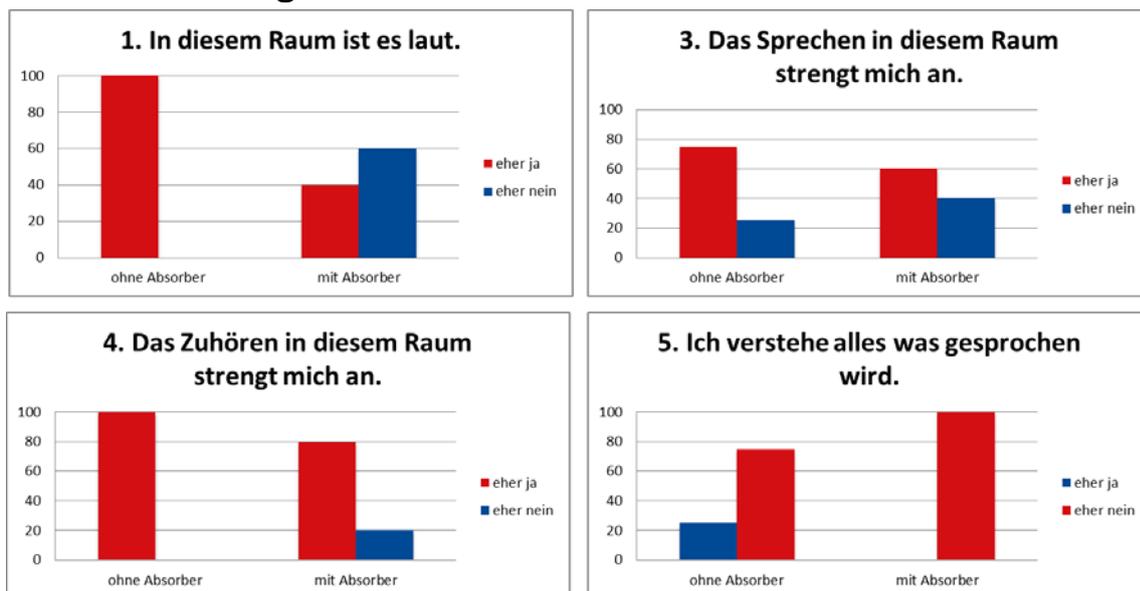


Abbildung 24: Auswahl der Fragen, Vergleich mit und ohne Absorber, Bewertung in blau positiv in rot negativ

Die Maßnahme wurde in der Kita Kirnbergerstraße in Darmstadt Eberstadt nur von den Erzieher/innen bewertet. Es lagen vor der Maßnahme 4 Fragebögen und nach Einbau der Absorber 5 Fragebögen zur Auswertung vor. Die Erzieher/innen merken deutlich, dass eine Verbesserung vorliegt. Da in diesem Bewegungsraum jedoch sehr hohe Schalldruckpegel bei z.B. Spielen entstehen wäre es wünschenswert, wenn die Pegel noch weiter gesenkt werden würden. Hier ist für die Erzieher/innen die Schalldruckreduzierung noch wichtiger als die Verständlichkeit der Sprache (wie z.B. in einem Klassenzimmer).

## 5.4 Integrative Kindertagesstätte Ludwigshafen Oggersheim: Turnraum

### 5.4.1 Umbau Maßnahmen

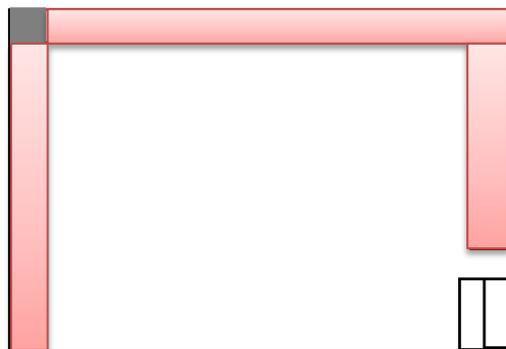
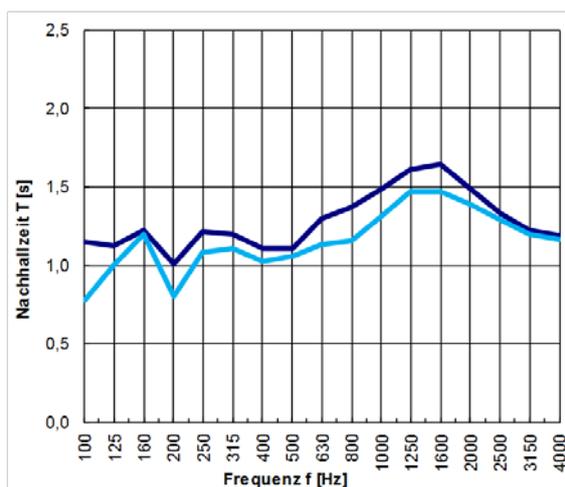


Abbildung 25: Skizze des Turnraumes mit Kanten-Absorbieren (rot) und senkrechter schallabsorbierender Säule mit Edelstahlschutz (grau)

In den Turnraum wurde an der Decke ein U-förmiger Kanten-Absorber der Größe 470 mm x 400 mm eingebracht (siehe Abbildung 19). Außerdem wurde ein 400 mm x 500 mm Kanten-Absorber als senkrechte Säule mit einem 2 m hohen Schutz aus Edelstahl in eine Ecke des Raumes eingefügt. Bei den Absorbern wurde jeweils eine Seite absorbierend ausgestattet, die Unterseite sowie die Stirnseiten sind geschlossen.

### 5.4.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten

Ludwigshafen, Kindergarten



—  $T_{60}$  ohne Absorber  
 —  $T_{60}$  mit Absorber  
 — möbliert und unbesetzt



f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{Okt}}$ [s]	1,19	1,16	1,14	1,17	1,49	1,49	1,20
	1,00	0,99	1,00	1,07	1,32	1,38	1,15

Abbildung 26: Reduzierung der Nachhallzeit vs. Frequenz, dunkelblau Bestand, hellblau nach Einbau der Kanten-Absorber

Die Nachhallzeit wurde im Mittel (Bereich 50 – 5000 Hz) nur um 12 % von 1,3 s auf 1,1 s verbessert. In diesem Raum konnten auf Grund des geringen Volumens und der bereits verhältnismäßig großen absorbierenden Fläche (Turnmatten in den Raumkanten) durch das Einbringen von Kanten-Absorbern nicht die gewünschte Verbesserung erzielt werden. Die Sollnachhallzeit liegt hier bei 0,8 s. Leider konnte diese Nachhallzeit durch die durchgeführten Maßnahmen nicht erreicht werden.

### 5.4.3 Bewertung der Maßnahme

Das Team der Erzieherinnen in Ludwigshafen Oggersheim hat sich nach Einbau der Kanten-Absorber zusammengesetzt und die Verbesserung der Raumakustik diskutiert.

Das Team besteht aus 20 Beschäftigten inkl. Praktikanten.

Etwa 80 % des Personals ist sehr zufrieden mit der neuen Raumakustik. Lediglich die Therapeuten haben sich mehr erhofft. Die Leiterin der Einrichtung erklärt, dass Sie guten Gewissens sagen kann, dass die Akustik besser ist als vorher. Auch mit der Umsetzung ist sie zufrieden.

## 5.5 Goethe-Mozart-Schule Ludwigshafen Oppau: Klassenzimmer

### 5.5.1 Umbau Maßnahmen

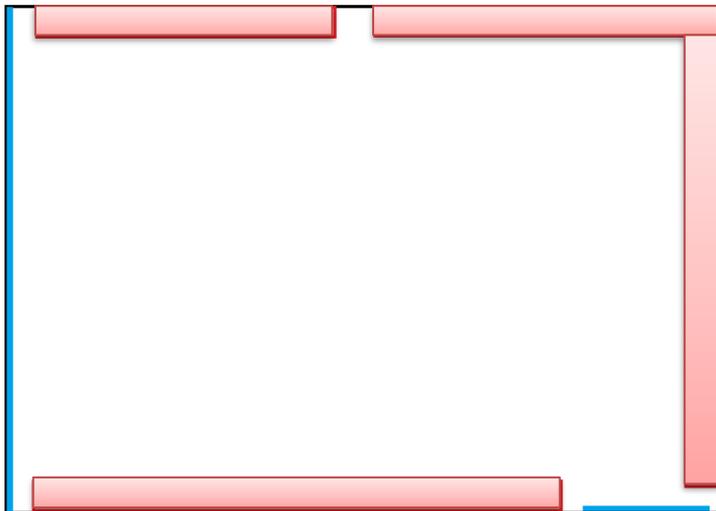
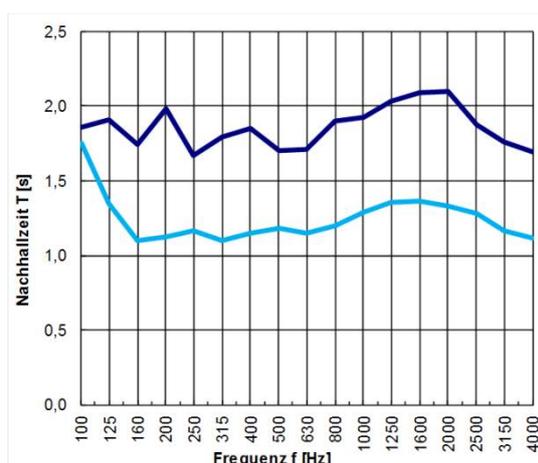


Abbildung 27: Skizze des Unterrichtsraumes mit Kanten-Absorbern (rot)

Es wurden an der Decke u-förmig Kanten-Absorber in den Unterrichtsraum eingebracht. Die Kanten-Absorber sind an der Unterseite und an den Stirnseiten geschlossen, die senkrechten Seiten sind gelocht. Für Fenster und Säulen wurden Aussparungen vorgenommen.

### 5.5.2 Messergebnisse der Nachhallzeiten

Ludwigshafen, Grundschule



—  $T_{60}$  ohne Absorber  
—  $T_{60}$  mit Absorber  
möbliert und unbesetzt

f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{\text{Okt}}$ [s]	2,26	1,84	1,81	1,76	1,95	2,02	1,67
	1,82	1,40	1,13	1,16	1,28	1,33	1,09



Abbildung 28: Reduzierung der Nachhallzeit vs. Frequenz, dunkelblau Bestand, hellblau nach Einbau der Kanten-Absorber

Die Nachhallzeit wurde im Mittel (Bereich 50 – 5000 Hz) um 34 % von 1,9 s auf 1,3 s gesenkt. Auch in diesem Unterrichtsraum wurde die Nachhallzeit signifikant verringert. Die Verständlichkeit wurde deutlich verbessert. Die Sollnachhallzeit nach (DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05) von 0,8 s wurde nicht erreicht.

### 5.5.3 Bewertung der Maßnahme

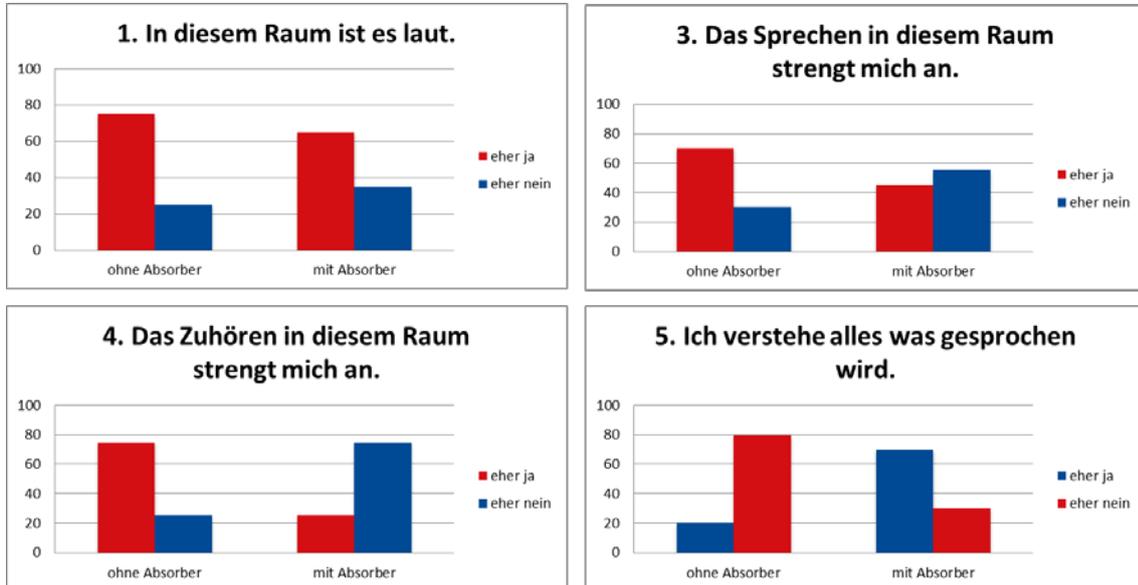


Abbildung 29: Auswahl von Fragen, Bewertung der Maßnahme mit und ohne Absorber, positiv in blau negativ in rot

In Ludwigshafen Oppau haben 20 Personen an der Befragung teilgenommen. Die Lehrer/innen und Schüler/innen sind zufrieden mit der akustischen Sanierung und empfinden das Sprechen, das Reden, das Zuhören und die Verständlichkeit als besser als davor.

# 6 Übersicht

## 6.1 Messergebnisse der Nachhallzeiten

UK	Objekt	V	I	F	P	$\alpha$
		[m <sup>3</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[-]	[-]
BW	Bad Rappenau Grundschule Filmraum + Küche	299	27,0	26,3	<b>35%</b>	<b>0,65</b>
	Öhringen Gymnasium Unterrichtsraum	253	36,8	31,4	<b>39%</b>	<b>0,43</b>
H	Eberstadt Kita Bewegungs- + Schlafräum	212	24,6	19,4	<b>38%</b>	<b>0,62</b>
RLP	Oggersheim Kita Turnraum	178	19,5	9,2	<b>12%</b>	<b>0,17</b>
	Oppau Grundschule Unterrichtsraum	266	23,0	11,0	<b>34%</b>	<b>0,53</b>

### Es bedeuten:

V = Volumen des Raumes

I = Länge des eingebauten Kanten-Absorbers

F = Sichtfläche des Kanten-Absorbers mit Lochung

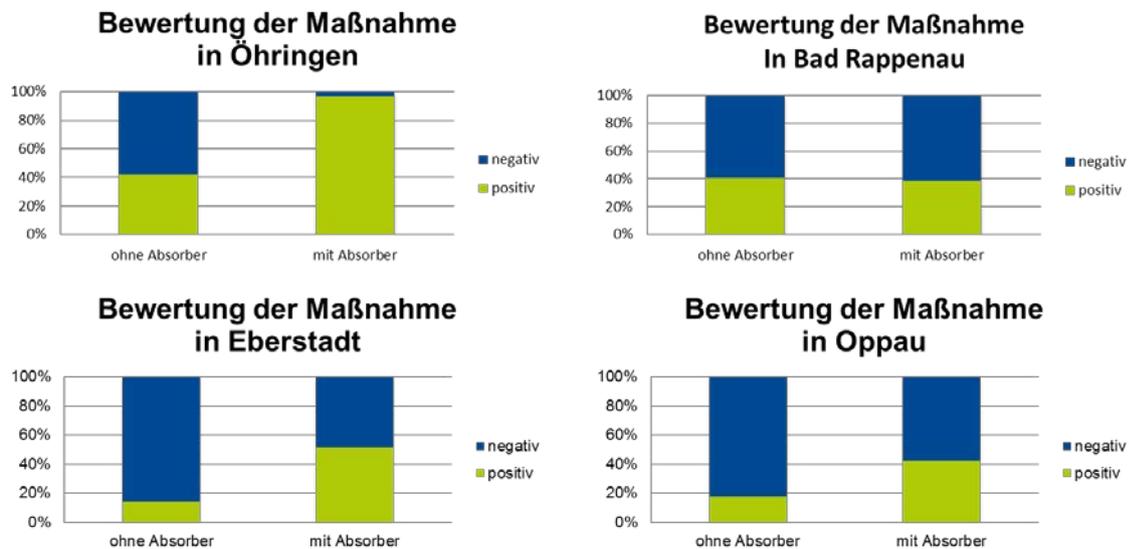
P = prozentuale Verbesserung der Nachhallzeit, gemittelt über das Frequenzband 50 - 5000 Hz

$\alpha$  = Schallabsorptionsgrad, gemittelt über das Frequenzband 50 - 5000 Hz

### Abbildung 30: Zusammenfassung der akustischen Verbesserung für alle fünf Räume

In den einzelnen Objekten konnte die Nachhallzeit deutlich um bis zu 39% gesenkt werden. Es ist auffällig, dass die Nachhallzeit in Oggersheim am wenigsten reduziert werden konnte. Dies liegt an der Ausstattung in dem Turnraum. Es waren dort bereits dicke Turnmatten in den Kanten des Raumes vorhanden die wie Kanten-Absorber wirken. Das beste Ergebnis konnte in Öhringen erreicht werden. Hier wurden alle drei Raumrichtungen mit Kanten-Absorbern belegt. Es wurden die meisten laufenden Meter Absorber installiert. Gute Ergebnisse konnten auch in Bad Rappenau, Eberbach und Oppau erzielt werden.

## 6.2 Bewertung der Maßnahme



Etwa 80 % des Personals sind in Oggersheim sehr zufrieden mit der neuen Raumakustik.

Das subjektive Empfinden, ob sich die akustische Situation in den Räumen verbessert hat, wurde anhand der Fragebögen abgefragt. Insgesamt wurde die Raumakustik nach den Maßnahmen subjektiv besser bewertet als vor den akustischen Sanierungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Maßnahme in dem Unterrichtsraum in Öhringen von den Nutzern am besten bewertet worden ist. Ein Grund dafür könnte sein, dass in diesem Raum auch Kanten-Absorber als Säulen in den hinteren Ecken ausgeführt wurden. So sind alle drei Raumrichtungen mit Kanten-Absorberrn belegt und dadurch ist die Absorption in allen Raumrichtungen besser möglich. In Öhringen sind nach der akustischen Sanierung fast alle Nutzer zufrieden mit der Raumakustik. Auch in Eberstadt und Oppau haben die Befragten eine Verbesserung gespürt. In Oggersheim wurde die Maßnahme auch als gut bewertet. In Bad Rappenau ist auf Grund der unterschiedlichen Anzahl der Befragten die Auswertung nicht aufschlussreich. Hier kann streng genommen die Vorher-Nachher-Befragung nicht verglichen werden. Allerdings wurde der Raum von der Schulleitung gelobt und der Nachbarraum analog ausgestattet.

## 6.3 Computersimulation

Eine möglichst effiziente akustische Sanierung kann erreicht werden, in dem man im Vorfeld eine Prognose der Wirksamkeit der geplanten Maßnahmen mit einer geeigneten Simulation berechnet. So bieten Computersimulationen eine gute Möglichkeit Veränderungen und neue Planungen vor dem eigentlichen Umbau einzuschätzen.

In diesem Kapitel wird an einem Beispiel der Vergleich der gemessenen Nachhallzeiten mit den prognostizierten Nachhallzeiten aus der Prognosesoftware IMMI gemacht. Die Schwierigkeit bestand darin, dass das Programm selbst die Ecken und Kanten des Raumes einrechnet. Ein Kanten-Absorber absorbiert aber durch die Schalldrucküberhöhung in den Ecken und Kanten sehr stark.

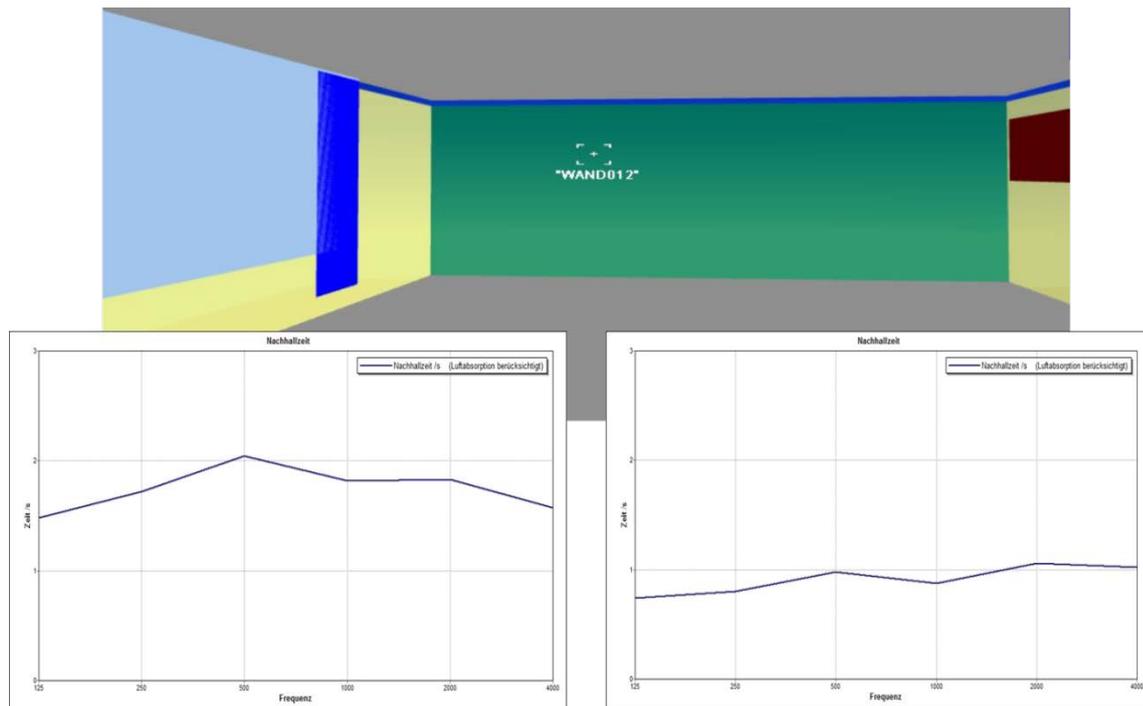


Abbildung 31: Prognoseberechnung des Unterrichtsraumes in Öhringen ohne (links) und mit (rechts) Kanten-Absorbern

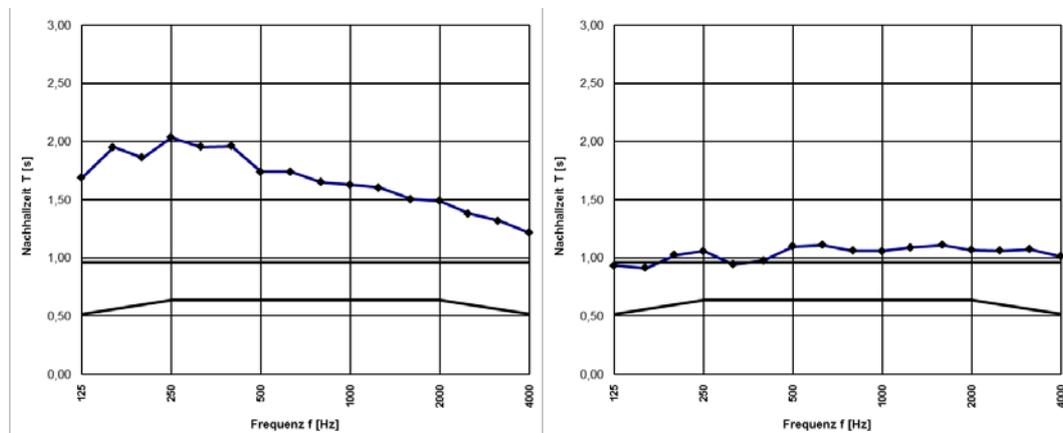


Abbildung 32: Nachhallzeitmessung des Unterrichtsraumes in Öhringen ohne (links) und mit (rechts) Kanten-Absorber

Die Abnahme der Nachhallzeit konnte mit Hilfe von Computersimulationen gut prognostiziert werden. Es wurde gezeigt, dass die Prognose von Kanten-Absorbern auch mit Strahlverfolgung möglich ist.

## 6.4 Kosten Nutzen Abwägung

UK	Objekt	V	I	F	K	K/I	P	$\alpha$
		[m <sup>3</sup> ]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[€]	[€/m]	[-]	[-]
BW	Bad Rappenau Grundschule Filmraum + Küche	299	27,0	26,3	<b>3.800</b>	<b>141 €</b>	<b>35%</b>	<b>0,65</b>
	Öhringen Gymnasium Unterrichtsraum	253	36,8	31,4	<b>4.300</b>	<b>117 €</b>	<b>39%</b>	<b>0,43</b>
H	Eberstadt Kita Bewegungs- + Schlafraum	212	24,6	19,4	<b>9.140</b>	<b>372 €</b>	<b>38%</b>	<b>0,62</b>
RLP	Oggersheim Kita Turnraum	178	19,5	9,2	<b>4.167</b>	<b>214 €</b>	<b>12%</b>	<b>0,17</b>
	Oppau Grundschule Unterrichtsraum	266	23,0	11,0	<b>3.040</b>	<b>132 €</b>	<b>34%</b>	<b>0,53</b>

### Es bedeuten:

V =	Volumen des Raumes
I =	Länge des eingebauten Kanten-Absorbers
F =	Sichtfläche des Kanten-Absorbers mit Lochung
K =	Kosten gesamt
K/I =	Kosten je laufendem Meter Kanten-Absorber
P =	prozentuale Verbesserung der Nachhallzeit, gemittelt über das Frequenzband 50 - 5000 Hz
$\alpha$ =	Schallabsorptionsgrad, gemittelt über das Frequenzband 50 - 5000 Hz

Ein großer Vorteil der Kanten-Absorber sind ihre geringen Kosten (ähnlich einer Akustikdecke). Eine Zusammenstellung der Kosten und Wirksamkeit (Abbildung 30: Kosten-Nutzen Aufstellung für alle fünf Räume) zeigt, dass die Werte in drei der fünf Räumen ähnlich sind. Hier waren bei einer Belegung mit Kanten-Absorbern mit durchschnittlichen Kosten von 117 bis 141 €/m zu rechnen.

Der Schallabsorptionsgrad hat sich in den drei Räumen von 0,4 - 0,6 verbessert.

Die prozentuale Verbesserung zeigt an, wie weit die Nachhallzeit noch verbessert werden konnte.

Bei zwei der fünf Räume gab es Unregelmäßigkeiten. Zum Einen waren in Eberstadt die Kosten der Kanten-Absorber um etwa das dreifache höher als in den anderen Räumen. Dies lag an dem örtlichen Trockenbauer. Zum Anderen ist in dem Turnraum in Oggersheim eine geringere Verbesserung der akustischen Situation eingetreten, da der Raum durch die Ausstattung schon stark bedämpft war (dicke Turnmatten wirken ähnlich wie Kanten-Absorber siehe Abschnitt 5.4). Die etwas höheren Kosten der Kanten-Absorber in Oggersheim sind mit dem Einfassen des Kanten-Absorbers mit gelochtem Edelstahl zu begründen. Die Edelstahleinfassung soll den Kanten-Absorber vor Schäden schützen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei dem Einbau von Kanten-Absorbern mit ca. **130 €/m** zu rechnen ist. Es kann bei ausreichender Belegung eine Verbesserung der Nachhallzeit von **bis zu 39 %** erreicht werden.

## 7 Fazit

Die hohe Wirksamkeit der Kanten-Absorber beruht darauf, dass die Schallenergie sich in den Kanten und Ecken eines Raumes konzentriert. Kanten-Absorber absorbieren die Schallenergie besonders gut in den tiefen Frequenzen, in denen die Grundtöne der menschlichen Stimme viel Schallenergie besitzen, die aber für die Verständlichkeit der Sprache nicht so wichtig sind. Werden diese Frequenzen absorbiert, verbessert sich die Verständlichkeit der mittleren und hohen Frequenzen. Kanten-Absorber bieten deshalb durch die Absorption in den tiefen Frequenzen eine sehr gute und günstige Möglichkeit Schall zu reduzieren und die Verständlichkeit der Sprache zu verbessern.

Für Unterrichtsräume in denen dies von großer Wichtigkeit ist, eignet sich der Kanten-Absorber gut, um die Raumakustik zu verbessern. In Kita-Räumen ist es besonders wichtig, den Schalldruckpegel zu senken und so das hohe Hintergrundgeräusch zu minimieren und den Lombardeffekt zu verringern. Auch dies kann durch eine ausreichende Menge an Kanten-Absorbern erreicht werden. Die Nutzer waren mit der raumakustischen Sanierung durch den Kanten-Absorber meist sehr zufrieden. Auch wenn die Sollwerte der Nachhallzeit nicht ganz eingehalten wurden, so ist die Sprache meist deutlich klarer und verständlicher geworden. Die Nutzer empfanden dies als sehr angenehm.

Kanten-Absorber alleine halten die Sollwerte der Nachhallzeit nur bei ausreichender Belegung ein. Wird ein Raum mit Kanten-Absorbern ausgestattet, muss darauf geachtet werden, genügend Flächen zu belegen (im Idealfall alle drei Raumrichtungen), um eine ausreichende Wirkung zu erzielen. Alternativ kann der Kanten-Absorber auch mit anderen raumakustischen Maßnahmen (z.B. einer Akustikdecke) kombiniert werden, um noch bessere Werte zu erreichen. Besonders empfehlenswert ist der Kanten-Absorber, wenn eine individuelle Lösung für den Unterrichts- oder Kita-Raum gesucht wird und wenn eine vollflächige Akustikdecke ausscheidet. In Räumen in denen Sprechen und Verstehen wichtig ist, sind Kanten-Absorber eine gute Lösung. Sie können in Kombination mit indirekter Beleuchtung oder mit mechanischer Raumlüftung eingebaut werden. Außerdem können sie bei Renovierungsarbeiten mit gestrichen werden und verschwinden so in der Deckenstruktur. Eine Anpassung an den jeweiligen Raum wird von einem Trockenbauer vorgenommen.

Es ist wünschenswert, dass der Kanten-Absorber bekannter wird. So ist nicht immer eine komplette Neugestaltung von Räumen für eine gute Raumakustik erforderlich. Kanten-Absorber können eine geeignete Alternative zu anderen raumakustischen Maßnahmen sein.

## 8 Literaturverzeichnis

- ASI 11.03/09, Hygienic Design (Hygienegerechte Konstruktion von Nahrungsmittelmaschinen). (kein Datum).
- Berger, J., Haaß, M., Rietschel, P., & Fuchs, H. V. (2010). Ein schallschutzkonzept für höchste hygienische Ansprüche. DAGA.
- DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. (2004-05).
- DIN EN ISO 3382-2 Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen. (2008).
- DIN EN ISO 354 Messung der Schallabsorption in Hallräumen. (2003-12).
- Fasold W, S. E. (1987). *Bau- und Raumakustik*. Verlag für Bauwesen.
- Fuchs, H. V. (kein Datum). *Schallabsorber und Schalldämpfer*. Springer.
- Fuchs, H. V., Lamprecht, J., & X.Zha. (2012). Erfahrungen mit innovativen Kanten-Absorbern in kommunikativ genutzten Räumen. DAGA.
- Fuchs, H. V., Lamprecht, J., & Zha, X. (2012). Lärmbekämpfung in Bildungsstätten: Kanten-Absorber für besseres Verstehen und Lernen. Lärmbekämpfung.
- Fuchs, H. V., Lamprecht, J., & Zha, X. (2012). Zur Steigerung der Wirkung passiver Absorber: Schall in Raumkanten schlucken! Gesundheitsingenieur.
- Lamprecht, J., & Fuchs, H. V. (2012). Zur Wirkungsweise von Kanten-Absorbern in kleinen bis mittelgroßen Räumen. DAGA.
- Maa, D.-Y. (1975). Theory and design of microperforated panel sound absorbing constructions. Scientia Sinica.
- VDI 3760 Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen. (1996-02).

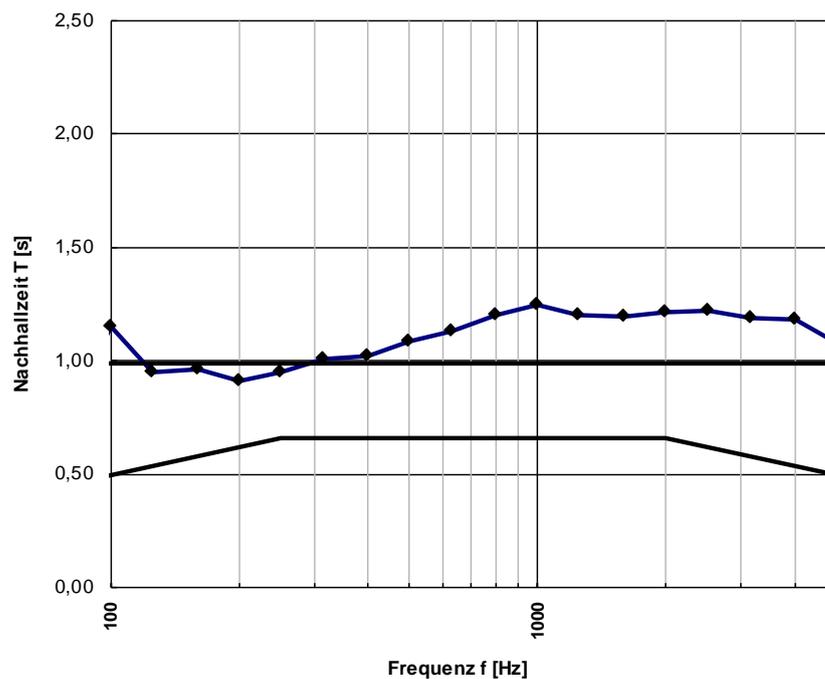
# 9 Anhang

## Nachhallzeitmessung Nachher-Messung Filmraum Grundschule Bad Rappenau

<b>Messdurchführung:</b>	Markus Haaß
<b>Auswertung:</b>	Markus Haaß
<b>Messdatum:</b>	05.09.2012
<b>Messapparatur:</b>	CORTEX INSTRUMENTS NC10
<b>Prüfschall:</b>	Rosa Rauschen
<b>Beschreibung des Prüfraumes:</b>	wie bei der Bestandsanalyse Kantenabsorber umlaufend an der Decke montiert
<b>Volumen des Raumes:</b>	299 m <sup>3</sup>
<b>Planungsempfehlung <math>T_{soll}</math>:</b>	<b>0,8 s im leeren unbesetzten Zustand</b> <b>0,6 s im zu 80 % besetzten Zustand</b>
<b>Mittlere Nachhallzeit T:</b>	<b>1,1 s im leeren unbesetzten Zustand</b>



f [Hz]	$T_{Okt}$ [s]
63	0,69
125	1,02
250	0,96
500	1,08
1000	1,22
2000	1,21
4000	1,15

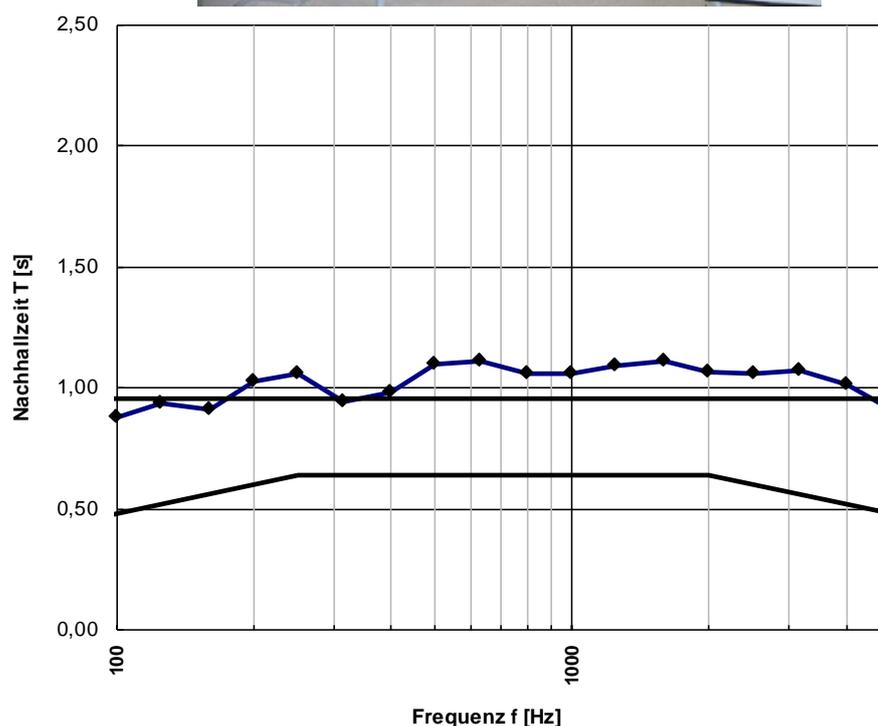


## Nachhallzeitmessung Nachher-Messung Hohenlohe Gymnasium Öhringen

<b>Messdurchführung:</b>	Markus Haaß
<b>Auswertung:</b>	Markus Haaß
<b>Messdatum:</b>	09.01.2013
<b>Messapparatur:</b>	CORTEX INSTRUMENTS NC10
<b>Prüfschall:</b>	Rosa Rauschen
<b>Beschreibung des Prüfraumes:</b>	Raum 16, 19 Tische + Stühle, Boden beschichtet, Decke Putz, Fensterfront, Teppich an der Wand
<b>Volumen des Raumes:</b>	253 m <sup>3</sup>
<b>Planungsempfehlung <math>T_{\text{soll}}</math>:</b>	<b>0,8 s im leeren unbesetzten Zustand</b> <b>0,6 s im zu 80 % besetzten Zustand</b>
<b>Mittlere Nachhallzeit T:</b>	<b>1,0 s im leeren unbesetzten Zustand</b>



f [Hz]	$T_{\text{Okt}}$ [s]
63	1,77
125	0,91
250	1,01
500	1,06
1000	1,07
2000	1,08
4000	1,00

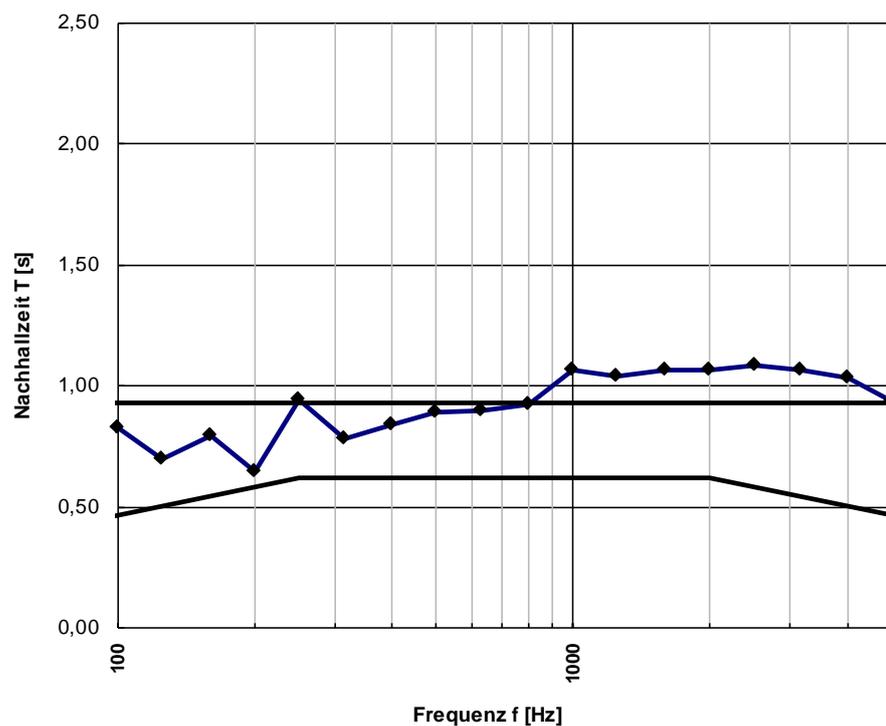


**Nachhallzeitmessung Nachher-Messung**  
**Turnraum Kita Kirnberger Straße Darmstadt**  
**Eberstadt**

<b>Messdurchführung:</b>	Markus Haaß
<b>Auswertung:</b>	Markus Haaß
<b>Messdatum:</b>	21.09.2012
<b>Messapparatur:</b>	CORTEX INSTRUMENTS NC10
<b>Prüfschall:</b>	Rosa Rauschen
<b>Beschreibung des Prüfraumes:</b>	wie vorher Kantenabsorber: umlaufend außer im Deckenversprung
<b>Volumen des Raumes:</b>	212 m <sup>3</sup>
<b>Planungsempfehlung <math>T_{\text{soll}}</math>:</b>	0,8 s im leeren unbesetzten Zustand 0,6 s im zu 80 % besetzten Zustand
<b>Mittlere Nachhallzeit T:</b>	0,9 s im leeren unbesetzten Zustand



f [Hz]	$T_{\text{Okt}}$ [s]
63	0,85
125	0,77
250	0,79
500	0,88
1000	1,01
2000	1,07
4000	1,01

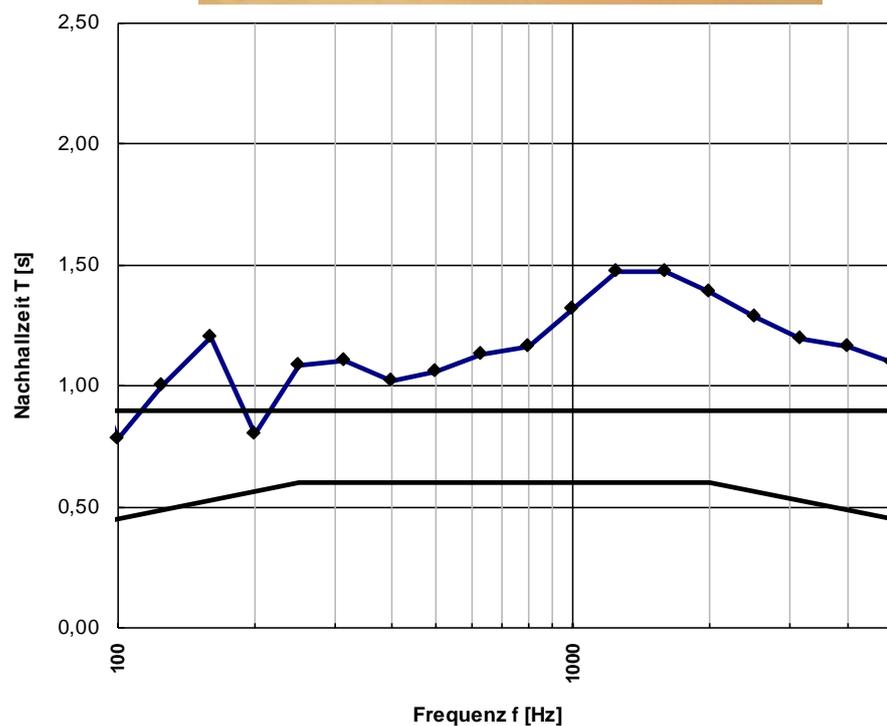


**Nachhallzeitmessung Nachher-Messung**  
**Turnraum Integrative Kindertagesstätte**  
**Ludwigshafen Oggersheim**

<b>Messdurchführung:</b>	Markus Haaß
<b>Auswertung:</b>	Markus Haaß
<b>Messdatum:</b>	14.05.2013
<b>Messapparatur:</b>	CORTEX INSTRUMENTS NC10
<b>Prüfschall:</b>	Rosa Rauschen
<b>Beschreibung des Prüfraumes:</b>	Turnraum, Boden Linoleum, Decke Putz und Metallklappe, Fenster, Turngeräte und Matten
<b>Volumen des Raumes:</b>	179 m <sup>3</sup>
<b>Planungsempfehlung <math>T_{\text{soll}}</math>:</b>	0,8 s im leeren unbesetzten Zustand 0,6 s im zu 80 % besetzten Zustand
<b>Mittlere Nachhallzeit T:</b>	1,2 s im leeren unbesetzten Zustand



f [Hz]	$T_{\text{Okt}}$ [s]
63	1,00
125	0,99
250	1,00
500	1,07
1000	1,32
2000	1,38
4000	1,15

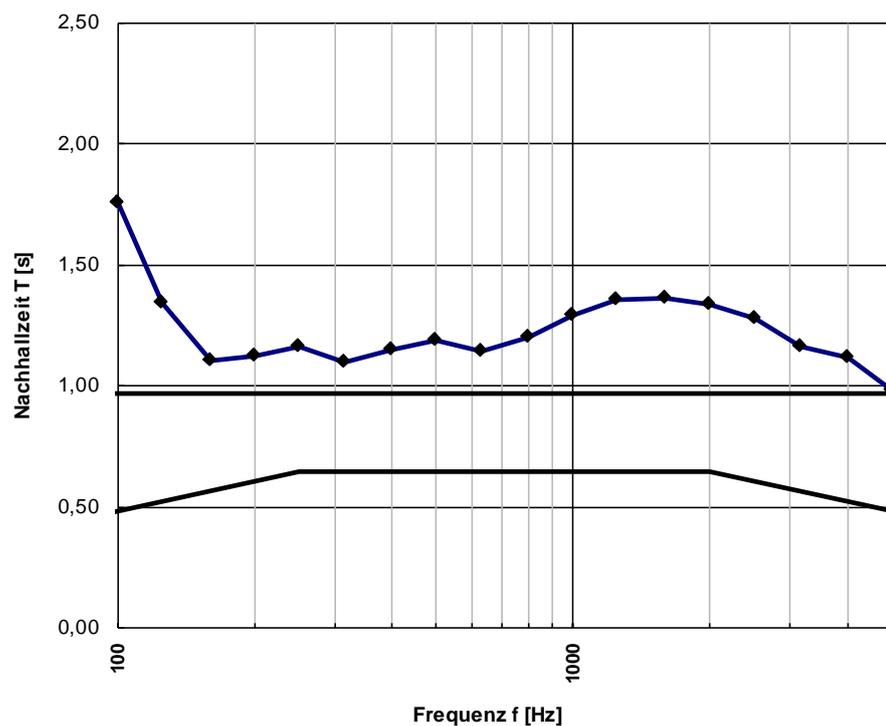


**Nachhallzeitmessung Nachher-Messung**  
**Unterrichtsraum Goethe-Mozart-Schule Kurt-**  
**Schumacher-Straße LU-Oppau**

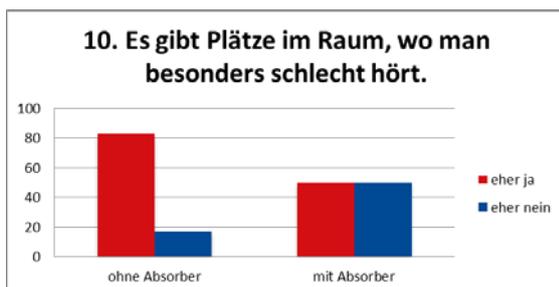
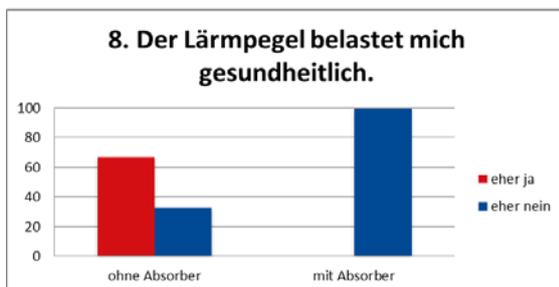
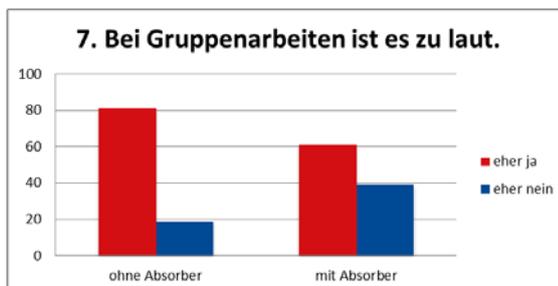
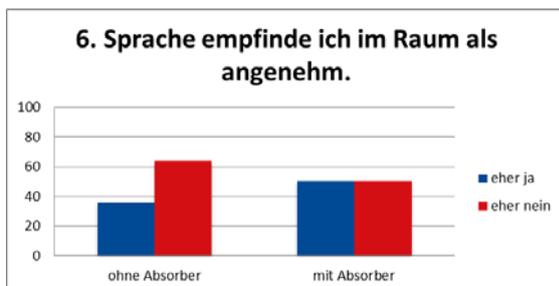
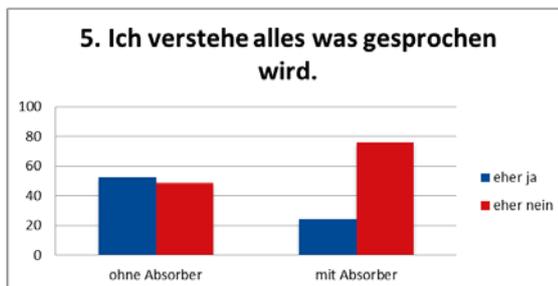
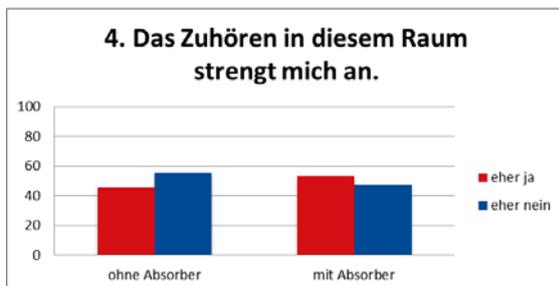
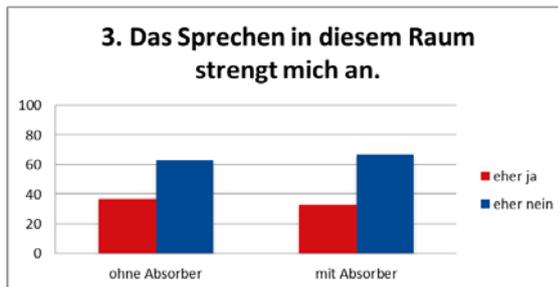
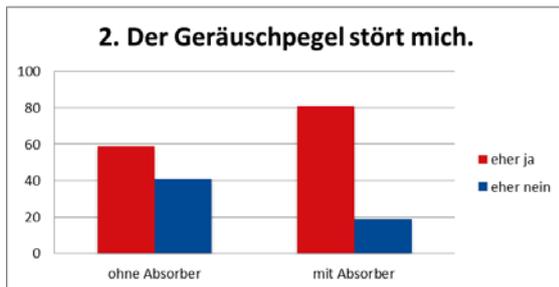
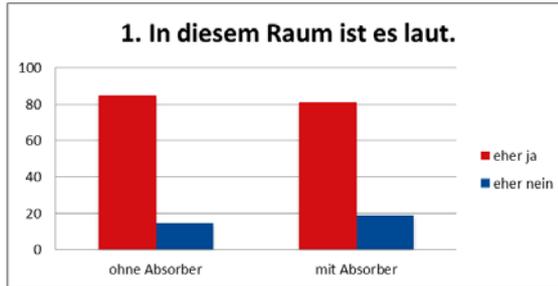
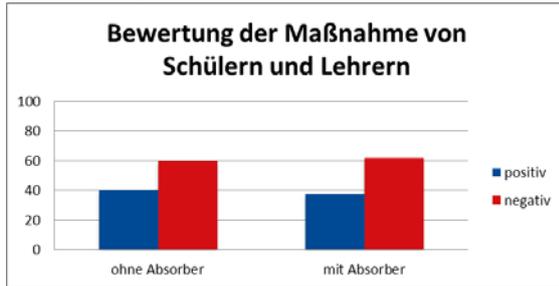
<b>Messdurchführung:</b>	Markus Haaß
<b>Auswertung:</b>	Markus Haaß
<b>Messdatum:</b>	10.01.2013
<b>Messapparatur:</b>	CORTEX INSTRUMENTS NC10
<b>Prüfschall:</b>	Rosa Rauschen
<b>Beschreibung des Prüfraumes:</b>	Unterrichtsraum R. 307 im 2. OG möbliert, schallharte Oberflächen
<b>Volumen des Raumes:</b>	266 m <sup>3</sup>
<b>Planungsempfehlung <math>T_{\text{soll}}</math>:</b>	0,8 s im leeren unbesetzten Zustand 0,6 s im zu 80 % besetzten Zustand
<b>Mittlere Nachhallzeit T:</b>	1,2 s im leeren unbesetzten Zustand



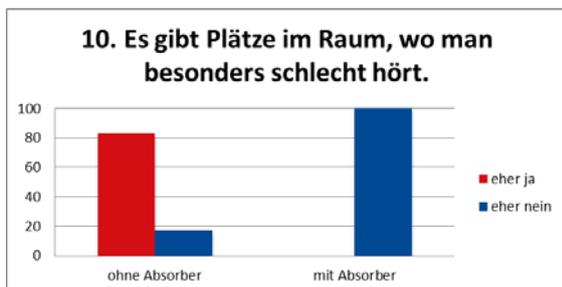
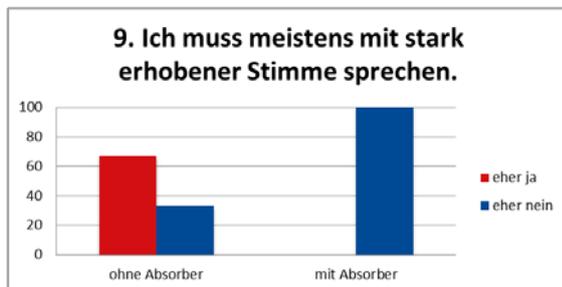
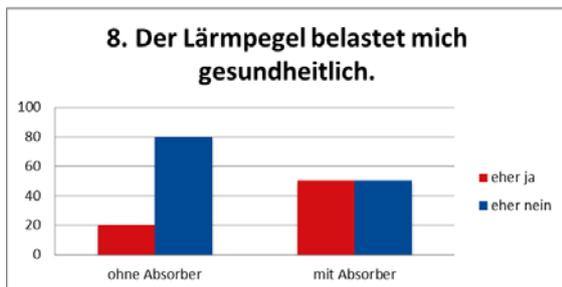
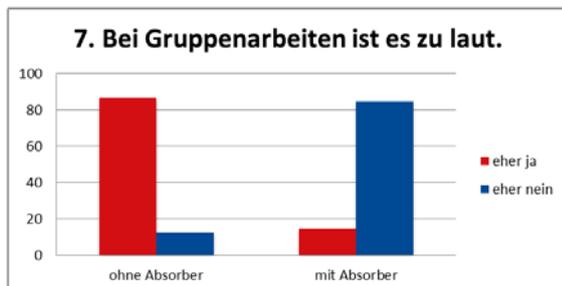
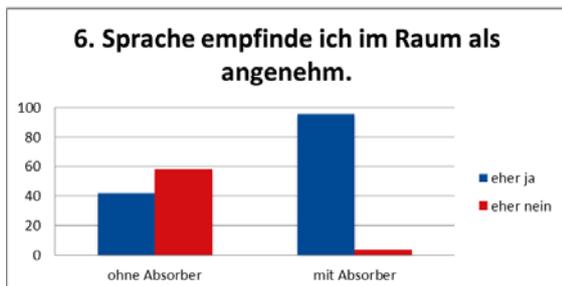
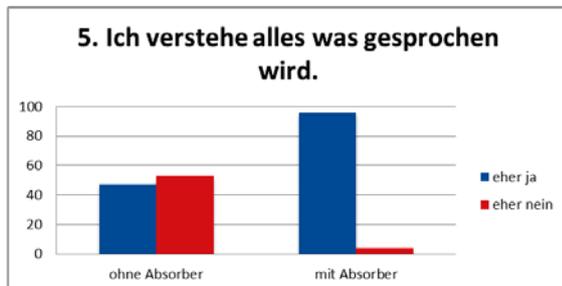
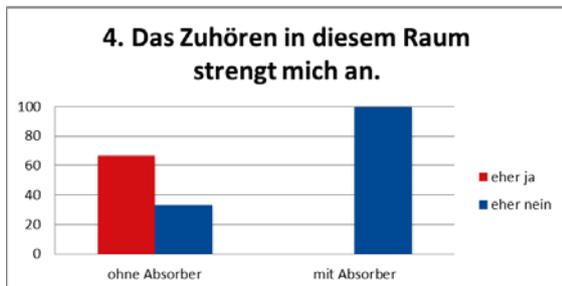
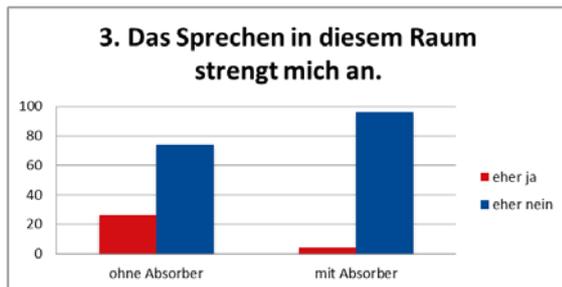
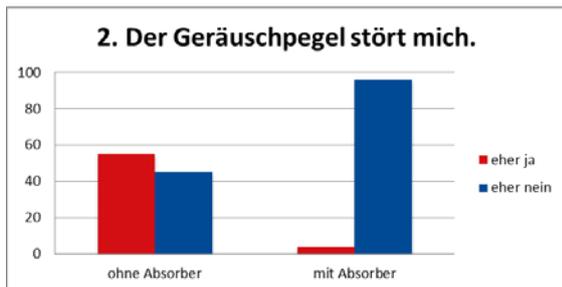
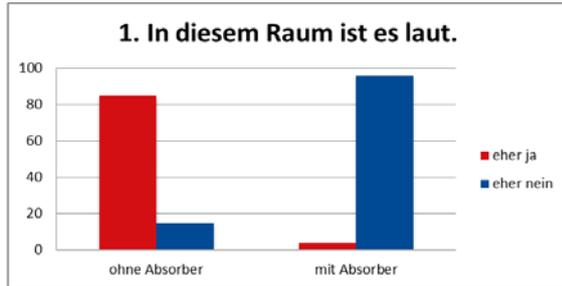
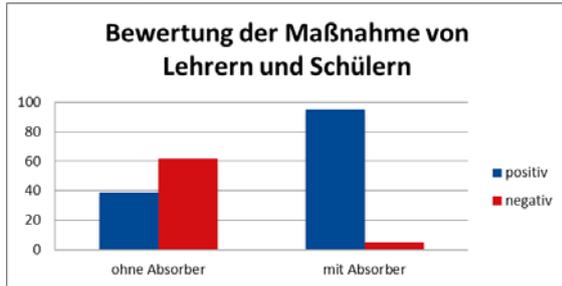
f [Hz]	$T_{\text{Okt}}$ [s]
63	1,82
125	1,40
250	1,13
500	1,16
1000	1,28
2000	1,33
4000	1,09



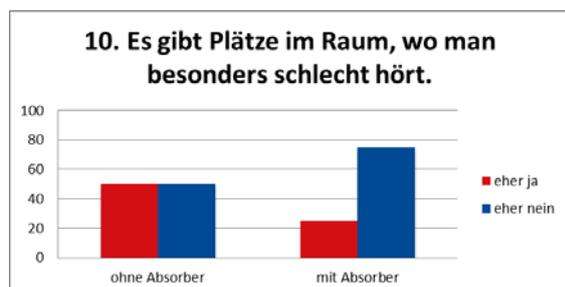
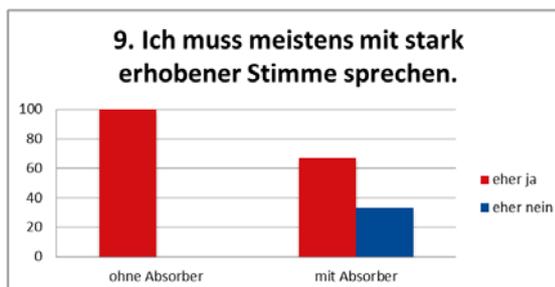
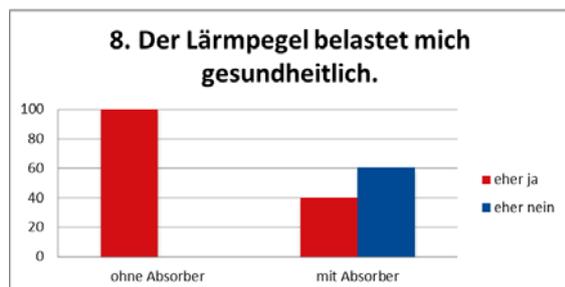
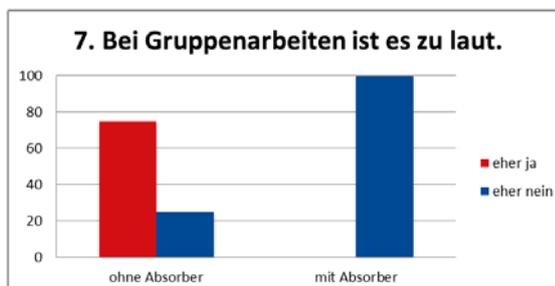
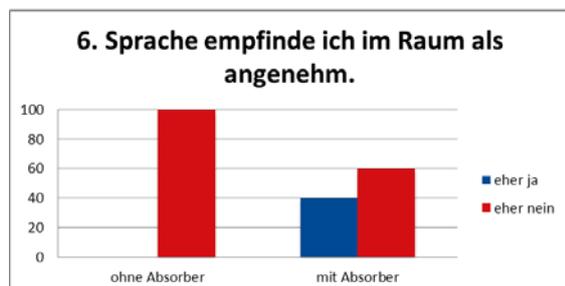
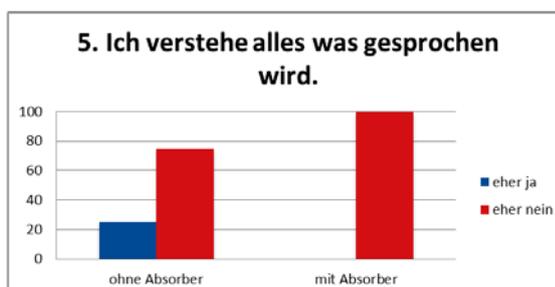
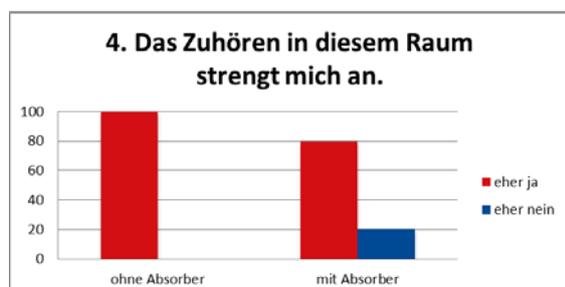
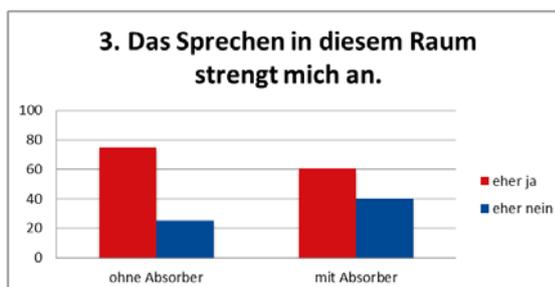
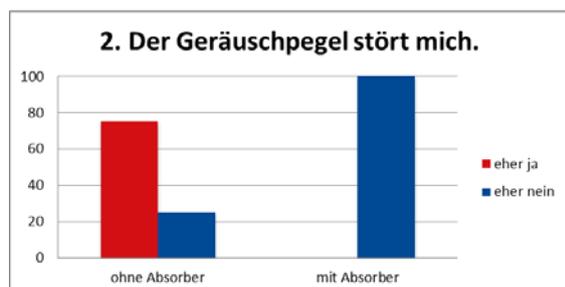
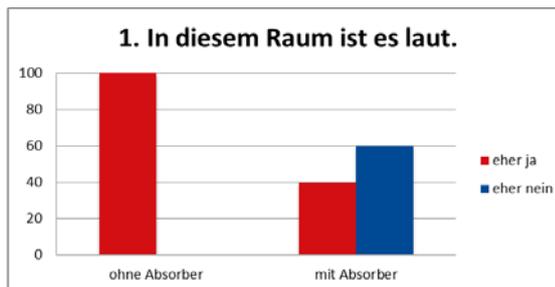
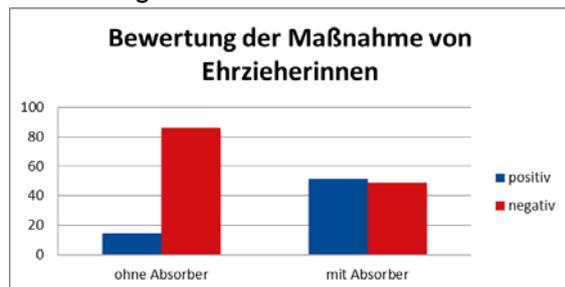
Bewertung der Maßnahme in Bad Rappenau



Bewertung der Maßnahme in Öhringen



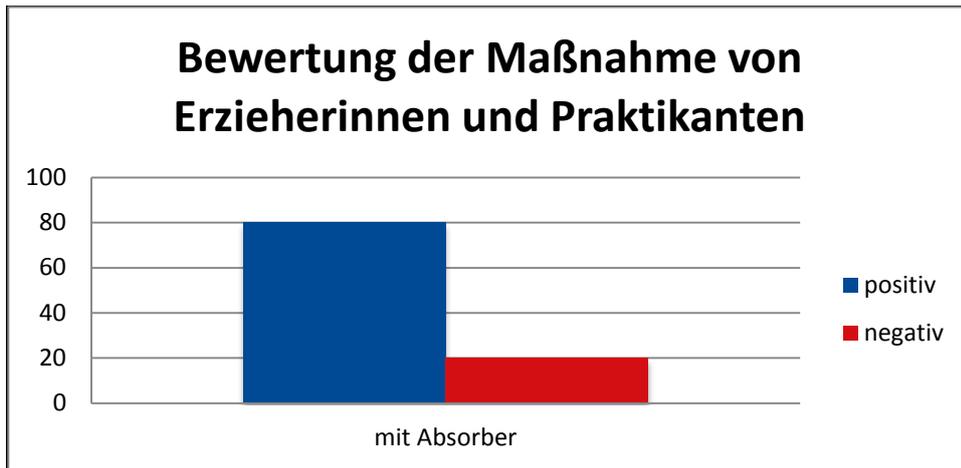
## Bewertung der Maßnahme in Darmstadt Eberstadt



## Bewertung der Maßnahme in Oggersheim

Auswertung nur Anhand von Befragung des Teams:

Das Team besteht aus 20 Beschäftigten inkl. Praktikanten. Etwa 80 % des Personals ist sehr zufrieden mit der neuen Raumakustik. Lediglich die Therapeuten haben sich mehr erhofft, wobei sie sich nicht näher geäußert haben. Frau Vidic, die Leitung der Einrichtung hat uns im Gespräch mitgeteilt, dass Sie guten Gewissens sagen kann, dass die Akustik besser ist als vorher. Auch ist Sie mit der Ausführung zufrieden. Die Fragen des Fragebogens kann man im Vorliegenden Fall nicht so eindeutig beantworten, da es sich um einen Bewegungsraum handelt.



## Bewertung der Maßnahme in Oppau

