

Merkblatt zur Schulraumakustik

- ◆ Situationsbeurteilung
- ◆ Sanierungsmaßnahmen
- ◆ Kosten und Zuschüsse

Vorwort

Sprechen und Hören sind von entscheidender Bedeutung beim Lehr- und Lernprozess im Klassenzimmer. Gleichzeitig stellt Sprache auch häufig die Hauptlärmquelle dar, die den Lernprozess negativ beeinflusst, zu Konzentrationsschwierigkeiten, Müdigkeit, Nervosität und erhöhter Ablenkung führt. Der Lärm bewirkt so nicht nur eine erhöhte Arbeitsbelastung der Lehrkräfte; er kann auch die Lernfähigkeit der Kinder beeinträchtigen. Laborstudien belegen negative Wirkungen von Hintergrundgeräuschen und Nachhall auf Sprachverstehens-, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisleistungen von Schülern (KLATTE). Deshalb ist eine möglichst optimale akustische Raumgestaltung ein wichtiger Faktor für das Klima im Klassenraum und somit schließlich auch für den Lernerfolg. Dieser Leitfaden soll Schulträgern und Planern bei der Beurteilung, ob eine akustische Sanierung erforderlich ist und wie sich diese umsetzen lässt, Hilfestellung geben.

Wie entsteht Lärm in Schulen?

Geht man der Frage auf den Grund, wie Lärm im Klassenraum entsteht, stößt man auf den so genannten Lombard-Effekt. Dieser erklärt das Phänomen, dass in lauten Umgebungen automatisch mehr Unruhe und Lärm erzeugt wird, als in ruhigeren Umgebungen. Dies ist besonders in halligen Räumen der Fall, in denen durch den Hall die Sprachverständlichkeit von vorneherein verringert ist. Diese reduzierte Sprachverständlichkeit bewirkt bei den anwesenden Personen Unruhe, wodurch der Sprecher angehalten wird, lauter zu reden, was wiederum den Nachhall erhöht. Somit wird die ganze akustische Situation lauter aber keinesfalls besser (Siehe Abb. 1).

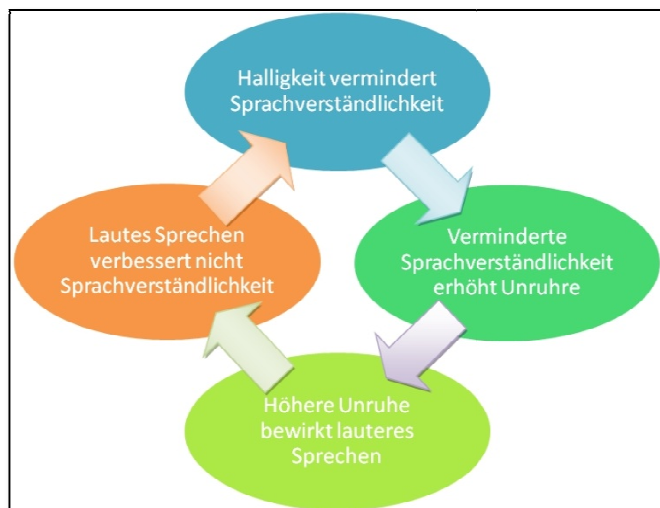


Abb. 1 – Der Lombard Effekt

Nachhall und Nachhallzeit

Die Schallinformation, die beim Empfänger eintrifft, setzt sich aus drei verschiedenen Schallarten zusammen: Die ersten beiden sind der Direktschall und die frühen Reflexionen. Das sind all diejenigen Schallanteile, die innerhalb der ersten 50 ms beim Empfänger eintreffen. Sie sind die nützlichen Schallanteile und Informationsträger und sollten bei der akustischen Sanierung eines Raumes nicht gedämpft werden. Der Nachhall ist der Schallanteil, der später als 50 ms beim Schallempfänger eintrifft. Er trägt für das menschliche Gehirn keine Information, sondern wird als störend empfunden, da er die Sprachinformation aus Direktschall und frühen Reflexionen verundeutlicht.

Wichtigste Kenngröße zur Beschreibung der akustischen Qualität eines Raumes ist die **Nachhallzeit T**. Sie beschreibt die Zeitspanne, die vergeht bis nach Beendigung einer Schallanregung der Schalldruckpegel um 60 dB abfällt. Der Nachhall beruht auf Vielfachreflexionen an den Raumbegrenzungsflächen und ist damit abhängig von deren Absorptionseigenschaften. Diese sind für verschiedene Frequenzen unterschiedlich, was zu einer Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit führt. Für eine optimale Akustik im Klassenzimmer sind der Direktschall und möglichst viele frühe Reflexionen erwünscht, jedoch sollte der Nachhall nach Möglichkeit unterbunden werden. Da es jedoch unmöglich ist, den Nachhall komplett zu unterbinden und gleichzeitig die Einfachreflexionen zu ermöglichen, ist es erforderlich, durch geeignete Maßnahmen die Dominanz des Direktschalls und der frühen Reflexionen gegenüber dem verbleibenden Nachhall zu ermöglichen. Dies geschieht durch eine sinnvolle Begrenzung der Nachhallzeit T. Sie sollte für einen typischen Klassenraum mit einem Volumen von 250 m³ bei ca. 0,6 s liegen (Abb. 2).

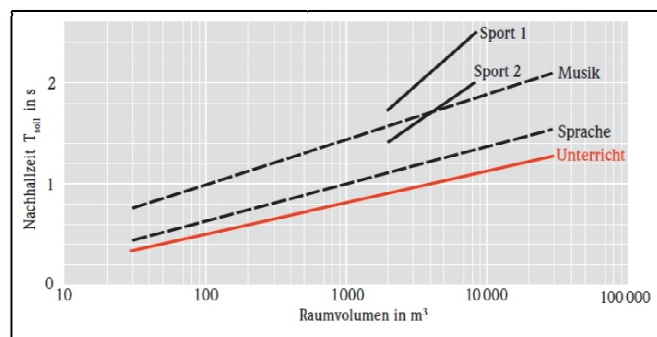


Abb. 2 – Sollnachhallzeit in Abhängigkeit von Raumgröße (nach DIN 18041)

In akustisch nicht optimierten Klassenzimmern findet man allerdings häufig Werte zwischen 1,5 s und 2 s, oder sogar noch darüber. Eine Reduzierung der Nachhallzeit auf die Hälfte des Ausgangswertes bewirkt eine Lärmpegelminderung um ca. 10 dB, was einer Halbierung des subjektiven Lautstärkeempfindens entspricht.

Soll-Nachhallzeiten für Klassenräume

Wie aus Abb. 2 hervorgeht, werden für Unterrichtsräume die strengsten Anforderungen an die Nachhallzeiten gestellt. Die Sollnachhallzeit ist abhängig vom Raumvolumen und lässt sich mit folgender Formel berechnen, wenn das **Raumvolumen V** des Unterrichtsraumes bekannt ist:

$$T_{\text{soll}} = \left(0,32 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,17 \right)$$

Nach DIN 18041 ist ein Unter- bzw. Überschreiten der Sollnachhallzeit im Rahmen eines Toleranzbereiches von $\pm 20\%$ möglich. Bei einem standardmäßigen Klassenzimmer mit einem Raumvolumen von 250 m³ liegt der Toleranzbereich zwischen 0,48 s und 0,72 s. Hierbei ist zu beachten, dass der Toleranzbereich nicht unterschritten werden darf, da es dann zu einer Überdämpfung des Raumes kommt, die eine erhöhte Sprechanstrengung bewirkt. Besonderheiten, wie Sollnachhallzeiten für anderweitig genutzte Räume wie Turnhallen oder Klassenzimmer für Schüler mit Hörbehinderungen können der DIN 18041 entnommen werden. In Abb. 3 sind beispielhaft Nachhallzeiten vor und nach einer akustischen Sanierung dargestellt.

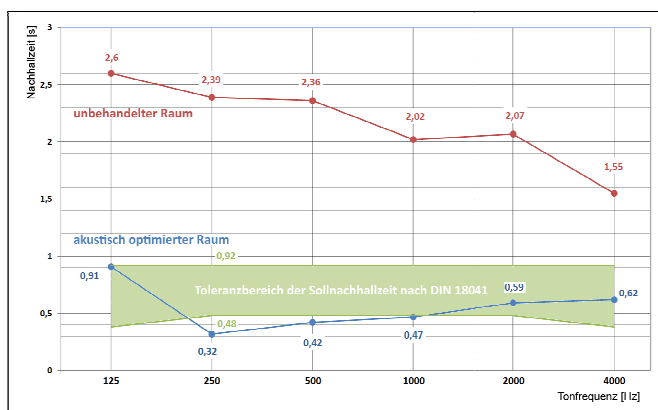


Abb. 3 – Klassenraum Gymnasium Merzig – Nachhallzeit vor und nach akustischer Sanierung

In diesem Klassenraum konnte durch eine akustische Sanierung die Nachhallzeit im relevanten Frequenzbereich deutlich gesenkt werden. Im Bereich zwischen 250 Hz und 2 kHz ist sogar eine Senkung der Nachhallzeit auf gut ein Viertel des Ausgangswertes erfolgt. Weitere Infos zu dem Projekt finden Sie unter <http://www.saarland.de/54138.htm>.

Gute und schlechte Akustik erkennen

Um die akustische Qualität eines Raumes beurteilen zu können, ist es notwendig, seine Nachhallzeit zu ermitteln. Befragungen von Lehrern und Schülern können erste Indizien für akustische Mängel eines Unterrichtsraumes liefern. Die Nachhallzeit in einem „standardisierten“ Klassenraum kann einfach berechnet werden. Eingehende Faktoren sind das Raumvolumen, die Größe der Raumbegrenzungsflächen (Boden, Wände, Decke) und der **Schallabsorptionsgrad α** der verwendeten Materialien. Unter dem Absorptionsgrad α versteht man das Verhältnis der von einer bestimmten Materialfläche absorbierten Schallenergie zu der auf dieselbe Fläche einfallenden Schallenergie. Ein Wert von 1,0 würde bedeuten, dass die gesamte Schallenergie absorbiert und demzufolge auch kein Schall reflektiert wird. Der Schallabsorptionsgrad ist frequenzabhängig. Ein Fenster mit Isolierverglasung dämpft Frequenzen von 125 Hz recht gut ($\alpha=0,28$), ist im hohen Frequenzband von 4000 Hz zur Dämpfung aber ungeeignet ($\alpha=0,02$). Teppichboden (6 mm) hingegen dämpft bei tiefen Frequenzen von 125 Hz mit ca. $\alpha=0,02$, bei hohen Frequenzen von 4000 Hz mit $\alpha=0,35$. Die Schallabsorptionsgrade für verschiedene Materialien sind im Anhang B der DIN 18041 zusammengestellt, in der nachfolgenden Tabelle sind die Kennwerte für Materialien, welche häufig in Klassenräumen vorzufinden sind, aufgeführt.

Material	Absorptionsgrad α bei f=500Hz	Absorptionsgrad α bei f=4000Hz
Glattputz	0,03	0,06
Beton unverputzt	0,03	0,05
Kalkzementputz	0,02	0,05
Holztür lackiert	0,06	0,05
Fenster Isolierglas	0,10	0,02
Parkettboden	0,05	0,06
PVC Boden	0,01	0,05
Teppich (6mm)	0,06	0,35

Mit Hilfe dieser Werte kann die Nachhallzeit im Klassenraum anhand der **Sabine'schen Nachhallformel** berechnet werden.

$$T = 0,163 \frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot \frac{V}{\sum S_i \alpha_i} = 0,163 \frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot \frac{V}{A}$$

T = Nachhallzeit in s, V = Volumen in m³, S_i = Teilfläche in m²
 α_i = Schallabsorptionsgrad der i-ten Teilfläche

Ein fiktives aber realistisches Beispiel

Die Lehrer einer Grundschule beschwerten sich über eine Schulklasse, die „immer so laut“ sei. Auch die Schüler der Klasse empfinden das Lernklima als schlecht. Das Schulgebäude stammt aus den 60er Jahren. Schallabsorbierende Elemente sind im Unterrichtsraum nicht zu erkennen.

Geometrische Daten des Klassenraums:

Höhe: 3 m, Breite 6 m, Länge 14 m

Gesamtvolumen 252 m³, Bodenfläche 84 m², Deckenfläche 84 m², Fensterfront 25 m², restl. Wandflächen 95 m²

Klassenraum besetzt mit 20 Schülern an Holztischen (3 m²/ Person)

Berechnung der Sollnachhallzeit für diesen Raum im besetzten Zustand nach DIN 18041:

$$T_{soll} = \left(0,32 \cdot \lg \frac{V}{m^3} - 0,17 \right) \quad T_{soll} = \left(0,32 \cdot \lg \frac{252m^3}{m^3} - 0,17 \right) s = 0,6s$$

Mit ±20% Toleranz bedeutet dies, dass T_{soll} zwischen 0,5 s und 0,7 s liegt.

Berechnung der Nachhallzeit vor akustischer Sanierung:

Da der Schallabsorptionsgrad eines Materials frequenzabhängig ist, sind die Nachhallzeiten für jede Frequenz unterschiedlich. Daher wird in diesem Beispiel die Berechnung für eine Frequenz von 1000 Hz durchgeführt.

Wand- und Deckenflächen (179 m²): Glattputz: $\alpha=0,03$; Boden (84m²): PVC auf Beton: $\alpha=0,03$; Fensterfront (25 m²): Isolierverglasung: $\alpha=0,06$; 20 Schüler an Holztischen (60 m²): $\alpha=0,32$;

$$T = 0,163 \frac{s}{m} \cdot \frac{V}{\sum S_i \alpha_i}$$

$$T_{besetzt} = 0,163 \frac{s}{m} \cdot \frac{252m^3}{179m^2 \cdot 0,03 + 84m^2 \cdot 0,03 + 25m^2 \cdot 0,06 + 60m^2 \cdot 0,32} = 1,44s$$

Selbst bei besetztem Klassenraum ist der berechnete Wert der Nachhallzeit mehr als doppelt so hoch wie der Sollwert. Die Absorption in diesem Beispiel wird fast ausschließlich von den Schülern und dem Mobiliar übernommen. Die Nachhallzeit für den leeren Klassenraum ergibt einen deutlich höheren Wert:

$$T_{unbesetzt} = 0,163 \frac{s}{m} \cdot \frac{252m^3}{179m^2 \cdot 0,03 + 84m^2 \cdot 0,03 + 25m^2 \cdot 0,06} = 4,37s$$

Auch in der Praxis kann nicht immer von vollständig besetzten und bestuhlten Klassenräumen ausgegangen werden.

Berechnung der Nachhallzeit nach akustischer Sanierung:

Im Rahmen einer akustischen Sanierung werde eine Akustikdecke mit einer Fläche von 84 m² und einem Absorptionsgrad von 0,8 bei f=1000 Hz (realistischer Wert aus der Praxis) eingebracht. Damit verändern sich die berechneten Nachhallzeiten folgendermaßen:

$$T_{besetzt-neu} = 0,163 \frac{s}{m} \cdot \frac{252m^3}{95m^2 \cdot 0,03 + 84m^2 \cdot 0,8 + 84m^2 \cdot 0,03 + 25m^2 \cdot 0,06 + 60m^2 \cdot 0,32} = 0,44s$$

$$T_{unbesetzt-neu} = 0,163 \frac{s}{m} \cdot \frac{252m^3}{95m^2 \cdot 0,03 + 84m^2 \cdot 0,8 + 84m^2 \cdot 0,03 + 25m^2 \cdot 0,06} = 0,55s$$

In beiden Fällen liegt damit die Nachhallzeit etwas unterhalb des Sollwerts aber durchaus noch innerhalb des Toleranzbereichs. Im Beispiel konnte, allein durch den Einsatz eines 84 m² Deckenabsorbers, die Nachhallzeit des vollbesetzten Klassenraums um etwa eine Sekunde und des leeren Raums um etwa 4 Sekunden gesenkt werden.

Verbesserung der Raumakustik

Eine Verbesserung der Akustik im Klassenraum ist auch nachträglich jederzeit möglich und vom Kostenaufwand gering, verglichen mit Sanierungen aus energetischer Sicht.

Das Hauptaugenmerk bei der Verbesserung der raumakustischen Situation liegt auf einer Verringerung der Nachhallzeit und auf der Senkung des gesamten Lautstärkepegels. Die schallabsorbierenden Materialien sollten an geeigneten Stellen im Raum angebracht werden. Dies sind bei einem Standardunterrichtsraum mit Frontalunterricht in der Regel die Decken und die Rückwand.

Da die Nachhallzeit frequenzabhängig ist, ist es erforderlich, mit zwei verschiedenen Arten von Absorbern zu arbeiten, welche die Nachhallzeit im gesamten Spektrum der menschlichen Sprache (von ca. 125 Hz bis 4000 Hz) absenken. Für die Schallabsorption von Schallanteilen höherer Frequenz (ab 500 Hz) sind die so genannten porösen Absorber geeignet. Sie bestehen aus einem offenporigen Material und wandeln die auftreffende Schallenergie durch Reibung in Wärme um. Allerdings funktioniert dies bei tieferen Frequenzen aus physikalischer Sicht nur noch dann, wenn die porösen Absorber eine entsprechende Dicke aufweisen (für 100 Hz beispielsweise wären ca. 40 cm Absorberdicke nötig). Daher werden zur Schallabsorption im unteren Frequenzbereich bis ca. 500 Hz so genannte Resonanzabsorber eingesetzt. Diese besitzen hinter dem Deckmaterial einen Luftraum im Abstand zur Wand bzw. Decke. In diesem schwingungsfähigen System wird dem eintreffenden Schall seine Energie entzogen.

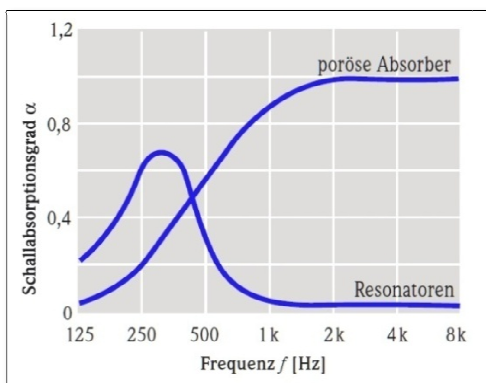


Abb. 4 - Frequenzabhängiges Absorptionsverhalten von porösen Absorbern und Resonanzabsorbern aus FASOLD & VERES

Hersteller von Akustikdecken lösen dieses Problem, indem sie speziell auf Unterrichtsräume abgestimmte so genannte „Klassenzimmerpakete“ anbieten. Diese bestehen in der Regel aus einer Akustikdecke und einem Wandabsorber, welcher typischerweise an der Rückwand eines Klassenzimmers angebracht wird.

Die Akustikdecke wird ca. 30 cm unter der eigentlichen Decke aufgehängt. Der Hohlraum wirkt als Resonator und die Deckenplatten aus Mineralfaserwolle wirken als poröser Absorber. Der Wandabsorber vergrößert bei Bedarf noch einmal die absorbierende Fläche.

Die Möglichkeit der akustischen Optimierung der anderen Raumbegrenzungsflächen ist in einem typischen Klassenzimmer beschränkt. Die Fensterseite, der Fußboden und auch die Wand, an der die Tafel hängt, werden unter anderen Gesichtspunkten gestaltet. So bieten sich Akustikdecken hervorragend an, da in einem üblichen Klassenraum nach oben genug Platz vorhanden ist. Auch in Hinblick auf Beschädigungen sind Akustikdecken entsprechenden Bauelementen an den Wänden überlegen.

Akustikdecken sollten generell von Fachfirmen montiert werden. Bei Bedarf, beispielsweise bei notwendigen Arbeiten an Elektroleitungen können sie auch wieder relativ problemlos demontiert werden.

Da Akustikdecken unterhalb der bestehenden Decke aufgehängt werden, sind meist Arbeiten an der Elektroinstallation unvermeidlich. Dies betrifft hauptsächlich die Lampen, welche nicht von den Akustikdecken verdeckt werden können.

Ein weiterer wichtiger Hinweis in Bezug auf Akustikdecken ist, dass die poröse Oberfläche verantwortlich für die Absorptionswirkung ist. Diese darf also in keinem Fall mit Farbe überstrichen oder bei ähnlichen Renovierungsarbeiten verändert werden, da sie so ihre Funktion verliert. Mittlerweile sind spezielle Angebote an Akustikdecken auf dem Markt, deren Oberflächen antistatisch und somit weitgehend unempfindlich gegen Staub und Schmutz sind.

Die namhaften Hersteller bieten zur Thematik und zu Ihren Produkten im Internet oder auf telefonische Anfrage eine Menge Informationsmaterial.

Kosten und Zuschüsse

Die Kosten für eine akustische Sanierung bestehend aus einer Akustikdecke und einem Wandabsorber für die Rückwand liegen je nach Ausführung und Anbieter inklusive Montage und Einbau zwischen ca. 25 € und ca. 60 € pro m² und sind damit deutlich geringer als weitläufig angenommen. Die tatsächlichen Kosten werden sehr stark durch zusätzlich notwendige Arbeiten bspw. an der Beleuchtungsinstallation beeinflusst. Für genauere Infos hierzu wenden Sie sich an die Hersteller oder den Fachbetrieb, der die Montage übernimmt.

Für **finanzielle Zuschüsse und Förderungen** wenden Sie sich bitte an folgende Stellen:

Für Kommunen und Kreise als Träger:
Ministerium für Inneres und Europaangelegenheiten
Franz-Josef-Röder-Str. 21
66119 Saarbrücken
poststelle@innen.saarland.de
http://www.saarland.de/ministerium_inneres_europaangelegenheiten.htm .

Für private Schulträger (sofern es Schulen nach dem Privatschulengesetz des Saarlandes sind):
Ministerium für Bildung
Hohenzollernstraße 60
66117 Saarbrücken
poststelle@bildung.saarland.de
http://www.saarland.de/ministerium_bildung.htm .

Förderungsmöglichkeiten durch die KfW:
Grundsätzlich können Modernisierungsmaßnahmen an Schulen (wie die Verbesserung der Akustik in Klassenräumen) auch über KfW-Programme finanziert werden. Infos unter:
<http://www.kfw.de> .

Zusammenfassung

Bei standardmäßigen und nicht zu großen Klassenräumen (Volumen < 300 m³) die aufgrund überwiegend schallharter Oberflächen eine schlechte Raumakustik aufweisen, lässt sich ohne großen Planungsaufwand eine Verringerung der Nachhallzeit und damit eine Verbesserung der Akustik erreichen. In der Regel ist dies durch Einbau einer Akustikdecke mit den Produkten verschiedener Anbieter zu vergleichsweise geringen Kosten erreichbar.

Weitere Tipps

- Im **Internet** findet man eine Menge weiterer Infos zur Raumakustik in Schulen und auch Programme um die Nachhallzeit für Räume mit den unterschiedlichsten Materialien zu berechnen:

<http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/36234/>

<http://www.schulakustik.de/>

<http://www.highfidelity-pur.de/Produkte/index.nachhallzeitenberechnung.htm>

- **Weitere Faktoren**, die sich negativ auf die akustische Situation im Klassenzimmer auswirken sind große zueinander parallele Wandflächen, ohne dass die Wände durch Regale oder andere Möbel bestückt sind, eine übermäßig hohe Decke aber auch lärmende Einrichtung wie quiet-schende Stühle und Tische. Abhilfe schaffen hier sehr einfa-

che Maßnahmen, wie das Anbringen von Filz unter den Stühlen und Tischen, eine aufgelockerte Wandgestaltung mit Pinnwänden, Bücherregalen und ähnlichen Objekten.

- Im Einzelfall können auch **Geräusche von Außen** (z. B. Nachbarräume, Flure, Straßen) den Lärmpegel im Unterrichtsraum unangenehm beeinflussen. Hier kann der Einbau von Schallschutzfenstern, Türen oder eine Schalldämmung der Wände von Nöten sein.

- Sollte es aus technischen, organisatorischen oder finanziellen Gründen nicht möglich sein alle halligen Klassenräume in einer Schule zu sanieren, ist es sinnvoll anhand einer **Prioritätenliste** vorzugehen. Dabei kann man sich u. a. an folgenden Kriterien orientieren: Klassenstufe (jüngere Kinder haben mehr Schwierigkeiten mit lärmenden Bedingungen als ältere), Schülerzahl, Beschwerdehäufigkeit.

Quellen

- **DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen (2004)**
- **Landesamt für Umwelt und Geologie Hessen: Lärmschutz in Hessen, Heft 4 (2007)**
- **W. Fasold / E. Veres: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis (1998)**
- **M. Klatte: Auswirkungen der akustischen Bedingungen in Schulräumen auf Kinder – Ergebnisse aus Labor- und Felduntersuchungen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 2/2006, 41-45.**

Erstellt durch: Prof. Dr. Kerstin Giering, Florian Stolz
Mathematik, Physik, Technische Akustik/Schallschutz
Zentrum für Bodenschutz und Flächenhaushaltspolitik(ZBF)
FH Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld
PF 1380
55765 Birkenfeld

Herausgeber:



in Abstimmung mit

