

Leitfaden für die akustische Sanierung

von

Klassenräumen

erstellt im Zuge der Diplomarbeit

„Akustische Sanierung von Klassenräumen“

von

Claudia Reithner

Begutachter/Betreuer der Diplomarbeit:

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard, Graber

Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation
der Technischen Universität Graz

Graz, Jänner 2013

Zusammenfassung

Wissenschaftliche Ermittlungen sowie Befragungen ergaben, dass die Lärmsituation in Klassenräumen einer der wesentlichsten Belastungsfaktoren für LehrerInnen und SchülerInnen ist. Eine der Ursachen für zu hohen Lärmpegel ist eine zu hohe Nachhallzeit, wie dies speziell in Klassenräumen aus dem 19./20. Jdht der Fall ist. Mit einer akustischen Sanierung könnte dem entgegengewirkt werden, jedoch ist die Sanierung durch einen Fachbetrieb mit hohen Kosten verbunden, sodass diese auf Grund eines beschränkten Budgets oftmals nicht umgesetzt werden kann.

Fokus des Leitfadens ist es daher, diese Thematik leicht verständlich aufzubereiten, sodass die akustische Sanierung auch von Laien selbständig durchgeführt werden kann. Hierzu wurde ein Simulationstool entwickelt, das die automatische Verarbeitung der Messdaten sowie die Simulierung des sanierten Zustandes ermöglicht. Neben kostengünstigen Sanierungsvarianten zur Grobsanierung wird alternativ auch die Sanierung durch den Fachbetrieb präsentiert.

Dieser Leitfaden zur akustischen Sanierung von Klassenräumen wurde von C. Reithner im Rahmen der Diplomarbeit an der Technischen Universität Graz erstellt. Basis für diese Diplomarbeit sind umfangreiche Recherchen, sowie die wissenschaftliche Aufbereitung dieser Thematik durch Müller, der ebenfalls eine Diplomarbeit zum Thema Klassenraumakustik an der Technischen Universität Graz verfasste.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Einführung in die Thematik der Klassenraumakustik	6
	2.1 Ursachen und Zusammenhänge der Lärmentwicklung.....	6
	2.2 Psychische sowie physische Auswirkungen	7
3	Akustische Sanierungsvarianten	11
	3.1 Anbringung von Absorbern	11
	3.2 Absorbermodule.....	13
	3.2.1 Vorgefertigte Absorbermodule.....	11
	3.2.2 Eigenherstellung individueller Absorbermodule	17
	3.3 Sanierungsvarianten.....	27
	3.3.1 Sanierung mit Absorbermodulen.....	28
	3.3.2 Innenausbau mit Gipskartonlochplatten	31
4	Durchführung der akustischen Sanierung	34
	4.1 Vorbereitungen zur Messung	37
	4.1.1 Auswahl des Messequipments	37
	4.1.2 Verkabelung des Messequipments	39
	4.1.3 Festlegung der Mess- und Senderpositionen	43
	4.2 Durchführung der Messung	44
	4.2.1 Setup Einstellungen - Audio Devices	45
	4.2.2 Setup Einstellungen - Kalibrierung	46
	4.2.3 Messung der Impulsantwort	48
	4.2.4 Checkliste für potentielle Fehlerquellen	51
	4.3 Analyse der Messergebnisse und Absorberauswahl	51
	4.3.1 Eingabe der Basisdaten.....	52
	4.3.2 Import der Messwerte	53
	4.3.3 Verarbeitung & Simulation der akustischen Parameter.....	55
	4.4 Lukrieren der finanziellen Mittel	57
	4.4.1 Schulbezogene Institutionen.....	57
	4.4.2 Externe Institutionen.....	57
	4.4.3 Diverse Sponsoren	58
	4.4.4 Spendengenerierung durch Veranstaltungen	59

5	Rahmenbedingungen einer akustischen Sanierung	60
5.1	Baurechtliche Fragen und Brandschutzvorschriften	60
5.2	Aspekte der Sach- sowie Personenversicherung.....	64
5.3	Pädagogische Begleitmaßnahmen.....	64
5.3.1	Die Zuhörschule.....	64
5.3.2	OLGA – Ohne Lärm geht’s auch.....	66
6	Anhang A: Ergänzungen zu Kapitel 3.....	68
7	Anhang B: Ergänzungen zu Kapitel 4.....	75
8	Anhang C: Sponsorenpräsentation.....	79
9	Literaturverzeichnis.....	81

1 Einleitung

Dieser Leitfaden beinhaltet eine Einführung in die Thematik der Klassenraumakustik sowie die detaillierten Schritte einer akustischen Sanierung und deren Rahmenbedingungen. Für die übersichtliche Gestaltung und somit leichte Verständlichkeit des Leitfadens wurden in den einzelnen Kapiteln nur die wesentlichsten Informationen, die für die Umsetzung der akustischen Sanierung erforderlich sind, angeführt. Ergänzende Informationen zu den jeweiligen Kapiteln erhalten sie in Anhang A, Seite 68 bzw. Anhang B, Seite 75.

Zu Beginn werden in Kapitel 2 die Ursachen und Zusammenhänge der Lärmentwicklung sowie die psychischen und physischen Auswirkungen von Lärm auf SchülerInnen und LehrerInnen erörtert, um ein grundsätzliches Verständnis für die Thematik zu schaffen.

In Kapitel 3 werden grundlegende Informationen zur akustischen Sanierung angeführt und akustische Sanierungsvarianten erarbeitet. Neben den grundlegenden Absorbermodulen werden auch Gesamtkonzepte präsentiert, die einen Überblick über mögliche Sanierungsvarianten bieten.

Basierend auf diesen Informationen werden in Kapitel 4 die einzelnen Schritte, die für die Erstellung und Durchführung einer individuellen Sanierungsvariante erforderlich sind, erläutert. Zu Beginn werden die Vorbereitungen zur Messung und die Durchführung der Messung behandelt. Sobald die Messergebnisse vorliegen, können diese mit dem eigens dafür entwickelten Simulationstool verarbeitet und eine Auswahl der gewünschten Absorber getroffen werden. Für diese Absorberauswahl werden sowohl eine Abschätzung der Kosten angegeben, als auch die akustischen Parameter nach der Sanierung simuliert. Sobald das individuelle Absorberkonzept für die Sanierung fertig gestellt ist, müssen die finanziellen Mittel lukriert werden. Um die Gewinnung von potentiellen Sponsoren zu erleichtern, wurde eine Präsentationsunterlage zusammengestellt, die für die Anfragen genutzt werden kann.

Abschließend werden in Kapitel 5 die Rahmenbedingungen einer Sanierung angeführt. Neben baurechtlichen Vorgaben und Brandschutzvorschriften sind auch die Aspekte der Sach- sowie Personenversicherung zu beachten. Ebenso werden pädagogische Begleitmaßnahmen präsentiert, die zusätzlich zur akustischen Sanierung empfohlen werden.

2 Einführung in die Thematik der Klassenraumakustik

Neben den Ursachen und Zusammenhängen der Lärmentwicklung in Klassenräumen werden in diesem Kapitel auch die psychischen und physischen Auswirkungen von Lärm auf SchülerInnen und LehrerInnen erörtert.

2.1 Ursachen und Zusammenhänge der Lärmentwicklung

Umfragen der österreichischen Kooperation „ARGE Zuhören“¹, der Universität in Bremen und die eines Arbeitskreises des staatlichen Schulamtes in Darmstadt ergaben, dass der Lärm in den Klassen signifikant häufiger als zu laut empfunden wird und dass dies ein wesentlicher Belastungsfaktor im Lehrberuf ist. Neben unterschiedlichen Lärmquellen des Innen- und Außenbereiches, der Anzahl und dem Alter der SchülerInnen sowie den pädagogischen Fähigkeiten der LehrerInnen ist vor allem die hohe Nachhallzeit ein wesentlicher Faktor für den hohen Lärmpegel in den Klassenräumen der zu folgender Lärmkaskade führt:

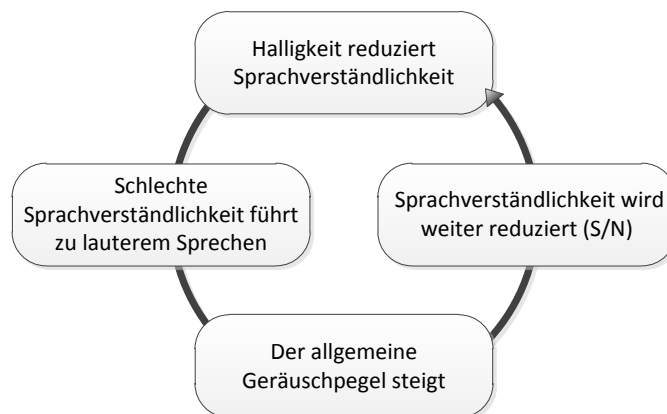


Abbildung 1: Lärmkaskade in Anlehnung an [TIESLER, S.13]

Die Halligkeit reduziert die Sprachverständlichkeit, was zu lauterem Sprechen der LehrerInnen sowie der SchülerInnen führt. Dieses Phänomen wird als Lombard Effekt bezeichnet. Dabei handelt es sich um den Effekt des automatischen Sprechpegelanstiegs von 0,3 - 1dB pro 1 dB Umgebungsgeräuschpegel. Zusätzlich zum Sprechpegelanstieg verhalten sich SchülerInnen in halligen Räumen lauter, wodurch der allgemeine Geräuschpegel angehoben wird. Das wiederum führt zu einer Reduzierung der Sprachverständlichkeit. Dieser Teufelskreis wird unter anderem von Tiesler als „Lärmkaskade“ bezeichnet, die nur durch Reduzierung der Nachhallzeit gebrochen werden kann.²

¹ [ARGE, [www.zuhoeren.at\(2009\)](http://www.zuhoeren.at(2009))]

² Siehe [TIESLER]

Müller³ konnte durch zahlreiche Messungen in Unterrichtsräumen belegen, dass diese Problematik vor allem in Schulgebäuden aus dem 20. Jahrhundert vorliegt, wie folgende Abbildung repräsentativ für sein Gesamtresumee zeigt:

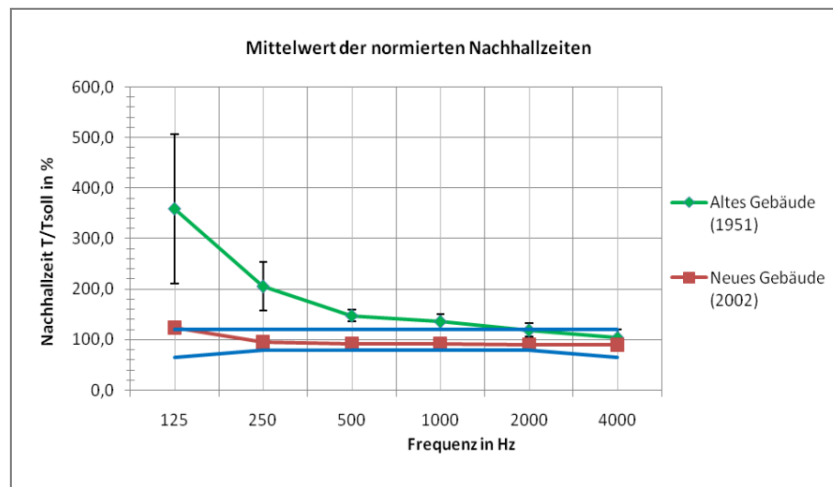


Abbildung 2: Mittelwert und Standardabweichung der normierten Nachhallzeiten für das alte und das neue Gebäude der Grundschule Wiltz/Luxemburg [MÜLLER, S.161]

Die Nachhallzeit des neuen Gebäudes (rote Kurve) liegt zur Gänze innerhalb des Toleranzbereiches (blaue Kurven) laut DIN18041. Die Nachhallzeit des alten Gebäudes wiederum liegt deutlich außerhalb des geforderten Bereiches. Im tieffrequenten Bereich übersteigt sie die Sollnachhallzeit nach Norm sogar um über 300%. Eine akustische Sanierung dieser Klassenräume wird somit dringend empfohlen, da die Belastung auf Grund einer derart hohen Nachhallzeit sowohl psychische, als auch physische Auswirkungen haben kann. Diese werden im nachfolgenden Kapitel angeführt.

2.2 Psychische sowie physische Auswirkungen

Bei der Eruiierung der psychischen und physischen Auswirkungen durch Lärm stellt sich die Frage, wann ein Geräusch als Lärm empfunden und somit zur Belastung wird. Kalivoda nannte situative (Ort, Zeitpunkt, Situation,...), akustische (physikalische Charakteristik) sowie persönliche Faktoren (emotionale und kognitive Bezüge zum Geräusch) als Basis für die Entscheidung ob ein Geräusch als Lärm empfunden wird oder nicht.⁴

³ [MUELLER]

⁴ Siehe [KALIVODA, S.103]

Einen Überblick über alle Lärmwirkungen verschaffen die WHO Richtlinien aus dem Jahr 1999.⁵ Folgende Auswirkungen werden unter anderem angeführt:

- Lärmbedingte Hörschäden
- Interferenz mit der Sprachkommunikation
- Beeinträchtigung der Ruhephase und des Schlafes
- Kardiovaskuläre und physiologische Effekte
- Psychische Gesundheitseffekte
- Leistungsbeeinträchtigungen

Wie diese Aufzählung bereits zeigt, kann Lärm sowohl physische als auch psychische Schäden bewirken. Erstere sind im üblichen Pegelbereich von Unterricht nicht zu erwarten, psychische Auswirkungen können jedoch sehr wohl gegeben sein. Sind LehrerInnen oder SchülerInnen dauerhaft einem zu hohen Lärmpegel ausgesetzt, so ist der Lärm ein Belastungsfaktor bzw. ein sogenannter Stressor, welcher unter anderem zu folgenden psychonervalen und vegetativen Reaktionen führen kann:⁶

- Aufmerksamkeits- sowie Konzentrationsverlust
- Beeinträchtigung der Handlungsregulation
- Herzfrequenz/- sowie Blutdruckanstieg
- Schlafstörungen
- Erhöhung des Muskeltonus (Schreibdruck)

Wie die Studie „LehrerIn 2000“⁷ ergibt, werden Lärmpegel unterschiedlich wahrgenommen. Bei gleichem Lärmpegel empfinden Frauen eine höhere Lärmbelastung als Männer und ältere LehrerInnen eine höhere als jüngere. Auch wenn das subjektive Empfinden unterschiedlich ist, so können doch objektive Auswirkungen festgestellt werden. Tiesler untersuchte den Zusammenhang zwischen Arbeitsgeräuschpegel und Herzfrequenz und stellte fest, dass diese nahezu idente Verläufe aufweisen. Bei einer Steigerung des Schallpegels um 5-8 dB steigt die Herzfrequenz um 5-10 Schläge pro Minute, was zu einer schnelleren Ermüdung führt.⁸

Neben den bereits genannten psychischen und physischen Auswirkungen gibt es noch einen weiteren Bereich der durch Lärm mittlerer Intensität, wie dies bei Klassenräumen der Fall ist, beeinträchtigt wird. Die auditive Wahrnehmung ist mit dem Kurzzeitgedächtnis verbunden, was zu einer unmittelbaren Beeinflussung der kognitiven Leistung führt. Vor allem Vor- und GrundschülerInnen sind davon betroffen und haben dadurch Probleme das Gesagte richtig zu verstehen, zu verarbeiten und zu behalten.⁹

⁵ [WHO]

⁶ Vgl. [AIÖ1]

⁷ Vgl. [SORA]

⁸ Siehe [TIESLER1, S.341-342]

⁹ Siehe [SCHICK2],

Abbildung 3 zeigt, dass sich die Klassenraumgeräusche unter dem Einfluss der Nachhallzeit auf die kognitiven Fähigkeiten der SchülerInnen auswirken. Je größer die Anstrengungen für das akustische Verständnis sind, desto weniger Aufmerksamkeit können die SchülerInnen dem Inhalt entgegenbringen:

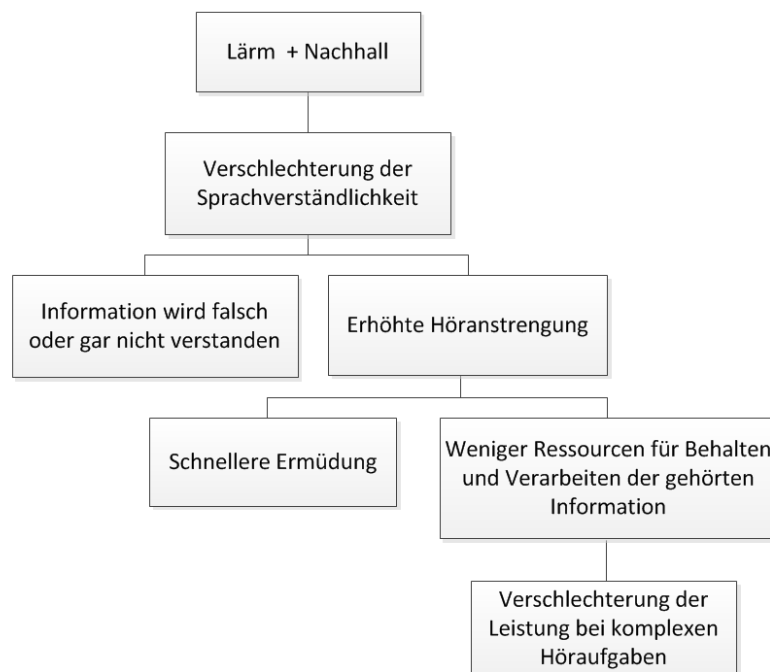


Abbildung 3: Wirkungen von Lärm und Nachhall auf das Hörverstehen vgl. [SCHICK2, S.19]

Leistungsbeeinträchtigung durch Hintergrundschall mittlerer Intensität wird auch als „Irrelevant Sound Effekt“ bezeichnet. Dieser Effekt wurde in einem Experiment untersucht das zeigte, dass sprachlicher Hintergrundschall, ebenso wie Hintergrundmusik, die Fähigkeit visuell dargebotene Informationen zu behalten, erschwert.

Auch Leistner bestätigt in seiner Studie, bei der Kinder Pseudowörter unterscheiden mussten, dass ungünstige Nachhallzeiten das Behalten sprachlicher Informationen im Arbeitsgedächtnis beeinträchtigen.¹⁰ Ergänzend sei noch zu erwähnen, dass Sprache als Hintergrundgeräusch im Vergleich zu einem Klassenraumgeräusch ohne Sprachanteil eine höhere Leistungsbeeinträchtigung zur Folge hat.¹¹

¹⁰ Vgl. [LEISTNER]

¹¹ Vgl. [KLATTE2]

Abbildung 4 zeigt eine Zusammenfassung all jener Parameter, die durch Minimierung der Nachhallzeit verbessert werden können:

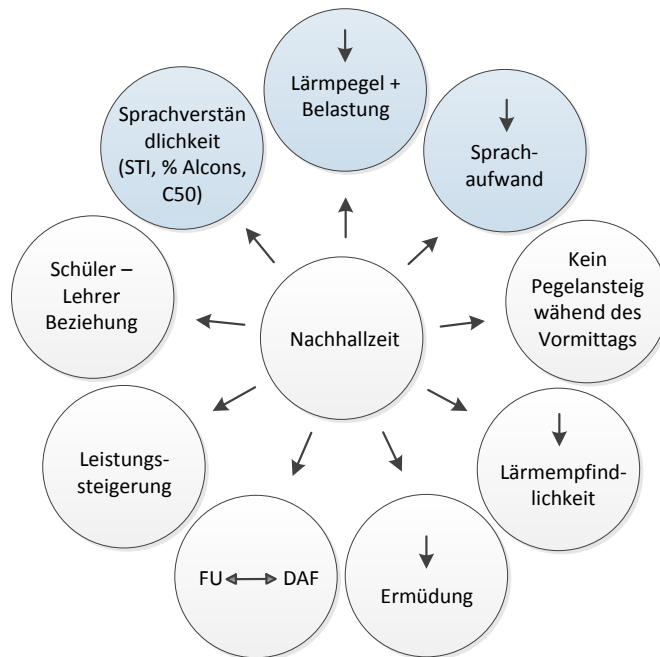


Abbildung 4: Verbesserungspotentiale durch Reduzierung der Nachhallzeit [MUELLER S.123]

- Reduzierung des Lärmpegels und somit Reduzierung der Lärmbelastung der LehrerInnen und SchülerInnen.
- Reduzierung des Sprachaufwands der LehrerInnen
- Die Zunahme des Arbeits- und Grundgeräuschpegels für nacheinander folgende Unterrichtsstunden über den Vormittag ist deutlich reduziert oder bleibt aus.
- Reduzierung der Lärmempfindlichkeit (Reduzierung der Herzfrequenzreaktion auf den Stressor „Lärm“)
- Ausgleich zwischen Ermüdungs- und Aktivierungsphasen
- Reduzierung oder Ausbleiben der Zunahme des Arbeits- und Grundgeräuschpegels bei Wechsel von Frontalunterricht (FU) zu differenzierten Arbeitsformen (DAF)
- Verbesserung der Leistungsfähigkeit der SchülerInnen
- Verbesserung der LehrerInnen-SchülerInnen-Beziehung
- Zunahme der Sprachverständlichkeit. Akustische Parameter der Sprachverständlichkeit (STI, % Alcons, C50) verbessern sich durch Abnahme der Nachhallzeit.

Nähere Informationen zu den akustischen Parametern und deren Sollwerten nach Norm finden sie in Anhang B, Seite 75/76.

Diese, in Abbildung 4 dargestellten, Verbesserungen können durch die nachfolgend präsentierten Absorbermodule und akustischen Sanierungsvarianten realisiert werden.

3 Akustische Sanierungsvarianten

Zu Beginn des Kapitels wird auf die Ermittlung der akustisch nutzbaren Fläche eines Raumes und auf die akustisch sinnvolle Anbringung von Absorbern eingegangen, da dies eine wesentliche Grundlage für die akustische Sanierung ist. Anschließend werden in Kapitel 3.1 vorgefertigte Absorbermodule und die Eigenherstellung individueller Absorbermodule vorgestellt. Auf Basis dieser Absorbermodule werden in Kapitel 3.2 unterschiedliche Sanierungsvarianten gezeigt und deren Kosten gegenübergestellt. Der Einsatz der Absorbermodule und die Sanierungsvarianten werden an Hand eines Raumes präsentiert, der im Zuge der Diplomarbeit am Keplergymnasium Graz vermessen wurde. Durch diesen praktischen Bezug wird die komplexe Thematik einer akustischen Sanierung verständlich aufbereitet und anschaulich dargestellt, sodass man gestützt auf den vorgestellten Modulen eine individuelle Sanierungsvariante erarbeiten kann.

3.1 Anbringung von Absorbern

Bei der Anbringung von Absorbern ist allem Voran zu ermitteln, welcher Anteil der gesamten Raumfläche grundsätzlich akustisch nutzbar ist. Nachdem die Auskleidung des Bodens mit einem absorbierenden Teppich aus Gründen des Brandschutzes bzw. der Reinigung meist nicht möglich ist, können primär nur die Seitenwände und die Deckenfläche berücksichtigt werden. Bei den Wandflächen sind die Flächen von Fenstern, Türen, der Tafel und sonstigem Inventar, das nicht mit Absorbern verkleidet werden kann, abzuziehen. Die Auskleidung der Deckenfläche wird meist durch kein Inventar eingeschränkt, die abgehängte Beleuchtung ist allerdings bei der Montage der Absorber zu berücksichtigen. Zusätzlich ist zu beachten, dass für die Verbesserung der Sprachverständlichkeit ein akustischer Spiegel von ca. 20% der Deckenfläche benötigt wird, das bedeutet, dass ca. 80% mit Absorbern ausgekleidet werden können.

In Tabelle 1 wird für Raum 005 exemplarisch ein Überblick über die Einzel- und Gesamtflächen sowie die davon akustisch nutzbare Fläche gegeben:

Tabelle 1: Akustisch nutzbare Fläche von Raum 005

	Gesamtfläche	Akustisch nutzbare Fläche	Akustisch nutzbare Fläche
Bodenfläche	65 m ²	0 m ²	0%
Deckenfläche	65 m ²	ca. 52 m ²	80%
Wandfläche	135 m ²	ca. 97 m ²	72%
Gesamtfläche	265 m ²	149 m ²	56 %

Bei der Wandfläche wurde neben der Tafel- sowie der Türfläche, die gesamte Fensterwand abgezogen, da die Flächen zwischen den Fenstern von Vorhängen bedeckt waren. Ist dies nicht der Fall, kann auch dieser Zwischenraum für die akustische Sanierung genutzt werden.



Abbildung 5: Raum 005 (Keplergymnasium Graz)

Nachdem die prinzipiell zur Verfügung stehende, akustische Fläche festgelegt wurde, ist die akustisch sinnvolle Anbringung näher zu betrachten, da die Absorber nur in gewissen Bereichen die Akustik des Raumes verbessern. Die Norm DIN18041¹² zeigt folgende günstige sowie ungünstige Varianten auf:

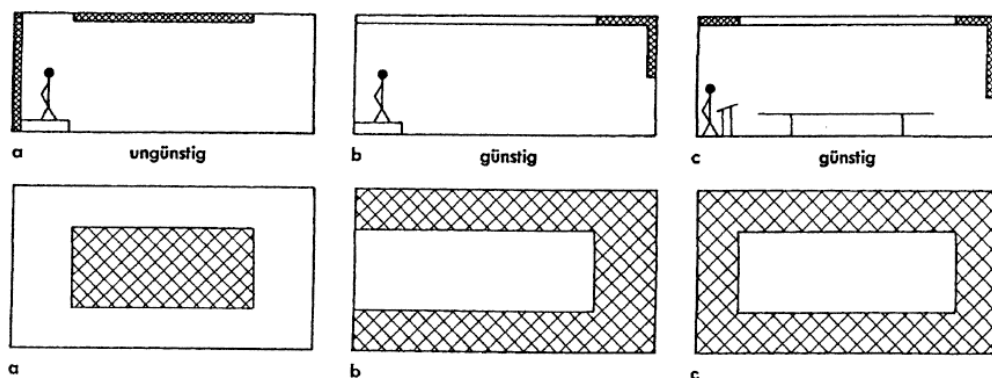


Abbildung 6: Anbringung von Absorbern [DIN18041]

Variante a ist nicht zu empfehlen, da die für die Verständlichkeit wichtigen Reflexionen über die Decke absorbiert werden. Wesentlich bessere Ergebnisse sind mit Variante b und c zu erzielen, da durch diese Anordnung die erforderlichen Deckenreflexionen gegeben sind, gleichzeitig aber unerwünschte Reflexionen von der Rückseite absorbiert werden.

Zusätzlich zur akustisch sinnvollen Positionierung an den Wandflächen ist auch der Abstand des Absorbers zur Wand zu beachten, da dieser einen Einfluss auf das Absorptionsverhalten hat. Nähere Informationen hierzu befinden sich in Anhang A, Seite 72.

¹² [DIN18041]

3.2 Absorbermodule

Neben vorgefertigten Absorbermodulen wird in diesem Kapitel auch die Eigenherstellung individueller Absorbermodule behandelt. Ziel ist es, einen elementaren Überblick über grundlegende Modelle zu geben. Die theoretischen Grundlagen zu Absorbieren und zum Absorptionsgrad finden sie ergänzend in Anhang A, Seite 69-71.

3.2.1 Vorgefertigte Absorbermodule

Handelsübliche Absorbermodule sind sowohl für die akustische Sanierung der Wandflächen, als auch für die akustische Sanierung der Deckenfläche erhältlich. Da es eine Vielzahl an unterschiedlichen Absorbermodulen gibt, werden an dieser Stelle nur grundlegende Wand- und Deckenabsorber vorgestellt. Eine detaillierte Auflistung aller für die Sanierung von Klassenräumen ausgewählten Module befindet sich in Anhang A, Seite 73.

Vorgefertigte Wandmodule

Für Wandabsorber werden bevorzugt Akustikplatten aus Melaminharzschaum (Handelsname: Basotect) eingesetzt, da sie sich durch hohe Absorptionswerte und eine leichte Verarbeitung auszeichnen. Der Preis ist abhängig von der Dicke des Materials, dessen Farbe und der Verarbeitung des Plattenabschlusses. Viele Hersteller bieten Akustikplatten mit abgeschragten Kanten, auch Fase genannt, an. Dieser Abschluss ist optisch ansprechender als eine gerade Kante, jedoch auch mit Mehrkosten von ca. 10 - 15% verbunden.

Die Farbe des Melaminharzschaumes ist standardmäßig grau oder weiß, es gibt vereinzelt aber auch die Möglichkeit gegen Aufpreis eine farbliche Kaschierung anzubringen ohne die Absorbereigenschaften zu beeinträchtigen. Dies bietet die Option, neben dem akustischen Aspekt auch die optische Raumgestaltung miteinzubinden.

Bezüglich Größe gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Plattenabmessungen, wobei kleinere Platten im Durchschnitt etwas teurer sind als größere. Zusätzlicher Vorteil der größeren Platten ist die schnellere Montage.

Die Montage der Akustikplatten erfolgt mit Klebstoff, sodass die Anbringung auch von Laien erfolgen kann. Es wird jedoch empfohlen, im Vorfeld durch einen Fachexperten überprüfen zu lassen, ob die Wandoberfläche dafür geeignet ist. Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen exemplarisch Akustikplatten aus Melaminharzschaum.

Da diese dass Schaumstoffabsorber leicht beschädigt werden können, wird empfohlen sie nur oberhalb von 2m Raumhöhe anzubringen. Robustere Absorber die unterhalb von 2m angebracht werden können werden in Abschnitt 3.2.2 vorgestellt.



Abbildung 7: Akustikplatte aus Melaminharzschaum ohne Fase, weiß [SONATECH]

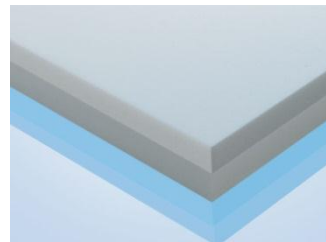


Abbildung 8: Akustikplatte aus Melaminharzschaum mit Fase, grau [SONATECH]

In Tabelle 2 sind exemplarisch die Absorptionswerte sowie der Quadratmeterpreis von ausgewählten Melaminharzschäumplatten angeführt.

Tabelle 2: Exemplarische Absorptionswerte für Melaminharzschäumplatten

Dicke [mm]	Absorptionswerte						Preis/m ² [€]
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	
30	0,15	0,25	0,66	0,92	0,92	0,92	ca. 27,00
50	0,30	0,58	1,00	1,00	1,00	1,00	ca. 34,00
70	0,62	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	ca. 64,00

Durch die größere Dicke wird vor allem der tieffrequente Bereich von 125 Hz bis 250 Hz deutlich besser bedämpft, aber auch im Frequenzbereich oberhalb von 250 Hz ist die absorbierende Wirkung größer.

Je nach Absorptionsgrad des Materials kann es sein, dass durch den Einsatz eines Absorbers mit größer Dicke in Summe deutlich weniger Absorbermaterial benötigt wird, sodass diese Variante trotz eines höheren Quadratmeter Preises günstiger ist. Abbildung 9 zeigt die zur Erreichung der Sollnachhallzeit erforderliche Absorberfläche, wenn für den gesamten Raum 005 die in Tabelle 2 angeführten Absorber eingesetzt werden.

In diesem Fall würden bei Verwendung des 70mm dicken Absorbers um 2/3 weniger Absorbermaterial benötigt werden als bei Verwendung des 50mm dicken Absorbers. Die Sanierung mit den 70mm Platten wäre somit um fast 50% günstiger als jene mit den 50mm Platten.

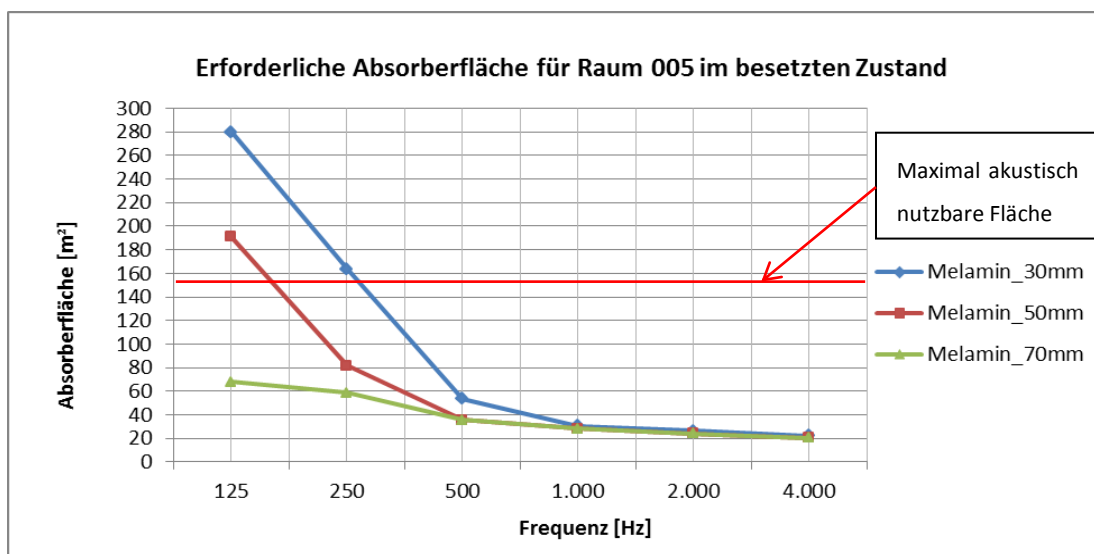


Abbildung 9: Erforderliche Absorberfläche bei Verwendung der vorgefertigten Melaminharzschäumplatten

Betrachtet man die in Abbildung 9 dargestellte Absorberfläche, so stellt sich auf Grund der unterschiedlichen Fläche je Frequenz die Frage, wie viel Quadratmeter Absorbermaterial nun tatsächlich eingesetzt werden sollen. Da im Zuge der akustischen Sanierung vor allem die Bedämpfung des mittleren bis tieffrequenten Frequenzbereiches wichtig ist, beziehen sich die Angaben der in den Raum einzubringenden Absorberfläche in diesem Leitfaden auf die Flächenangabe bei 125 Hz. Für den hochfrequenten Bereich wäre theoretisch weniger Absorberfläche erforderlich um die Sollnachhallzeit nach Norm zu erreichen, allerdings ist es wichtig sicherzustellen, dass der tieffrequente Bereich ausreichend bedämpft wird. Bringt man im Raum die geforderte Absorberfläche von 125 Hz ein, so werden die tiefen Frequenzen optimal bedämpft und die hohen Frequenzen etwas stärker als erforderlich, sie befinden sich aber dennoch innerhalb des Toleranzbereiches (Definition siehe Anhang B, Seite 75).

Wie in Tabelle 1 angeführt, steht bei Raum 005 eine akustisch nutzbare Fläche von 149 m² zur Verfügung. Würde die Sanierung ausschließlich mit diesen Melaminharzschäumplatten realisiert werden, so müssten die Absorberplatten mindesten eine Dicke von 70mm aufweisen, da ansonsten mehr Absorberfläche benötigt wird, als an akustisch nutzbarer Fläche zur Verfügung steht.

Da Schaumstoffabsorber leicht beschädigt werden können, wird empfohlen sie nur oberhalb von 2m Raumhöhe anzubringen. Robustere Absorber die unterhalb von 2m angebracht werden können werden in Abschnitt 3.2.2 vorgestellt.

Vorgefertigte Deckenmodule

Die zuvor genannten Wandmodule können in gleicher Weise auch als Deckenabsorber genutzt werden. Durch Abhängen der Akustikplatten erzielt man jedoch einen noch besseren Absorptionsgrad, sodass diese sogenannten Deckensegel gegenüber direkt angebrachten Absorbern zu bevorzugen sind. Deckenabsorber sind ebenfalls meist aus Melaminharzschäum gefertigt und bieten durch die Abhängung zusätzlich zum verbesserten Absorptionsgrad den Vorteil einer optischen Verkleinerung des Raumes.

Deckensegel sind in unterschiedlicher Ausführung hinsichtlich Größe, Konstruktion und Farbe erhältlich. Eine kostengünstigste Variante ist, wie in Abbildung 11 dargestellt, eine Schaumstoffplatte ohne Alurahmen die mittels Draht- oder auch Nylonseil von der Decke abgehängt wird. Die rückwertige Aluschiene dient zur zusätzlichen Stabilisierung. Alternativ ist es auch möglich, die Seile an den Hacken aus Abbildung 12 zu befestigen. Diese können direkt in den Absorber eingedreht werden. Abbildung 10 zeigt ein farblich kaschiertes Deckensegel mit Alurahmen. Diese Variante ist optisch ansprechender, die zusätzliche Farbe und der hochwertige Alurahmen erhöhen allerdings den Preis des Moduls.



Abbildung 10: Farbige Deckensegel aus Melaminharzschäum mit Alurahmen
[SCHAUMSTOFFLAGER]



Abbildung 11: Deckensegel aus Melaminharzschäum mit Aluschiene zur Stabilisierung [SCHAUMSTOFFLAGER]



Abbildung 12: Hacken für das Deckensegel ohne Alurahmen

Das Deckensegel aus Abbildung 10 muss von einer facheinschlägigen Firma montiert werden, da auf Grund des Alurahmens bei Fehlmontage eine hohe Verletzungsgefahr für die im Raum anwesenden Personen besteht. Das Deckensegel aus Abbildung 11 besteht bis auf die Stabilisierungsschiene zur Gänze aus Schaumstoff. Da somit keine Verletzungsgefahr besteht, wäre eine Montage durch den Laien möglich. Es wird aber auch für dieses Absorbermodul dringend empfohlen, die Eignung der Bausubstanz im Vorfeld überprüfen zu lassen um gewährleisten zu können, dass eine Montage an der Decke möglich ist.

Tabelle 3 führt exemplarisch die Absorptionswerte sowie den Quadratmeterpreis ausgewählter Deckensegel an. Man sieht, dass durch vergrößern des Abstandes zur Wand der Absorptionsgrad im tieffrequenten Bereich erhöht werden kann.

Tabelle 3: Exemplarische Absorptionswerte für Deckensegel

Dicke [mm]	Absorber (Abstand zur Decke)	Absorptionswerte						Preis/m ² [€]
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	
20	Deckensegel (100mm)	0,18	0,47	0,96	1,00	1,00	1,00	ca. 45,00
20	Deckensegel (300mm)	0,38	0,50	0,80	1,00	1,00	1,00	ca. 45,00
40	Deckensegel (300mm)	0,31	0,79	1,00	1,00	1,00	1,00	ca. 80,00

Abbildung 13 zeigt die erforderliche Absorberfläche, wenn für den gesamten Raum 005 ausschließlich die in Tabelle 3 angeführten Deckenabsorber eingesetzt werden. „D“ bezeichnet die Dicke des Absorbers, „A“ bezeichnet den Abstand zur Wand.

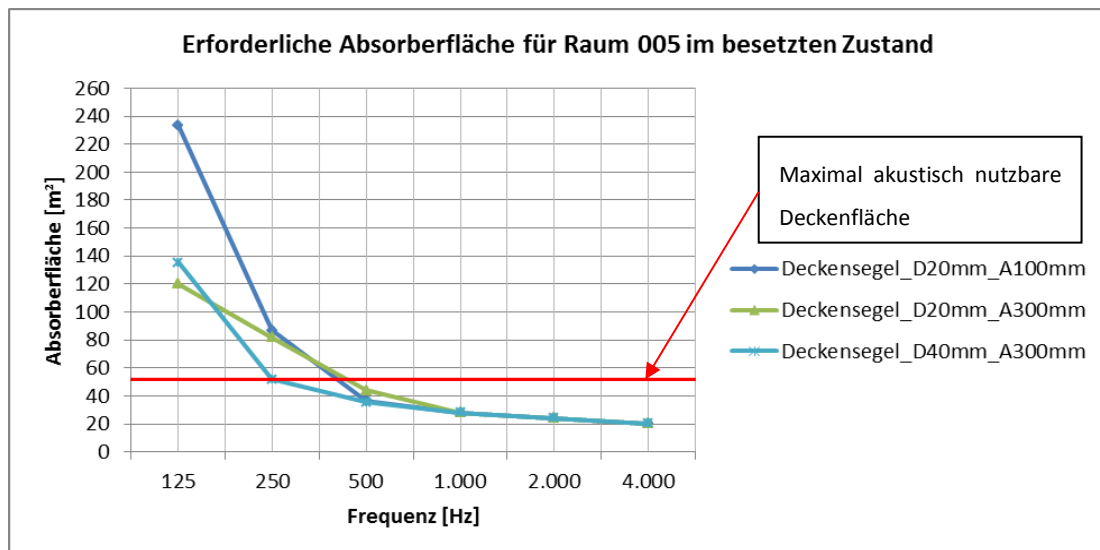


Abbildung 13: Erforderliche Absorberfläche bei Verwendung der vorgefertigten Deckensegel aus Tabelle 3

Werden für die akustische Sanierung ausschließlich die in Tabelle 11 angeführten Deckensegel verwendet, so ist die Erreichung von T_{soll} nicht möglich, da mehr Absorberfläche benötigt wird als an akustisch nutzbarer Deckenfläche zur Verfügung steht. Um die Sollnachhallzeit nach Norm erreichen zu können müssen zusätzliche Absorbermodule eingesetzt werden.

3.2.2 Eigenherstellung individueller Absorbermodule

Fertige Absorbermodule bieten den Vorteil, dass sie direkt vom Fachhandel bezogen werden können, haben aber den Nachteil von relativ hohen Materialkosten. In diesem Abschnitt wird daher die kostengünstige Herstellung individueller Wand- sowie Deckenmodule als Alternative präsentiert. Auch bei diesen Absorbern sollte bereits im Vorfeld ein Fachexperte zur Überprüfung der Bausubstanz herangezogen werden um sicherstellen zu können, dass die Montage der Absorbermodule möglich ist.

Wandmodule

Neben dem klassischen Melaminharzschaum können auch Materialien wie Steinwolle oder Weichfaserplatten aus Holz verwendet werden. (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15 auf der nachfolgenden Seite). Diese Materialien weisen ähnliche bzw. zum Teil sogar bessere Absorptionswerte wie Melaminharzschaum auf, sind aber durchschnittlich um mehr als 50% günstiger. Da diese Materialien optisch nicht so ansprechend und vor allem nicht so stabil sind wie Akustikplatten aus Basotect, sollten sie in einen Holzrahmen eingebettet werden. Im Vergleich zum Schaumstoff ohne Verkleidung bietet dieses Modul die Möglichkeit durch den Abstand zur Wand einen zusätzlichen Luftpolster und somit einen besseren Absorptionsgrad zu realisieren. Außerdem können durch die Verkleidung des Holzrahmens mit Stoff der Raum farblich gestaltet werden.

Die Verkleidung mit einem Holzrahmen bietet zusätzlich den Vorteil, dass diese Module im Vergleich zu den Schaumstoffplatten leichter gereinigt werden können.



Abbildung 15: Weichfaserplatten aus Holz



Abbildung 14: Dämmmatte aus Steinwolle

Weichfaserplatten aus Holz sind, wie auch Melaminharzschaumplatten, gesundheitlich nicht bedenklich. Bei der Verwendung von Steinwolle ist es wichtig, dass ausschließlich Produkte mit dem RAL-Gütezeichen verwendet werden, da laut Gefahrstoffverordnung nur diese als unbedenklich gelten. Tabelle 4 zeigt exemplarisch die Absorptionswerte und den Quadratmeterpreis für ausgewählte Weichfaserplatten aus Holz sowie Dämmmatten aus Steinwolle.

Tabelle 4: Exemplarische Absorptionswerte für Weichfaserplatten aus Holz sowie Steinwolle

Dicke [mm]	Material	Abstand zur Wand/Decke [mm]	Absorptionswerte						Preis/m ² [€]
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	
80	Holzfaser	0	0,18	0,43	0,86	0,96	0,88	0,88	ca. 9,00
40	Holzfaser	0	0,10	0,21	0,42	0,81	0,78	0,78	ca. 4,50
30	Steinwolle	0	0,04	0,29	0,74	0,92	0,97	1,00	ca. 7,00
30	Steinwolle	270	0,72	0,78	0,89	0,93	0,97	1,00	ca. 7,00
60	Steinwolle	0	0,24	0,83	1,00	1,00	0,99	1,00	ca. 14,00

Abbildung 16 zeigt die für Raum 005 nötige Absorberfläche bei Verwendung der Absorber aus Tabelle 4. „D“ bezeichnet die Dicke des Absorbers, „A“ bezeichnet den Abstand zur Wand.

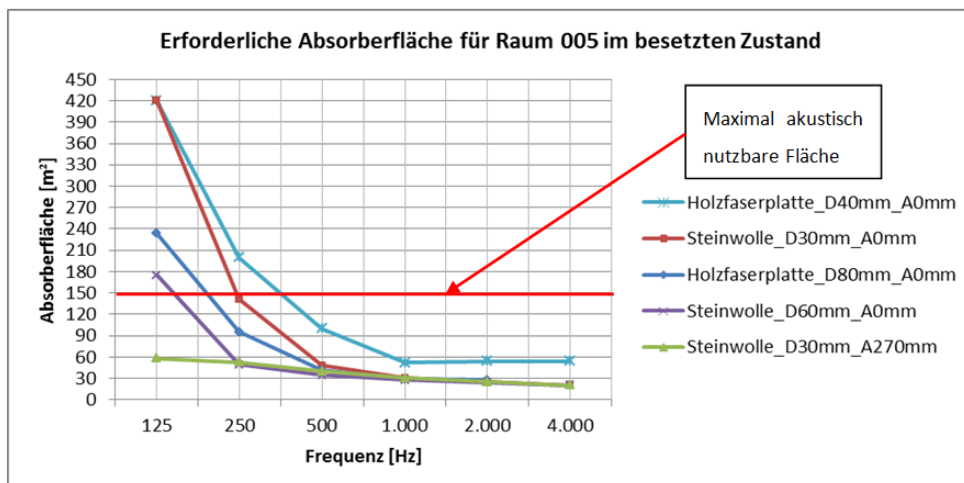


Abbildung 16: Erforderliche Absorberfläche bei Verwendung von Holzfaser bzw. Steinwolle

Auch aus dieser Grafik geht deutlich hervor, wie groß der Vorteil eines zusätzlichen Luftpolsters ist. Bei der Verwendung von Steinwolle der Dicke 30mm ohne Abstand würde man für die ausreichende Bedämpfung des tieffrequenten Bereichs über 400 Quadratmeter Absorberfläche und somit mehr als an akustisch nutzbarer Fläche überhaupt zur Verfügung steht benötigen. Durch einen Luftpolster von 270 mm reduziert sich die nötige Absorberfläche auf nur 58 Quadratmeter. Für die Holzfaserplatte sowie die Steinwolle mit 60mm Dicke liegen die Absorptionswerte für 0mm Abstand vor. Deren Absorptionswert ist daher trotz der größeren Dicke kleiner als jener der 30mm dicken Steinwolle. Mit Abstand zur Wand kann aber auch für diese Materialien der Absorptionsgrad entsprechend verbessert werden. Da die Steinwolle bei vergleichbarer Dicke einen höheren Absorptionsgrad aufweist als die Weichfaserplatte aus Holz, wird für die nachfolgende Konstruktion des individuell gestaltbaren Wandmoduls Steinwolle verwendet.

Konstruktion des Wandmoduls

Zur Stabilisierung der Steinwolle- bzw. Weichfaserplatten aus Holz benötigt man einen Holzrahmen in den die Materialien eingebettet werden. Für diesen Holzrahmen können handelsübliche Glattkantbretter (Vollholz) aus dem Baumarkt verwendet werden.

Eine preislich teurere aber auch hochwertigere Alternative ist Brettschichtholz. Brettschichtholz besteht aus mehreren verleimten Holzschichten und zeichnet vor allem dadurch aus, dass im Gegensatz zu Vollholz keine Rissbildung entsteht und es zudem formstabiler ist.

Die Größe des Moduls kann je nach Bedarf komplett variabel gestaltet werden. Da die Herstellung mit einem gewissen Zeitaufwand verbunden ist, sollte die Größe so gewählt werden, dass möglichst wenige Module angefertigt werden müssen. Da die Montage mit zunehmender Größe allerdings aufwendiger wird, wird eine maximale Größe von 1m x 2m empfohlen.

Im ersten Schritt sind, wie in Abbildung 17 dargestellt, die Bretter des Rahmens mit Winkeln zu verbinden. Alternativ können die Bretter auch auf Gehrung geschnitten und verleimt werden. Hierzu ist es nötig die Bretter nach Verleimung mit einem Spanngurt zu fixieren und mindestens 24 Stunden trocknen zu lassen.

Für die Stabilisierung des Rahmens sind in der Mitte des Rahmens zwei zusätzliche Bretter anzubringen (siehe Abbildung 18 bzw. Abbildung 19). Zwischen den Brettern muss ein Spalt von 2-3 Millimeter sein, damit anschließend das für die Fixierung des Dämmmaterials nötige Drahtnetz durchgehend gespannt werden kann. Diese Mittelbalken können ebenfalls mit Winkeln oder alternativ auch durch Leimen montiert werden.



Abbildung 17: Verbindung der Rahmenelemente mit einem Winkel



Abbildung 18: Modulrahmen mit Stabilisierungsbalken

Nachdem der Modulrahmen fertiggestellt ist, kann der Akustikstoff aufgezogen werden. Anstatt dem Akustikstoff kann auch „normaler“, kostengünstigerer Stoff eingesetzt werden, er sollte aber möglichst schalldurchlässig sein, damit die absorbierende Wirkung des Moduls nicht verringert wird.

Wie beim Tapezieren von Polstermöbel ist der Stoff von der Front ausgehend nach hinten zu ziehen und auf der Innenseite mit einem Druckluft Klammergerät zu fixieren.

Für die stabile Einbettung der Dämmmatten sowie die Einschaltung eines Luftpolsters ist anschließend, wie in Abbildung 19 dargestellt, ein Drahtnetz zu spannen.

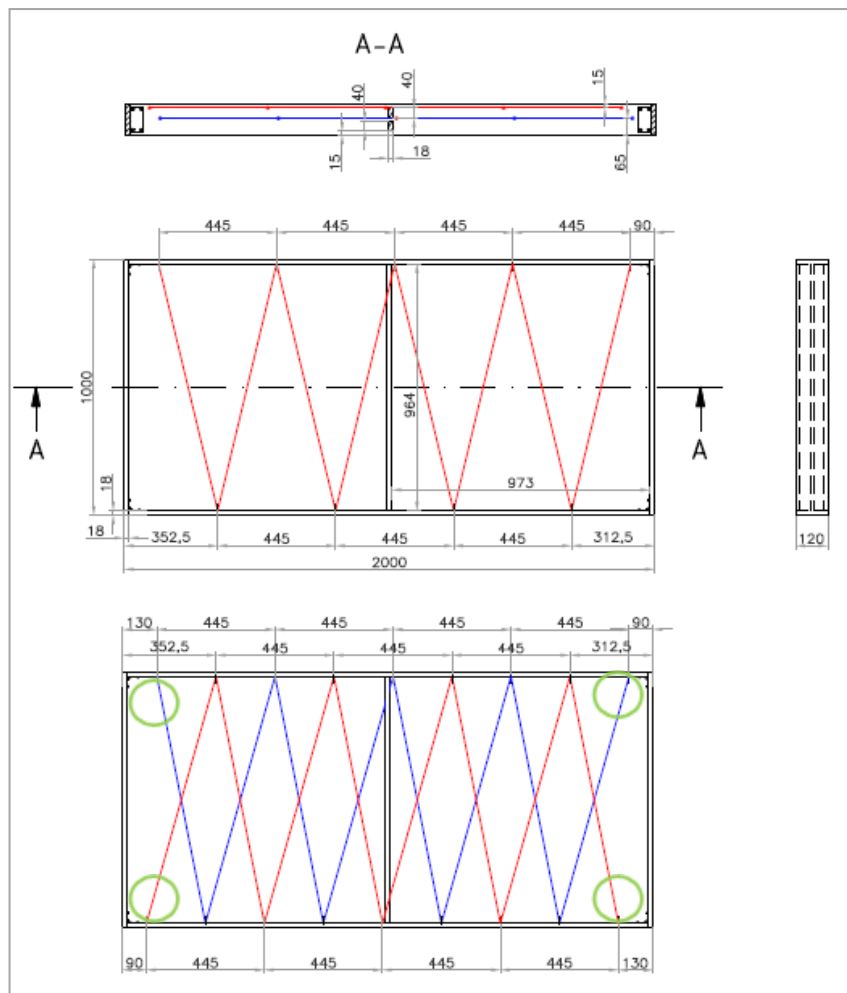


Abbildung 19: Anbringung der Mittelbalken sowie des Drahtnetzes

Um das stabilisierende Drahtnetz spannen zu können, müssen zuerst Ösen in den Holzrahmen eingedreht werden, durch die anschließend der Draht eingezogen wird. Wichtig ist, dass die Ösen ca. 15mm von der Rahmenfrontseite entfernt sind, da das Dämmmaterial auf Grund seiner weichen Struktur über den Draht hinausgeht und ansonsten auf den Akustikstoff drückt wodurch das Modul unförmig wird.

Da das Dämmmaterial von beiden Seiten stabilisiert werden muss, ist es notwendig, zwei Ebenen mit dem Drahtseil einzuziehen. Das mittlere Bild aus Abbildung 19 zeigt die Anbringung der ersten Ebene (rot), das untere Bild zeigt die zweite Ebene (blau) die zur ersten Ebene gegengleich und leicht versetzt angebracht wird.

Nachdem die erste Drahtebene eigezogen ist, wird das Dämmmaterial eingelegt. Anschließend kann die zweite Drahtebene montiert werden. Die Fixierung des Drahtes erfolgt in beiden Ebenen durch Verdrillen bei den äußeren Ösen (siehe grüne Markierung Abbildung 19 sowie Abbildung 21). Durch das Eindrehen der Ösen in das Holz kann das Netz zuletzt auch noch gespannt werden.

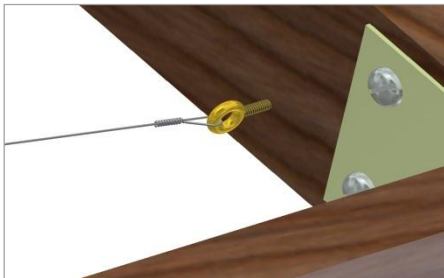


Abbildung 21: Fixierung des Drahtseils

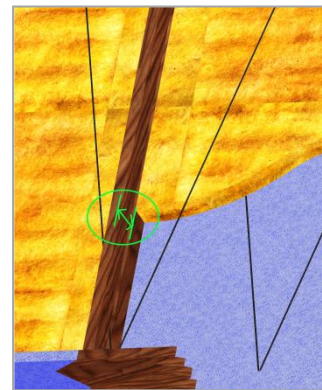


Abbildung 20: Detail des Wandabsorbers

Die Größe des in Abbildung 20 grün markierten Luftpolsters auf der Rückseite des Wandmoduls ergibt sich in Abhängigkeit von der Dimensionierung des Holzbrettes sowie des Dämmmaterials. Im letzten Schritt wird die Rückseite ebenfalls mit Stoff verschlossen, damit die Fasern des Dämmmaterials nicht in den Raum gelangen können. Die Fixierung des Stoffes erfolgt wie auch beim Stoff auf der Frontseite durch Festklammern.

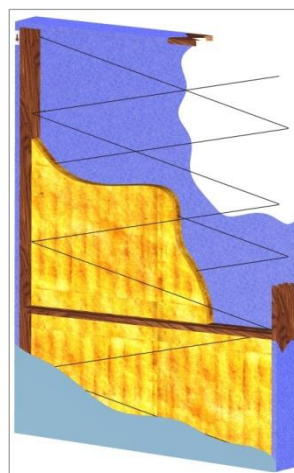


Abbildung 22: Fertiges Wandmodul

Abbildung 22 zeigt die einzelnen Ebenen des fertigen Wandmoduls, wobei die in hellblau angerissene Fläche die Rückseite des Absorbers darstellt.

Die Montage des Wandmoduls erfolgt, wie in den Abbildung 23 und Abbildung 24 dargestellt, über ein direkt an den Rahmen montiertes Lochblech. Je nachdem ob die Montage sichtbar sein soll oder nicht, kann man zwischen Variante A und Variante B wählen. Soll das Modul bündig an der Wand aufliegen, muss im Holzrahmen der für das Lochblech nötige Platz ausgeschnitten werden.

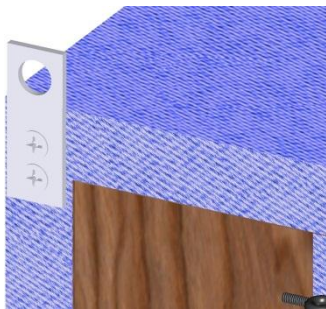


Abbildung 24: Wandmontage des Absorbermoduls – Variante A

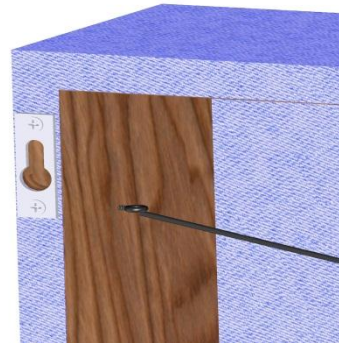


Abbildung 23: Wandmontage des Absorbermoduls – Variante B

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die für den Modulbau benötigten Materialien sowie deren Kosten.

Tabelle 5: Benötigte Materialien sowie Materialkosten für ein Wandmodul (1m x 2m)

Material	Preis [€]	Materialkosten je Modul [€]
Glattkantbrett (120mm x 18mm x 3000mm)	ca. 1,00/m	7,00
Alternativ: Brettschichtholz	ca. 2,00/m	14,00
Winkel	ca. 1,00/Stk.	8,00
Ösen	ca. 0,06/Stk.	1,00
Drahtseil (Netz)	ca. 0,10/m	2,00
Stoff	ca. 4,00/m ²	20,00
Alternativ: Akustikstoff	ca. 9,00/m ²	45,00
Steinwolle (60mm)	ca. 14,00/m ²	28,00
Gesamtkosten für die günstigste Variante des Modul:		63,00
Quadratmeterpreis des Moduls:		31,50

Diese selbstgefertigten Wandmodule sind in etwa gleich teuer wie die vorgefertigten Melaminharzschaumplatten, sie weisen aber den entscheidenden Vorteil auf, dass der tieffrequente Bereich durch den zusätzlichen Luftpolster besser bedämpft werden kann, wodurch weniger Absorberfläche erforderlich ist, sodass in Summe weniger Kosten entstehen. Sie sind auch eine mögliche Alternative, wenn eine Anbringung der Absorber mittels Klebstoff nicht gewünscht oder nicht möglich ist.

Das absorbierende Material ist bei diesen Modulen besser geschützt wie beispielsweise eine Melaminharzschaumplatte, die ohne Verkleidung direkt an der Wand angebracht wird. Um etwaige Schäden am Absorber zu vermeiden, wird dennoch empfohlen, auch diese Wandmodule nur oberhalb von 2m Raumhöhe anzubringen. Im Wandbereich unterhalb von 2m Raumhöhe sollten stattdessen Plattenabsorber eingesetzt werden. Diese Absorber bieten vor allem für den tieffrequenten Bereich eine zusätzliche Dämpfung und sind somit eine gute Ergänzung zu den zuvor genannten Wandabsorbern. Am einfachsten sind diese Plattenabsorber zu realisieren, indem an der Wand zwei Leisten montiert werden, auf die wiederum Spannplatten angebracht werden. Abbildung 25 zeigt exemplarisch die Montage eines Plattenabsorbers.



Abbildung 25: Plattenabsorber

Plattenabsorber besitzen ihre max. Schallabsorption bei der Resonanzfrequenz, welche wiederum von der Masse der Platte sowie dem Abstand zur Wand abhängig ist. Das bedeutet, dass es eine bestimmte Frequenz gibt, bei der die Platte maximal zu schwingen beginnt und somit bei dieser Frequenz die meiste Schallenergie absorbiert. Abbildung 26 zeigt die Resonanzfrequenz in Abhängigkeit vom Wandabstand und der flächenbezogenen Masse der Platte.

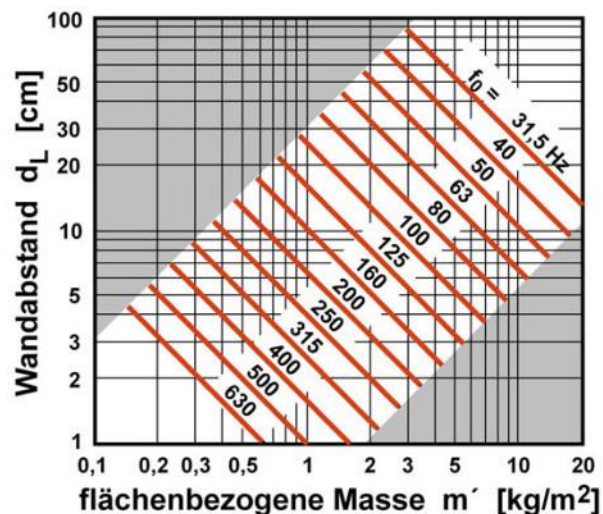


Abbildung 26: Resonanzfrequenz des Plattenabsorbers in Abhängigkeit von Plattenmasse und Wandabstand [BAUNETZ]

Soll der Plattenabsorber beispielsweise 125 Hz bedämpfen, und es ist gewünscht, dass der Wandabstand maximal 5cm beträgt, so muss die Platte 3kg/m^2 aufweisen.

In Tabelle 6 sind die Absorptionswerte ausgewählter Plattenabsorber angeführt. Die Angabe „gefüllt“ bezieht sich auf den Hohlraum hinter den Plattenabsorber der mit Mineralwolle ausgefüllt ist ohne aber die Platte zu berühren. Dies ist wesentlich, da die Platte nicht in ihrer Schwingung gedämpft werden darf, da ansonsten die absorbierende Wirkung verringert wird.

Tabelle 6: Absorptionswerte ausgewählter Plattenabsorber

Dicke [mm]	Material	Abstand zur Wand/Decke [mm]	Absorptionswerte						Preis/m ² [€]
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	
4	Spanplatte	50	0,30	0,20	0,15	0,10	0,08	0,10	ca. 6,00
4	Spanplatte *gefüllt Steinwolle	50* mit 30mm	0,20	0,40	0,20	0,10	0,08	0,10	ca. 11,00
8	Spanplatte	20	0,46	0,24	0,04	0,01	0,01	0,01	ca. 4,00

Wie Tabelle 6 zu entnehmen ist, kann durch die Füllung des Hohlraums mit Mineralwolle die Absorption für einzelne Frequenzbereiche zusätzlich angehoben werden. Diese Form des Plattenabsorbers kann realisiert werden, indem beim zuvor präsentierten Wandabsorber anstatt der Stoffabdeckung eine Spanplatte auf der Sichtseite aufgesetzt wird.

Überzieht man die Spanplatten mit einer PVC Folie, so kann dieser Absorber zusätzlich auch noch für die Raumgestaltung genutzt werden, der Preis für die Platte ist dadurch allerdings beinahe doppelt so hoch. Alternativ können die Platten mit Farbe bemalt werden. Diese ist günstiger als PVC Folien und bietet zusätzlichen Spielraum für die Raumgestaltung. Die Fläche kann auch genutzt werden, um beispielsweise Zeichnungen oder Plakate aufzuhängen.

Ist es gewünscht den Bereich unterhalb von 2m Raumhöhe als Pinnwand zu nutzen, so gibt es die Möglichkeit, die in Abbildung 14 dargestellten Weichfaserplatten aus Holz wie auch die selbst hergestellten Wandmodule direkt an die Wand zu montieren (siehe Abbildung 23 bzw. Abbildung 24). Da diese nicht so robust sind wie die Plattenabsorber aus Abbildung 25, wird empfohlen, diese nur oberhalb von 1m Raumhöhe einzusetzen.

Um die Platte zusätzlich vor Abnutzung zu schützen, können diese mit einem Akustikstoff überzogen und somit auch die Raumgestaltung miteinbezogen werden. Bei der Montage des Stoffes ist es wichtig, dass dieser nicht durch vollflächige Verklebung angebracht wird, da ansonsten die Poren des Absorbers verschlossen und seine akustische Wirkung somit stark minimiert wird (siehe Wirkung von Absorbern in Anhang A, Seite 69). Um die akustische Wirkung zu erhalten, sollte der Stoff stattdessen mit einem Klettverschluss befestigt werden, wodurch dieser bei Verschmutzung auch abgenommen und gereinigt oder ausgetauscht werden kann. Abbildung 27 sowie Abbildung 28 auf der nachfolgenden Seite zeigen die Weichfaserplatte als Pinnwand sowie die Montage des Stoffes auf der Vorderseite.

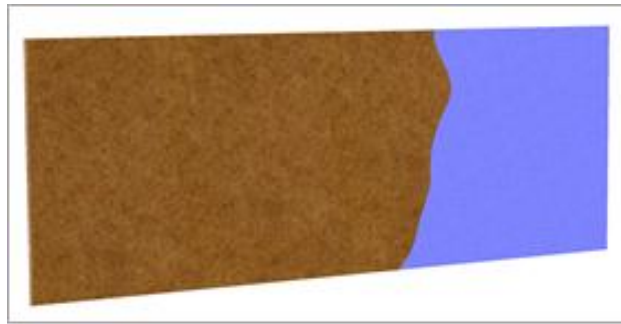


Abbildung 27: Pinnwand aus Weichfaserplatte

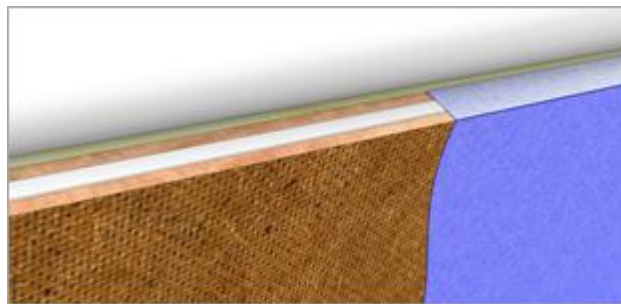


Abbildung 28: Befestigung des Stoffes mit Klettverschluss

Deckenmodul

Die Herstellung von Deckenmodulen erfolgt größtenteils analog zu jener des Wandmoduls aus Abschnitt 3.2.1. Auf Grund der Abhängung muss allerdings kein zusätzlicher Luftpolster integriert werden und das Dämmmaterial ist nicht zwischen den Drahtseilen einzubringen sondern auf dem Drahtnetz aufzulegen. Der Stabilisierungsbalken aus Abbildung 29 kann daher, im Gegensatz zum Wandmodul, durchgängig sein.

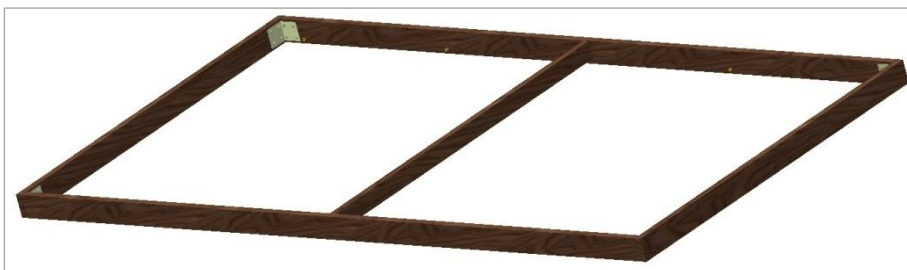


Abbildung 29: Rahmen für das Deckensegel

Das Stabilisierungsnetz wird, wie in Abbildung 30 dargestellt, eingezogen. Da das Dämmmaterial auf dem Drahtnetz aufgelegt wird, können die Drahtseile ohne Abstand zueinander an der Frontseite montiert werden. Ein Abstand von der Frontseite von ca. 15mm ist auch bei diesem Modul notwendig, da das Dämmmaterial auf Grund der relativ instabilen Struktur und des Eigengewichtes auf das Drahtnetz drückt und dadurch etwas vorsteht.

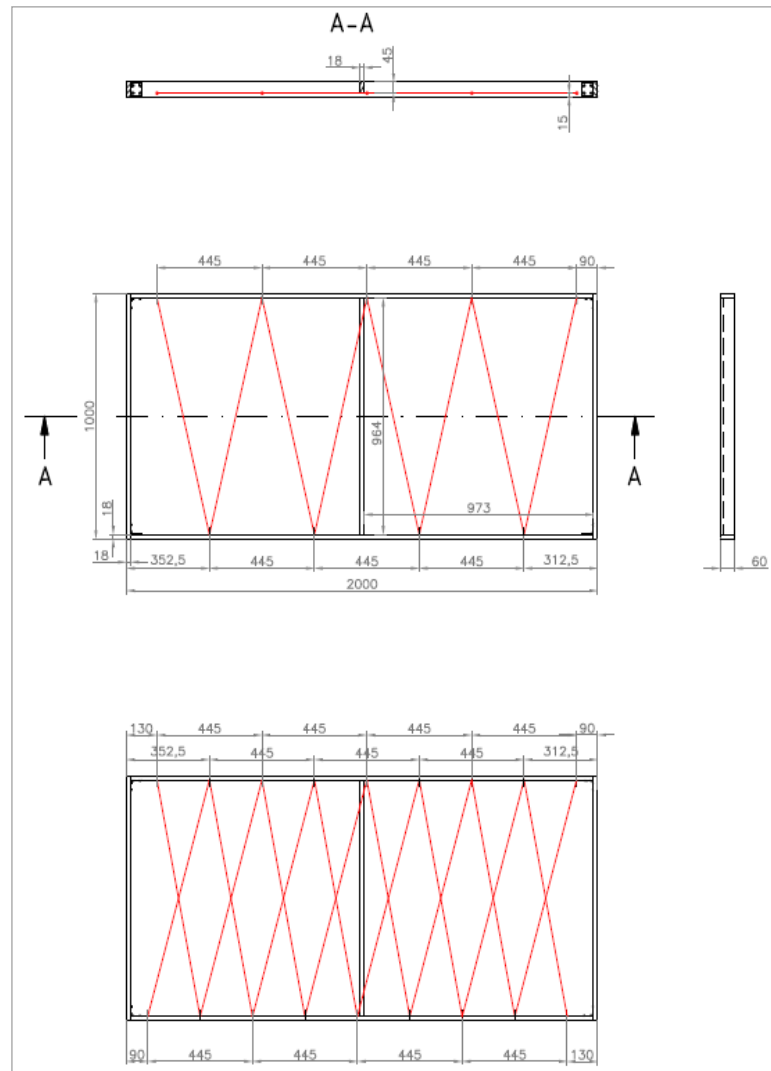


Abbildung 30: Anbringung des Stabilisierungsnetzes beim Deckenmodul

Die Fixierung des Stoffes an der Oberseite sollte für das Deckenmodul mittels Klettverschluss und nicht durch Festklammern erfolgen, da der Stoff dadurch für die Reinigung abgenommen werden kann.

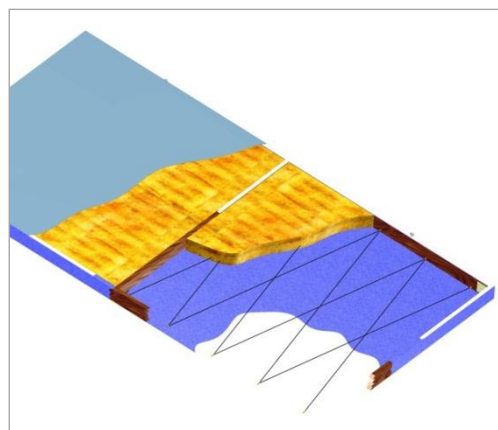


Abbildung 31: Fertiges Deckenmodul

Für die Montage des Deckenmoduls wird die Verwendung von geeigneten Schraubhaken empfohlen, die direkt an der Oberseite des Holzrahmens bzw. an der Decke angebracht werden. Die Aufhängung erfolgt mittels eines Drahtseils. Es sei an dieser Stelle ausdrücklich betont, dass die Montage der Deckensegel nicht durch Laien sondern ausschließlich durch Fachpersonal erfolgen darf! Sollte die Montage unsachgemäß erfolgen und sich ein Deckensegel lösen, besteht größte Verletzungsgefahr für die im Raum anwesenden Personen! Tabelle 7 gibt einen Überblick über die für den Bau der Deckensegel benötigten Materialien sowie deren Kosten.

Tabelle 7: Benötigte Materialien sowie Materialkosten für das Deckensegel

Material	Preis [€]	Kosten je Modul [€]
Glattkandtbrett (120mm x 18mm x 3000mm)	ca. 1,00/m	7,00
Alternativ: Brettschichtholz	ca. 2,00/m	14,00
Winkel	ca. 1,00/Stk.	8,00
Ösen	ca. 0,06/Stk.	1,00
Drahtseil (Netz)	ca. 0,10/m	2,00
Stoff	ca. 4,00/m ²	20,00
Alternativ: Akustikstoff	ca. 9,00/m ²	45,00
Steinwolle (60mm)	ca. 14,00/m ²	28,00
Schrauben (Aufhängung)	ca. 0,30/Stk.	2,00
Pressklemmen (Fixierung Drahtseilschlinge)	ca. 0,20/Stk.	2,00
Drahtseil (Aufhängung)	ca. 1,15/Stk.	5,00
Gesamtkosten für ein Modul:		69,00
Quadratmeterpreis des Moduls:		34,50

Dieses Deckenmodul ist im Vergleich zu den vorgefertigten Deckensegeln vergleichbarer Dicke um mehr als 50% günstiger.

3.3 Sanierungsvarianten

Je nachdem, ob die Kosten und/oder der zeitliche Aufwand limitiert werden müssen, können mit den in Kapitel 3.1 vorgestellten Absorbermodulen unterschiedliche Sanierungsvarianten realisiert werden. Der Fokus dieses Kapitels wird zum einen auf die günstigste und zum anderen auf die komfortabelste Sanierungsvariante mit minimaler Eigenleistung gelegt. Die kostengünstigste Variante kann mit einer Kombination aus vorgefertigten sowie selbst hergestellten Absorbern realisiert werden. Die komfortabelste, Lösung ist der Innenausbau mit Gipskartonplatten, der durch den Fachbetrieb erfolgt.

3.3.1 Sanierung mit Absorbermodulen

Betrachtet man in Abbildung 33 die Nachhallzeit von Raum 005 im nicht sanierten Zustand (rot), so sieht man, dass die Nachhallzeit im gesamten Frequenzbereich stark erhöht ist, vor allem aber im tieffrequenten Bereich. Die Sanierungsvariante mit dem geringstem Montageaufwand und den zugleich niedrigsten Kosten ist der Einsatz der Melaminharzschaumplatten aus Abbildung 7 und Abbildung 8.

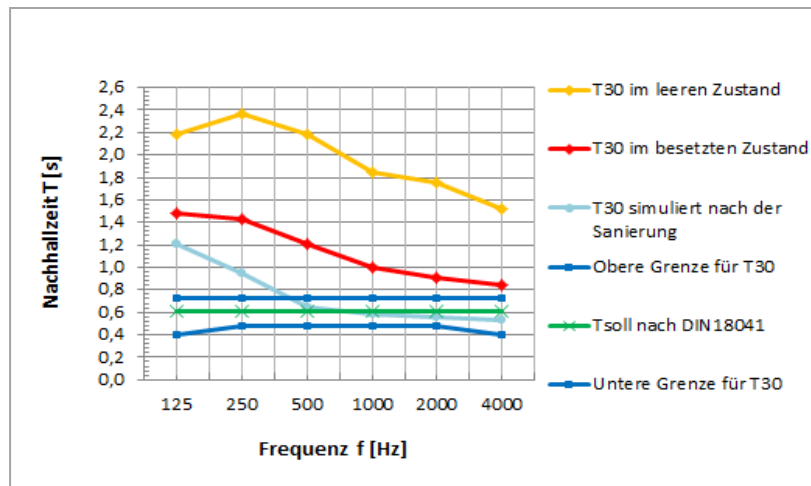


Abbildung 33: Sanierung mit Melaminharzschaumplatten (30m^2)

Diese Variante ist sowohl kostengünstig als auch mit geringem Montageaufwand zu realisieren. Die Sollnachhallzeit nach Norm kann im tieffrequenten Bereich allerdings nicht zur Gänze erreicht werden, da die Melaminharzschaumplatten diesen Bereich nicht ausreichend bedämpfen.

Um auch den tieffrequenten Bereich besser zu bedämpfen, bieten sich die selbst erstellten und daher ebenfalls kostengünstigen Plattenabsorber aus Abbildung 25 an. Werden sowohl an der rückwärtigen Wand als auch an der Wand gegenüber der Fensterfront durchgehend Plattenabsorber im Bereich unterhalb von 2m montiert (in Summe 26m^2), kann die Nachhallzeit, wie Abbildung 34 zeigt, weiter reduziert werden.

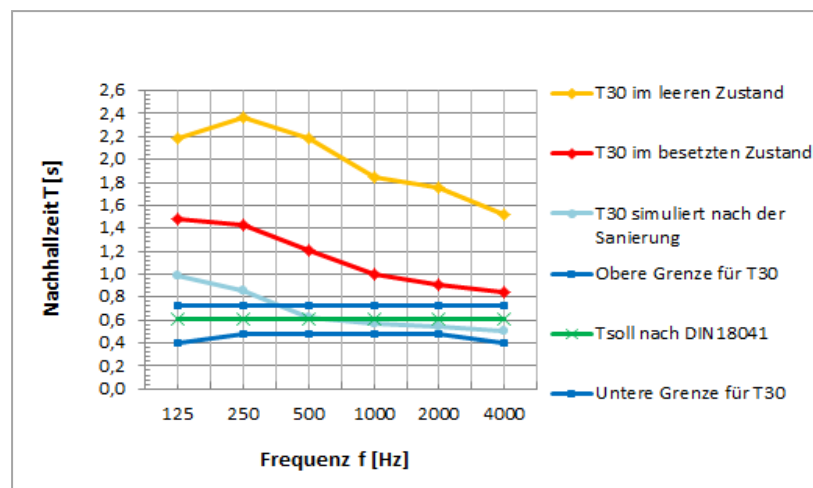


Abbildung 34: Sanierung mit Melaminharzschaumplatten (30m^2) und Plattenabsorbern (26m^2)

Die Nachhallzeit liegt zwar noch immer nicht zur Gänze im Toleranzband, es konnte aber bereits eine deutliche Verbesserung erzielt werden. Soll der tieffrequente Bereich noch besser bedämpft werden, können anstatt der vorgefertigten Wandabsorber die selbst hergestellten Wandmodule eingesetzt werden. Diese weisen auf Grund der verwendeten Materialien und dem zusätzlichen Luftpolster einen noch besseren Absorptionswert im tieffrequenten Bereich auf, wie Abbildung 35 zeigt.

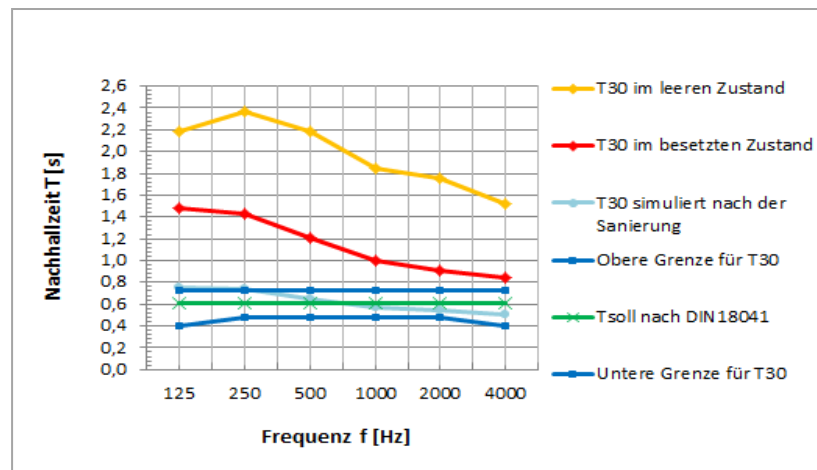


Abbildung 35: Sanierung mit selbst hergestellten Wandmodulen (30m^2) und Plattenabsorbern (26m^2)

Mit dieser Kombination liegt die Nachhallzeit im gesamten Frequenzbereich innerhalb des Toleranzbandes, allerdings ist die Herstellung der Wandmodule zeitaufwändig. Ist es nicht gewünscht Module selbst zu erstellen, so können bei der Sanierungsvariante aus Abbildung 34 zusätzlich die Deckensegel aus Abbildung 11 eingesetzt werden. Diese verbessern durch die Abhängung die Absorption im tieffrequenten Bereich und können selbständig montiert werden, da sie keinen Rahmen aufweisen.

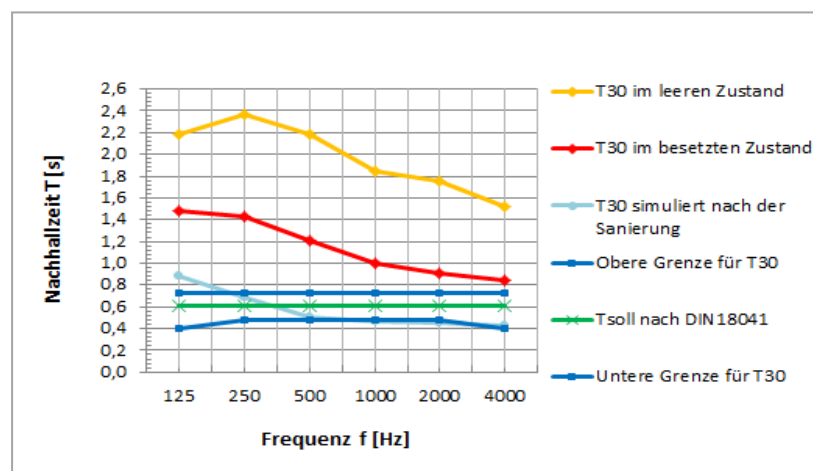


Abbildung 36: Sanierung mit Melaminharzschaumplatten (30m^2), Plattenabsorbern (26m^2) und vorgefertigten Deckensegeln ohne Rahmen (16m^2)

Würden anstatt der vorgefertigten Deckensegel die selbst hergestellten Deckenmodule verwendet werden, würde die Nachhallzeit auch unterhalb von 250Hz innerhalb des Toleranzbandes liegen (siehe Abbildung 37 auf der nachfolgenden Seite).

Diese Variante wäre auf Grund der erforderlichen Montage durch einen Fachbetrieb teurer als jene mit den vorgefertigten Segeln.

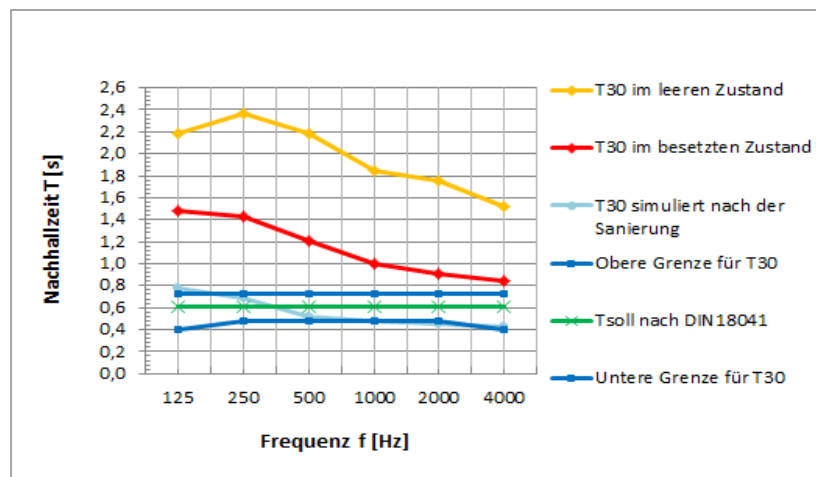


Abbildung 37: Sanierung mit Melaminharzschaumplatten (30m²), Plattenabsorbern (26m²) und selbst hergestellten Deckenmodulen (16 m²)

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Kosten der Sanierungsvarianten aus Kapitel 3.3.1.

Tabelle 8: Richtwerte für die Sanierungskosten der Sanierung mit Absorbermodulen

Sanierungsvariante	Absorber/Materialien	m ²	Preis [€]
Variante 1 (Abbildung 33)	Wandabsorber (Basotect,50mm, weiß)	30	834,00
	Klebstoff	-	40,00
			874,00
Variante 2 (Abbildung 34)	Wandabsorber (Basotect,50mm, weiß)	30	834,00
	Plattenabsorber (Spanplatte, 4mm)	26	156,00
	Klebstoff	-	40,00
			1030,00
Variante 3 (Abbildung 35)	Selbst hergest. Wandmodule (Steinwolle)	30	1140,00
	Plattenabsorber (Spanplatte, 4mm)	26	156,00
			1296,00
Variante 4 (Abbildung 36)	Wandabsorber (Basotect,50mm, weiß)	30	834,00
	Plattenabsorber (Spanplatte, 4mm)	26	156,00
	Vorgefertigte Deckensegel (ohne Rahmen)	16	1192,00
			2182,00
Variante 5 (Abbildung 37)	Wandabsorber (Basotect,50mm, weiß)	30	834,00
	Plattenabsorber (Spanplatte, 4mm)	26	156,00
	Selbst hergest. Deckenmodule	16	592,00
	Montagekosten (90.- €/Modul)	-	720,00
			2302,00

3.3.2 Innenausbau mit Gipskartonlochplatten

Basierend auf der akustischen Sanierung des akademischen Gymnasiums in der Bürgergasse in Graz wird in diesem Abschnitt die Alternative einer Komplettanierung durch den Fachbetrieb präsentiert. Wie in Abbildung 38 und Abbildung 39 zu sehen ist, wurde die akustische Sanierung des akademischen Gymnasiums mit Gipskartonlochplatten, die wiederum mit Glaswolle hinterlegt sind, durchgeführt.



Abbildung 38: Akustische Sanierung mit Gipskartonlochplatten, Rückseite des Klassenzimmers



Abbildung 39: Akustische Sanierung mit Gipskartonlochplatten, Frontseite des Klassenzimmers

Diese professionelle Sanierungsvariante ist optisch sehr ansprechend, dafür aber mit höheren Kosten verbunden, als die selbständige Sanierung mittels Absorbermodulen. Wie Tabelle 9 auf der nachfolgenden Seite zeigt, ist es ratsam mehrere Angebote einzuholen, da die Firmen abhängig von der aktuellen Auftragslage u.U. großzügige Rabatte gewähren.

Tabelle 9: Angebote für die akustische Sanierung mit Gipskartonplatten für 260 m²

Kostenstelle	Firma 1	Firma 2	Fa. Trotek
Decke	4.550,00	4.524,00	3.070,00
Fries	405,00	170,00	68,00
Regie (Transport)	63,00	63,00	20,00
Montagekosten (240h)	2.700,00	2640,00	2.400,00
Malerkosten (Firma3)	260,00	260,00	260,00
Gesamt Brutto	7.978,00	7.656,00	5.802,00
Teurer als Trotek	+38%	+32%	Bezugspreis
Euro/m² - gesamt	122,00	117,00	90,00

Es sei darauf hingewiesen, dass dies nur ein grober Richtwert ist, da die Angebote stark von der vorhandenen Raumsituation (Zugänglichkeit, Bausubstanz etc.) abhängen!

Tabelle 10 stellt zusammenfassend die Sanierungskosten der in diesem Kapitel präsentierten Sanierungsvarianten gegenüber.

Tabelle 10: Gegenüberstellung der Sanierungskosten für Raum005

Sanierungsvarianten	Gesamtkosten [€]
Variante 1: Wandabsorber (Basotect, 50mm, weiß, 30m ²)	ca. 874,00
Variante 2: Wandabsorber (Basotect, 50mm, weiß, 30m ²) Selbst hergestellte Plattenabsorber (Spanplatte, 8mm, 26m ²)	ca. 1030,00.-
Variante 3: Selbst hergestellte Wandmodule (Steinwolle, 30m ²) Selbst hergestellte Plattenabsorber (Spanplatte, 8mm, 26m ²)	ca. 1296,00.-
Variante 4: Wandabsorber (Basotect, 50mm, weiß, 30m ²) Selbst hergestellte Plattenabsorber (Spanplatte, 8mm, 26m ²) Vorgefertigte Deckensegel (Basotect, ohne Rahmen, 16m ²)	ca. 2182,00.-
Variante 5: Wandabsorber (Basotect, 50mm, weiß, 30m ²) Selbst hergestellte Plattenabsorber (Spanplatte, 8mm, 26m ²) Selbst hergestellte Deckenmodule (Steinwolle, 16m ²)	ca. 2302,00.-
Variante 6: Komplettsanierung der Deckenfläche (52 m ²) mit Gipskartonlochplatten durch den Fachbetrieb	ca. 4680,00.-

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bereits mit geringem Aufwand eine starke Verbesserung der Nachhallzeit erreicht werden kann. Legt man Wert darauf, dass die Nachhallzeit im gesamten Frequenzbereich innerhalb des Toleranzbandes ist, so müssen höhere Sanierungskosten in Kauf genommen werden. Die Komplettsanierung durch den Fachbetrieb ist die komfortabelste, aber auch teuerste Lösung.

Die in diesem Kapitel erstellten Sanierungsvarianten wurden mit dem, im Rahmen dieser Diplomarbeit, entwickelten Simulationstools erarbeitet. Dieses, in Kapitel 4.3 präsentierte Simulationstool, ermöglicht dem Laien eine automatisierte Verarbeitung der Messdaten sowie die Simulation des sanierten Zustandes.

Nachdem in diesem Kapitel nun Absorbermodule sowie mögliche Sanierungsvarianten erarbeitet wurde, werden im nachfolgenden Kapitel nun die einzelnen Schritte zur Durchführung der akustischen Sanierung behandelt.

4 Durchführung der akustischen Sanierung

Die in Kapitel 3 präsentierten Sanierungsvarianten bieten einen Überblick über die Möglichkeiten einer akustischen Sanierung und deren finanziellen Aufwand. Mit diesem Grundwissen kann nun eine individuelle, akustische Sanierung erarbeitet werden. Zu Beginn des Kapitels werden alle erforderlichen Schritte kompakt zusammengefasst, sodass man einen Überblick über den Ablauf erhält. Der detaillierte Ablauf wird in den nachfolgenden Kapiteln 4.1 bis 4.4 geschildert.

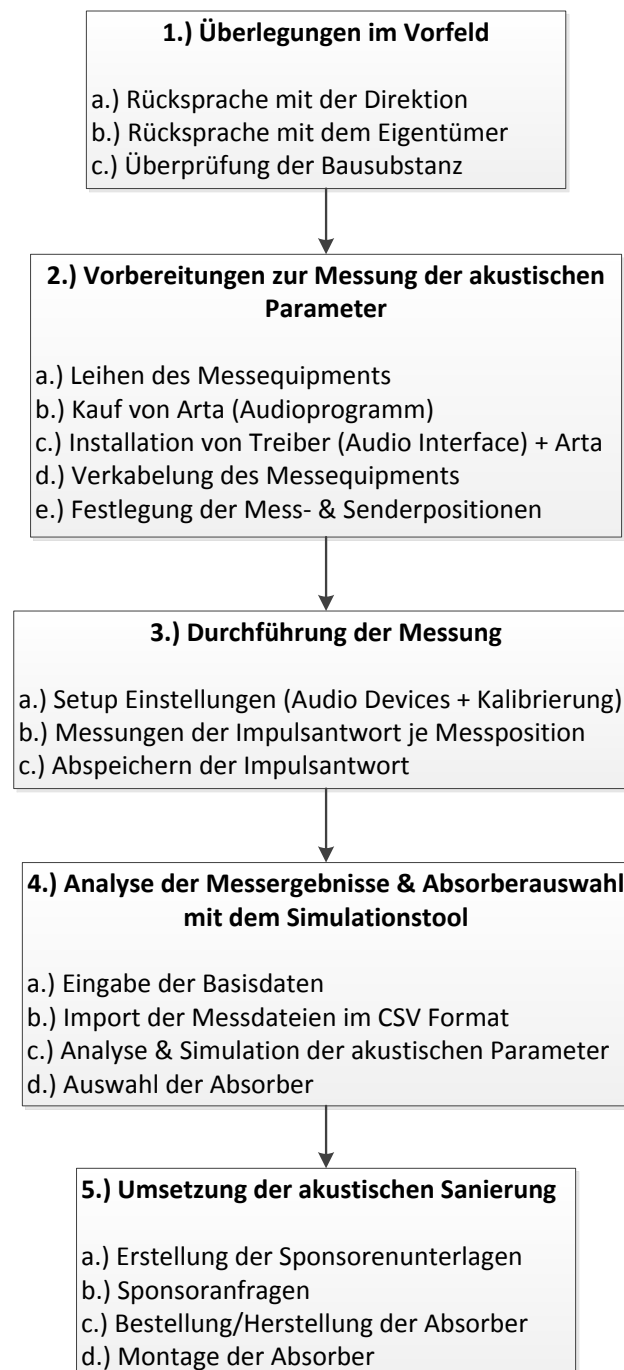


Abbildung 40: Durchführung der akustischen Sanierung

1.) Überlegungen im Vorfeld

Im Vorfeld sollte sowohl mit der Direktion, als auch mit dem Eigentümer Rücksprache gehalten werden, um die Genehmigung für die Sanierung einzuholen. Ebenso sollte im Vorfeld bereits ein Experte zur Überprüfung der Bausubstanz herangezogen werden. Die Bausubstanz muss für die Kapitel 3 beschriebenen Montagearten geeignet sein, ansonsten sind die in diesem Leitfaden präsentierten Sanierungsvarianten nicht möglich.

2.) Vorbereitungen zur Messung der akustischen Parameter (Kapitel 4.1)

Nachdem die Genehmigung eingeholt und die Bausubstanz überprüft wurde, können nun die Vorbereitungen zur Messung der Raumimpulsantwort erfolgen. Diese Messung ist erforderlich, da aus der Raumimpulsantwort die akustischen Parameter ermittelt werden und somit überprüft werden kann, wie weit diese von den Sollwerten nach Norm abweichen. Auf Grund der Messwerte kann schließlich ermittelt werden, wie viel Absorberfläche für die Sanierung erforderlich ist.

Für die Messung der akustischen Parameter ist das in Kapitel 4.1.1 beschriebene Messequipment auszuleihen. Ebenso ist der Kauf von ARTA (Audioprogramm) erforderlich. Sobald das Equipment verfügbar ist, können die Softwareinstallationen erfolgen. Es muss sowohl der Treiber für das Audio Interface, als auch ARTA installiert werden. Nach erfolgter Installation kann die Verkabelung des Equipments erfolgen (siehe Kapitel 4.1.2). Letzter Schritt ist die Festlegung der Positionen des Lautsprechers sowie des Mikrofons. Hierzu folgen sie bitte der Anleitung in Kapitel 4.1.3. Theoretische Grundlagen zur Messung der Raumimpulsantwort befinden sich in Anhang B, Seite 76.

3.) Durchführung der Messung (Kapitel 4.2)

Nachdem sämtliche Vorbereitungen bzgl. des Messequipments getroffen wurden, kann die Messung durchgeführt werden. Zuerst sind in ARTA die Setup Einstellungen hinsichtlich Audio Devices und Kalibrierung zu treffen (siehe Kapitel 4.2.1 und Kapitel 4.2.2). Anschließend kann die Messung der Impulsantwort erfolgen (siehe Kapitel 4.2.3). Diese ist für jede Messposition zu ermitteln und jeweils direkt nach der Messung abzuspeichern. Es wird empfohlen, auch gleich die akustischen Parameter abzurufen und im Format „CSV“ abzuspeichern damit diese für die nachfolgende Analyse zur Verfügung zu stehen.

4.) Analyse d. Messergebnisse & Absorberauswahl mit d. Simulationstool (Kapitel 4.3)

Für die Analyse der Messergebnisse, bzw. der Auswahl der Absorber steht ein Simulationstool zur Verfügung. Nach Eingabe der Basisdaten (siehe Kapitel 4.3.1) können die aus ARTA exportierten Excel Dateien für die weitere Verarbeitung automatisch in das Tool geladen werden. Nach dem Laden der akustischen Parameter werden diese automatisch in Form von Tabellen und Diagrammen angezeigt, sodass man sich einen Überblick über die akustischen Gegebenheiten des Raumes verschaffen kann. Ebenso steht in diesem Simulationstool ein Auswahlmenü mit den in Kapitel 3 präsentierten Absorbern zur Verfügung, aus dem man eine individuelle Sanierungsvariante erstellen kann. Auch die Simulierung der akustischen Parameter nach der Sanierung ist möglich.

5.) Umsetzung der akustischen Sanierung (Kapitel 4.4)

Nachdem mit Hilfe des Simulationstool die Messdaten analysiert und die Sanierung simuliert wurde, gilt es nun die für die Sanierung nötigen finanziellen Mittel zu lukrieren. Um die Auswahl, wie auch die Ansprache von potentiellen Sponsoren zu erleichtern, wurden Präsentationsunterlagen für Sponsoren erstellt (siehe Anhang C, Seite 79). Nachdem die Unterlagen auf die individuell erstellte Sanierungsvariante angepasst wurde, können diese an die Sponsoren übermittelt werden. Sobald das nötige Budget vorhanden ist, kann die Bestellung bzw. die Herstellung der Absorber erfolgen. Zuletzt müssen die Absorber montiert werden. Hierbei sei nochmal ausdrücklich darauf hingewiesen dass, wie in Kapitel 3 angeführt, bestimmte Absorbertypen zwingend durch einen Fachbetrieb montiert werden müssen, da ansonsten höchste Verletzungsgefahr besteht!

4.1 Vorbereitungen zur Messung

In diesem Kapitel sind das erforderliche Messequipment, die Verkabelung sowie die Festlegung der Mess- und Senderpositionen angeführt. Um das Budget für die Sanierung nicht zusätzlich zu belasten wird empfohlen, das Equipment nicht zu kaufen sondern zu leihen. Anfragen diesbezüglich können Sie an das Institut für Signalverarbeitung und Sprachkommunikation an der Technischen Universität Graz richten.

4.1.1 Auswahl des Messequipments

Für die Messung benötigt man sowohl einen Lautsprecher, über den das Signal zur Anregung des Raumes abgespielt wird, als auch ein Mikrofon, das die Raumimpulsantwort aufzeichnet. Damit dem Lautsprecher ein Signal zugeführt, das vom Mikrofon empfangene Signal weitergeleitet und verarbeitet werden kann, benötigt man des Weiteren ein Audio Interface. Ein Audio-Interface ist eine extern an den PC angeschlossene Soundkarte in einem eigenen Gehäuse, die analoge und digitale Audiosignale verarbeitet.

Nachfolgend werden nun die Auswahlkriterien wie auch Beispiele für das benötigte Messequipment angeführt.

Lautsprecher

Laut Norm¹³ muss die Schallquelle möglichst ungerichtet sein. Ungerichtet bedeutet, dass der Schall nach allen Richtungen gleichmäßig abgestrahlt wird. Ein Dodekaeder, wie in Abbildung 41 dargestellt, erfüllt dieses Kriterium. Es handelt sich hierbei um den Typ „Nor276“ der Firma Norsonic der sich zusätzlich zur ungebündelten Abstrahlung vor allem durch das niedrige Gewicht von nur knapp 9 kg auszeichnet. Ältere Modelle sind meist um ein vielfaches schwerer und somit auch unhandlicher.



Abbildung 41: Dodekaeder



Abbildung 42: Verstärker des Dodekaeders

Um den Lautsprecher nicht zu beschädigen, ist es wichtig ihn nur in Betrieb zu nehmen, wenn er auf einem entsprechenden Stativ positioniert ist.

¹³ [OENORM EN ISO 3382-2]

Da dieser Lautsprecher eine sogenannte Passivbox ist, also ein Lautsprecher ohne integrierten Verstärker, benötigt dieser einen externen Verstärker, wie in Abbildung 42 dargestellt. Sollte kein Dodekaeder verfügbar sein, kann alternativ auch ein zwei Wege System, wie in Abbildung 43, gewählt werden.



Abbildung 43: Genelec 1030A

Zwei Weg-Systeme strahlen, im Gegensatz zum Dodekaeder, gebündelt, also nicht in alle Richtungen gleichmäßig ab. Da der Fokus dieses Leitfadens aber auf der Sanierung von Klassenräumen und somit auf Sprache, welche ebenfalls gebündelt abgestrahlt wird, liegt, ist ein Zwei-Weg-System eine zulässige Alternative zum Dodekaeder. Der Genelec 1030A ist beispielsweise ein Nahfeldmonitor mit zwei Wege Bassreflex System, welcher durch eine hohe Wiedergabequalität, ein kompaktes Design und durch eine leichte Handhabung überzeugt.

Mikrofon

Laut Norm müssen ungerichtete Mikrofone mit einem maximalen Membrandurchmesser von 14 mm verwendet werden. Ungerichtet bedeutet, dass das Mikrofon Schallwellen aus allen Richtungen mit gleicher Intensität aufnimmt. Diese Mikrofone weisen eine sogenannte Kugelcharakteristik auf, weshalb symbolisch ein Kreis auf der Kapsel abgebildet ist.



Abbildung 44: AKG C 480 B



Abbildung 45: Mikrofonstativ

Die Type C 480 B erfüllt beispielsweise diese Kriterien und zeichnet sich des Weiteren durch eine hohe Übertragungsqualität sowie Robustheit aus.

Audio Interface

Das in Abbildung 46 dargestellte Fireface 400 von RME ist auf Grund seiner hohen Qualität und Kompaktheit zu empfehlen. Auf der Frontseite des Fireface 400 befinden sich Instrumenten-, Mikrofon- und Line-Eingänge, ein Stereo Line-/Kopfhörerausgang, ein Drehencoder mit 7-Segment Anzeige, sowie mehrere STATUS und MIDI LEDs. Auf der Rückseite des Fireface 400 befinden sich vier analoge Eingänge, sechs analoge Ausgänge, ein Netzteilanschluss, sowie sämtliche digitale Ein- und Ausgänge.



Abbildung 46: Frontansicht des RME Fireface 400



Abbildung 47: Rückseite des RME Fireface 400

4.1.2 Verkabelung des Messequipments

In den folgenden Schritten wird die Verkabelung des Messequipments beschrieben.

ACHTUNG: Die Verkabelung ist vor dem Einschalten des Equipments durchzuführen. Sobald das Equipment in Betrieb genommen wurde, sollten keine Kabel mehr entfernt werden, da es ansonsten zu Störungen der Software bzw. zu Schäden an der Elektronik oder zu lauten Signalen über den Lautsprecher (Gehörschäden) kommen kann! Sollten sie während der Messung ein Kabel tauschen wollen, muss das Equipment zuvor abgeschaltet werden!

1. Anschluss des Audio Interface an den PC



Abbildung 48: Anschluss des PC an das Audio Interface

Das Audio Interface wird mit einem sogenannten Fire Wire Kabel an das Audio Interface angeschlossen. Der Fire Wire Anschluss des Audio Interface befindet sich, wie in Abbildung 48 grün markiert, auf der Rückseite. Sollte der Laptop keinen Fire Wire Anschluss besitzen, benötigt man eine PCMCIA Card Bus Adapter wie in Abbildung 49 dargestellt.



Abbildung 49: PCMCIA Adapter



Abbildung 50: Fire Wire Steckverbindung

2. Anschluss des Mikrofons an das Audio Interface

Das Mikrofon ist mit dem weiblichen Ende des XLR Kabels (siehe Abbildung 52, linker Anschluss) zu verbinden. Der Mikrofoneingang auf der Frontseite des Audio Interface ist mit dem männlichen Ende (siehe Abbildung 52, rechter Anschluss) zu verbinden. Abhängig von der Größe des Klassenraumes wird eine Kabellänge von bis zu sechs Meter benötigt. Um diese Länge zu erreichen kann man ggf. mehrere Kabel zusammenstecken.



Abbildung 51: Anschluss des Mikrofons an das Audio Interface



Abbildung 52: XLR Steckverbindung

3. Anschluss des Lautsprechers an das Audio Interface

Der Dodekaeder wird, wie in Abbildung 52 dargestellt, mit einem Speakon Stecker (siehe Abbildung 54) mit dem Verstärker verbunden.



Abbildung 53: Anschluss des Dodekaederlautsprechers an den Verstärker



Abbildung 54: Speakon Steckverbindung

Abbildung 55: Kabel mit XLR und Klinke

Der Verstärker selbst wird wiederum mit einem Kabel, das von XLR auf Klinke geht (siehe Abbildung 55), mit einem der sechs analogen Ausgänge des Audio Interface verbunden (siehe grüne Markierung Abbildung 56). Die blaue Markierung aus Abbildung 56 zeigt den jeweiligen Anschluss an die Stromversorgung.



Abbildung 56: Anschluss des Verstärkers an das Audio Interface

Die Verkabelung des Genelec 1030A mit dem Audio Interface erfolgt wie die Verbindung des Verstärkers mit dem Audio Interface. Auch hier kann man, falls erforderlich, durch Zusammenstecken mehrerer XLR Kabel eine Verlängerung erzielen.



Abbildung 57: Verkabelung des Genelec1030A mit dem Audio Interface

Zuletzt sind der Lautsprecher und das Audio Interface, wie in Abbildung 57 blau markiert, an die Stromversorgung anzuschließen, dann ist die Verkabelung des Equipments abgeschlossen. Nun können das Audio Interface, der Lautsprecher und anschließend der Laptop eingeschaltet werden.

ACHTUNG: Das Audio Interface benötigt die Installation des entsprechenden Treibers. Stellen sie sicher, dass beim Verleih die entsprechende Software mitgeliefert wird. Für die Installation folgen Sie den Anweisungen des Handbuchs.

Checkliste für das benötigte Messequipment:

- Laptop
- Audiointerface
- 1 Dodekaeder oder zwei Weg-System Lautsprecher
- 1 Lautsprecherstativ
- 1 ungerichtetes Mikrofon mit max. 14mm Membrandurchmesser
- 1 Mikrofonstativ
- 1 Fire Wire Kabel bzw. PCMCIA Adapter
- 1 XLR Kabel (ein Ende männlich, das andere Ende weiblich, Länge mind. 6m od. mehrere Kabel)
- 1 Kabel von XLR auf Klinke (ein Ende XLR, das andere Ende Klinke, Länge mind. 4m od. mehrere Kabel)
- Speakon Kabel für den Dodekaeder
- Kabel für die Stromanschlüsse
- Kalibrator (siehe Kapitel 4.2)

Für die Aufzeichnung und die Verarbeitung der Messdaten wird zusätzlich noch ein spezielles Audioprogramm benötigt. Auf die Auswahl der geeigneten Software sowie deren Bedienung wird in Kapitel 4.2 noch näher eingegangen. Vorerst wird im nächsten Abschnitt noch die Festlegung der Mess-sowie Senderpositionen behandelt.

4.1.3 Festlegung der Mess- und Senderpositionen

Die nötige Mindestanzahl der Mess- und Senderpositionen ist abhängig von der gewünschten Messgenauigkeit. Laut OENORM ISO 3382-2¹⁴ ist für die Messung der akustischen Parameter in Klassenräumen das Standardverfahren einzusetzen, welches die Messung an mindestens zwei Senderpositionen und sechs unabhängigen Sender – Mikrofonkombinationen fordert. Das bedeutet, dass mindestens 3 Mikrofon- und 2 Lautsprecherpositionen erforderlich sind. Es werden an dieser Stelle alle Richtlinien der Norm für die Positionierung des Messequipments angeführt.

Um die Situation des Unterrichts möglichst real abzubilden, sollte die Position des Lautsprechers, jener des Lehrkörpers im Unterricht entsprechen. Es empfiehlt sich die Positionierung links und rechts der Tafel auf einer Höhe von ca. 1,60m, jeweils schräg in Richtung Raummitte. Auch das Mikrofon sollte entsprechend der Raumnutzung dort positioniert werden, wo sich die SchülerInnen befinden.

Ebenfalls zu berücksichtigen ist, dass die Mikrofonposition nicht zu nahe an einer Senderposition liegt, da sich ansonsten ein zu starker Direktschall-Einfluss ergibt. Das bedeutet, dass zu viel vom direkt abgestrahlten Signal und nicht die Reflexionen des Raumes aufgezeichnet werden. Bei einer typischen Klassenraumgröße von 200 m³ sollte der Mindestabstand 1m betragen.

Die Mikrofone sollten auch nicht zu nahe an reflektierenden Oberflächen wie Tische od. Wand positioniert werden. Es wird ein Mindestabstand von 1m empfohlen. Auch der Abstand zwischen den Mikrofonen sollte mindestens 1m betragen. Hintergrund dieser Abstandsangaben sind Raummoden. Sie werden auch Raumresonanz oder Stehwelle genannt und entstehen durch Reflexion. Im Gegensatz zu sich frei ausbreitenden Schallwellen, bei der der Schallpegel gleichmäßig abnimmt, bilden sich bei stehenden Wellen über den Raum verteilt Schalldruckminima und –Maxima. Durch das Einhalten der zuvor genannten Abstände wird vermieden, dass das Mikrofon in diesen Schalldruckminima oder–Maxima positioniert wird. Für nähere Informationen diesbezüglich wird auf das Werk „Schallabsorber und Schalldämpfer“ von Fuchs¹⁵ verwiesen.

Zusammenfassend sind bei d. Positionierung des Equipments folgende Abstände einzuhalten:

Positionierung des Equipments laut OENORM ISO 3382-2:

- Lautsprecherpositionen entsprechend der Position des Lehrers im Unterricht
- Mikrofonpositionierung entsprechend der Position der SchülerInnen
- Abstand zwischen Lautsprecher und Mikrofon: mind. 1 m
- Abstand von Mikrofon bzw. Lautsprecher zu reflektierenden Flächen: mind. 0,7 m
- Abstand zwischen den Mikrofonen: mind. 1,4 m

¹⁴ [OENORM EN ISO 3382-2]

¹⁵ [FUCHS]

Abbildung 58 zeigt noch einen exemplarischen Messaufbau in einem Klassenzimmer.

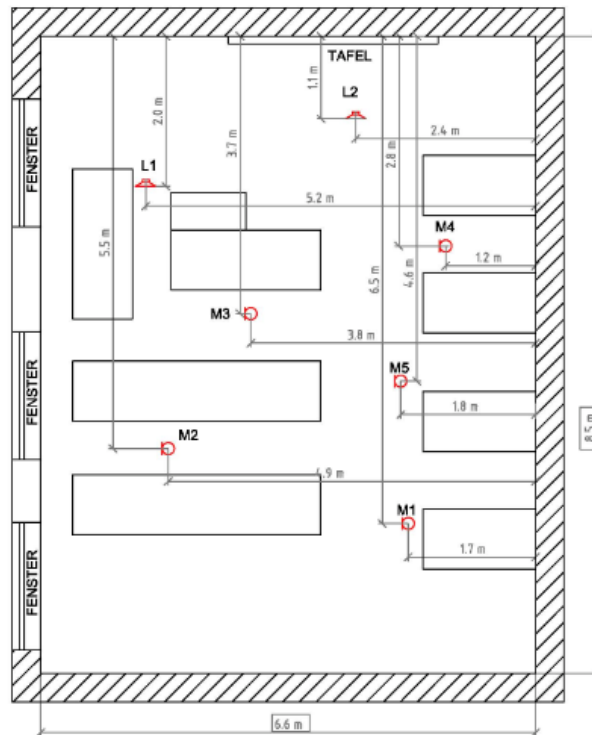


Abbildung 58: Exemplarische Messanordnung

Laut Norm sind mindestens drei Mikrofon- und zwei Senderpositionen erforderlich. Es wird, wie in Abbildung 58 dargestellt, aber empfohlen, fünf Mikrofonpositionen zu wählen um den Raum besser abdecken zu können. Prinzipiell wird je Position eine Messung durchgeführt. Das bedeutet, dass beispielsweise bei 2 Lautsprecher- und 5 Mikrofonpositionen 10 Messungen durchzuführen sind. Zuerst positioniert man den Lautsprecher auf L1 und das Mikrofon nacheinander auf die Positionen M1-M5. Anschließend wird der Lautsprecher auf L2 gegeben und erneut alle 5 Mikrofonpositionen gemessen.

ACHTUNG: Für einen exakten und raschen Ablauf der Messung wird empfohlen, die festgelegten Mess- und Sendepositionen mit einem Klebeband zu markieren und zu beschriften (L1, L2, M1, M2, M3, etc.)! Dadurch kann das Equipment für jede Messung rasch auf die gewünschte Position umgestellt werden.

4.2 Durchführung der Messung

Nachdem die Verkabelung und die Platzierung des Messequipments erfolgt ist, kann nun die Messung durchgeführt werden. Für die Durchführung der Messung ist ein spezielles Audioprogramm erforderlich, mit dem die Raumimpulsantwort gemessen und ausgewertet werden kann. Ein kostengünstiges und intuitiv zu bedienendes Programm ist beispielsweise Arta von ARTALABS¹⁶ das online zum Preis von 79.- Euro erhältlich ist.

¹⁶ Siehe [ARTALABS]

Die Bedienung dieses Programmes sowie der gesamte Ablauf der Messung werden nachfolgend erklärt. Abbildung 59 zeigt die einzelnen Schritte der Messung.

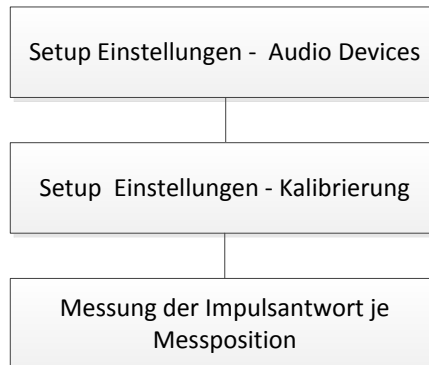


Abbildung 59: Ablauf der Messung

ACHTUNG: Aus Sicherheitsgründen wird für den gesamten Ablauf der Messung das Tragen von Gehörschutz empfohlen, damit es zu keinen Folgeschäden auf Grund zu hoher Pegel kommen kann!

4.2.1 Setup Einstellungen - Audio Devices

Als erstes sind die Setup Einstellungen für die verwendeten Audio Geräte durchzuführen. Abbildung 60 zeigt die Bedienoberfläche. Unter dem Menüpunkt „Setup“ finden sie sowohl den Bereich „Audio Devices“ als auch den später für die Kalibrierung benötigten Bereich „Calibrate Devices“.

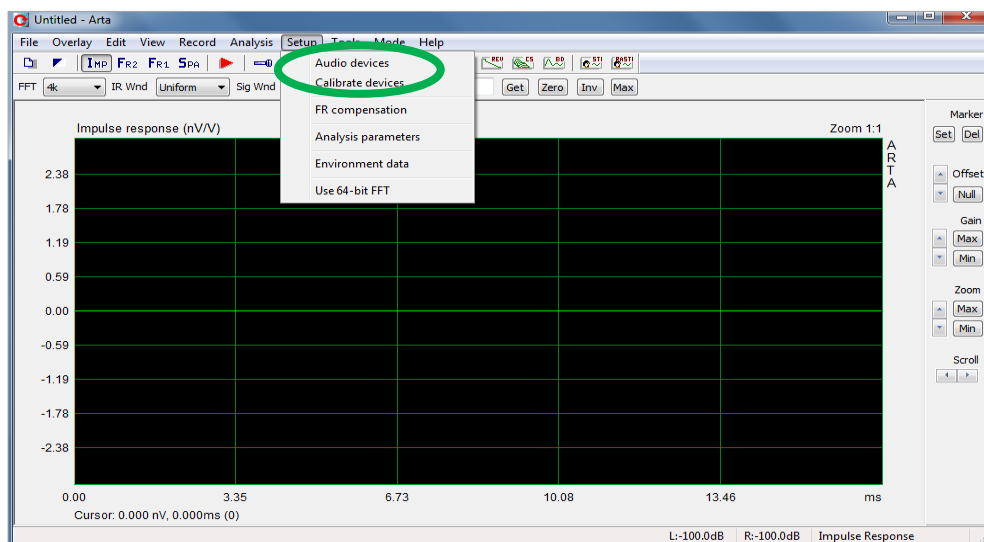


Abbildung 60: Bedienoberfläche von Arta, Setupeinstellungen

In den Einstellungen der Audio Devices sind die Ein- & Ausgänge entsprechend der Belegung am Audio Interface anzugeben. Bei Input Device ist der Eingang auszuwählen, bei dem das Mikrofon angeschlossen ist, bei Output Device jener Ausgang, der mit dem Lautsprecher verbunden ist.

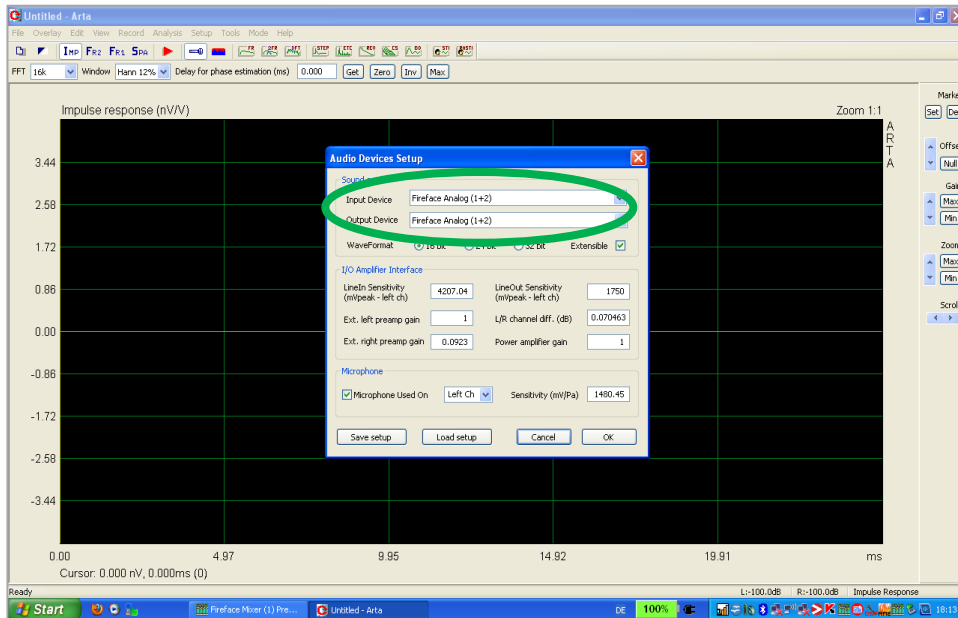


Abbildung 61: Angabe der Ein- und Ausgänge

4.2.2 Setup Einstellungen - Kalibrierung

Um eine reproduzierbare Messung zu ermöglichen, ist es erforderlich eine Kalibrierung des Mikrofons durchzuführen. Dazu wählen sie beim Menüpunkt „Setup“ den Bereich „Calibrate Devices“ aus.

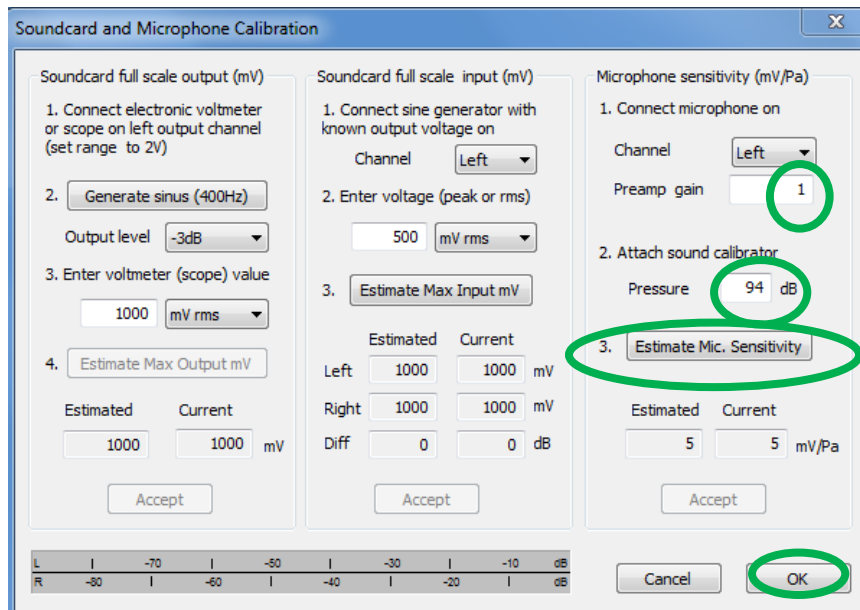


Abbildung 62: Einstellung zur Kalibrierung des Messmikrofons

Für die Kalibrierung verwendet man einen geeichten Kalibrator dessen Frequenz (Preamp gain; meist 1 kHz) sowie Schalldruckpegel (Pressure; meist 94 dB) wie in Abbildung 62 grün markiert, einzutragen sind.

Anschließend wird er über dem Mikrofon positioniert und eingeschalten.

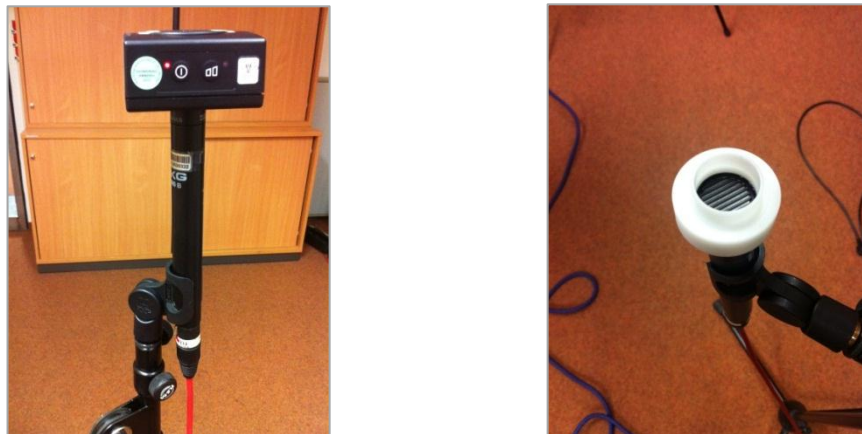


Abbildung 63: Aufsetzen des Kalibrator (links) bzw. Adapter (rechts)

Abhängig vom Durchmesser des Mikrofons kann, wie in Abbildung 63 dargestellt, ein Adapter erforderlich sein. Sobald der Button „Estimate Mic. Sensitivity“ (siehe Abbildung 62) gedrückt wird, beginnt die Ermittlung des Input Levels. Während der Messung, die einige Sekunden in Anspruch nimmt, wird „Wait“ angezeigt (siehe Abbildung 64)

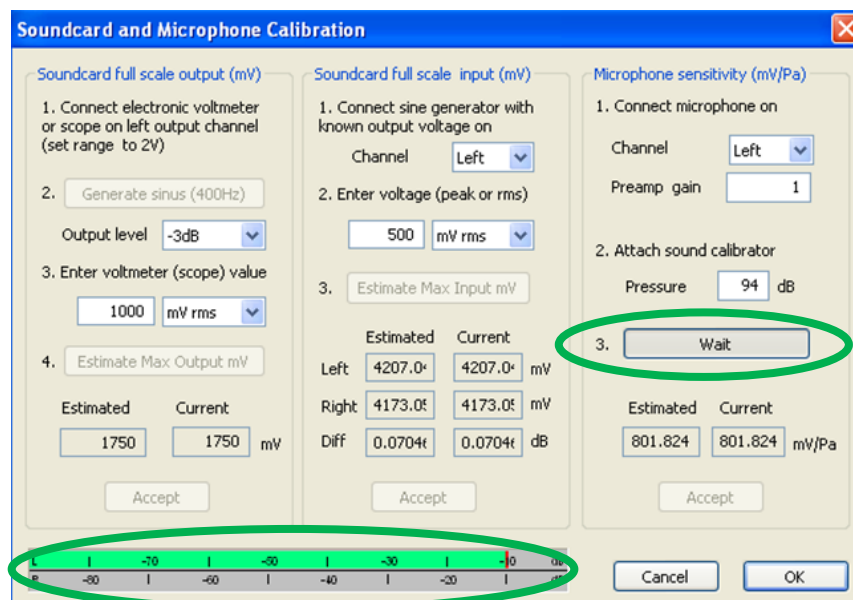


Abbildung 64: Messung und Anzeige des Input Levels

Die Steuerung des Input Levels erfolgt über den Regler an der Front des Audio Interfaces (siehe Abbildung 65). Durch Drehen des Reglers kann zwischen den Kanälen umgeschaltet werden. Sobald der entsprechend belegte Eingang (in diesem Fall Input 1, also i.1) aufscheint, kann man diesen durch Drücken des Knopfes auswählen und anschließend durch Drehen den Level festlegen. Sobald dieser gut ausgesteuert ist (ca. -10 dB, siehe Abbildung 64), kann die Kalibrierung abgeschlossen werden, indem man die Schaltfläche „Accept“ betätigt und den Kalibrator wieder abnimmt.



Abbildung 65: Auswahl des Kanals und Einstellung des Input Levels

ACHTUNG: Wenn der Level zu hoch gewählt wird, ist der in Abbildung 64 dargestellte Balken rot was bedeutet, dass es zum Clipping (Übersteuerung) kommt. In diesem Fall muss der Input Level reduziert werden, da die Signalverarbeitung ansonsten fehlerhaft ist!

4.2.3 Messung der Impulsantwort

Sobald die Setup Einstellungen abgeschlossen sind, kann das Anregungssignal ausgewählt und die Messung der Impulsantwort durchgeführt werden.

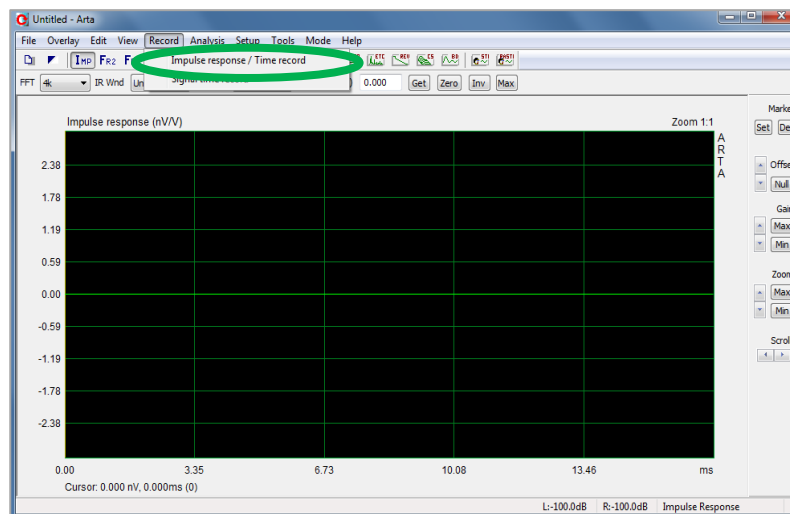


Abbildung 66: Bedienoberfläche von Arta, Messung der Impulsantwort

Wie in Abbildung 66 und Abbildung 67 dargestellt, wird unter dem Menüpunkt „Record“ im Bereich „Impulse Response/Time record“ das Anregungssignal ausgewählt und die Einstellungen der Signalparameter getroffen.

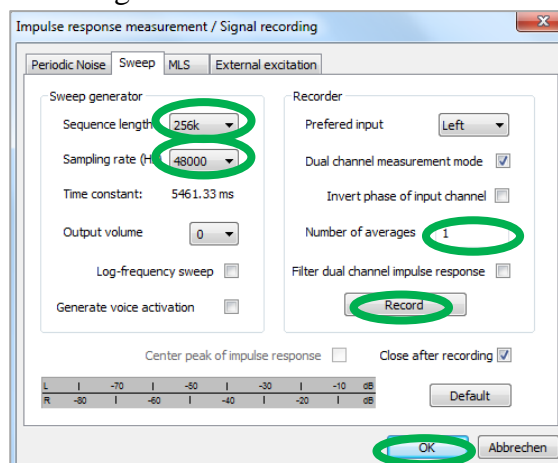


Abbildung 67: Auswahl des Anregungssignals und Parametereinstellungen

Nähere Informationen zum Anregungssignal befinden sich in Anhang B, Seite 77. Nach Selektion des Anregungssignals kann nun die Raumimpulsantwort des Raumes gemessen werden. Durch drücken von „Record“ ermittelt ARTA die Impulsantwort und zeigt diese automatisch nach Abschluss der Messung, wie in Abbildung 68 dargestellt, an:

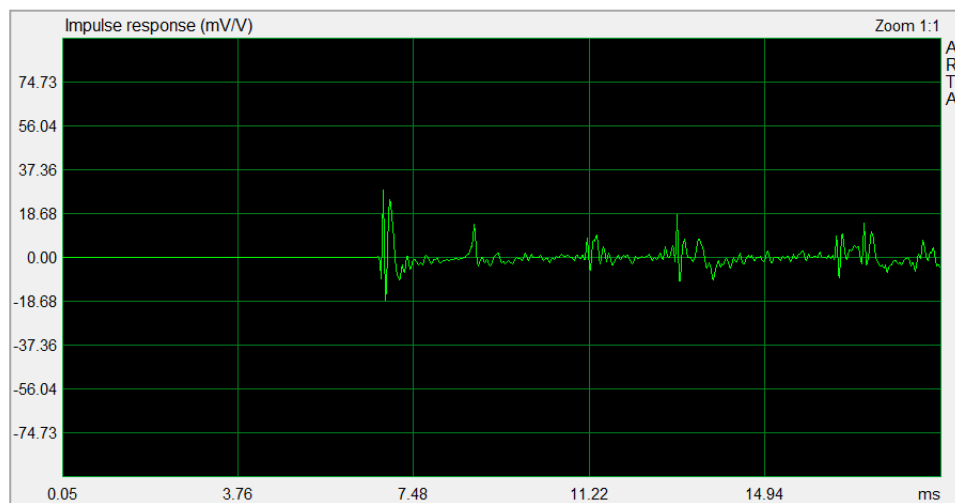


Abbildung 68: Impulsantwort

ACHTUNG: Die Messung der Raumimpulsantwort kann sowohl im besetzten Zustand als auch im leeren Zustand erfolgen. Während der Messung ist es allerdings wichtig, dass anwesende Personen keine Geräusche verursachen. Da mit einem Exponential Sweep gemessen wird, beinhaltet dieser Frequenzen unter- bzw. oberhalb des hörbaren Bereiches. D.h. auch einige Sekunden vor bzw. nach dem hörbaren Ton läuft die Messung noch!

Nachdem die Impulsantwort in diesem Fenster angezeigt wird, ist die Messung abgeschlossen und das Messergebnis kann direkt abgespeichert werden. Damit nach Abschluss aller Messungen nachvollzogen werden kann, welche Messung bei welcher Messposition erfolgt ist, empfiehlt sich eine eindeutige Benennung, wie beispielsweise „Raum005_L1_M3“. Dadurch beinhaltet der Name der Messdatei sowohl den Raum, als auch die Lautsprecher- und Mikrofonposition.

Basierend auf der gemessenen Impulsantwort können unter dem Menüpunkt „Analysis“ im Bereich „ISO3382 – accoustical parameters“ nun die akustischen Parameter der OENORM EN ISO 3382 in tabellarischer sowie grafischer Form ausgegeben und gespeichert werden (siehe Abbildung 69 und Abbildung 70). Es wird empfohlen, die Speicherung der „CSV“ Datei stets unmittelbar nach jeder Messung vorzunehmen, da die Dateien für die spätere Analyse benötigt werden und ansonsten jede Messung erneut für die Parameterabfrage geöffnet werden muss.

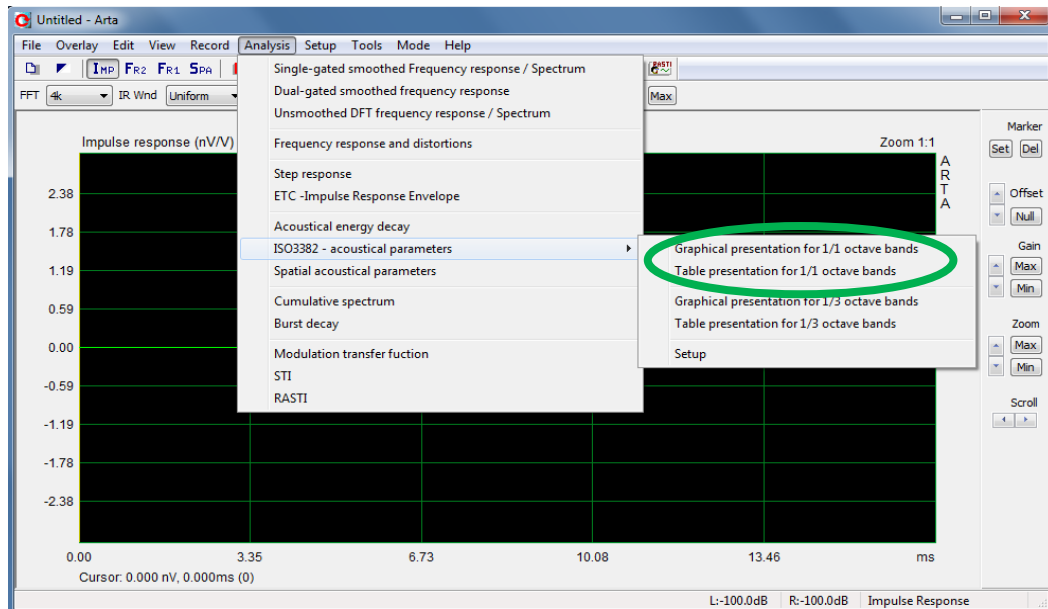
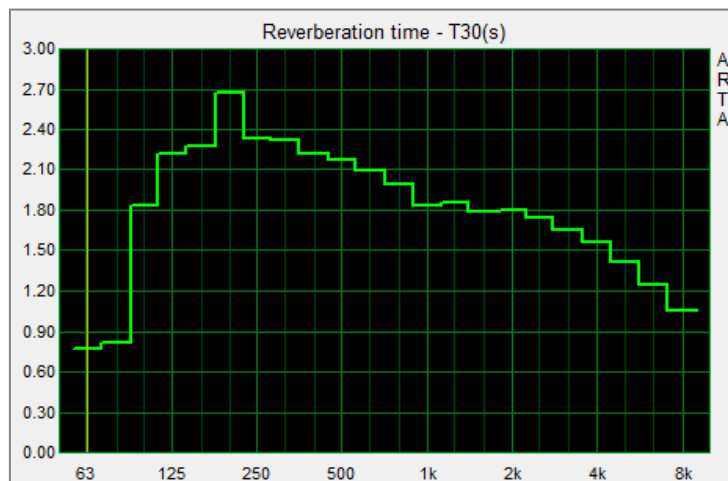


Abbildung 69: Analyse der Messergebnisse – Anzeige der akustischen Parameter



F (Hz)	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
T30 (s)	2.327	2.325	2.218	2.173	2.096	1.987	1.836	1.852	1.789	1.798	1.743
rT30	-0.995	-0.999	-0.998	-0.999	-0.998	-0.999	-0.999	-0.999	-1.000	-0.999	-1.000
T20 (s)	2.037	2.354	2.133	2.209	2.263	2.065	1.898	1.844	1.776	1.738	1.754
rT20	-0.998	-0.997	-0.998	-0.997	-0.998	-0.999	-0.999	-0.997	-0.999	-1.000	-0.999
T10 (s)	1.972	2.625	2.014	1.953	2.297	2.169	1.805	1.605	1.713	1.686	1.804
rT10	-0.995	-0.993	-0.994	-0.986	-0.994	-0.998	-0.998	-0.995	-0.999	-0.998	-0.998
EDT (s)	2.247	2.542	2.423	2.363	2.525	2.261	1.840	1.701	1.670	1.875	1.801
C80 (dB)	-4.40	0.87	-3.63	-1.59	-0.70	-1.20	-0.68	-1.49	0.33	0.60	1.15
C50 (dB)	-9.39	-5.44	-5.18	-3.01	-2.51	-4.86	-4.28	-3.44	-2.03	-1.02	-1.39
D50 (%)	10.33	22.21	23.28	33.31	35.96	24.64	27.17	31.18	38.54	44.15	42.09
Ts (ms)	217.947	155.349	199.025	156.809	148.523	162.524	139.980	133.976	112.505	117.044	112.466

Abbildung 70: Raumakustische Parameter nach OENORM EN ISO3382

4.2.4 Checkliste für potentielle Fehlerquellen

Sollte im Laufe der Messung das Problem auftreten, dass kein Input Level angezeigt wird und somit kein Signal über den Lautsprecher zu hören ist, müssen folgende Punkte überprüft werden:

- Sind alle Kabel korrekt angeschlossen?
- Sind alle Geräte eingeschalten?
- Wurde der Treiber für das Audio Interface installiert?
- Erhält das Audio Interface ein Signal vom Laptop?

(Wenn beim Audio Interface bei Host das Licht rot aufleuchtet ist das Fire Wire Kabel nicht korrekt angeschlossen oder defekt)

Wenn diese Punkte erfolgreich überprüft wurden, sollte das Problem behoben und eine korrekte Messung möglich sein.

4.3 Analyse der Messergebnisse und Absorberauswahl

Das in Excel entwickelte Simulationstool ermöglicht es, die Messdaten zu importieren und die akustischen Parameter des gemessenen Raumes hinsichtlich der Sollwerte nach DIN18041 zu verifizieren sowie den sanierten Zustand zu simulieren. Dafür können die gewünschten Absorber sowie die Absorbermenge aus einer Datenbank ausgewählt und somit auch eine erste Abschätzung der Materialkosten durchgeführt werden. Nähere Informationen zu den im Tool verwendeten Formeln befinden sich in Anhang B, Seite 78.

Das Simulationstool ist in drei grundlegende Bereiche gegliedert. Allem voran werden die Basisdaten des Klassenraumes abgefragt und daraus automatisch die grundlegenden Parameter hinsichtlich akustisch nutzbarer Fläche sowie die Sollnachhallzeit ermittelt. Im Anschluss daran werden die Messwerte über ein Dialogfenster ausgewählt und importiert. Im dritten Bereich des Simulationstools erfolgen sowohl die Verarbeitung und Darstellung der Messdaten, als auch die Simulation des sanierten Zustandes.

Sämtliche rot hinterlegten Felder sind vom User einzugeben, die Werte der grau hinterlegten Felder werden auf Grund hinterlegter Formeln automatisch berechnet und sind für Anwendereingaben gesperrt. Sollte es erwünscht sein, diese zu bearbeiten oder ausgeblendete Karteireiter, in denen die Hilfsberechnung diverser Werte erfolgt, einzublenden, kann der Blattschutz mit dem Passwort „passwort“ aufgehoben werden. Da dadurch das gesamte Simulationstool konfigurierbar ist, wird empfohlen, dies nur vorzunehmen, wenn Sie über einschlägige Vorkenntnisse bzgl. Excel verfügen.

4.3.1 Eingabe der Basisdaten

Im ersten Karteireiter namens „Basisdaten“ (siehe Abbildung 71) sind die grundlegenden Parameter wie Raumbezeichnung, Anzahl der SchülerInnen, Raumabmessung, sowie die akustisch nicht nutzbare Fläche einzutragen. Die akustisch nicht nutzbare Fläche umfasst alle Flächen wie Tafel oder Türen die nicht mit Absorbern verkleidet werden können. Auf Basis dieser Angaben werden die einzelnen Raumflächen sowie die Sollnachhallzeit und das dafür gültige Toleranzband nach DIN18041 ermittelt und grafisch dargestellt.

Zusätzlich ist es möglich, das Baujahr des zu messenden Raumes auszuwählen, wodurch basierend auf den Messergebnissen von Müller, die in etwa zu erwartende Nachhallzeit dargestellt wird.

Abbildung 71 zeigt den ersten Karteireiter des Simulationstools in dem die Eingabe und die Verarbeitung der Basisdaten erfolgt. Sämtliche rot hinterlegte Felder sind einzugeben, die Werte der grau hinterlegten Felder werden auf Grund hinterlegter Formeln automatisch berechnet. Sollten die in den weißen Flächen angeführten Begriffe nicht verständlich sein, bieten die eingefügten Kommentare, die durch Anklicken der jeweiligen Zelle erscheinen, die Möglichkeit nähere Informationen, hinterlegte Formeln und Definitionen abzurufen.

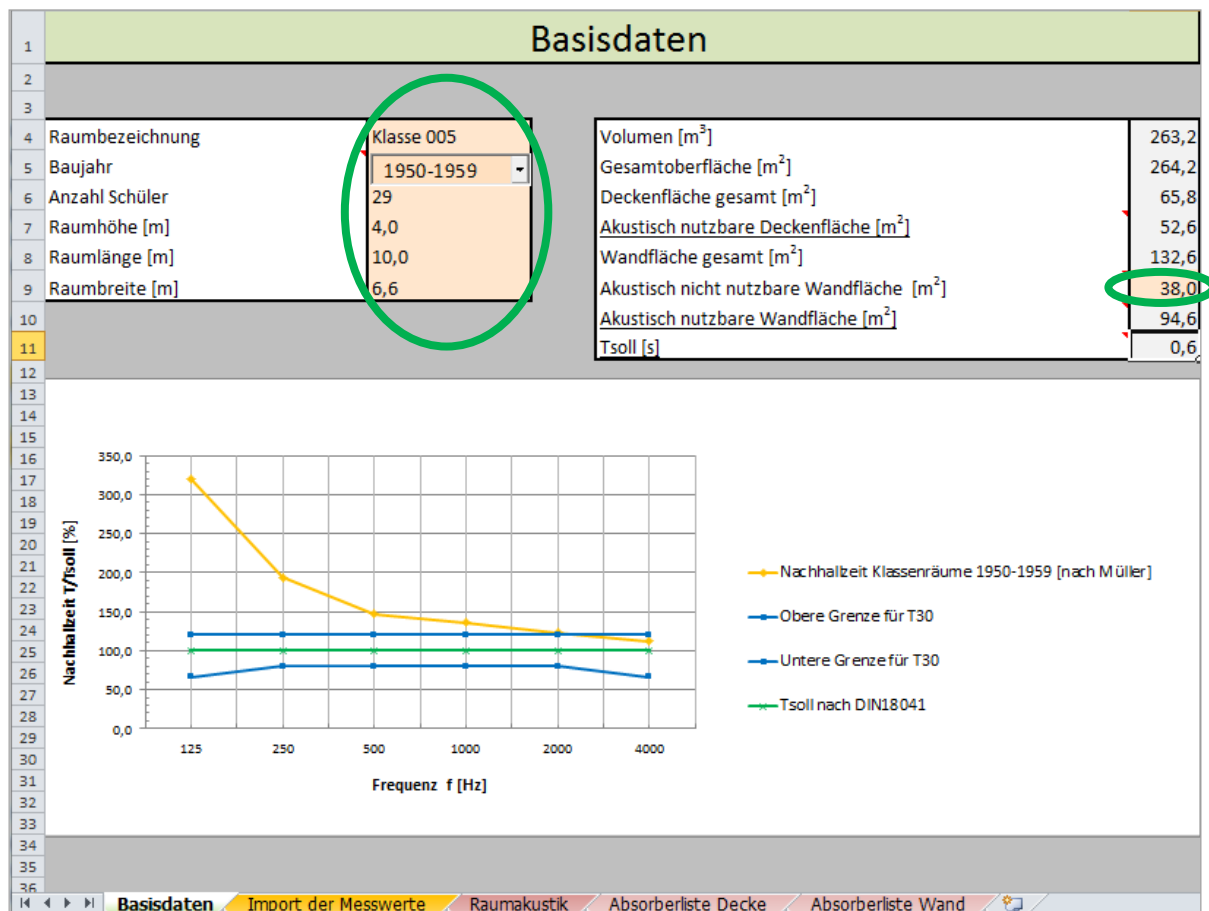


Abbildung 71: Eingabe sowie Ermittlung der Basisdaten

4.3.2 Import der Messwerte

Im zweiten Karteireiter namens „Import der Messwerte“ (siehe Abbildung 72) erfolgt der Import der Messdateien. Die aus ARAT exportierten Messdateien können einzeln oder auf einmal in das Simulationstool importiert werden. Durch Anklicken der Schaltfläche „Messwerte importieren“ wird ein Dialogfenster geöffnet, in dem die gewünschten Messdateien ausgewählt werden können. Sowohl der Name der ausgewählten Messdatei, als auch deren Werte werden automatisch in der rechten Tabelle eingetragen. Ebenso wird der Name der Messdatei in die linke Tabelle übernommen und auf Fehler überprüft. Sowohl die Spalte mit den Frequenzwerten (F) als auch jene mit der Nachhallzeit (T30) sind als Pflichtfelder definiert und werden hinsichtlich möglicher Fehler (Fehlende oder fehlerhafte Werte) überprüft. Liegt ein Fehler vor, so wird dies im Feld „Status“ durch den Eintrag „Fehler“ angezeigt. Ist die Messdatei korrekt so erscheint ein entsprechendes „OK“.

Import der Messwerte																		
Raum war bei Messung: besetzt ← Achtung! Der Besetzungszustand des Klassenraumes muss eingetragen werden!																		
STI und %Alcons müssen für alle Messdateien ausgefüllt werden!																		
Messwerte importieren	STI		%Alcons	Entfernen	Status	Messdatei	F (Hz)	T30 (s)	rT30	T20 (s)	rT20	T10 (s)	rT10	EDT (s)	C80 (dB)	C50 (dB)	D50 (%)	Ts (ms)
Messdatei / Mittelwert	male	female	5,85%	Entfernen	Status													
Raum005_L1_M1	0,6336	0,6416	6,00%		OK	Raum005_L1_M1	63	1,69	-1	1,549	-0,99	1,41	-0,97	0,80	7,09	3,29	68,07	123,29
Raum005_L1_M2	0,6273	0,6363	6,30%		OK	Raum005_L1_M2	125	1,40	-1	1,438	-1	1,38	-1	1,37	0,94	-1,72	40,25	115,18
Raum005_L1_M3	0,6928	0,7028	4,49%		OK	Raum005_L1_M3	250	1,47	-1	1,491	-1	1,60	-1	1,35	-0,05	-3,35	31,6	110,52
Raum005_L1_M4	0,6076	0,6135	6,76%		OK	Raum005_L1_M4	500	1,22	-1	1,186	-1	1,29	-0,99	1,26	1,47	-0,5	47,13	82,54
Raum005_L1_M5	0,6175	0,6208	6,26%		OK	Raum005_L1_M5	1.000	1,02	-1	1,001	-1	0,86	-1	0,86	3,98	0,67	53,86	61,54
Raum005_L2_M1	0,6344	0,6399	5,72%		OK	Raum005_L2_M1	2.000	0,91	-1	0,905	-1	0,92	-1	1,02	4,71	2,15	62,15	56,11
Raum005_L2_M2	0,6429	0,6519	5,71%		OK	Raum005_L2_M2	4.000	0,85	-1	0,853	-1	0,87	-1	0,86	6,66	4,15	72,21	43,00
Raum005_L2_M3	0,6416	0,6519	5,71%		OK	Raum005_L2_M3	8.000	0,70	-1	0,686	-1	0,69	-1	0,69	7,75	4,42	73,47	37,51
Raum005_L2_M4	0,6339	0,6426	6,00%		OK	Raum005_L2_M4	63	1,72	-1	1,65	-0,99	1,50	-0,98	1,62	0,92	0,68	53,9	135,24
Raum005_L2_M5	0,6415	0,6456	5,60%		OK	Raum005_L2_M5	125	1,56	-1	1,517	-1	1,59	-0,99	1,62	-0,04	-5,19	23,23	135,67
Raum005_L3_M1					Fehler	Raum005_L3_M1	250	1,41	-1	1,459	-0,99	1,66	-1	1,44	-0,76	-4,09	28,08	118,22
						Raum005_L3_M2	500	1,19	-1	1,135	-1	1,18	-0,99	1,24	2,06	-0,92	44,7	84,94
						Raum005_L3_M3	1.000	0,96	-1	0,957	-1	1,01	-1	1,06	4,34	1,46	58,34	62,72
						Raum005_L3_M4	2.000	0,86	-1	0,89	-1	0,91	-1	0,93	5,64	2,43	63,65	48,83
						Raum005_L3_M5	4.000	0,84	-1	0,831	-1	0,80	-1	0,83	6,49	3,63	69,76	42,36
						Raum005_L4_M1	8.000	0,73	-1	0,706	-1	0,70	-1	0,65	8,42	5,06	76,23	33,46
						Raum005_L4_M2	63	1,67	-1	1,759	-1	1,56	-0,98	1,51	-3,4	-3,53	30,74	167,43
						Raum005_L4_M3	125	1,30	-1	1,345	-1	1,44	-0,99	1,57	2,89	-1,8	39,78	102,88
						Raum005_L4_M4	250	1,37	-1	1,254	-1	1,29	-1	1,29	3,79	0,75	54,3	73,74
						Raum005_L4_M5	500	1,24	-1	1,201	-1	1,22	-1	1,13	3,58	1,44	58,21	62,66
						Raum005_L5_M1	1.000	1,01	-1	0,985	-1	0,97	-1	1,07	6,32	4,15	72,23	41,29
						Raum005_L5_M2	2.000	0,94	-1	0,934	-1	0,93	-1	0,97	8,35	6,19	80,63	27,87
						Raum005_L5_M3	4.000	0,85	-1	0,852	-1	0,80	-1	0,86	7,77	5,17	76,68	31,30
						Raum005_L5_M4	8.000	0,70	-1	0,683	-1	0,66	-1	0,68	10,06	7,03	83,48	22,71
						Raum005_L5_M5	63	1,69	-1	1,75	-1	1,73	-0,98	1,63	3,3	-1,96	38,88	150,84

Abbildung 72: Import der Messwerte

Auch das Entfernen einer Messdatei ist möglich. Durch eine entsprechende Markierung der Datei in der Spalte „Entfernen“ sowie anklicken des Feldes „Messwerte entfernen“ werden nach einer Sicherheitsabfrage die Messwerte in beiden Tabellen entfernt.

Für die akustischen Parameter STI sowie %Alcons gibt es in ARTA leider keine Möglichkeit des Exports. Diese Daten müssen daher je Messdatei manuell in der entsprechenden Zeile eingetragen werden. Um die Werte für STI und %Alcons zu erhalten, müssen Sie in ARTA die einzelnen Messdateien mit der Endung „.pir“ öffnen. Unter „Analysis/STI“ finden sie sowohl die Werte für „STI male“ als auch für „STI female“ sowie für „%Alcons“. Abbildung 73 und Abbildung 74 zeigen die entsprechenden Dialogfenster. Nähere Informationen zu den akustischen Parametern befinden sich in Anhang B, Seite 75/76.

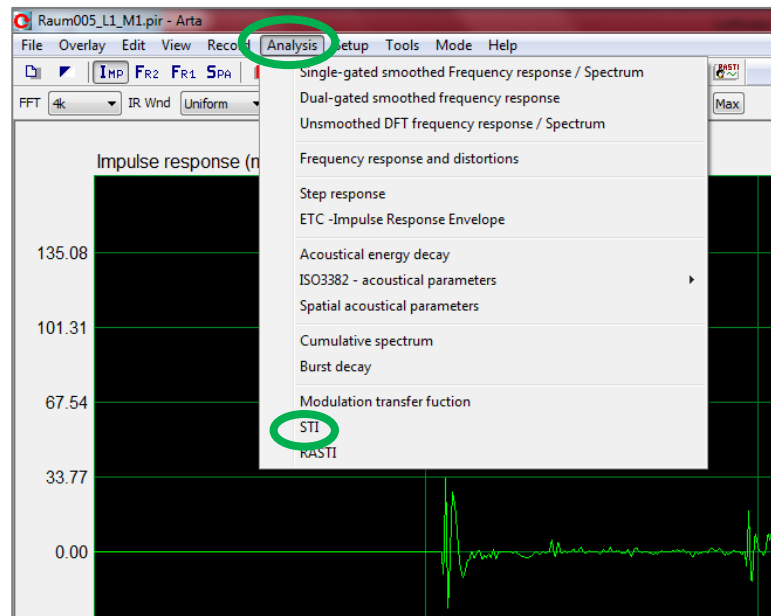


Abbildung 73: Abfrage von STI und %Alcons in Arta

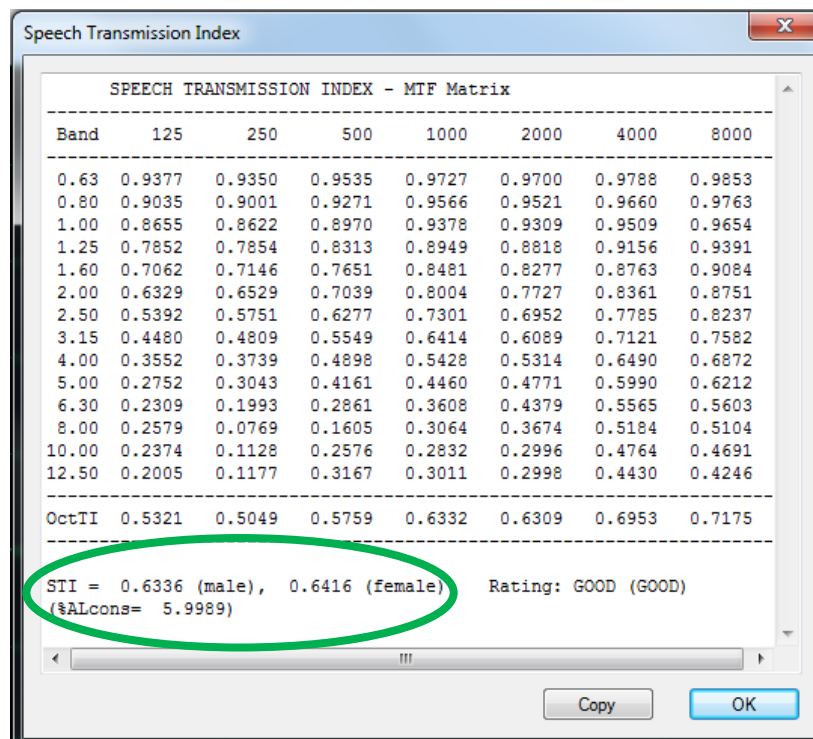


Abbildung 74: Anzeige von STI und %Alcons in Arta

Neben der Nachhallzeit werden in der rechten Tabelle noch zusätzliche Parameter angeführt. Für die weiteren Betrachtungen wird nur die Nachhallzeit herangezogen, die restlichen Werte werden dennoch in der Tabelle belassen, um dem Anwender bei Bedarf zur Verfügung zu stehen. *ACHTUNG: Damit die weitere Verarbeitung der Messdateien richtig erfolgt, muss zuletzt noch der Besetzungszustand des gemessenen Raumes angegeben werden! (Siehe Warnhinweis aus Abbildung 72). Basierend darauf erfolgt die weitere Verarbeitung der Messdaten.*

4.3.3 Verarbeitung & Simulation der akustischen Parameter

Im dritten Karteireiter des Simulationstools werden die importierten Messdaten verarbeitet und die akustischen Parameter tabellarisch und grafisch angezeigt. Ebenso gibt es ein eigenes Eingabefeld, in dem die für die Sanierung gewünschten Absorber ausgewählt werden können. An Hand dieser Auswahl erfolgt die Simulierung der Nachhallzeit.

Um eine Auswahl treffen zu können, muss zuerst analysiert werden, wie stark die Nachhallzeit von den Sollwerten der Norm abweicht. Abhängig von der Angabe des Besetzungszustandes in Karteireiter zwei wird im dritten Karteireiter automatisch der Mittelwert der Nachhallzeit für den angegebenen Zustand ermittelt. Damit die Nachhallzeit sowohl im leeren als auch im besetzten Zustand vorliegt wird der Wert für den jeweils nicht gemessenen Zustand simuliert.

Abbildung 75 zeigt die tabellarische und grafische Darstellung der Nachhallzeit. Rechts neben der Tabelle hat man die Möglichkeit auszuwählen, welche Kurven dargestellt werden sollen. Da der maximale Kurvenwert automatisch das Maximum der Achse ist, wird durch das Auswählen der einzelnen Kurve diese automatisch vergrößert angezeigt.

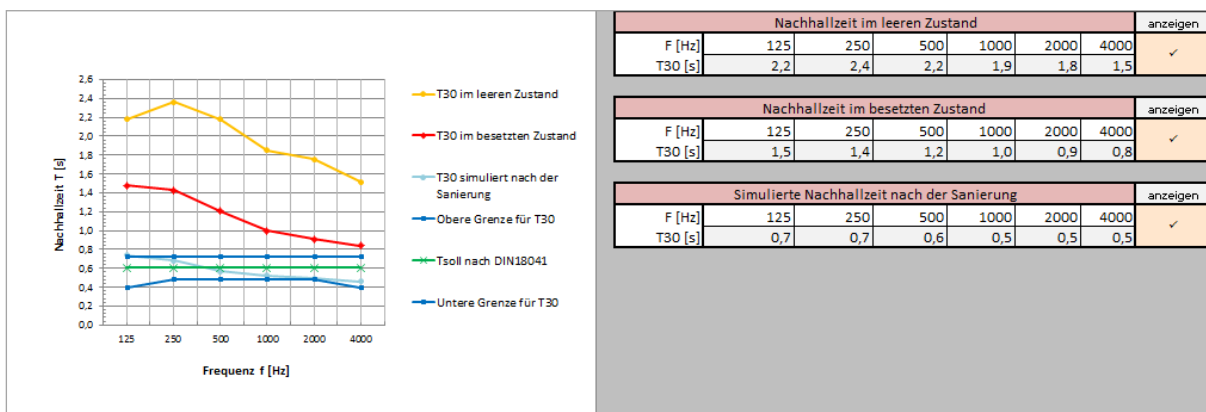


Abbildung 75: Tabellarische und grafische Darstellung der Nachhallzeit

Wie in Abbildung 76 dargestellt, werden die zur Erreichung der Sollnachhallzeit erforderliche äquivalente Absorptionsfläche und die äquivalente Absorptionsfläche der ausgewählten Absorber tabellarisch und grafisch angeführt. Nähere Informationen zur äquivalenten Absorptionsfläche befinden sich in Anhang A, Seite 68.

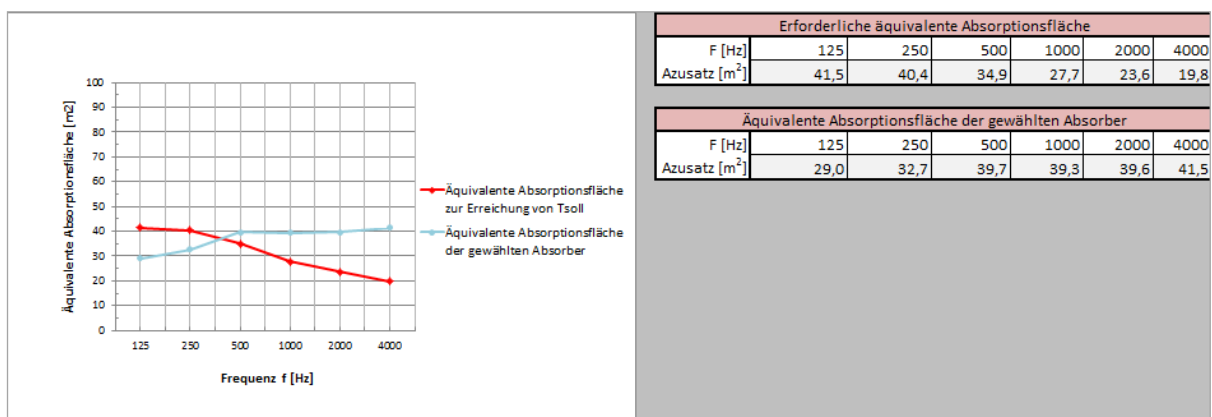


Abbildung 76: Tabellarische sowie grafische Darstellung der äquivalenten Absorptionsfläche

Das Eingabefeld für die Auswahl der Absorber sieht wie folgt aus:

Element	Absorbertyp	m ²	Preis		
Decke (Teil1)	Deckensegel 50 - 2450x1200 - o.R	22	1639	max. erlaubte m ² :	46,06
Decke	Deckensegel 50 - 2450x1200 - o.R			(Gesamte Deckenfläche)	
Wand	Deckensegel 50 - 3000x1250 - m.R	30	150	max. erlaubte m ² :	46,32
Wand	Deckensegel 50 - 2500x1250 - m.R			(Gesamte Wandfläche)	
Wand	Deckenmodul (Holzfaser) 80 - 1200x625	18			
Wand	Deckenmodul (Steinwolle) 30 - 1200x625				
Wand (Teil4)					
Materialkosten gesamt			1788,78		

Abbildung 77: Auswahl der Absorber sowie Ermittlung der Materialkosten

Es können sowohl für den Decken-, als auch für den Wandbereich mehrere Absorber ausgewählt werden. Neben der Auswahl des Absorbertyps ist auch die gewünschte Fläche einzutragen. Abhängig von den selektierten Absorbern und der eingetragenen Quadratmeteranzahl werden sowohl die Materialkosten, als auch die äquivalente Absorptionsfläche sowie die für den sanierten Zustand simulierte Nachhallzeit ermittelt und grafisch dargestellt. Sollte die maximal zur Verfügung stehende akustische Fläche überschritten werden, so erscheint eine Warnmeldung. Die Eingabe ist in diesem Fall zu korrigieren.

Die Produktdetails der Absorber befinden sich in eigenen Karteireitern, wie Abbildung 78 und Abbildung 79 zeigen. In dieser Absorberdatenbank sind jeweils die Dimensionen, der Absorptionsgrad sowie der Quadratmeterpreis und der Hersteller angegeben. Ebenso ist angeführt, ob der Absorber mit oder ohne Fase ausgeführt ist und auf welchen Abstand der Absorptionsgrad bezogen ist. Die Datenbank kann nach Bedarf auch individuell erweitert werden. Die jeweiligen Hersteller sind in Anhang A, Seite 74 angeführt.

Absorberdatenbank - Absorberliste Decke														
Absorbername in Liste	Parameter					Absorptionswert je Frequenz						Preis/m ²	Firma	Produkt
	Dicke [mm]	Länge [mm]	Breite [mm]	Fase	Abstand [mm]	125	250	500	1000	2000	4000			
Deckensegel 20 - 2450 x 1250 - m.R	20	2450	1250	x	100	0,18	0,47	0,96	1,00	1,00	1,00	45,00	Ziegler	Deckensegel mit Rahmen
Deckensegel 20 - 2450 x 1250 - m.R	20	2450	1250	x	300	0,38	0,50	0,80	1,00	1,00	1,00	45,00	Ziegler	Deckensegel mit Rahmen
Deckensegel 50 - 2450 x 1200 - o.R	50	2450	1250	x	0	0,22	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	74,49	Schaumstofflager.de	Deckensegel ohne Rahmen
Deckensegel 40 - 3000 x 1250 - m.R	40	3000	1250	x	300	0,30	0,77	1,00	1,00	1,00	1,00	80,00	Ziegler	Deckensegel mit Rahmen
Deckensegel 40 - 2500 x 1250 - m.R	40	2500	1250	x	300	0,30	0,77	1,00	1,00	1,00	1,00	86,00	Ziegler	Deckensegel mit Rahmen
Deckenmodul (Holzfaser) 80 - 1200 x 625	80	1200	625	x	0	0,18	0,43	0,86	0,96	0,88	0,88	46,00	Homatherm	Holzämmmatte flexCL
Deckenmodul (Steinwolle) 30 - 1200 x 625	30	1200	625	x	270	0,72	0,78	0,89	0,93	0,97	1,03	37,00	KnaufInsulation	Steinwollmatte (Feuerschutz)

Abbildung 78: Absorberdatenbank der Deckenabsorber

Absorberdatenbank - Absorberliste Wand														
Absorbername in Liste	Parameter					Absorptionswert je Frequenz						Preis/m ²	Firma	Produkt
	Dicke [mm]	Länge [mm]	Breite [mm]	Fase	Abstand [mm]	125	250	500	1000	2000	4000			
Wandelement (Basotect) 40 - 1250 x 625 - o.F.	40	1250	625	Nein	0	0,33	0,42	0,88	0,98	0,98	0,98	28,00	Ziegler	Plano
Wandelement (Basotect) 40 - 1250 x 625 - m.F.	40	1250	625	Ja	0	0,33	0,42	0,88	0,98	0,98	0,98	30,80	Ziegler	Plano
Wandelement (Basotect) 50 - 1250 x 625 - o.F.	50	1250	625	Nein	0	0,30	0,58	0,90	0,90	0,90	0,90	34,00	Ziegler	Plano
Wandelement (Basotect) 50 - 1250 x 625 - m.F.	50	1250	625	Ja	0	0,30	0,58	0,90	0,90	0,90	0,90	38,00	Ziegler	Plano
Wandelement (Basotect) 50 - 1000 x 500 - o.F.	50	1000	500	Nein	0	0,22	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	27,80	Schaumstofflager.de	Basotect
Wandmodul (Holzfaser) 80 - 1200 x 625	80	1200	625	x	0	0,18	0,43	0,86	0,96	0,88	0,88	42,00	Homatherm	Holzämmmatte flexCL
Wandmodul (Steinwolle) 50 - 1200 x 625	50	1200	625	x	250	0,68	0,76	0,89	0,97	1,00	1,03	38,00	KnaufInsulation	Steinwollmatte (Feuerschutz)
Spanplatte 4 - 2800 x 2070	4	2800	2070	x	50	0,30	0,20	0,15	0,10	0,08	0,10	6,00	Peham	Spanplatte
Spanplatte 4 - 2800 x 2070 (mit Steinwolle)	4	2800	2070	x	50	0,20	0,40	0,20	0,10	0,08	0,10	11,00	Peham	Spanplatte
Spanplatte 8 - 2800 x 2100	8	2800	2100	x	20	0,46	0,24	0,04	0,01	0,01	0,01	4,00	Peham	Spanplatte

Abbildung 79: Absorberdatenbank der Wandabsorber

Neben der Nachhallzeit und der äquivalenten Absorptionsfläche werden auch die akustischen Parameter STI und der %Alcons angeführt. Es werden sowohl die Werte vor, als auch nach der simulierten Sanierung ermittelt.

STI		Skala			%Alcons		Skala		
vorher	nachher	von	bis	Bewertung	vorher	nachher	von	bis	Bewertung
0,64	0,86				6%	2%			
		0,75	1,00	Sehr gut			20%	100%	Unbrauchbar
		0,60	0,75	Gut					
		0,45	0,60	Angemessen			7%	20%	Befriedigend
		0,30	0,45	Schwach			2%	7%	Gut
		0,00	0,30	Schlecht			0%	2%	Ideal

Abbildung 80: Darstellung von STI und %Alcons

Nachdem mit Hilfe dieses Simulationstools eine individuelle Sanierungsvariante erstellt wurde, können nun, basierend auf dem Beispiel aus Kapitel 3.3, die Kosten der Sanierung abgeschätzt werden. Das Lukrieren der für die Sanierung notwendigen finanziellen Mittel wird im nächsten Kapitel behandelt.

4.4 Lukrieren der finanziellen Mittel

Durch die kostengünstigen Sanierungsvarianten in Kapitel 3 ist im Vergleich zu einer Gesamtsanierung durch den Fachbetrieb bereits eine deutliche Kostenersparnis möglich. In Summe wird dennoch ein gewisses Budget benötigt, das den Schulen mitunter nicht zur Verfügung steht. Um die Sanierung dennoch zu ermöglichen, werden in diesem Kapitel unterstützende Institutionen und potentielle Sponsoren angeführt. In Anhang C, Seite 79 befinden sich zudem eine entsprechende Präsentationunterlage, die für die Sponsorenanfragen verwendet werden kann.

4.4.1 Schulbezogene Institutionen

In erster Instanz wird die Kontaktierung des Landesschulrates empfohlen, um in Erfahrung zu bringen, ob für Projekte wie die akustische Sanierung von Klassenräumen ein Budget zur Verfügung steht. Zusätzlich sollte der Elternverein kontaktiert werden. Eventuell ist durch diesen ebenfalls eine finanzielle Unterstützung möglich.

4.4.2 Externe Institutionen

Stadt Graz

Neben schulbezogenen Institutionen besteht auch die Möglichkeit einer finanziellen Förderung durch externe Institutionen wie beispielsweise die Stadt Graz. Das Amt für Umweltschutz der Stadt Graz überprüft die eingereichten Projekte und fördert innovative und pädagogisch sinnvolle Projekte.

Kontaktdaten:

Amt für Umweltschutz der Stadt Graz
Kaiserfeldgasse 1/IV, 8010 Graz
Tel: 0316/872-4324

Bundesministerium für Unterricht und kulturelle Angelegenheiten

Auch Stiftungen und Fonds, wie der Umwelt- und Gesundheits-Bildungsfond, könnte eine Option für die Finanzierung sein. Der Umwelt- und Gesundheits-Bildungsfonds ist eine Einrichtung des Bundesministeriums für Unterricht und kulturelle Angelegenheiten. Der Fond fördert Initiativen und Projekte zu den Themen "Umwelt" und "Gesundheit" in Schulen. Bewertet werden die Anträge unter Berücksichtigung ökologischer, gesundheitsförderlicher, pädagogischer und ökonomischer Aspekte. Die Anträge sind im Dienstwege einzureichen und werden von einer Kommission bewertet, die über die Vergabe der Förderungsmittel entscheidet.

Kontaktdaten:

Bundesministerium für Unterricht und kulturelle Angelegenheiten; Abteilung V/3
Minoritenplatz 5, 1014 Wien
Ansprechperson: Dr. Beatrix Haller (beatrix.haller@bmuk.gv.at)
Tel.: 01/53120-2533

4.4.3 Diverse Sponsoren

Neben den zuvor genannten Institutionen können auch Firmen, die in Bezug auf deren Produkte SchülerInnen als Zielgruppe haben, kontaktiert werden. Folgende Unternehmen sind für diesen Bereich relevant:

Schulartikel: Libro, Thalia, Pagro, Verlag für Schulbücher
Bekleidung: H&M, Orsay, New Yorker, Pimkie, C&A
Drogerie: BIPA, dm,
Bankwesen: RAIKA, Volksbank, Sparkasse
Medien: Antenne Steiermark, Ö3

Durch Platzierung entsprechender Werbung in den Schulräumen können diese Unternehmen als Sponsoren gewonnen werden. Evtl. können diese Sponsoren die Unterstützung der akustischen Sanierung auch für eine PR Kampagne nutzen und somit weitere finanzielle Mittel zur Verfügung stellen. Speziell Libro, Thalia, H&M, BIPA, RAIKA und Antenne Steiermark haben einen starken Fokus auf Werbekampagnen im Sektor der Jugendlichen und sollten daher primär kontaktiert werden. Auch jene Firmen, von denen die Sanierungsmaterialien bezogen werden, können die Sanierung evtl. als Referenzprojekt, oder zu Werbezwecken einsetzen. Dadurch kann zusätzlich zum Mengenrabatt eine Reduzierung des Gesamtpreises erzielt werden.

4.4.4 Spendengenerierung durch Veranstaltungen

Neben der Kontaktierung von Institutionen und Sponsoren besteht auch die Möglichkeit, durch Theater- od. Konzertauftritte Spenden zu sammeln. Gegebenenfalls könnte man im Rahmen eines Projektunterrichtes auch direkt Geld sammeln indem z.B. symbolisch der Thematik entsprechend Gehörschutz gegen einen freiwilligen Spendenbeitrag verkauft werden.

Es wird empfohlen, für das Lukrieren von finanziellen Mitteln über Sponsoren ausreichend Zeit einzuplanen, da von der ersten Kontaktaufnahme bis zur finalen Zusage mehrere Wochen vergehen können. Für die Anfrage bei den Sponsoren wird des Weiteren empfohlen auf die Notwendigkeit einer akustischen Sanierung hinzuweisen und diese mit konkreten Fakten zu belegen. Die Präsentationsunterlage in Anhang C, Seite 77 greift die wichtigsten Argumente für eine akustische Sanierung auf und dient somit als Grundlage für die Anfragen bei Sponsoren.

Nachdem in diesem Kapitel nun der gesamte Ablauf einer akustischen Sanierung dargestellt wurde, werden im nachfolgenden Kapitel Aspekte wie Bau- und Brandschutzvorschriften sowie Sach- und Personenversicherung behandelt. Neben diesen Rahmenbedingungen werden auch pädagogische Begleitmaßnahmen vorgestellt, die zusätzlich zur akustischen Sanierung empfohlen werden.

5 Rahmenbedingungen einer akustischen Sanierung

Im Zuge der Sanierung gilt es einige Rahmenbedingungen zu beachten. Neben den baurechtlichen Vorgaben und der Brandschutzvorschriften sind auch Aspekte der Sach- sowie Personenversicherung zu berücksichtigen. Neben diesen Rahmenbedingungen werden in diesem Kapitel auch noch pädagogische Begleitmaßnahmen vorgestellt. Diese werden zusätzlich zur Sanierung empfohlen, um das Bewusstsein für Lärm und dessen Auswirkung zu schärfen und somit ein „ruhigeres Verhalten“ der SchülerInnen zu fördern. Auch Finanzierungsmöglichkeiten werden erarbeitet, um die für die Sanierung nötigen finanziellen Mittel lukrieren zu können.

5.1 Baurechtliche Fragen und Brandschutzvorschriften

Je nachdem, welche Sanierungsvariante gewählt wird, ist ggf. die Genehmigung des Eigentümers einzuholen. Für die Montage von Absorbern ist laut BIG (Bundes Immobilien Gesellschaft) keine gesonderte Genehmigung des Eigentümers notwendig, da dies keinen Eingriff in die Bausubstanz darstellt. Wird allerdings eine Deckenabsenkung vorgenommen (Siehe Kapitel 3.3.2), so ist dies ein Eingriff in die Bausubstanz und Bedarf daher der Genehmigung durch den Eigentümer. Die OENORM B 3806¹⁷ regelt die Anforderungen an das Brandverhalten von Bauprodukten bzw. Baustoffen. In dieser Norm wird eine Einteilung in sechs Gebäudeklassen (GK) getroffen. Tabelle 11 zeigt die für Schulgebäude möglichen Gebäudeklassen.

Tabelle 11: Mögliche Gebäudeklassen für Schulgebäude [OENORM B 3806, S.5]

GK	Eigenschaften
GK 1	Umfasst freistehende, an mindestens 3 Seiten auf eigenem Grund bzw. einer Verkehrsfläche für die Brandbekämpfung von außen zugängliche Gebäude mit nicht mehr als 3 oberirdischen Geschoßen und mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 7m sowie einer Wohnung oder 1 Betriebseinheit von jeweils nicht mehr als 400m ² Grundfläche
GK 2	Umfasst Gebäude mit nicht mehr als 3 oberirdischen Geschoßen und mit 1 Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 7m und höchstens 3 Wohnungen bzw. Betriebseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400m ² Grundfläche; desgleichen Reihenhäuser mit nicht mehr als 3 oberirdischen Geschoßen und mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 7m und Wohnungen bzw. Betriebseinheiten von jeweils nicht mehr als 400 m ² Grundfläche
GK 3	Umfasst Gebäude mit nicht mehr als 3 oberirdischen Geschoßen und mit 1 Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 7m, die nicht in die Gebäudeklasse 1 oder 2 fallen.
GK 4	Umfasst Gebäude mit nicht mehr als 4 oberirdischen Geschoßen und mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 11 m und nur 1 Betriebseinheit ohne Begrenzung der Grundfl. od. mehreren Wohnungen /Betriebseinheiten von jew. nicht mehr als 400 m ² Grundfläche
GK 5	umfasst Gebäude mit einem Aufenthaltsraumniveau von nicht mehr als 22 m, die nicht in die Gebäudeklassen 1, 2, 3 oder 4 fallen, sowie Gebäude, die vorwiegend aus unterirdischen Geschoßen bestehen

¹⁷ [OENORM B 3806]

Das sogenannte Aufenthaltsraumniveau ist wie folgt definiert: „Höhendifferenz zwischen der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen oberirdischen Geschosses und dem tiefsten Punkt auf der Schnittlinie der Gebäudehülle mit der vorhandenen Geländeoberfläche nach Fertigstellung.“¹⁸

Zusätzlich zu dieser Einteilung gibt es, wie in Tabelle 12 angeführt, auch Klassen des Brandverhaltens von Bauprodukten.

Tabelle 12: Klassen des Brandverhaltens von Bauprodukten [OENORM B 3806]

Kategorie	Klasse
Brandverhalten	A1, A2 – nicht brennbar B, C – schwer brennbar D, E – normal brennbar F – leicht brennbar
Rauchentwicklung	s1 – schwach qualmend s2 – leicht qualmend s3 – stark qualmend
Abtropfen bzw. Abfallen	d0 – kein brennendes Abtropfen d1 – kein fortdauerndes Abtropfen d2 – kein Abtropfen

Die raumseitige Wandbekleidung muss, je nach Gebäudeklasse, gewissen Anforderungen entsprechen. Abbildung 81 zeigt die erforderlichen Klassen des Brandverhaltens in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse.

6.3 Raumseitige Wandbekleidungen und –beläge
Die Anforderungen gelten auch für Dachschrägen.

Tabelle 2

Bauteil	Gebäudeklassen					
	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5	Hochhäuser
6.3.1 Raumseitige Wandbekleidungen, ausgenommen im Verlauf von Fluchtwegen						
6.3.1.1 Klassifiziertes System	D	D	D	D	D	B
oder						
6.3.1.2 Aufbau mit folgenden klassifizierten Komponenten						
– Bekleidung	D	B	D	B	D	A2
– Dämmschicht	C	oder E	C	oder E	C	A2 ²⁾
6.3.2 Raumseitige Wandbekleidungen im Verlauf von Fluchtwegen³⁾						
6.3.2.1 Klassifiziertes System ⁴⁾	nicht zutreffend	D	C	B	A2	A2
oder						
6.3.2.2 Aufbau mit folgenden klassifizierten Komponenten						
– Bekleidung ⁴⁾	nicht zutreffend	D	C ⁵⁾	A2	B	A2
– Unterkonstruktion	nicht zutreffend	D	A2 ⁵⁾	oder A2 ⁵⁾	A2 ⁵⁾	A2
– Dämmschicht	nicht zutreffend	C	B	D	A2 ²⁾	A2 ²⁾
6.3.3 Raumseitige Wandbeläge im Verlauf von Fluchtwegen⁶⁾						
– Gänge	nicht zutreffend	D	C-s1,d0 ⁵⁾	C-s1,d0	B-s1,d0	A2-d0
– Treppenhäuser	nicht zutreffend	D	C-s1,d0 ⁵⁾	A2-s1,d0	A2-s1,d0	A2-s1,d0

¹⁾ Bei Verwendung von Dämmschichten der Klasse A2 sind auch Holz und Holzwerkstoffe der Klasse D gemäß EN 13986 zulässig.
²⁾ Bei Mantelbeton sind auch Dämmschichten der Klasse B zulässig.
³⁾ Fehlen in Gängen und Treppen im Verlauf von Fluchtwegen Wandbeläge, gelten für die Bekleidung zutreffendenfalls die höheren Anforderungen für Wandbeläge gemäß 6.3.3.
⁴⁾ Die Oberflächen der Wandbekleidungen müssen geschlossen sein.
⁵⁾ Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe der Klasse D gemäß EN 13986 zulässig.
⁶⁾ Die Anforderungen gelten unter Berücksichtigung der Befestigung und einer allfälligen Endbehandlung.

Abbildung 81: Brandschutzvorschriften für die raumseitige Wandbekleidung [OENORM 3806]

¹⁸ Siehe [OENORM B 3806, S.4]

Der in Abbildung 81 verwendete Begriff „Bekleidung“ wird wie folgt definiert: „Schichten eines Bauteils, die die Erfüllung einer oder mehrerer der nachstehenden Anforderungen sicherstellen helfen: Brand-, Wärme-, Schall- und Wetterschutz bzw. Tragfähigkeit.“¹⁹

Die in Abbildung 81 genannten Euroklassen entstammen der ÖNORM EN 13501- 1.²⁰ Dies ist eine europaweite Richtlinie die als Bewertungsmaßstab für das Brandverhalten von Baustoffen und Baumaterialien dient und dieses folgendermaßen unterteilt:

Tabelle 13: Brandschutzklassen [EN 13501 Teil 1]

Bauaufsichtliche Anforderungen	Europäische Klasse nach EN 13501-1	Einheit Plattendicken		
		kein Rauch	kein brennendes Abfallen/Abtropfen	
Nicht brennbar	A1	x	x	
	A2 - s1, d0	x	x	
Schwer entflammbar	B - s1, d0 C - s1, d0	x	x	
	A2 - s2, d0 A2 - s3, d0 B - s2, d0 B - s3, d0 C - s2, d0 C - s3, d0		x	
	A2 - s1, d1 A2 - s1, d2 B - s1, d1 B - s1, d2 C - s1, d1 C - s1, d2	x		
	A2 - s3, d2 B - s3, d2 C - s3, d2			
	Normal entflammbar	D - s1, d0 D - s2, d0 D - s3, d0 E		x
		D - s1, d2 D - s2, d2 D - s3, d2		
E - d2				
Leicht entflammbar	F			

¹⁹ Siehe [ÖNORM B 3806, S.4]

²⁰ [EN 13501-1]

Die ÖNORM EN 13501 löste die ÖNORM B 3800-1²¹ ab, dennoch beziehen sich Hersteller vereinzelt nach wie vor auf diese, sodass sie an dieser Stelle ergänzend angeführt wird:

Tabelle 14: Brandschutzklassen nach ÖNORM B 3800-1

Kategorie	Klasse
Brandverhalten	A – nicht brennbar B ₁ – schwer brennbar B ₂ – normal brennbar B ₃ – leicht brennbar
Rauchentwicklung	Q1 – schwach qualmend Q2 – normal qualmend Q3 – stark qualmend
Abtropfen bzw. Abfallen	Tr ₁ – nicht tropfend Tr ₂ – tropfend Tr ₃ – zündend tropfend

Vereinzelt beziehen sich Hersteller auch auf folgende Baustoffklassen nach DIN 4102, Teil1:

Tabelle 15: Brandschutzklassen [DIN 4102-1]

Bauaufsichtliche Anforderungen	Baustoffklasse nach DIN 4102
Nicht brennbare Baustoffe	A A 1 A 2
brennbare Baustoffe schwer entflammable Baustoffe normal entflammable Baustoffe leicht entflammable Baustoffe	B B 1 B 2 B 3

Auf Grund der unterschiedlichen Normen gibt es keine einheitliche Bezeichnung der Brandklassen. Zusammenfassend kann aber festgehalten werden, dass die Absorber nicht leicht entflammbar sein dürfen. Sie müssen also mindestens der Kategorie „normal bis schwer entflammbar“ angehören. Tabelle 16 zeigt zusammenfassend die jeweils zulässigen Brandschutzklassen für Absorber.

Tabelle 16: Mind. erforderliche Brandschutzklassen für Absorber in Schulgebäuden

Kategorie	Klasse
OENORM B 3806	Einzelelement: D Kombinationselement: D+C od. B+E
OENORM EN 13501- 1	B, C, D, E
OENORM B 3800-1	B1, B2
DIN 4102-1	B1, B2

²¹ [OENORM 3800-1]

5.2 Aspekte der Sach- sowie Personenversicherung

Um sicherstellen zu können, dass im Zuge der Sanierung weder Sach- noch Personenschaden entsteht der ggf. von den ausführenden Privatpersonen getragen werden muss, sollte bereits im Vorfeld der Sanierung durch einen Fachexperten überprüft werden, ob die Bausubstanz für die Anbringung der Absorber geeignet ist.

Neben der Prüfung der Bausubstanz sind auch bestimmte Sanierungsvarianten ausschließlich von einem Fachbetrieb durchzuführen, da eine Fehlmontage durch unsachgemäße Anbringung eine hohe Verletzungsgefahr darstellt. Die Anbringung von Schaumstoffplatten mittels Klebstoff kann beispielsweise auch durch Laien erfolgen, wobei auch hier darauf geachtet werden muss, dass im Zuge der Montage potentielle Gefahren wie z.B. der Sturz von ungesicherten Leitern vermieden werden.

5.3 Pädagogische Begleitmaßnahmen

Zusätzlich zur akustischen Sanierung wird empfohlen, pädagogische Begleitmaßnahmen zu setzen, um sowohl die SchülerInnen, als auch den Lehrkörper hinsichtlich Lärm zu sensibilisieren. Neben dem Arbeitsbuch „Lärm in der Schule“ von Erich Hotter und Josef Zollneritsch²² wird in diesem Kapitel auch das Projekt „OLGA“ der Steirischen Akademie für Licht und Akustik vorgestellt.

5.3.1 Die Zuhörschule

„Wenn wir über die Frage nachdenken, wie wir in Schulen Lärm vermeiden und Zuhörqualität steigern können, müssen wir über die Organisation v. Schulen nachdenken“²³

Hotter und Zollneritsch erkannten in ihren Forschungen, dass die Organisation der Schule eine wesentliche Auswirkung auf das Klima unter den LehrerInnen sowie zwischen dem Lehrkörper und den SchülerInnen hat. Davon beeinflusst werden die Leistungsfähigkeit der LehrerInnen sowie die Lernfähigkeit der SchülerInnen.

Eine gelebte Schulhaus- bzw. Vereinbarungskultur, die Beziehungswärme, positive Leistungserwartung, gelebte Vereinbarungen, Regelungen, Klarheit, Transparenz sowie professionelles LehrerInnenverhalten spürbar werden lässt, ist die wesentliche Basis der sogenannten Zuhörschule. Hierzu wird im Schulprogramm festgehalten, was zu den Grundanliegen der jeweiligen Schule gehört, da dieses Ausgangspunkt ist um die Schulhaus- und Vereinbarungskultur innerhalb geklärter Vereinbarungen leben zu können. Die Vereinbarungskultur spielt sich auf der Ebene der Schulleitung und des Lehrkörpers, auf der Lehrer-Schüler Ebene sowie zwischen Eltern/Erziehungsberechtigten und Schule ab.

²² Siehe [HOTTER,ZOLLNERITSCH, S.11]

²³ [HOTTER,ZOLLNERITSCH]

Auf der Ebene der Leitung bzw. des Lehrkörpers sind klare Verantwortlichkeiten festzumachen. Es sollte ein Klima der Verantwortlichkeit herausgebildet werden und bestimmte Verantwortungsbereiche personell besetzt werden. (z.B. Leitung des Schulentwicklungsteams, Koordination eines schulischen Förderkonzeptes etc.). LehrerInnen, die sich in ihren spezifischen Interessen erkannt fühlen und diese beruflich umsetzen können, erfahren eine große Steigerung der Motivation und somit der Leistungsfähigkeit und Lehrqualität. Ein professionelles Betriebsklima und ein gelebter Teamgedanke mit Begegnungsmöglichkeiten, auch außerhalb des Schulhauses, fördern die Kommunikations- sowie Teamfähigkeit von LehrerInnen.

Auf der Lehrer-Schülerebene ist es von besonderer Bedeutung, dass SchülerInnen absolute Klarheit darüber haben, was erlaubt und was keinesfalls erlaubt ist. Es soll ein bestmögliches Zusammenleben und – arbeiten möglich sein. Das Aushandeln von Regeln ist ein wesentlicher Teil des Erziehungsauftrages und damit des pädagogischen Programms von Schulen. Je positiver und bestärkender Regelungen sind, desto eher werden sie eingehalten.

Auf der dritten Beziehungsebene zwischen Eltern und Schule bedarf es Grundvereinbarungen darüber, wer wofür zuständig ist und was die Erwartungshaltung der jeweiligen Partei ist. Eltern sollten aktiv in den schulischen Prozess einbezogen werden, sodass diese gemeinsam mit den LehrerInnen dieselbe Grundauffassung darüber entwickeln, welche Ziele die Schule insgesamt verfolgen soll. Je besser die Kommunikation in Richtung Elternschaft gelingt, desto leichter gestaltet sich das Unterrichten.

„Nicht das Klagen über den jeweils anderen sondern das Erzeugen von Verständnis durch regelmäßige Begegnungen können so etwas wie eine Erziehungspartnerschaft begründen“²⁴

Neben der Klärung von Zuständigkeiten und der Aufstellung von Regeln ist vor allem eine gelebte Kommunikation entscheidend. Mit Kommunikation ist das bewusste und aktive Zuhören-Können fest verbunden. Nur wenn wir den jeweils anderen wahrnehmen und verstehen, können wir uns verständigen. Wenn LehrerInnen grundlegende Kommunikations-Paradigmen beherrschen und über ein fundiertes Wissen diesbezüglich verfügen, können sie aktives Zuhören und Kommunizieren auch den SchülerInnen entsprechend vermitteln.

Nicht zuletzt spielen der Aufbau und die Pflege einer geordneten Gruppendynamik eine große Rolle. Das sogenannte Klassenmanagement fokussiert das, auf soziale Ordnung und Gruppenprozesse gerichtete Handeln von Lehrpersonen. Es wird zwischen erzieherischem und didaktischem Klassenmanagement unterschieden. Wesentlich sind in beiden Fällen aber die ersten Schritte zu Beginn eines Schuljahres, da zu diesem Zeitpunkt sowohl soziale Beziehungen als auch die grundsätzliche Klassendynamik herausgebildet werden.

²⁴ [HOTTER, ZOLLNERITSCH]

Das Aufrechterhalten einer tragfähigen Klassenkultur bedarf permanenter Investition von Energie und Zeit, doch diese ist wesentliche Basis für eine hohe Zuhörbereitschaft und vermindert somit Konflikte und daraus entstehende psychische Belastung.

Frau Gerad Z., Volksschulleiterin und Direktorin einer sogenannten „Zuhorschule“ engagierte sich für eine stress- und lärmfreie Schule und räumte mit dem Mythos auf, dass Kinder grundsätzlich laut sind. Sie führte eine Kultur der offenen Klassentüren ein, schaffte die Schulglocke ab und bezog die Gänge in das Unterrichtsgeschehen ein. Natürliche bedurfte es parallel zu diesen Maßnahmen der Bewusstseinsbildung von einem Klima der Ruhe, des Respekts und der Aufmerksamkeit, sowohl bei LehrerInnen, SchülerInnen als auch den Eltern. Zusätzlich wurden das Leitbild und die wichtigsten Regeln und Vereinbarungen im Eingangsbereich aufgehängt, sodass die Schulkultur absolut transparent war. Ebenso wurden Rückzugs- und Wohlfühlbereiche geschaffen und auf eine entsprechende Farbgebung in den Klassenräumen geachtet. Wesentliches Anliegen war es Frau Gerda Z. den Kindern einen ruhigen und respektvollen Umgang zu lehren. Des Weiteren wollte sie die Zuhörfähigkeit der Kinder steigern, da diese Voraussetzung für die Aufnahme- und Arbeitsbereitschaft ist.

Zur Förderung der Zuhörfähigkeit ergriff Frau Gerda Z. zwei Maßnahmen mit großer Wirkung. Neben einer Lärmampel, welche in Abschnitt 5.3.2 noch näher erläutert wird, richtete sie einen sogenannten Hörclub ein.

Der Hörclub wurde in die bestehende Bibliothek integriert und dient dazu, Kinder durch Spiele, das Anhören und das Gestalten von Hörspielen zu sensibilisieren. Neben einer Steigerung der Konzentrationsfähigkeit sowie der Sprachentwicklung wurde auch die Fähigkeit seine Umwelt besser wahrzunehmen deutlich verbessert. Grundlage für dieses Projekt ist das Hörclubpaket, welches von der Stiftung „Zuhören“ bezogen werden kann.

Zusammenfassend sind folgende Punkte wesentliche Vorteil einer Zuhorschule:

- Freundliches, respektvolles und vor allem ruhiges Arbeitsklima
- Steigerung der Leistungsfähigkeit sowie Förderung der Sprachentwicklung
- Steigerung der Berufszufriedenheit und Motivation der LehrerInnen
- Erleichterung der Verständigung mit den Eltern
- Bessere Handhabung von Unterrichtsstörungen
- Bessere Erfüllung des Erziehungsauftrages

5.3.2 OLGA – Ohne Lärm geht’s auch

Im Zuge der zuvor geschilderten Zuhorschule wurde bereits der Einsatz einer Lärmampel erwähnt. Die steirische Akademie für Licht und Ton hat eine Lärmampel entwickelt, die sich im Vergleich zu anderen Modellen vor allem dadurch auszeichnet, dass der Lärmpegel auf drei Ebenen vermittelt wird. Wesentlichstes Element ist die dargestellte Figur namens „OLGA“. Durch die Figur können Emotionen besser transportiert werden, als durch die alleinige Pegelangabe oder Farbdarstellung.

Die Lärmampel misst über ein integriertes Messgerät die Lautstärke und zeigt diese in folgenden Formen an:

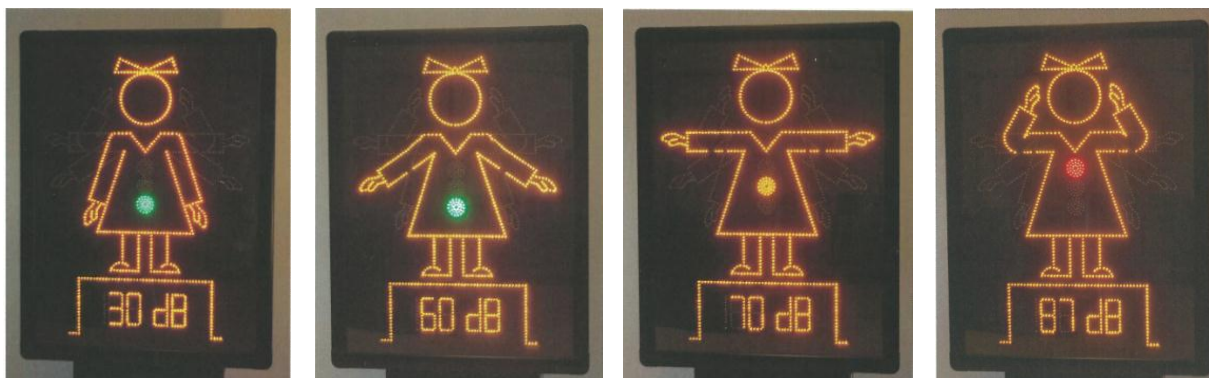


Abbildung 82: Lärmampel zur Darstellung von Lärmpegeln

Die drei Schwellen können vom Anwender individuell eingestellt werden. Lärm wird dadurch sichtbar gemacht, wodurch es dem Lehrkörper leichter möglich ist, die SchülerInnen für diese Thematik zu sensibilisieren. Die SchülerInnen nehmen durch dieses optische Feedback Lärmüberschreitungen bewusst und vor allem unmittelbar wahr, wodurch der Anreiz gegeben ist, den Lärmpegel zu reduzieren. Wesentlich für den Erfolg dieses Systems sind allerdings begleitende pädagogische Maßnahmen, damit die SchülerInnen nicht entgegen dem eigentlichen Zweck den Lärmpegel anheben um die Ampel zu testen. Es ist wichtig die SchülerInnen über die Auswirkungen von Lärm aufzuklären und sie für die Thematik zu sensibilisieren. Zusätzliche Belohnungen wenn die Ampel z.B. nicht öfter wie 2 Mal pro Unterrichtsstunde rot aufleuchtet stellen ggf. einen zusätzlichen Anreiz dar. „OLGA“ wird von der Steirischen Akademie für Licht und Akustik verliehen.

Bei Bedarf können Lärmampeln auch online bezogen werden. Abbildung 83 zeigt ein alternatives Modell.



Abbildung 83: Lärmampel [ONLINE2]

Auch diese schafft durch die angebrachten Smileys den Transport von Emotionen, die Angabe des Pegels in Dezibel ist allerdings nicht möglich. Die Empfindlichkeit dieser Ampel ist in sieben Stufen einstellbar.

6 Anhang A: Ergänzungen zu Kapitel 3

In Anhang A werden ergänzend zum Kapitel 3 nähere Informationen zu den Bereichen Absorptionsgrad, Absorbertypen und Anbringung von Absorbern angeführt. Ebenso befinden sich in diesem Kapitel die Absorberdatenbank des Simulationstools sowie die Kontaktdaten der Hersteller.

A1 Absorptionsgrad

Zur Beschreibung der akustischen Absorptionsfähigkeit eines Materials gibt es den sogenannten Schallabsorptionsgrad α . Wenn eine Fläche den Absorptionsgrad $\alpha = 1$ aufweist, so hat diese die absorbierende Wirkung eines offenen Fensters. Das bedeutet, dass auf Grund der vollständigen Absorption kein Schall reflektiert wird. Wird der Schall vollständig reflektiert wie z.B. durch eine Betonwand, so ist der Absorptionsgrad $\alpha = 0$.

A2 Äquivalente Absorptionsfläche (A)

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche A ist in der DIN 18041 wie folgt definiert:

„Gedachte Fläche mit vollständiger Schallabsorption ($\alpha = 1$), die den gleichen Teil der Schallenergie absorbieren würde, wie die gesamte Oberfläche eines Materials, eines Raumes oder wie Gegenstände und Personen.“²⁵

Das bedeutet, dass beispielsweise ein Quadratmeter Fläche mit dem Absorptionsgrad $\alpha = 0,5$ einer äquivalenten Absorptionsfläche von einem halben Quadratmeter entspricht.

Die zur Sanierung erforderliche Absorberfläche ergibt sich somit aus der äquivalenten Absorptionsfläche die zur Erreichung von T_{soll} nötig ist und dem Absorptionsgrad des verwendeten Materials.

Die äquivalente Absorptionsfläche eines Raumes kann mit folgender Formel ermittelt werden:

$$A_{zus} = 0,163 \cdot V \cdot \left(\frac{1}{T_{soll}} - \frac{1}{T_{ist}} \right) [m^2]$$

V ... Raumvolumen [m^3]

T_{soll} ... Nachhallzeit laut DIN18041 [s]

T_{ist} ... Nachhallzeit laut DIN18041 [s]

A_{zus} ... Äquivalente Schallabsorptionsfläche des Raumes [m^2]

²⁵ Siehe [DIN 18041, S.8]

A3 Absorbertypen

Im Hinblick auf die spektrale Wirksamkeit unterscheidet man Höhenabsorber, Mittenabsorber sowie Tiefenabsorber. Nachfolgend werden die Funktionsprinzipien und der Absorptionsgrad dieser Absorbertypen angeführt.

Höhenabsorber

Höhenabsorber absorbieren vorwiegend im hochfrequenten Bereich ab ca. 500 Hz. Sie sind meist als poröse Absorber ausgeführt, die vorwiegend aus Faser- oder Schaumstoffen gefertigt sind. Die Luft strömt durch die offenen Poren in den Absorber. Diese Reibung erzeugt Wärmeenergie und reduziert somit die Schallenergie, sodass eine Dämpfung erfolgt. Wesentlich bei diesem Absorbertyp ist die Porosität, da diese die Ursache für die Dämpfung ist und nicht die Rauigkeit. Abbildung 84 zeigt den Unterschied zwischen Rauigkeit und Porosität. Der linke sowie der mittlere Absorber weisen eine raue Oberfläche auf, der linke Absorber ist jedoch nicht porös, sodass dort keine Luft eindringen kann. Der rechte Absorber weist im Gegensatz zum mittleren Absorber eine glatte Oberfläche auf, es sind aber beide porös und somit beide absorbierend.

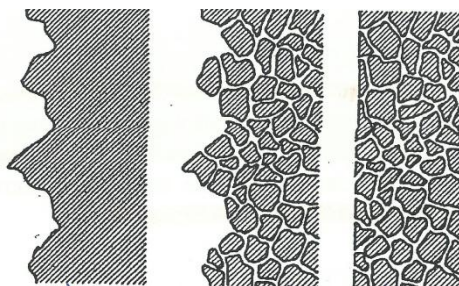


Abbildung 84: Links: Raue Oberfläche, Mitte und Rechts: Poröse Oberfläche [Cremer S.105]

Abbildung 85 zeigt den typischen Verlauf des Absorptionsgrades eines Höhenabsorbers mit unterschiedlicher Anbringung (a: direkt auf die Wand gesetzt, b: auf Lattenrost, 2,2 cm vor der Wand befestigt).

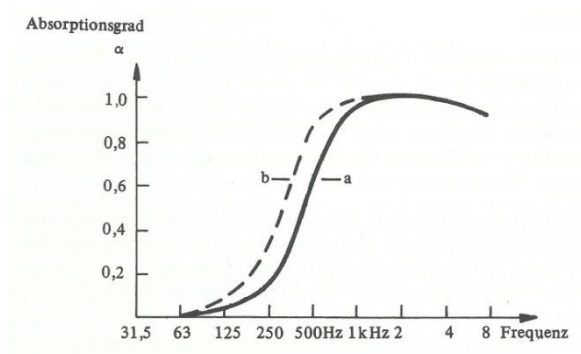


Abbildung 85: Absorptionsgrad einer handelsüblichen Akustikplatte [DICKREITER, S.20]

Mittenabsorber

Durch konstruktive Maßnahmen an Höhenabsorbern wie vergrößerter Wandabstand, größere Schichtdicke oder perforierte Abdeckung des Absorbers wird der wirksame Bereich des Absorbers auf den mittleren Frequenzbereich erweitert. Neben den porösen Absorbern kommen in diesem Bereich auch Lochabsorber, sogenannte Helmholtz-Resonatoren, zum Einsatz. Diese Resonatoren sind ein schwingungsfähiges, luftgefülltes Hohlraumssystem, dessen Funktionsprinzip auf einem akustischen Masse- Feder Prinzip beruht, dass bei der Resonanzfrequenz die stärkste Absorption aufweist.

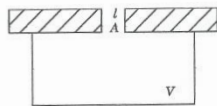


Abbildung 86: Funktionsprinzip des Helmholtz-Resonators [GRABER]

Die Resonanzfrequenz eines Helmholtz-Resonators ist sowohl vom Querschnitt des Halsloches (A), dessen Länge (l) sowie dem dahinterliegenden Volumen abhängig:

$$f_{\text{Res}} = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A}{V \cdot (l + 2\Delta l)}}$$

Abbildung 87 zeigt den typischen Absorptionsverlauf eines Helmholtz-Resonators.²⁶

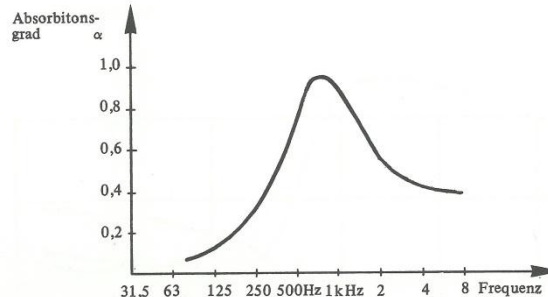


Abbildung 87: Typischer Absorptionsverlauf eines Helmholtz-Resonators [DICKREITER, S.22]

Tiefenabsorber

Tiefenabsorber sind meist als Plattenabsorber ausgebildet und können somit die großen Schallenergien im tieffrequenten Bereich absorbieren. Die Platten des Absorbers werden vor einer Wand montiert und der Zwischenraum mit schalldämpfenden Faserstoffen ausgefüllt. Durch die Schwingung der Platte entsteht eine innere Reibung, die so wie die Dämpfung der bewegten Luft im Fasermaterial, zu einer absorbierenden Wirkung führt. Bei entsprechender Dimensionierung können auch Helmholtz – Resonatoren als Tiefenabsorber eingesetzt werden. Der Vorteil des Plattenabsorbers ist die, im Vergleich zu porösen Absorbern relativ geringe Einbautiefe.

²⁶ Vgl. [DICKREITER1, S.17-24]

Abbildung 88 zeigt exemplarisch den Aufbau eines Plattenabsorbers.



Abbildung 88: Schematische Darstellung eines Plattenabsorbers [GRABER]

Plattenabsorber sind vorwiegend dünne Platten, die durch den Schall angeregt werden und auf Grund der inneren Steifigkeit dem Schallfeld Energie entziehen. Das eingeschlossene Luftvolumen hinter der Platte wirkt wie ein Masse-Feder-System und sorgt somit zusätzlich für Dämpfung sofern der Abstand der Platte vom Bauwerk wesentlich kleiner ist als die Wellenlänge des zu absorbierenden Schalls:

$$d < \left(\frac{\lambda_0}{12} = \frac{28}{f_0} \right)$$

Abbildung 89 zeigt den typischen Absorptionsverlauf eines Tiefenabsorbers (a: Plattenabsorber, b: nicht hinterpolsterte Platte).

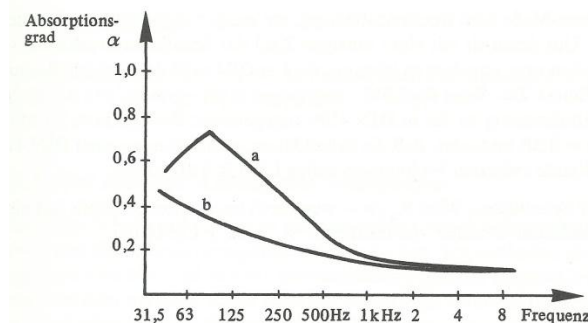


Abbildung 89: Typischer Absorptionsverlauf eines Tiefenabsorbers [DICKREITER, S.23]

Die Nachhallzeit von Klassenräumen aus dem 19. Jhdt. ist meist in allen Frequenzbereichen stark erhöht, besonders aber im tieffrequenten Bereich von 250 Hz bis 1000 Hz.²⁷ Am besten eignet sich für die akustische Sanierung daher eine Kombination aus Mittenabsorber und Tiefenabsorber.

²⁷ Siehe [MÜLLER]

A4 Anbringung von Absorbern

Zusätzlich zur akustisch sinnvollen Positionierung an den Wandflächen nach DIN18041 ist auch der Abstand zur Wand zu betrachten, da dieser einen Einfluss auf das Absorptionsverhalten hat. Auf Grund der Reflexion an der Wand entstehen Stehwellen. An einer schallharten Wand, die komplett reflektiert, ist die Schallschnelle, also die Geschwindigkeit mit der sich die Luftmoleküle um ihre Ruhelage bewegen, null und nimmt mit der Entfernung zur Wand zu.

Bei einer Entfernung von $\lambda/4$ ist die Schallschnelle maximal. Die Effektivität des Absorbers ist in wandnaher Aufstellung also geringer als im Bereich von $\lambda/4$. Um beispielsweise die Absorbierung bei 125 Hz zu optimieren, müsste der Absorber im Abstand von 68 cm montiert werden.

Wie Abbildung 90 zeigt, kann durch den Abstand des Absorbers immer nur ein bestimmter Frequenzbereich optimiert werden, da es für jede Konstellation Wellenlängen gibt, die im Absorberbereich nicht ein Schnelleximum, sondern ein Schnelleminimum haben, wodurch die Dämpfung minimal ist.

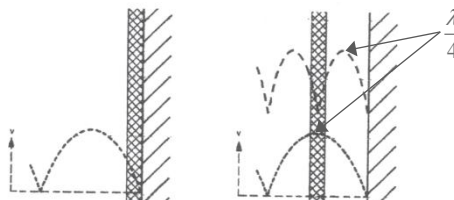


Abbildung 90: Vorschaltung eines Luftpolsters [Cremer, S.137]

A5 Absorberdatenbank und Hersteller bzw. Montagefirmen

Tabelle 17: Absorberdatenbank

Typ	Absorbername	Farbe	Dicke [mm]	L x B [mm]	Fase	Abstand [mm]	Absorptionswerte je Frequenz						Preis/m ² [€]	Hersteller
							125	250	500	1000	2000	4000		
WE	Plano	weiß	40	1250 x 625	Nein	0	0,33	0,42	0,88	0,98	0,98	0,98	28,00	Ziegler
WE	Plano	weiß	40	1250 x 625	Ja	0	0,33	0,42	0,88	0,98	0,98	0,98	30,80	Ziegler
WE	Plano	weiß	50	1250 x 625	Nein	0	0,30	0,58	0,90	0,90	0,90	0,90	34,00	Ziegler
WE	Plano	weiß	50	1250 x 625	Ja	0	0,30	0,58	0,90	0,90	0,90	0,90	38,00	Ziegler
WE	Basotect	grau	50	1000 x 500	Nein	0	0,22	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	27,80	Schaumstofflager.de
WE	Holzämmplatte Holzflex040	x	80	1220 x 580	x	0	0,18	0,43	0,86	0,96	0,88	0,88	9,00	Homatherm
WE	Holzämmplatte Holzflex040	x	40	1220 x 580	x	0	0,10	0,21	0,42	0,81	0,78	0,78	4,50	Homatherm
WE	Spanplatte	x	4	2800 x 2070	x	50	0,30	0,20	0,15	0,10	0,08	0,10	6,00	Peham
WE	Spanplatte (mit Steinwolle)	x	4	2800 x 2070	x	50	0,20	0,40	0,20	0,10	0,08	0,10	11,00	Peham
WE	Spanplatte	x	8	2800 x 2100	x	50	0,46	0,24	0,04	0,01	0,01	0,01	4,00	Peham
WE	Steinwollmatte (Feuerschutz)	x	50	1200 x 625	x	250	0,68	0,76	0,89	0,97	1,00	1,03	38,00	Knaufinsulation
DS	Deckensegel ohne Rahmen	weiß	50	2450 x 1200	Nein	300	0,35	0,79	1,00	1,00	1,00	1,00	74,49	Schaumstofflager.de
DS	Deckensegel mit Rahmen	weiß	40	3000 x 1250	Nein	300	0,30	0,77	1,10	1,40	1,40	1,20	80,00	Ziegler
DS	Deckensegel mit Rahmen	weiß	40	2500 x 1250	Nein	300	0,30	0,77	1,10	1,40	1,40	1,20	86,00	Ziegler
DS	Holzämmplatte Holzflex040	x	80	1200 x 625	x	0	0,18	0,43	0,86	0,96	0,88	0,88	9,00	Homatherm
DS	Steinwollmatte (Feuerschutz)	x	30	1200 x 625	x	270	0,72	0,78	0,89	0,93	0,97	1,03	7,00	Knaufinsulation

Legende: WE Wandelement; DS Deckensegel

Hersteller von Absorbern	Firmen für die Montage von Absorbern
<p><u>Fa. Ziegler Schallschutz GmbH</u> Freyweg 12; 5101 Bergheim bei Salzburg E - Mail: office@ziegler-schallschutz.at Telefon: +43 (662) 454580 Kontaktperson: Hr. Sadin Jahic; jahic@ziegler-schallschutz.at</p>	<p><u>Fa. Allclick Austria GmbH</u> Wiener Straße 100; 2511 Pfaffstätten E- Mail: office@allclick.at Tel.: 02252/49 001-0 Kontaktperson: Hr. Rene Jandl, Rene.Jandl@allclick.at</p>
<p><u>Schaumstofflager (Web)</u> Pestalozzistr.54; 86420 Diedorf E - Mail: ervice@schaumstofflager.de</p>	<p><u>Fa. Ruckenstuhl GmbH</u> Reichsstraße 50; 8430 Leibnitz E-Mail: office@ruckenstuhl-gmbh.at Tel. 03452/74 050; Handy 0664/101 17 44</p>
<p><u>Fa. Homatherm GmbH</u> Ahornweg 1; D-06536 Berga E-Mail: info@homatherm.com Telefon: +49 / 34651 416 – 0</p>	<p><u>Fa. Wolf Hubert Ges.m.b.H.</u> Sulmstraße 5; 8551 Wies E-Mail: maler.wolf@utanet.at Tel. 03465/24 05</p>
<p><u>Fa. KnaufInsulation</u> Industriestraße 18; A-9586 Fürnitz E-Mail: office@knaufinsulation.at Telefon: +43 4257 3370-0</p>	<p>Handy 0699/101 11 664</p>
<p><u>Fritz Peham GesmbH</u> Pebering Straß 11-13; 5301 Eugendorf E-Mail: office@pehamholz.at Tel +43 (0) 6225 2656</p>	

7 Anhang B: Ergänzungen zu Kapitel 4

In Anhang B werden ergänzend zum Kapitel 4 die Definitionen der akustischen Parameter sowie theoretische Hintergründe zur Messung dieser Parameter angeführt.

B1 Definition der akustischen Parameter

Nachhallzeit (T)

Einer der Indikatoren für die akustische Güte eines Raumes ist die Nachhallzeit. Die Nachhallzeit ist jene Dauer, die zwischen dem Abschalten der Quelle (Lautsprecher z.B.) und dem Zeitpunkt, an dem die räumliche Schallenergiedichte um 60 dB abgenommen hat, vergeht. Sie wird in Sekunden angegeben und mit T bezeichnet.²⁸

Der Sollwert für die Nachhallzeit eines Raumes wird laut DIN18041 nach folgender Formel berechnet:

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

Für einen typischen Klassenraum mit ca. 200 m³ beträgt T_{soll} also 0,57 s. Neben dem Sollwert sieht die DIN 18041 für Unterricht und Sprache auch ein Toleranzband vor, in dem sich die Nachhallzeit befinden soll. Wie in und Abbildung 91 dargestellt, beträgt dieser anzustrebende Bereich +/- 20% vom Sollwert in den Oktavbändern von 250Hz bis 2000Hz. Für einen typischen Klassenraum von 200 m³ sieht das Toleranzband wie folgt aus:

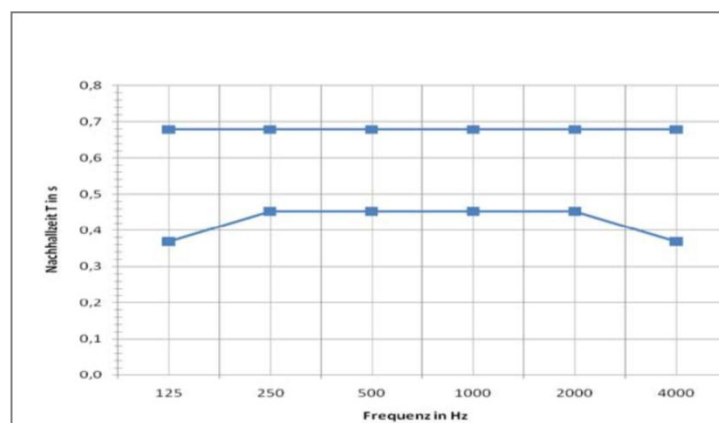


Abbildung 91: Exemplarisches Toleranzband der Nachhallzeit nach DIN 18041

²⁸ Siehe [OENORM EN ISO 9921]

Artikulationsverlust (Al_{cons})

Der Artikulationsverlust gesprochener Konsonanten, nach Peutz²⁹ und Klein³⁰, ist ein Kriterium für die Verständlichkeit von Sprache. Wie man der nachfolgenden Formel entnehmen kann, steigt der Artikulationsverlust mit steigender Nachhallzeit und steigender Entfernung zwischen Schallquelle und Hörer.

$$Al_{cons} \approx 0,652 \cdot \left(\frac{r_{LH}}{r_R} \right)^2 \cdot T \quad \text{bzw.} \quad Al_{cons} = 200 \cdot \frac{r_{LH}^2 \cdot T^2}{\gamma \cdot V}$$

T Nachhallzeit in s

r_{LH} Abstand Schallquelle –Hörer in m

$r_R \approx \sqrt{\gamma \cdot r_H}$ Richtentfernung in m

$r_H = 0,057 \cdot \sqrt{\frac{V}{T}}$ Hallradius in m

γ Bündelungsgrad der Schallquelle

Folgende Wertebereiche gelten für die Verständlichkeit:

- $Al_{cons} < 2\%$ ideale Verständlichkeit
- $2\% < Al_{cons} < 7\%$ gute Verständlichkeit
- $7\% < Al_{cons} < 20\%$... befriedigende Verständlichkeit
- $20\% < Al_{cons}$ unbrauchbare Verständlichkeit

Sprachübertragungsindex (STI)

Sprachverständlichkeit wird nicht nur vom Nachhall und den Störgeräuschen, sondern auch von unterschiedlichsten Signalveränderungen am Weg vom Sender zum Empfänger beeinflusst. Diesem Phänomen wird beim sogenannten Speech Transmission Index (STI) Rechnung getragen. Der STI wird laut ÖNORM EN ISO 9921³¹ in folgende Bereiche eingeteilt:

- 0 bis 0,3..... schlecht, bad
- 0,3 bis 0,45... schwach, poor
- 0,45 bis 0,6.... angemessen, fair
- 0,6 bis 0,75.... gut, good
- 0,75 bis 1..... ausgezeichnet, excellent

Der STI sinkt mit steigender Nachhallzeit.

²⁹ [PEUTZ]

³⁰ [KLEIN]

³¹ [ÖNORM EN ISO 9921]

B2 Messung der akustischen Parameter

Um die akustischen Parameter eines Raumes ermitteln zu können, bedarf es der Messung der sogenannten Raumimpulsantwort.

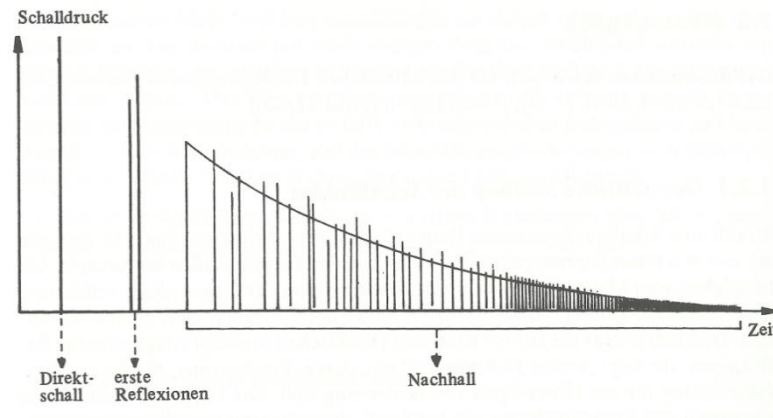


Abbildung 92: Raumimpulsantwort [DICKREITER]

Die Raumimpulsantwort, wie in Abbildung 92 dargestellt, ergibt sich auf Grund der Anregung des Raumes mit einem Signal. Zuerst trifft der Direktschall beim Hörer ein, anschließend die frühen Reflexionen und danach die späten Reflexionen. Dieser, für jeden Raum individuelle Verlauf des Schalldruckes nach Abschalten der Signalquelle, wird als Raumimpulsantwort bezeichnet und ist sozusagen der akustische Fingerabdruck jedes Raumes, der als Basis für weitere Berechnungen dient.

Für die Messung der Raumimpulsantwort ist die Auswahl des passenden Anregungssignals wesentlich. Wichtig ist, dass das Signal alle Frequenzen beinhaltet und eine hohe Energie hat, um den Raum ausreichend anzuregen. Man erreicht dies z.B. durch einfache Mittel, wie einem Pistolenschuss oder dem Zerplatzen eines Luftballons. Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, wird allerdings empfohlen, die Anregung des Raumes durch Abspielen eines Signals über einen Lautsprecher zu realisieren. Mögliche Signale für die Anregung des Raumes sind der sogenannten Exponential Sweep oder MLS. Der Exponential Sweep oder auch Gleitsinus genannt, ist ein fortlaufendes Sinussignal, dass über die Zeit exponentiell frequenzmoduliert wird. Das bedeutet, dass in einer bestimmten Zeit alle Frequenzen durchlaufen werden weshalb man einen aufsteigenden Ton hört. MLS ist ein periodisches pseudo-statistisches Rauschen. Pseudostatistisch heißt, dass die Frequenzen des Signals nicht zufällig, sondern reproduzierbar sind. Da der Exponential Sweep praktische Vorteile gegenüber MLS aufweist, wird empfohlen, diese Signalart für die Messung zu verwenden. Für nähere Informationen zu diesen Signalarten wird auf die Diplomarbeit von Reithner verwiesen.

B3 Berechnungsformeln im Simulationstool

Formel für die ermittelte Sollnachhallzeit: $T_{soll} = (0,32 \log\left(\frac{V}{m^3}\right) - 0,17) s$

Die Simulation der Nachhallzeit des leeren Zustandes (T_{leer}), des besetzten Zustandes ($T_{besetzt}$) sowie des sanierten Zustandes erfolgt an Hand folgender Formeln:

$$T_{leer} = \frac{0,163 \cdot T_{besetzt} \cdot V}{-A_{Schüler} \cdot T_{besetzt} + 0,163 \cdot V}$$

$$T_{besetzt} = \frac{0,163 \cdot T_{leer} \cdot V}{A_{Schüler} \cdot T_{leer} + 0,163 \cdot V}$$

$$T_{sim} = \frac{0,163 \cdot T_{leer} \cdot V}{(A_{Schüler} + A_{zus}) \cdot T_{leer} + 0,163 \cdot V}$$

$A_{Schüler}$ bezeichnet die äquivalente Absorptionsfläche der SchülerInnen. Diese Werte wurden im Zuge der Diplomarbeit wie folgt ermittelt:

Tabelle 18: Äquivalente Absorptionsfläche eines Schülers

Äquivalente Schallabsorptionsfläche A [m ²] je Frequenzband					
125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1000 [Hz]	2000 [Hz]	4000 [Hz]
0,32	0,41	0,55	0,68	0,78	0,78

Die zur Erreichung der Sollnachhallzeit erforderliche äquivalente Absorptionsfläche wird an Hand folgender Formel berechnet:

$$A_{zus} = 0,163 \cdot V \cdot \left(\frac{1}{T_{soll}} - \frac{1}{T_{ist}} \right) [m^2]$$

Die simulierten Werte von %Alcons nach der Sanierung werden an Hand folgender Formeln berechnet:

$$Al_{cons} \approx 200 \cdot \frac{r_{LH}^2 \cdot T_{sim}^2}{\gamma \cdot V}$$

$$\gamma \approx 200 \cdot \frac{r_{LH}^2 \cdot T_{leer}^2}{V \cdot Al_{cons_{leer}}}$$

Da der Bündelungsgrad unabhängig vom Besetzungszustand des Raumes ist, kann γ an Hand der Messwerte des leeren Zustandes berechnet werden. r_{LH} bezeichnet den Abstand von Schallquelle zu Hörer und wird in dieser Formel entsprechend der Klassenraumgröße mit einem Mittelwert von 3 Meter festgelegt.

STI wird für den sanierten Zustand an Hand folgender Formel berechnet:

$$STI = -0,1845 \cdot \ln(\% Al_{cons_{sim}}) + 0,9842$$

8 Anhang C: Sponsorenpräsentation

Umfragen der österreichischen Kooperation „ARGE Zuhören“, als auch der Universität in Bremen und eines Arbeitskreises des staatlichen Schulamtes in Darmstadt ergaben, dass der Lärm in den Klassenräumen signifikant häufig als zu laut empfunden wird und dass dies ein wesentlicher Belastungsfaktor im Lehrberuf ist. Neben dem Grundgeräuschpegel des Innen- und Außenbereiches, der Anzahl und dem Alter der SchüleInnen sowie den pädagogischen Fähigkeiten des Lehrkörpers ist vor allem die hohe Nachhallzeit ein wesentlicher Faktor für den belastenden Lärmpegel in den Klassenräumen.

Ein zu hoher Lärmpegel hat laut WHO zahlreiche psychische und sogar physische Auswirkungen:

- Lärmbedingte Hörschäden
- Interferenz mit der Sprachkommunikation
- Kardiovaskuläre und physiologische Effekte
- Psychische Gesundheitseffekte
- Leistungsbeeinträchtigungen

Sind LehrerInnen oder SchülerInnen dauerhaft einem zu hohen Lärmpegel ausgesetzt, so ist der Lärm ein Belastungsfaktor bzw. ein sogenannter Stressor, welcher unter anderem zu folgenden psychonervalen und vegetativen Reaktionen führen kann:

- Aufmerksamkeits-, Konzentrationsverlust
- Beeinträchtigung der Handlungsregulation
- Herzfrequenz/- sowie Blutdruckanstieg
- Schlafstörungen
- Erhöhung des Muskeltonus

Neben diesen psychischen und physischen Auswirkungen gibt es noch einen weiteren Bereich, der durch Lärm mittlerer Intensität, wie dies in Klassenräumen der Fall ist, beeinträchtigt wird. Die auditive Wahrnehmung ist mit dem Kurzzeitgedächtnis verbunden, was zu einer unmittelbaren Beeinflussung der kognitiven Leistung führt. Vor allem Vor- und Grundschüler sind davon betroffen und haben dadurch Probleme das Gesagte richtig zu verstehen, zu verarbeiten sowie zu behalten. Je größer die Anstrengungen für das akustische Verständnis sind, desto weniger Aufmerksamkeit können die SchülerInnen dem Inhalt entgegenbringen.

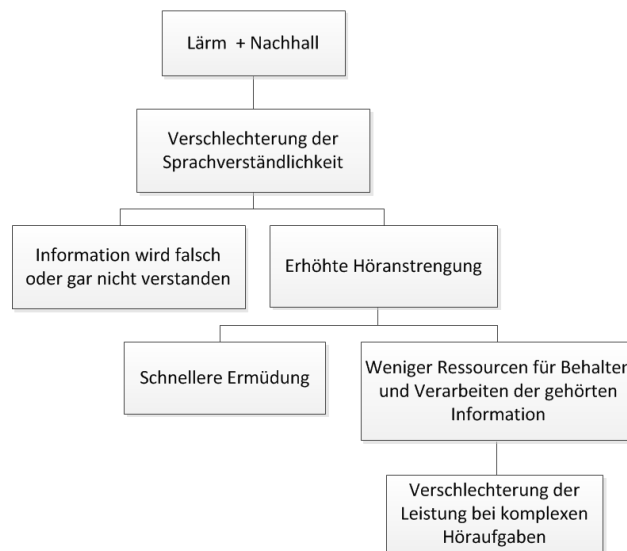


Abbildung 1: Wirkungen von Lärm und Nachhall auf das Hörverstehen

Die Messungen in unserem Schulgebäude ergaben, dass die Nachhallzeit in sämtlichen Räumen deutlich außerhalb der Sollwerte nach DIN18041 liegt. Abbildung 2 zeigt exemplarisch an Hand eines Raumes, dass die Sollnachhallzeit im gesamten Frequenzbereich außerhalb des Toleranzbereiches liegt und im tieffrequenten Bereich sogar um mehr als das Doppelte überschritten wird.

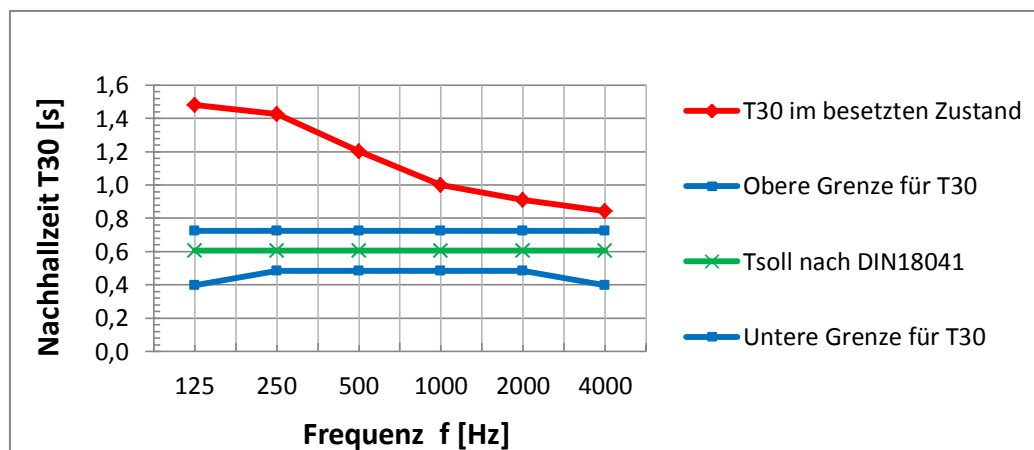


Abbildung 2: Messung der Nachhallzeit in Raum005

Nur durch eine akustische Sanierung können wir die psychischen und physischen Auswirkungen auf Grund von zu hohem Lärm vermindern und dadurch eine schulische Ausbildung auf dem von der Wirtschaft geforderten, hohem Niveau sicherstellen. Durch einen an der TUG erstellten Leitfaden zur akustischen Sanierung von Klassenräumen ist es uns möglich, selbständig eine Grobsanierung durchzuführen und dadurch im Vergleich zur Komplettsanierung durch den Fachbetrieb bereits Kosten einzusparen. Dennoch werden pro Klassenraum ca. 2000.- für die Materialkosten und die Montage der Absorber benötigt. Ihre finanzielle Unterstützung würde einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des Arbeitsumfeldes von SchülerInnen und LehrerInnen beitragen.

9 Literaturverzeichnis

- [AIÖ1] Arbeitsinspektion Österreich. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Arbeitsstätten, Lärm Überblick. [Online] 2006.
- [ARTALABS] Artalabs, [Online].: <http://www.artalabs.hr/>
- [ARGE] Arbeitsgemeinschaft: Chibici B., Hotter E., Zollneritsch J.
[http://www.zuhoeren.at\(2009\)](http://www.zuhoeren.at(2009))
- [CREMER] CREMER: *Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik*, Band 1 und 2, Hirzel, 1978
- [CHIBICI] CHIBICI BERND: *Die Lärmspirale*. Vom Umgang mit einer immer lauterem Welt. Verlagshaus der Ärzte GmbH, Wien 2007.
- [DIN 18041] DIN 18041. 2004: *Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen*.: Deutsches Institut für Normung, 2004.
- [DICKREITER] DICKREITER M.: *Handbuch der Tonstudioteknik*. Bd.1 Raumakustik, Schallquellen, Schallwahrnehmung, Schallwandler, Beschallungstechnik, Aufnahmetechnik, Klanggestaltung.- 6., verb. Aufl.-1997.
- [EN 13501-1] EN 13501-1. 2007: *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten*.: Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2005.
- [FUCHS] FUCHS H.V.: *Schallabsorber und Schalldämpfer. Innovative akustische Konzepte und Bauteile mi praktischen Anwendungen in konkreten Beispielen*.3.,wesentlich erweiterterte und aktualisierte Auflage, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2010
- [HOTTER, ZOLLNERITSCH] HOTTER E., ZOLLNERITSCH J.: *Lärm in der Schule*.: Leykam Buchverlagsgesellschaft m.b.H.Nfg. & Co KG, Graz 2008.
- [KLATTE] KLATTE M., JANOTT C.: *Zur Bedeutung der Sprachverständlichkeit in Klassenräumen. Eine Untersuchung mit Grundschulkindern*, in: Huber L., Kahlert J. und Klätte M.: *Die akustisch gestaltete Schule. Auf der Suche nach dem guten Ton*. Verlag Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen 2002.
- [KLEIN] KLEIN W.: *Articulation loss of consonants as a basic for the design and judgment of sound reinforcement systems*. J. Audio Eng. Soc. 19 (1971) 11, S. 920-922.

- [MATELJAN] MATELJAN IVO: *User Manual for Arta*. Version 1.7.0, Electroacustics Laboratory at the Faculty of Split, Croatia, December 2010
- [MÜLLER] MUELLER MAURICE.: *Klassenraumakustik*.: Diplomarbeit von Dipl. Ing. Maurice Müller, Institut für Breitbandkommunikation der Technischen Universität Graz, September 2009
- [OBERDOERSTER] OBERDOERSTER M., TIESLER G.: *Akustische Ergonomie der Schule*.(Hrsg.):Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).: Wirtschaftsverlag NW, Dortmund - Berlin - Dresden 2006.
- [OENORM EN ISO 9921] OENORM EN ISO 9921: *Ergonomie – Beurteilung der Sprachkommunikation*.: Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2003.
- [OENORM EN ISO 3382-2] OENORM EN ISO 3382-2. 2008: *Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik. Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen*.: Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2008
- [OENORM B 3806-1] OENORM B 3806-1. 2005: *Anforderungen an das Brandverhalten von Bauprodukten und Baustoffen*.: Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2005.
- [PEUTZ] PEUTZ V. M. A.: *Articulation loss of constants as a criterion for speech transmission in a room*, J. Audio Eng. Soc. 19 (1971) 11, S. 915-919.
- [SCHAUMSTOFFLAGER] www.schaumstofflager.de
- [SCHICK] SCHICK A., KLATTE M., SCHMITZ A.: *Lärminderung in Schulen, Umwelt und Geologie*. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg.], Wiesbaden 2007. Bd. Heft 4.
http://www.hlug.de/medien/laerm/dokumente/Laermschutz_Heft_4.pdf
- [SONATECH] <http://www.sonatech.de/>
- [TIESLER] TIESLER G.: *Die Last mit dem Lärm - Arbeitsalltag von Lehrern und Schülern*, in: DAGA Fortschritte der Akustik 2005
- [WHO] *Guidelines for community noise*. Gen 1999. [online]
<http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>
<http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>