Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Akustik im Schulbau

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer Diplom-Ingenieurin unter der Leitung von

Ao. Univ. Prof. DI Dr. techn. Caroline Jäger-Klein

e251 Institut für Kunstgeschichte, Bauforschung und Denkmalpflege
e251-1 Baugeschichte und Bauforschung

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von
Verena Profanter
Matr. Nr.: 0831521

Wien, am 30.09.2015

KURZFASSUNG

Untersucht wird mit dieser Diplomarbeit die Akustik im Schulbau anhand einer ehemaligen Knabenschule aus der Gründerzeit und dem Schulzubau aus den 90er Jahren für sehbeeinträchtigte Kinder in der Zinckgasse im 15. Wiener Gemeindebezirk.
Zu Beginn wird ein Überblick über die Entwicklung im Schulbau unter besonderer Berücksichtigung der Akustik von 1900 ausgehend gegeben.
Im darauffolgenden Kapitel sollen die physischen, sowie psychischen Auswirkungen des Lärms auf Schüler und Lehrer aufgezeigt werden.
Im Anschluss daran, werden neben den wichtigsten bau- und raumphysikalischen Begriffen die aktuellen raumakustischen Richtlinien im Schulbau aufgezeigt. In einem praktischen Teil sollen anhand von Messungen im Alt- und Neubau der Schule in der Zinckgasse, die akustischen Raumeigenschaften ermittelt und analysiert werden.
Das abschließende Kapitel gibt einen kurzen Einblick über verschiedene Möglichkeiten zur Verbesserung der Raumakustik und zeigt mittels angeführten Beispielschulen, welche akustisch innovativen Raumkonzepte heutzutage möglich sind.

This master thesis analyses the acoustics in school buildings, using the example of the European elementary school "Dr. Leopold Zechner" and the annex school building for visually handycapped children in Vienna in the 15th district.
The first chapter describes the development of school buildings from the 19th century until today, implying the subject of the acoustics.
In addition to that, the focus is held to the physical and mental influences which can result from bad room acoustics in schools.
The following chapter defines fundamental physical definition of room acoustics and presents the current state of the acoustic development of school buildings. In addition to that, acoustic measurements are realized and analysed in the example school.
The final part provides a small insight in possible innovative arrangements for improving the acoustics in school buildings, with the aid of two new example schools.

ABSTRACT

Für meine Eltern

AKUSTIK IM SCHULBAU

INHALTS-VERZEICHNIS

EINLEITUNG 8

1 ENTWICKLUNG IM SCHULBAU

Seit der Gründerzeit bis heute, unter besonderer Berücksichtigung der Akustik

1.1 Anfänge im öffentlichen Schulbau 15
1.1.1 Mustergültige Normen entstehen 15
1.1.2 Die Akustik im Klassenraum der Gründerzeit 18
1.1.3 Die Rolle der Schule aus pädagogischer Sicht 19

1.2 Die Entwicklung des Schulbaus von 1918 bis 1945 21
1.2.1 Neue pädagogische Tendenzen entstehen 21
1.2.2 Neue bauliche Anforderungen entstehen 22
1.2.3 Die Akustik im Schulbau von 1918 bis 1945 24

1.3 Der Schulbau in den 50er und 60er Jahren 27
1.3.1 Pädagogische Forderungen erweitern sich 27
1.3.2 Neue bauliche Forderungen entstehen 28
1.3.3 Neue Schulbautypen entstehen 29
1.3.4 Die Akustik im Schulbau der 50er und 60er Jahre 33

1.4 Die neue Bauweise in den 70er Jahren 37
1.4.1 Eine neue Bauweise entsteht 37
1.4.2 Die Beispielschule in Wörgel im Wandel der Zeit 38
1.4.3 Akustische Probleme der Fertigteilbauweise 41

1.5 Der Schulbau in den 90er Jahren bis heute 43
1.5.1 Beispiel eines Zubaus im innerstädtischen Bereich in Wien 43
1.5.2 Beispiel eines Neubaus am Wiener Hauptbahnhof 46
1.5.3 Die Akustik im Schulbau aktuell 48

2 LÄRM IN DER SCHULE

Ursachen, Zusammenhänge und die Auswirkungen auf Schüler und Lehrer

2.1 Ursachen und Wirkungen des Lärms 53
2.1.1 Ursachen- wie Lärm entsteht 53
2.1.2 Allgemeine Auswirkungen des Lärms auf die Gesundheit 55

2.2 Schüler und Lärm im Klassenraum 57
2.1.1 Auswirkungen des Lärms auf die Leistung der Schüler 57
2.1.2 Studie der ARGE Zuhören 61

2.3 Lehrer und Lärm im Klassenraum 65
2.3.1 Auswirkungen des Lärms auf die Lehrpersonen 65
2.3.2 Studie der ARGE Zuhören 67

3 (RAUM)AKUSTIK IN THEORIE UND PRAXIS

Normen, Gesetze und Richtlinien

3.1 Begriffe der (Raum)Akustik 79
3.1.1 Was ist Schall? 79
3.1.2 Nachhallzeit 81
3.1.3 Schallabsorption 85
3.1.4 Exkurs in die Psychoakustik- Lautstärkeempfinden 89

3.2 Normen der Raumakustik- Richtlinien & Organisationen 91
3.2.1 Internationale Organisation für Normung- DIN EN ISO 3382 92
3.2.2 Deutsche Industrie Norm- DIN 18041 93
3.2.3 Österreichische Norm- ÖNORM B8115 93
3.2.4 Österreichisches Institut für Bautechnik- OIB 94
3.2.5 Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau- ÖISS 94

3.3 Messungen der Raumakustik- Theorie 95
3.3.1 Messverfahren der integrierten Impulsantwort und Messequipment 95
3.3.2 Messpositionen am Beispiel in der Zinckgasse 96

3.4 Ergebnisse der Messungen- Praxis 99
3.4.1 Ergebnisse und Analyse der Messungen in den Klassen des Altbaus 101
3.4.2 Ergebnisse und Analyse der Messungen in den Klassen des Neubaus 117
3.4.3 Ergebnisse und Analyse der Messungen in den Gangbereichen des Alt- und Neubaus 127

4 MASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG

Vorschläge und Beispiele

4.1 Die Absorption des Schalls 135
4.1.1 Schallabsorberarten 136
4.1.2 Positionierung von Schallabsorbern 140
4.1.3 Hutter Acustix als führendes Unternehmen 142

4.2 Maßnahmen im Gangbereich des Altbaus des ÜSPZ 145

4.3 Mit gutem Beispiel voran 147
4.3.1 Volksschule in Mönichwald 147
4.3.2 Volksschule in Erding 151

Schlussbemerkung 156

Abbildungsverzeichnis 160

Literaturverzeichnis 164

Anhang A Ergebnisse der Umfrage 168
Anhang B Ergebnisse in Zahlen 190
Anhang C Planmaterial 200

EINLEITUNG

Die Schule stellt nach wie vor eine der wichtigsten Komponenten der Erziehung Wissensvermittlung dar. Nicht ohne Grund wird kontinuierlich versucht, neue pädagogische und organisatorische Konzepte zu schaffen um das Bildungssystem zu modernisieren.
Die teilweise großen Defizite der schulischen Leistungen der Kinder, wie unter anderem die Pisastudie zeigt, resultieren jedoch nicht nur aus dem Bildungssystem selbst, sondern stehen ebenso mit den baulichen und bautypologischen Beschaffenheiten des Schulgebäudes in Zusammenhang. Ein Großteil der Kinder wird in Schulbauten aus früheren Epochen, wie beispielsweise aus der Gründerzeit unterrichtet. Die heutzutage besonders beliebten freien und offenen Unterrichtsmethoden sind aufgrund der längst überholten traditionellen Raumgeometrie nicht immer zielführend oder gar möglich. Anstelle von funktionierenden Gruppenarbeiten und selbstständig arbeitenden Kindern entstehen teilweise ein hoher Lärmpegel und Chaos, welches auf die destruktive Verhaltensweise der Kinder und eine dadurch herbeigeführte Resignation der Lehrer zurückgeführt werden kann. Als einer derr Hauptgründe hierfür, kann die mangelnde akustische Beschaffenheit der Klassenräume und der restlichen Räumlichkeiten gesehen werden.
Dabei stellt sich die Frage, welche weiteren Auswirkungen eine schlechte Raumakustik im Schulbau mit sich bringt und welche Maßnahmen zur Verbesserung dieser Situationen getroffen werden können. Mit diesen und weiteren Aspekten beschäftigt sich die vorliegende Diplomarbeit. Hauptziel ist es, Architekten über die Notwendigkeit einer guten Klassenraumakustik aufmerksam zu machen und in Lehrern, Schülern und Eltern eine Sensibilisierung zur Lärmproblematik an Schulen zu wecken.

In einem umfassenden Kapitel zu Beginn wird ein historischer Überblick zur Schulbauentwicklung von der Gründerzeit bis heute gegeben. Dieser zeitliche Rahmen wird deshalb gewählt, da sich der Schulbau hauptsächlich mit dem Aufkommen des Reichsvolksschulgesetzes von 1869 und dem damit verbundenen Schulzwang stetig weiterentwickelte. Hinzu kamen etliche bauliche Bestimmungen, die im Zuge des Ministerialerlasses von 1873 vom österreichischen Ingenieur- und Architektenverein veröffentlicht wurden. Diese stetig überarbeiteten Vorgaben bzw. Bauweisen werden in dieser Diplomarbeit unter besonderem Fokus der Akustik, anhand von verschiedenen Bautypologien aufgezeigt. Von diversen Architekten, wie Carl Hinträger (1859, 1913) und Gustav Behnke (1837, 1919), wurden bereits in jüngster Zeit Vorschläge zur notwendigen akustischen Beschaffenheit eines Klassenraums getätigt. Einen guten Einblick darüber geben, neben weiteren Publikationen, Hinträgers Buch „Der Bau und die innere Einrichtung von Schulgebäuden für öffentliche Volks- und Bürgerschulen". Dabei wird zu Beginn dieser Diplomarbeit bewusst auf Quellen der damaligen Zeit zurückgegriffen, diese jedoch rein als historische Überlieferung herangezogen.
Legt man den Fokus auf Institutionen, die sich mit dem Schulbau beschäftigten, sei an dieser Stelle eine seit 1964 auf nationaler Ebene gegründete und noch heute tätige Organisation zu erwähnen, das Österreichische Institut für Schul- und Sportstättenbau, kurz ÖISS genannt. Unter den Aufgabenbereichen dieser Einrichtung fällt neben der Beratung von Bauherren, Planern und Betreibern von Schulen die Erstellung und

Überarbeitung von Normen auf nationaler sowie europäischer Ebene. In regelmäßigen Abständen veröffentlicht das ÖISS allgemein gültige Grundlagen wie Richtlinien und Empfehlungen für die Planung und den Bau bzw. den Betrieb von Schulen, Sport und Freizeitanlagen. Die seit 2012 gültige Ausgabe zu akustischen Anforderungen in Schulgebäuden kann als eine Art Sammlung von Richtwerten und Normen zum baulichen und raumakustischen Schallschutz gesehen werden.
Dabei werden sowohl in der Bau- als auch in der Raumakustik Schallvorgänge in Räumen bzw. in Gebäuden jeglicher Art beschrieben. Während sich die Raumakustik hauptsächlich mit Fragen der Schallausbreitung in Räumen befasst, werden im Aufgabenbereich der Bauakustik Maßnahmen für den Schallschutz gesucht, die jedoch bereits im Planungsprozess mit einfließen sollten. In vorliegender Diplomarbeit wird der Fokus hauptsächlich auf die Raumakustik im Schulbau gelegt. Der Zugriff zu den verwendeten Normen wurde von der Bibliotheksabteilung der TU Wien ermöglicht.
Mit einer Reihe von pädagogischen Fragen zu diesem Aspekt beschäftigt sich hauptsächlich die auf nationaler Ebene tätige ARGE Zuhören, welche vom Lärm- und Hörexperten Bernd Chibici gegründet wurde. Zu ihren weiteren Mitgliedern zählen Stress- und Burnout Spezialist Erich Hotter und Pädagogik Experte Josef Zollneritsch. Im Zuge einer Schüler- und Lehrerbefragung zur Lärmproblematik an Schulen wurde von Hotter und Zollneritsch im Jahr 2008 das Buch „Lärm in der Schule - ein Arbeitsbuch" veröffentlicht, in dem sämtliche Ergebnisse dieser Befragung ausgewertet und erläutert wurden. Hauptziel dieser Publikation war es, das Bewusstsein für die Thematik „Lärm in Schulen" zu erwecken und die zahllosen Verbesserungsvorschläge der Teilnehmer zu veröffentlichen.
Eine weitere wichtige Veröffentlichung „Die akustisch gestaltete Schule - auf der Suche nach dem guten Ton" wurde im Jahr 2002 von Grundschulpädagogin Ludowika Huber, Dr. Joachim Kahlert und Psychologin Dr. Maria Klatte verfasst. Darin wird ein Bogen zwischen den vorhin erwähnten bauphysikalischen sowie pädagogischen Aspekten gespannt.

In dieser Diplomarbeit wird das Hauptziel verfolgt, die Akustik in Schulgebäuden anhand von pädagogischen und bauphysikalischen Standpunkten zu erforschen. Dabei sollen nicht nur Lehrer, Schüler und Eltern auf pädagogischer Ebene angesprochen werden, sondern vor allem auch Architekten und Bauherren auf die enormen Auswirkungen einer schlechten Schulbauakustik aufmerksam gemacht werden. Zudem soll ergründet werden, inwiefern verschiedene Schulbautypologien, Unterrichtsmethoden und akustische Raumeigenschaften voneinander abhängig sind.
Anhand einer ausgewählten Volks- und Hauptschule im 15. Wiener Gemeindebezirk in der Zinckgasse werden sämtliche bereits erwähnten Aspekte der Raumakustik erforscht und analysiert. Die Schule besteht aus insgesamt drei Bauteilen, die sich auch teilweise aufgrund der unterschiedlichen Bauepochen optisch voneinander abheben. Der erste Bauteil der heutigen Hauptschule wurde unter der Leitung des damaligen Bürgermeisters Raimund Grübl als Volks- und Bürgerschule für Knaben geplant und im Jahr 1894 eröffnet. Die zweihüftige, mechanische Aneinanderreihung der rechteckigen Klassenräume entlang eines dunklen Ganges war für die damalige Zeit ein gängiges Standardmodell. Ebenso auffallend sind deren stringent durchgezogenen Abmessungen von einer Länge bis zu 10 m und einer Tiefe von maximal 7 m, die sich aufgrund der durchschnittlichen Sehweite der Kinder bis zu 8 m und der maximalen Sprechweite der Lehrer von 10 m ergaben.
Im Jahr 1909 wurde an die Knabenschule unter den Stadtbaumeistern Friedrich Stagl und Rudolf Schoderböck eine weitere Schule gebaut. Den Schriftzügen an der Fassade zufolge handelte und handelt es sich noch immer um eine allgemeine Volksschule der

Stadt Wien, die mit der Knabenschule bzw. der heutigen Hauptschule zusammengelegt wurde. Diese physische Verbindung beider Bauteile bleibt trotz mittlerweile getrennter Schultypen bis heute bestehen.
Der dritte Bauteil wurde im Jahr 1993 aus Platzgründen an die damalige Knabenschule als Zubau angedockt. Die von den Architekten Georg Driendl und Gerhard Steixner geplante Schule wurde hauptsächlich für die Nutzung von sehbeeinträchtigten Schülern konzipiert. Gemeinsam mit der ehemaligen Knabenschule trägt die in eine nun umfunktionierte Hauptschule den Titel „Überregionales Sonderpädagogisches Zentrum" kurz „ÜSPZ". Der 1909 errichtete zweite Bauteil hingegen wurde im Laufe der Zeit als „Europäische Volksschule Dr. Leopold Zechner" kurz „EVS" umbenannt. Das Hauptaugenmerk wird dort auf den Fremdsprachenunterricht und dessen Förderung durch sogenannte Sprachateliers und kreativ gestaltete Unterrichtseinheiten gelegt.
Im weiteren Verlauf dieser Diplomarbeit wird besonderer Fokus auf das ÜSPZ gelegt und beide Bauteile, der Alt- und Neubau, getrennt untersucht und analysiert.

Zu Beginn der Analysearbeit wurde das Planmaterial der Schulen, welches die Wiener Baupolizei (MA 37) zur Verfügung stellte, digitalisiert und anschließend vor Ort auf deren Richtigkeit und Maßgenauigkeit untersucht. Sämtliche für die akustischen Messungen relevanten Raumgeometrien wurden mithilfe eines Instruments zur optischen Abstandsmessung (Disto) nachgemessen und in den Plänen festgehalten.
In weiterer Folge wurde angenommen, dass sich die Raumakustik im Neubau von jener des Altbaus aufgrund des technischen Fortschritts der 90er Jahre deutlich abheben müsste. Anhand einer Lehrerbefragung wurde versucht, über die akutischen Gegebenheiten vor Ort einen Einblick zu gewinnen.
Mithilfe eines Schallpegelmessgeräts wurde nach Auswertung der Ergebnisse der Umfrage in jeweils drei Unterrichtsräumen des Alt- und Neubaus des ÜSPZ die akustischen Bedingungen gemessen. Die hierfür aussagekräftigste und meist durchgeführte Methode, die Messung der Nachhallzeit, erwies sich auch in diesem Fall als besonders zielführend. Diese akustische Nenngröße beschreibt jene Zeitspanne, in welcher der Schallpegel in einem Raum nach Beenden der Schallfeldanregung um 60 dB abfällt[1]. Sie ist vom jeweiligen Raumvolumen, der baulichen Beschaffenheit der Decke, der Wände und des Fußbodens abhängig und wird besonders durch die vorhandene Möblierung beeinträchtigt. Ein vollflächig mit Teppich und Vorhängen verkleideter Raum besitzt somit die Eigenschaften, den Schall zu „schlucken". Im Gegensatz dazu können glatte und harte Oberflächen den Schall nicht „schlucken", sondern nur reflektieren, was wiederum zu einer besonders „halligen" Raumakustik beiträgt.
Die Messungen wurden in Anlehnung an DIN EN ISO 3382 mithilfe der „integrierten Impulsantwort" durchgeführt. Dabei wurde ein Impuls (Sender), der entweder durch Händeklatschen, Abfeuern von Pistolenschüssen oder, wie in diesem Fall, durch das Zerplatzenlassen eines Luftballons an das Schallpegelmessgerät (Empfänger) geschickt. Der Nachhall dieses Knalls wird vom Empfänger aufgezeichnet und gespeichert. Dieser Schallanalysator (Nor140) der Firma Norsonic deckt neben Messungen der Nachhallzeit, ein breites Spektrum an Anwendungsbereichen ab, wie beispielsweise Aufzeichnungen des Umgebungslärms, der Sprachverständlichkeit oder des Schallpegels an sich.
Um auch die akustischen Bedingungen der Gangbereiche zu ergründen, wurde neben den Messungen der Nachhallzeit in den Klassenräumen ebenso der äquivalente Dauerschallpegel in den Gangbereichen des Alt- und Neubaus des ÜSPZ gemessen. Dies erfolgte unter genauer Beobachtung des Schallpegels über einen längeren Zeitraum. Das für sämtliche Messungen verwendete Equipment wurde vom Bauphysikinstitut der TU Wien zur Verfügung gestellt.

1 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05, S.8

1

ENTWICKLUNG IM SCHULBAU

SEIT DER GRÜNDERZEIT BIS HEUTE UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER AKUSTIK

ANFÄNGE IM ÖFFENTLICHEN SCHULBAU

Mustergültige Normen entstehen
Die Akustik im Schulbau der Gründerzeit
Die Rolle der Schule aus pädagogischer Sicht

DIE ENTWICKLUNG DES SCHULBAUS VON 1918-1945

Neue pädagogische Tendenzen entstehen
Neue bauliche Anforderungen
Die Akustik im Schulbau von 1918 bis 1945

DER SCHULBAU IN DEN 50er UND 60er JAHREN

Pädagogische Forderungen erweitern sich
Neue bauliche Forderungen
Neue Schulbautypen entstehen
Die Akustik im Schulbau der 50er und 60er Jahre

DIE NEUE BAUWEISE IN DEN 70er JAHREN

Eine neue Bauweise entsteht
Die Beispielschule in Wörgel im Wandel der Zeit
Akustische Probleme der Fertigteilbauweise

DER SCHULBAU IN DEN 90er JAHREN BIS HEUTE

Beispiel eines Zubaus im innerstädtischen Bereich in Wien
Beispiel eines Neubaus am Wiener Hauptbahnhof
Die Akustik im Schulbau aktuell

Überblick

Der öffentliche Schulbau in Österreich fand seinen Ursprung in der Regierungszeit Maria Theresias (1717, 1780). Das bis dahin unter der Obhut der Kirche liegende Schulwesen, wurde nun zur Staatsangelegenheit. Mit der Verfassung des Reichsvolksschulgesetzes von 1869 unter Franz Josef (1848, 1916) wurde der von Maria Theresia eingeführte Schulzwang erweitert, wodurch es zu einem großen Bedarf an neu zu errichtenden Schulbauten kam.[2]
Seither sind im Schulbau stetig neue Tendenzen zu verzeichnen, welche sowohl vom technischen Fortschritt, als auch vom Wandel pädagogischer Anforderungen stark geprägt sind.
In folgenden Abschnitten wird ein Überblick über die Entwicklung im Schulbau seit der Gründerzeit[3] bis heute gegeben. Besonderer Fokus wird auf die Akustik bzw. den Schallschutz gelegt, welcher neben weiteren bauphysikalischen Anforderungen wie Wärmeschutz, Brandschutz oder einer guten Lichtqualität bereits mit dem Ministerialerlass aus dem Jahr 1873 erstmals thematisiert wurde.
Anhand von angeführten Beispielschulen, beginnend mit den Gangschulen aus der Gründerzeit, gefolgt von den Konzepten der Freiluftklassen, Pavillon- und Hallenschulen aus der Moderne, bis hin zu aktuellen Mischformen, werden die bedeutsamsten bautypologischen und schalltechnischen Erkenntnisse im Laufe der Zeit erläutert. Dabei wird der Fokus neben angeführten Schulen aus Oberösterreich, Salzburg und Tirol, vor allem auf Beispiele in Wien gelegt.

2 Vgl. Carl HAUBFLEISCH: Bürger- und Volksschulen,1906, In: Wien am Anfang des 20. Jahrhunderts. Ein Führer in technischer und künstlerischer Richtung, Band 2: Hochbauten, Architektur und Plastik, 1906, S.212-213
3 Gründerzeit: bezeichnet eine Epoche von ca. 1850-1914 (Österreich)

1.1 Anfänge im öffentlichen Schulbau

Das Reichsvolksschulgesetz von 1869 sah einen Schulzwang für alle Kinder ab dem vollendeten 6. bis zum vollendeten 14. Lebensjahr vor. Dies führte zu einem beträchtlichen Aufschwung des Volksschulwesens in Wien. Neben der Errichtung von neuen Schulbauten kam es zur Sanierung bereits bestehender Schulen, welche den hygienischen Anforderungen nicht mehr entsprachen. So wurden die sanitären Verhältnisse durch das Legen harter Fußböden verbessert, Zentralheiz- und Lüftungsanlagen eingebaut, sowie auf eine natürliche Belichtung der Lehrräume geachtet.[4]

Im Jahr 1873 kam es zu einem bedeutenden Ministerialerlass, der genaue Bestimmungen über die Errichtung von öffentlichen Schulbauten des Elementarunterrichts beinhaltete. Erstmals wurden, neben Belichtung, Beheizung und Belüftung, auch Angaben zum Schallschutz gemacht. Eine Schallreduktion konnte durch Ausfüllung der Deckenbalken erzielt werden. Eine genauere Anweisung zur Materialwahl wurde noch nicht gemacht.[5]

Im Jahre 1889 sah man den Erlass von 1873 als dringend überarbeitungsbedürftig. Es wurden etliche Bestimmungen für den Schulbau vom österreichischen Ingenieur- und Architekten- Verein, zu dem auch der namhafte Architekt Carl Hinträger zählte, diskutiert und in einem Entwurf, dessen Inkrafttreten nicht bestätigt werden kann, 1891 festgehalten.[6] An die für diese Diplomarbeit wichtigsten Bestimmungen des Entwurfs wird in den folgenden Abschnitten angeknüpft und am Beispiel einer Wiener Volksschule in der Zinckgasse aus dem Jahr 1894 erläutert.

1.1.1 Mustergültige Normen entstehen

Carl Hinträger (1859, 1913) und sein Vater Moritz Hinträger (1831, 1909) können als Spezialisten des Schulbaus der damaligen Zeit gesehen werden. Ihr gemeinsamer Schwerpunkt lag in der Planung und Realisierung von öffentlichen Bauaufgaben, insbesondere von Unterrichtsanstalten.[7] Carl sieht die Volksschule als jene Institution, welche den größten Einfluss auf die körperliche und geistige Entwicklung eines Volkes hat. In seinem Buch „Der Bau und die innere Einrichtung von Schulgebäuden für öffentliche Volks- und Bürgerschulen"[8] versuchte er mustergültige Normen für allgemeine zweckmäßige Erfordernisse festzulegen. Dabei handelte es sich nicht um zwingend einzuhaltende Vorgaben, da die Anforderungen an Schulgebäude je nach lokalen und finanziellen Verhältnissen der jeweiligen Schulgemeinden variierten. Dem Architekten sollte deshalb ein gewisser Spielraum in der Planung überlassen

4 Vgl. HAUBFLEISCH: Bürger- und Volksschulen, 1906, In: Wien am Anfang ...,S.212-213
5 Vgl. Elisabeth KNEISZ, Diplomarbeit: Der österreichische Schulbau in der k.u.k. Monarchie, 2014, S.26 in: Verordnungsblatt für den Dienstbereich des Ministeriums für Cultus und Unterricht, 1873, Nr. 73, S. 346-358
6 Vgl. Zeitschrift für Schulgesundheitspflege, 1889, S.97-107
7 http://www.architektenlexikon.at/de/227.htm, Zugriff am 10.03.2015
8 Vgl. Carl HINTRÄGER: Der Bau und die innere Einrichtung von Schulgebäuden für öffentliche Volks- und Bürgerschulen, 1887

werden, ohne jedoch die Normen zur Gänze außer Acht zu lassen.[9]

Zwei weitere Architekten, die sich wie Hinträger mit der Bauart und Konstruktion von Schulgebäuden auseinandergesetzt haben, waren Gustav Behnke (1837, 1919) und Karl Haubfleisch (-,-). Alle drei beschäftigten sich neben Themen wie der Lage und Position des Schulgebäudes, der Größe und Einrichtung von Klassenräumen auch mit Fragen bezüglich des Schallschutzes.[10]

Lage und Position des Schulgebäudes

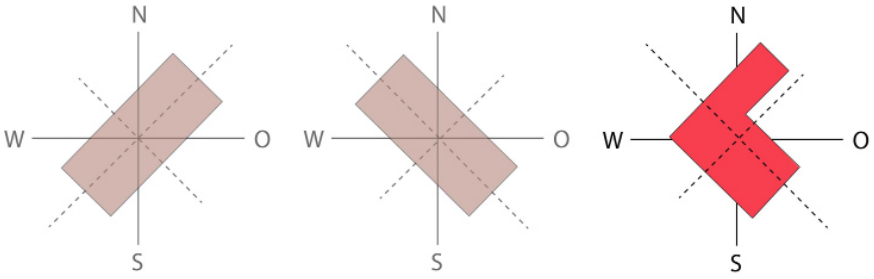


Abbildung 01 | Ausrichtung des Schulgebäudes

Das Schulhaus sollte inmitten des Schulbezirkes in ruhiger Lage und für alle Kinder leicht zu erreichen sein. Die Frage nach der Position des Gebäudes war sehr umstritten und von den lokalen und klimatischen Verhältnissen abhängig. So hat Hinträger in Gebieten mit gemäßigtem Klima sowohl eine Ausrichtung nach Nordwesten und Südosten wie auch nach Nordosten und Südwesten empfohlen,[11] während Behnke nur erste Positionierung als ideal ansah.[12]
Im Kontext der vorliegenden Diplomarbeit wird die Knabenschule in der Wiener Zinckgasse (erbaut 1894) als Beispiel eines Schultypus aus der Gründerzeit angeführt. Dabei wird der Schulbau sowohl auf bauliche, als auch auf akustische Eigenschaften genauer untersucht und in den folgenden Kapiteln immer wieder herangezogen werden.

Die Eingangsfront der Knabenschule, wie es bei straßenseitiger Situierung damals üblich war, ist parallel zur Straße gerichtet und somit nach Nord-West bzw. Süd-Ost orientiert (siehe Abbildung 01, rote Dachdraufsicht).

9 Vgl. HINTRÄGER: Der Bau und die innere Einrichtung von Schulgebäuden...,S.3-4
10 Vgl. Gustav BEHNKE: Handbuch der Architektur, 1889, In: Josef Durm, Hermann Ende, Eduard Schmitt u. Heinrich Wagner, 1899, 1. Kapitel
11 Vgl. HINTRÄGER: Der Bau und die innere Einrichtung von Schulgebäuden...,S.6
12 Vgl. BEHNKE, in: Durm, Handbuch der Architektur..., S. 15

Der Klassenraum in der Schulkaserne

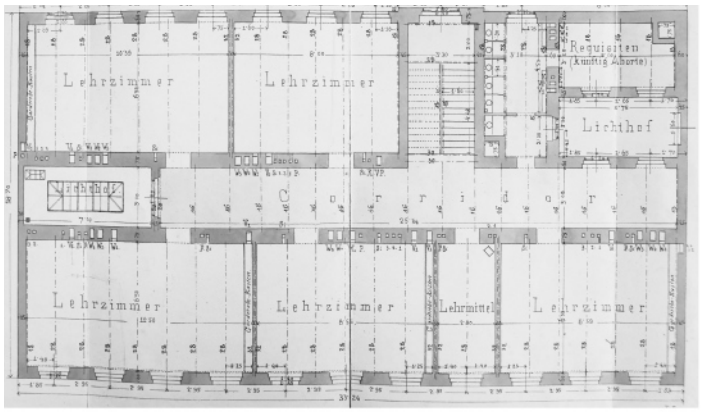


Abbildung 02 | Grundriss der Knabenschule in der Zinckgasse aus dem Jahr 1893

Im Gebäudeinneren von Gründerzeitschulen, so auch in der Zinckgasse, findet man eine zweihüftige mechanische Aneinanderreihung der Klassenzimmer entlang eines dunklen Ganges vor.[13]
Dieser Bautyp, welcher als Gangschule bezeichnet wird, ist auch bei aktuellen Schulbauten ein häufig verwendetes Standardmodell.[14]

Die strenge rasterförmige Anordnung ist in Abbildung 02 am Grundriss der Knabenschule deutlich zu erkennen. Die Lehrräume wurden immer mit einer Länge zwischen 8,50 m und 10 m, sowie einer Tiefe von 6,5 m bis 7 m geplant. Grund dafür war die durchschnittliche Sehweite von Kindern bis zu 8 m und eine mögliche Sprechweite von Lehrern bis zu maximal 10 m. Die lichte Höhe wurde mit 3,6 m bis 4,2 m festgelegt.[15]
Hinträgers Berechnungen zufolge sollte jedem Schüler ein Flächenmaß von 0,6- 0,7 m² zugemessen werden.[16] Demzufolge wurden in den Klassen der Knabenschule in der Zinckgasse, mit einer Länge von 8 m, einer Tiefe von 6,5 m und einer Höhe von 4m, zwischen 74 und 86 Schüler unterrichtet. Heute sind lediglich zwischen 16- 22 Schüler in denselben Klassenräumen untergebracht.

13 Vgl. HAUBFLEISCH: Bürger und Volksschulen in: Wien am Anfang...,S.214
14 Vgl. Sabine PLAKOLM- FORSTHUBER: Schulbau in Österreich, 1996-2011- Wege in die Zukunft, 2012, S.35
15 Vgl. HAUBFLEISCH: Bürger- und Volksschulen in: Wien am Anfang...,S.212-213
16 Vgl. HINTRÄGER: Der Bau und die innere Einrichtung von Schulgebäuden...,S.3

1.1.2 Die Akustik im Klassenraum der Gründerzeit

Da die Unterrichtsmethoden zunächst auf Disziplin und Gehorsam ausgerichtet waren, kann angenommen werden, dass sich die Lektionen äußerst leise abwickelten. Ein derartiger Schallschutz wie er heute gefordert wird, sowohl im Gebäudeinneren als auch von außen, war somit nicht notwendig. Der Terminus Akustik kommt zwar in Hinträgers als auch in Behnkes Normensammlung vor, betrifft jedoch nur die akustischen Anforderungen an Decken, Wänden und Türen im Inneren des Gebäudes. Versuche zu schall- und brandschutztechnischen Eigenschaften von Materialien wurden erst nach 1920 vorgenommen. Die heute unumgängliche Thematik der gesundheitlichen Auswirkungen des Lärms wurde noch nicht erkannt und erst in den 60er Jahren erstmals angesprochen.

Decken

Damit eine Störung des Unterrichts durch darüber liegende Klassenräume vermieden werden konnte, schlug Behnke für Decken ein Gebälk aus schlecht leitenden Materialien vor, welches mit einer möglichst dichten Aus- bzw. Auffüllung von Sand versehen werden sollte. So forderte er Eisendecken durch Holzzementdecken aufgrund ihrer schlecht leitenden Eigenschaft zu ersetzen.[17] Hinträger schlug hingegen sowohl den Einsatz von Holz- und Eisendecken, als auch gemischte Konstruktionen vor.[18] Grund dafür könnten die besseren brandschutztechnischen Eigenschaften der Eisendecken gewesen sein, die für Behnke anscheinend nicht bedeutungsvoll waren.

Wände

Um schalldichte Wände zwischen den einzelnen Klassenräumen zu erhalten, fordert Behnke, diese in doppelter Ausführung mit einem dazwischenliegenden Luftraum zu errichten oder mit zusätzlicher schalldämpfender Bekleidung der Wandoberfläche zu versehen. Falls diese Maßnahmen nicht möglich waren, fordert er eine Mauerstärke von mindestens 40 cm.[19] Die Zwischenwände der Knabenschule in der Zinckgasse wurden mit 30 cm Stärke gebaut, anschließend jedoch auf je einer Seite mit ca. 50 cm tiefen Garderobekästen verdeckt, wodurch eine bessere schalldämmende Eigenschaft angenommen werden kann. (siehe Abbildung 02)

Türen

Die zwischen den Klassenzimmern liegenden Verbindungstüren, welche es der Lehrperson ermöglichten zwei Klassen gleichzeitig zu unterrichten, sollten ebenfalls in doppelter Ausführung produziert werden, um bei getrenntem Unterricht die Schalldurchlässigkeit zu vermeiden.[20]

17 Vgl. BEHNKE, in: Durm, Handbuch der Architektur, 1899, S. 17-20
18 Vgl. HINTRÄGER: Der Bau und die innere Einrichtung...,S.17
19 Vgl. BEHNKE, in: Durm, Handbuch...,S. 17-20
20 Vgl. BEHNKE, in: Durm, Handbuch ...,S. 42

1.1.3 Die Rolle der Schule aus pädagogischer Sicht

Die vorhin erwähnten Normen und Muster, nach denen Unterrichtsanstalten in der Gründerzeit errichtet wurden, spiegeln den Zeitgeist deutlich wider. Zucht und Ordnung waren das Grundprinzip, das sowohl das äußere als auch das innere Erscheinungsbild kennzeichnete. Die Schulgebäude glichen zunehmend anderen Verwaltungsgebäuden wie Amtsgerichten oder Kasernen und unterschieden sich nur durch die am Portal eingemeißelte Inschrift.[21]

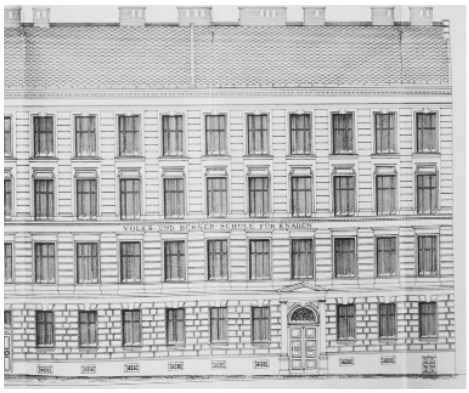


Abbildung 03 | Ansicht der Gründerzeitschule in der Zinckgasse aus dem Jahr 1893

Während des Unterrichts nahm der Lehrer eine zentrale Position vor der Klasse ein, die durch das Katheder unterstrichen wurde.[22] Demgegenüber saßen die Schüler in einer Reihe aufgefädelt auf ihren festgemachten Patentbänken, die für eine vorgeschriebene kerzengerade Körperhaltung der Kinder konzipiert wurden.[23] Die Schule bildete zu Disziplin und Gehorsam aus [24], die Erziehung erfolgte nach wie vor in der Familie und für den spirituellen Bereich war noch immer die Kirche zuständig.[25] Der Unterricht an sich war recht einseitig gehalten und rein auf das Vermitteln abstrakten Wissens beschränkt. Unterrichtsfächern für manuelles und experimentelles Arbeiten wurde wenig Beachtung geschenkt und sie wurden kaum in das Raumprogramm aufgenommen.[26]
Diese Einseitigkeit des Unterrichts ist in den Grundrissen der Knabenschule in der Zinckgasse deutlich zu erkennen. Neben einer Wohnung für den Schulleiter im Erdgeschoss, Garderoben und Aborten waren die restlichen Klassenzimmer für den rein auf Wissensvermittlung basierenden Lehrunterricht vorgesehen.
Erst nach 1918 waren neue pädagogische Ansätze und die daraus resultierenden verschiedenen Raumanforderungen zu verzeichnen. Neben neuen Unterrichtsmethoden veränderte sich auch das Verhältnis zwischen Lehrern und Schülern zusehends.[27]

21 Vgl. Karl OTTO: Schulbau- Beispiele und Entwicklungen, 1961, S.11-12
22 Vgl. Kurt SEELMANN in: Erika BRÖDNER, Erika / KROEKER Immanuel, Schulbauten, 1951, S.14
23 Vgl. OTTO: Schulbau...,S.12
24 Vgl. SEELMANN in: BRÖDNER / KROEKER, Schulbauten, 1951, S.14
25 Vgl. Caroline JÄGER-KLEIN: Schulbau in Österreich 1996-2011 Wege in die Zukunft, 2012, S.26
26 Vgl. Alfred ROTH: Das neue Schulhaus, 1957, S.27
27 Vgl. Julius VISCHER: Der neue Schulbau, 1931, S.1

1.2 Die Entwicklung des Schulbaus von 1918 bis 1945

In der Zeit nach dem Ersten Weltkrieg (1914-1918) entwickelte sich sowohl ein verstärktes pädagogisches, als auch ein erstmalig gesundheitliches Bewusstsein, welches neue Forderungen an den Schulbau mit sich brachte.[28] Eines der Hauptanliegen der beginnenden Moderne war, die Fesseln einer allgemeinen Mechanisierung des Lebens zu lösen. Obwohl in Österreich erst nach 1945, unter anderem aufgrund des vorherrschenden Mangels an Unterrichtsanstalten, der sogenannte Schulbauboom einsetzte[29], werden die anschließend beschriebenen Tendenzen als wegweisend hierfür gesehen.

1.2.1 Neue pädagogische Tendenzen entstehen

Nach dem Ersten Weltkrieg waren die Ansichten über die notwendige Einrichtung von Schulhäusern einem starken Wandel unterworfen. Zu den bisherigen Unterrichtsfächern kamen neue Fächer hinzu, wie die der Naturwissenschaften, des Musikunterrichts, des Werkunterrichts für Knaben und der Nadelarbeit für Mädchen. Durch technische Erfindungen wie Radio und Film, die nun im Unterricht eingesetzt wurden, konnte dieser komplett neu gestaltet werden. Diese und weitere Forderungen an das Raumprogramm führten jedoch zur Notwendigkeit neuer schalltechnischer Maßnahmen, die weiter unten beschrieben werden.
Neben den vorhin erwähnten neu eingeführten Unterrichtsfächern veränderte sich allmählich auch das Verhältnis zwischen Lehrer und Schüler.[30] Der Lehrer sollte nicht mehr alleiniger Vermittler, sondern vielmehr Helfer und Mitarbeiter sein. Das Katheder und die fest gemachten Schulbänke wurden sukzessive durch Tische und Stühle ersetzt, die offenere Unterrichtsformen ermöglichten.[31]

Ebenso wie die pädagogischen Ansichten wirkten sich auch die nun ins Bewusstsein gerufenen gesundheitlichen Belange auf die Neugestaltung des Schulhauses aus. Gefordert wurde ein Standort im Grünen, um den Kindern eine ideale Voraussetzung für ungestörtes Lernen zu bieten. Generell galt, die Klassenräume mit so viel Licht, Luft und Sonne als möglich zu versorgen.[32]

Der Schularzt gewinnt aufgrund dieser neuen Kenntnisse immer mehr an Bedeutung. Neben fortwährenden Kontrollen zur Gesundheit der Schüler wurde gemeinsam mit Pädagogen die genaue Wahl von Stühlen und Tischen besprochen. Als wichtig galt die Anpassung der Sitz- und Tischfläche an die jeweiligen Körpermaße der Kinder.[33]

28 Vgl. VISCHER: Der neue Schulbau...,S.1
29 Vgl. ALFRED FISCHER: Neue Wege im Schulbau, 1950, S.7
30 Vgl. VISCHER: Der neue Schulbau...,S.1
31 Vgl. SEELMANN in: BRÖDNER / KROEKER, Schulbauten, S.16
32 Vgl. Johann ÜBERLACKNER in: HOPPE, Schulbau in Österreich, 1996, S.13
33 Vgl. VISCHER: Der neue Schulbau...,S.1

Für Schüler im 1. Schuljahr, bei denen eine Größe von ca. 118 cm-120 cm angenommen wurde, wurde eine Tischhöhe von 59 cm und eine Stuhlhöhe zwischen 34 cm und 36 cm empfohlen.[34] Diese Maßangaben gelten bis heute noch und werden in DIN EN 1729-1 aus dem Jahr 2006-2009 angeführt.[35]

1.2.2 Neue bauliche Anforderungen entstehen

Namhafte Architekten, die Wesentliches für die Entwicklung der Schulbauten beitrugen, war unter anderem der Österreicher Julius Schulte (1881, 1928). Ab 1910 errichtete er in Oberösterreich vor allem öffentliche Bauten wie Schulen, Kinderheime, Arbeiterheime, Feuerwehrschulen und Wohnbauten.[36]

"Julius Schulte gehört zu jenen Architekten, die nach ihrer Ausbildung in Wien [...] die Ziele der Moderne auf hohem Niveau in den Bundesländern vertreten haben."[37] (Friedrich Achleitner)

Das Verlangen nach erhöhter Licht- und Luftzufuhr in den einzelnen Klassenräumen führte zu neuen Grundrisskonzepten, wie die einbündige Anordnung der Klassenräume an den Gängen oder die Gruppierung sämtlicher Räume um eine Mittelhalle (spätere Hallenschule). Erstmals wurde auch angedacht, den Unterricht ab und an ins Freie zu verlagern (Freiluftklassen).[38]

Volksschule in Ebensee

In Schultes geplanter Volksschule in Ebensee, die um 1927 errichtet wurde, wurde das Verlangen nach neuen Bautypologien bereits ersichtlich.

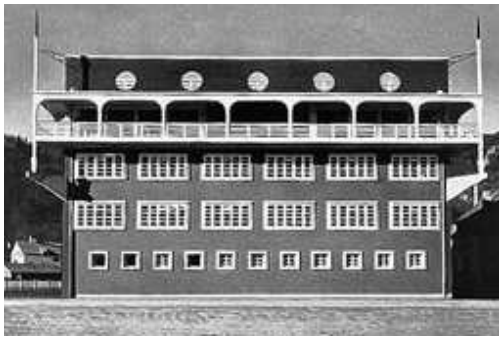


Abbildung 04 | Ansicht Volksschule Ebensee | 1927 | J. Schulte

34 Vgl. VISCHER: Der neue Schulbau...,S.12
35 Vgl. DIN EN 1729-1, 2006-09, S.8
36 Vgl. http://www.nextroom.at/building.php?id=2452, Zugriff am 10.06.2015
37 Vgl. http://www.nextroom.at/building.php?id=2452&inc=home, Zugriff am 10.06.2015
38 Vgl. VISCHER: Der neue Schulbau...,S.4

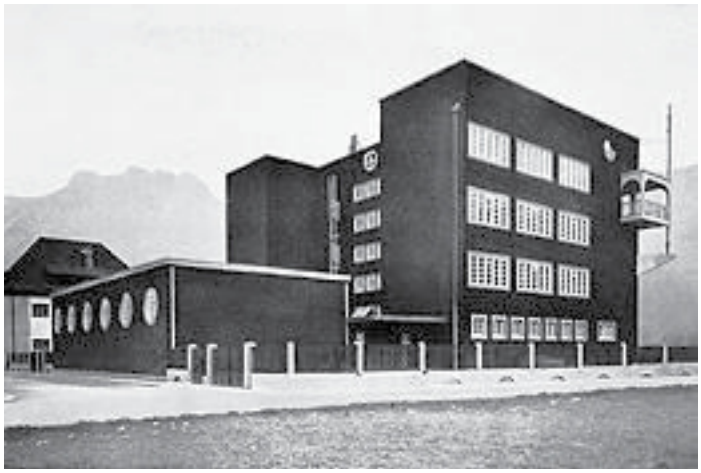


Abbildung 05 | Perpektive Volksschule in Ebensee | 1927 | J. Schult

Das Klassenzimmer

Das Klassenzimmer behielt nach wie vor seine zentrale und wichtige Rolle im Schulgebäude bei. Im Gegensatz zur im vorigen Kapitel erwähnten Schüleranzahl von bis zu 80 Schülern pro Klasse wurde nun aus pädagogischen Gründen eine Klassengröße von ca. 25 Schülern gefordert. In der Praxis konnte jedoch eine Anzahl von ca. 40 Kindern aus wirtschaftlichen Gründen selten unterschritten werden.[39]

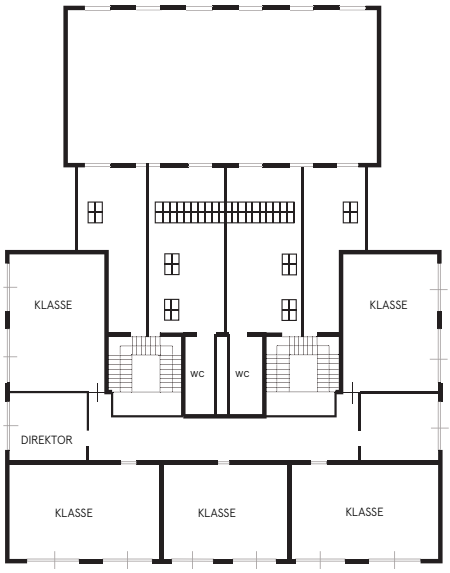


Abbildung 06 | Grundriss der Volksschule in Ebensee | 1927 | J. Schult

39 Vgl. VISCHER: Der neue Schulbau...,S.10-13

Bei genauer Betrachtung der Grundrisse der Volksschule in Ebensee wird eine gezielte Anordnung der verschiedenen Klassenräume deutlich. Dies war aufgrund der neu eingeführten Unterrichtsfächer aus organisatorischen und schalltechnischen Gründen notwendig.
Idealerweise sollte der Musikraum neben Treppenhäusern, Versammlungsräumen oder in Hohlräumen von Steildächern angeordnet werden. Werkräume sollten hingegen eher im unteren Geschoss untergebracht werden, um vor allem bei Metallarbeiten den Unterricht nicht zu stören.[40] Die funktionalen Räume der Schule in Ebensee wie Schulküche, Garderoben und Bäder im Anschluss an die Turnhalle wurden im Erdgeschoss untergebracht. Im 1. und 2. Obergeschoss waren die nach Geschlechtern getrennten Klassen, die nach wie vor in rechteckiger Form (9m breit, 6m tief) geplant wurden, von einem Gangbereich aus zugänglich. Der 3. Stock, mit Zeichen- und Physiksälen, war mit einer Galerie versehen, die dem Freiluftunterricht diente. Dieser neue Zugang leitet die Entwicklung der Hallenschulen mit Zentralgarderoben und Freiluftklassen nach 1945 ein.[41]

Im Gegensatz zur Gründerzeit- Knabenschule in der Zinckgasse fielen beim Ebenseer Beispiel die Fensterflächen weit größer aus, um eine ausreichende Belichtung und Belüftung der Räumlichkeiten zu erhalten.
Empfohlen wurde eine Belichtungsfläche von mindestens 1/5 der jeweiligen Fußbodenfläche des Klassenzimmers.[42] Bei den ca. 54 m² großen Klassen in Ebensee würde dies eine Fensterfläche von mindestens 10,8 m² erfordern. Dem Planmaterial zufolge kann nachgewiesen werden, dass Schulte diese Vorgaben mit einer Fensterfläche von ca. 14 m² pro Klassenraum mehr als erfüllte.

1.2.3 Die Akustik im Schulbau von 1918 bis 1945

Mit dem Aufkommen neuer Materialien wurde nun gezielt versucht, deren schalltechnische Eigenschaften und verschiedenen Einsatzmöglichkeiten zu prüfen. Ausgehend von Versuchen in Deutschland durch den Baurat Doorentz, wurde beispielsweise die Holzbalkendecke aus der Gründerzeit verschiedenen neuartigen Baustoffen gegenübergestellt.[43] Inwiefern die in den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse auch in der Praxis Verwendung fanden, wie beispielsweise an der Ebenseer Volksschule, kann nicht bewiesen werden. Einige Materialien, die sich in den Versuchen besonders bewährten, wie beispielsweise Heraklit Platten, finden auch heute noch Verwendung.

Decken

Diverse Versuche, die im 2. Kapitel in Vischers Buch „Der Neue Schulbau"[44] angeführt werden, sollten zeigen, dass neue Baustoffe und Baukonstruktionen mit der gründerzeitlichen Holzbalkendecke in Wettbewerb treten konnten.

40 Vgl. Moritz HANE: Der Schulbau- Normen, Richtlinien und Ratschläge für den Schulbau, 1930, S.55-56
41 Vgl. www.nextroom.at/building.php?id=2452&inc=home, Zugriff am 10.06.2015
42 Vgl. HANE: Der Schulbau..., 1930, S.87
43 Vgl. VISCHER: Der neue Schulbau...,S.17
44 Vgl. VISCHER: Der neue Schulbau, 1931

Es wurde nachgewiesen, dass bei einer Verwendung von Linoleum auf Massivdecken eine Schalldämpfung erreicht werden konnte, die eine bessere Isolierwirkung, Wirtschaftlichkeit und einen besseren Brandschutz mit sich brachten, als Holzbalkendecken. Aus insgesamt 80 verschiedenen Zusammenstellungen unterschiedlicher Materialien erzielte die Rapid Decke die beste Isolierwirkung gegen Schallgeräusche.

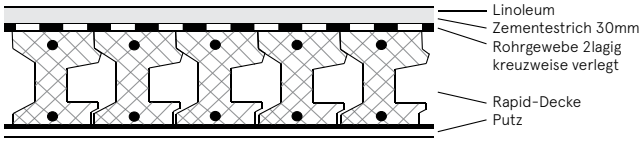


Abbildung 07 | Deckenaufbau

Mit einem zweilagig, kreuzweise verlegten Rohrgewebe, 30 mm Zementestrich und einem Linoleumfußboden wurde eine Isolierzahl von 17,3 (Holzbalkendecke 14,3) erreicht. Eine genauere Definition zur Kenngröße der Isolierzahl wurde von Vischer nicht gemacht. Es wird angenommen, dass darunter die Isolierwirkung gegen Schallgeräusche verstanden wurde.

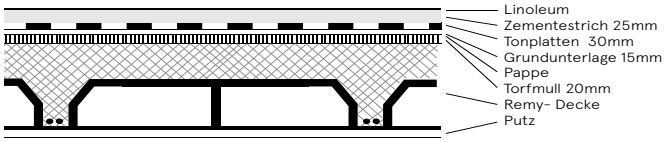


Abbildung 08 | Deckenaufbau

Gegen Gehgeräusche ergab die etwas billigere Remy Decke mit 20 mm Torfull, Pappe, 15 mm Sandunterlage, 30 mm Tonplatten, 25 mm Zementestrich und einem Linoleumfußboden eine Isolierzahl von 13,1 (Holzbalkendecke 8,6). Die Verwendung von weichen Materialien wie Linoleum seien laut Vischer vor allem für den gängigen Schullärm (Verrücken der Möbel etc.) besser geeignet als der Einsatz von harten Bodenbelägen wie Steinplatten.

Wände

Weit weniger aufwändig wurde die Schalldämmung von Wänden gesehen. Die von Behnke ursprünglich empfohlene schalldämpfende Bekleidung wurde nun von Vischer konkretisiert. In erster Linie seien Faserplatten, wie Celotex, Insulite, Ten-Test, Heraklit, Torfoleum, Torfotekt zu verwenden. Eine gezielte Positionierung dieser Bekleidungen wurde jedoch noch nicht angedacht.

Türe

Die Problematik der Türe zu den Doppelklassen in Hinblick auf Schalldurchlässigkeit wurde nicht gelöst. Mittels einer von Vischer vorgeschlagenen Schiebetüre wäre eine Zusammenlegung zweier Klassen mit geringen Baukosten zwar möglich, würde jedoch bei getrenntem Unterricht zu erheblichen akustischen Störungen führen. [45]

45 Vgl. VISCHER, Der neue Schulbau...,S.17

1.3 Der Schulbau in den 50er und 60er Jahren

Die im vorigen Kapitel angeführten pädagogischen Tendenzen und neuen baulichen Anforderungen wurden mit dem Ende des Zweiten Weltkrieges wieder aufgenommen. Nun galt es, den bereits erwähnten Mangel an Schulgebäuden, aufgrund einer starken Bevölkerungszunahme[46] und der im 2. Weltkrieg unterbrochenen Bautätigkeit, rasch aufzuholen.[47] Die Architektur und das Bauen orientierten sich an den Innovationen des Funktionalismus und die Forderungen der Moderne wurden wieder aufgegriffen.
Dies führte zu einem noch stärkeren Wunsch neuer, individueller Erziehungsformen[48], wie die der Individualerziehung.[49]
Neben neuen Schulbautypologien wie Hallen-, Pavillon-, oder die bereits erwähnten Freiluftschulen sind wichtige Erkenntnisse in Hinblick auf die Verbesserung der Akustik in Schulgebäuden zu verzeichnen.

1.3.1 Pädagogische Forderungen erweitern sich

Durch den Zweiten Weltkrieg kommt der Schule ein größerer erzieherischer Einfluss denn je zu.[50] Die Paradigmen der Gründerzeit wie Disziplin und Gehorsam wurden vollkommen aufgelöst. Durch die großteils bedürftigen Wohnverhältnisse der Kinder stieg die Verantwortung für die Erbauer der Schulhäuser zunehmend.[51] Da nur wenige in einer vollständigen, geordneten und sozial nicht geschädigten Familie aufwuchsen,[52] sollte zwischen Schule und Wohnung eine enge Beziehung in praktischer und gefühlsmäßiger Hinsicht geschaffen werden. Die Erziehungsarbeit der Schule wurde als Fortsetzung und Ergänzung der elterlichen Erziehung zu Hause gesehen. Die Kinder sollten im Klassenzimmer eine vertraute Atmosphäre vorfiden, die zu Hause oft nicht gegeben war.[53]

Hierfür sollte das äußere Erscheinungsbild der Schule die innere Haltung bestätigen und die Kinder zum Lernen einladen. Demzufolge wurde die formalistische Fassade der Gründerzeit, welche den damaligen Zeitgeist nach außen widerspiegelte, zur Gänze verabschiedet. Das Gebäudeinnere sollte aus hellen, freundlichen und offenen Klassenzimmern bestehen und ein angenehmes Lernklima mit sich bringen. [54]

46 Vgl. FISCHER: Neue Wege im Schulbau...,S.7
47 Vgl. ALFRED ROTH: Das neue Schulhaus, 1957, S.27
48 Vgl. FISCHER: Neue Wege im Schulbau...,S.7
49 Vgl. ROTH: Das neue Schulhaus...,S.29
50 Vgl. FISCHER: Neue Wege im Schulbau...,S.24
51 Vgl. SEELMANN in: BRÖDNER / KROEKER, Schulbauten, S.14
52 Vgl. FISCHER: Neue Wege im Schulbau...,S.24
53 Vgl. ROTH: Das neue Schulhaus...,S.13
54 Vgl. Wilhelm HUBATSCH: Der Schulbau in Österreich, 1962, S.19

Neue Unterrichtsmethoden entstehen

Neben dem Wandel in der Erziehung wurden nun auch die pädagogischen Forderungen der Moderne klarer und anspruchsvoller ausgearbeitet. Das Kind wurde nun als vollkommen selbstständiges Subjekt gesehen, welches die Erfahrungen des Lebens auf seine eigene Weise verarbeiten und aufnehmen sollte. [55]

"Jedes Kind ist eine Persönlichkeit, die entwickelt werden kann, nicht anders denn die Pflanze, die durch den Gärtner betreut und großgezogen wird."[56] (Alfred Fischer)
Um jedem diese Persönlichkeitsentwicklung zu gewähren, sollten die Unterrichtmethoden dem Alter und der jeweiligen Veranlagung der Kinder angepasst werden. In den Vordergrund traten nun vor allem die manuelle Betätigung, die Ausbildung in musikalischer Hinsicht und die Möglichkeit zur künstlerischen Entfaltung der Kinder.[57] Diese Fächer sollten zur Auflockerung des rein auf Wissen basierenden Unterrichts dienen und die individuelle Entwicklung der Kinder unterstützen.[58]

1.3.2 Neue bauliche Forderungen entstehen

Die neuen erzieherischen und pädagogischen Tendenzen verlangten größtmögliche Flexibilität in der Planung und Formgebung des Schulgebäudes.
Die Idee der Gründerzeit, des für Generationen gedachten starren Schulpalastes, wurde grundsätzlich abgelehnt. Die Zusammenarbeit von Architekten, Pädagogen, Stadtplanern und Behörden ermöglichten eine bessere Umsetzung der neuen Forderungen an das Schulgebäude.[59]

Lage und Gestaltung neuer Freiflächen

Sowohl neue pädagogische Konzepte als auch neue städtebauliche Ideale beeinflussten die Lage, Zuwege und Umweltgestaltung von Schulen. Ziel war es Schulgebäude nicht nur in einer heiteren, lichten und anmutenden Umgebung zu bauen, sondern im Sinne einer organischen Stadtplanung auch eine instinktive, sinnfällige Wegeführung von der Wohnung zum Kindergarten und zur Schule zu schaffen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass Schulen durch den von Kindern produzierten Lärm nicht zu nahe an Wohngebäude lagen, der Weg für die Kinder vom Elternhaus zur Schule jedoch nicht zu lang wurde.[60]
Erstmals wurde die gewaltige Entwicklung des motorisierten Verkehrs, der durch seinen Lärm den Unterricht beeinträchtigte, thematisiert.[61] Hinzu kam das Bewusstsein der Wichtigkeit körperlicher Betätigung in den Pausen und im Sportunterricht.
Die Bepflanzung der Pausenplätze, die Gestaltung der Freiflächen und die Anlage des Schulgartens waren deshalb fixer Bestandteil der Planung eines Schulgebäudes.[62]

55 Vgl. ROTH: Das neue Schulhaus...,S.29
56 Zit. FISCHER: Neue Wege im Schulbau...,S.5
57 Vgl. ROTH: Das neue Schulhaus...,S.29
58 Vgl. FISCHER: Neue Wege im Schulbau...,S.5
59 Vgl. ROTH: Das neue Schulhaus...,S.11
60 Vgl. Hans Bernhard REICHOW in: BRÖDNER / KROEKER, Schulbauten, S.18-21
61 Vgl. ROTH: Das neue Schulhaus...,S.11
62 Vgl. SEELMANN in: BRÖDNER / KROEKER, Schulbauten, S.14

Umgestaltung der Klassenzimmer

Eine Umgestaltung der Klassenzimmer war aufgrund der vielen neuen Tendenzen dringend notwendig. Die Klassen sollten groß genug und nicht überfüllt sein, damit ein persönliches Vertrauensverhältnis zwischen Lehrern und Schülern zustande kommen konnte.[63] Das in der Gründerzeit vorgeschriebene Mindestmaß an Raumfläche pro Schüler von 0,6-0,7 m² wurde auf 1,5 m² erhöht.[64] Neben einer zusätzlichen Vergrößerung der Klassenzimmer von ca. 50 m² auf 75-90 m² wurde der rechteckige Grundriss erstmals in Frage gestellt. Eine quadratische Form wurde als zweckmäßiger empfunden, nicht zuletzt wegen der besseren Möglichkeit zur Umgruppierung und Anordnung der Bestuhlung, wie beispielsweise im Kreis oder in Gruppen.[65]
Somit konnten die pädagogischen Forderungen nach individuellen und wechselnden Unterrichtsmethoden besser erfüllt werden.

"Mit der größeren Tiefe des Klassenraumes fällt somit das wesentliche Hindernis für die Entfaltung einer lebendigen, wechselvollen Erziehung durch jede nur mögliche Lehrmethode weg."[66] (Immanuel Kroeker)

Die Vergrößerung der Klassentiefe führte jedoch zum Problem einer ausreichenden Belichtung. Beidseitiger Lichteinfall wurde notwendig und es wurde angedacht, diesen durch zum Gangbereich hin angeordneten Oberlichten zu erhalten.[67]

1.3.3 Neue Schulbautypen entstehen

Die bis 1945 errichteten Schulbauten in Österreich wurden mit wenigen Ausnahmen, wie die bereits erwähnte Volksschule in Ebensee, als Gangschulen konzipiert. Ab dem 2. Weltkrieg wurden Schulen, wie im 3. Kapitel von Nehrer und Wachberger in „Schulbau in Österreich von 1945 bis heute"[68] beschrieben wird, vor allem nach Prinzipien der Freiluftschule, der Hallenschule oder der Atriumschule gebaut. Allen gemein war das Verlangen nach einer möglichst ebenerdigen oder maximal zweigeschossigen Bauweise,[69] um einen engeren Bezug zur Umgebung zu ermöglichen. Im Flachbau konnten zudem auf kostspielige Massivdecken, umfangreiche Gründungen und aufwendige Treppenanlagen verzichtet werden.[70]

63 Vgl. FISCHER: Neue Wege im Schulbau...,S.25
64 Vgl. Franz LOICHT, Peter LEINWATHER in: NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich von 1945 bis heute, 1982, S.9
65 Vgl. SEELMANN in: BRÖDNER / KROEKER, Schulbauten, S.16
66 Zit. IMMANUEL KROEKER in: Schulbauten, 1951, S.23
67 Vgl. KROEKER in: Schulbauten...,S.28
68 Vgl. NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich von 1945 bis heute, 1982
69 Vgl. NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich...,S.33
70 Vgl. FISCHER: Neue Wege im Schulbau...,15

Freiluftschule

Das Grundprinzip der Freiluftschule lag darin, den Unterricht vom Frühjahr bis Herbst draußen, wie auf wind- und sonnengeschützten Freiluftplätzen abzuhalten und den Schüler nur im Winter an das Klassenzimmer zu binden. Eine bereits angesprochene notwendige Flexibilität in der Ausführung der Klassenzimmer war somit unumgänglich. Die ebenerdigen Räume sollten mehrseitig durch Falt- oder Schiebefenster geöffnet werden können[71] und mit einem vorgelagerten Grünbereich umrahmt sein.
Dadurch wurde sowohl eine optimale Querbelichtung und Querdurchlüftung sämtlicher Klassen möglich als auch eine ideale Anpassung an die Topographie. Diese Bauform führte jedoch aufgrund der Notwendigkeit einer weiträumigen Fläche zu einem größeren Baulandbedarf. Diese Grundvoraussetzung war in den Städten nur selten gegeben.[72]

Einer der ersten Vorreiter für solche Freiluftschulen war Roland Rainer (1910, 2004) mit der um 1949 gebauten "Basler Volksschule" im Wiener Stadtteil Siebenhirten.

Abbildung 09 | Basler Volksschule | 1949 | Roland Rainer

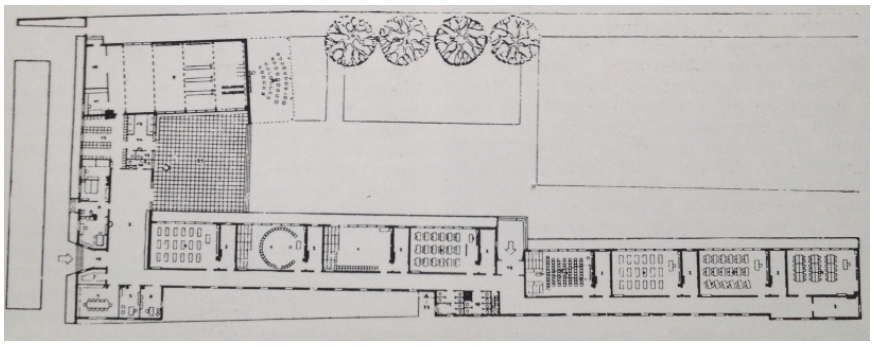


Abbildung 10 | Grundriss Basler Volksschule | 1949 | Roland Rainer Hallenschule

71 Vgl. FISCHER: Neue Wege im Schulbau...,S.27
72 Vgl. Franz LOICHT, Peter LEINWATHER in: NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich...,S.33

Im Jahr 1953 entstehen die Entwürfe für die "Wohnraumschule" der Arbeitsgruppe 4[73] als erstes Modell, welches in Richtung Hallenschule ging, jedoch nie realisiert wurde. Der zentrale Kern, ein großer Wohnraum (eine Halle), war für verschiedene Nutzungen vorgesehen. Rundherum waren die rechteckigen Klassen angeordnet, die mit dem Wohnraum so verzahnt wurden, dass die dadurch entstandenen Nischen zum Basteln und für den Gruppenunterricht genutzt werden konnten. Der zentrale Wohnraum sollte die Gemeinschaft unter den Schülern fördern und gleichzeitig eine Art Mehrzweckraum darstellen.

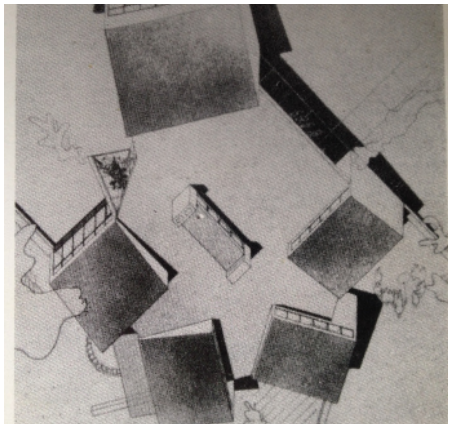


Abbildung 11 | Wohnraumschule |1953 | Arbeitsgruppe 4

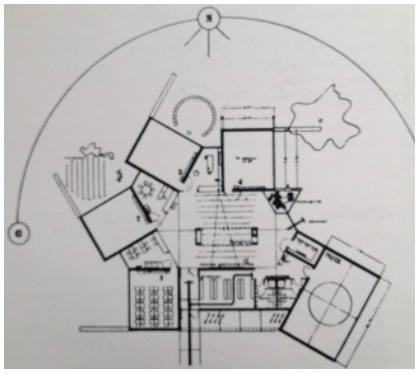


Abbildung 12 | Grundriss Wohnraumschule

Aus diesen Grundideen einer Gruppierung um einen gemeinsamen Raum entwickelte sich die ein- oder mehrgeschossige Hallenschule. Die erste Realisierung einer Schule dieser Art gelang Viktor Hufnagl (1922, 2007) im Jahr 1955 mit der Hauptschule in Strobl am Wolfgangsee in Salzburg. Neben Prinzipien der Freiluftklassen, wie die der flexiblen Faltwände und Freiluftloggien, übernahm in Hufnagls Entwurf eine zweigeschossige Halle mit Stiegen und Galerien die Erschließungsfunktion.[74] Den quadratischen Klassenzimmern waren je ein Gruppenraum, Sanitäranlagen und eine Loggia zugeordnet und gaben als Einheit die Möglichkeit für individuelle Arbeits- und Lerngemeinschaften.[75]

73 Architektengruppe, die um 1950 gegründet wurde. Mitglieder waren vier österreichische Architekten: Friedrich Kurrent (geb. 1931), Johannes Spalt (1920, 2010), Wilhelm Holzbauer (geb. 1930), Otto Leitner (geb. 1930)
74 Vgl. NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich...,S.33
75 Vgl. NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich...,S.51

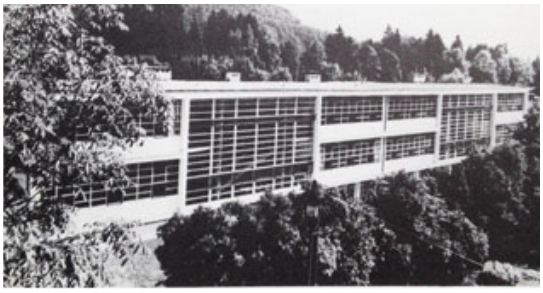


Abbildung 13 | Hauptschule in Strobl | 1955 | Viktor

Abbildung 14 | Hauptschule | 1955 | Hufnagl

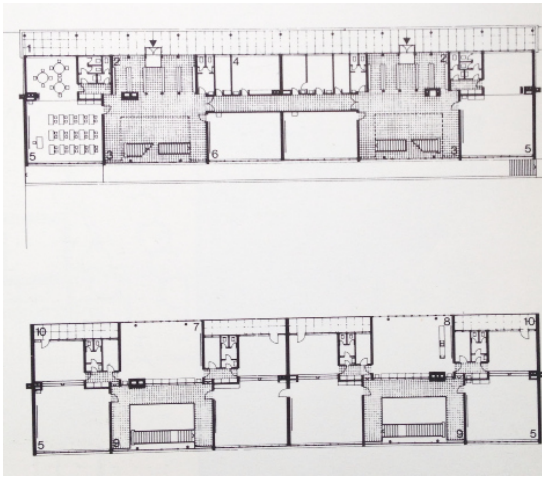


Abbildung 15 | Grundriss | 1955 | Hufnagl

Atriumschule, Pavillonschule

Die 1957 von Gustav Peichl (1928) geplante Volksschule "In der Krim" in Wien ist ein typisches Beispiel einer Atrium- oder Pavillonschule. Typologisch gesehen handelt es sich jedoch um eine Hallenschule, wird aber aufgrund der Halle, welche ein Atrium ist, zu den Atriumschulen gezählt. Die Klassen waren um einen Innenhof in Verbindung mit einer Pausenhalle angeordnet. Zusätzlich wurde in den Entwurf das Konzept des Freiluftunterrichts integriert, indem sämtlichen Klassenräumen Freiräume vorgelagert wurden.[76]

76 Vgl. Österreichischer Verband für Architektur: www.oegfa.at/event.php?item=3062, Zugriff am 20.06.2015

1.3.4 Die Akustik im Schulbau der 50er und 60er Jahre

In den 50er und 60er Jahren kam es, wie bereits erwähnt, zu wichtigen neuen Erkenntnissen zur Verbesserung der Akustik in Klassenräumen. Im Zuge der neuen pädagogischen Forderungen, welche unter 1.3.1 bereits angeführt wurden, und dem Einführen neuer Unterrichtsfächer entstanden Vorschläge zu einer genauen Einteilung der Räume in Ruhe- und Lärmzonen und folglich zu neu durchdachten Raumorganisationen.
Die Forschungen zur Materialwahl ergaben zu früher gemachten Erkenntnissen, dass weiche Materialien den Schall besser eindämmen konnten als harte Elemente. Die schalltechnischen Eigenschaften der Baumaterialien wurden nun anhand einer neu eingeführten und bis heute noch gültigen Kenngröße, der Nachhallzeit, definiert.[77] Physikalisch gesehen beschreibt diese Kenngröße die Halligkeit eines Raumes.[78] Sie wird als jene Zeitspanne definiert, in welcher der Schallpegel in einem Raum nach Beenden der Schallfeldanregung um 60 dB abfällt.[79]
Neben bauphysikalischen Faktoren, wie die der Nachhallzeit, wurde eine gute Akustik in Klassenräumen erstmals als wichtige Komponente für die geistige Entwicklung der Kinder angesehen.[80]

Ruhe- und Lärmzonen

Um eine Schallisolierung der Klassen gegen äußere Störungen, wie Verkehrslärm oder Pausenlärm zu erreichen, wurden sämtliche Räume in Ruhe- und Lärmzonen eingeteilt. Erstere, wie Unterrichtsräume, Lese- und Vortragssäle, mussten in ausreichender Entfernung von Turn- und Spielfeldern, öffentlichen Straßen und Plätzen liegen.
War dies nicht möglich, wurden als Schutz sogenannte Schallschranken, wie Bepflanzungen gefordert [81] oder der Einsatz von schalldämpfendem Pflaster für den Außenbereich.[82]

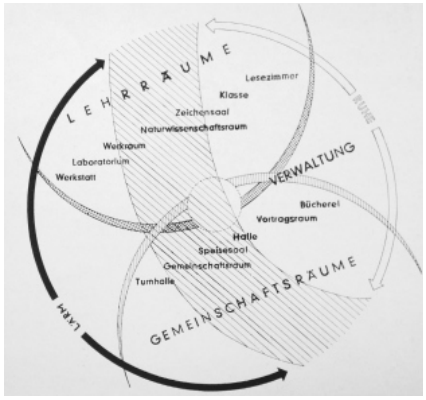


Abbildung 16 | Schema Ruhe- Lärmzonen

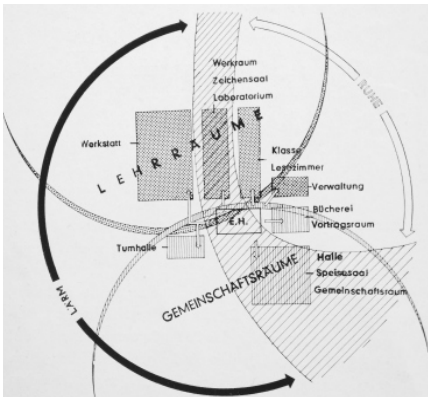


Abbildung 17 | Schema Ruhe- Lärmzonen

77 Vgl. BERGER: Schule von heute, 1960, S.105
78 Vgl. LUTZ, JENISCH, KLOPFER, FREYMUTH, KRAMPF: Lehrbuch der Bauphysik, 1985, S. 29
79 Vgl. DIN 18041, 2004-05, S.8
80 Vgl. BUDDE, THEIL: Schulen- Ein Handbuch für die Planung und Durchführung von Schulbauten 1969, S.53
81 Vgl. ROTH: Das neue Schulhaus...,S.65
82 Vgl. Maria SCHILLER in: Schulbauten, 1951, S.35

Die Grafiken zeigen die Beziehungen der einzelnen Bereiche einer Schule untereinander und zur gesamten Umgebung auf. Sämtliche Räumlichkeiten werden in Lehr- und Gemeinschaftsräume unterteilt. Zu ersteren werden Lesezimmer, Klassen, Zeichensaal, Laboratorien und Werkräume gezählt. Die restlichen Räume, wie Bücherei, Vortragsräume, Eingangs- und Gemeinschaftshalle, sowie Speisesaal und Turnhalle gehören zu den Gemeinschaftsräumen. Zusätzlich werden sämtliche Bereiche in Ruhe und Lärmzonen unterteilt und dementsprechend angeordnet. So wurden beispielsweise Turnhallen und Werkstätten nicht neben Büchereien oder Lesezimmern angeordnet, um den Unterricht dort nicht zu stören.

Materialien

Im Bereich der Materialforschung wurde nun klar ausformuliert, dass weiche Materialien wie Gummi, Kork oder das bereits in Vischers Versuchen entdeckte Linoleum für Fußböden besser geeignet waren, als harte Bodenbeläge wie Steinplatten. Der Lärm im Inneren von Schulen, welcher durch Stühle Rücken oder beim Gehen und Laufen der Kinder entstand, konnte so großteils eingedämmt werden. Für die Unterseite der Decken im Massivbau wurde die Verwendung von gelochten oder geschlitzten Platten mit akustischer Auflage empfohlen.[83] Da eine vollflächige Verkleidung das Sprechen erschweren würde und "tote Räume" entstehen ließe [84], wurde ein zur Rückwand offener U-förmiger Deckenrandfries im Zusammenwirken mit Rückwandreflektoren angeraten.[85] Diese Anordnung der Akustikplatten gilt bis heute als optimal und wird im Kapitel 3 dieser Arbeit genauer beschrieben.

Abbildung 18 | Ansicht Akustikdecke

Räume mit schrägen oder gebrochenen Decken wiesen eine bessere Raumakustik auf als solche mit parallelen und rechtwinklig zueinander angeordneten Raumelementen.[86] Trotz dieser Erkenntnis blieb die Raumgeometrie der Klassenzimmer meist in herkömmlicher Weise bestehen. Grund dafür kann der damit verbundene weit größere Arbeitsaufwand und natürlich die höheren Kosten, die mit rechtwinkligen Raumelementen vermieden werden konnten, genannt werden. Bis heute gilt die Ansicht, dass eine schräge oder gebrochene Decke bessere raumakustische Eigenschaften mit sich bringt.

83 Vgl. BERGER: Schule von heute...,S.165
84 Vgl. ROTH: Das neue Schulhaus...,S.67
85 Vgl. BUDDE, THEIL: Schulen..., 1969, S.57-58
86 Vgl. ROTH: Das neue Schulhaus...,S.67

Nachhallzeit

Im Zuge der zahlreichen schalltechnischen Untersuchungen wurde Ende der 50er Jahre die Nachhallzeit, welche noch heute die bekannteste akustische Kenngröße darstellt und in der aktuell gültigen DIN 18032-1 von 2003 festgelegt wurde, eingeführt.

Die Nachhallzeit T beschreibt physikalisch die Halligkeit eines Raumes.[87] T ist jene Zeitspanne, in welcher der Schallpegel in einem Raum nach Beenden der Schallfeldanregung um 60 dB abfällt.[88]

In Klassenräumen sollte nach den damaligen Erkenntnissen eine Nachhallzeit von 1,1 Sekunden, welche als Mittelmaß aus den angestrebten Werten für das gesprochene Wort, für Vokal- und Instrumentalmusik definiert wurde, nicht unter- bzw. überschritten werden.[89] In Fluren und Treppenhäusern galt es den Richtwert von 0,8- 1,0 Sek.[90] sowie 1,2 Sek. in Turnsälen einzuhalten.[91]

Im Jahr 1965 wurden diese Werte in DIN 18032 neu festgelegt. Die Nachhallzeit von 1,1 Sek. in Klassenräumen wurde auf 0,8 - 1,0 Sek. herabgesetzt. In Turnsälen hingegen wurde diese auf 1,8 Sek. erhöht. Musikräume sollten einen Wert von 1,2-1,5 Sek. aufweisen, während in Einzelarbeitszimmern und in Konferenzräumen ein Wert von 0,5 - 0,8 Sek. eingehalten werden sollte.[92]

Als aktueller Richtwert für die optimale Nachhallzeit in Unterrichtsräumen mit einer Größe von ca. 60m² - 70m² und einer Raumhöhe von 3,20m wird laut ÖISS Richtlinien aus 2012 ein Wert von 0,6 Sek. angenommen.[93] Die akustischen Anforderungen an den Klassenraum wurden somit immer höher. Eine genaue Definition zur Nachhallzeit und die heute gültigen Richtwerte dieser werden im Kapitel 3 angeführt.

87 Vgl. LUTZ, JENISCH, KLOPFER, FREYMUTH, KRAMPF: Lehrbuch der Bauphysik, 1985, S. 29
88 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05, S.8
89 Vgl. BERGER: Schule von heute für morgen, 1960, S.61
90 Vgl. BERGER: Schule von heute für morgen...,S.165
91 Vgl. BERGER: Schule von heute für morgen...,S.105
92 Vgl. BUDDE, THEIL: Schulen...,S.57-59
93 Vgl. DIN 18041, 2004-05, S.8

Auswirkungen des Schalls auf die Gesundheit

Ende der 60er Jahre kam es erstmals zur Annahme, dass gute Hörbedingungen in Klassenräumen für die geistige Entwicklung eines Kindes unbedingt erforderlich sind. Ein hoher Lärmpegel führe nach längerer Zeit zu Erkrankungen des vegetativen Nervensystems und könne unter Umständen zum Ertauben führen. Zudem führe ein hoher Grundschallpegel zu Ermüdungserscheinungen und Nervosität bei Lehrern und Schülern.

Das folgende Diagramm zeigt die Hörbarkeits- und Schmerzgefühlsschwelle in ihrer Abhängigkeit zur Frequenz (Perioden pro Sekunde) und zur Schalldruckhöhe (Dezibel). Das Ohr vernimmt den Frequenzbereich der Sprache am besten.[94]

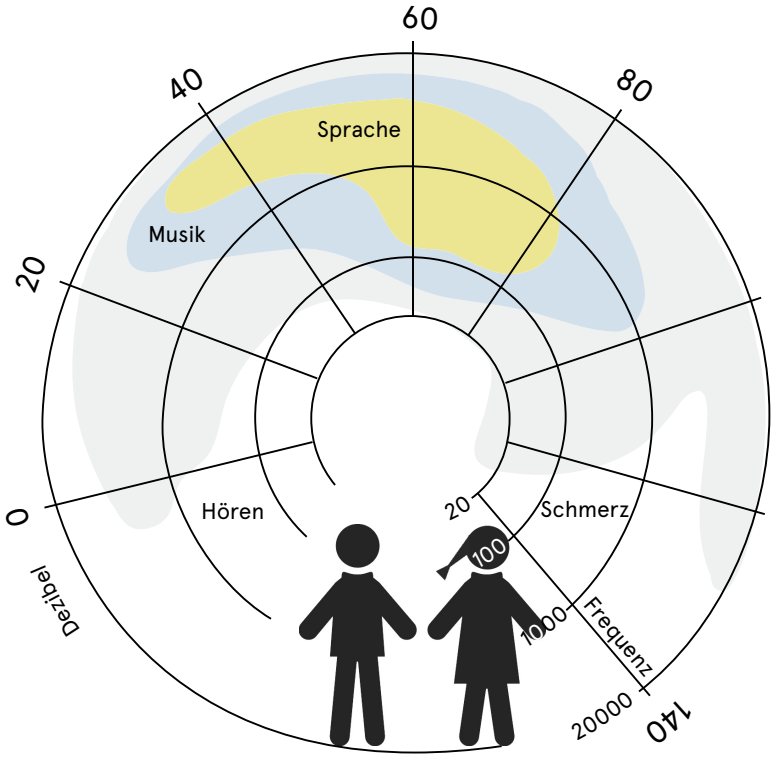


Abbildung 19 | Schema Hörbarkeits- und Schmerzgefühlsschwelle

Heutige Kenntnisse über gesundheitliche Auswirkungen des Schalls auf Lehrer und Schüler werden im Kapitel 2 genauer untersucht und anhand eines eigens angefertigten Fragebogens, der an insgesamt 40 Lehrer ausgeteilt wurde, im Anhang A dieser Diplomarbeit erläutert.

94 Vgl. BUDDE, THEIL: Schulen...,S.53

1.4 Die neue Bauweise in den 70er Jahren

Ende der 60er Jahre ging vom Bundesministerium für Bauten und Technik ein Forschungsauftrag mit dem Titel "Vorfertigung im Schulbau" aus. Anhand von kleineren Testbauten wurde die neue typologische Entwicklung der Vorfabrikation und seriellen Herstellung von Bauteilen erprobt.[95] Nach deren Bewährung wurden die dabei gewonnenen Kenntnisse in größeren Projekten eingesetzt. Eine der drei Testbauten war die von Viktor Hufnagl geplante Volksschule in Wörgl,[96] welche unter 1.4.2 genauer untersucht wird.

Neben einer neuen technischen Bauweise, die den Bauprozess aufgrund der seriellen Herstellung eindeutig beschleunigte, wurden Schulen besonders aus wirtschaftlichen Überlegungen, als sogenannte kooperative Schulanlagen oder Schulzentren geplant. Verschiedene Schultypen, wie Volks-, Mittlere- und Höhere Schulen wurden nun in einem Bau vereinigt.[97]

1.4.1 Eine neue Bauweise entsteht

Im Gegensatz zur Massivbauweise wurde in der serienmäßigen Herstellung von Bauteilen ein preiswertes und flexibles Bausystem in Betracht gezogen. Neben einer hohen Flexibilität war auch eine große Planungsfreiheit für den Architekten selbst möglich.[98]

Die leicht verschiebbaren Trennwände und Möbel auf Rollen sollten eine wohnliche Atmosphäre mit sich bringen. Eine Prämisse, die bereits in den beiden Jahrzehnten zuvor gefordert worden war.

"Der Hauptzweck dieser Schulen besteht darin, eine Umgebung zu schaffen, die eine größere Wechselwirkung zwischen Lehrern und Schülern und zwischen den Lehrern untereinander bewirkt. Trennwände, die den Lehrvorgang zerstückeln könnten, indem Lehrern und Kindern starre Standardräume zugewiesen werden, gibt es nicht mehr. Auch fehlen Gänge, die die Kinder nach dem willkürlichen Diktat einer Glocke von Raum zu Raum schleusen. Jedes Kind findet seinen Platz, geht seine eigenen Wege." [99] (schools without walls)

95 Vgl. NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich von 1945 bis heute, 1982, S.36-37
96 Vgl. LANG, Christian in: HOPPE: Schulbau in Österreich, Eine qualitative Bestandsaufnahme, 1996, S.20
97 Vgl. NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich von 1945 bis heute, 1982, S.37
98 Vgl. Helmut EISENMENGER: Schweden zeigt einen neuen Weg im Schulbau, in: Schul- und Sportstättenbau, Mitteilungsblatt des ÖISS, 1970, Heft 70/2. Auflage, S.37
99 Zit. aus Gerhard F. MÜLLER, Helmut EISENMENGER: Analysearbeit, 2010, aus: Deutsche Übersetzung von: EFL, Inc. (Hg.) (1968): schools without walls: Schulen ohne Wände (1969), catalog Schriftenreihe, Heft 1, Januar 1969, Frankfurt am Main. S.1 [keine Seitennummern].

Kritik am Fertigteilbau

Dennoch kann diese Phase des Schulbaus als eine Art Rückschritt gesehen werden. Die gewollte Flexibilität konnte oft aufgrund von Ausführungsmängeln nicht erreicht werden und wurde meist im Rahmen von Sanierungsarbeiten mit fixen Einbauten ersetzt.[100]
Die Fertigteilbauweise erfüllte zwar sämtliche statische Anforderungen, konnte weitere bauphysikalische Eigenschaften des Massivbaus, wie beispielsweise eine ausreichende Wärmeisolierung, jedoch nie erreichen. Durch nachträgliche Sanierungsarbeiten an vielen Schulen, aufgrund eines steigenden energetischen Anspruchs an die Gebäudehülle, ging bei einigen Gebäuden die damals angestrebte Transparenz der Fassade komplett verloren.[101]
Aufgrund der eingeschossigen und sehr tiefen Gebäudeform wurde eine künstliche Belichtung und Belüftung oft notwendig.[102] Das Verlangen nach Licht, Luft und Sonne der 60er Jahre wurde somit von den pädagogischen Forderungen nach möglichst flexiblen Unterrichtsräumen verdrängt.

1.4.2 Die Beispielschule in Wörgl im Wandel der Zeit

Im Zuge des Forschungsauftrags des Bundesministeriums entstand zwischen 1970 und 1973 ein von Viktor Hufnagl geplantes Schulgebäude, bestehend aus drei Schultypen. Diese neue Art und Weise der Vereinigung von mehreren Schultypen sah er als Förderung der Integration und Kommunikation der Schüler untereinander an.[103]

"Die Zusammenlegung von Gemeinschafts- und Schuleinrichtungen zu einem Kultur- und Bildungszentrum auf einem gemeinsamen Grundstück würde größtmögliche Effektivität an Sozialkontakt der Jugend mit den Erwachsenen (. . .) bringen."[104]
(Hubertus Adam)

Im gesamten Komplex waren insgesamt 1.300 Schüler in 36 Klassen untergebracht. Die Schule wurde nach dem klassischen Muster der vorhin erläuterten Hallenschulen geplant. An drei Seiten wurden die Schuleinheiten mit jeweils eigener Halle um eine große gemeinsame Halle situiert. Ein Sportbereich mit Turnsälen und einer Schwimmhalle schloss an die vierte Hallenseite an.[105]

Hufnagl versuchte trotz des großen Volumens der Schule eine maximale Überschaubarkeit zu erreichen, indem er den Grundriss als kreuzförmige Stufenpyramide plante. Der gleichgeschossige Mitteltrakt wurde über Lichtkuppeln mit Tageslicht versorgt.[106]

100 Vgl. Christian LANG in: HOPPE: Schulbau in Österreich, Eine qualitative Bestandsaufnahme, 1996, S.21
101 Vgl. JÄGER-KLEIN: Schulbau in Österreich- Wege in die Zukunft, 1996-2011, 2012, S.30-31
102 Vgl. Christian KÜHN: Schulbau in Österreich, 1996-2011, 2012, S.83
103 Vgl. NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich...,S.35
104 Zit.: www.nextroom.at/building.php?id=19246, Zugriff am 21.06.2015
105 Vgl. NEHRER, WACHBERGER: Schulbau in Österreich...,S.35
106 Vgl. Christian LANG in: HOPPE: Schulbau in Österreich, Eine qualitative Bestandsaufnahme, 1996, S.21

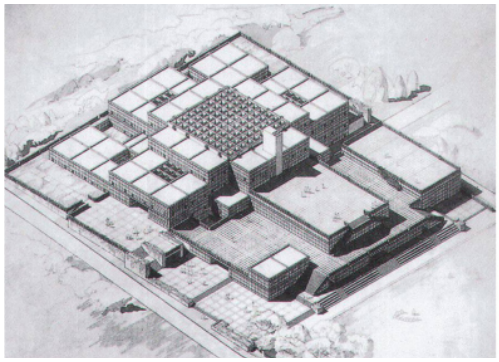


Abbildung 20 | Schulzentrum Wörgl | 1973 | Hufnagl

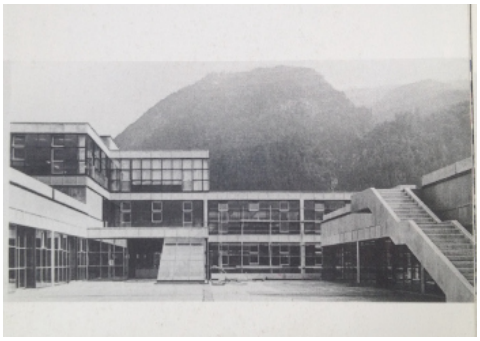


Abbildung 21 | Schulzentrum Wörgl | 1973 | Hufnagl

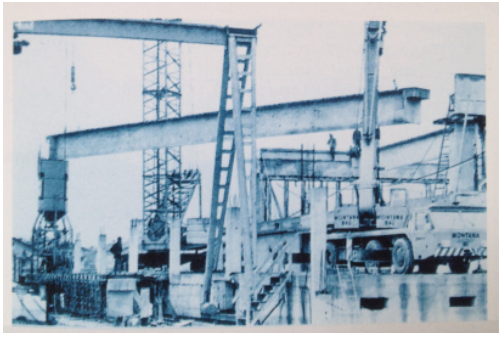


Abbildung 22 | Montage der Fertigteile am Schulzentrum Wörgl | 1973 | Hufnagl

Sämtliche Stützen, Balken und Kassettendecken wurden ebenso wie die ausfachenden Außenwände und Innentrennwände als Fertigteilelemente im modularen System geliefert und vor Ort montiert. [107]

107 Vgl. Wilhelm SCHÖBL: Vorfertigung im Schulbau. Modellschule Wörgl In: architektur aktuell, 1973, Heft 37, S.47

Umbau und Sanierung der Schule in Wörgl

Bereits 1998 musste die Schule neu saniert werden. Im Rahmen eines zweistufigen Wettbewerbs für eine "Erweiterung und Adaptierung" konnten sich die Architekten Peter Märkli (geb. 1953) mit Gody Kühnis (geb. 1947) behaupten. Sie verzichteten als einzige Teilnehmer auf einen Neubautrakt und planten nur diverse Aufstockungen und Anpassungen am bestehenden Bau. Das Grundkonzept Hufnagls, der Halle als Kern der Schule und Ballungsraum, blieb bestehen. Die Erweiterung konzentrierte sich lediglich auf eine neue Turnhalle und die Aufstockung im zweiten Obergeschoss. Die Form der Stufenpyramide wurde durch den Verlust der obersten Terrassen von einem nun kompakteren Erscheinungsbild verdrängt. [108]

Abbildung 23 | Ansicht des Schulzentrums Wörgl nach Sanierung | 1998 | Märkli, Kästle

Die Kurzlebigkeit der Fertigteilbauweise machte sich auch hier bemerkbar.
Die ursprüngliche Aluminiumfassade musste erneuert werden, der unzureichende Sonnenschutz wurde ergänzt und aufgrund notdürftiger Wärmedämmeigenschaften wurden Bauteile neu "eingepackt".[109]

Kritik am Beispiel der Schule in Wörgl

Die Modularität und Flexibilität, die Hufnagl erreichen wollte, funktionierte aufgrund von Ausführungsmängeln und einer ständig ansteigenden Schülerzahl nicht. Wie bereits erwähnt, fand die Möglichkeit zur flexiblen Nutzung der Unterrichtsräume nur selten Anwendung und wurde hinterher durch fixe Einbauten komplett ersetzt.[110]

Des Weiteren wird auch der Ansatz, mehrere Schultypen in einem Gebäude unterzubringen, im Nachhinein als negativ gesehen. Die Altersunterschiede seien zu groß um eine Integration und Kommunikation der Altersgruppen untereinander zu erreichen.[111] Dennoch wird diese Art der Unterbringung mehrerer Schultypen in einem Gebäude, trotz Kritik, aber vielleicht aus Kostengründen noch heute im Schulbau häufig eingesetzt. Das später angeführte Beispiel der Schule am Hauptbahnhof in Wien, die 2014 in Betrieb genommen wurde, ist das jüngste Beispiel eines solchen Schulzentrums.

108 Vgl. Martin TSCHANZ: Weiterbauen an einer Modellschule, Zeitschrift: werk, bauen + wohnen, 2004, Band 91, Heft 6, S.34
109 Vgl. TSCHANZ: Weiterbauen an einer Modellschule..., S.34
110 Vgl. Christian LANG in: HOPPE: Schulbau in Österreich...,S.21
111 Vgl. SCHEURECKER in: HOPPE, Schulbau in Österreich...,S.72

1.4.3 Akustische Probleme der Fertigteilbauweise

Neben einer schlechten Belichtung und Belüftung der Klassenräume bei Bauten in Fertigteilbauweise, waren auch die akustischen Eigenschaften dieser modularen Systeme bedürftig. Durch das notwendige geringe Eigengewicht der beweglichen Trennwände konnte eine auszureichende akustische Dämmung nicht implementiert werden.[112]

Generell kann behauptet werden, dass die Bauweise der 70er Jahre die Forderungen an die Gesundheit der 60er Jahre nicht erfüllen konnte. Zudem konnte die Fertigteilbauweise, wie bereits erwähnt, sämtliche bauphysikalische Anforderungen an ein Schulgebäude, wie eben gute schalltechnische oder wärmetechnische Eigenschaften des Massivbaus, nicht erfüllen.

Im Buch "neue Schulen" von Olinde und Walter Meyer Bohe von 1974 werden dennoch nach damals gültiger DIN 4103 schalltechnische Anforderungen an Trennwände und Deckenverkleidungen im Fertigteilbau angeführt: [113]

Art	mittleres Schalldämm Maß	Luftschallschutz- Maß
Trennwand (im Laboratorium)	≥ 45 dB	≥ -5 dB
Deckenverkleidung (Längsdämm- Maß)	≥ 50 dB	≥ 0 dB
Dämmung der Fugen (bezogen auf die Trennwandfläche)	≥ 50 dB	≥ 0 dB

Abbildung 24 | Tabelle Schalldämmmaß

Ob diese Anforderungen in der Praxis erfüllt wurden, kann aufgrund von damals noch nicht durchgeführten schalltechnischen Messungen nicht nachgewiesen werden. Die heute gültigen Kenngrößen für das Schalldämm Maß werden in DIN 4109 festgehalten und weichen nicht maßgebend von obiger Tabelle ab.[114]

112 Vgl. Christoph REINHOLD in: Schulbau in Österreich, Eine qualitative Bestandsaufnahme, 1996, S.49
113 Vgl. Olinde und Walter MEYER- BOHE: neue Schulen, 1974, S.99
114 Vgl. DIN 4109, Stand vom 08.2012, S.8, Tabelle 3

1.5 Der Schulbau in den 90er Jahren bis heute

Eine wichtige Tendenz aus den 90er Jahren waren Um- oder Zubauten an bereits bestehenden Schulen. Bei genauerer Betrachtung der Entwicklung der Schultypologie von der Gangschule aus der Gründerzeit bis zur Weiterentwicklung der Hallenschule in den 70er Jahren fällt auf, dass bis heute keine neuen Typologien im österreichischen Schulbau hervorgegangen sind.
Großteils findet man Mischformen aus Gang- und Hallenschulen vor, welche sich bis heute am besten bewährt haben.[115]

In folgenden Abschnitten wird als Beispiel für einen Zubau aus den 90er Jahren, die 1995 errichtete Schule in der Zinckgasse, die an die bereits typisierte Knabenschule aus 1894 andockt, beschrieben. Diese speziell für sehbehinderte Kinder geplante Schule wurde vor allem unter der Annahme ausgewählt, dass aufgrund der schlechten Sehverhältnisse der Schüler besonders auf die Akustik im Zuge der Planung geachtet wurde.
Anschließend wird der Bildungscampus beim Wiener Hauptbahnhof als Beispiel einer Mischform aus Gang-, Hallen-, und Freiluftschule angeführt.

1.5.1 Beispiel eines Zubaus im innerstädtischen Bereich in Wien

Im Jahr 1983 wurde die chemische Fabrik der Firma Medinger und Söhne auf dem Grundstück in der Zinckgasse 16 neben der 1894 erbauten Knabenschule abgerissen. Rund 10 Jahre später wurde als Zubau an die Gründerzeitschule (im Schwarzplan grün gekennzeichnet) von den Architekten Georg Driendl (geb. 1956) und Gerhard Steixner (geb. --) eine Schule für sehbeeinträchtigte Schüler geplant und errichtet.[116]

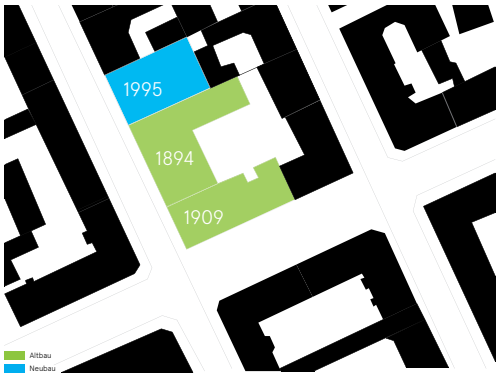


Abbildung 25 | Lageplan Schule Alt- und Neubau

115 Vgl. PLAKOLM-FORSTHUBER: Schulbau in Österreich...,S.34-35
116 Vgl. Einreichpläne der Baupolizei MA 37, Zinckgasse 14-16

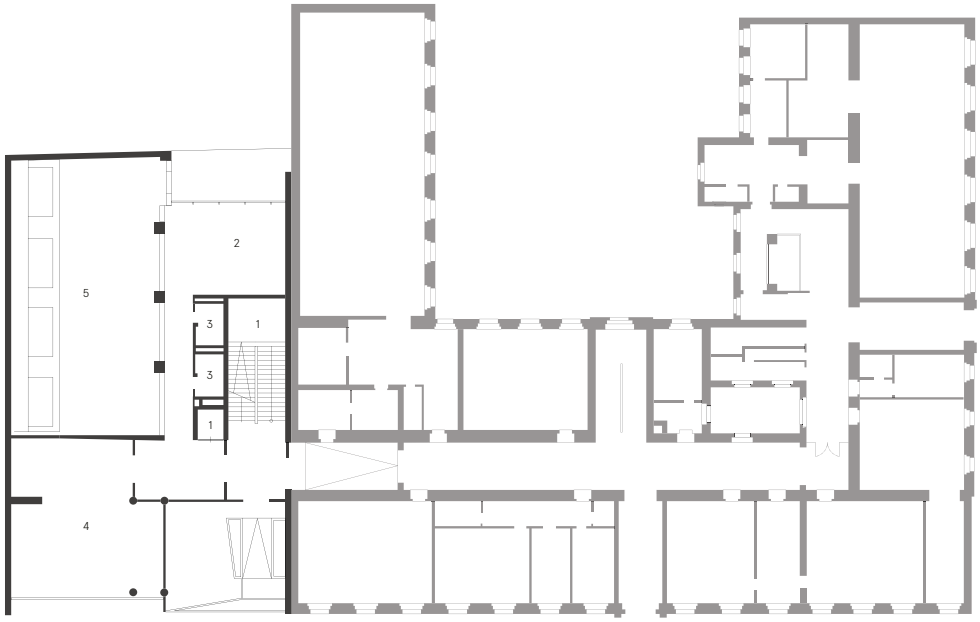


Abbildung 26 | Grundriss EG der Volksschule Zinckgasse | 1993 | Driendl, Steixner

Funktionsaufteilung_EG

1 Stiegenhaus - Lift
2 Klasse
3 Sanitäranlage
4 Küche
5 Turnsaal

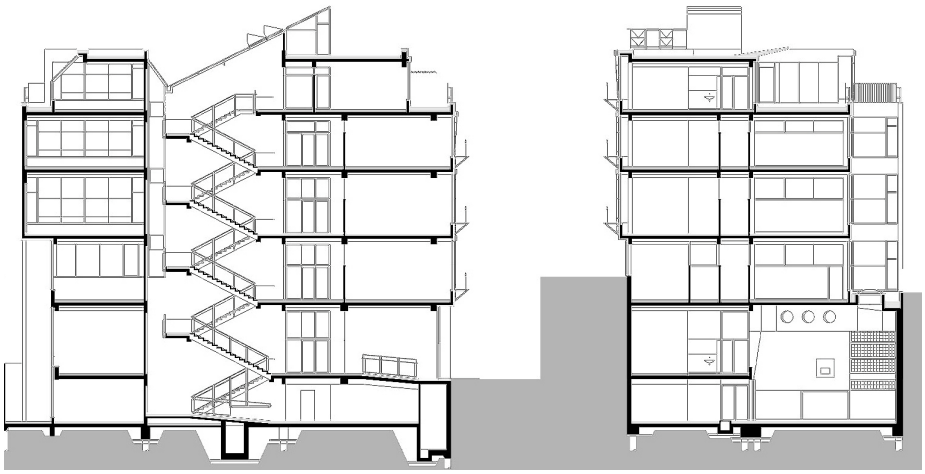


Abbildung 27 | Schnitt der Volksschule Zinckgasse | 1993 | Driendl, Steixner

Bautypologie und Schulbeschreibung

Der Zubau wurde in die sehr schmale Baulücke zwischen dem Gründerzeitbau und einem Wohngebäude eingepasst. Driendl und Steixner entschieden sich für die Typologie der Gangschule. Es kann angenommen werden, dass dies zum einen die einzige aus Platzgründen mögliche Lösung war und zum anderen am besten mit der ebenfalls als Gangschule konzipierten ehemaligen Knabenschule nebenan harmonierte.

"Die Häufigkeit des Gangtyps, oft in Verbindung mit einer verglasten Eingangshalle als Erschließungszone, resultiert zum einen aus dem Umbau traditioneller Gangschulen, insbesondere der Nachkriegszeit; er ist aber auch bei neuesten Schulbauten ein gern verwendetes, weil ökonomisch leicht zu realisierendes Standardmodell."[117]
(Sabine Plakolm- Forsthuber)

Der Gang bietet neben einer reinen Verkehrsfläche auch Aufenthaltsmöglichkeiten für die Schüler und stellt in jedem Geschoss eine Verbindung zum Altbau dar.
Die Erschließungszone im Erdgeschoss kann auch als eine Art kleine Halle gesehen werden, die als Sammelpunkt genutzt wird.

Klassenraum und Materialität

Besonders auffallend ist die Materialvielfalt sowohl an der Außenfassade als Aluminiumkonstruktion, als auch im Inneren des Gebäudes. Dort wurden neben Oberflächen aus Weich- und Hartholz auch Sichtbeton, Klinker, Terrazzo, Keramik, Glas und Putzflächen verwendet. Diese kontinuierlich eingesetzte Vielfalt und die somit unterschiedliche Haptik ist ein wichtiger Aspekt um die Sinneswahrnehmungen der sehschwachen und sehbeeinträchtigten Schüler zu fördern. Die Klassenräume besitzen eine quadratische Grundrissform, die, wie bereits erwähnt, seit den 60er Jahren als ideale Lösung für verschiedene Unterrichtsformen gilt.
Um diesen Räumen möglichst viel Licht zuzuführen wurde die straßenseitige Fassade fast vollflächig mit einer Fixverglasung versehen. Gangseitig erfolgt die Lichtzufuhr über Oberlichten.[118]

Schalltechnische Eigenschaften des Zubaus

Die Decken und Gangbereiche der Klassenräume wurden durch abgehängte Brandschutzdecken, die eine gute Schalldämmung aufweisen, verkleidet.
Genauere schalltechnische Eigenschaften des Zu- und Altbaus in der Zinckgasse wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit genauer untersucht und gemessen. Sämtliche Informationen und Ergebnisse werden in den nächsten Kapiteln dieser Arbeit angeführt.

117 Vgl. PLAKOLM-FORSTHUBER: Schulbau in Österreich..., 2012, S.30-31
118 Vgl. Christian KÜHN: Ringstraße ist überall, Texte über Architektur und Stadt 1992-2007, Das Ende der Kalkputzstadt, 2008, S.355-358

1.5.2 Beispiel eines Neubaus am Wiener Hauptbahnhof

Das Wiener Architekturbüro PPAG gewann im Jahr 2011 den Wettbewerb zur Realisierung des Bildungscampus in Wien. Die Architekten planten eine Bildungseinrichtung für 1.100 Schüler bis 14 Jahre.[119]

Abbildung 28 | Stimmungsbild und Innenraumansicht des Bildungscampus | 2011 | PPAG

Abbildung 29 | Stimmungsbild und Innenraumansicht des Bildungscampus | 2011 | PPAG

Bautypologie

Der Bildungscampus wurde, wie die bereits erwähnte Schule in Wörgl, von Victor Hufnagl um 1970 als Schulzentrum geplant. In einem Campus werden neben Haupt- und neue Mittelschule auch eine Volksschule, sowie ein Kindergarten vereinigt.

Jede einzelne Bildungseinrichtung besteht aus jeweils 4 Cluster bzw. 2 Cluster pro Geschoss. Diese beinhalten wiederum je 4 Klassen, einen Projektraum und einen Teamraum für die Lehrer. Die Räumlichkeiten eines Cluster werden über die sg. Marktplätze miteinander verbunden.[120] Die Gemeinschaftsräume könnten auch als eine Art "Halle" gesehen werden, von der aus alle weiteren Räume erreichbar sind.

119 Vgl. www.derstandard.at/2000004662309/Bildungscampus-Hauptbahnhof-Schule-macht-Schule, Zugriff am 20.06.2015

120 Vgl. www.nextroom.at/building.php?_q=n,150409&id=36795&sid=39465, Zugriff am 20.06.2015

Durch das Versetzen der beiden übereinander gestapelten Geschosse entsteht die Möglichkeit von Freiräumen bzw. Freiluftklassen.[121] Im allgemeinen kann die Idee des Schulzentrums als Beispiel einer neuartigen Mischform verschiedener Schulbautypologien, aus Hallenschule, Freiluftklassen und Atriumschule gesehen werden.

Abbildung 30 | Lageplan | 2011 | PPAG

Abbildung 31 | Clusterplan | 2011 | PPAG

Klassenraum

Sämtliche Bildungsräume weisen neben den rechteckigen Teamräumen eine quadratische Grundrissform auf, ebenso wie das vorige Beispiel. Zudem verfügen die Räume über eine rund 15 m² große Raumnische, die den Schülern als Rückzugsort dient. Mittels vier Meter breiten Glasfalttüren können die einzelnen Klassenräume so geöffnet werden, dass sie zu einem riesigen Dorfplatz zusammengefasst werden können. Dadurch können bis zu 100 Kinder aus verschiedenen Schulstufen gleichzeitig und fächerübergreifend unterrichtet werden.[122] Hier ist das Grundprinzip der Doppeltüren zwischen den Klassenzimmern aus der Gründerzeit deutlich zu erkennen. Ob diese Möglichkeit in der Praxis genutzt wird und ob die Schüler bei dieser Art von Unterricht profitieren können, bleibt abzuwarten.

121 Vgl. www.nextroom.at/building.php?_q=n,150409&id=36795&sid=39465, Zugriff am 20.06.2015
122 Vgl. www.derstandard.at/2000004662309/Bildungscampus-Hauptbahnhof-Schule-macht-Schule, Zugriff am 20.06.2015

Neben dem äußeren Grundrisskonzept der Cluster entwerfen die Architekten von PPAG auch neue Tischmöbel für die Schüler. Die allgegenwärtige rechteckige Form der Tische wurde verabschiedet und durch ein unregelmäßiges sechseckiges Design ersetzt.
Die Kinder sitzen zudem im Vergleich zu den bisherigen Volksschulstandards deutlich höher. Dies ermöglicht den Lehrern eine vergleichsweise entspannte Körperhaltung bei Interaktionen mit ihren Schülern, die am Tisch sitzen.[123]

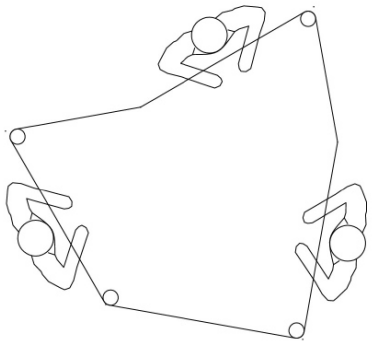


Abbildung 32 | Draufsicht der neuen Tischmöbel in den Klassen| 2011 | PPAG

1.5.3 Die Akustik im Schulbau aktuell

Da der Akustik im Schulbau immer mehr Bedeutung geschenkt wird oder werden sollte, werden in der restlichen Arbeit die dazu wichtigsten Aspekte angeführt und untersucht. Ein wichtiger Punkt, der neben schalltechnischen Anforderungen an ein Schulgebäude nicht außer Acht gelassen werden darf, sind die gesundheitlichen Auswirkungen, die eine schlechte Klassenraumakustik für Lehrer und Schüler mit sich bringt. Derzeit gibt es im Gegensatz zu den Erkenntnissen aus den 60er Jahren (angeführt unter 1.3.4), zahlreiche Forschungen und Beiträge dazu. Die wichtigsten Ergebnisse werden im nächsten Kapitel unter besonderem Schwerpunkt auf die Berufsgruppe der Lehrer und selbstverständlich auf die Schüler selbst angeführt.

123 Vgl. www.nextroom.at/building.php?_q=n,150409&id=36795&sid=39465,Zugriff am 20.06.2015

2

LÄRM IN DER SCHULE

URSACHEN, ZUSAMMENHÄNGE UND DIE AUSWIRKUNGEN AUF SCHÜLER UND LEHRER

URSACHEN UND WIRKUNGEN DES LÄRMS

Ursachen- Wie Lärm entsteht
Allgemeine Auswirkungen des Lärms auf die Gesundheit

SCHÜLER UND LÄRM IM KLASSENRAUM

Auswirkungen des Lärms auf die Leistung der Schüler
Studie der ARGE Zuhören

LEHRER UND LÄRM IM KLASSENRAUM

Auswirkungen des Lärms auf die Lehrpersonen
Studie der ARGE Zuhören

Überblick

Eine schlechte Raumakustik im Klassenraum lässt sämtliche Geräusche zum Stressfaktor „Lärm" heranwachsen. Dieser Umstand kann zu zahlreichen gesundheitlichen Belastungen der Menschen, die sich in einer lärmerfüllten Umgebung aufhalten, führen.[124] Doch was ist „Lärm" eigentlich und durch welche Ursachen entsteht dieses nervtötende Geräusch? Auf diese Fragen wird zu Beginn des Kapitels eingegangen und in weiterer Folge aufgezeigt, welche allgemeinen Auswirkungen eine lärmerfüllte Umgebung auf den Menschen hervorrufen kann.

Des Weiteren wird besonderer Fokus auf die Lärmbelastung im Klassenraum gelegt. Für Schüler bedeutet eine lärmerfüllte Umgebung vor allem Störung der Konzentration und eine starke Beeinträchtigung der schulischen Leistung. Auch die Lehrerschaft beklagt oft Heiserkeit und Stimmprobleme, die neben weiteren gesundheitlichen Auswirkungen, durch ständiges Übertönen des Lärms entstehen. Befragungen zum Thema „Lärm in der Schule" von rund 1.100 Schülern und 1.460 Pflichtschullehrern der österreichischen Kooperation „ARGE Zuhören"[125] von 2006 bis 2009 zeigten, dass die Lärmbelastung an Schulen von beiden Teilnehmergruppen als ein fortwährendes Problem empfunden wurde.[126] Die wichtigsten Ergebnisse dieser Umfrage werden in diesem Kapitel angeführt. Im Anhang A dieser Diplomarbeit soll anhand eines Fragebogens genauer untersucht werden, ob auch am Beispiel der beiden Schulen in der Zinckgasse (Alt- und Neubau), der Lärm von Seiten der Lehrerschaft als hoher Belastungsfaktor gesehen wird.

124 Vgl. Ludowika HUBER, Joachim KAHLERT, Maria KLATTE: Die akustisch gestaltete Schule- Auf der Suche nach dem guten Ton, 2002, S.12
125 Vgl. ARGE: www.zuhoeren.at, Zugriff am 20.06.2015
126 Vgl. Erich HOTTER, Josef ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule, 2008, S.2

2.1 Ursachen und Wirkungen des Lärms

Arthur Schopenhauer definiert den Lärm, als „[..] die impertinenteste aller Unterbrechungen, da er sogar unsere eigenen Gedanken unterbricht, ja zerbricht [...].“[127]

Ähnlich wie Schopenhauer charakterisiert auch Lärmforscher Guski im Jahr 2002 den Lärm bzw. die Lärmbelastung als eine „Mischung aus leichtem Ärger darüber, dass man etwas hören muss, was man nicht hören will, dass man bei einer Tätigkeit gestört wird und man gegen die Quelle relativ machtlos ist.“[128](Guski)

Physikalisch gesehen entsteht der subjektive Begriff Lärm durch störenden Schall. Dabei spielt die Einstellung des Menschen zur Schallquelle eine wesentliche Rolle. So empfinden die Eltern ihre spielenden Kinder als nicht störend, während die Nachbarn diese Hintergrundgeräusche als Lärm oder als unerwünschte Unterbrechung wahrnehmen. [129]
Lärm kann des Weiteren neben Störungen der Kommunikation in lärmerfüllten Räumen die Leistungsfähigkeit stark beeinträchtigen und letztendlich auch zu Gesundheitsschäden führen.[130]
In den folgenden Abschnitten soll neben den Ursachen der Lärmentstehungen auch auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen, die eine lärmerfüllte Umgebung verursachen kann, eingegangen werden.

2.1.1 Ursachen - wie Lärm entsteht

Die allgemeine Entstehung von Lärm in einem Raum kann, physikalisch gesehen, auf einfache Art und Weise erklärt werden. Besonders erwähnenswert ist an dieser Stelle der französische Wissenschaftler Etienne Lombard (1868, 1920), der im Jahr 1911 den nach ihm benannten „Lombard Effekt“ als Ursache für das stetige Ansteigen des Lärmpegels nannte:
Wenn in einem Raum mehrere Personen gleichzeitig sprechen, steigt das Hintergrund–rauschen aufgrund der allgemeinen Konversation. Grund dafür sind laut Lombard Schallwellen, die an den Wänden, der Decke oder an anderen Menschen reflektiert werden. Sobald dieses Hintergrundgeräusch die gleiche Lautstärke der vorherrschenden Gespräche erreicht, wird die Sprachverständlichkeit zusehends schlechter. In weiterer Folge heben alle Gesprächspartner die Stimme und der Grundgeräuschpegel steigt somit immer weiter an.[131] Diesem Phänomen kann nur mit einer gezielt geplanten Raumakustik entgegengewirkt werden.

127 Vgl. Markus OBERDÖRSTER, Gerhart TIESLER: Akustische Ergonomie der Schule, Schriftenreihe der BAuA Fb 1071, 2006, S.19
128 Zit.: R. GUSKI (2002). Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts in: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 49, 219-232.
129 Vgl. Christof RICCABONA, Thomas BEDNAR: Baukonstruktionslehre 4, 2010, S.123
130 Vgl. ISING, SUST, REBENTISCH: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 98, 1996, S.2
131 Vgl. Jearl WALKER: Der fliegende Zirkus der Physik- Fragen und Antworten, 2008, S.165

Betrachtet man den „Lombard Effekt" in Klassenräumen, wird schnell klar, dass dieser heutzutage aufgrund des bereits im ersten Kapitel erwähnten starken Wandels der Unterrichtsformen vom Frontalunterricht der Gründerzeit hin zu offenen Mischformen häufig zum Problem wird.
Im Zuge der Diplomarbeit wurde aus diesem Grund in jeweils einem Klassenraum der beiden Schulen der Zinckgasse (der gründerzeitlichen Knabenschule und dem Zubau aus den 90er Jahren) sowohl der Grundgeräuschpegel als auch der generelle Geräuschpegel während des Unterrichts gemessen. Sämtliche Ergebnisse dazu werden im vierten Kapitel angeführt und genauer analysiert.

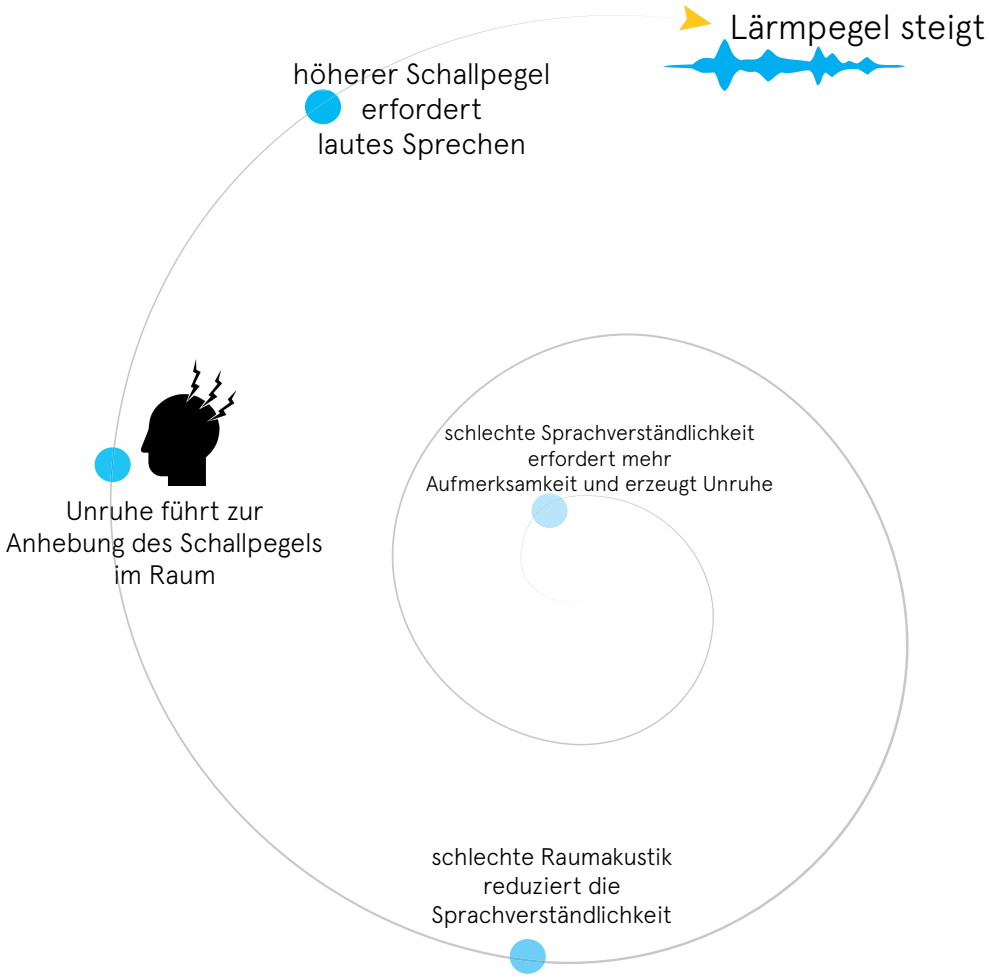


Abbildung 33 | Lombard Effekt- Lärmspirale

Heutzutage wird der „Lombard Effekt" jedoch auch gezielt in der klinischen Psychologie eingesetzt. Personen, die vermehrt stottern, sprechen nämlich unter erhöhten Lärmverhältnissen deutlich flüssiger. Bewiesen wurde dies vom Forscher Nandor (keine Angabe) im Jahre 1982, der vier Stotterer mit vier Nicht-Stotterern verglich. Beide Gruppen wurden aufgefordert, sowohl unter ruhigen Verhältnissen als auch unter dem Einfluss eines höheren Hintergrundrauschens miteinander zu kommunizieren. Alle Beteiligten erhöhten während des Geräusches ihre Stimmintensität und Lautstärke zunehmend. Stotterern fiel es sichtlich leichter, sich in einer lauteren Umgebung sich zu artikulieren, da wahrscheinlich die Nervosität beim Sprechen abfiel und die Angst als Stotterer aufzufallen weg fiel.[132]

Abgesehen von diesen vereinzelt positiven Effekten des „Lombard Effekts", verursacht er eine Reihe negativer Auswirkungen gesundheitlicher Natur, die nachfolgend angeführt werden.

2.1.2 Allgemeine Auswirkungen des Lärms auf die Gesundheit

Betrachtet man die gesundheitlichen Auswirkungen des Lärms auf den Menschen, wird im allgemeinen zwischen auralen und extra- auralen Lärmeinwirkungen unterschieden. Dabei betreffen aurale Auswirkungen direkt die Gesundheit des Ohrs, während extra-aurale Lärmeinwirkungen physiologische oder psychische Belastungen beschreiben.[133]

Aurale Lärmwirkung

Bei längerfristigen Lärmbelastungen, vor allem an Arbeitsplätzen mit einem hohen Schallpegel (ab einem Tagesexpositionslärmpegel von 85 dB wird bereits ein Gehörschutz vorgesehen)[134], wird das Ohr dauerhaft geschädigt, da sich die äußerst empfindlichen Haarzellen im Innenohr fortschreitend verändern. Zu Beginn verlieren diese Zellen ihre Festigkeit und verkleben bei dauernd anhaltendem Lärm zunehmend. Ohrenärzte schätzen, dass in Zukunft rund ein Drittel der heutigen Jugendlichen bereits mit 50 Jahren ein Hörgerät benötigen wird.[135]
In Schulen spricht man an sich nicht von auralen Lärmeinwirkungen, da dort selten ein derart dauerhaft hoher Grundgeräuschpegel vorherrscht. Lehrer und Schüler sind vor allem von extra-auralen Einwirkungen betroffen, wie die einer erhöhten Leistungsbeeinträchtigung oder Störungen psychischer und physiologischer Natur.[136]

132 Vgl. Arnold LANGENMAYR: Sprachpsychologie, ein Lehrbuch, 1997, S.265
133 Vgl. ISING, SUST, REBENTISCH: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 98, 1996, S.3
134 Vgl. Jürgen HELLBRÜCK, ELISABETH KALS: Umweltpsychologie, 2012, S.37
135 Vgl. WALKER: Der fliegende Zirkus der Physik..., 2008, S.13-14
136 Vgl. August SCHICK, Maria KLATTE: Lärmminderung in Schulen, Lärmschutz in Hessen, Heft 4, 2. Auflage, 2007, S.16

Extra-aurale Lärmwirkung

Diese Art von Lärmeinwirkung tritt nicht wie aurale Belastungen erst bei einem Dauerschallpegel von 85 dB[137], sondern bereits bei Schallpegeln unterhalb des gehör—geschädigten Bereichs auf.

Abbildung 34 | Extra-aurale Einwirkung

An erster Stelle wirkt sich ein Schallpegel ab 50 dB[138] auf die Leistung und die Psyche der Personen aus. Der Lärm führt zur Minderung der Konzentration, Ablenkung der Aufmerksamkeit und Störung der Kommunikation. Denkvorgänge werden unterbrochen und das Behalten und Bearbeiten von Informationen wird erheblich erschwert. Psychisch betrachtet führt Lärm zu Ärger, Anspannung, Resignation, Angst und Nervosität.[139]

Steigt der Grundschallpegel auf über 65 dB[140] an, können physiologische Beeinträchtigungen auftreten, wie eine erhöhte Ausschüttung von Stresshormonen, eine Verengung von Blutgefäßen oder eine Verringerung der Magentätigkeit. Dies kann wiederum Langzeitfolgen, wie Herz- Kreislauf- Erkrankungen oder Erkrankungen des Verdauungssystems hervorrufen.[141]

Im Blickfeld Schule wirkt sich Lärm auf die Schüler zwar weniger im physiologischen Sinne, sondern vielmehr auf die Leistungsfähigkeit eines jeden einzelnen aus. Diese ernst zu nehmenden Beeinträchtigungen können sich durchaus negativ auf die Entwicklung der Kinder auswirken und werden deshalb anschließend genauer betrachtet.

137 dB= Dezibel ist eine nach Alexander Graham Bell benannte Hilfsmaßeinheit zur Kennzeichnung von Pegeln
138 Vgl. Arbeitsinspektion Österreich, 2006, online: http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/0AEF13B2-B26F-4598-B8A7-1C9B39E4F0FE/0/Laerm_Wirkungen_und_Gefahren_fuer_Gesundheit.pdf.
139 Vgl. ISING, SUST, REBENTISCH: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 98, 1996, S.6
140 Vgl. Arbeitsinspektion Österreich, 2006, online: http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/0AEF13B2-B26F-4598-B8A7-1C9B39E4F0FE/0/Laerm_Wirkungen_und_Gefahren_fuer_Gesundheit.pdf., Zugriff am 20.06.2015
141 Vgl. ISING, SUST, REBENTISCH: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse...,S.6

2.2 Schüler und Lärm im Klassenraum

Ein hoher Schallpegel, der aufgrund einer schlechten Klassenraumakustik entstehen kann, beeinträchtigt hauptsächlich die kognitiven Fähigkeiten der Kinder und fördert den daraus resultierenden Verlust von sprachlich vermittelten Inhalten. Zudem wird durch anhaltenden Lärm die Aufmerksamkeit der Schüler erheblich reduziert und ein sogenannter „Tunnelblick" entsteht.[142] Dabei fehlt bei einigen Lehrern und Eltern nachwievor das Bewusstsein, dass Schüler nicht generell arbeitsscheu oder leistungsschwach sind,
sondern schulische Defizite oft auf eine schlechte Akustik im Klassenraum zurückgeführt werden können.

Inwiefern die Lärmproblematik den Schülern selbst bewusst ist, wird anschließend anhand der Schülerbefragung der bereits erwähnten ARGE Zuhören aus dem Jahr 2008 aufgezeigt.

2.2.1 Auswirkungen des Lärms auf die Leistung der Schüler

In unserer leistungsorientierten Gesellschaft müssen bereits Kinder im Volksschulalter stetig erstklassige Lernerfolge erzielen. Dass dies aufgrund eines erhöhten Lärmpegels in Klassenräumen oft nicht möglich ist, wird im folgenden Abschnitt genauer erläutert.

Auswirkungen auf das Kurzzeitgedächtnis

Erhöhter Lärm im Unterricht stört vor allem die kognitiven Prozesse der Schüler. Besonders empfindlich auf Hintergrundgeräusche reagiert das Kurzzeitgedächtnis. Dabei mache es laut Wissenschaftlern keinen Unterschied, ob die zu behaltende Information schriftlich präsentiert oder mündlich vorgesprochen wird.[143]

Ein Modell, welches das Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnis veranschaulicht, wurde vom britischen Psychologen Alan Baddeley (geb. 1934) entwickelt. Im folgenden Schema werden die drei unterschiedlichen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses dargestellt.

142 Vgl. Maria KLATTE, Markus MEIS, August SCHICK in: Die akustisch gestaltete Schule- Auf der Suche nach dem guten Ton, 2002, S.25-29
143 Vgl. SCHICK, KLATTE: Lärmminderung in Schulen...,S.17

Abbildung 35 | Schema Arbeitsgedächtnis nach Alan Baddeley

Die wichtigste Einheit bildet die zentrale Exekutive, welche Gedankenabläufe koordiniert und überwacht. Die beiden anderen Komponenten werden von Baddeley in das visuell-räumliche und das sprachliche Kurzzeitgedächtnis eingeteilt und dienen ausschließlich dem verfügbar Halten von Informationen. Da die zentrale Exekutive die Arbeit auf die übrigen zwei Einheiten aufteilt, spart diese ihre Ressourcen für komplexere Verarbeitungsprozesse.
Das sprachliche Kurzzeitgedächtnis, auch phonologische Schleife genannt, ist für den Unterricht besonders relevant, da dort sämtliche Informationen in der richtigen Reihenfolge für kurze Zeit gespeichert werden.[144] Bei einem Schallpegel von bis zu 45 dB(A) im Klassenraum wird die Sprechweise des Lehrers nicht verändert und die Fähigkeit des sprachlichen Kurzzeitgedächtnisses des Schülers somit auch nicht beeinträchtigt. Steigt der Pegel jedoch über 55 dB(A) an, können sprachliche Informationen in weiterer Folge nicht mehr richtig gespeichert werden. Somit muss der Schüler versuchen unter einem erhöhten Konzentrationsaufwand und durch entsprechendes Kombinieren seines bereits vorhandenen Wissens die fehlenden Informationen zu ergänzen.[145] Besonders schwer fällt dies Kindern mit Aufmerksamkeitsstörungen, Sprach- oder Lernbehinderungen und Teilleistungsstörungen, wie beispielsweise Legasthenie.[146] Die Weltgesundheitsorganisation (WHO), legte 1999 in den „Guidelines for community noise"[147] einen maximal zulässigen Geräuschpegel von 35 dB für Klassenräume fest, der in den meisten Fällen jedoch deutlich überschritten wird.

144 Vgl. KLATTE, MEIS, SCHICK in: Die akustisch gestaltete Schule...,S.28-29
145 Vgl. ISING, SUST, REBENTISCH: Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse...,S.9
146 Vgl. Institut für Gesundheit in pädagogischen Berufen, BLLV- Arbeitskreis Lärm: www.bllv.de, Akustik in der Schule- Raumakustik, Lernerfolg und Gesundheit, 2009, S.3 online Zugriff am 20.06.2015
147 Vgl. Weltgesundheitsorganisation (WHO): Guidelines for community noise, 1999, S.47

Wie reagiert das Ohr?

35 dB — Aktivierung des zentralen und vegetativen Nervensystems, Störung von Entspannungsphasen und von Schlaf sind möglich

Beeinträchtigung der Kommunikation und der aksutischen Orientierung, Störung konzentrierter Arbeit möglich — 55 dB

< 70 dB — Gehörerholung bei genügend langen Pausen

Beginn der Gehörschädigung und bei Langzeiteinwirkung Gefahr der Zerstörung der empfindlichen Zillien im Innenohr — > 85 dB

105–120 dB — Aurale Gehörschäden werden zunehmend gravierender

Schmerzempfinden > 120 dB

Abbildung 36 | Wie reagiert das Ohr auf Lärm?

Auswirkungen auf den Aufmerksamkeitspegel

Neben Einschränkungen der kognitiven Leistungsfähigkeit bewirkt ein erhöhter Geräuschpegel auch eine Einschränkung der Aufmerksamkeit. In lauten Unterrichtsstunden fällt die Konzentration der Schüler auf die augenfälligsten Merkmale und weniger auffällige Aspekte werden zur Gänze ignoriert. Lärmforschungen von Smith (--) aus dem Jahre 1985 ergaben, dass vor allem diskontinuierliche, unerwartete und bedeutsame Schallereignisse die Aufmerksamkeit der Kinder mehr beeinträchtigt als kontinuierliche, gleichmäßige Geräusche. Besonders in Klassenzimmern kommen unglücklicherweise solche irreguläre und unvorhersehbare Lärmstörungen, wie Stühle rücken, Husten oder Räuspern häufig vor.[148]
Wie sehen die Schüler selbst die Lärmproblematik in ihren Klassenzimmern und worin liegt ihrer Meinung nach die Ursache des Problems? Die ARGE Zuhören hat versucht, mithilfe einer Schülerumfrage im Jahr 2006 dieser Thematik auf den Grund zu gehen.

148 Vgl. KLATTE, MEIS, SCHICK in: Die akustisch gestaltete Schule...,S.25-26

2.2.2 Studie der ARGE Zuhören

Die ARGE Zuhören, welche den Lärm- und Hörexperten Bernd Chibici, Stress- und Burnout Experten Erich Hotter und Pädagogik Experten Josef Zollneritsch zu ihren Mitgliedern zählt, führte im Herbst 2006 eine Schülerbefragung zum Thema Lärm und Zuhören durch. An den Umfragen waren insgesamt rund 1.095 Schüler beteiligt. Dabei waren etwa 20% der Befragten im Volksschulalter, 25% zwischen 12 und 14 Jahre alt. Neben einer Mehrheit von Schülern zwischen 14 und 16 Jahren waren über 20% der Befragten älter als 16 Jahre.[149]

„Wie oft geschieht es, dass es dir schwer fällt dem Unterricht zu folgen, weil es zu laut ist?" [150]

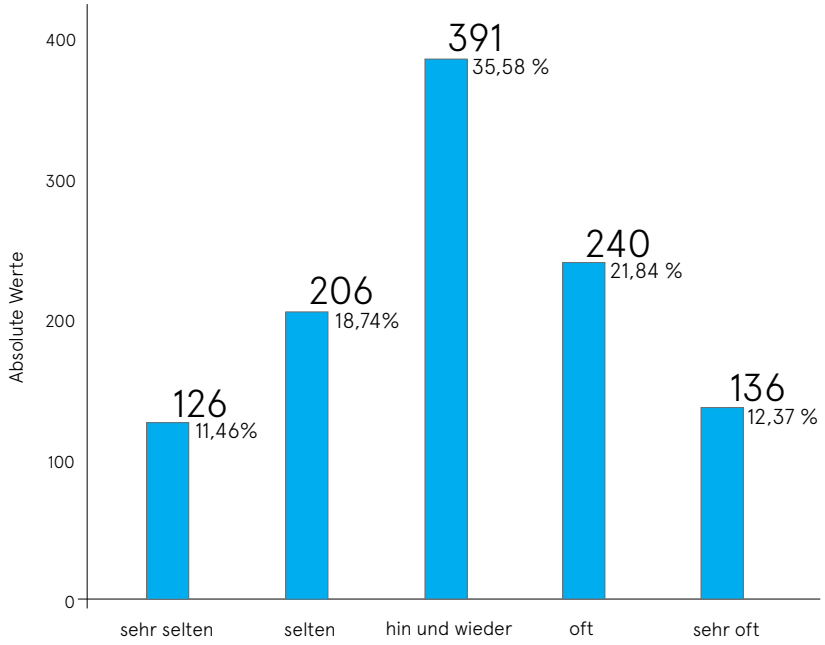


Abbildung 37 | Umfrage ARGE Zuhören

Etwa 30% der Befragten fällt es sehr selten oder selten schwer dem Unterricht aufgrund eines erhöhten Lärmpegels zu folgen. Ein alarmierend hoher Anteil (mehr als zwei Drittel) der befragten Schüler fühlen sich durch Lärm im Klassenzimmer manchmal bis oft gestört.

149 Vgl. ARGE Zuhören: http://daten.schule.at/dl/Laermvermeidung.pdf, S.5-10, Zugriff am 10.05.2015
150 Vgl. ARGE Zuhören: http://daten.schule.at/dl/Laermvermeidung.pdf, S.15, Zugriff am 10.05.2015

„Wenn du Schwierigkeiten hast, dem Vortrag eines Lehrers oder einer Lehrerin zu folgen, welche dieser Probleme sind dafür am ehesten verantwortlich?“ [151]

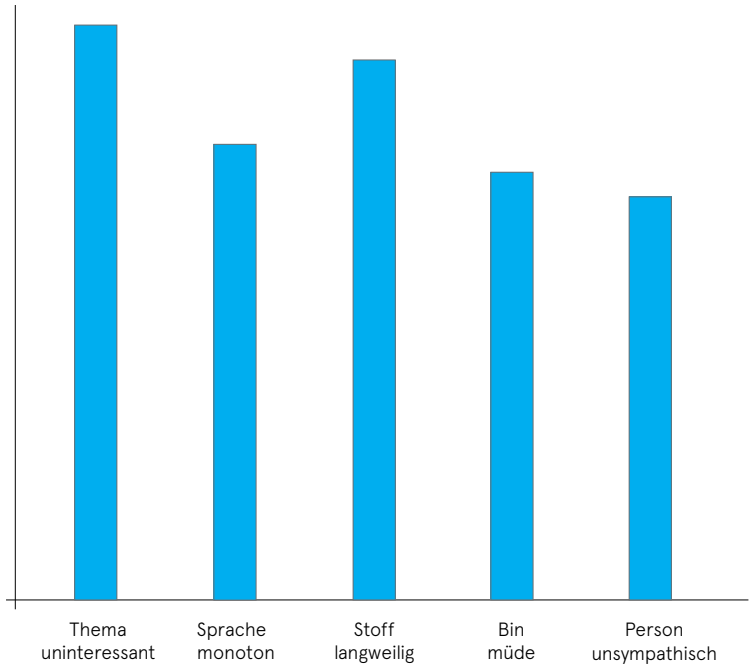


Abbildung 38 | Umfrage ARGE Zuhören

Bei diesen Antworten fällt auf, dass vor allem eine interessante Themenwahl, sowie eine spannende und abwechslungsreiche Aufbereitung des Stoffes von den Schülern gefordert wird. Die Sympathie zur Lehrperson, eine monotone Unterrichtssprache oder die eigene Müdigkeit werden nur als zweitrangiger Grund angegeben.
Diese Frage ist deshalb von großer Bedeutung, da schlechte Zuhörer bzw. nicht zuhörende Kinder auch potenzielle Störenfriede des Unterrichts sind.[152]

151 Zit. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.96
152 Vgl. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.96-97

„Denke jetzt bitte an einen/e LehrerIn, bei dem oder der es dir besonders leicht fällt zuzuhören. Wie gut passen diese Eigenschaften zu ihm/ihr?“ [153]

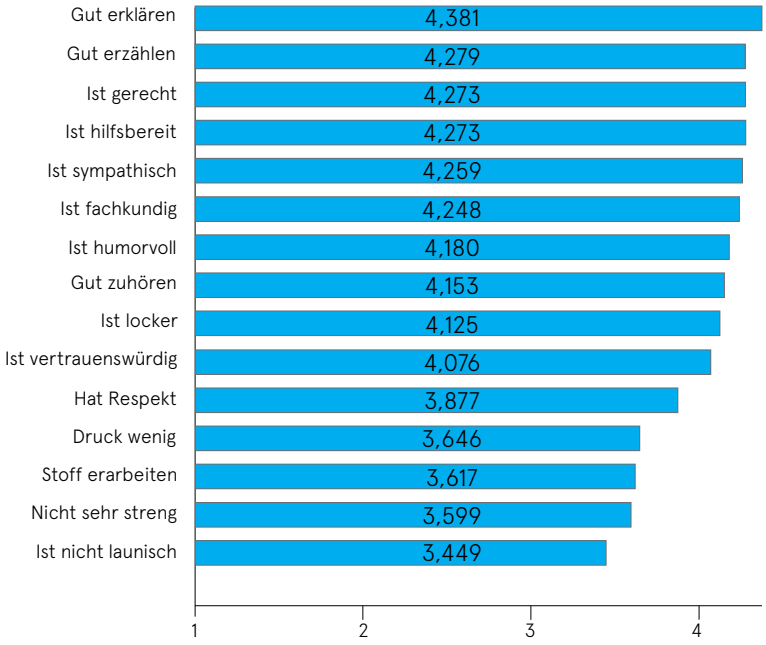


Abbildung 39 | Umfrage ARGE Zuhören

Lehrer, denen die Schüler im Unterricht leicht folgen können, weisen laut Befragung folgende Eigenschaften auf: gut erklären, gut erzählen, gerecht, hilfsbereit, sympathisch, fachkundig, humorvoll, gut zuhören. Weniger typisch sind Eigenschaften wie: launisch, sehr streng und übt Druck aus.[154]

153 Zit. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule,...,S.97
154 Vgl. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.97

„Denke jetzt bitte an einen Lehrer oder eine Lehrerin, bei dem oder der es Dir besonders schwerfällt zuzuhören. Wie gut passen diese Eigenschaften zu ihr/ihm?" [155]

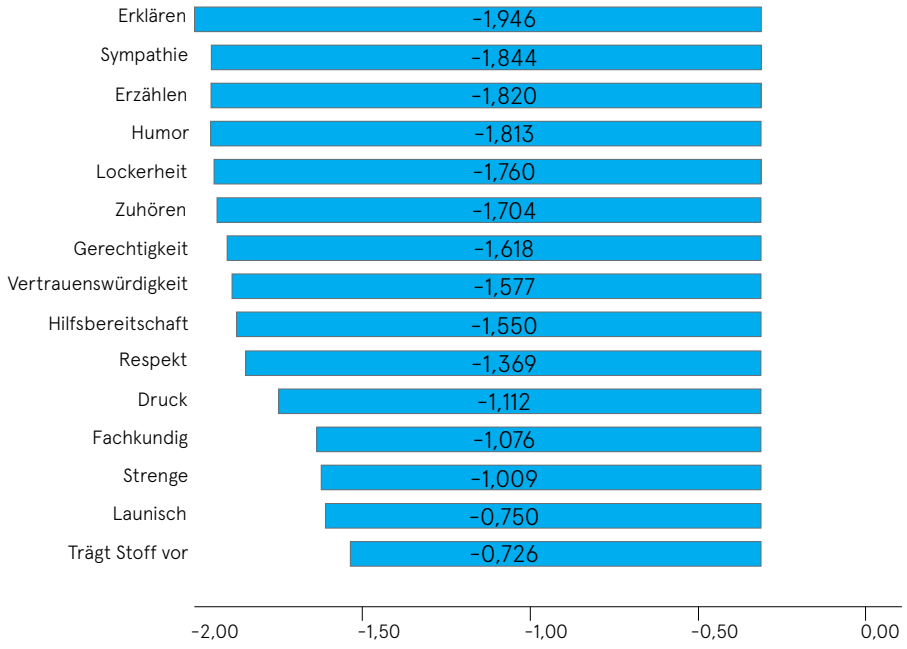


Abbildung 40 | Umfrage ARGE Zuhören

Die größten Unterschiede zur vorigen Frage zeigen sich laut Umfrage bei: Erklären, Sympathie, Erzählen, Humor, Lockerheit, Zuhören.

Anhand der Umfrage wird offensichtlich, dass sich die Mehrheit der Schüler aufgrund einer erhöhten Lärmbelastung im Klassenzimmer gestört fühlen. Aus ihrer Sicht scheint der Grund ihres destruktiven Verhaltens oder Desinteresses in der Persönlichkeit der Lehrpersonen zu liegen.[156] Dabei ist auffallend, dass Eigenschaften wie Erklären, Erzählen, Sympathie und Humor für Schüler wichtige Kriterien sind, um einem Lehrer gerne zuzuhören. Die Art und Weise der Erarbeitung des Stoffes, sowie der allgemeine Leistungsdruck werden hingegen als nicht problematisch angesehen.[157]

Die von den Schülern als wichtig genannten Kriterien eines guten „Zuhörers" können von der Lehrerschaft selbst jedoch nicht immer erfüllt werden. Grund dafür kann auch hier ein erhöhter Lärmpegel im Klassenraum sein, der zu Müdigkeit, Erschöpfung oder Missgunst seitens der Lehrer führen kann. Welche zusätzlichen Auswirkungen eine lärmerfüllte Umgebung auf die Lehrer mit sich bringen kann, wird im Anschluss erläutert.

155 Zit. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.98
156 Vgl. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.2
157 Vgl. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.96-97

2.3 Lehrer und Lärm im Klassenraum

Eine schlechte Klassenraumakustik wirkt sich nicht nur negativ auf die Schüler aus sondern auch auf die Lehrpersonen. Ein hoher Grundschallpegel verlangt beim Unterrichten ständiges Reden mit angehobener Stimme, was den Schülern das Zuhören sehr erschwert und bei den Lehrern in Müdigkeit, Heiserkeit und häufigen Stimmproblemen endet.[158]

Beklagt eine Lehrperson den Lärm im Klassenzimmer offenkundig wird dies oft kritisch beurteilt oder sogar belächelt. Ehe die Schuld in der Akustik des Raumes gesucht wird, werden Vorwürfe laut, wie die einer Lärmüberempfindlichkeit oder einer pädagogischen Schwäche der Lehrer. Darüber hinaus wird das Klagen über den Lärm im Klassenzimmer häufig auch als persönliches Versagen aufgefasst.[159]

2.3.1 Auswirkungen des Lärms auf Lehrer

Auch wenn nachwievor die Schülerschaft als Hauptbetroffene des Lärms in Schulen gesehen und die Thematik von den Lehrern selbst teilweise tabuisiert wird, gibt es mittlerweile einige Studien, die sich ebenso mit den Auswirkungen des Lärms auf Lehrer beschäftigen. Dabei fällt auf, dass die Konsequenzen einer lärmerfüllten Umgebung weniger die kognitiven Fähigkeiten der Lehrer betreffen, sondern vielmehr extra-auraler Natur sind.

Freiburger Schulstudie

Besondere Untersuchungen zu den allgemeinen gesundheitlichen Belastungsfaktoren der Lehrer wurden vom Uniklinikum in Freiburg im Jahr 2004 durchgeführt. Aufgrund der starken Parallelen der Ergebnisse dieser Studie und den bereits erwähnten extra auralen Lärmauswirkungen, wird sie im folgenden Abschnitt als Beispiel für Folgen des Lärms auf Lehrer herangezogen.

Ausgangspunkt der Freiburger Schulstudie war ein seit Jahren sehr hoher Prozentsatz (ca. 50%) an gesundheitsbedingten vorzeitigen Dienstunfähigkeiten bei Lehrkräften. Hauptgrund hierfür seien psychosomatische Gesundheitsstörungen, wie eine Studie der Universität Erlangen ergab.
Nahezu zwei Drittel der im Rahmen der Freiburger Studie befragten Lehrer zeigten eine sehr hohe Verausgabungsbereitschaft.

158 Vgl. KLATTE, MEIS, SCHICK in: Die akustisch gestaltete Schule, 2002, S.19
159 Vgl. Institut für Gesundheit in pädagogischen Berufen, BLLV- Arbeitskreis Lärm: www.bllv.de, Akustik in der Schule, 2009, S.2, online Zugriff am 20.06.2015

Mehr als die Hälfte dieser Gruppe befand sich wiederum in einer Burnout- Situation, die sich in einer psychosomatischen Erschöpfung manifestierte.
Der von den Lehrern angegebene Hauptgrund für diesen bedenklichen Gesundheitszustand war das destruktive Verhalten der Schüler selbst.[160] Dieses Verhalten kann wiederum, wie bereits vorhin erwähnt, auf eine schlechte Klassenraumakustik zurückgeführt werden. Schüler die den Lehrer akustisch nicht gut verstehen, hören ab einem gewissen Zeitpunkt nicht mehr zu und entwickeln ein zunehmend destruktives Verhalten, welches den Unterricht stört.
Dadurch entstehen im Unterricht Stresssituationen, die Müdigkeit, Erschöpfung, aber auch Aggressivität bei der Lehrerschaft mit sich bringen können.[161] Auch wenn der Lärm nicht als Hauptgrund für den bedenklichen Gesundheitszustand von den Lehrern angegeben wird, kann dies jedoch aufgrund des soeben erläuterten Kreislaufes der Schüler-Lehrer Reaktionen als Ursache hierfür gesehen werden.

Eine weitere wichtige Studie zum Thema Lärm und Lehrer wurde von der ARGE Zuhören in den Jahren 2007 und 2008 durchgeführt. Die aufschlussreichsten Fragen und Ergebnisse werden im Anschluss angeführt.

160 Vgl. Joachim BAUER: Die Freiburger Schulstudie, http://www.bug-nrw.de/cms/upload/pdf/Freiburg.pdf 2004, S.2-10
161 Vgl. Institut für Gesundheit in pädagogischen Berufen, BLLV- Arbeitskreis Lärm: www.bllv.de, Akustik in der Schule, 2009, S.3, online Zugriff am 20.06.2015

2.3.2 Studie der ARGE Zuhören

„ Wie häufig erscheint Ihnen der Lärm in Ihren Klassen zu laut?“[162]

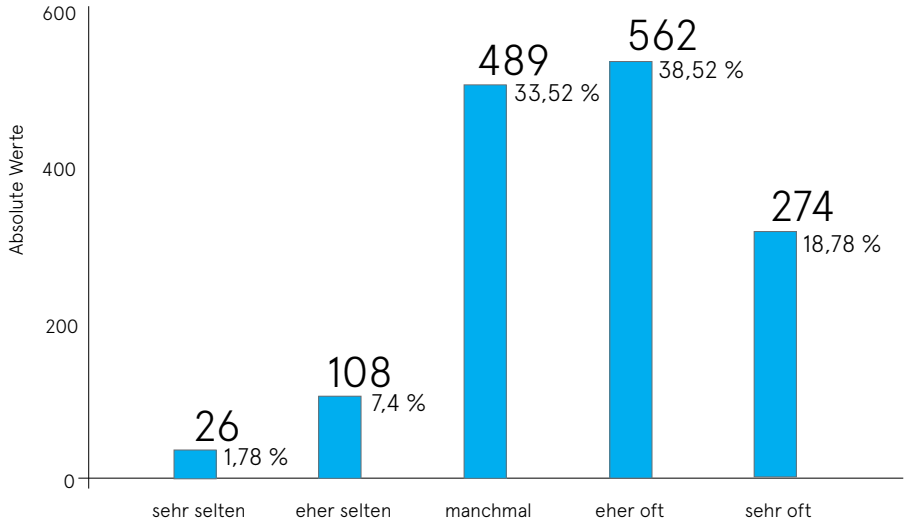


Abbildung 41 | Umfrage ARGE Zuhören

Das Ergebnis dieser Frage zeigt, dass Lärm im Unterricht ein häufiges Problem darstellt. Ein auffallend geringer Anteil der Befragten (weniger als 10%) zeigte sich durch Lärm im Klassenzimmer nicht gestört. Mehr als die Mehrheit (rund 60%) hingegen fühlte sich eher oft oder sehr oft davon gestört.[163]

162 Zit. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.68
163 Vgl. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.69

„ Wie stark sind Sie durch Lärm in Klassen in Ihrem Wohlbefinden beeinträchtigt?“[164]

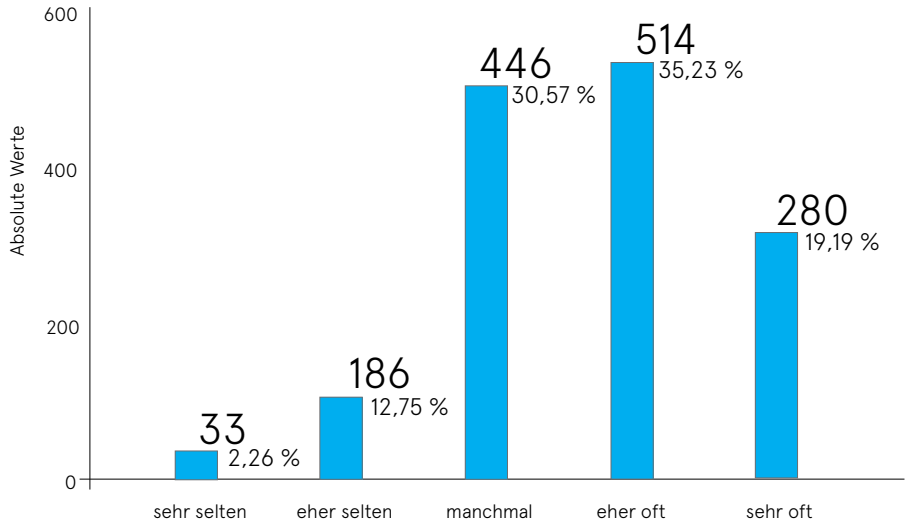


Abbildung 42 | Umfrage ARGE Zuhören

Das eigene Wohlbefinden wird für eine große Mehrheit der Lehrpersonen in einer lärmerfüllten Umgebung stark beeinträchtigt. Mehr als ein Drittel antwortete mit eher stark, rund 20% mit sehr stark.[165]

164 Zit. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.69
165 Vgl. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.69

„ Verglichen mit der Lärmsituation vor drei Jahren, wurde es in den Klassen eher lauter oder leiser?“ [166]

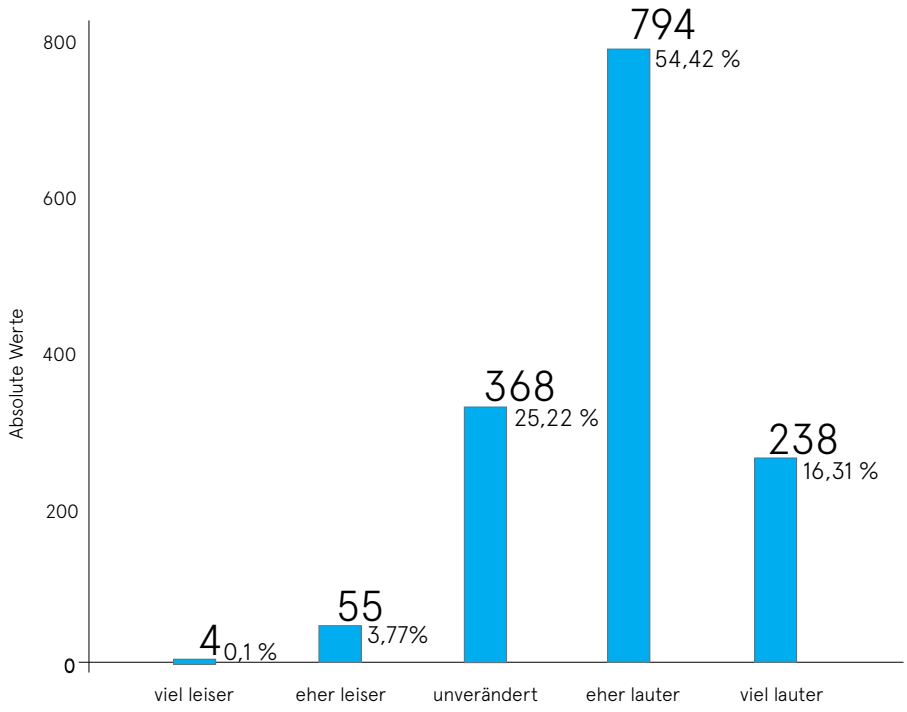


Abbildung 43 | Umfrage ARGE Zuhören

Diese Grafik zeigt, dass rund zwei Drittel der Befragten der Überzeugung sind, dass es in den letzten Jahren in ihren Klassen lauter geworden ist. Rund 70% empfanden ihre Klassen eher lauter oder viel lauter als drei Jahre zuvor.[167] Es kann jedoch angenommen werden, dass es in den Klassen nicht effektiv lauter wurde, sondern die Belastbarkeit der Lehrer im Laufe der Dienstjahre sinkt und in einer erhöhten Lärmempfindlichkeit resultiert.

166 Zit. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.74
167 Vgl. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.74-75

„ Sind Sie von Stimmproblemen betroffen, die Sie auf Lärm in den Klassen zurückführen? „ [168]

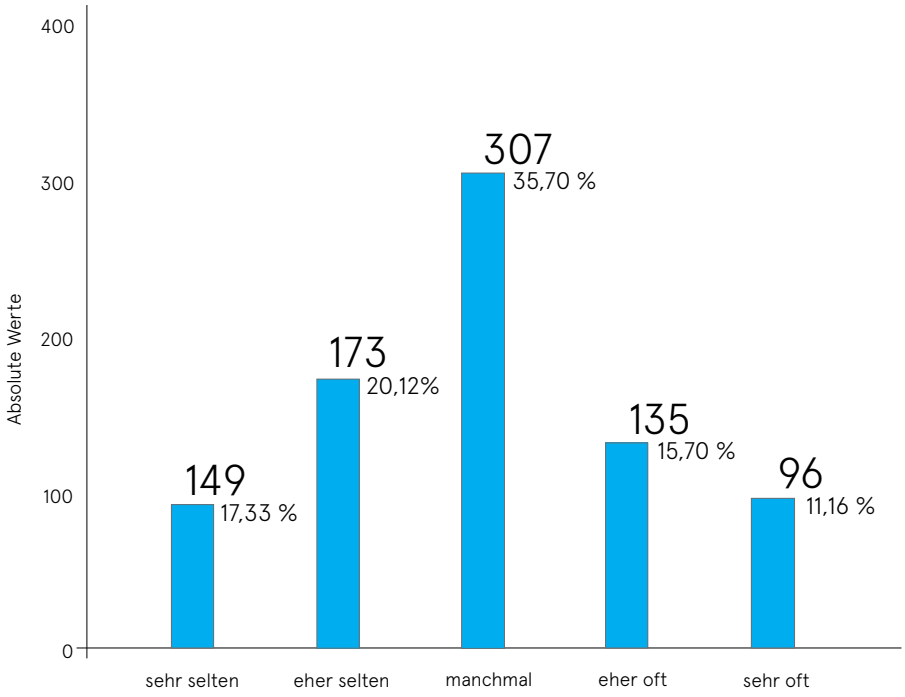


Abbildung 44 | Umfrage ARGE Zuhören

Etwa ein Drittel der Teilnehmer fühlten sich eher selten oder sehr selten von Stimmproblemen geplagt. Mehr als die Hälfte hingegen gaben an, manchmal, eher oft oder sehr oft von Heiserkeit und Problemen des Stimmorgans betroffen zu sein.

168 Zit. ARGE Zuhören, http://www.fcg-wien-aps.at/files/medien/umfrageergebnisse.pdf, Folie 9, Zugriff am 10.05.2015

„ Fällt es Ihnen schwer, sich in der Klasse stimmlich durchzusetzen?“ [169]

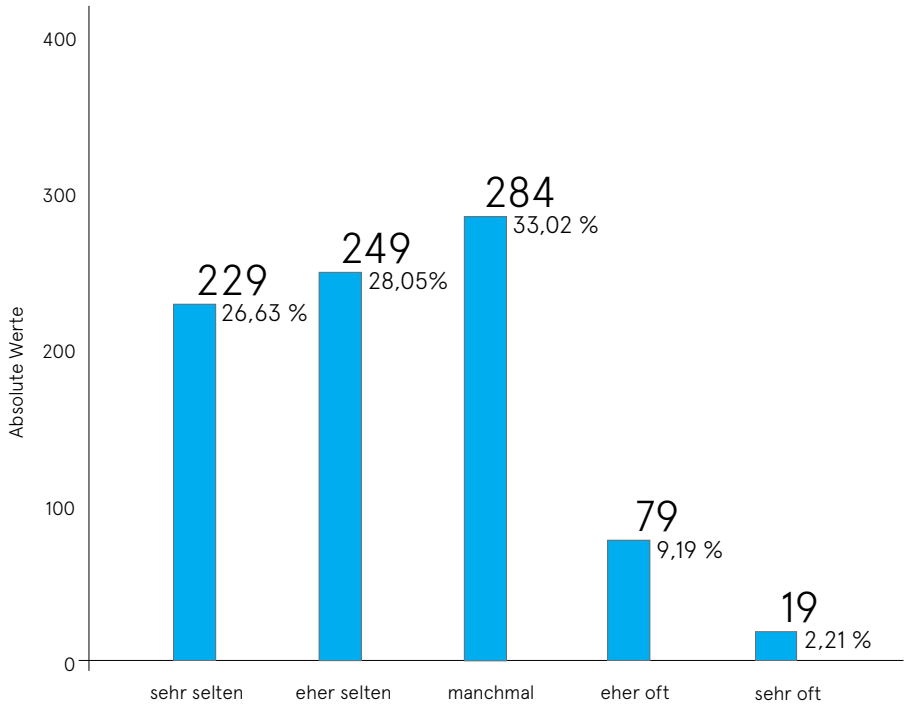


Abbildung 45 | Umfrage ARGE Zuhören

Obwohl es fast 50% der Befragten in den Klassen zu laut ist, gaben nur ca. 11% der LehrerInnen an, Probleme in ihrer stimmlichen Durchsetzung zu haben. Bei dieser Frage wird deutlich, dass von der Lehrerschaft selbst ein "sich nicht durchsetzen können" als persönliches Versagen gewertet wird. Dabei wäre es logisch nachvollziehbar, dass es in einer lauten Klasse den Lehrern nicht gerade leicht fällt, sich stimmlich durchzusetzen.

169 Zit. ARGE Zuhören, http://www.fcg-wien-aps.at/files/medien/umfrageergebnisse.pdf, Folie 10, Zugriff am 10.05.2015

„ Wie benoten Sie das Zuhören Ihrer SchülerInnen?“ [170]

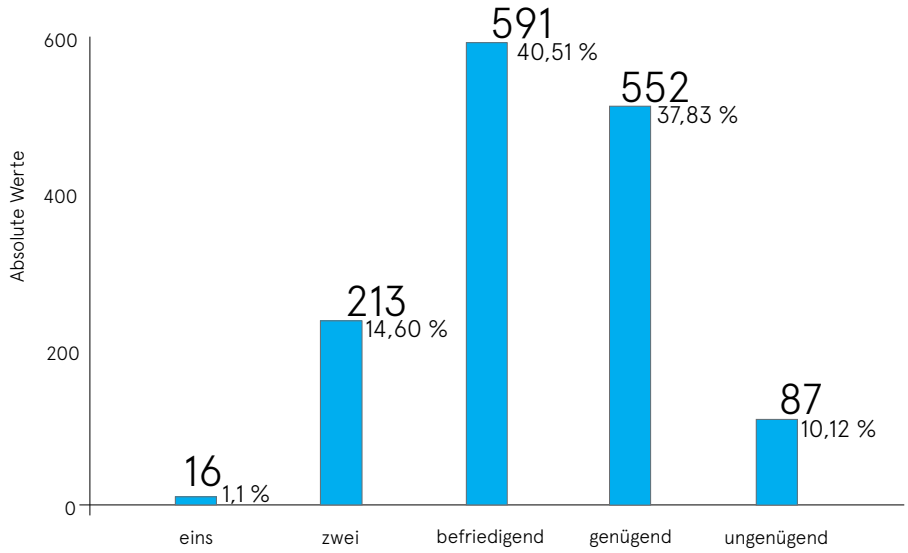


Abbildung 46 | Umfrage ARGE Zuhören

Der Notendurchschnitt liegt hier bei 3,33. Zieht man in Erwägung, dass das Zuhören in der Schule als Hauptmittel für die Wissensvermittlung dient, ist dieses Ergebnis besonders besorgniserregend.[171]

170 Zit. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.87
171 Vgl. HOTTER, ZOLLNERITSCH: Lärm in der Schule...,S.88

Conclusio

Aufgrund dieser Ergebnisse kann behauptet werden, dass sich nicht nur die Schüler vom Lärm im Unterricht gestört fühlen, sondern auch die Lehrer selbst. Dabei sehen die Kinder hauptsächlich den Grund des "nicht zuhören Könnens" in der Persönlichkeit der Lehrpersonen. Einem langweiligen und humorlosen Lehrer, der den Unterrichtsstoff nicht fachgemäß erklären kann, hören Schüler nicht gerne zu. Dies führt wiederum zu unruhigen Schülern, die ein destruktives Verhalten aufweisen.
Die Lehrer selbst hingegen sehen den Hauptgrund der Lärmentstehung in genau diesen Verhaltensweisen der nicht zuhörenden Schüler. Ihre eigene Kompetenz, wie beispielsweise sich richtig sachgemäß und verständlich zu erklären oder sich stimmlich durchsetzen zu können wird auffallenderweise nicht in Frage gestellt.
Ein Teufelskreis entsteht, dem nur mithilfe von akustischen Maßnahmen am Schulgebäude selbst zumindest teilweise Abhilfe geschafft werden kann.

Ehe von möglichen baulichen Maßnahmen gesprochen wird, sollen zu Beginn des nächsten Kapitels dieser Diplomarbeit wichtige akustische und raumakustische Begriffe erläutert werden. Gefolgt vom aktuellen Stand der Akustik im Schulbau hinsichtlich Normen und Richtlinien werden im Anschluss daran die Ergebnisse und Analyse, der durchgeführten Messungen in ausgewählten Räumen des Alt- und Neubaus der Schule in der Zinckgasse angeführt.

3

(RAUM)AKUSTIK IN THEORIE & PRAXIS

NORMEN, GESETZE UND RICHTLINIEN

BEGRIFFE DER (RAUM)AKUSTIK

Was ist Schall?
Nachhallzeit
Schallabsorption
Exkurs in die Psychoakustik- Lautstärkeempfinden

NORMEN DER RAUMAKUSTIK- RICHTLINIEN & ORGANISATIONEN

Internationale Organisation für Normung- *DIN EN ISO 3382*
Deutsche Industrie Norm- *DIN 18041*
Österreichische Norm- *ÖNORM B8115*
Österreichisches Institut für Bautechnik- *OIB*
Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau- *ÖISS*

MESSUNGEN DER RAUMAKUSTIK- THEORIE

Messverfahren der integrierten Impulsantwort und Messequipment
Messpositionen am Beispiel in der Zinckgasse

ERGEBNISSE DER MESSUNGEN- PRAXIS

Ergebnisse und Analyse der Messungen in den Klassenräumen des Altbaus
Ergebnisse und Analyse der Messungen in den Klassenräumen des Neubaus
Ergebnisse und Analyse der Messungen in den Gangbereichen des Alt- und Neubaus

Überblick

Die Akustik in Räumen kann allgemein beschrieben in zwei Teilgebiete gegliedert werden: die Bau- und Raumakustik. Beide Gebiete beschäftigen sich mit Schallvorgängen jeglicher Art, die in Räumen bzw. in Gebäuden auftreten können.
Während sich die Raumakustik hauptsächlich mit Fragen der Schallausbreitung in Räumen, in denen eine gute Hörsamkeit gewünscht wird, befasst, werden im Aufgabenbereich der Bauakustik Maßnahmen für den Schallschutz in Gebäuden gesucht [172], um die Schallimmission in Räumen zu begrenzen.[173]

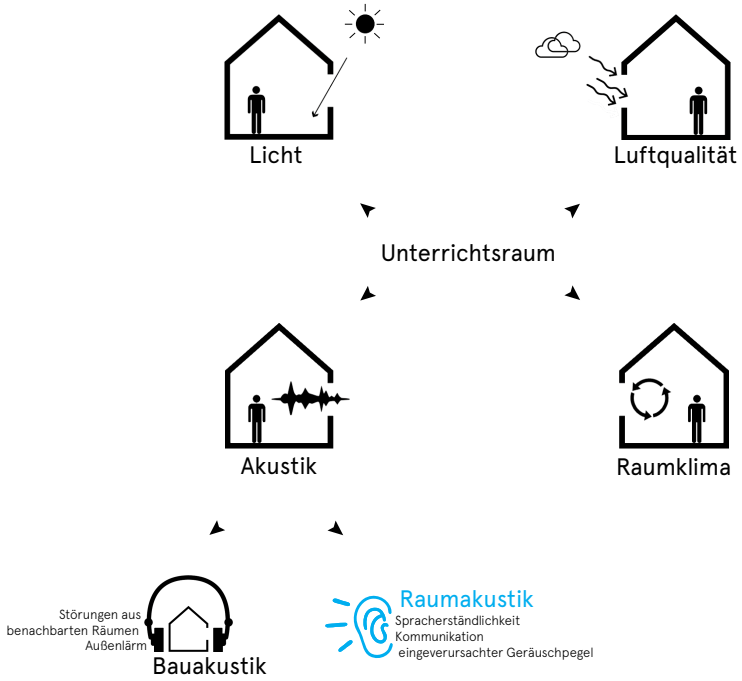


Abbildung 47 | Bauphysikalische Komponenten des Unterrichtsraums

172 Vgl. B.C. GÜNTHER, Karl Heinz HANSEN, Ivar VEIT: Technische Akustik- Ausgewählte Kapitel, Grundlagen- aktuelle Probleme und Messtechnik, 1994, S.298
173 Vgl. RICCABONA, BEDNAR: Baukonstruktionslehre 4, 2010, S.110

In diesem Kapitel wird der Fokus jedoch hauptsächlich auf die Raumakustik gelegt und somit auf die Lenkung und Beeinflussung der akustischen Merkmale eines Raumes.[174] Sowohl die Raumform und die Raumausstattung, als auch die subjektiven Empfindungen und Erfahrungen (Psychoakustik) der Menschen, die sich im Raum aufhalten, sind für die Wahrnehmung und Bewertung der akustischen Eigenschaften von großer Bedeutung. In folgender Abbildung werden zusammenfassend sämtliche Kriterien, welche die Akustik im Raum bestimmen und beeinflussen, aufgezeigt.

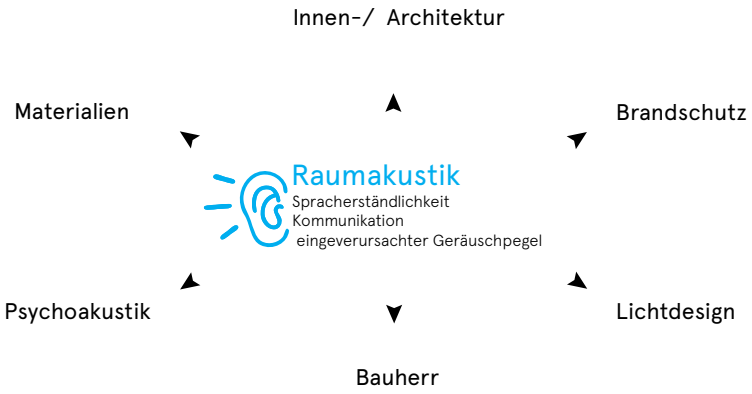


Abbildung 48 | Einflussfaktoren der Raumakustik

Zum besseren Verständnis dieses Teilgebietes der Akustik werden zu Beginn des Abschnittes grundlegende Begriffe erläutert, ehe auf Definitionen, Normen und Richtlinien der Raumakustik eingegangen wird.

Im Anschluss daran werden sämtliche Ergebnisse der akustischen Messungen, die sowohl in Klassenräumen des Alt- als auch des Neubaus der Beispielschule in der Zinckgasse im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführt wurden, vorgestellt.

174 Vgl. RICCABONA, BEDNAR: Baukonstruktionslehre 4...,S.110

3.1 Begriffe der Raumakustik

Da neben den physikalischen Zusammenhängen, wie beispielsweise Schall und dessen Reflexion und Absorption auch die subjektive Wahrnehmung des Schallpegels durch das menschliche Gehör eine wesentliche Rolle spielt [175], werden im Anschluss an die physikalische Einführung wichtige Aspekte der Psychoakustik angeführt.

3.1.1 Was ist Schall?

Physikalisch gesehen wird unter Schall die Ausbreitung von lokalen Druckschwankungen in elastischen Medien (Gase, Flüssigkeiten oder feste Körper) verstanden[176], die ohne Medium bzw. im Vakuum nicht möglich ist.[177]
Aufgrund der verschiedenen Ausbreitungsarten des Schalls unterscheidet man zwischen dem Luft- und dem Körperschall. Während Luftschall sich durch Sprache, Musik oder ähnliches in der Luft ausbreitet, entsteht der Körperschall durch Anregung von festen Körpern und wird teilweise wieder als Luftschall abgestrahlt (wie z.B. Trittschall).[178]

Das Schallereignis selbst kann vom menschlichen Ohr jedoch nur als Luftschall wahrgenommen werden. Körperschall hingegen wird nur dann verspürt, wenn sich dieser zuletzt noch in Luftschall umgewandelt hat. Der Luftschall wird in seiner Ausbreitungsart, vom Ort der Entstehung bis hin zum menschlichen Ohr, in Direkt- und Reflexionsschall unterschieden.[179]

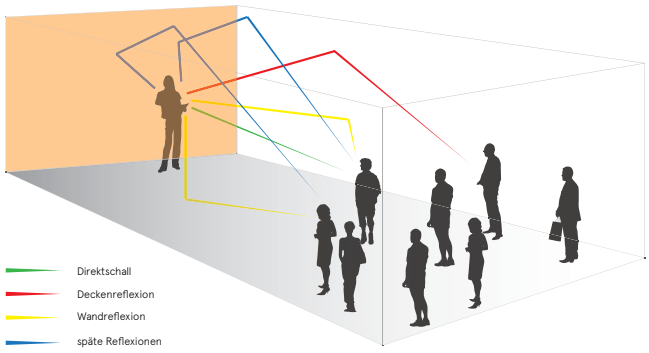


Abbildung 49 | Schallausbreitung im Raum

175 Vgl. Christian NOCKE: Raumakustik im Alltag- Hören- Planen- Verstehen, 2014, S.13
176 Vgl. Georg ESKA: Schall und Klang- wie und was wir hören, 1997, S.13
177 Vgl. Jürgen MAUE H.: 0 Dezibel + 0 Dezibel= 3 Dezibel, Einführung in die Grundbegriffe und die quantitative Erfassung des Lärms, 2009, S.43
178 Vgl. RICCABONA, BEDNAR: Baukonstruktionslehre 4...,S.110
179 Vgl. Hermann HENN, GHOLAM REZA SINAMBARI, Manfred FALLEN: Ingenieurakustik : Grundlagen, Anwendungen, Verfahren; 1999, S.87

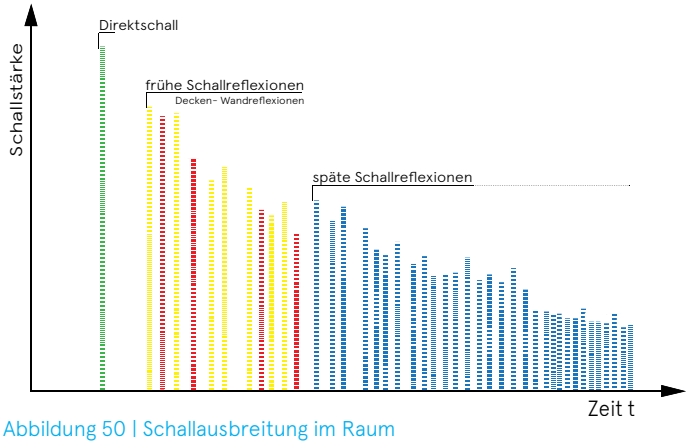


Abbildung 50 | Schallausbreitung im Raum

Direktschall

Diese Art von Schall beschreibt jenen Schallanteil, der sich auf kürzestem Weg vom Schallsender (beispielsweise dem sprechenden Lehrer) zum Empfänger (den Schülern) ausbreitet.[180]
Das bedeutet zugleich, dass der Direktschall (grüne Balken in Abbildung 49 und 50) den höchsten Schallpegel besitzt. Alle weiteren Reflexionen kommen erst später zum Empfänger und besitzen aufgrund des längeren Ausbreitungsweges einen geringeren Pegel (gelbe, rote und blaue Balken in Abbildung 49 und 50).[181]

Reflexionsschall

Der Reflexionsschall wird generell zwischen frühen (rote und gelbe Balken in Abbildung 49 und 50) und späten (blaue Balken in Abbildung 49 und 50) Reflexionen unterschieden. Ab wann jedoch von späten Schallreflexionen gesprochen wird, kann zeitlich nicht festgelegt werden, da zur Art des Schallereignisses auch die bereits angesprochene subjektive Wahrnehmung des Hörers eine große Rolle spielt.[182]

Die frühen Reflexionen sind jene Schallanteile, die an der Decke und den Wänden des Raums einmal oder mehrmals reflektiert wurden. Aufgrund dieser längeren Ausbreitungswege ergibt sich eine Verzögerung zum Direktschall. In zeitlich immer kürzeren Abständen folgen darauf die zahlreich schwächeren und länger verzögerten Reflexionen, die den eigentlichen Nachhall ausmachen,[183] der, wie bereits im ersten Kapitel erwähnt, als eine der wichtigsten Kenngrößen zur Bestimmung der Akustik in einem Raum dient.

180 Vgl. HUBER, KAHLERT, KLATTE: Die akustisch gestaltete Schule- Auf der Suche nach dem guten Ton, 2002, S.120
181 Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag...,S.91
182 Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag...,S.91
183 Vgl. HUBER, KAHLERT, KLATTE: Die akustisch gestaltete Schule..., S.120-121

3.1.2 Nachhallzeit

Die Nachhallzeit T beschreibt physikalisch gesehen die Halligkeit eines Raumes[184] und dient als wichtigster Richtwert für akustische Raumeigenschaften.
Diese Kenngröße beschreibt jene Zeitspanne, in welcher der Schallpegel in einem Raum nach Beenden der Schallfeldanregung um 60 dB (A) abfällt.[185]

Die Nachhallzeit wird je nach unterschiedlicher Nutzungsart der Räume, anhand des Raumvolumens oder in Abhängigkeit der Frequenz definiert. Folgendes Schema zeigt in Anlehnung an DIN 18041[186] die Einteilung der verschiedenen Räume in Gruppe A und Gruppe B, die je nach Nutzungsart zugeordnet werden.

Abbildung 51 | Räume der Nutzungsart nach Gruppe Aund Gruppe B

184 Vgl. LUTZ, JENISCH, KLOPFER, FREYMUTH, KRAMPF, Lehrbuch der Bauphysik, 1985, S. 29
185 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05, S.8
186 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05

Sämtliche Nutzungsarten der obigen Tabelle werden von Christian Nocke im Buch „Raumakustik im Alltag, Hören- Planen- Verstehen“[187] beschrieben. Die für den Schulbetrieb wichtigsten Räumlichkeiten werden ausschließlich zur Gruppe A gezählt und nachfolgend kurz erläutert:

Räume die zur Gruppe **Musik** gezählt werden dienen vorwiegend der musikalischen Nutzung. Darin ist hauptsächlich eine gute Hörsamkeit für Musik gewährt, jedoch fehlt sprachlichen Darbietungen oft eine gute Verständlichkeit.
Die Nutzungsart der **Sprache** beschreibt Räume, in denen hauptsächlich sprachliche Ereignisse im Vordergrund stehen. Eine Kommunikation zwischen mehreren Personen gleichzeitig an verschiedenen Stellen im Raum findet bei dieser Nutzung jedoch nur in geringem Umfang oder überhaupt nicht statt. In **Unterrichts**- Räumen hingegen führen mehrere Sprecher gleichzeitig kommunikationsintensive Gespräche.
Zu Räumen der Nutzung **Sport 1** werden Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum mit Nutzung einer einzelnen Sportgruppe gezählt. Dort findet eine Kommunikation nur über kurze Distanzen innerhalb der Gruppe oder durch den Sprecher statt. Im Unterschied dazu zählen zur Nutzungsart **Sport 2,** Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum, die von mehreren Gruppen mit unterschiedlichen Inhalten gemeinsam genutzt werden.[188]

187 Vgl. Christian NOCKE: Raumakustik im Alltag- Hören- Planen- Verstehen, 2014
188 Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag...,S.113- 114

Nachhallzeit und Raumvolumen

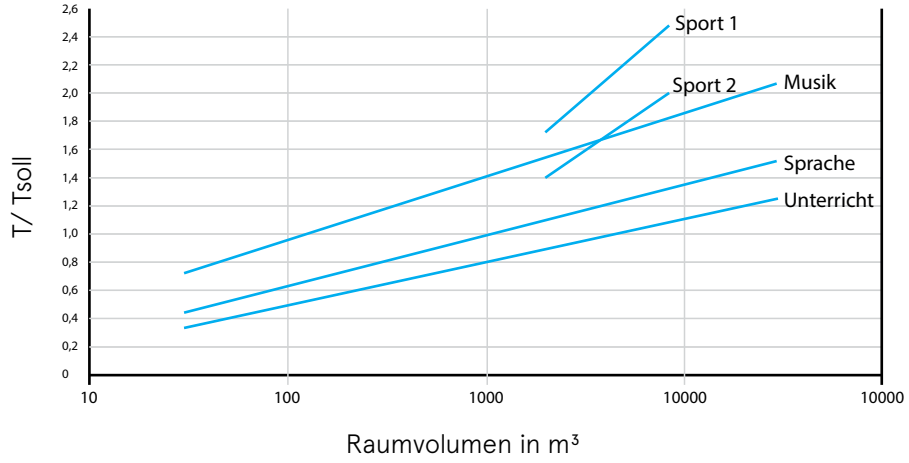


Abbildung 52 | Nachhallzeit in Abhängigkeit des Raumvolumens

Bei einem Raumvolumen V von 30 m³ bis zu 5000 m³ (bei Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum bis zu 8500 m³) ist der anzustrebende Sollwert der Nachhallzeit in Räumen der Gruppe A bei mittleren Frequenzen aus Abbildung 53 zu entnehmen. Dabei stehen die angegeben Werte im Verhältnis des jeweiligen Raumvolumens und gelten für den besetzten Zustand eines Raumes.[189] Die Kurven für die optimalen Nachhallzeiten ergeben sich aus folgenden Zusammenhängen:[190]

Kommunikation	$T_{opt} = 0{,}32 * \log V - 0{,}17$
Sprache	$T_{opt} = 0{,}37 * \log V - 0{,}14$
Musik	$T_{opt} = 0{,}45 * \log V + 0{,}07$
Sport 1	$T_{opt} = 1{,}27 * \log V - 2{,}49$
Sport 2	$T_{opt} = 0{,}95 * \log V - 1{,}74$

Abbildung 53 | Berechnung der Nachhallzeit nach Nutzungsart

189 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05, S.12
190 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung...,S.18

Nachhallzeit und Frequenz

Die Toleranzbereiche für die Soll- Werte der Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz (Hz), welche die allgemeine Tonhöhe bestimmt[191], werden nach Nutzungsarten der Sprache und Musik unterschieden.
In folgenden Diagrammen werden die in DIN 18041 fesgelegten Grenzwerte der Nachhallzeit in Form von blau gefärbten Linien dargestellt.[192] Liegt eine Kurve bei Messungen der Nachhallzeit teilweise oberhalb oder unterhalb dieser Linien, sind akustische Maßnahmen erforderlich. Die Methoden und Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen, die im Rahmen dieser Diplomarbeit in der Zinckgasse durchgeführt wurden, werden im Punkt 3.3 und 3.4 angeführt.

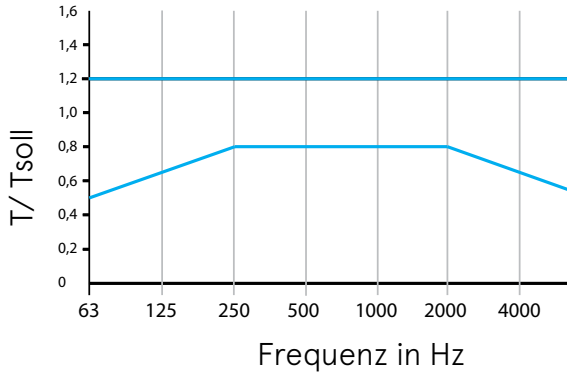


Abbildung 54 | Nutzungsart Sprache

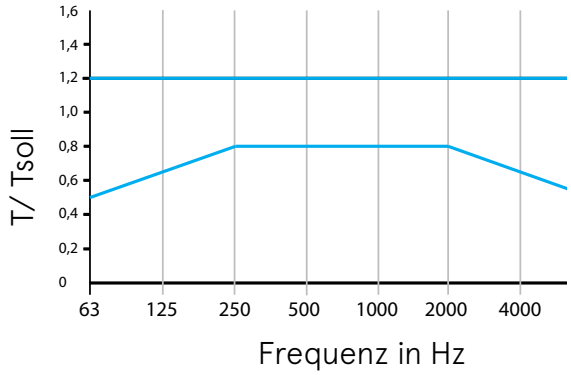


Abbildung 55 | Nutzungsart Musik

191 Vgl. MAUE H. : 0 Dezibel + 0 Dezibel= 3 Dezibel...,S.46
192 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung...,S.13

Die Nachhallzeit kann jedoch auch mithilfe der sogenannten „Sabine`schen" Formel berechnet werden, die nach dem US-amerikanischen Physiker Wallace Clement Sabine (1868, 1919) benannt ist. Er fand 1898 den Zusammenhang zwischen Nachhallzeit, Raumvolumen und äquivalenter Absorptionsfläche heraus.[193]

$$T = \frac{0{,}163\ V}{A}$$

T	Nachhallzeit
V	Volumen
A	Äquivalente Schallabsorptionsfläche

Abbildung 56 | Berechnung der Nachhallzeit

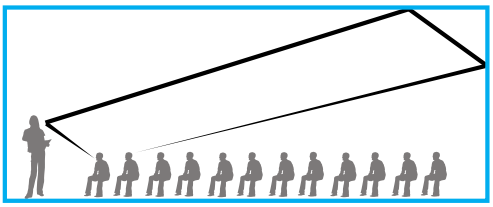
3.1.3 Schallabsorption in Abhängigkeit der Raumgeometrie

Liegen die Werte der Nachhallzeit, wie bereits erwähnt, nicht innerhalb des Grenzbereichs der Abbildung 54 und 55 oder ergeben Messungen des Schallpegels sehr hohe Werte, ist das auf eine ungleichmäßige Verteilung der Schallenergie im Raum zurückzuführen.[194] Um eine gute Hörsamkeit zu erreichen, müssen Absorptionsflächen installiert werden, die an den Stellen mit der größten Schallreflexion angebracht werden. Im folgenden Abschnitt werden die unterschiedlichen Arten der Schallreflexion zusammengefasst dargestellt und eine ideale Positionierung der Absorberflächen dargestellt.

193 Vgl. RICCABONA, BEDNAR: Baukonstruktionslehre 4...,S.111-112
194 Vgl. ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik, 2005, S.8

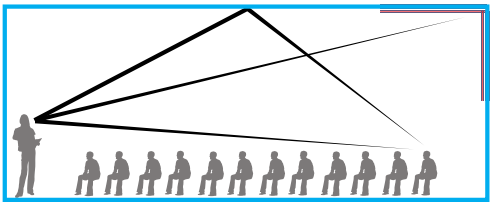
Rückwandreflexion

In mehr als 9m langen Räumen besteht die Gefahr, dass verzögerte Schallanteile von der Rückwand in den vorderen Raumbereich gelenkt werden. Somit kann eine gute Sprachverständlichkeit nicht gewährleistet werden (Abbildung 57). Als Lösung für dieses Problem wird empfohlen, jene Flächenanteile mit der höchsten Schallreflexion mit schallabsorbierenden Verkleidungen zu versehen oder so zu neigen, dass der auftreffende Schall zu jenen Hörern reflektiert wird, die im hinteren Bereich des Raumes sitzen (Abbildung 58, 59).[195]



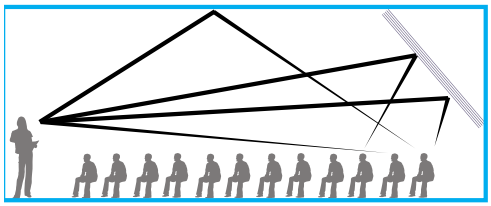
A - ungünstig

Abbildung 57 | ungünstige Schallausbreitung



B - günstig

Abbildung 58 | ungünstige Schallausbreitung



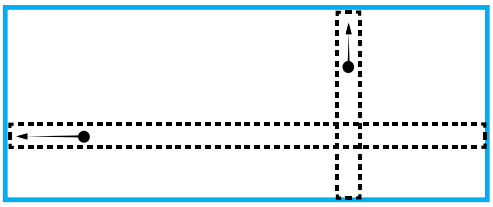
C - günstig

Abbildung 59 | ungünstige Schallausbreitung

195 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung...,S.22

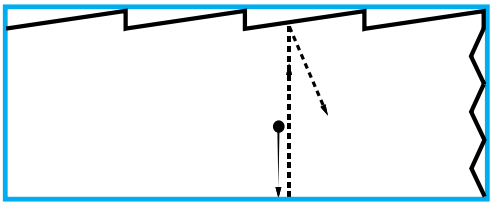
Parallele Wände

Stehen in einem Raum die Wände parallel zueinander wie in der Draufsicht eines Raumes in Abbildung 60 gezeigt wird, sollte mindestens eine der Wände schallabsorbierend wirken[196] (Abbildung 61,62) um sogenannte Flatterechos zu vermeiden. Diese konzentrierten, in periodischer Folge auftretenden Schalleinwürfe [197] entstehen vor allem in hohen und wenig möblierten Räumen.[198]
Eine zusätzliche Schrägstellung der schallabsorbierenden Flächen um mindestens 5° begünstigt eine gute Raumakustik.[199]



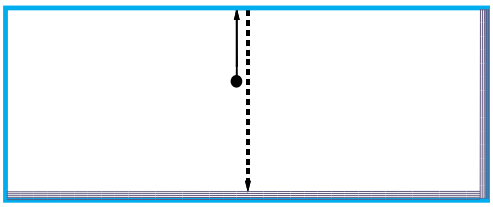
A - ungünstig

Abbildung 60 | ungünstige Schallausbreitung



B - günstig

Abbildung 61 | günstige Schallausbreitung



C - günstig

Abbildung 62 | günstige Schallausbreitung

196 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung...,S.22
197 Vgl. Eugen SKUDRZYK: Die Grundlagen der Akustik, 1954, S.655
198 Vgl. ÖNORM B8115..., Teil 3, S.8
199 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung...,S.22

Nützliche Reflexionen für den hinteren Raumbereich

Durch den zusätzlichen Einsatz reflektierender Flächen an der Wand hinter dem Vortragenden sowie am mittleren Teil der Decke, können weitere günstige Reflexionen erzielt werden.[200]

Bei nicht ebenen und großflächig gegliederten Seitenwandflächen oder Decken, sollte durch die Ausrichtung der Einzelelemente der Schall in die mittlere und hintere Zuhörerfläche gelenkt werden[201], um auch für die hinteren Bereiche eine bessere Sprachverständlichkeit zu erreichen (Abbildung 63-65). Der richtige Winkel der Anordnung der Flächen ergibt sich aus der Raumgeometrie, insbesondere aus der Länge des Raumes.

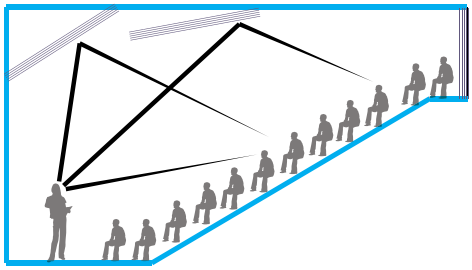


Abbildung 63 | günstige Schallausbreitung

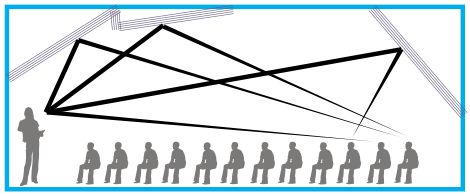


Abbildung 64 | günstige Schallausbreitung

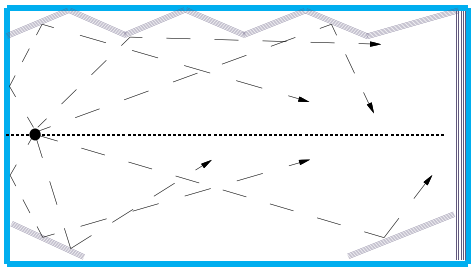


Abbildung 65 | günstige Schallausbreitung

200 Vgl. ÖNORM B8115...,Teil 3, S.8
201 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung..., S.23

3.1.4 Exkurs in die Psychoakustik - Lautstärkeempfinden

Auch wenn die vorhin beschriebenen Eigenschaften des Schalls und dessen Ausbreitungen im Raum als physikalische Richtwerte gelten, spielt dennoch die subjektive Wahrnehmung von Schallereignissen eine wichtige Rolle. Dieser Bereich der Akustik, auch Psychoakustik genannt, beschäftigt sich mit den im Bewusstsein auftretenden Hörerscheinungen und deren subjektiver Wahrnehmung. In der Psychoakustik wird versucht, die durch akustische Reize ausgelösten psychischen Empfindungen qualitativ und quantitativ zu erfassen und zu erklären. Physikalisch gesehen, sind die meisten Ergebnisse der Psychoakustik nicht exakt, da häufig nur qualitative Aussagen möglich sind. So kann für die Empfindung „laut" aufgrund der jeweiligen subjektiven Wahrnehmungen der Menschen kein absolutes Maß angegeben werden.
Quantitative Aussagen und somit physikalisch gesehen wertvolle Erkenntnisse können in der Psychoakustik nur in geringem Maße getätigt werden, sind jedoch aufgrund der durch Lernprozesse antrainierten psychophysischen Empfindungen der Menschen durchaus möglich. Somit kann jeder abwägen, ob beispielsweise ein Ton halb so laut oder halb so leise wie der Vergleichston ist.[202] Zu einer weiteren wichtigen quantitativ erfassten Erkenntnis der Psychoakustik zählt das Empfinden der allgemeinen Lautstärke.

202 Vgl. ESKA: Schall und Klang...,S.159-160

Lautstärkeempfindung

Das Beurteilen der Lautstärke von Schall wird anhand der sogenannten Hörschwellkurve, die in Abbildung 66 dargestellt wird, gemessen. Diese hängt von der jeweiligen Frequenz des Tones ab und gilt nur für reine, lang andauernde Töne.[203] Die Kurve gibt sowohl den niedrigsten noch hörbaren Schallpegel, sowie die absolute Schmerzgrenze bei jungen Menschen mit normalem Hörvermögen an. Der Bereich dazwischen wird als Hörfläche bezeichnet. Der gewählte Anstieg des Schalldruckpegels in jeweils 10 dB Schritten wird subjektiv näherungsweise als Verdoppelung oder, im umgekehrten Sinn, als Halbierung der Lautstärke empfunden.[204]

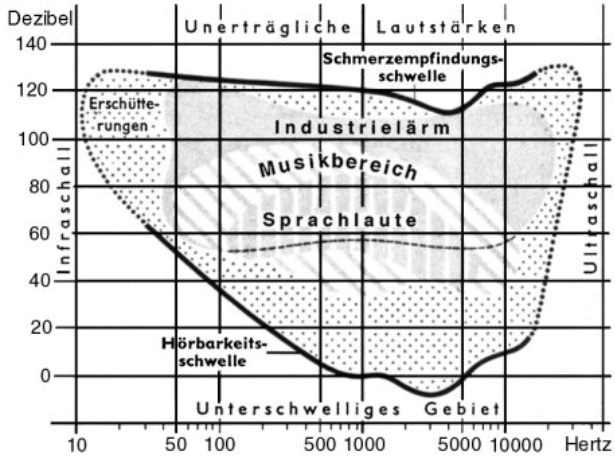


Abbildung 66 | Hörschwellkurve

Legt man den Fokus jedoch wieder auf den Bereich der Raumakustik sind gewisse Normen und Richtlinien unumgänglich. Die Wichtigsten werden im folgenden Abschnitt nur als Kurzbeschreibung angeführt, da deren Inhalt bereits im Zuge der Begriffserklärungen großteils erwähnt wurde.

203 Vgl. ESKA: Schall und Klang...,S.171
204 Vgl. MAUE H. : 0 Dezibel + 0 Dezibel= 3 Dezibel...,S.91-92

3.2 Normen der Raumakustik - Richtlinie & Organisation

Normen und Richtlinien beruhen auf abgestimmte Ergebnisse der Wissenschaft, Technik und Praxis und werden von einer Normungsorganisation zur allgemeinen Anwendung anerkannt.[205] Die weltweit größte Organisation zur Erstellung solcher internationalen Standards ist die *International Organization for Standardization* (ISO) mit Sitz in Genf.[206] Auf europäischer Ebene legt die *Europäische Normungsorganisation (EN)* Normen fest, die auf den vorhin erwähnten internationalen Normen basieren und möglichst unverändert übernommen werden. Zu ihren Mitgliedern zählen unter anderem sowohl das *Deutsche Institut für Normung* (DIN) als auch das *Austrian Standards Institute* (ASI), welches sämtliche ÖNORMEN bestimmt.[207]

Im Allgemeinen handelt es sich bei Normen jedoch nicht um eine gesetzliche Vorschrift, sondern lediglich um eine öffentlich zugänglich qualifizierte Empfehlung verschiedener Kriterien.[208] Dies führt bedauerlicherweise oft zu einer Nicht- Einhaltung dieser Vorschläge, da im Planungsprozess primär auf die gestalterischen und bauphysikalischen Trends der heutigen Architektur geachtet wird. Die häufig eingesetzten minimalistischen, glatten und akustisch reflektierenden Oberflächen, wie beispielsweise Beton, können angemessene raumakustische Bedingungen leider nicht immer erfüllen.[209]

Aus diesem Grund soll der folgende Abschnitt die wichtigsten Normen und Richtlinien in Hinblick auf die Raumakustik erläutern und das Bewusstsein für deren Wichtigkeit und deren Einbeziehung in den Planungsprozess wecken.

205 Vgl. Austrian Standards: Normen für jeden Bedarf – die Normenarten, Fachinformation 19, 2014, S.4-5
206 Vgl. ISO: http://www.iso.org/iso/about/about, Zugriff am 15.07.2015
207 Vgl. Austrian Standards: http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=CENWEB:5, Zugriff am 13.07.2015
208 Vgl. Austrian Standards: Normen für jeden Bedarf – die Normenarten, Fachinformation 19, 2014, S.4-5
209 Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag...,S.11

3.2.1 Internationale Organisation für Normung - *DIN EN ISO 3382*

Die DIN EN ISO 3382 wurde vom *Technischen Komitee ISO/TC 43* in Zusammenarbeit mit einem weiteren *Technischen Komitee CEN/TC 126* verfasst[210] und gilt als deutsche Übernahme einer europäischen Norm unter Federführung und Veröffentlichung der Internationalen Organisation für Normung (ISO).[211]

Diese Norm mit dem Titel „Akustik- Messung von Parametern der Raumakustik" besteht aus insgesamt 3 Teilen. Der im Jahre 2009 herausgegebene erste Abschnitt beschreibt ein Messverfahren, bei dem die Nachhallzeit aus Impulsantworten und aus abgeschaltetem Rauschen erfasst wird.[212]

Der zweite Teil, welcher 2008 erschienen ist und bereits ein Jahr später überarbeitet wurde, legt drei Stufen der Messgenauigkeit fest: Kurz, Standard und Präzision. Der Unterschied der drei Stufen liegt in der Anzahl der Messpositionen, sowie der für die Messungen erforderlichen Zeit und kann aus folgender Tabelle abgelesen werden.[213] Um eine relativ hohe Messgenauigkeit zu erzielen wurden die Messungen in der Zinckgasse nach dem Standard Verfahren mit insgesamt 6 Sender- Mikrofon- Kombinationen durchgeführt.

	kurz	Standard[a]	Präzision
Sender-Mikrofon-Kombinationen	2	6	12
Senderpositionen [b]	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Mikrofonpositionen [c]	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Anzahl der Abklingvorgänge an jeder Position (Verfahren des abgeschalteten Rauschens)	1	2	3

[a] In den Fällen, in denen das Ergebnis für einen Korrekturausdruck für weitere Messungen im Standardverfahren verwendet wird, sind nur eine Senderposition und drei Mikrofonpositionen erforderlich.

[b] Für das Verfahren des abgeschalteten Rauschens dürfen unkorrelierte Sender simultan angewendet werden.

[c] Für das Verfahren des abgeschalteten Rauschens sowie in den Fällen, in denen das Ergebnis für einen Korrekturausdruck verwendet wird, darf anstelle mehrerer Mikrofonpositionen ein rotierender Mikrofongalgen eingesetzt werden.

Abbildung 67 | Messpunkte der Messungen laut DIN EN ISO 3382

Teil drei der *DIN EN ISO 3382*, welcher 2012 veröffentlicht wurde, legt ein Verfahren fest, mit dem die raumakustischen Eigenschaften in möblierten Großraumbüros gemessen werden[214], wird hier jedoch aufgrund der für diese Arbeit geringen Relevanz nicht genauer beschrieben.

210 Vgl. DIN EN ISO 3382, DIN Deutsches Institut für Normung: Messung von Parametern der Raumakustik Teil 1: Aufführungsräume, 2009, S.3
211 Vgl. DIN: http://www.din.de/cmd?cmsrubid=47513&menurubricid=47513&level=tpl-rubrik&menuid=47391&languageid=de&cmsareaid=47391, Zugriff am 15.07.2015
212 Vgl. DIN EN ISO 3382...,Teil 1, S.4
213 Vgl. DIN EN ISO 3382, DIN Deutsches Institut für Normung: Messung von Parametern der Raumakustik Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen, 2008, S.8
214 Vgl. DIN EN ISO 3382, DIN Deutsches Institut für Normung: Messung von Parametern der Raumakustik Teil 3: Großraumbüros, 2012, S.5

3.2.2 Deutsche Industrie Norm - *DIN 18041*

Die erste Auflage der vom *Deutschen Institut für Normierung* veröffentlichten DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen" wurde im Jahr 1968 veröffentlicht und 2015 neu verfasst.[215]
Die aktuelle überarbeitete Version ist am 1.9.2015 erschienen und trägt den Titel „Hörsamkeit in Räumen - Vorgaben und Hinweise für die Planung".
In dieser Norm, die sich in Hinblick auf gewisse Parameter auf die vorhin angeführte *DIN EN ISO 3382* bezieht, wird die akustische Qualität eines Raumes von der Raumanordnung über bau- und raumakustischen Merkmale des Gebäudes bis hin zur Geräuschentwicklung haustechnischer Anlagen bestimmt.[216]

Raumakustisch gesehen bezieht sich die Norm auf kleine bis mittelgroße Räume mit einem Raumvolumen bis etwa 5.000 m³, sowie auf Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum bis zu 8.500 m³. Darin werden die akustischen Anforderungen und Planungsrichtlinien zur Sicherung der Hörsamkeit für Sprachkommunikation, sowie die dazu erforderlichen Maßnahmen festgelegt. Die Räume werden wie bereits unter 3.2.1 erwähnt wurde, in 2 Gruppen in Hinblick auf die Hörsamkeit über mittlere und größere Entfernung (Räume der Gruppe A) und über geringe Entfernung (Räume der Gruppe B) unterschieden, wie Abbildung 51 darstellt.[217]

3.2.3 Österreichische Norm - *ÖNORM B8115*

Die erste Auflage der österreichischen Norm *ÖNORM B8115* „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau" wurde im Jahre 1959 von der österreichischen Plattform *Austrian Standards*[218] veröffentlicht.[219] Diese Norm besteht im Unterschied zur DIN 18041 aus mehreren getrennt veröffentlichten Teilen, weist inhaltlich jedoch starke Parallelen dazu auf und bezieht sich ebenfalls in manchen Abschnitten auf die *DIN EN ISO 3382*. Neben Begriffserklärungen und allgemeinen Anforderungen an den Schallschutz in den ersten beiden Teilen werden in der aktuell gültigen *ÖNORM B 8115-3* aus dem Jahr 2005 ausschließlich Anforderungen an die Raumakustik aufgezeigt:[220]

Mithilfe von Schemata und Beschreibungen werden, ebenso wie in der *DIN 18041,* diverse Vorschläge zur Erreichung einer guten Hörsamkeit in Räumen angeführt. Dies erfolgt vor allem durch eine gleichmäßige Verteilung der Schallenergie im Raum, welche aufgrund einer gezielten Positionierung von Absorptionsflächen erreicht werden kann.[221]

215 Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag...,S.110
216 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung...,S.3
217 Vgl. DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung...,S.4
218 Vgl. https://www.austrian-standards.at/ueber-normen/normen-finden, Zugriff am 13.07.2015
219 Vgl. http://www.bvfs.at/htm/pub/download/Schallschutz-Normung.pdf, Zugriff am 13.07.2015
220 Zit. ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 1: Begriffe und Einheiten, 2011, S.3
221 Vgl. ÖNORM B8115..., Teil 3, S.8

3.2.4 Österreichisches Institut für Bautechnik - *OIB*

Sämtliche OIB-Richtlinien werden vom Österreichischen Institut für Bautechnik herausgegeben und stehen allen Bundesländern frei zur Verfügung. Dabei kann jedes Bundesland das Inkrafttreten der Richtlinien für sich bestimmen. Um dem Bauwerber eine gewisse bauliche und architektonische Flexibilität zu gewähren, kann stets von den OIB-Richtlinien unter Berücksichtigung der jeweiligen Verordnungen der Bundesländer abgewichen werden.[222]

Die seit 2007 gültige *ÖIB-Richtlinie 5*, beinhaltet Empfehlungen zum Schallschutz in Gebäuden, die dem längeren Aufenthalt von Menschen dienen, wie Wohngebäude, Schulen oder Kindergärten. Sämtliche bau- und raumakustischen Anforderungen dieser Richtlinie wurden aus der *ÖNORM B 8115 1-3* übernommen.[223]

3.2.5 Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau - *ÖISS*

National gesehen wurde 1964 auf Empfehlung der UNESCO das Österreichische Institut für Schul- und Sportstättenbau gegründet, welches neben der Beratung von Bauherren, Planern und Betreibern von Schulen auch Normen auf nationaler und europäischer Ebene erstellt und überarbeitet. In regelmäßigen Abständen veröffentlicht das ÖISS allgemein gültige Grundlagen, wie Richtlinien und Empfehlungen für die Planung, den Bau und Betrieb von Schulen, Sport und Freizeitanlagen.[224]
Die derzeit in Bearbeitung stehende jedoch noch aktuell gültige Ausgabe zu akustischen Anforderungen an Schulgebäuden wurde im April 2012 veröffentlicht.
Es handelt sich hierbei um eine Sammlung von Richtwerten und Normen zum baulichen und raumakustischen Schallschutz. Jener Teil, der die Raumakustik in Schulgebäuden in den Fokus stellt, beinhaltet sowohl Teile der deutschen DIN 18041 als auch Ausschnitte der österreichischen ÖNORM B 8115.

222 Vgl. OIB- Richtlinien: http://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien, Zugriff am 17.05.2015
223 Vgl. OIB- Richtlinien: http://www.bauordnung.at/oesterreich/oib_richtlinie5.php, Zugriff am 17.05.2015
224 Vgl. http://www.oeiss.org/dasinstitut/, Zugriff am 13.07.2015

3.3 Messungen der Raumakustik – Theorie

In diesem Abschnitt wird eines der häufig angewandten Verfahren zur Messung der Raumakustik, die integrierte Impulsantwort, welche in *DIN EN ISO 3382* beschrieben wird, vorgestellt.
Es soll ein Einblick in die Vorgehensweise bei Messungen der Nachhallzeit gegeben und das erforderliche Messequipment und dessen genaue Positionierung im Raum vorgestellt werden.

3.3.1 Messverfahren der integrierten Impulsantwort und Messequipment

Die Nachhallzeit kann anhand von verschiedenen Methoden gemessen werden.
In *DIN EN ISO 3382* werden, neben dem Verfahren des abgeschalteten Rauschens, auch die Methode der integrierten Impulsantwort als mögliche Variante angeführt, nach der auch die Messungen in der Zinckgasse erfolgten.[225]

Bei diesem Verfahren wird eine Impulsantwort von einer Sender- an eine Empfängerposition geschickt. Die Impulsquelle selbst darf nicht nachhallend sein und muss einen Spitzenschalldruckpegel erzeugen können, der einen Beginn der Abklingkurve bei mindestens 35 dB über dem Störpegel im jeweiligen Frequenzband sicherstellen kann. Dies kann entweder durch Händeklatschen, Abfeuern von Pistolenschüssen oder wie am Beispiel in der Zinckgasse, durch Zerplatzen eines Luftballons erfolgen. Der Knall, beziehungsweise dessen Nachhall, wird dann von einem Empfänger aufgenommen und von diesem zur weiteren Auswertung gespeichert.[226]

Messequipment

Die Messungen in der Zinckgasse wurden wie bereits erwähnt, mit einem Luftballon (als Sender) und einem Schallpegelmessgerät (als Empfänger) durchgeführt. Dieser Schallanalysator (Nor140) der Firma *Norsonic* ist mit einem polarisierten Freifeldmikrophon und einem Vorverstärker mit geringem Eigenrauschen ausgestattet und somit ideal für Messungen der Raumakustik. Das Messgerät deckt neben Messungen der Nachhallzeit ein breites Spektrum an Anwendungsbereichen ab, wie beispielsweise Aufzeichnungen des Umgebungslärms, der Sprachverständlichkeit oder der Schallleistungen.[227]

225 Vgl. DIN EN ISO 3382, DIN Deutsches Institut für NormungTeil 1, S. 10
226 Vgl. DIN EN ISO 3382, DIN Deutsches Institut für Normung: Messung von Parametern der Raumakustik Teil 1: Aufführungsräume, 2009, S. 11-12
227 Vgl. NORSONIC Datenblatt: nor140 Schallanalysator, 2008, S.4-8

3.3.2 Messpositionen am Beispiel in der Zinckgasse

Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erlangen werden im zweiten Teil der *DIN EN ISO 3382,* wie bereits im Punkt 3.2.1 erwähnt wurde, drei verschiedene Messpositionen empfohlen.

Das „kurz-Verfahren" ist mit mindestens einer Sender- und einer Empfängerposition die schnellst durchführbare Methode. Dieses Verfahren ist hauptsächlich für Messungen des Schallschutzes sowie des Luft- und Trittschalls geeignet.

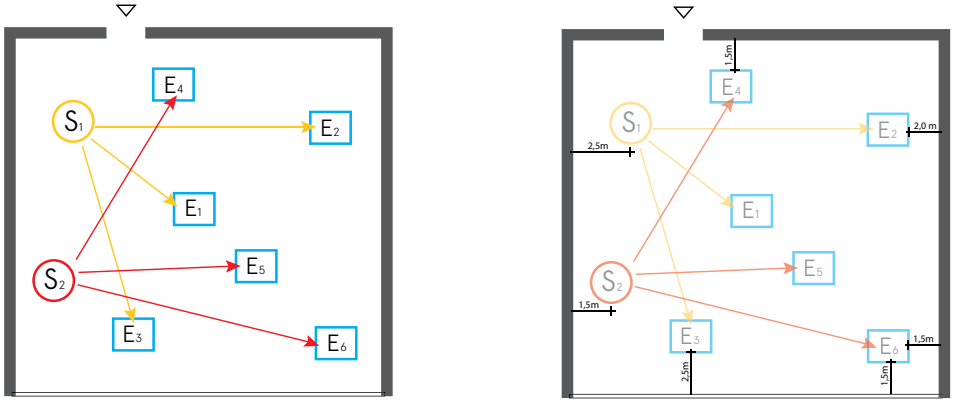
Das „Standard-Verfahren" sieht insgesamt 6 Sender- Empfänger Kombinationen vor und ist besonders für Messungen der Nachhallzeit und der Raumabsorption geeignet. Aus diesem Grund wurden die Messungen in der Zinckgasse nach diesem Verfahren durchgeführt.

Wird eine sehr hohe Messgenauigkeit gefordert, sollte das „Präzisionsverfahren" gewählt werden, welches mindestens zwei Sender- und drei Empfängerpositionen vorsieht. Damit werden insgesamt 12 Sender- Empfänger-Kombinationen erreicht, also doppelt so viele wie beim Standard-Verfahren.[228]

228 Vgl. DIN EN ISO 3382, DIN Deutsches Institut für Normung..., Teil 1, S. 23-24

Messpositionen in der Zinckgasse

Im Zuge der Messungen nach dem Standard- Verfahren im Altbau und im Neubau der Schule in der Zinckgasse wurde ein Schema (Abbildung 68) ausgearbeitet, welches den gesamten Raum anhand der verschiedenen Aufstellungen der Sender- und Empfängerpositionen großteils abdeckt.



S1 S2 Senderposition- Schallquelle

E1-6 Empfängerposition- Mikrophon

Abbildung 68 | Schema Messpositionen in der Zinckgasse

Die im Schema mit S1 und S2 gekennzeichneten Positionen beschreiben die Schallquelle bzw. den hier mittels eines Luftballons erzeugten Knall. Dieser sollte an jenen Orten positioniert sein, die normalerweise vom Sender (bzw. vom sprechenden Lehrer) genutzt werden. Dabei muss die Höhe der Schallquelle ungefähr 1,5 m betragen um tieffrequente Veränderungen der Ausgangsleistung der Schallquelle im Frequenzbereich der Messung zu vermeiden.

Der erzeugte Knall wurde an jeweils drei verschiedenen Positionen vom Empfänger, einem Schallpegelmessgerät mit Mikrophon aufgenommen und festgehalten. Da mit dem Messgerät die im Raum anwesenden Menschen simuliert werden, sollte das Mikrophon, welches mit dem Ohr einer sitzenden Person gleichgestellt werden kann, in 1,2 m Höhe über dem Fußboden an verschiedenen Punkten des Raumes positioniert werden. Dabei soll eine mindestens 2 m Entfernung zu den anderen Mikrophonpositionen sowie eine 1 m große Distanz zu den nächstgelegenen reflektierenden Oberflächen (wie Wände) eingehalten werden.[229]

Aus den insgesamt 6 verschiedenen Sender- Empfänger Konstellationen konnte in weiterer Folge der Mittelwert für die jeweiligen Frequenzbereiche gebildet werden. Im folgenden Abschnitt werden sämtliche Ergebnisse und Analysen der Messungen angeführt und beschrieben. Eine vollständige Sammlung aller erhaltenen Messwerte sind im Anhang A dieser Arbeit abgedruckt.

229 Vgl. DIN EN ISO 3382, DIN Deutsches Institut für Normung: Messung von Parametern der Raumakustik Teil 1: Aufführungsräume, 2009, S. 23-24

3.4 Ergebnisse der Messungen - Praxis

Die Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen, die in mehreren Klassenräumen der Nutzungsart „Unterricht" in der Zinckgasse durchgeführt wurden, sollen in diesem Abschnitt aufzeigen, inwiefern sich die Architektur bzw. die Materialität und Möblierung des Innenraums in positivem und negativem Sinne auf die Raumakustik auswirken können.
Um eine Verfälschung der Ergebnisse durch Hintergrundgeräusche zu vermeiden, wurden die Messungen in unbesetztem Zustand durchgeführt und im Nachhinein unter Annahme einer 70% - Belegung auf den besetzten Zustand hochgerechnet.
Im Vorfeld wurden die einzelnen Lehrpersonen der jeweiligen Unterrichtsräume in Form eines Fragebogens kontaktiert, um die Lärmsituation besser abschätzen zu können. Sämtliche Fragen und Ergebnisse sind im Anhang A zusammengefasst. Dabei stellte sich heraus, dass sowohl in den Klassen des Alt- als auch des Neubaus die Raumakustik nicht sonderlich bemängelt wurde. Die Akustik der Gangbereiche des Altbaus hingegen wurde von den meisten Lehrpersonen als sehr schlecht eingestuft. Besonders problematisch wäre die Lärmsituation in den großen Pausen sowie in den Zwischenpausen der einzelnen Unterrichtsstunden, so der Großteil der Lehrerschaft. Aus diesem Grund wurden neben Messungen der Nachhallzeit in den Klassen selbst der Schallpegel der Gangbereiche des Alt- und Neubaus aufgenommen und genauer untersucht. Etwaige Maßnahmen zur Verbesserung der Akustik werden im vierten Kapitel dieser Diplomarbeit angeführt.

ALT B

3.4.1 Ergebnisse und Analyse der Messungen in den Klassenräumen des Altbaus

Die Messungen wurden in jeweils einer Klasse in jedem Stockwerk des Altbaus durchgeführt. Die rechteckigen Klassen sowie die Gangbereiche, die nach den damaligen gründerzeitlichen Maßangaben errichtet wurden, blieben bis heute unverändert. Im Zuge des Neubaus um 1993 wurden die WC-Anlagen des Altbaus den heutigen Standards angepasst und die Decken der Klassenräume und Gangbereiche mit Brandschutzdecken versehen. Es wird angenommen, dass diese Maßnahme wesentlich zur Verbesserung der Raumakustik beigetragen. Aus diesem Grund wird, auf den gemessenen Werten basierend, die akustische Situation vor 1993 (Klassenräume ohne Brandschutzdecken) mittels Berechnungen simuliert und in Abbildung 70, 72 und 74 demonstriert. Die Auswertung der aktuellen Messergebnisse und die Beschreibung der Klassenräume werden in Abbildung 69, 71 und 73 dargestellt.

BAU

Raumakustik
heute

Oberflächen im Klassenraum	
Boden	Parkett
Wand	verputzt
Decke	Brandschutzdecke mit eingebauten Deckenleuchten
Fenster	Rolläden und schmale Vorhänge

Möblierung	
Tische	12
Stühle	12
Regale	3
Tafel	1
Pinnwand	1

Der Unterrichtsraum 3A verfügt bei Abmessungen von 6,5 m x 7,4 m x 3,2 m **über** ein Volumen von rund 172 m². Hiernach folgt laut DIN 18041 eine Nachhallzeit Tsoll von 0,55s (Sekunden). Der anzustrebende Bereich für die Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit ist in Abbildung 69 grau schraffiert. Die grüne Kurve im Diagramm stellt die gemittelten Werte dar, die im unbesetzten Zustand gemessen wurden. Da der grau schraffierte Bereich jedoch für den besetzten Zustand gilt, wurde dieser unter Annahme einer 70% Belegung ermittelt (siehe violette Linie im Diagramm).

Die Messungen führten zum Ergebnis, dass die mittlere Nachhallzeit zwischen 125 Hz und 4.000 Hz im empfohlenen Bereich liegt. Der leichte Anstieg bei tiefen Frequenzen (125 Hz) ist aus raumakustischer Sicht akzeptabel und kann somit vernachlässigt werden.

Da jedoch der Klassenraum erst nach 1993 mit einer Brandschutzdecke ausgestattet wurde soll die Abbildung 70 zeigen, inwiefern sich eine solche Maßnahme auf die Akustik auswirken kann. Vor den Sanierungsmaßnahmen waren sämtliche Rohdecken der Räume im Altbau mit glatten Gipskartonplatten verkleidet, welche schlechte bis teilweise keine schallabsorbierenden Eigenschaften mit sich brachten.

Die graphischen Auswertungen der Berechnungen auf Seite 103 zeigen deutlich, dass die hier eingesetzten Brandschutzdecken eine hohe Schallabsorption aufweisen und eine wesentliche Verbesserung der Raumakustik bewirken. Die hellblaue und orange Kurve stellen die Nachhallzeiten im Klassenraum vor der Sanierung dar und fallen deutlich aus dem anzustrebenden Bereich. Dies hat wiederum eine sehr hallige Akustik im Raum zur Folge. Würden die Kurven weit unter den vorgegeben Soll-Werten liegen, spricht man von einer dumpfen Akustik im Raum. Die Stimmen würden sozusagen von den Oberflächen verschluckt werden und ebenso wie in einem halligen Raum zu einem schlechten Sprachverständnis führen.

3OG Altbau

Raumlänge	6,5	m
Raumbreite	7,34	m
Raumhöhe	3,6	m
Raumfläche	47,75	m²
Raumvolumen	171,93	m³
Anzahl Schüler	12	

$T_{opt}^{Sprache}$	0,69 s	optimale Nachhallzeit Sprache
$T_{opt}^{Kommunikation}$	0,55 s	optimale Nachhallzeit Kommunikation

Äquivalente Absorptionsfläche eines Schülers

laut ÖNORM EN 12354-6

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,100	0,200	0,250	0,350	0,400	0,400

Messung und Berechnung

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Oktavbänder in der Raumakustik
$T_{op\ max}$	0,654	0,654	0,654	0,654	0,654	0,654	oberer Toleranzbereich
$T_{op\ min}$	0,354	0,436	0,436	0,436	0,436	0,354	unterer Toleranzbereich
T unbesetzt	0,750	0,563	0,566	0,580	0,615	0,566	Mittelwert aus 6 Messungen
T besetzt	0,686	0,542	0,547	0,556	0,557	0,512	Berechnung Zustand besetzt

Graphische Auswertung der Messergebnisse

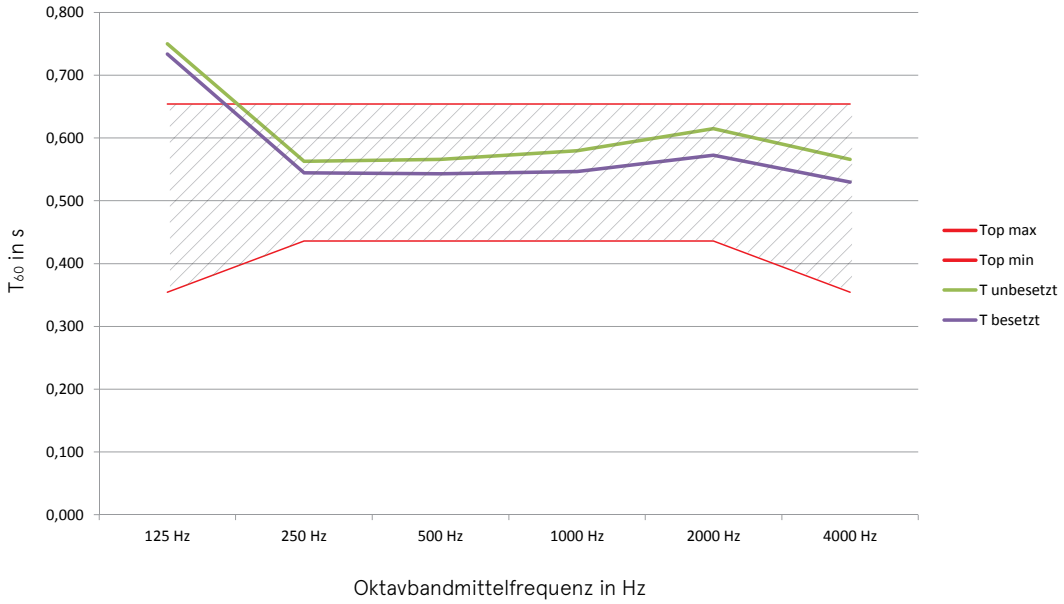


Abbildung 69 | Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen | 3.OG Altbau

Raumakustik

vor Sanierung (1894-1993)

Äquivalente Absorptionsfläche der vorhandenen Brandschutzdecke

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
0,400	0,770	0,900	0,580	0,560	0,380	α1	Materialwert
19,100	36,773	42,981	27,699	26,744	18,147	Aeq 1	α1 * Fläche der Decke

Äquivalente Absorptionsfläche der Gipskartondecke vor Sanierung

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
0,120	0,080	0,040	0,020	0,030	0,00	α2	Materialwert
5,730	3,820	1,910	0,955	1,433	0,00	Aeq 2	α2 * Fläche der Decke

Äquivalente Absorptionsfläche Aeq berechnet

$$Aeq = 0{,}163 \frac{V}{T}$$

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
37,366	49,776	49,513	48,318	45,568	49,513	Aeq unbesetzt
38,232	51,420	51,610	51,232	48,908	52,876	Aeq besetzt

Nachhallzeit berechnet - vor Sanierung

$$T_{\text{ohne Akustikdecke}} = 0{,}163 \frac{V}{Aeq - Aeq1 + Aeq2}$$

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
1,168	1,666	3,319	1,299	1,383	0,893	T_{ohne} unbesetzt
1,127	1,517	2,659	1,144	1,187	0,807	T_{ohne} besetzt

3OG Altbau

Raumlänge	6,5	m
Raumbreite	7,34	m
Raumhöhe	3,6	m
Raumfläche	47,75	m²
Raumvolumen	171,93	m³
Anzahl Schüler	12	

$T_{opt}^{Sprache}$	0,69 s	optimale Nachhallzeit Sprache
$T_{opt}^{Kommunikation}$	0,55 s	optimale Nachhallzeit Kommunikation

Messung und Berechnung

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Oktavbänder in der Raumakustik
$T_{op\ max}$	0,654	0,654	0,654	0,654	0,654	0,654	oberer Toleranzbereich
$T_{op\ min}$	0,354	0,436	0,436	0,436	0,436	0,354	unterer Toleranzbereich
T unbesetzt	0,750	0,563	0,566	0,580	0,615	0,566	Mittelwert aus 6 Messungen
T besetzt	0,733	0,545	0,543	0,547	0,573	0,530	Berechnung Zustand besetzt
T ohne besetzt	1,168	1,666	3,319	1,299	1,383	0,893	Berechnung vor Sanierung unbes.
T ohne besetzt	1,127	1,517	2,659	1,144	1,187	0,807	Berechnung vor Sanierung bes.

Graphische Auswertung der Messergebnisse

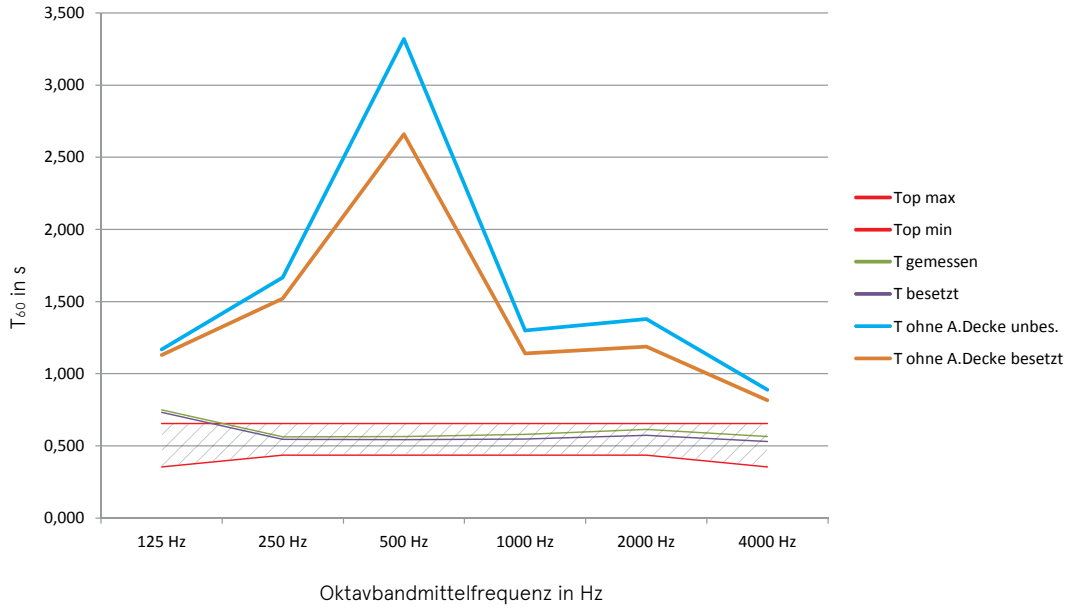


Abbildung 70 | Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen im unsanierten Zustand | 3.OG Altbau

Raumakustik
heute

Der Klassenraum 2A verfügt bei denselben Abmessungen wie Raum 3A über ein Volumen von rund 172 m³. Die Nachhallzeit *Tsoll* von 0,55 s (Sekunden) bleibt auch hiermit ident.

Da sich auch in diesem Raum neben dem Volumen die Möblierung vom Klassenraum 3A nicht maßgebend unterscheidet, sind die gemessenen Nachhallzeitkurven sehr ähnlich. Auch hier ist in den tieffrequenten Bereichen eine leichte Überschreitung der anzustrebenden Werte ersichtlich, der jedoch wie bereits erwähnt, vernachlässigt werden kann.

Oberflächen im Klassenraum	
Boden	Parkett
Wand	verputzt
Decke	Brandschutzdecke mit eingebauten Deckenleuchten
Fenster	Rolläden und schmale Vorhänge

Möblierung	
Tische	12
Stühle	12
Regale	3
Tafel	1
Pinnwand	1

T_{60} in s

2OG Altbau

Raumlänge	6,5	m
Raumbreite	7,4	m
Raumhöhe	3,6	m
Raumfläche	48,1	m²
Raumvolumen	171,93	m³
Anzahl Schüler	12	

$T_{opt}^{Sprache}$	0,69 s	optimale Nachhallzeit Sprache
$T_{opt}^{Kommunikation}$	0,55 s	optimale Nachhallzeit Kommunikation

Äquivalente Absorptionsfläche eines Schülers

laut ÖNORM EN 12354-6

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,100	0,200	0,250	0,350	0,400	0,400

Messung und Berechnung

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Oktavbänder in der Raumakustik
$T_{op\ max}$	0,654	0,654	0,654	0,654	0,654	0,654	oberer Toleranzbereich
$T_{op\ min}$	0,354	0,436	0,436	0,436	0,436	0,354	unterer Toleranzbereich
T unbesetzt	0,700	0,560	0,570	0,590	0,598	0,545	Mittelwert aus 6 Messungen
T besetzt	0,686	0,542	0,547	0,556	0,557	0,512	Berechnung Zustand besetzt

Graphische Auswertung der Messergebnisse

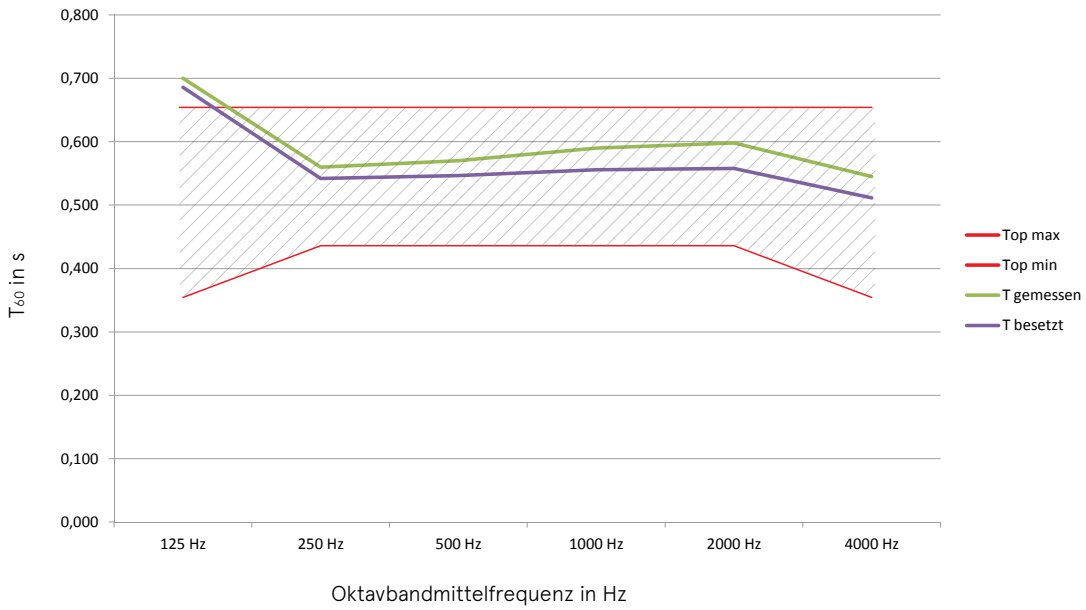


Abbildung 71 | Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen | 2.OG Altbau

Raumakustik
vor Sanierung (1894-1993)

Äquivalente Absorptionsfläche der vorhandenen Brandschutzdecke

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
0,400	0,770	0,900	0,580	0,560	0,380	α1	Materialwert
19,100	36,773	42,981	27,699	26,744	18,147	Aeq 1	α1 * Fläche der Decke

Äquivalente Absorptionsfläche der Gipskartondecke vor Sanierung

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
0,120	0,080	0,040	0,020	0,030	0,00	α2	Materialwert
5,730	3,820	1,910	0,955	1,433	0,00	Aeq 2	α2 * Fläche der Decke

Äquivalente Absorptionsfläche Aeq berechnet

$$Aeq = 0{,}163 \frac{V}{T}$$

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
40,035	50,064	49,186	47,519	46,883	51,442	Aeq unbesetzt
40,868	51,727	51,254	50,425	50,334	54,758	Aeq besetzt

Nachhallzeit berechnet - vor Sanierung

$$T_{\text{ohne Akustikdecke}} = 0{,}163 \frac{V}{A_{eq} - A_{eq1} + A_{eq2}}$$

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
1,051	1,638	3,454	1,349	1,299	0,842	T_{ohne} unbesetzt
1,019	1,493	2,753	1,184	1,120	0,766	T_{ohne} besetzt

Die Simulation vor den Sanierungsmaßnahmen im Jahr 1993 zeigt abermals (Abbildung 72) eine sehr schlechte Raumakustik bzw. Nachhallzeiten, die weit über den anzustrebenden Bereich liegen.

2OG Altbau

Raumlänge	6,5	m
Raumbreite	7,34	m
Raumhöhe	3,6	m
Raumfläche	47,75	m²
Raumvolumen	171,93	m³
Anzahl Schüler	12	

$T_{opt}^{Sprache}$	0,69 s	optimale Nachhallzeit Sprache
$T_{opt}^{Kommunikation}$	0,55 s	optimale Nachhallzeit Kommunikation

Messung und Berechnung

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Oktavbänder in der Raumakustik
$T_{op\ max}$	0,654	0,654	0,654	0,654	0,654	0,654	oberer Toleranzbereich
$T_{op\ min}$	0,354	0,436	0,436	0,436	0,436	0,354	unterer Toleranzbereich
T unbesetzt	0,700	0,560	0,570	0,590	0,598	0,545	Mittelwert aus 6 Messungen
T besetzt	0,686	0,542	0,547	0,556	0,557	0,512	Berechnung Zustand besetzt
T ohne besetzt	1,051	1,638	3,454	1,349	1,299	0,842	Berechnung vor Sanierung unbes.
T ohne besetzt	1,019	1,493	2,753	1,184	1,120	0,766	Berechnung vor Sanierung bes.

Graphische Auswertung der Messergebnisse

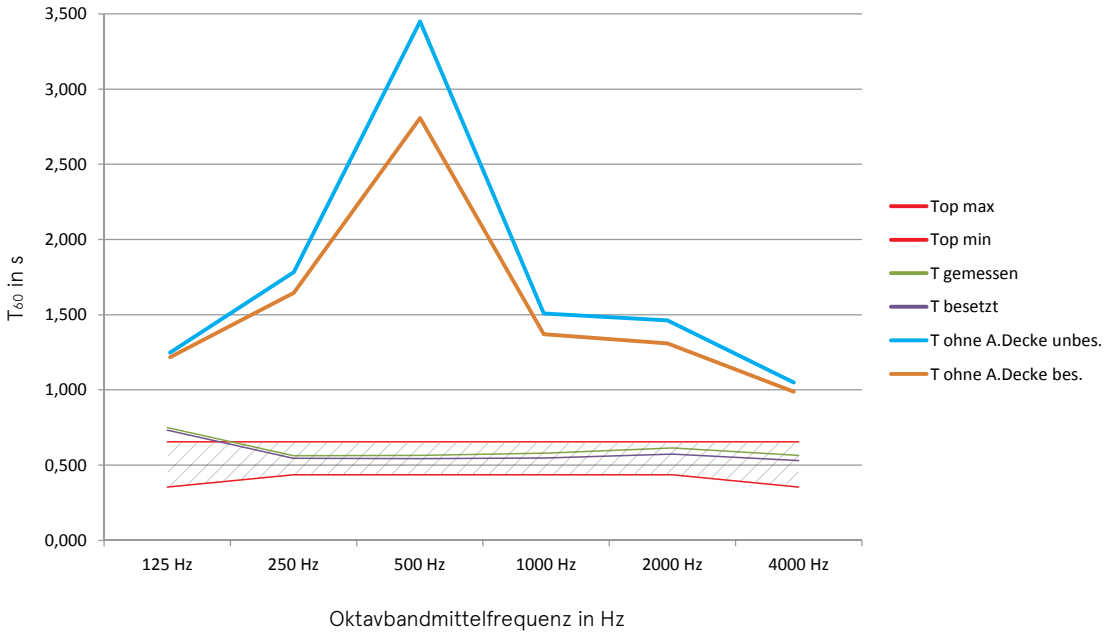


Abbildung 72 | Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen im unsanierten Zustand | 2.OG Altbau

Raumakustik
heute

Der Unterrichtsraum 1A im ersten Obergeschoss besitzt bei Abmessungen von 6,5 m x 8,5 m x 3,6 m **über** ein Volumen von rund 199 m³. Hiernach folgt laut DIN 18041 eine Nachhallzeit *Tsoll* von 0,55 s (Sekunden). In diesem Raum liegen die gemessenen Werte sowohl bei tiefen als auch bei hohen Frequenzen im anzustrebenden Bereich.

Die Akustik war auch in diesem Raum in der Zeit vor 1993 sehr schlecht bzw. hallig, wie in Abbildung 74 deutlich zu erkennen ist.

Oberflächen im Klassenraum	
Boden	Parkett
Wand	verputzt
Decke	Brandschutzdecke mit eingebauten Deckenleuchten
Fenster	Rolläden und schmale Vorhänge

Möblierung	
Tische	23
Stühle	23
Regale	3
Tafel	1
Pinnwand	1

T_{60} in s

1OG Altbau

Raumlänge	6,5	m
Raumbreite	8,5	m
Raumhöhe	3,6	m
Raumfläche	55,25	m²
Raumvolumen	198,29	m³
Anzahl Schüler	23	

$T_{opt}^{Sprache}$	0,71 s	optimale Nachhallzeit Sprache
$T_{opt}^{Kommunikation}$	0,57 s	optimale Nachhallzeit Kommunikation

Äquivalente Absorptionsfläche eines Schülers

laut ÖNORM EN 12354-6

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,100	0,200	0,250	0,350	0,400	0,400

Messung und Berechnung

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Oktavbänder in der Raumakustik
$T_{op\ max}$	0,678	0,678	0,678	0,678	0,678	0,678	oberer Toleranzbereich
$T_{op\ min}$	0,367	0,452	0,452	0,452	0,452	0,367	unterer Toleranzbereich
T unbesetzt	0,481	0,540	0,490	0,548	0,623	0,633	Mittelwert aus 6 Messungen
T besetzt	0,469	0,512	0,462	0,500	0,554	0,562	Berechnung Zustand besetzt

Graphische Auswertung der Messergebnisse

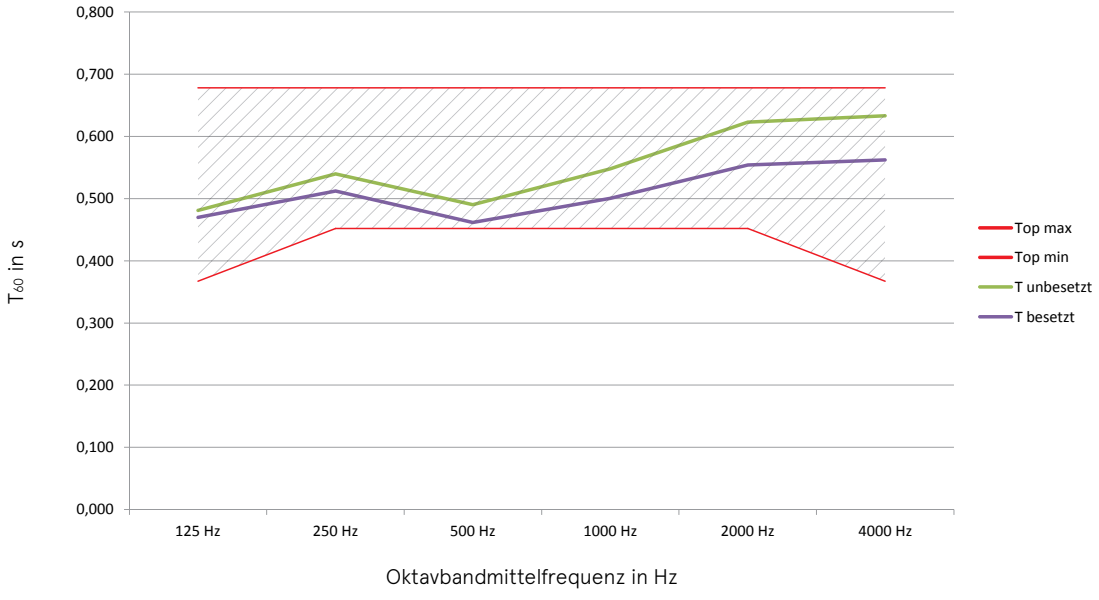


Abbildung 73 | Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen | 1.OG Altbau

Raumakustik
vor Sanierung (1894-1993)

Äquivalente Absorptionsfläche der vorhandenen Brandschutzdecke

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
0,400	0,770	0,900	0,580	0,560	0,380	α1	Materialwert
22,100	42,540	49,725	32,045	30,940	20,995	Aeq 1	α1 * Fläche der Decke

Äquivalente Absorptionsfläche der Gipskartondecke vor Sanierung

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
0,120	0,080	0,040	0,020	0,030	0,00	α2	Materialwert
6,630	4,420	2,210	1,105	1,657	0,00	Aeq 2	α2 * Fläche der Decke

Äquivalente Absorptionsfläche Aeq gerechnet

$$Aeq = 0{,}163 \frac{V}{T}$$

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
67,098	59,766	65,597	58,894	51,804	50,986	Aeq unbesetzt
68,814	63,035	69,857	64,548	58,256	57,427	Aeq besetzt

Nachhallzeit berechnet - vor Sanierung

$$T_{\text{ohne Akustikdecke}} = 0{,}163 \frac{V}{A_{eq} - A_{eq1} + A_{eq2}}$$

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
0,625	1,491	1,785	1,154	1,433	1,076	T_{ohne} unbesetzt
0,605	1,295	1,445	0,959	1,114	0,886	T_{ohne} besetzt

T_{60} in s

1OG Altbau

Raumlänge	6,5	m
Raumbreite	8,5	m
Raumhöhe	3,6	m
Raumfläche	55,25	m²
Raumvolumen	198,29	m³
Anzahl Schüler	23	

$T_{opt}^{Sprache}$	0,71 s	optimale Nachhallzeit Sprache
$T_{opt}^{Kommunikation}$	0,57 s	optimale Nachhallzeit Kommunikation

Messung und Berechnung

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Oktavbänder in der Raumakustik
$T_{op\ max}$	0,678	0,678	0,678	0,678	0,678	0,678	oberer Toleranzbereich
$T_{op\ min}$	0,367	0,452	0,452	0,452	0,452	0,367	unterer Toleranzbereich
T unbesetzt	0,481	0,540	0,490	0,548	0,623	0,633	Mittelwert aus 6 Messungen
T besetzt	0,469	0,512	0,462	0,500	0,554	0,562	Berechnung Zustand besetzt
T ohne besetzt	0,625	1,491	1,785	1,154	1,433	1,076	Berechnung vor Sanierung unbes.
T ohne besetzt	0,605	1,295	1,445	0,959	1,114	0,886	Berechnung vor Sanierung bes.

Graphische Auswertung der Messergebnisse

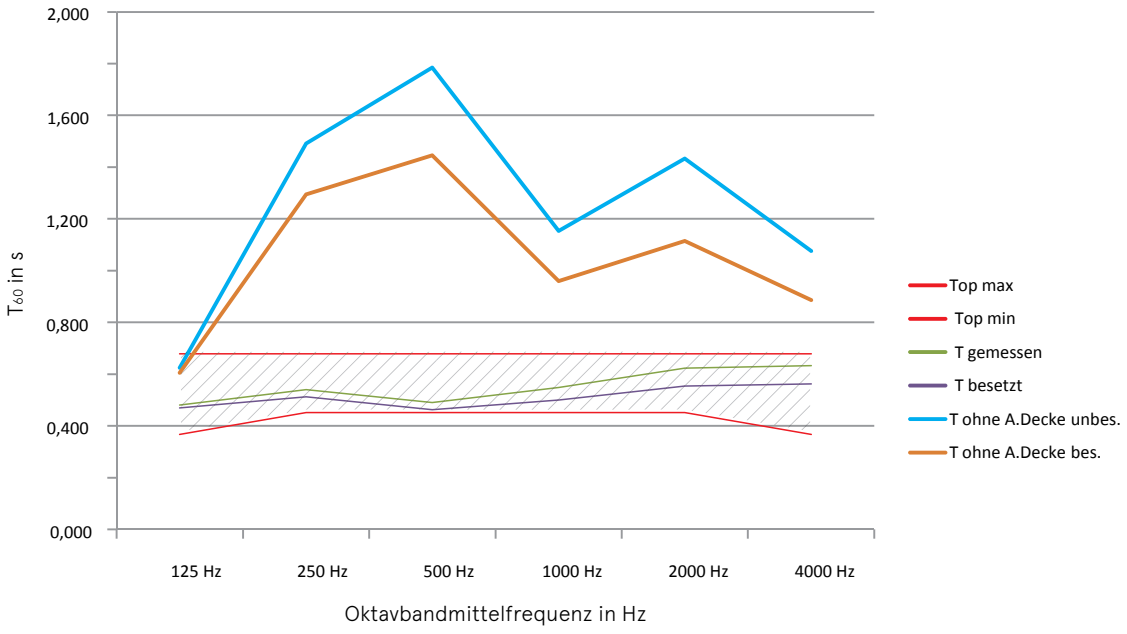


Abbildung 74 | Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen im unsanierten Zustand | 1.OG Altbau

Conclusio

In allen drei Räumen des Altbaus konnte aufgrund der durchgeführten Messungen eine sehr gute Akustik festgestellt werden. Lediglich im tieffrequenten Bereich der Räume 3A und 2A, (also jene Bereiche unterhalb des grau schraffierten Balkens) sind die Werte leicht außerhalb des anzustrebenden Rahmens, was jedoch, wie bereits erwähnt, keine Sanierungsmaßnahmen erfordert.

Da auch alle Räume des Neubaus mit Brandschutzdecken ausgestattet sind, wird im Vorfeld der Messungen auch in diesem Bauteil eine relativ gute Raumakustik angenommen. Um eine genaue Aussage über die Raumakustik im Neubau tätigen zu können wurde auch hier die Nachhallzeit in mehreren Klassenräumen gemessen.
Sämtliche Ergebnisse dazu werden im folgenden Abschnitt aufgezeigt und analysiert. Dabei wird jedoch nicht der Zustand vor den Sanierungsmaßnahmen wie vorhin in den Klassen des Altbaus errechnet, da der Zubau von Beginn an mit Brandschutzdecken ausgestattet wurde.

NEU

3.4.2 Ergebnisse und Analyse der Messungen in den Klassenräumen des Neubaus

Die quadratischen Klassenräume des Neubaus wurden im Gegensatz zum Altbau für weitaus weniger Schüler geplant. So werden in der Regel nur bis zu 12 Kinder pro Klasse unterrichtet, was wiederum freiere Unterrichtsmethoden ermöglicht.
Da der Neubau eine vollflächig verglaste Fassade besitzt, sind in jedem Klassenraum aufgrund des starken Lichteinfalls bodenlange Vorhänge vorzufinden, welche den Schall zusätzlich teilweise absorbieren.

UBAU

Raumakustik
heute

Der Klassenraum 3B mit Abmessungen von 6,9 m x 7,3 m x 3,2 m besitzt ein Raumvolumen von ca. 162 m². Die straßenseitig angeordneten raumhohen Fenster, sowie die Oberlichten zum Gang und zum Zwischenraum spenden viel Licht. Teilweise wurde jedoch von den Lehrern bemängelt, dass sich die Räume aufgrund des hohen Glasanteils in den wärmeren Monaten zu schnell überhitzen und die Raumbehaglichkeit negativ beeinflussen.
Legt man den Fokus jedoch nur auf die Raumakustik, zeigt die graphische Auswertung in Abbildung 75, dass der Lärm bzw. der Schall kein Problem darstellen. Alle gemessenen Werte der Nachhallzeit liegen im Optimalbereich, das unter anderem auf die eingebauten Brandschutzdecken zurückzuführen ist.

Oberflächen im Klassenraum

Boden	Parkett
Wand	Backstein und Holzverschalung
Decke	Brandschutzdecke mit abgehängten Deckenleuchten
Fenster	Fensterband durchgehend bodenlange Vorhänge

Möblierung

Tische	12
Stühle	12
Regale	3
Sofa	2
Tafel	1
Pinnwand	1

3OG Neubau

Raumlänge	6,9	m
Raumbreite	7,3	m
Raumhöhe	3,2	m
Raumfläche	50,37	m²
Raumvolumen	161,86	m³
Anzahl Schüler	12	

$T_{opt}^{Sprache}$	0,68 s	optimale Nachhallzeit Sprache
$T_{opt}^{Kommunikation}$	0,54 s	optimale Nachhallzeit Kommunikation

Äquivalente Absorptionsfläche eines Schülers

laut ÖNORM EN 12354-6

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,100	0,200	0,250	0,350	0,400	0,400

Messung und Berechnung

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Oktavbänder in der Raumakustik
$T_{op\ max}$	0,644	0,644	0,644	0,644	0,644	0,644	oberer Toleranzbereich
$T_{op\ min}$	0,349	0,430	0,430	0,430	0,430	0,349	unterer Toleranzbereich
T unbesetzt	0,668	0,496	0,490	0,483	0,490	0,505	Mittelwert aus 6 Messungen
T besetzt	0,654	0,481	0,472	0,458	0,461	0,475	Berechnung Zustand besetzt

Graphische Auswertung der Messergebnisse

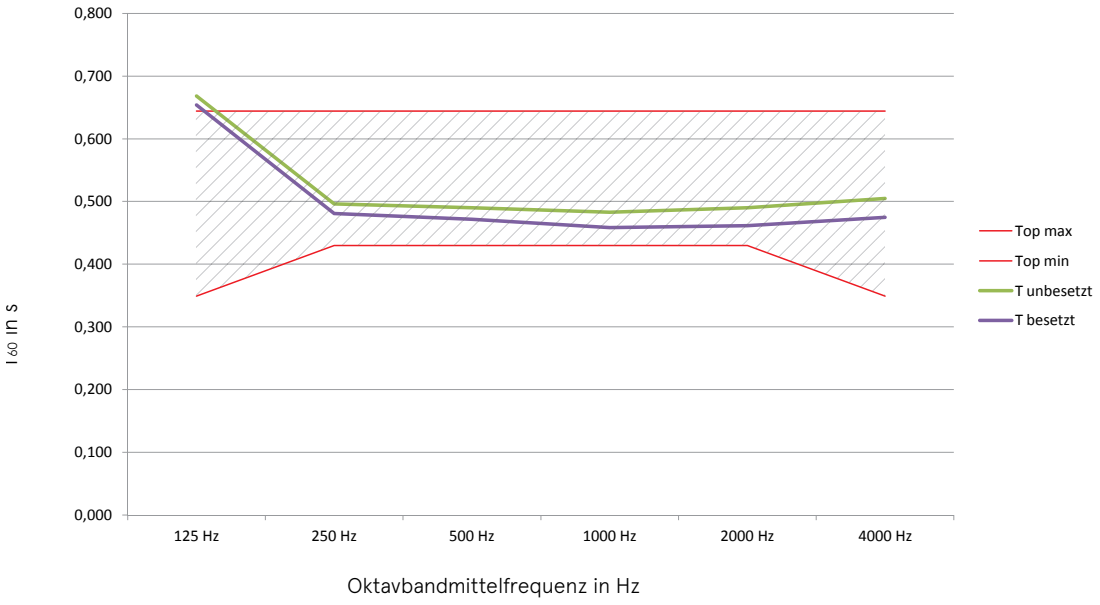


Abbildung 75 | Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen | 3.OG Neubau

Raumakustik
heute

Der Klassenraum 2B besitzt bei denselben Abmessungen wie Raum 3B, abgesehen von der Raumhöhe von 3,8m ein Volumen von gerundet 193 m³. Zudem bleiben auch die bauliche Beschaffenheit sowie die Einrichtung komplett unverändert. Auch hier konnte eine gute Raumakustik festgestellt werden, wie Abbildung 76 deutlich zeigt.

Oberflächen im Klassenraum	
Boden	Parkett
Wand	Backstein und Holzverschalung
Decke	Brandschutzdecke mit abgehängten Deckenleuchten
Fenster	Fensterband durchgehend bodenlange Vorhänge

Möblierung	
Tische	12
Stühle	12
Regale	3
Sofa	2
Tafel	1
Pinnwand	1

2OG Neubau

Raumlänge	6,9	m
Raumbreite	7,3	m
Raumhöhe	3,8	m
Raumfläche	50,37	m²
Raumvolumen	192,49	m³
Anzahl Schüler	12	

$T_{opt}^{Sprache}$	0,71 s	optimale Nachhallzeit Sprache
$T_{opt}^{Kommunikation}$	0,56 s	optimale Nachhallzeit Kommunikation

Äquivalente Absorptionsfläche eines Schülers

laut ÖNORM EN 12354-6

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,100	0,200	0,250	0,350	0,400	0,400

Messung und Berechnung

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Oktavbänder in der Raumakustik
$T_{op\ max}$	0,673	0,673	0,673	0,673	0,673	0,673	oberer Toleranzbereich
$T_{op\ min}$	0,365	0,449	0,449	0,449	0,449	0,365	unterer Toleranzbereich
$T_{unbesetzt}$	0,595	0,623	0,522	0,480	0,523	0,526	Mittelwert aus 6 Messungen
$T_{besetzt}$	0,586	0,603	0,504	0,459	0,495	0,498	Berechnung Zustand besetzt

Graphische Auswertung der Messergebnisse

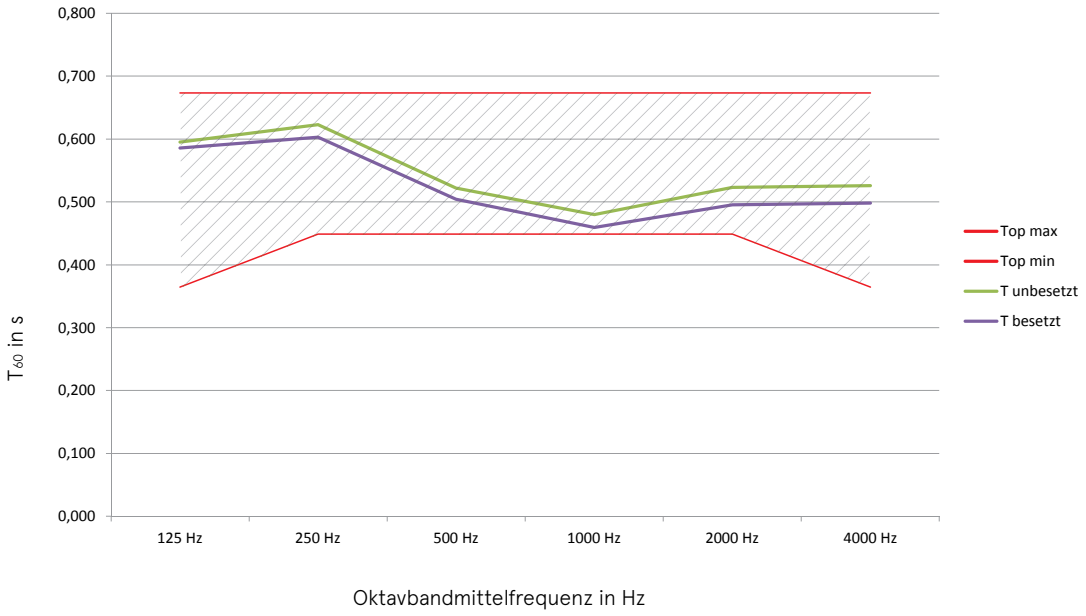
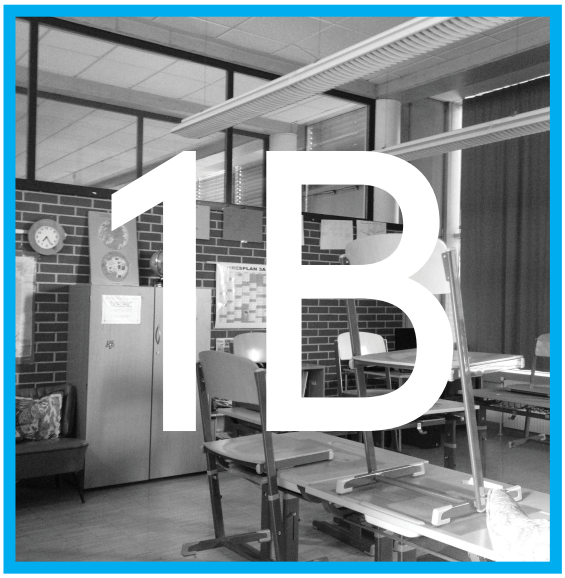


Abbildung 76 | Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen | 2.OG Neubau

Raumakustik
heute



Dieser Klassenraum misst ebenfalls wie der Raum 2B ein Volumen von rund 193 m³. Auch hier bleibt die bauliche Beschaffenheit unverändert. Die Einrichtung besteht hingegen aus mehr schallabsorbierenden Flächen als die übrigen beiden Klassenräume. Mit insgesamt 3 Sofas und einem 4 m² großen Teppich wird angenommen, dass besonders dadurch die Raumakustik im anzustrebenden Bereich liegt.

Oberflächen im Klassenraum	
Boden	Parkett
Wand	Backstein und Holzverschalung
Decke	Brandschutzdecke mit abgehängten Deckenleuchten
Fenster	Fensterband durchgehend bodenlange Vorhänge

Möblierung	
Tische	12
Stühle	12
Regale	3
Sofa	2
Teppich	1 (4m²)
Tafel	1
Pinnwand	1

1OG Neubau

Raumlänge	6,9	m
Raumbreite	7,3	m
Raumhöhe	3,8	m
Raumfläche	50,37	m²
Raumvolumen	192,49	m³
Anzahl Schüler	12	

$T_{opt}^{Sprache}$	0,71 s	optimale Nachhallzeit Sprache
$T_{opt}^{Kommunikation}$	0,56 s	optimale Nachhallzeit Kommunikation

Äquivalente Absorptionsfläche eines Schülers

laut ÖNORM EN 12354-6

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0,100	0,200	0,250	0,350	0,400	0,400

Messung und Berechnung

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Oktavbänder in der Raumakustik
$T_{op\ max}$	0,673	0,673	0,673	0,673	0,673	0,673	oberer Toleranzbereich
$T_{op\ min}$	0,365	0,449	0,449	0,449	0,449	0,365	unterer Toleranzbereich
T unbesetzt	0,523	0,553	0,478	0,483	0,555	0,528	Mittelwert aus 6 Messungen
T besetzt	0,515	0,537	0,463	0,462	0,524	0,499	Berechnung Zustand besetzt

Graphische Auswertung der Messergebnisse

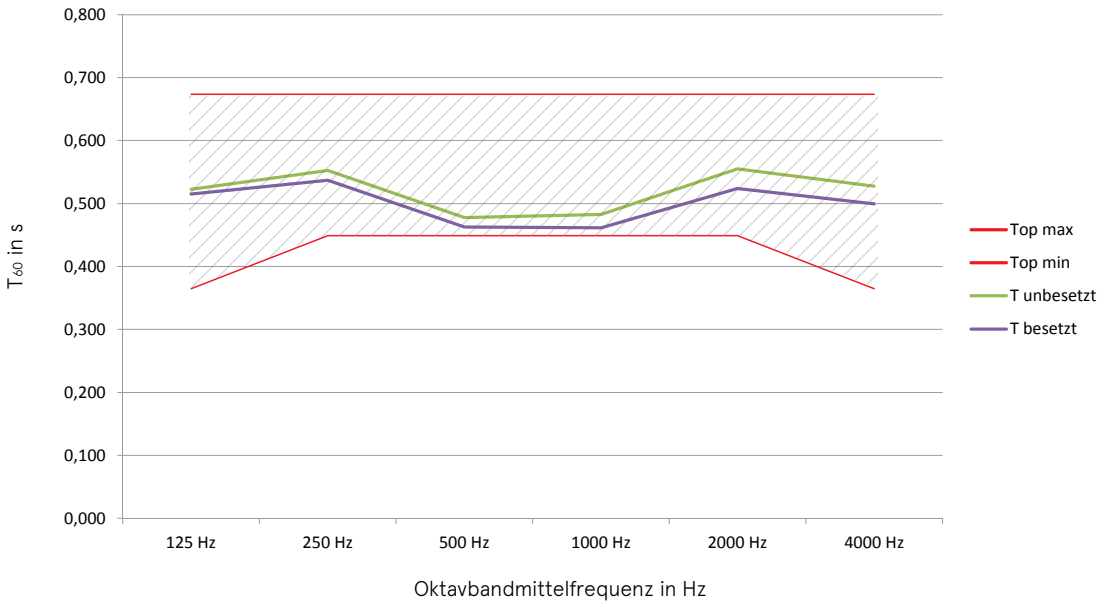


Abbildung 77 | Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen | 1.OG Neubau

Conclusio

Auch im Neubau haben die Messungen der Nachhallzeit die Ergebnisse der Umfrage über die raumakustischen Gegebenheiten (siehe Anhang A) bestätigt. Die Räume sind akustisch sehr gut ausgestattet und erfordern genauso wie die Klassen im Altbau keine akustischen Maßnahmen. Auch wenn von den Lehrern die restlichen bauphysikalischen Faktoren im Neubau, wie Belichtung und Belüftung stark, kritisiert wurden, wird aufgrund des in dieser Arbeit gelegten Fokus darauf nicht näher eingegangen.

Da sich jedoch im Zuge der Lehrerbefragung eine relativ hohe Unzufriedenheit in Hinblick auf die Akustik im Gangbereich des Altbaus herauskristallisiert hatte, werden im folgenden Abschnitt die durchgeführten Schallpegelmessungen in den Gängen des Alt- sowie des Neubaus vorgestellt.

ALT-
NEU

3.4.3 Ergebnisse und Analyse der Messungen in den Gangbereiche des Alt- und Neubaus

Da in den Gangbereichen des Alt- und Neubaus aufgrund der großen Raumvolumina Messungen der Nachhallzeit unter Zuhilfenahme der vorhandenen Messinstrumente nicht möglich waren, wurde im jeweils ersten Geschoss des Alt- und Neubaus über einen längeren Zeitraum der Schallpegel gemessen. Dies erfolgte ebenso wie die Messungen der Nachhallzeiten mit dem Schallanalysator Nor140.

Um einen ungefähren Richtwert für die maximal empfohlenen Schallpegel in Schulen zu erhalten, legte die Weltgesundheitsorganisation im Jahre 1999 mehrere Empfehlungswerte für diesen fest, welche noch bis heute gültig sind. In Hinblick auf die Raumakustik bzw. die Lärmausbreitung im Schulumfeld wurden bzw. werden folgende Schallpegelwerte empfohlen:[230]

Während für den Unterricht in Klassenräumen ein Mittelungspegel von 35 dB(A) als ideal angesehen wird, sind für den Pausenhof außerhalb des Gebäudes Werte bis zu 55 dB(A) zulässig.[231]

Um ein breites Spektrum an Werten zu erhalten, wurde kurz vor Schulbeginn mit den Aufzeichnungen begonnen und der Schallpegel bis zur großen Pause aufgenommen. In folgenden Diagrammen wurden sämtliche Werte zusammengefasst und gegenübergestellt.

230 Vgl. WHO- guidelines for community noise, 1999, S.48
231 Vgl. Tabelle WHO guidelines, 1999, S.47

UBAU

Schallpegelmessungen
im Gangbereich 1. Stock Altbau

Ganglänge	36,00m
Gangbreite	3,00m
Ganghöhe	3,60m
Volumen	389,00m³

Oberflächen der Verkehrsfläche

Boden	Natursteinplatten
Wand	verputzt
Decke	Brandschutzdecke mit integrierten Deckenleuchten

Möblierung

Sitzbank 1

Graphische Auswertung der Messergebnisse

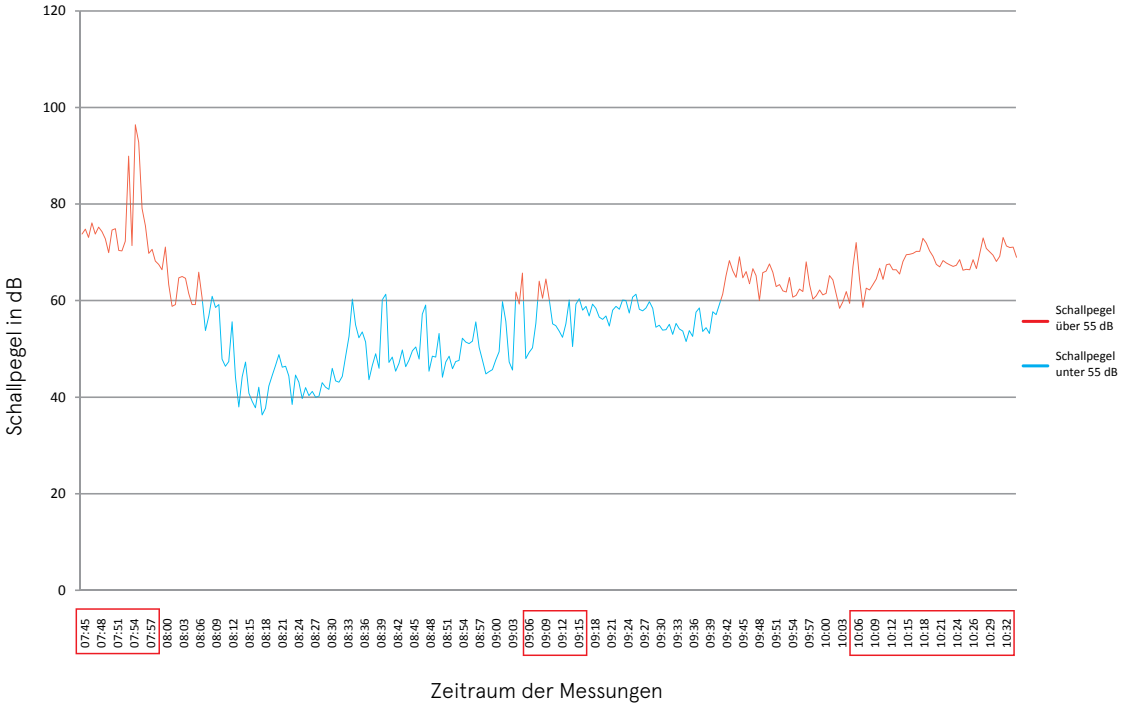


Abbildung 78 | Schallpegelmessungen | 1. OG Gangbereich Altbau

Schallpegelmessungen im Gang 1.OG Altbau

Der Gang im Altbau wird großteils als zusätzlicher Aufenthaltsraum von den Volksschülern genutzt. Besonders beliebt ist dieser Bereich für Gruppenarbeiten oder ähnliche freie Unterrichtsformen, die in den Klassenräumen aufgrund der dichten Möblierung nicht möglich sind.
In Abbildung 30 wird die Schallpegelkurve von Beginn der Messungen um 7:45 Uhr bis zum Ende der großen Pause um 10:30 Uhr in zwei verschiedenen Farben dargestellt. Die blaue Kurve kennzeichnet jenen Bereich, der unter 60 dB(A) liegt. Um die Werte, mit denen der WHO zu vergleichen, wurde aus sämtlichen gemessenen Teilpegeln der Mittelungspegel[232] errechnet:

Für n Messpositionen mit den Schalldruckpegeln L_1, L_2, ...L_n gilt:

$$L_m = 10 * \log (1/n [10^{0,1*L1} + 10^{0,1*L2} + ...10\ 10^{0,1*Ln}])$$

$$L_m = 10 * \log 1/n \Sigma\ 10\ L_i/10$$

L_i	i-ter Schalldruckpegel in dB
n	Anzahl der Messungen
L_m	mittlerer Schalldruckpegel in dB

Während der Unterrichtsstunden wurde ein Mittelungspegel von ungefähr 54 dB (A) im unbesetzten Gang gemessen, der im vorgegeben Bereich der WHO liegt. In den Pausen hingegen wurde ein Mittelungspegel von rund 84 dB(A) errechnet, welcher weit über der Grenze liegt. Das Ergebnis der Umfrage und die daraus resultierende Unzufriedenheit der Lehrer mit der Akustik im Gang konnte somit rechnerisch bestätigt werden. Akustisch notwendige Maßnahmen, die in diesem Falle getroffen werden können, sind im Kapitel 4 dargestellt.

232 Mittelungspegel= ergibt sich aus der über einen gewissen Zeitraum gemittelten Schallenergie, welche einem energie-äquivalenten Dauerschallpegel entspricht

Schallpegelmessungen
im Gangbereich 1. Stock Neubau

Ganglänge	18,57m
Gangbreite	3,68m
Ganghöhe	3,86m
Volumen	263,75m³

Oberflächen der Verkehrsfläche

Boden	Natursteinplatten
Wand	Backstein
Decke	Brandschutzdecke mit integrierten Deckenleuchten
Fenster	Oberlichten zu Klassenräumen und teilweise zum Innenhof

Möblierung

Sitzbank	1

Graphische Auswertung der Messergebnisse

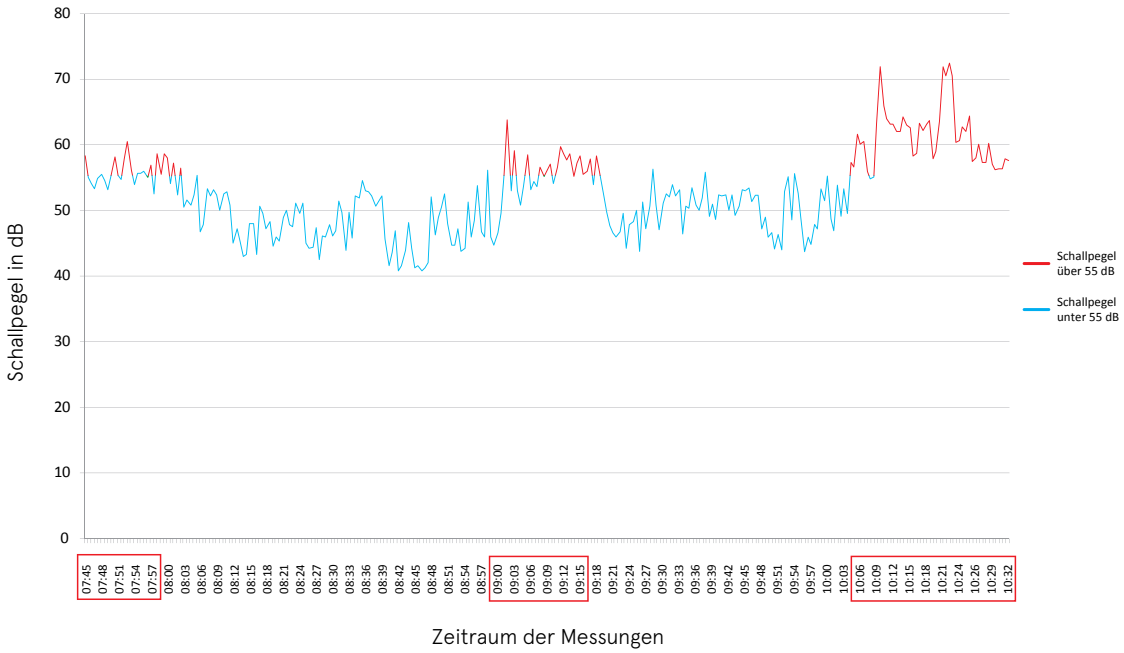


Abbildung 79 | Schallpegelmessung | 1.OG Gangbereich Neubau

Schallpegelmessungen im Gang 1.OG Neubau

Der Gangbereich im Neubau wird ebenfalls wie im Altbau auch teilweise als zusätzlicher Unterrichtsraum verwendet. Im Gegensatz zu den Ergebnissen dort wurde hier während der Unterrichtsstunden, also im leeren Gangbereich, ein Mittelungspegel von 48 dB(A) errechnet, was eindeutig im vorgeschriebenen Bereich liegt. Nur in den Pausen, sozusagen bei vollem Betrieb, lag der Mittelungspegel bei 63 dB(A), also nur leicht über der 55 dB(A) Grenze. In diesem Falle wird von etwaigen Maßnahmen jedoch abgesehen, da der Wert nur geringfügig die vorgesehene Grenze überschreitet und von den Lehrern selbst ebenfalls keine alarmierenden Aussagen dazu getätigt wurden.

Conclusio

Aufgrund der Schallpegelmessungen und Erhebungen der Mittelungspegel konnte festgestellt werden, dass der Gangbereich des Altbaus nicht die vorgeschriebenen akustischen Bedingungen erfüllt. Aus diesem Grund werden im nächsten Kapitel allgemeine Maßnahmen zur Verbesserung der Akustik vorgestellt und im Anschluss daran auf das konkrete Beispiel der Zinckgasse angewandt.
Abschließend dazu werden innovative und wegweisende Schulbauten angeführt, die nach einem besonderen akustischen Konzept geplant und errichtet wurden.

4

MASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG

VORSCHLÄGE UND BEISPIELE

DIE ABSORPTION DES SCHALLS

Schallabsorberarten
Positionierung von Schallabsorbern
Hutter Acustix als führendes Unternehmen

MAßNAHMEN IM GANGBEREICH DES ALTBAUS DES ÜSPZ

MIT GUTEM BEISPIEL VORAN

Volksschule in Mönichwald
Volksschule in Erding

4.1 Die Absorption des Schalls

Wird an einer Schule der Lärm als große Belastung angesehen, kann dem heutzutage auf verschiedenen Wegen entgegengewirkt werden. Beginnend mit dem allgemeinen bewussten Wahrnehmen des Lärms, soll die Lärmbelastung in der Schule zum Thema gemacht werden. Neben Schülern und Lehrern sollen auch die Eltern mit einbezogen werden. Dieses Bewusstsein kann bereits eine leichte Verbesserung der Lärmsituation bewirken.
Selbstverständlich werden bei einer auffallend schlechten Raumakustik zusätzliche bauliche Maßnahmen notwendig.
Der letzte Abschnitt dieser Diplomarbeit soll genau diese Maßnahmen zur Verbesserung der Akustik in Schulen erläutern und am Beispiel des Altbaus des ÜSPZ aufzeigen.
Als Abschluss dieses Kapitels werden innovative Schulbauten vorgestellt, in welchen das Zusammenspiel der verschiedenen bauphysikalischen Komponenten, wie die einer thermischen und visuellen Behaglichkeit, einer guten Luftqualität und nicht zuletzt einer guten Bau- und Raumakustik, reibungslos gelingt.

4.1.1 Schallabsorberarten

Als Verbesserungsmaßnahme der akustischen Gegebenheit von Räumen stehen dem Architekten und dem Akustiker hauptsächlich der Einsatz von Schallabsorbern zur Verfügung. Neben den porösen Absorbern, die vor allem bei hohen Frequenzen einen großen Absorptionsgrad besitzen, erfüllen bei tiefen Frequenzen sogenannte Resonanzabsorber dieselbe Aufgabe. Eine dritte Art von Absorbern, eine Kombination aus den beiden ersten Maßnahmen, werden Kombinierte Absorber oder Lochplattenschwinger genannt. Im folgenden Abschnitt werden diese drei Absorberarten genauer erklärt bevor auf deren ideale Positionierung im Raum eingegangen wird.

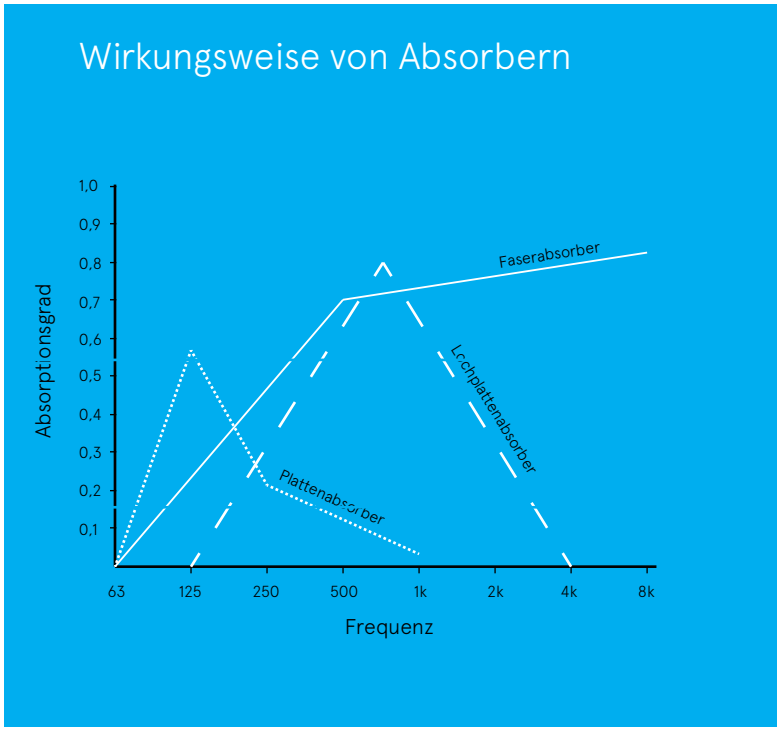


Abbildung 80 | Frequenzbereiche der drei Absorberarten

Poröse Absorber- Faserabsorber

Bei porösen Absorbern wird die Schallenergie aufgrund der Reibungsverluste des Luftstroms in den Poren des Materials in Wärme umgewandelt. Besonders bei hohen Frequenzen bzw. bei hohen Tönen besitzt diese Art von Absorbern einen hohen Absorptionsgrad, der mit der Dicke des Materials zusätzlich steigt.[233] Aufgrund der äußerst geringen Energie einer Schallwelle tritt trotz Umwandlung der Schallenergie in Wärme keine mess- oder fühlbare Erwärmung des jeweiligen Materials auf.
Meist bestehen poröse Absorber aus offenporigen oder faserigen Materialien wie Schaumstoff oder Wolle, durch die jede einzelne Schallwelle eindringen kann. Werden hingegen offenporige Akustikdecken mit einer geschlossenen Farbschicht gestrichen, kommt es zu einem Verschluss der Poren und die absorbierende Wirkung wird stark herabgesetzt. Neben der Eigenschaft der Porösität ist der Strömungswiderstand eine wichtige Kenngröße zur Beschreibung eines solchen Absorbers. Dieser beschreibt jenen Wert, der den Luftwiderstand eines Materials bei einer Durchströmung angibt und der je nach Materialstärke variiert. Dennoch können keine idealen Werte für die Porosität und den längenspezifischen Strömungswiderstand definiert werden, da die Schallabsorption eines porösen Absorbers immer von beiden Faktoren sowie der Materialstärke abhängt und aufgrund dessen definiert wird. So kann beispielsweise eine Platte bei gleichbleibender Porosität, mit einer großen Materialstärke und einem geringen Strömungswiderstand gleiche Absorptionsgrade aufweisen wie eine Platte mit einer kleinen Materialstärke und einem hohen Strömungswiderstand.[234]

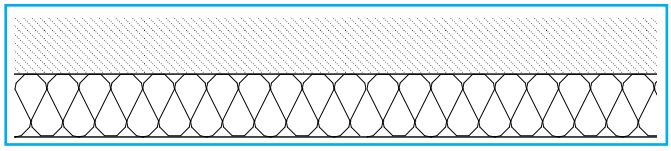


Abbildung 81 | Poröse Absorber

233 Vgl. RICCABONA, BEDNAR: Baukonstruktionslehre 4...,S.118
234 Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag- Hören- Planen- Verstehen, 2014, S.59-60

Resonanzabsorber - Plattenabsorber

Die Resonanzabsorber, auch Plattenabsorber genannt, entziehen dem Schall im Bereich ihrer Resonanzfrequenz durch Reibungsverluste Energie. Dabei wandeln eine biegeweiche Schale und der darunterliegende Luftraum die Schallenergie in Bewegungsenergie um. Diese Absorber sind im Gegensatz zu den porösen Absorbern für niedrige Frequenzen geeignet, da sie nur in diesen Bereichen einen hohen Absorptionsgrad erreichen können. Der höchste Absorptionsgrad wird dann erreicht, wenn die Eigenfrequenz des Systems erreicht wird.[235]

Häufig sind die Gruppe der Resonanzabsorber in dünnen, schwingfähigen Platten ausgebildet und besitzen ein darunterliegendes abgeschlossenes Luftvolumen. Der auftreffende Schall bringt die Platte zum Schwingen, welche durch das Luftvolumen gedämpft wird. Beispiele für solche Platten wären dünne Sperrholzplatten, Spanplatten, Metallplatten, Gipskartonplatten oder auch Glasscheiben oder biegesteife Membrane.[236]

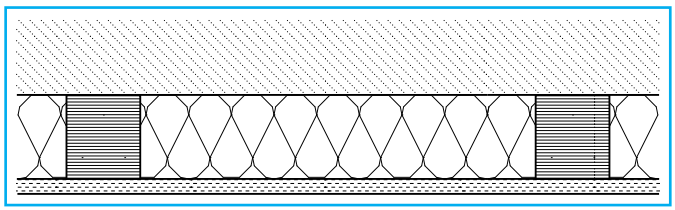


Abbildung 82 | Resonanzabsorber

235 Vgl. RICCABONA, BEDNAR: Baukonstruktionslehre 4...,S.118
236 Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag...,S.62

Kombinierte Absorber- Lochplattenschwinger

Die dritte Art der Absorber, eine Kombination aus den ersten beiden, werden „Kombinierte Absorber" oder auch „Lochplattenschwinger" genannt. Sie absorbieren den Schall vor allem im mittleren Frequenzbereich. Ein Beispiel für eine solche Kombination wäre ein poröser Absorber, der von einer mit Löchern versehenen biegeweichen Platte wie beispielsweise ein Blech oder mittels Gipskarton abgedeckt wird.
Häufig werden abgehängte Decken mit Lochplatten oder Platten mit Schlitzen versehen, um einerseits die Installationsebene unsichtbar zu machen und um zudem eine schallabsorbierende Wirkung der Decke bzw. der Platte zu erzielen.[237]

Der Grad der Absorption hängt außer von der Biegesteifigkeit von der Befestigungshöhe der Platte, von der Ausprägung der Perforation, sprich dem Lochbild, ab, welches mindestens 16% der gesamten Plattenfläche betragen sollte.[238]

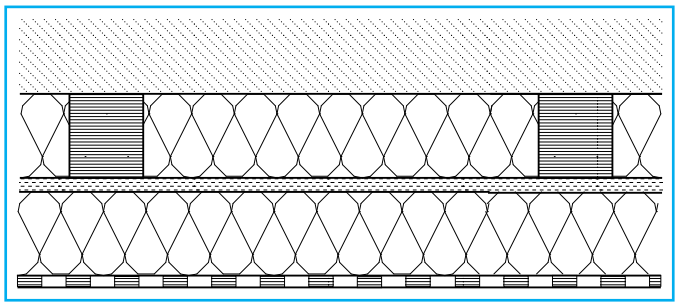


Abbildung 83 | Kombinierte Absorber

237 Vgl. RICCABONA, BEDNAR: Baukonstruktionslehre 4...,S.119
238 Vgl. Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag...,S.62

4.1.2 Positionierung von Schallabsorbern

Die Anbringung von Schallabsorbern muss nicht zwingend nur an der Decke, sondern kann genauso an Wänden oder sogar mittels Integration in Einrichtungsgegenständen erfolgen. Folgende Abbildung soll die im vorigen Kapitel vorgestellten günstigen, aber auch ungünstigen Anbringungsmöglichkeiten von Absorberplatten kurz wiederholen.

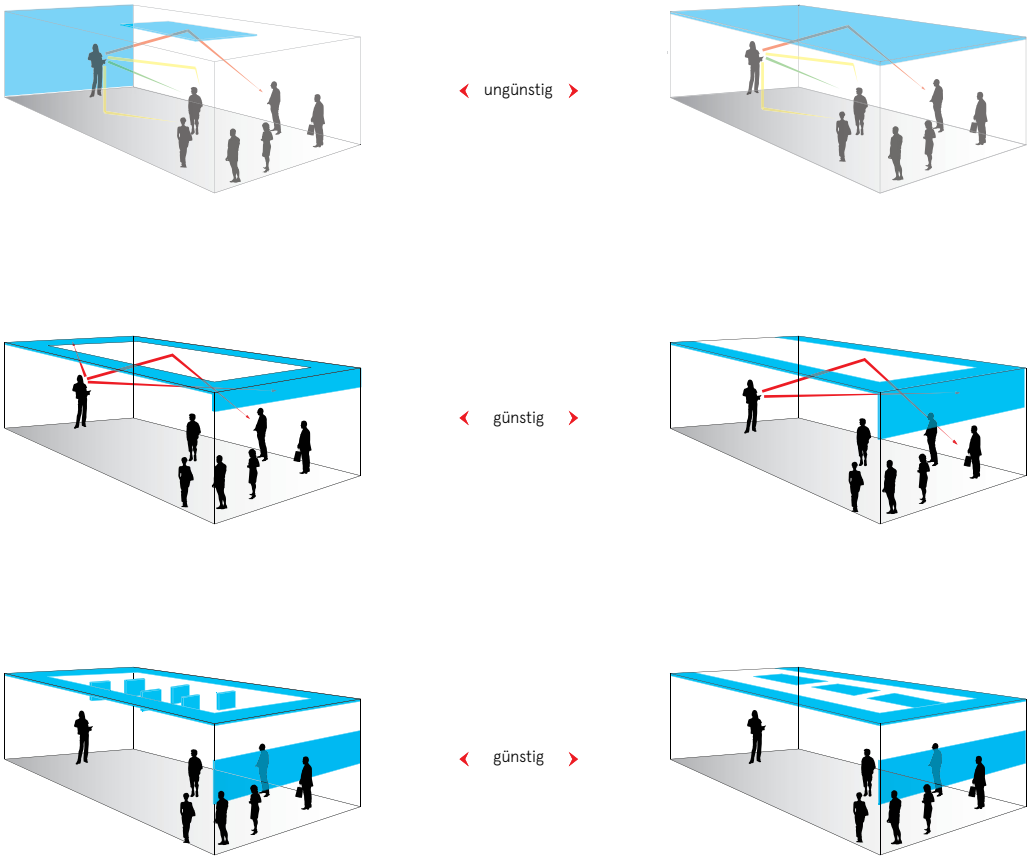


Abbildung 84 | Anbringung der Absorber

Im Zuge der Anbringung von Schallabsorbern ist eine möglichst gleichmäßige Verteilung anzustreben. Da sich der Schall stets in alle Raumrichtungen, also dreidimensional ausbreitet, sollten die Flächen in mindestens zwei, vorzugsweise in alle drei Raumrichtungen mit Schallabsorbern versehen werden.
In den ersten beiden Räumen der Abbildung 74 wurde neben einem kleinen Teil bzw. einer ganzflächigen Verkleidung der Decke auch die Wandfläche hinter dem Sprecher schallabsorbierend ausgebildet. Dies stellt in beiden Fällen eine äußerst ungünstige Raumakustik dar, da es aufgrund der ungleichmäßigen Dämpfung der Raumrichtungen durch einzelne starke Reflexionen zu Flatterechos führen kann.[239]

Als besonders günstige Positionierung hingegen gilt die Anbringung von Absorberflächen an den Randbereichen der Decke sowie im oberen Bereich der hinteren Wandfläche in Räumen. Ebenso können im ausgesparten mittleren Deckenbereich abgehängte Absorber oder eine Art Deckensegel angebracht werden. Dadurch werden eine gleichmäßige Dämpfung in alle Raumrichtungen gewährt, Flatterechos vermieden und die Raumakustik bzw. die Nachhallzeiten deutlich verbessert.[240]

239 Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag...,S.121-122
240 Vgl. NOCKE: Raumakustik im Alltag...,S.121-122

4.1.3 Hutter Acustix als führendes Unternehmen

Eines der führenden Unternehmen im Bereich der Bau- und Raumakustik in Österreich ist die Firma „Hutter Acustix". Der Schwerpunkt des Familienunternehmens mit Hauptsitz in Birkfeld (Steiermark) liegt nicht nur in einer optimalen Akustik, sondern auch in einem hohen optischen Anspruch. Neben akustischen Berechnungen, der optischen und bautechnischen Planung, bis hin zur Fertigung und Montage vor Ort, übernimmt „Hutter Acustix" das gesamte akustische Leistungsspektrum.[241]

Durch die Entdeckung des sogenannten Faser- Resonanzeffekts gelang es der Firma Hutter Acustix, neben den vorhin angeführten herkömmlichen Absorbertypen, einen Hochleistungsabsorber zu entwickeln, der sämtliche Vorteile der einzelnen Arten vereint.[242]

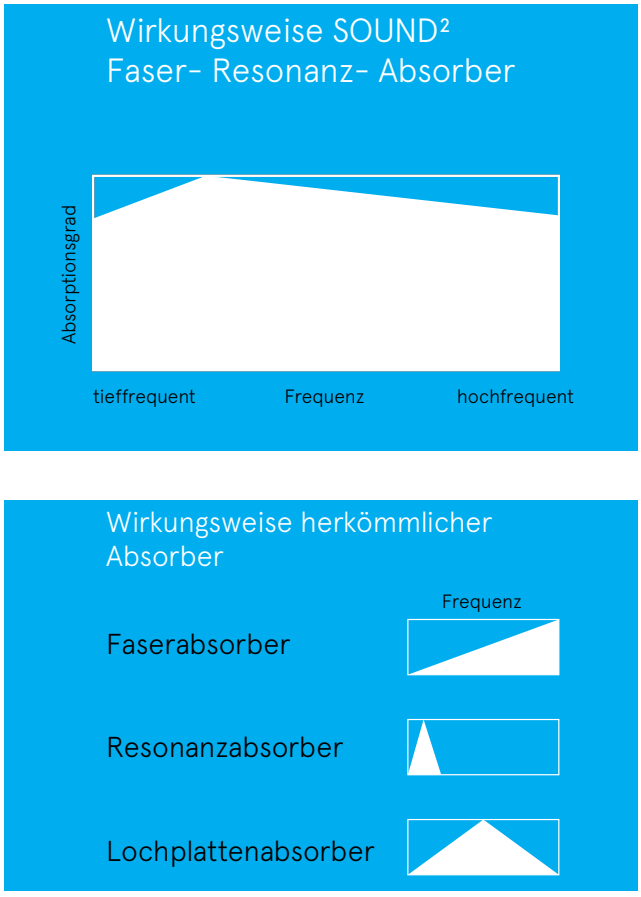


Abbildung 85 | Zusammenfassung der Vorteile einzelner Absorbertypen

241 Vgl. http://www.hutter.co.at/unternehmen/philosophie, Zugriff am 21.07.2015
242 Vgl. http://www.hutter.co.at/sound/funktion, Zugriff am 21.07.2015

Dieses „SOUND² - System" ermöglicht über den gesamten hörbaren Frequenzbereich außergewöhnlich hohe Absorptionsgrade, wie von Seiten der Technischen Universität anhand von insgesamt vier Schallabsorptionselementen getestet wurde. Zudem stellt dieses innovative Sound-System große Vorteile für Sprache und Musik dar und bietet einfache Sanierungs- und Optimierungsmöglichkeiten der Raumakustik bei geringem Flächenbedarf.[243]

Besonderes Hauptaugenmerk legt das Unternehmen auf die Verbesserung der Raumakustik in Schulen, wie in nachfolgenden Bildern zu sehen ist.

Klassenzimmer

Das Klassenzimmer von ca. 11 x 6 x 3 m wurde mit dem System „Sound Optimizer" akustisch saniert. Durch den Einsatz von insgesamt 12 Absorberelementen im Randbereich der Decke sowie im oberen hinteren Stirnwandbereich wurde eine optimale Raumakustik erreicht. Zudem wurde der Schulbetrieb und der Unterricht aufgrund der schnellen Montagemöglichkeit nicht gestört.[244]

Abbildung 86 | Klassenraum Hutter Acustix

Abbildung 87 | Akustikpaneele

243 Vgl. http://www.hutter.co.at/sound/funktion/faser-resonanzabsorber, Zugriff am 21.07.2015
244 Vgl. http://www.hutter.co.at/unternehmen/projekt-klassenzimmer, Zugriff am 21.07.2015

Turnsaal

Da Schüler und Lehrer häufig nach dem Sportunterricht auch bei geringer körperlicher Betätigung über extreme Müdigkeit klagen, kann dies auf einen in Turnsälen häufig vorhandenen hohen Lärmpegel zurückgeführt werden. Im Falle dieser Turnhalle wurde das „SOUND² - System" verwendet, da aufgrund der hohen Stabilität dieser Absorber keine zusätzlichen Schutzvorkehrungen des Systems notwendig sind.[245] Durch die verschiedenartigen Einstellungswinkel der Platten erfolgt eine selektive Schalllenkung, die für eine optimale Raumakustik besonders wichtig ist.

Abbildung 88 | Turnhalle

Abbildung 89 | Turnhalle

 245 Vgl. http://www.hutter.co.at/unternehmen/projekt-turnsaal, Zugriff am 21.07.2015

4.2 Maßnahmen im Gangbereich des Altbaus des ÜSPZ

Aufgrund der beunruhigenden Ergebnisse der Schallpegelmessungen im Gangbereich des Altbaus, sollen an dieser Stelle kostengünstige und rasch durchführbare Lösungsvorschläge zur Verbesserung der Raumakustik gebracht werden. Da es sich in diesem Falle um eine Volksschule handelt, sollten die akustischen Maßnahmen nicht nur einen technischen Vorteil aufweisen, sondern ebenso einen praktischen Nutzen mitsichbringen.

Um eine maximale schalltechnische Wirkung der Brandschutzdecke im Gangbereich zu erreichen, kann in erster Linie eine Erneuerung dieser Decken angedacht werden. Dies kann mithilfe von verschiedenfarbigen akustischen Platten der bereits vorgestellten Firma *Hutter Acustix,* die zusätzlich gute brandschutztechnische Eigenschaften mitsich bringen, erfolgen. Die Platten können auch je nach Bedarf unterschiedlich geneigt werden und so eine bessere Verteilung bzw. Reflexion des Schalls gewähren.
In Anlehnung an die akustischen Sanierungsmaßnahmen einer Schule in Potsdam aus dem Jahr 2012, kann als zweiter Eingriff angedacht werden, die durchaus veralteten und auch von den Schülern als sehr ungemütlich beurteilten Sitzbänke im Gangbereich mit neuen Sitzgelegenheiten auszutauschen. An dieser Stelle soll gezeigt werden, dass raumakustische Interventionen nicht ausschließlich über die klassische Deckenverkleidung geschehen muss, sondern auch durchwegs mit weiteren Funktionen gekoppelt werden kann. Wie in Abbildung 90 dargestellt wird, können die neu angedachten Sitzgelegenheiten beliebig verstellt werden und können aufgrund ihrer asymmetrischen Form unterschiedliche Sitzgruppen entstehen lassen.

Als ebenfalls kostengünstige und rasch durchführbare dritte Maßnahme, kann die Anbringung von akustischen Platten an den Wänden des Gangbereichs dienen. Die auf unterschiedlicher Höhe montierten Paneele erfüllen gleichzeitig eine pinnartähnliche Funktion und können sowohl von den Schülern als auch von den Lehrern genutzt werden.

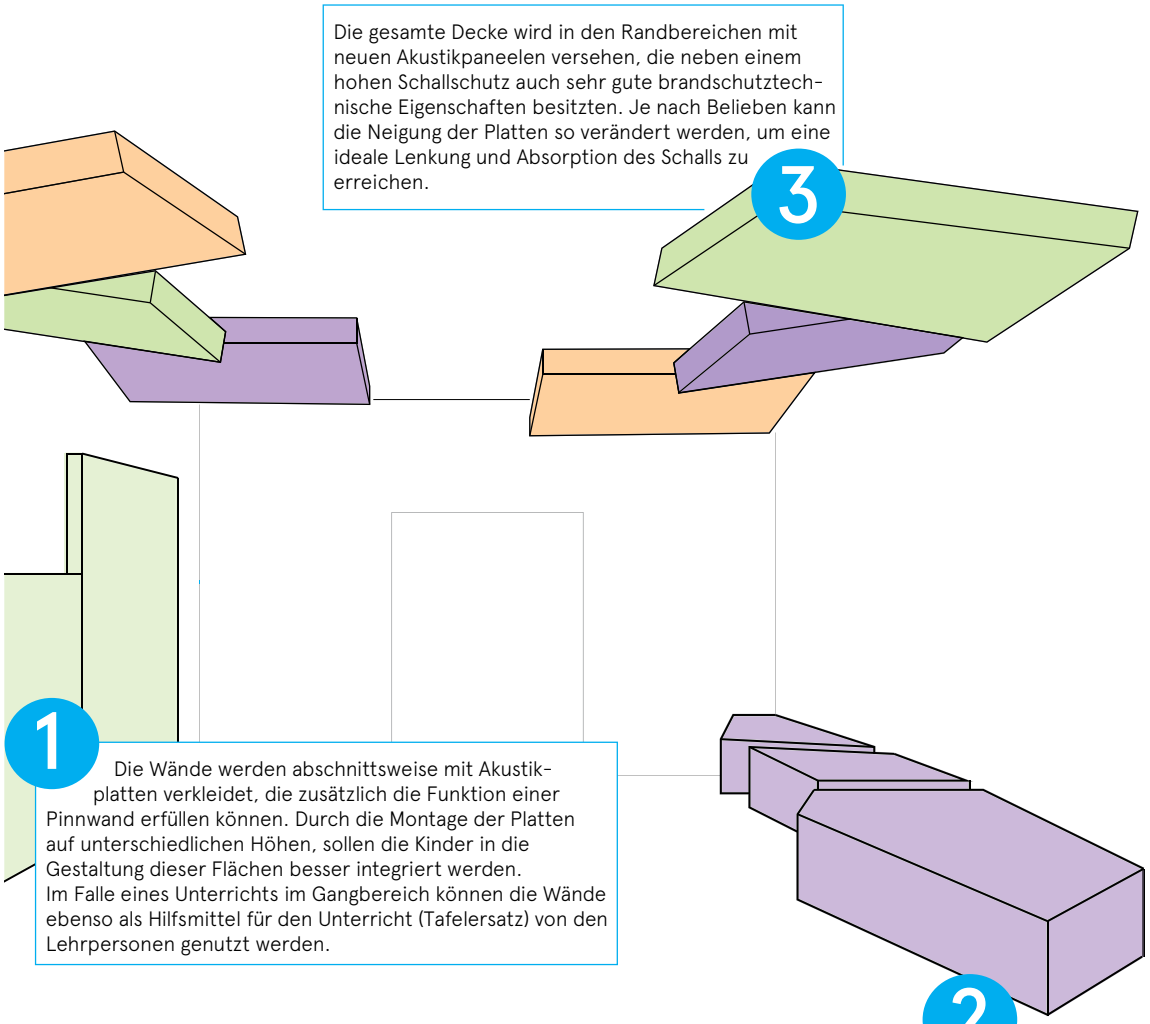


Abbildung 90 | Massnahmen zur Verbesserung der Raumakustik im Gangbereich

Diese kurz erwähnten Maßnahmen zur Verbesserung der akustischen Bedingungen sollen nur als Vorschläge gesehen werden und wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht weiter ausgeführt bzw. ergänzt.
Im nächsten Abschnitt sollen weitere Möglichkeiten zu akustischen Maßnahmen dargestellt und anhand von zwei Schulbeispielen vorgestellt werden.

4.3 Mit gutem Beispiel voran

Macht man sich auf die Suche nach Schulen mit einem besonderen akustischen Konzept, wird schnell klar, dass die Akustik nach wie vor vernachlässigt wird. Ein gutes Belüftungs- und Belichtungskonzept sowie thermische Behaglichkeit im Inneren der Räume wird viel eher angestrebt als eine gute Raumakustik. Hinzu kommt der Wunsch nach einer möglichst verkehrsgünstigen Anbindung vom Wohnort der Kinder und der Schule selbst. Umso wichtiger wird dadurch der Schutz vor enormen Schallemissionen, die durch straßennahe Bebauung oft zum Problem werden.

Im folgenden Kapitel sollen zwei Schulen vorgestellt werden, die zumindest ansatzweise das Streben nach guten akustischen Bedingungen sowohl im Außenbereich als auch im Gebäudeinneren verfolgen.

4.3.1 Volksschule Mönichwald

Bauherr	Gemeinde Mönichwald Orts-und Infrastrukturentwicklungs KG
Architekturbüro	DREIPLUS - DI Thomas Heil
Akustik	Hutter Acustix
Baujahr	Neubau 2009
Ort	Mönichwald

Die Volksschule in Mönichwald (Österreich) wurde vom Architekturbüro DREIPLUS im Jahre 2009 geplant. Für die akustischen Maßnahmen wurde eigens die österreichische Firma „Hutter Acustix" beauftragt, die sich neben akustischen Messungen auch im Planungsprozess von Universitäts- und Bürogebäuden, Konzertsälen und Schulen akustischer Raumkonzepte annimmt.[246]
Die Schule, welche im Süden an eine Landesstraße grenzt, ist ein gutes Beispiel dafür, wie mit der Schallemission von außen umgegangen werden kann.

Der teilweise dreigeschossige Baukörper fügt sich in die gewachsene Ortsstruktur ein, indem eine vorhandene Gebäudekante aufgenommen wird und somit den Zugang auf zwei verschiedenen Ebenen ermöglicht.[247]

246 Vgl. http://www.hutter.co.at/unternehmen/projekte, Zugriff am 21.04.2015
247 Vgl. http://dreiplus.at/projekte/volksschule-moenichwald/ Zugriff am 20.07.2015

Abbildung 91 | Volksschule Mönichwald DREIPLUS ARCHITEKTEN 2009

Abbildung 92 | Volksschule Mönichwald DREIPLUS ARCHITEKTEN 2009

Der Klassentrakt und der Turnsaal, stehen im rechten Winkel zueinander und bilden mit den umliegenden bestehenden Gebäuden einen Platz. Überdacht wird dieser vom darüber liegenden auskragenden Obergeschoss.[248] Hier kann eine Art Abschirmung der Begegnungsfläche von der Straßenseite beobachtet werden.

248 Vgl. http://www.nextroom.at/building.php?id=34085&inc=home, Zugriff am 21.04.2015

Akustisches Konzept

Die gesamte akustische Berechnung und Planung wurde von der österreichischen Firma „Hutter Acustix" übernommen. Der Lärm wird straßenseitig von der harten Betonfassade abgefangen, während die Innenräume des Schulgebäudes mittels heimischem Tannenholz verkleidet wurden und für ein angenehmes Raumklima sorgen. Die verwendeten Massivholzplatten ermöglichen eine selektive Schalllenkung, die zu optimalen akustischen und ergonomischen Raumbedingungen Wesentliches beitragen. Die Möblierung selbst wurde teilweise in derselben Materialität ausgeführt und dient ebenfalls der Schallreduktion in den Unterrichtsräumen.[249]

Abbildung 93 | Volksschule Mönichwald DREIPLUS ARCHITEKTEN 2009

Abbildung 94 | Volksschule Mönichwald Turnhalle DREIPLUS ARCHITEKTEN 2009

249 Vgl. http://www.hutter.co.at/projekt-vs-moenichwald, Zugriff am 21.07.2015

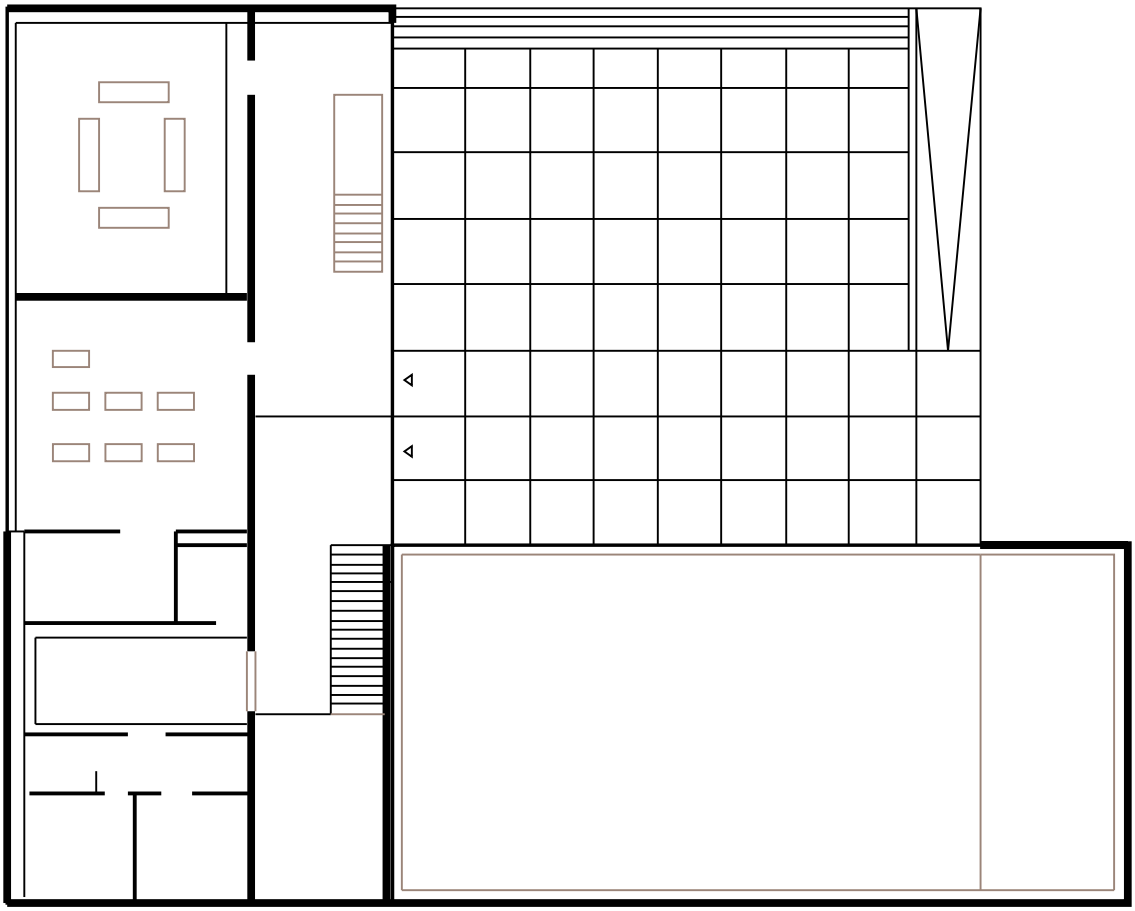


Abbildung 95 | Volksschule Mönichwald Turnhalle DREIPLUS ARCHITEKTEN 2009

4.3.2 Volksschule Erding

Bauherr	Stadt Erding
Architekten	Dinkel Persch | Wollmann & Mang
Akustik	Müller- BBM
Baujahr	Neubau 2005
Ort	Erding (Deutschland)

Auch die Volksschule in Erding (Bayern) ist ein gutes Beispiel dafür, wie mit einem Bauplatz für eine Schule in einer verkehrslauten Straße umgegangen werden kann. Mit dem akustischen Konzept wurde die deutsche Firma „Müller-BBM" beauftragt, welche wie „Hutter Acustix" sich mit akustischen Messungen und der Planung in allen Bereichen der Akustik beschäftigt.

Die von den Architekten Dinkel Persch und Wollmann & Mang geplante Volksschule liegt, wie bereits erwähnt, in unmittelbarer Nähe einer verkehrslauten Straße, weshalb besondere Schallschutzmaßnahmen ergriffen werden mussten.[250] Der als zentrale Begegnungsfläche konzipierte Pausenhof[251] wird schallakustisch vom umschließenden Schulgebäude selbst und der Turnhalle vom Außenlärm abgeschirmt. Dies erfüllt zusätzlich den Schutz der benachbarten Wohnbebauung vor Schallemissionen der Freiflächen der Schule.[252]

Abbildung 96 | Volksschule Erding Dinkel Persch | Wollmann & Mang 2005

250 Vgl. MOMMERTZ, MÜLLER: Akustik und Schallschutz, Detailhelft, 1. Auflage, 2008, S. 75
251 Vgl. http://www.wollmannundmang.de/grundschule-erding_t01.html, Zugriff am 21.04.2015
252 Vgl. MOMMERTZ, MÜLLER: Akustik und Schallschutz...,S. 75

Abbildung 97 | Volksschule Erding Dinkel Persch | Wollmann & Mang 2005

Lüftungs- und Belichtungskonzept

Eine natürliche Raumlüftung war aufgrund der stark befahrenen Verkehrsstraße nicht möglich, sodass schallgedämmte Nachströmöffnungen in der Fassade in Verbindung mit einer zentralen mechanischen Abluftabsaugung vorgesehen werden mussten. Jeder Klassenraum wird mit frischer Abluft versorgt, während die verbrauchte Raumluft über schallgedämmte Öffnungen in der Flurwand in den Sammelkanal gelangt. Im Anschluss daran wird die Luft von dort über das Dach abgeleitet.[253]

Was das Belichtungskonzept angeht, wurde die Größe der Fensterflächen auf eine gute Tagesbelichtung der Unterrichtsräume abgestimmt und zudem mit Lamellenraffstores als außenliegender Sonnenschutz versehen.[254]

253 Vgl. MOMMERTZ, MÜLLER Akustik und Schallschutz...,S. 76
254 Vgl. MOMMERTZ, MÜLLER Akustik und Schallschutz...,S. 76

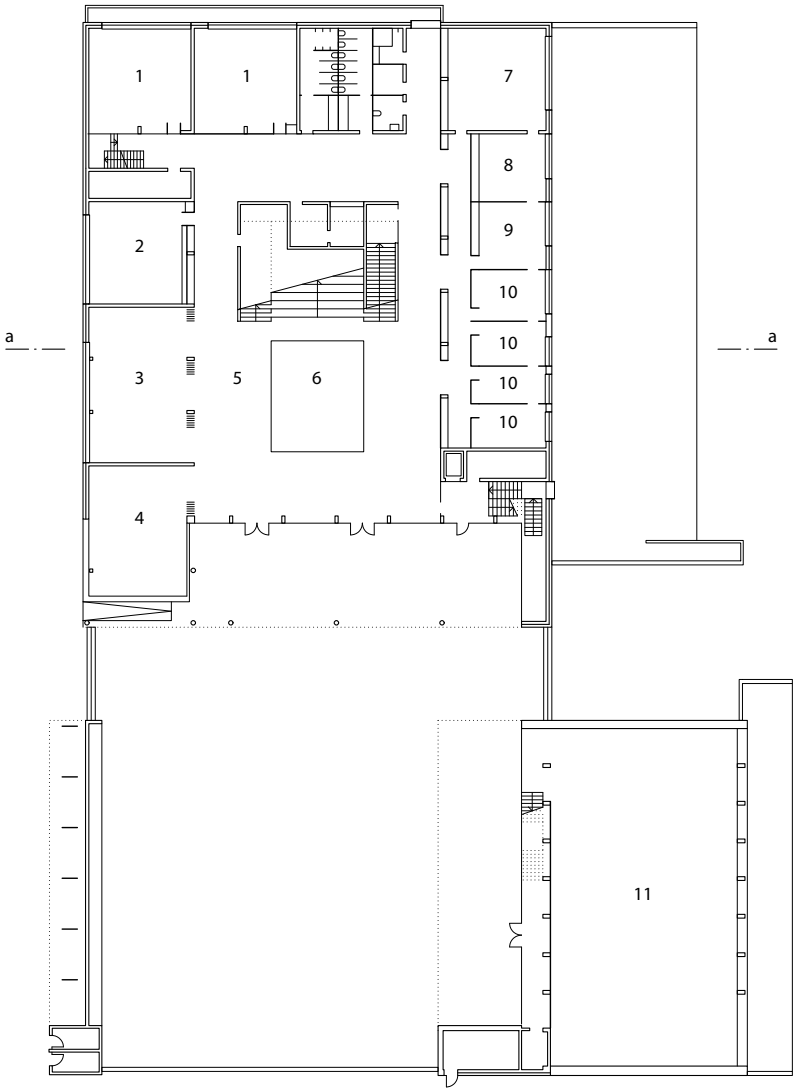
Akustisches Konzept

Neben dem sorgfältig durchdachten Lüftungskonzept wurde versucht, die Hauptproblematik des starken Verkehrslärms planerisch zu lösen. Sämtliche akustischen Details wurden von der bereits vorgestellten Firma Müller-BBM in München geplant und ausgeführt. Neben den Schallschutzfenstern wurde die gesamte Fassade als Schalldämpfer ausgebildet. Die Wärmedämmung dient neben thermischen Vorteilen auch der Schallabsorption.
Die in Sichtbeton ausgeführten Decken der Innenräume, wurden zur Dämpfung der sommerlichen Raumtemperaturen weitgehend unbekleidet belassen. Die notwendigen schallabsorbierenden Oberflächen wurden als umlaufender Deckenfries, wie unter 4.1.2 genauer beschrieben wurde ausgebildet. Die verwendeten Holzwolle-Akustikplatten wurden in den gesamten Klassenräumen sowie in allen Flurbereichen angebracht und können als zusätzliche Pinnwand verwendet werden. In der Turnhalle wechseln sich Stahlbetonunterzüge, Heizstrahlplatten und Holzwolle-Akustikplatten als schallabsorbierende Flächen ab. Die Prallwand im hinteren Bereich verhindert Flatterechos, da die dort eingebauten Holzleisten in Verbindung mit einer absorbierenden Hinterlegung verlegt wurden.[255]

Abbildung 98 | Volksschule Erding Dinkel Persch | Wollmann & Mang 2005

Abbildung 99 | Volksschule Erding Dinkel Persch | Wollmann & Mang 2005

255 Vgl. MOMMERTZ, MÜLLER Akustik und Schallschutz...,S. 76-77



Grundriss Erdgeschoss
Maßstab 1:600

1 Mittagsbetreuung
2 Klassenraum
3 Mehrzwecksaal
4 Musikraum
5 Aula
6 Sitzmulde
7 Lehrerzimmer
8 Silentium
9 Bibliothek
10 Verwaltungsräume
11 Turnhalle
12 Werkraum

Abbildung 100 Volkschule Erding Dinkel Persch | Wollmann & Mang 2005

SCHLUSS-BEMERKUNG

Die Akustik im Schulbau wird oft als eine der nicht „sichtbaren", sondern nur hörbaren Aspekte im Planungsprozess vernachlässigt. Dies kann jedoch, wie die vorliegende Diplomarbeit zeigt, nicht auf einen mangelhaften Wissensstand über die Auswirkungen einer schlechten Klassenraumakustik zurückgeführt werden.

Bereits durch das Inkrafttreten des Reichsvolksschulgesetztes von 1869 und dem damit verbundenen Schulzwang, der Geburtsstunde des öffentlichen Schulbaus, wurden erstmals genaue Angaben zu baulichen Anforderungen an ein Schulgebäude, wie der Belichtung, Belüftung und Beheizung, sowie dem Schallschutz gemacht. Der Aspekt der Akustik beschränkte sich zunächst jedoch, ohne auf raumakustische Faktoren einzugehen, nur auf die Bauakustik. Decken mit Sandauffüllung, Wände in doppelter Ausführung und dazwischenliegendem Luftraum und doppelte Türen, sollten zur Schallreduktion innerhalb eines Schulgebäudes beitragen.

Gezielte Versuche mit unterschiedlichen Werkstoffen wurden jedoch erst nach dem Ersten Weltkrieg, mit dem Aufkommen neuer Materialien durchgeführt. So wurde beispielsweise die anfänglich eingesetzte Holzbalkendecke in verschiedenen Versuchen der Massivdecke mit Linoleumoberfläche gegenübergestellt. Diese massiv ausgeführten Decken, wie beispielsweise die Rapiddecke, brachte neben einer besseren Schallisolierwirkung auch durchwegs bessere brandschutztechnische Eigenschaften mit sich. Die schalltechnische Ausführung von Wänden und Türen blieb im Gegensatz dazu unverändert und wurde lediglich angesichts einer genaueren Materialwahl konkretisiert.

In der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg kam es aufgrund einer starken Bevölkerungszunahme zu einem großen Bedarf an Schulen. Mit dem Aufkommen neuer pädagogischer und architektonischer Konzepte wurden etliche neue Bautypologien entwickelt, wie die der Freiluftschule, der Hallenschule und der Atriumschule. Die Schulen wurden nicht nach altem Vorbild, wie dem der Gangschulen aus der Gründerzeit gebaut, sondern verfolgten ein neues Prinzip. Eine ausreichende Belichtung und Belüftung, sowie eine möglichst ebenerdige Bauweise, um einen engeren Bezug zur Umgebung zu gewähren galten nun als die wichtigsten zu erfüllenden Kriterien. Akustisch gesehen kam es in dieser Zeit durch die Forderungen nach neuen Unterrichtsfächern erstmals zu Überlegungen einer genaueren Raumanordnung im Schulgebäude selbst. Sämtliche Räume wurden um eine Schallisolierung der Klassen gegen äußere Störungen, wie beispielsweise dem Verkehrslärm, in Ruhe- und Lärmzonen unterteilt. Erstere, wie Unterrichtsräume, wurden in ausreichender Entfernung von Turn- und Spielfeldern, sowie öffentlichen Straßen angelegt. Auch eine sinnvolle Anordnung der Räume innerhalb des Schulgebäudes wurde nach dem Schema der Ruhe- und Lärmzonen gefordert.
Im Bereich der Materialforschung kam es zur Erkenntnis, dass neben dem bereits erforschten Linoleum, sämtliche weiche Materialien gute schalltechnische Eigenschaften aufwiesen. Dies trug zu einer wesentlichen Verbesserung der Schallisolierung im Gebäudeinneren bei, da großteils die Fußböden mit harter Oberfläche durch solche

mit weicher Oberfläche ersetzt wurden. Eine weitere wichtige und noch heute fast ausnahmslos eingesetzte Methode zur Schallreduktion, war die Erkenntnis, neben dem Fußboden auch die Deckenunterseite durch gelochte oder geschlitzte Platten in u-förmiger Anordnung zu verkleiden. Durch die Verwendung und Anordnung dieser Abdeckungen konnte eine optimale Absorption sowie Reflexion des Schalls im Raum erreicht werden.

Ende der 50er Jahre wurde die wichtigste schalltechnische Kenngröße eingeführt, welche erstmals einen Richtwert für die akustischen Begebenheiten eines Raumes vorschlug, sowie einen Vergleich der Räume untereinander ermöglichte. Die Nachhallzeit, die auch im Zuge der in dieser Diplomarbeit durchgeführten Messungen in der Schule in der Zinckgasse gemessen wurde, gilt im physikalischen Sinne bis heute als bedeutendste Einheit zur Ermittlung der Raumakustik. Ob bereits in damaliger Zeit die Nachhallzeit gemessen, oder nur in theoretischer Form festgehalten wurde, konnte nicht ergründet werden. Aufgrund der mangelhaften Literatur in diesem Bereich wird jedoch angenommen, dass ein Einsatz akustischer Messungen erst später erfolgte.Als weiterer durchwegs wichtiger Fortschritt dieser Zeit, können sämtliche Forschungen in Hinblick auf die körperlichen Auswirkungen des Lärms auf Lehrer und Schüler selbst gesehen werden. Diese führten zum Ergebnis, dass gute Hörbedingungen in Klassenräumen für die geistige Entwicklung eines Kindes unbedingt erforderlich sind und ein hoher Grundgeräuschpegel zu Ermüdungserscheinungen und Nervosität bei Lehrern und Schülern führt. Als Hauptursache für einen erhöhten Grundgeräuschpegel kann der sogenannte „Lombard Effekt" angesehen werden, der vom gleichnamigen französischen Wissenschaftler Etienne Lombard bereits im Jahr 1911 definiert wurde. In einem Raum, in dem mehrere Personen gleichzeitig sprechen, steigt das Hintergrundrauschen aufgrund der allgemeinen Konversation. Grund dafür sind Schallwellen, die an den Wänden, der Decke oder auch an den Menschen selbst reflektiert werden. Erreicht das Hintergrundgeräusch dieselbe Lautstärke wie die vorherrschenden Gespräche, wird die Sprachverständlichkeit zusehends schlechter. Dies führt wiederum zu einer Erhebung der Stimmen der einzelnen Personen im Raum und der Grundgeräuschpegel steigt immer weiter.

Legt man den Fokus jedoch wieder auf die Entwicklungen im baulichen und bautypologischen Sinn im Schulbau, kann die Vorfabrikation und serienmäßige Herstellung von Bauteilen aus den 70er Jahren nicht außer Acht gelassen werden. Dieses preiswerte und rasch realisierbare Bausystem versprach neben einer hohen Flexibilität auch eine große Planungsfreiheit für den Architekten selbst. Am Beispiel der Volksschule in Wörgl von Viktor Hufnagl aus dem Jahr 1973 können neben der Bauweise der Vorfabrikation, auch neue bautypologische Ansätze erkannt werden. Mehrere Schultypen wurden zu einem sogenannten Schulzentrum zusammengelegt, um die Integration und Kommunikation der Schüler untereinander zu fördern. Als aktuelles Beispiel eines solchen Schulzentrums kann der im Jahr 2011 geplante Bildungscampus in Wien gesehen werden. Das Architekturbüro PPAG konzipierte eine Bildungseinrichtung für rund 1.100 Schüler bis zum 14. Lebensjahr. Der pädagogische Ansatz einer Schaffung von Schulzentren, sowie die Bauweise der Vorfabrikation, kann in mehrerlei Hinsicht jedoch als eine Art Rückschritt im Schulbau gesehen werden. Durch den zu großen Altersunterschied der Schüler aus den einzelnen Schultypen würde in solch einem Schulzentrum, weder eine Integration noch eine Kommunikation untereinander stattfinden. Des Weiteren kann die Fertigbauweise, im Gegensatz zur Massivbauweise, weder die Forderungen der 60er Jahre nach einer ausreichenden Belichtung und Belüftung der Klassenräume erfüllen,

noch akustisch zufriedenstellende Raumgegebenheiten schaffen. Die Kurzlebigkeit der Fertigbauweise machte sich auch durch die nur wenige Jahre später (1998) notwendige Sanierung der Schule in Wörgl bemerkbar.

Allgemein gesehen kann in den 90er Jahren, neben zahlreichen Sanierungsbeispielen, eine wichtige Tendenz des Um- oder Zubaus an bereits bestehenden Schulen gesehen werden. So wurde auch in dieser Zeit an der in dieser Diplomarbeit im Fokus stehenden Gründerzeitschule in der Zinckgasse ein Zubau von den Architekten Georg Driendl und Gerhard Steixner geplant. Dabei wurde der traditionelle Gangtyp des Altbaus aufgenommen und fortgeführt.

Die Messungen der akustischen Raumbeschaffenheiten der Klassenräume in diesem neuen Teil der Schule in der Zinckgasse, sowie die Ermittlungen des Grundgeräuschpegels im Gangbereich ergaben erstaunlicherweise durchwegs positive Ergebnisse. Sämtliche Werte, sowohl die der Nachhallzeiten, als auch die des Geräuschpegels fielen in den genormten einzuhaltenden Bereich. Die im Vorfeld durchgeführte Lehrerbefragung im Neubau führte zu denselben positiven Ergebnissen wie die der Messungen. Es kann angenommen werden, dass vor allem die durchgehend vorhandenen Brandschutzdecken, welche ebenfalls schalltechnisch gute Eigenschaften aufweisen Wesentliches zur Schallreduktion beitragen. Diese Annahme wurde auch im Zuge der Messungen im Altbau bestätigt. Auch in diesem Bauteil der Schule ergaben die Messungen der Nachhallzeit in den Klassenräumen durchwegs positive Ergebnisse. Da es jedoch erst im Zuge des Neubaus in den 90er Jahren in diesen Räumen zum Einsatz von Brandschutzdecken kam, wurden hier im Zuge der Auswertungen die akustischen Gegebenheiten vor diesen Sanierungsmaßnahmen simuliert. Diese Werte zeigten eindeutig, dass die akustische Beschaffenheit der Klassenräume in den Jahren vorher den heutigen Richtwerten nicht entsprachen und die Brandschutzdecken einen wesentlichen Faktor zur Verbesserung dieser Begebenheiten beitrugen.

Besorgniserregende Ergebnisse wurden jedoch im Zuge der Geräuschpegelmessungen im Gangbereich des Altbaus festgestellt. Die Werte, welche über einen gesamten Vormittag hindurch gemessen wurden, ergaben besonders in den Pausen, also im besetzten Zustand, äußerst negative Resultate. Auch die im Vorfeld durchgeführte Lehrerbefragung in diesem Bauteil der Schule ergab ein sehr negatives Bild über die dortige akustische Beschaffenheit. Dabei sei an dieser Stelle angemerkt, dass den Verkehrsflächen in Schulbauten heutzutage dieselbe Beachtung geschenkt werden sollte, wie den Klassenräumen selbst, da diese Bereiche häufig als zusätzliche Ausweichmöglichkeit für den Unterricht fungieren.

Inwiefern eine Nichtbeachtung eines erhöhten Geräuschpegels in Schulgebäuden Auswirkungen auf Schüler und Lehrer hat, wird in Anlehnung an den Forschungsstand der 50er Jahre, von verschiedenen Lärmforschern erneut aufgegriffen und vertieft. Allgemein gesehen kann zwischen auralen und extra-auralen Lärmeinwirkungen unterschieden werden. Dabei betreffen aurale Auswirkungen direkt die Gesundheit des Ohrs, während extra-aurale Lärmeinwirkungen physiologische oder psychische Belastungen beschreiben. Bei einer längerfristigen Belastung ab einem Tagesexpositionslärmpegel von 85dB wird das Ohr dauerhaft geschädigt. In Schulen spricht man an sich nicht von solchen auralen Lärmeinwirkungen, da dort selten ein derart dauerhaft hoher Geräuschpegel vorherrscht. Schüler und Lehrer sind hingegen hauptsächlich von extra-auralen Einwirkungen betroffen, wie die einer erhöhten Leistungsbeeinträchtigung oder Störungen psychischer und physiologischer Natur. Bei Schülern werden unter einem erhöhten Lärmpegel vor allem die kognitiven Prozesse gestört. Sprachliche Informationen können nicht mehr richtig gespeichert werden, was wiederum einen

erhöhten Konzentrationsaufwand erfordert. Die Lehrerschaft selbst leidet bei einem hohen Grundschallpegel vor allem durch das ständige Sprechen mit angehobener Stimme unter Heiserkeit und üdigkeit. Eine Studie des Uniklinikums Freiburg aus dem Jahr 2004 zeigte einen sehr hohen Prozentsatz an gesundheitsbedingten Dienstunfähigkeiten aufgrund psychosomatischer Gesundheitsstörungen bei Lehrern. Der angegebene Grund von Seiten der Lehrer für diesen besorgniserregenden Gesundheitszustand war das destruktive Verhalten der Schüler selbst. Diese Haltung kann wiederum auf eine schlechte Klassenraumakustik zurückgeführt werden. Schüler die den Lehrer nicht gut verstehen, folgen ab einem gewissen Zeitpunkt dem Unterricht nicht mehr richtig und entwickeln ein destruktives Verhalten. Dies ruft im Lehrer Müdigkeit, Erschöpfung, aber auch Aggressivität hervor. Ein Teufelskreis entsteht, dem in solchen Fällen nur mit bestimmten akustischen Maßnahmen entgegengewirkt werden kann.

Als erste wichtige Maßnahme kann das Ansprechen der Lärmbelastung in der Schule von Seiten der Lehrer bzw. das bewusste Wahrnehmen des Lärms gesehen werden. Dies kann im Idealfall bereits zu geringen Verbesserungen der Lärmsituation führen. In baulicher Hinsicht, stehen dem Architekten und Akustiker hauptsächlich der Einsatz von Schallabsorbern zur Verfügung. Neben Absorbern poröser Art, die vor allem bei hohen Frequenzen einen großen Absorptionsgrad besitzen, erfüllen bei tiefen Frequenzen sogenannte Resonanzabsorber dieselbe Aufgabe. Eine Kombination aus porösen Absorbern und Resonanzabsorbern erfüllen den Vorteil, vor allem im mittleren Frequenzbereich den Schall zu absorbieren. Diese sogenannten „Lochplattenschwinger" werden heutzutage als Verkleidung von abgehängten Decken verwendet, um einerseits die Installationsebene unsichtbar zu machen und um zudem die Raumakustik zu verbessern.

Am Beispiel des Gangbereichs im Altbau der Schule in der Zinckgasse wurde in Folge der angedachten Maßnahmen in dieser Diplomarbeit gezeigt, dass verschiedenartige akustische Eingriffe nicht zwingend mit einem hohen Kostenaufwand, sowie einem hohen Zeitaufwand verbunden sind. Zudem müssen die Eingriffe nicht nur die physikalischen Raumgegebenheiten verbessern, sondern können durchwegs auch einen praktischen Nutzen erfüllen. So können die häufig eingesetzten Akustikplatten auch als Wandverkleidungen umfunktioniert werden und gleichzeitig eine pinnwand-ähnliche Funktion erfüllen. Da auch sämtliche Möbel zur Schallreduktion beitragen können, wurden im Gangbereich des Altbaus alle alten Sitzbänke mit neuen Sitzmöbeln ersetzt. Die frei verstellbaren Sitzmöbel, die mit schalltechnisch guten Oberflächen versehen werden, können zu verschiedenen Sitzlandschaften zusammengestellt werden und je nach Bedarf, wie beispielsweise für Gruppenarbeiten, verschiedene Raumabgrenzungen und Gruppierungen darstellen. Weitere interessante Aspekte im Bereich der akustischen Maßnahmen, mussten um den vorgegebenen Rahmen einhalten zu können, in der vorliegenden Diplomarbeit vernachlässigt werden. Eine gute Klassenraumakustik kann nicht nur mittels gut durchdachten raumakustischen Maßnahmen erfolgen, sondern beginnt bereits im Bereich der Bauakustik im frühen Planungsprozess. Die Suche nach Schulen mit innovativen akustischen Maßnahmen führte zur Erkenntnis, dass in diesem Bereich noch etliche Möglichkeiten offen sind und bis dato nur wenige Beispiele vorliegen. Vor allem der Bereich einer innovativen Konzeptfindung zur Verbesserung der Raumakustik kann einen Schwerpunkt für weitere Forschungsarbeiten darstellen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 01	eigene Abbildung nach: HINTRÄGER, Karl: *Der Bau und die innere Einrichtung von Schulgebäuden für öffentliche Volks- und Bürgerschulen*, 1887, S.6
Abb. 02	aus: *MA 37 Plandokumentation*, 407 F, 1893
Abb. 03	aus: *MA 37 Plandokumentation*, 407 F, 1893
Abb. 04, 05	aus: *www.nextroom.at/building.php?id=2452*, Zugriff am 20.06.2015
Abb. 06	eigene Abbildung nach: *www.nextroom.at/building.php?id=2452*, Zugriff am 20.06.2015
Abb. 07, 08	eigene Abbildung nach: VISCHER, Julius: *Der neue Schulbau im In- und Ausland: Grundlagen, Technik, Gestaltung*, 1931, S.17
Abb. 09, 10	aus: NEHRER, Manfred / WACHBERGER, Michael: *Schulbau in Österreich von 1945 bis heute*, 1982, S.33
Abb. 11, 12	aus: NEHRER, Manfred / WACHBERGER, Michael: *Schulbau in Österreich von 1945 bis heute*, 1982, S.34
Abb. 13-15	aus: NEHRER, Manfred / WACHBERGER, Michael: *Schulbau in Österreich von 1945 bis heute*, 1982, S.51
Abb. 16, 17	aus: BRÖDNER, Erika / KROEKER, Immanuel (Hrsg.) u.a.: *Schulbauten*, 1951, S.4
Abb. 18	aus: BRÖDNER, Erika / KROEKER, Immanuel (Hrsg.) u.a.: *Schulbauten*, 1951, S.75
Abb. 19	eigene Abbildung nach: BUDDE, Ferdinand / THEIL, Hans Wolfram: *Schulen: Handbuch für die Planung und Durchführung von Schulbauten*, 1969, Bild 10, S.53
Abb. 20	aus: SCHÖBL, Wilhelm: "Vorfertigung im Schulbau, Modellschule Wörgl", in: *architektur aktuell*, Heft 37, 1973, S.47
Abb. 21	aus: HOPPE, Diether S.: *Schulbau in Österreich: Eine qualitative Bestandsaufnahme 1996*, S.21
Abb. 22, 23	aus: HOPPE, Diether S.: *Schulbau in Österreich: Eine qualitative Bestandsaufnahme 1996*, S.73
Abb. 24	aus: OLINDE U. WALTER MEYER- BOHLE, *Neue Schulen*, 1974, S.99
Abb. 25	eigene Abbildung nach: *MA 37 Planmaterial*, 407 F, 1893, Lageplan
Abb. 26	aus: *MA 37 Planmaterial*, 407 F, 1893
Abb. 27	aus: Planmaterial von Driendl und Steixner
Abb. 28-32	aus: *www.openbuildings.com/buildings/bildungscampus-hauptbahnhof-profile-39269/media*, Zugriff am 20.06.2015
Abb. 33	eigene Abbildung nach: *www.erzieherin.de/laermschutzloesungen-fuer-den-kindergarten.html*, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 34	eigene Abbildung nach: ISING, H. / REBENTISCH, E. u.a.: *Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 98*, 1996, S.6
Abb. 35	eigene Abbildung nach: KLATTE, Maria / MEIS, Markus / SCHICK, August: "Lärm in Schulen", in: HUBER, Ludowika / KAHLERT, Joachim / KLATTE, Maria (Hrsg.): *Die akustisch gestaltete Schule. Auf der Suche nach dem guten Ton*, 2002, S.28

Abb. 36 eigene Abbildung nach:
www.laermmachtkrank.at/download/Laermfolder_2013.pdf, Zugriff am 10.07.2015

Abb. 37 aus: ARGE Zuhören, *http://daten.schule.at/dl/Laermvermeidung.pdf*, S.15, Zugriff am 10.07.2015

Abb. 38 aus: HOTTER, Erich / ZOLLNERITSCH, Josef: *Lärm in der Schule. Ein Arbeitsbuch*, 2008 S.96-97

Abb. 39 aus: HOTTER, Erich / ZOLLNERITSCH, Josef: *Lärm in der Schule. Ein Arbeitsbuch*, 2008 S.97

Abb. 40 aus: HOTTER, Erich / ZOLLNERITSCH, Josef: *Lärm in der Schule. Ein Arbeitsbuch*, 2008, S.98

Abb. 41 aus: HOTTER, Erich / ZOLLNERITSCH, Josef: *Lärm in der Schule. Ein Arbeitsbuch*, 2008, S.68

Abb. 42 aus: HOTTER, Erich / ZOLLNERITSCH, Josef: *Lärm in der Schule. Ein Arbeitsbuch,2008*, S.69

Abb. 43 aus: HOTTER, Erich / ZOLLNERITSCH, Josef: *Lärm in der Schule. Ein Arbeitsbuch*, 2008, S.74

Abb. 44 aus: ARGE Zuhören, *www.fcg-wien-aps.at/files/medien/umfrageergebnisse.pdf,* Folie 9,
Zugriff am 10.07.2015

Abb. 45 aus: ARGE Zuhören, www.fcg-wien-aps.at/files/medien/umfrageergebnisse.pdf, Folie 10
Zugriff am 10.07.2015

Abb. 46 aus: HOTTER, Erich / ZOLLNERITSCH, Josef: *Lärm in der Schule. Ein Arbeitsbuch*, 2008, S.87

Abb. 47 eigene Abbildung nach:
MOMMERTZ, Eckard / MÜLLER BBM u.a.: *Akustik und Schallschutz: Grundlagen, Planung, Beispiele*,
Edition Detail Praxis, 2008, Abbildung 1a, S.68

Abb. 48 eigene Abbildung nach:
MOMMERTZ, Eckard / MÜLLER BBM u.a.: *Akustik und Schallschutz: Grundlagen, Planung, Beispiele*,
Edition Detail Praxis, 2008, Abbildung 1a, S.68

Abb. 49 aus: NOCKE, Christian: *Raumakustik im Alltag: hören, planen, verstehen*, 2014, Abbildung 4.2, S.91

Abb. 50 aus: NOCKE, Christian: *Raumakustik im Alltag: hören, planen, verstehen*, 2014, Abbildung 4.2, S.91

Abb. 51 aus: NOCKE, Christian: *Raumakustik im Alltag: hören, planen, verstehen*, 2014, Abbildung 5.1, S.112

Abb. 52 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau,
Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild 1, S.5

Abb. 53 aus: DIN 18041, DIN Deutsches Institut für Normung:
Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-05, S.12-13, S.14

Abb. 54 aus: ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON):
Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik, 2005, Bild 2, S.6

Abb. 55 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau,
Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild 3, S.6

Abb. 56 aus: ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON):
Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 1: Begriffe und Einheiten, 2011, S.19

Abb. 57 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau,
Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild A.1a, S.10

Abb. 58 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau,
Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild A.1b, S.10

Abb. 59 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild A.1c, S.10

Abb. 60 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3*: Raumakustik, 2005, Bild A.3a, S.10

Abb. 61 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild A.3b, S.10

Abb. 62 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild A.3c, S.10

Abb. 63 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild A.4a, S.10

Abb. 64 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild A.4b, S.10

Abb. 65 eigene Abbildung nach:
ÖNORM B8115, Österreichisches Normungsinstitut (ON): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik*, 2005, Bild A.4c, S.10

Abb. 66 aus: *http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/gehoerorgane/4134*, Zugriff am 10.06.2015

Abb. 67 aus: DIN EN ISO 3382, DIN Deutsches Institut für Normung: M*essung von Parametern der Raumakustik Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen*, 2008, Tabelle 1, S.8

Abb. 68 eigene Abbildung:
Messpositionen im Klassenraum

Abb. 69 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Messungen eines Klassenraums im Altbau 3.OG

Abb. 70 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Messungen eines Klassenraums im Altbau 3.OG vor den Sanierungsmaßnahmen

Abb. 71 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Messungen eines Klassenraums im Altbau 2.OG

Abb. 72 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Messungen eines Klassenraums im Altbau 2.OG vor den Sanierungsmaßnahmen

Abb. 73 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Messungen eines Klassenraums im Altbau 1.OG

Abb. 74 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Messungen eines Klassenraums im Altbau 1.OG vor den Sanierungsmaßnahmen

Abb. 75 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Messungen eines Klassenraums im Neubau 3.OG

Abb. 76 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Messungen eines Klassenraums im Neubau 2.OG

Abb. 77 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Messungen eines Klassenraums im Neubau 1.OG

Abb. 78 eigene Abbildung:
Ergebnisse der Schallpegelmessungen des Gangbereichs im Altbau

Abb. 79	eigene Abbildung: Ergebnisse der Schallpegelmessungen des Gangbereichs im Neubau
Abb. 80	eigene Abbildung nach: *www.baunetzwissen.de/standardartikel/Akustik_Absorberarten_147703.html*, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 81	aus: RICCABONA, Christof / BEDNAR, Thomas: *Baukonstruktionslehre 4, Bauphysik*, 2010, S.118
Abb. 82	aus: RICCABONA, Christof / BEDNAR, Thomas: *Baukonstruktionslehre 4, Bauphysik*, 2010, S.118
Abb. 83	aus: RICCABONA, Christof / BEDNAR, Thomas: *Baukonstruktionslehre 4, Bauphysik*, 2010, S.119
Abb. 84	aus: NOCKE, Christian: *Raumakustik im Alltag: hören, planen, verstehen*, 2014, Abbildung 3.6, S.58
Abb. 85	aus: *www.hutter.co.at/sound/funktion/faser-resonanzabsorber,* Zugriff am 12.07.2015
Abb. 86	aus: *www.hutter.co.at/unternehmen/projekt-klassenzimmer*, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 87	aus: *www.hutter.co.at/unternehmen/projekt-klassenzimmer*, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 88	aus: *www.hutter.co.at/unternehmen/projekt-turnsaa*l, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 89	aus: *www.hutter.co.at/unternehmen/projekt-turnsaa*l, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 90	eigene Abbildung
Abb. 91-94	aus: d*reiplus.at/projekte/volksschule-moenichwald/*, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 95	aus: *www.gat.st/news/neubau-vs-moenichwald-und-wann-kommt-das-dach*, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 96	aus: *www.wollmannundmang.de/grundschule-erding_a01.html*. Gerhard Hagen, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 97	aus: *www.wollmannundmang.de/grundschule-erding_i02.html*, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 98	aus:*www.wollmannundmang.de/grundschule-erding_i01.html*, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 99	aus: *www.wollmannundmang.de/grundschule-erding_i03.html*, Zugriff am 12.07.2015
Abb. 100	aus: MOMMERTZ, Eckard / MÜLLER BBM u.a.: *Akustik und Schallschutz: Grundlagen, Planung, Beispiele,* Edition Detail Praxis, 2008, S.75
Abb. 101	eigene Abbildung
Abb. 102	eigene Abbildung
Abb. 103	eigene Abbildung: Schülerzeichnung
Abb. 104	eigene Abbildung: Schülerzeichnung
Abb. 105	eigene Abbildung: Schülerzeichnung
Abb. 106	eigene Abbildung: Gangbereich Neubau ÜSPZ
Abb. 107	eigene Abbildung: Gangbereich Altbau ÜSPZ

Literaturverzeichnis

BEHNKE, Gustav: "Niedere und höhere Schulen", in: DURM, Josef (Hrsg.): *Handbuch der Architektur*, Vierter Theil: Entwerfen, Anlage und Einrichtung der Gebäude. 6. Halb Band: Gebäude für Erziehung, Heft 1, Wissenschaft und Kunst, Verlag: Arnold Bergsträsser, Darmstadt 1889

BERGÈR, Wilhelm: *Schulbau von heute für morgen*, Verlag: Musterschmidt, Göttingen/ Berlin/ Frankfurt 1960

BRÖDNER, Erika / KROEKER, Immanuel (Hrsg.) u.a.: *Schulbauten*, Verlag: Rinn, München 1951

BUDDE, Ferdinand / THEIL, Hans Wolfram: *Schulen: Handbuch für die Planung und Durchführung von Schulbauten,* Verlag: Callwey, München 1969

ESKA, Georg: *Schall und Klang: wie und was wir hören,* Verlag: Birkhäuser, Basel 1997

FISCHER, Alfred: *Neue Wege im Schulbau*, Landesgewerbeamt Baden- Württemberg als Sonderdruck der Zeitschrift "Badische Werkkunst" (Hrsg.), 2. ergänzte und neubearbeitete Auflage, Verlag: Braun, Karlsruhe 1950

GÜNTHER, B.C. / HANSEN, Karl-Heinz / VEIT, Ivar: *Technische Akustik- ausgewählte Kapitel: Grundlagen, aktuelle Probleme und Messtechnik,* 5. aktualisierte Auflage, Verlag: Expert. Verlag, Renningen- Malmsheim 1994

HANE, Moritz (Hrsg.): *Der Schulbau- Normen, Richtlinien und Ratschläge für den Schulbau*, Verlag: Weidmann, Berlin 1931

HAUBFLEISCH, Karl: "Bürger und Volksschulen", in: KORTZ, Paul (Hrsg.): *Wien am Anfang des 20. Jahrhunderts. Ein Führer in technischer und künstlerischer Richtung*, Band 2: Hochbauten, Architektur und Plastik, Verlag von Gerlach & Wiedling, Wien 1906

HENN, Hermann / FALLEN, Manfred / SINAMBARI, Gh. Reza (Hrsg.): *Ingenieurakustik : Physikalische Grundlagen und Anwendungsbeispiele,* 4., überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage, Wiesbaden 2008

HELLBRÜCK, Jürgen / KALS, Elisabeth: *Umweltpsychologie*, Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden 2012

HINTRÄGER, Karl: *Der Bau und die innere Einrichtung von Schulgebäuden für öffentliche Volks- und Bürgerschulen*, Verlag: Graeser, Wien 1887

HOTTER, Erich / ZOLLNERITSCH, Josef: *Lärm in der Schule. Ein Arbeitsbuch*, Verlag: Leykam, Graz 2008

HUBATSCH, Wilhelm: *Der Schulbau in Österreich*, Verlag: Wedl, Wien 1962

HUBER, Ludowika / KAHLERT, Joachim / KLATTE, Maria (Hrsg.): *Die akustisch gestaltete Schule. Auf der Suche nach dem guten Ton*, Sonderausgabe Band 3, Verlag: Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen 2002

JÄGER-KLEIN, Caroline / PLAKOLM-FORSTHUBER, Sabine: *Schulbau in Österreich 1996-2011. Wege in die Zukunft*, Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau (Hrsg.), NWV Neuer Wissenschaftlicher Verlag, Wien/ Graz 2012

KLATTE, Maria / MEIS, Markus / SCHICK, August: "Lärm in Schulen", in: HUBER, Ludowika / KAHLERT, Joachim / KLATTE, Maria (Hrsg.): *Die akustisch gestaltete Schule. Auf der Suche nach dem guten Ton*, Sonderausgabe Band 3, Verlag: Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen 2002

KROEKER, Immanuel: "Form und Gestalt der neuen Schule", in: BRÖDNER, Erika / KROEKER Immanuel (Hrsg.): *Schulbauten*, Verlag: Rinn, München 1951

KÜHN, Christian: "Vom Haus des Lehrers zum Raum für Teams", in: JÄGER-KLEIN, Caroline / PLAKOLM-FORSTHUBER, Sabine: *Schulbau in Österreich 1996-2011. Wege in die Zukunft*, Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau (Hrsg.), NWV Neuer Wissenschaftlicher Verlag, Wien/ Graz 2012

KÜHN, Christian: "Das Ende der Kalkputzstadt", in: KÜHN, Christian: *Ringstrasse ist überall, Texte über Architektur und Stadt 1992-2007*, Verlag: Springer, Wien 2008

LANG, Christian: "Typologie- Raumqualität", in: HOPPE, Diether S. (Hrsg.) u.a.: *Schulbau in Österreich: Eine qualitative Bestandsaufnahme 1996; eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Unterricht und Kulturelle Angelegenheiten*, VÖ- Verlag Österreich, Wien 1996

LANGENMAYR, Arnold: *Sprachpsychologie: ein Lehrbuch*, Verlag: Hogrefe, Göttingen 1997

LOICHT, Franz / LEINWATHER, Peter: "1. Schulentwicklung", in: NEHRER, Manfred / WACHBERGER, Michael u.a.: *Schulbau in Österreich von 1945 bis heute*, Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau (Hrsg.), Verlag: Berger, Horn 1982

LUTZ, Peter u.a.: *Lehrbuch der Bauphysik: Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand*, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag: Teubner, Stuttgart 1989

MAUE, H. Jürgen: *0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel: Einführung in die Grundbegriffe und die quantitative Erfassung des Lärms*, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung - BGIA, Sankt Augustin (Hrsg.), Verlag: Erich Schmidt, Berlin 2009

MEYER- BOHE, Olinde und Walter: *Neue Schulen*, Verlag: Wasmuth, Thübingen 1974

NEHRER, Manfred / WACHBERGER, Michael: *Schulbau in Österreich von 1945 bis heute*, Österreichisches Institut für Schul- und Sportstättenbau (Hrsg.), Verlag: Berger, Horn 1982

NOCKE, Christian: *Raumakustik im Alltag: hören, planen, verstehen*, Verlag: Fraunhofer IRB, Stuttgart 2014

OBERDÖRSTER, Markus / TIESLER, Gerhard: *Akustische Ergonomie der Schule*, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.), Verlag: Wirtschaftsverlag NW, Dortmund/ Berlin/ Dresden 2006

OTTO, Karl: *Schulbau- Beispiele und Entwicklungen. School Building- Examples and development*, Verlag: Koch, Stuttgart 1961

REICHOW, Hans Bernhard: "Städtebauliche Vorraussetzungen des neuen Schulbaus", in: BRÖDNER, Erika / KROEKER Immanuel (Hrsg.): *Schulbauten*, Verlag: Rinn, München 1951

REINHOLD, Christoph: "Technil- Wirtschaftlichkeit", in: HOPPE, Diether S. (Hrsg.) u.a.: *Schulbau in Österreich: Eine qualitative Bestandsaufnahme 1996; eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Unterricht und Kulturelle Angelegenheiten*, VÖ- Verlag Österreich, Wien 1996

RICCABONA, Christof / BEDNAR, Thomas: *Baukonstruktionslehre 4, Bauphysik*, 8. überarbeitete Auflage, Verlag: MANZ (u.a.), Wien 2010

ROTH, Alfred: *The New School, Das Neue Schulhaus, La Nouvelle Ecole*, Verlag: Girsberger, Zürich 1957

SCHEURECKER, Johannes: "Dokumentation", in: HOPPE, Diether S. (Hrsg.) u.a.: *Schulbau in Österreich: Eine qualitative Bestandsaufnahme 1996; eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Unterricht und Kulturelle Angelegenheiten*, VÖ- Verlag Österreich, Wien 1996

SCHILLER, Maria: "Der Schularzt und die Planung neuer Schulen", in: BRÖDNER, Erika / KROEKER Immanuel (Hrsg.): *Schulbauten*, Verlag: Rinn, München 1951

SEELMANN, Kurt: "Forderungen eines Pädagogen an das neue Schulhaus", in: BRÖDNER, Erika / KROEKER Immanuel (Hrsg.): *Schulbauten*, Verlag: Rinn, München 1951

ÜBERLACKNER, Johann: "Schule und öffentlicher Raum", in: HOPPE, Diether S. (Hrsg.) u.a.: *Schulbau in Österreich: Eine qualitative Bestandsaufnahme 1996; eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Unterricht und Kulturelle Angelegenheiten*, VÖ- Verlag Österreich, Wien 1996

VISCHER, Julius: *Der neue Schulbau im In- und Ausland: Grundlagen, Technik, Gestaltung*, Verlag: Hoffmann, Stuttgart 1931

WALKER, Jearl: *Der fliegenden Zirkus der Physik: Fragen und Antworten*, 8. überarbeitete Auflage, Verlag: Oldenbourg, München 2000

SKUDRZYK, Eugen: *Die Grundlagen der Akustik*, Verlag: Springer, Wien 1954

Zeitschriften

MOMMERTZ, Eckard / MÜLLER BBM u.a.: *Akustik und Schallschutz: Grundlagen, Planung, Beispiele*, Edition Detail Praxis, 1. Auflage 2008, Verlag: Institut f. Intern. Architektur-Dokumentation, München 2008

KOTELMAN, Ludwig (Hrsg.): *Zeitschrift für Schulgesundheitspflege,* Verlag: Leopold Voss, Hamburg/Leibzig 1889

EISENMENGER, Helmut: "Schweden zeigt einen neuen Weg im Schulbau", in: *Schul- und Sportstättenbau,* Mitteilungsblatt des ÖISS (Hrsg.), Heft 70, 2. Auflage, Wien 1970

MÜLLER, F.: "Analysearbeit" 2010, in: EISENMENGER, Helmut: *schools without walls, Schulen ohne Wände*, Catalog Schriftenreihe, Heft 1, Frankfurt am Main 1969

SCHÖBL, Wilhelm: "Vorfertigung im Schulbau, Modellschule Wörgl", in: architektur aktuell, Heft 37, 1973

TSCHANZ, Martin: "Weiterbauen an einer Modellschule", in: werk, bauen + wohnen, Band 91, Heft 6, 2004

GUSKI, *R.*: "Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts", in: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Heft 49, 2002

SCHICK, August / KLATTE, Maria: "Lärmminderung in Schulen", in: Lärmschutzheft in Hessen, Heft 4, 2. Auflage, 2007

ISING, H. / REBENTISCH, E. u.a.: *Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 98: Forschungsergebnisse für die Praxis. Lärmbeurteilung- Gehörschäden,* Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.), 1. Auflage, vergriffen, Dortmund 1996

Normen

DIN 18041 Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): *Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, Acoustical quality in small to mediumsized rooms,* 2004-05

DIN EN 1729-1 Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): *Möbel - Stühle und Tische für Bildungseinrichtungen - Teil 1: Funktionsmaße*, 2006-09

DIN 4109 Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): *Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise*, 1989-11

ÖNORM B8115 Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 1: Begriffe und Einheiten*, Wien 2011-06

ÖNORM B8115 Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.): *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 3: Raumakustik*, Wien 2005-11

DIN EN ISO 3382 DIN Deutsches Institut für Normung: M*essungen von Parametern der Raumakustik, Teil 1: Aufführungsräume*, 2009-10

DIN EN ISO 3382 DIN Deutsches Institut für Normung: *Messungen von Parametern der Raumakustik, Teil 2:*

Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen, 2008-09

DIN EN ISO 3382: DIN Deutsches Institut für Normung: *Messungen von Parametern der Raumakustik, Teil 3: Großraumbüros*, 2012-05

BERGLUND, Brigitta / LINDVALL, Thomas / SCHWELA, Dietrich: *Guidelines for community noise*, Word Health Organization (Hrsg.), London 1999

Verordnungsblatt für den Dienstbereich des Ministeriums für Cultus und Unterricht, Jahrgang 1873, Nr.73, in: KNEISZ, Elisabeth: Der österreichische Schulbau in k.u.k Monarchie, 2014

Internetquellen

http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/0AEF13B2-B26F-4598-B8A7-1C9B39E4F0FE/0/Laerm_Wirkungen_und_Gefahren_fuer_Gesundheit.pdf., Zugriff am 20.06.2015

http://www.architektenlexikon.at/de/227.htm, Zugriff am 10.03.2015

https://www.austrian-standards.at/ueber-normen/normen-finden, Zugriff am 13.07.2015

http://www.bauordnung.at/oesterreich/oib_richtlinie5.php, Zugriff am 17.05.2015

http://www.bllv.de, Akustik in der Schule- Raumakustik, Lernerfolg und Gesundheit, 2009, S.2-3 online Zugriff am 20.06.2015

http://www.bug-nrw.de/cms/upload/pdf/Freiburg.pdf

http://www.bvfs.at/htm/pub/download/Schallschutz-Normung.pdf, Zugriff am 13.07.2015

http://daten.schule.at/dl/Laermvermeidung.pdf, S.5-15, Zugriff am 10.05.2015

http://www.derstandard.at/2000004662309/Bildungscampus-Hauptbahnhof-Schule-macht-Schule, Zugriff am 20.06.2015

http://www.din.de/cmd?cmsrubid=47513&menurubricid=47513&level=tpl-rubrik&menuid=47391&languageid=de&cmsareaid=47391, Zugriff am 15.07.2015

http://dreiplus.at/projekte/volksschule-moenichwald/ Zugriff am 20.07.2015

http://www.fcg-wien-aps.at/files/medien/umfrageergebnisse.pdf, Folie 9-10, Zugriff am 10.05.2015

http://www.hutter.co.at/projekt-vs-moenichwald, Zugriff am 21.07.2015

http://www.hutter.co.at/unternehmen/philosophie, Zugriff am 21.07.2015

http://www.hutter.co.at/sound/funktion, Zugriff am 21.07.2015

http://www.hutter.co.at/sound/funktion/faser-resonanzabsorber, Zugriff am 21.07.2015

http://www.hutter.co.at/unternehmen/projekt-klassenzimmer, Zugriff am 21.07.2015

http://www.hutter.co.at/unternehmen/projekt-turnsaal, Zugriff am 21.07.2015

http://www.hutter.co.at/unternehmen/projekte, Zugriff am 21.04.2015

http://www.iso.org/iso/about/about, Zugriff am 15.07.2015

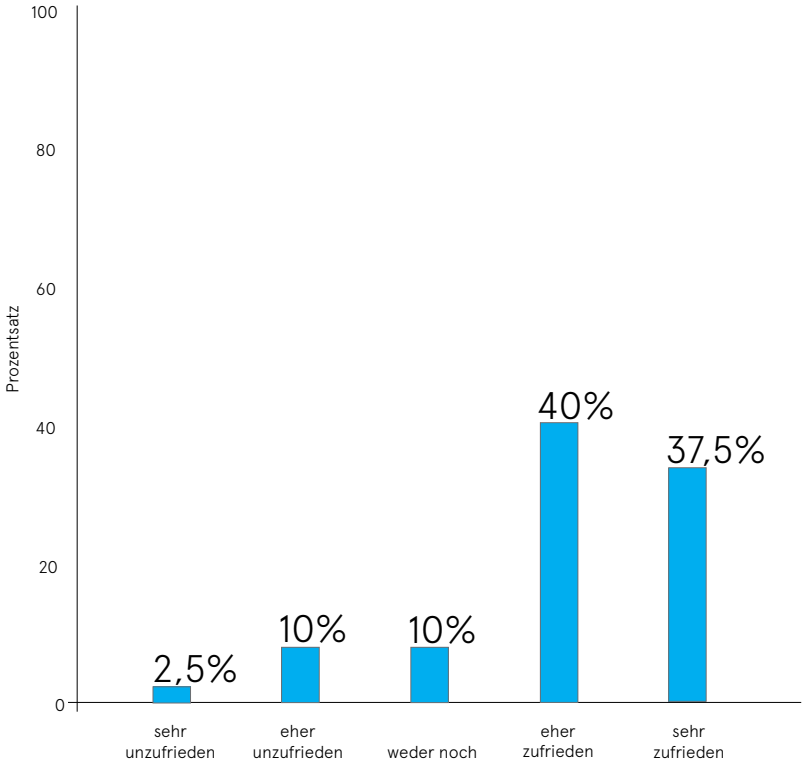
A

ERGEBNISSE DER UMFRAGE

ALTBAU - NEUBAU

Befragt wurden insgesamt 40 Lehrpersonen, die teilweise sowohl im Alt- als auch im Neubau unterrichten. Dabei wurde versucht in Erfahrung zu bringen, wie die Raumakustik in den Unterrichtsräumen und den Gangbereichen des gesamten Schulgebäudes von den Lehrern selbst eingeschätzt wird. Sämtliche Fragen und Ergebnisse zum Altbau werden in Teil 1 dieses Abschnittes angeführt, während im Teil 2 der Neubau genauer untersucht wird.

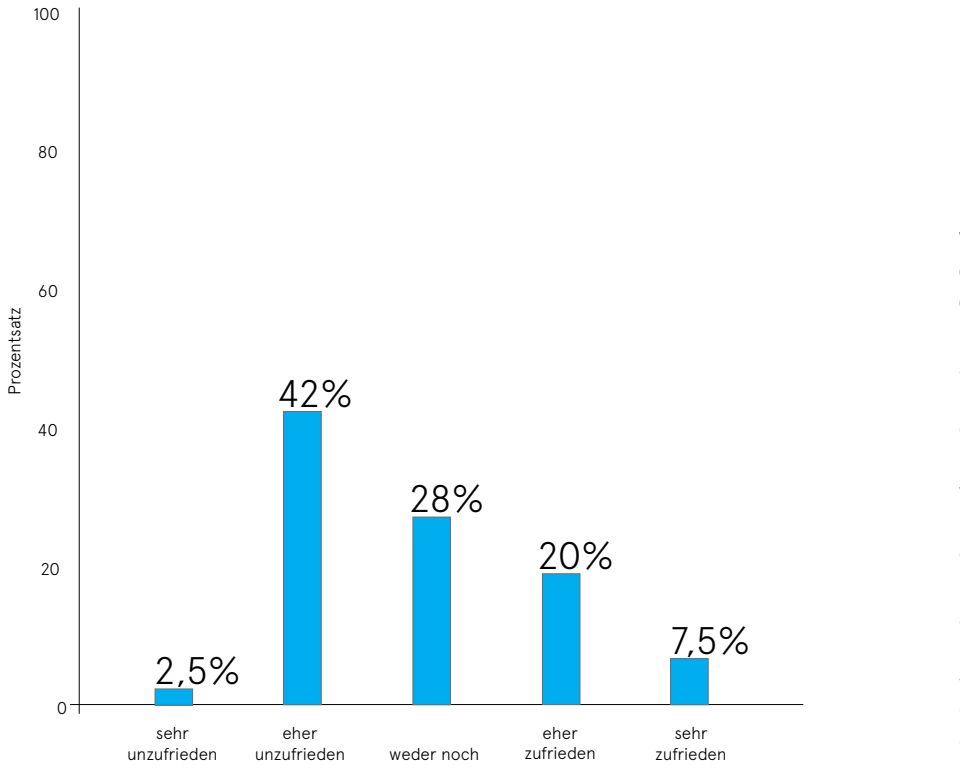
Wie unzufrieden bzw. zufrieden sind Sie mit den akustischen Bedingungen in Ihrem Klassenraum des Altbaus?



Rund 80% der Lehrpersonen gaben an, mit den akustischen Gegebenheiten in den Klassenräumen des Altbaus zufrieden zu sein. Nur 12% waren zum Zeitpunkt der Befragung mit der Raumakustik unzufrieden.

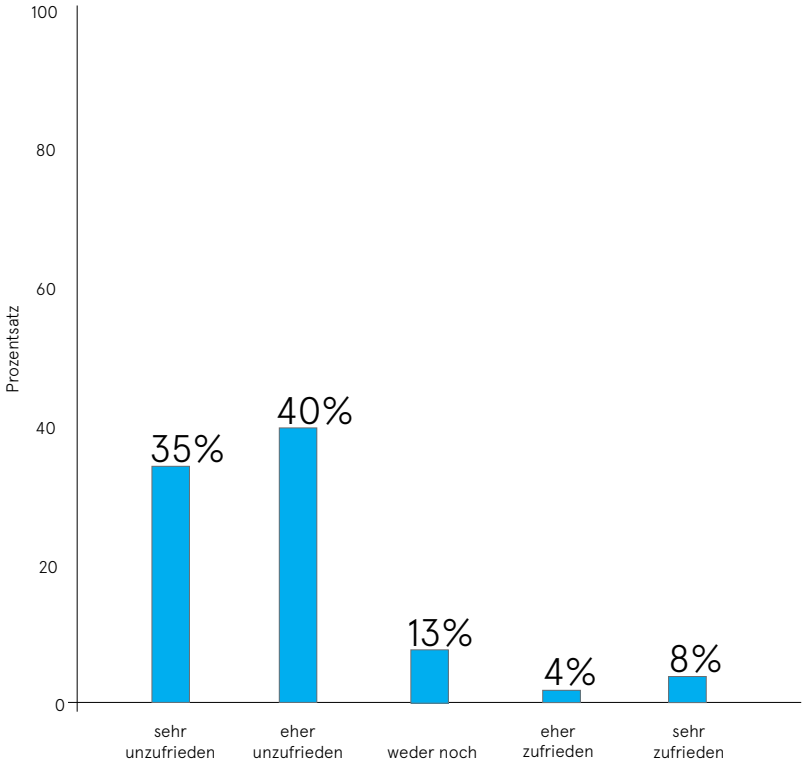
Wie unzufrieden bzw. zufrieden sind Sie mit den akustischen Bedingungen in Ihrem Klassenraum des Altbaus?

(Geräusche von draußen bei geöffneten Fenstern)



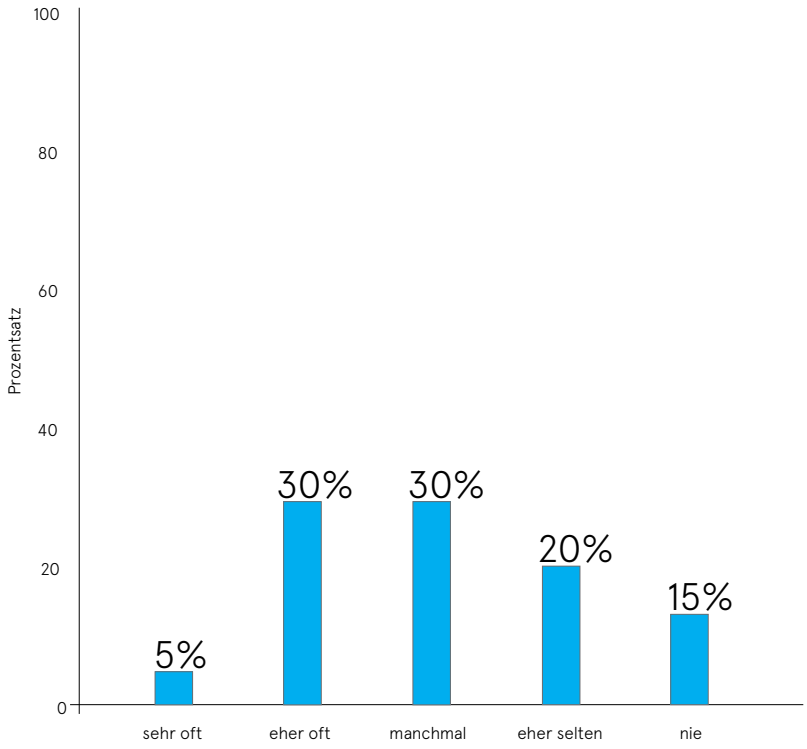
Bei geöffneten Fenstern hingegen verschlechtert sich die akustische Situation in den Klassenzimmern enorm. Ca. 40% der Befragten fühlten sich durch den Verkehr in der Zinckgasse bei geöffneten Fenstern sehr gestört.

Wie unzufrieden bzw. zufrieden sind Sie mit den akustischen Bedingungen in den Gangbereichen des Altbaus?



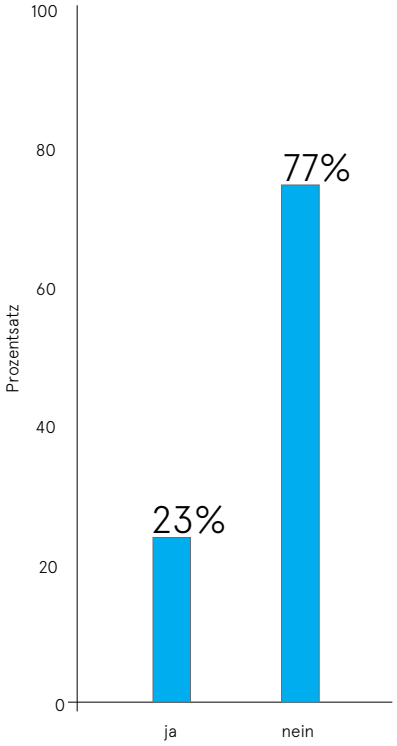
Rund 80% der Lehrpersonen gaben an, mit den akustischen Gegebenheiten im Gangbereich des Altbaus sehr bis eher unzufrieden zu sein. Dies zeigten auch die im Nachhinein durchgeführten Schallpegelmessungen (siehe Abschnitt 3.3 dieser Diplomarbeit). Da der Gangbereich häufig auch als Ausweichraum bzw. als Möglichkeit für offenere und freiere Unterrichtsmethoden genutzt wird, stellt die offensichtlich vorhandene Lärmproblematik ein großes Problem dar.

Fühlen Sie sich im Unterricht durch Lärm aus benachbarten Klassenräumen (Fluren, Turnsälen etc.) gestört?



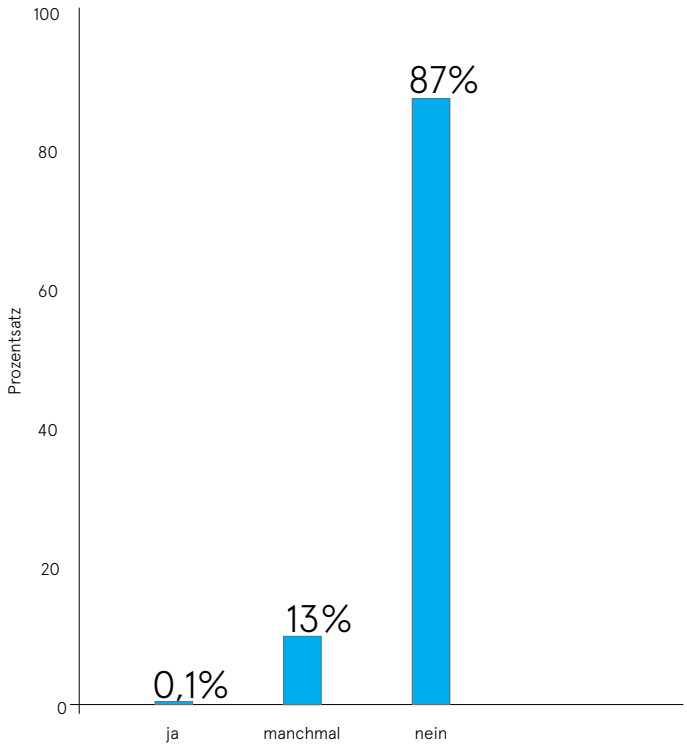
Aufgrund der Auswertung der vorherigen Frage lassen diese Ergebnisse annehmen, dass die meisten Lehrer während ihres Unterrichts vom Flurbereich her gestört werden. Rund 60% fühlen sich eher oft bis manchmal gestört, nur 15% gaben an, nie vom Lärm der angrenzenden Räumlichkeiten gestört zu werden.

Ermahnen Sie oft Ihre Schüler lauter oder deutlicher zu sprechen?



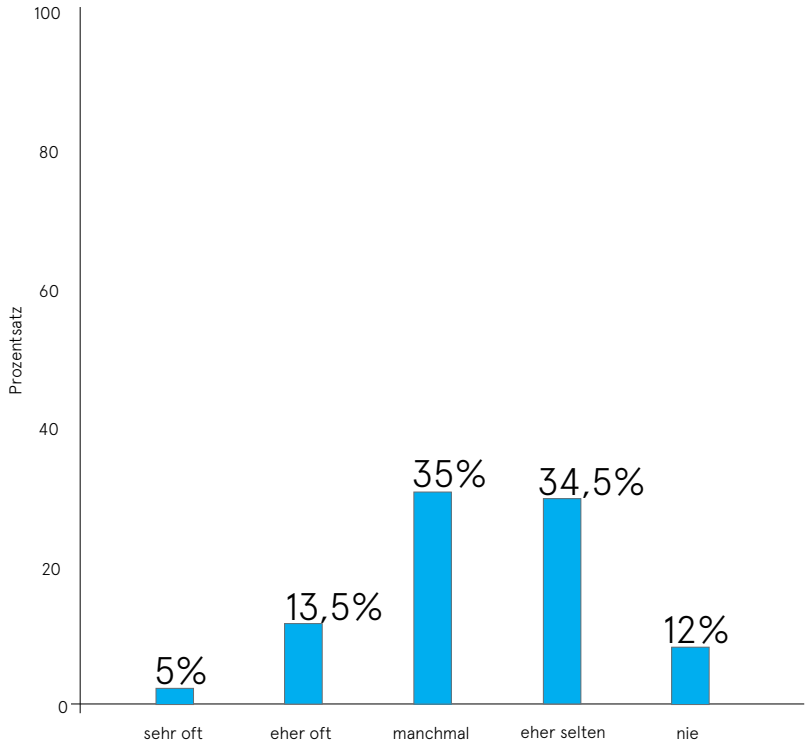
Ein schlechtes Sprachverständnis in den Klassenräumen wird aufgrund der Antworten auf diese Frage ausgeschlossen. Rund 80% der Befragten würden ihre Schüler nicht zum lauter Sprechen ermahnen müssen.

Beschweren sich Ihre Schüler häufig darüber, dass sie Schwierigkeiten haben, Sie zu verstehen?



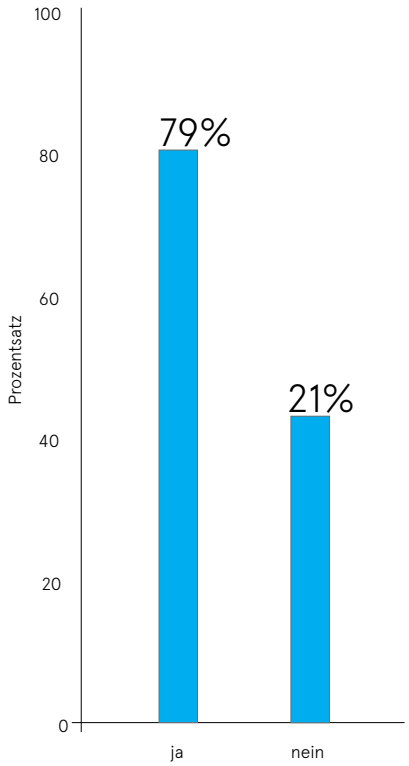
Auch die Schüler selbst würden sich laut Angaben der Lehrer nicht beschweren, dass sie während des Unterrichts Verständnisprobleme hätten.

Wie oft haben Sie unterm Schuljahr mit Ihrer Stimme Probleme (Räuspern, Hüsteln, Heiserkeit)?



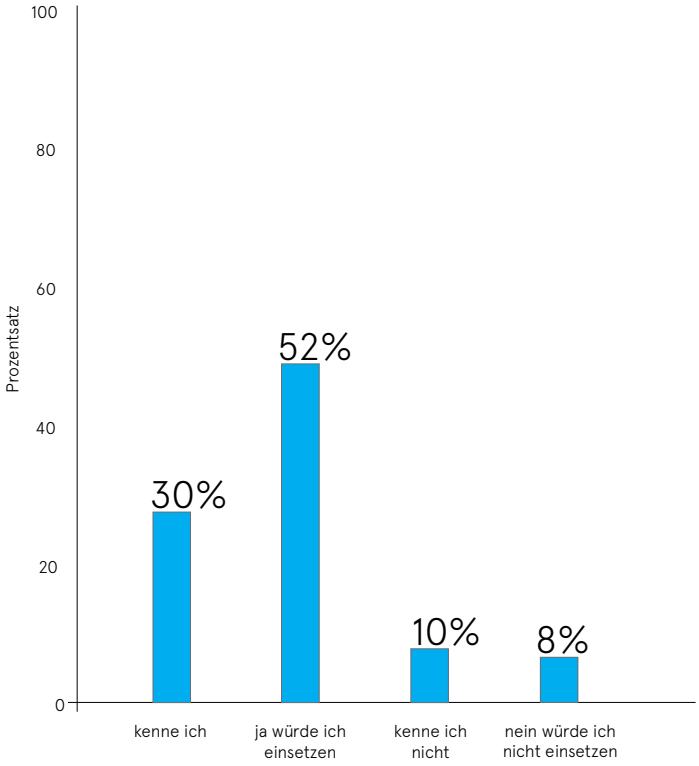
Diese Frage sollte die Gesundheit in Hinblick auf stimmliche Probleme genauer untersuchen. Rund ein Drittel würden manchmal unter stimmlichen Problemen leiden, ein weiteres Drittel hingegen nur selten. Die Antworten mit ***eher oft*** bis ***sehr oft*** fielen mit ca. 20% sehr gering aus und können vernachlässigt werden.

Vermeiden Sie offene oder handlungsorientierte Unterrichtsformen, da dies schnell zu laut wird?



Im Altbau werden offene oder freiere Unterrichtsmethoden aufgrund des stark ansteigenden Lärmpegels des öfteren vermieden. Da die Unterrichtsräume durch deren Möblierung nicht für derartige Methoden geeignet sind, dient teilweise der Gangbereich des Altbaus als zusätzlicher Aufenthaltsraum. Aufgrund der angeblich schlechten Akustik in diesem Bereich des Schulgebäudes werden dort freiere und handlungsorientiertere Unterrichtsmethoden vermieden. Zum einen durch den dadurch im Gang entstehenden hohen Geräuschpegel und zum anderen um den gleichzeitig stattfindenden Unterricht in den restlichen Klassenräumen nicht zu stören.

Kennen Sie sogenannte Lärmampeln und würden Sie wenn ja, diese gerne in Ihren Klassen einsetzen?



Rund die Hälfte der Befragten kennen sogenannte Lärmampeln und würden diese auch zur Verbesserung der Lärmsituation in den Klassenräumen einsetzen.
Unter einer Lärmampel wird ein Instrument verstanden, welches entweder durch Anzeige verschiedener Farben (rot bedeutet ein zu hoher Schallpegel, grün hingegen kennzeichnet einen optimalen Geräuschpegel) oder durch Warngeräusche die im Raum anwesenden Personen über die Lärmsituation informiert. Diese Ampeln sollen bei den Schülern eine gewisse Sensibilisierung für den selbst produzierten Lärm erwecken. Nur rund 10% würden eine solche Maßnahme zur Lärmreduktion nicht in ihren Klassen einsetzen.

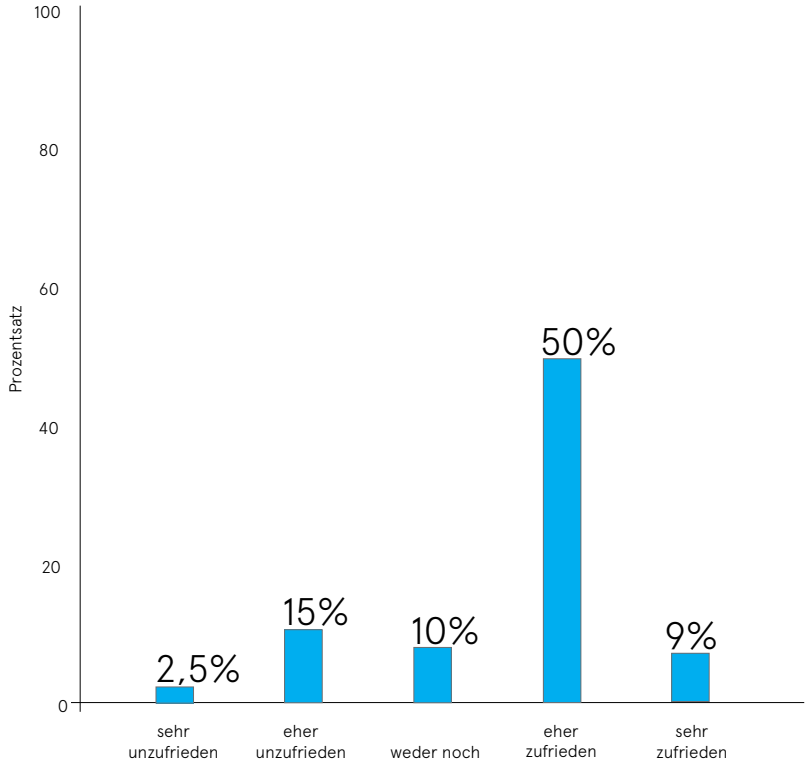
Conclusio - die Lärmsituation im Altbau

Die Ergebnisse der Befragung kann als durchaus positiv gewertet werden. Die Lärmsituation in den Klassenräumen selbst wurde von den Lehrpersonen als überraschend gut eingestuft. Lediglich bei geöffneten Fenstern fühlte sich ein größerer Teil der Befragten durch den Verkehrslärm von der Zinckgasse her gestört.

Die Akustik im Gangbereich im Altbau wurde hingegen von den meisten Lehrern als recht schlecht eingestuft. Da die voll möblierten Klassenräume keine offenen oder handlungsorientierten Unterrichtsmethoden, wie beispielsweise Gruppenarbeiten, zulassen, wird häufig der Gangbereich aus Platzgründen verwendet. Dass dort ebenfalls freiere Unterrichtsformen nicht vollkommen möglich sind, wurde von vielen Lehrpersonen kritisiert.

Aufgrund dieser Aussagen wurde im Zuge der Messungen der Raumakustik auch in den Gangbereichen die akustischen Gegebenheiten ergründet. Sämtliche Ergebnisse dazu werden im Punkt 3.4.3 dieser Diplomarbeit angeführt.

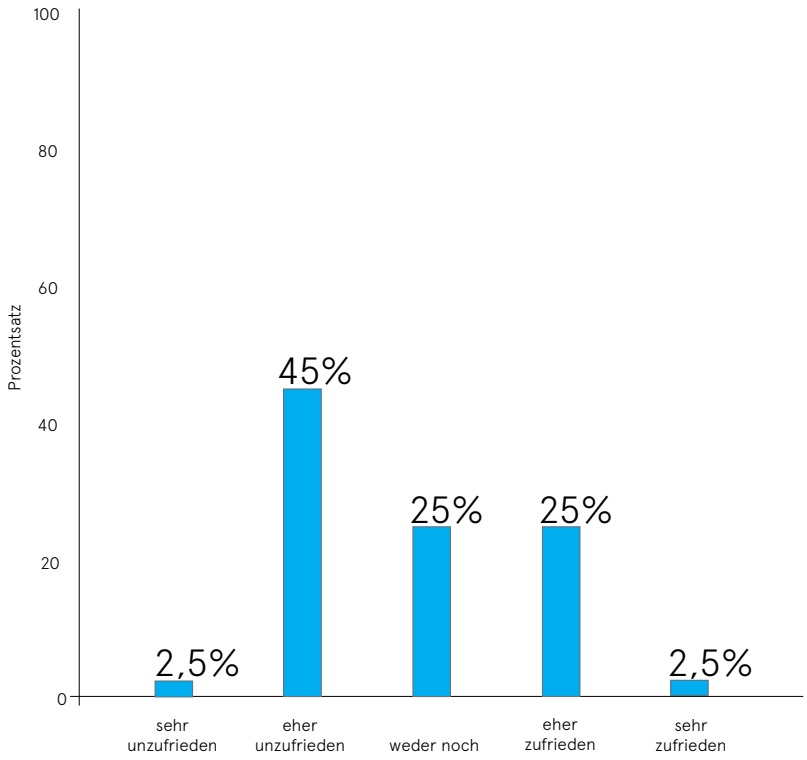
Wie unzufrieden bzw. zufrieden sind Sie mit den akustischen Bedingungen in Ihrem Klassenraum des Neubaus?



Die Hälfte der befragten Lehrer ist mit der akustischen Gegebenheit im Klassenraum zufrieden. Nur 2,5% gaben an sehr unzufrieden zu sein. Lediglich 10% stufen die Raumakustik weder als gut noch als schlecht ein.

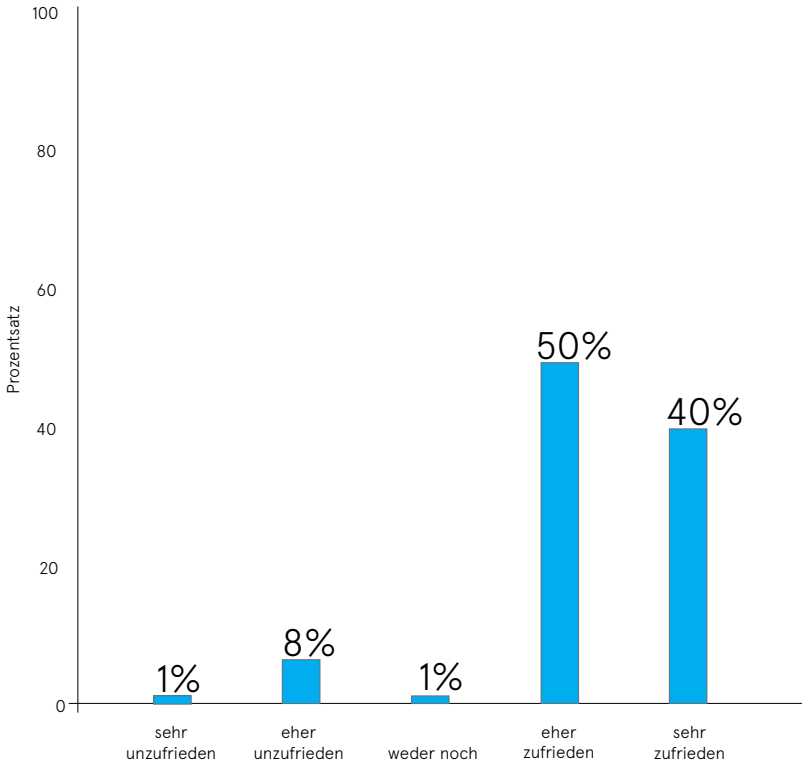
Wie unzufrieden bzw. zufrieden sind Sie mit den akustischen Bedingungen in Ihrem Klassenraum des Neubaus?

(Geräusche von außen bei geöffneten Fenstern)



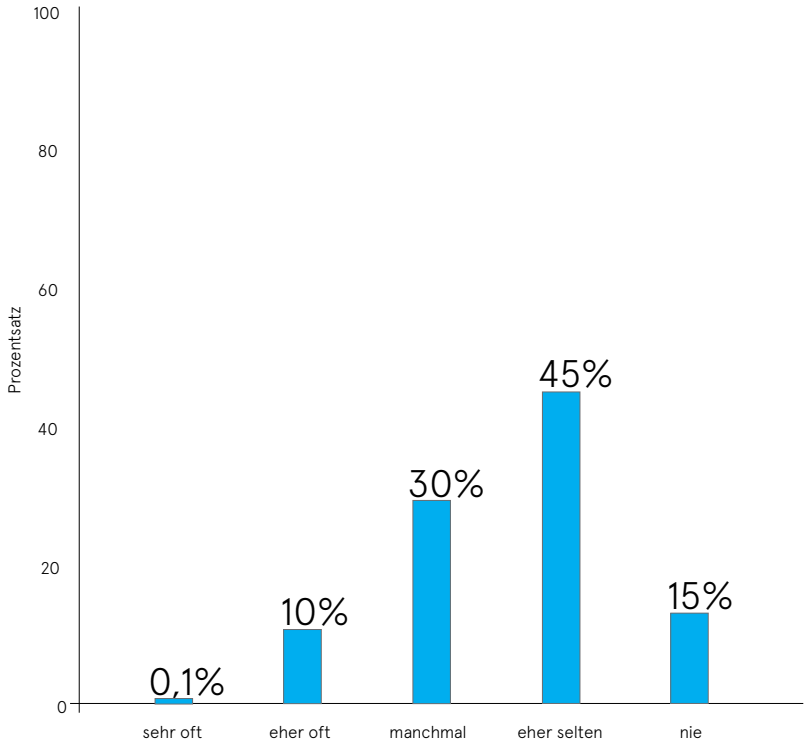
Sind die Fenster im Klassenraum jedoch geöffnet, sind 45% der Befragten mit der Akustik im Raum eher unzufrieden. Die Zufriedenheit hält sich mit rund 28% in Grenzen. Es wird dadurch angenommen, dass die Zinckgasse (alle Klassen sind straßenseitig angeordnet) bei geöffneten Fenstern einen relativ hohen Belastungsfaktor darstellt.

Wie unzufrieden bzw. zufrieden sind Sie mit den akustischen Bedingungen in den Gangbereichen des Neubaus?



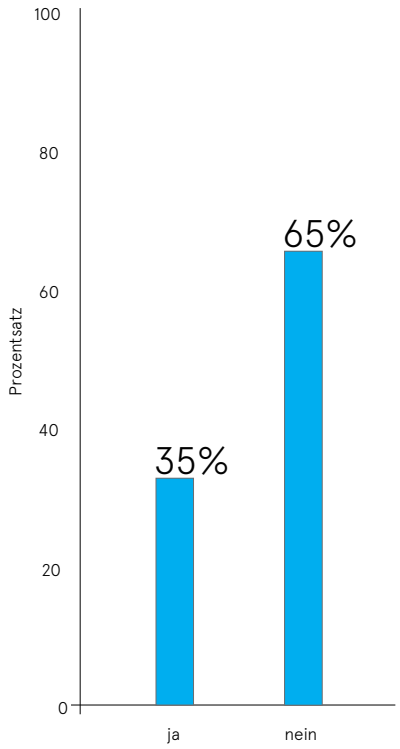
Die Akustik im Gangbereich des Neubaus hingegen wird von den Lehrpersonen als durchaus positiv bewertet. Insgesamt 90% sind eher bis sehr zufrieden. Lediglich rund 10% gaben an, mit der akustischen Situation im Gang unzufrieden zu sein.

Fühlen Sie sich im Unterricht durch Lärm aus benachbarten Klassenräumen (Fluren, Turnsälen etc.) gestört?



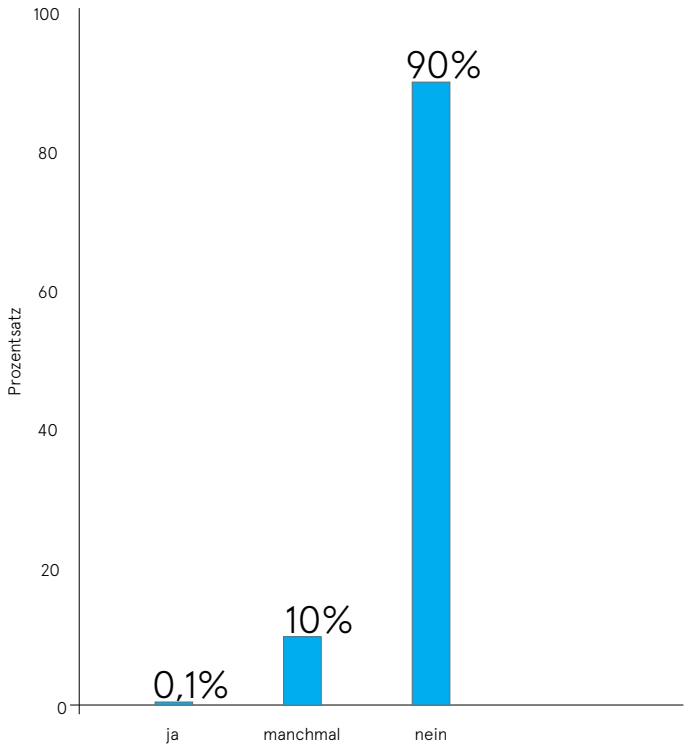
Die vorhergehenden Fragen lassen darauf schließen, dass sich die Lehrpersonen im Unterricht weder von benachbarten Räumen noch vom Gangbereich aus gestört fühlen. Dies zeigt auch das Ergebnis der oberen Grafik. Rund 60% fühlen sich sehr selten bis gar nie vom Lärm aus den benachbarten Räumlichkeiten gestört. Nur 10% sehen die Lärmbelastung als störend an.

Ermahnen Sie oft Ihre Schüler, lauter oder deutlicher zu sprechen?



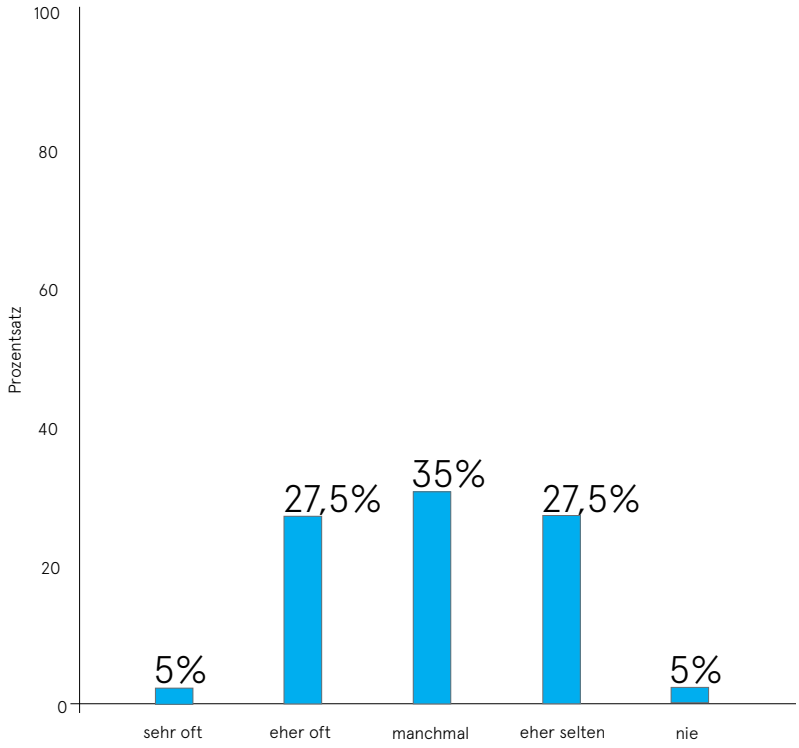
Nur 35% der Lehrer gaben an, dass sie ihre Schüler häufig zum lauter Sprechen ermahnen müssen. Dieser Prozentsatz muss nicht zwingend auf eine schlechte Klassenraumakustik zurückzuführen sein, sondern kann auch einfach auf leise sprechende Schüler zurückgeführt werden.

Beschweren sich Ihre Schüler häufig darüber, dass sie Schwierigkeiten haben, Sie zu verstehen?



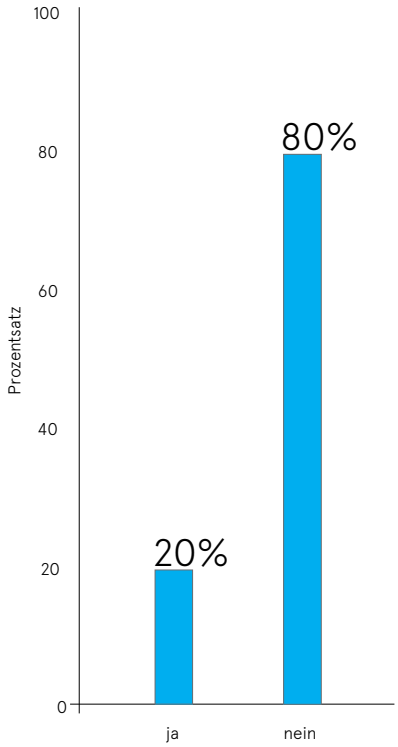
Ein fast eindeutiges Ergebnis wurde bei der Auswertung dieser Frage erzielt. 90% der Lehrer würden von den Schülern immer gut verstanden.

Wie oft haben Sie unterm Schuljahr mit Ihrer Stimme Probleme (Räuspern, Hüsteln, Heiserkeit)?



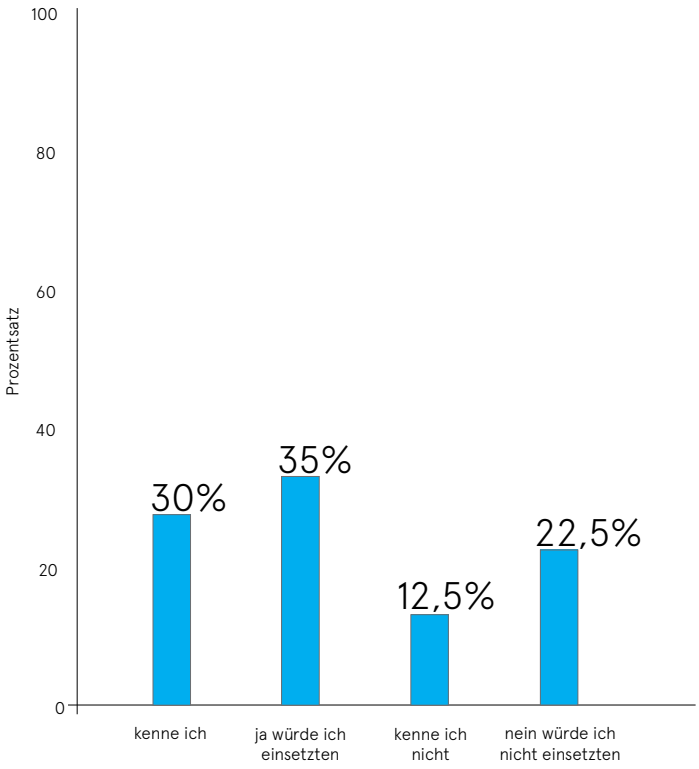
Diese Frage ergab kein eindeutiges Ergebnis. Etwas weniger als ein Drittel würden oft unter stimmlichen Problemen leiden. Rund ein Drittel nur manchmal und ein weiteres Drittel der Befragten antworteten mit eher selten.

Vermeiden Sie offene oder handlungsorientierte Unterrichtsformen, da dies schnell zu laut wird?



Rund 80% der Lehrer gaben an, offene oder handlungsorientierte Unterrichtsformen nicht aufgrund eines rasch ansteigenden Grundgeräuschpegels zu meiden. Im Zuge der Beobachtungen während des Unterrichts konnte festgestellt werden, dass solche freieren Unterrichtsformen bei den Lehrpersonen sehr beliebt waren und auch häufig eingesetzt wurden.

Kennen Sie sogenannte Lärmampeln und würden Sie, wenn ja, diese gerne in Ihren Klassen einsetzen?



Rund ein Drittel kennen sogenannte Lärmampeln und würden diese für die Reduktion des Geräuschpegels einsetzen. Etwa ein Viertel der Befragten hingegen gaben an, diese Art der Lärmkontrolle nicht einzusetzen.

Conclusio - die Lärmsituation im Neubau

Auch im Neubau der Schule in der Zinckgasse wurde die Lärmsituation durchaus positiv gewertet. Sowohl in den Klassenräumen selbst, als auch in den Gangbereichen seien die akustischen Gegebenheiten laut Angaben der Lehrer durchaus positiv zu bewerten. Das Einsetzen von Lärmampeln zur Kontrolle des Geräuschpegels wurde hingegen eher abgelehnt, spielt aufgrund der hohen Zufriedenheit mit der Akustik im Neubau jedoch keine bedeutende Rolle.

B

ERGEBNISSE DER MESSUNGEN IN ZAHLEN

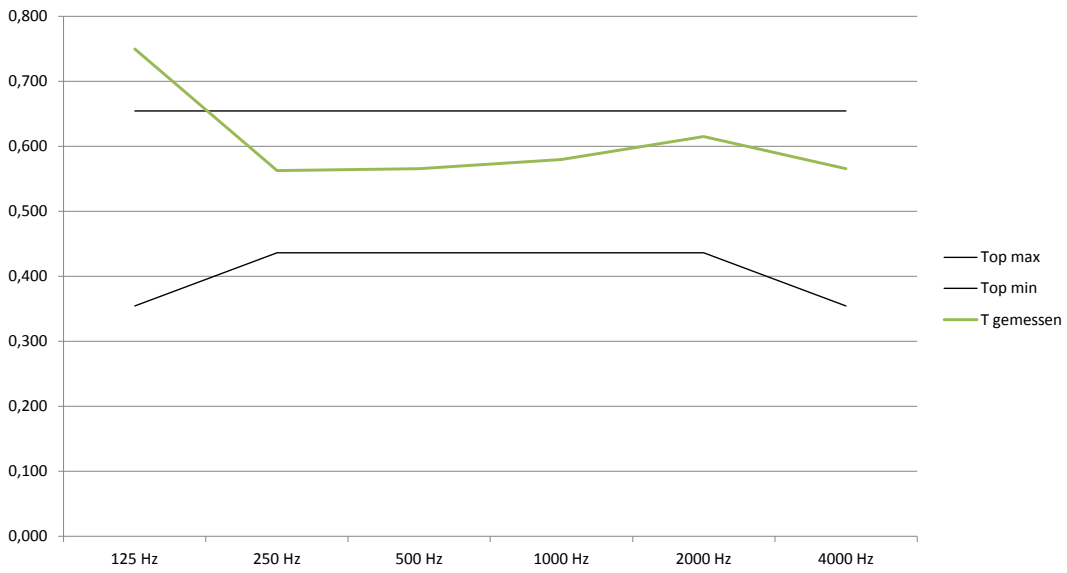
ALTBAU - NEUBAU

In diesem Anhang werden sämtliche Messergebnisse festgehalten, die zur Auswertung der Nachhallzeit in den Unterrichtsräumen, sowie für die Analyse des Schallpegels in den Gangbereichen herangezogen wurden.

3OG Altbau

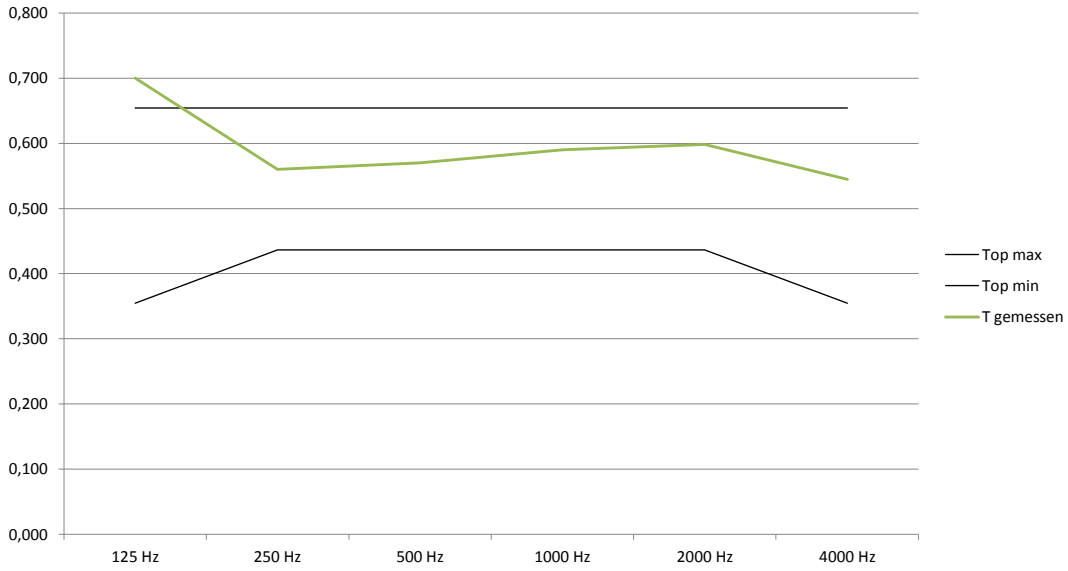
Frequenz (Hz)	gemessene Nachhallzeiten						Mittelwert
50 Hz	1,78	1,75	1,95	1,89		2,13	
63 Hz	0,96	1,37	0,77	1,22	4,69	1,17	
80 Hz	0,96	1,19	0,75	0,92	1,08	0,69	
100 Hz	0,73	0,84	0,49	0,71	0,69	0,52	
125 Hz	0,69	0,72	0,78	0,79	0,71	0,57	0,700
160 Hz	0,53	0,34	0,53	0,73	0,62	0,53	
200 Hz	0,49	0,44	0,5	0,5	0,61	0,65	
250 Hz	0,67	0,56	0,5	0,69	0,44	0,52	0,563
315 Hz	0,57	0,6	0,53	0,51	0,56	0,57	
400 Hz	0,58	0,55	0,44	0,49	0,54	0,7	
500 Hz	0,6	0,59	0,58	0,56	0,56	0,51	0,566
630 Hz	0,55	0,51	0,5	0,54	0,58	0,58	
800 Hz	0,54	0,62	0,55	0,6	0,57	0,51	
1 kHz	0,58	0,57	0,63	0,65	0,55	0,5	0,580
1.25 kHz	0,6	0,55	0,67	0,65	0,55	0,56	
1.6 kHz	0,6	0,58	0,61	0,59	0,58	0,64	
2 kHz	0,59	0,58	0,64	0,64	0,64	0,6	0,615
2.5 kHz	0,62	0,57	0,61	0,61	0,55	0,61	
3.15 kHz	0,59	0,59	0,54	0,56	0,6	0,56	
4 kHz	0,58	0,57	0,56	0,56	0,54	0,58	0,565
5 kHz	0,56	0,54	0,56	0,55	0,51	0,53	
6.3 kHz	0,52	0,54	0,51	0,56	0,54	0,54	
8 kHz	0,48	0,5	0,49	0,48	0,47	0,46	
10 kHz	0,42	0,42	0,44	0,42	0,44	0,43	

	Q1M1	Q1M2	Q2M3	Q2M4	Q1M5	Q2M6



2OG Altbau

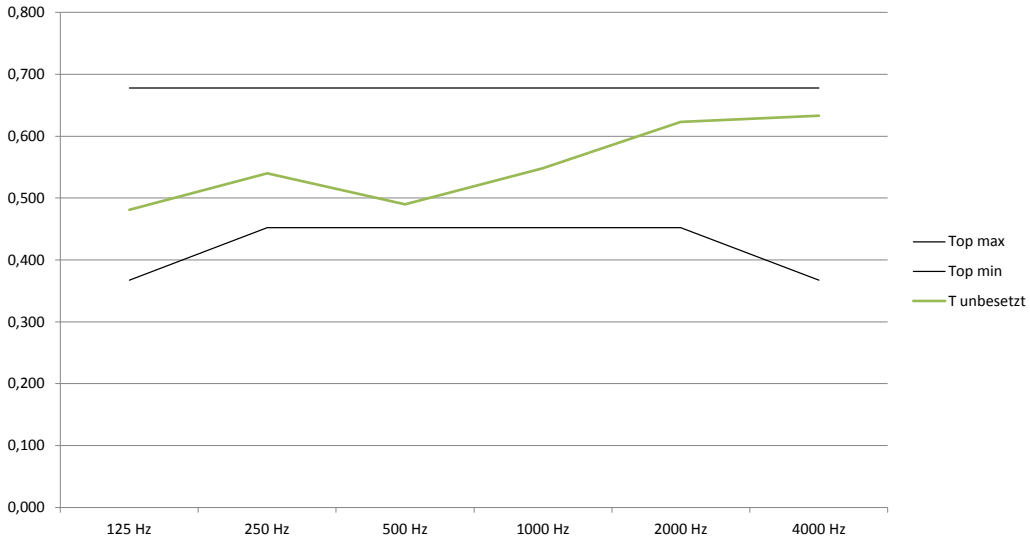
wert	Frequenz (Hz)	gemessene Nachhallzeiten						Mittelwert
	50 Hz	1,78	1,75	1,95	1,89		2,13	
	63 Hz	0,97	1,37	0,77	1,22	4,69	1,17	
	80 Hz	0,97	1,19	0,75	0,96	1,08	0,69	
	100 Hz	0,7	0,84	0,49	0,71	0,69	0,52	
700	125 Hz	0,69	0,72	0,78	0,79	0,71	0,57	0,700
	160 Hz	0,53	0,34	0,53	0,73	0,62	0,53	
	200 Hz	0,45	0,44	0,5	0,5	0,61	0,65	
563	250 Hz	0,66	0,57	0,5	0,68	0,43	0,52	0,56
	315 Hz	0,6	0,6	0,53	0,51	0,56	0,53	
	400 Hz	0,59	0,55	0,42	0,49	0,54	0,7	
566	500 Hz	0,59	0,61	0,59	0,56	0,56	0,51	0,57
	630 Hz	0,55	0,51	0,5	0,54	0,58	0,58	
	800 Hz	0,54	0,62	0,55	0,6	0,57	0,51	
580	1 kHz	0,59	0,56	0,64	0,65	0,6	0,5	0,59
	1.25 kHz	0,6	0,55	0,67	0,65	0,57	0,56	
	1.6 kHz	0,6	0,58	0,62	0,59	0,58	0,64	
615	2 kHz	0,57	0,58	0,62	0,63	0,62	0,6	0,598
	2.5 kHz	0,62	0,57	0,6	0,61	0,55	0,61	
	3.15 kHz	0,59	0,59	0,54	0,61	0,6	0,56	
,565	4 kHz	0,56	0,55	0,56	0,55	0,53	0,52	0,545
	5 kHz	0,56	0,54	0,56	0,55	0,52	0,53	
	6.3 kHz	0,53	0,54	0,51	0,6	0,54	0,54	
	8 kHz	0,48	0,5	0,49	0,48	0,47	0,47	
	10 kHz	0,42	0,41	0,44	0,42	0,44	0,43	
		Q1M1	Q1M2	Q2M3	Q2M4	Q1M5	Q2M6	



ANHANG B 1

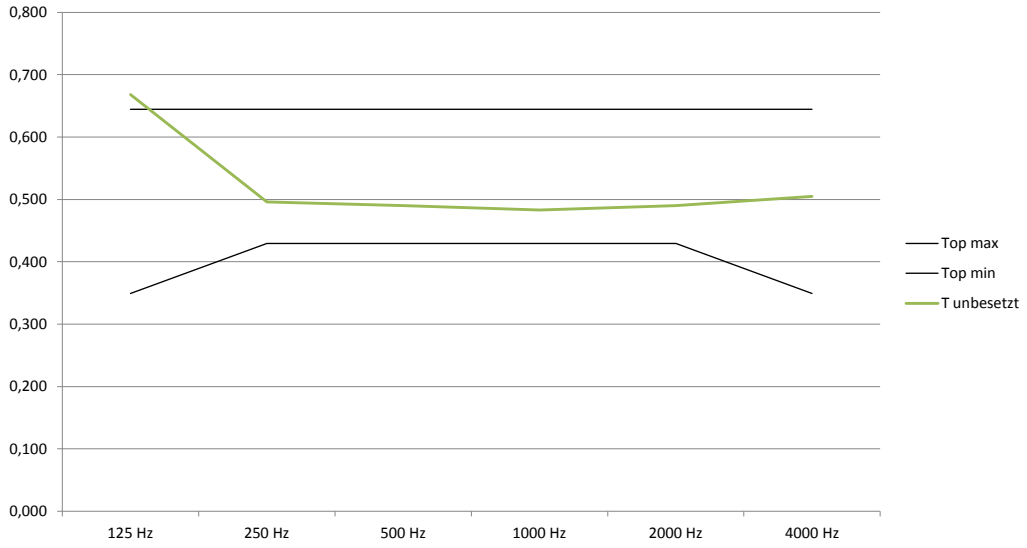
10G Altbau

Frequenz (Hz)	gemessene Nachhallzeiten						Mittelwert
50 Hz	1,16	--	1,3	0,94	1,38	0,96	
63 Hz	1,11	0,55	1,38	0,75	0,34	0,76	
80 Hz	0,66	0,36	0,61	0,87	0,55	0,85	
100 Hz	0,6	0,94	0,86	0,66	0,63	0,54	
125 Hz	0,56	0,48	0,45	0,33	0,5	0,57	0,481
160 Hz	0,59	0,33	0,48	0,47	0,61	0,46	
200 Hz	0,42	0,35	0,35	0,63	0,33	0,3	
250 Hz	0,52	0,5	0,47	0,56	0,56	0,63	0,540
315 Hz	0,5	0,44	0,49	0,49	0,52	0,62	
400 Hz	0,48	0,49	0,42	0,55	0,46	0,48	
500 Hz	0,46	0,49	0,52	0,48	0,51	0,48	0,490
630 Hz	0,47	0,56	0,56	0,45	0,47	0,46	
800 Hz	0,5	0,48	0,52	0,56	0,44	0,48	
1 kHz	0,52	0,55	0,57	0,58	0,49	0,58	0,548
1.25 kHz	0,55	0,54	0,61	0,63	0,55	0,57	
1.6 kHz	0,58	0,58	0,57	0,63	0,61	0,56	
2 kHz	0,57	0,59	0,63	0,63	0,68	0,64	0,623
2.5 kHz	0,65	0,6	0,62	0,6	0,67	0,76	
3.15 kHz	0,67	0,63	0,61	0,65	0,64	0,71	
4 kHz	0,62	0,59	0,64	0,61	0,63	0,71	0,633
5 kHz	0,59	0,61	0,6	0,62	0,61	0,79	
6.3 kHz	0,59	0,58	0,55	0,57	0,61	0,62	
8 kHz	0,53	0,52	0,55	0,55	0,53	0,56	
10 kHz	0,45	0,46	0,49	0,46	0,47	0,47	
	Q1M1	Q1M2	Q2M3	Q2M4	Q1M5	Q2M6	



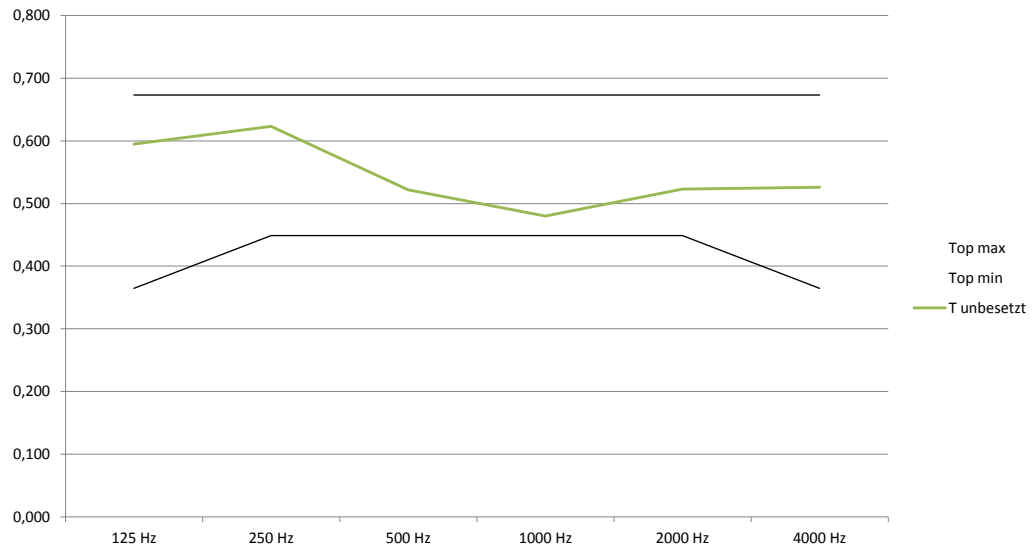
3OG Neubau

Frequenz (Hz)	gemessene Nachhallzeiten						Mittelwert
50 Hz		1,32	0,84	0,94	4,41	0,64	
63 Hz		1,19	1,13	1,26	1,07	1,1	
80 Hz	1,18	1,18	1,06	1,34	1,1	1,35	
100 Hz	0,56	0,43	0,67	1,13	0,82	0,77	
125 Hz	0,86	0,5	0,46	0,7	0,75	0,74	0,668
160 Hz	0,59	0,45	0,49	0,52	0,48	0,69	
200 Hz	0,44	0,38	0,47	0,42	0,43	0,7	
250 Hz	0,56	0,42	0,56	0,45	0,49	0,5	0,496
315 Hz	0,54	0,47	0,5	0,58	0,47	0,43	
400 Hz	0,49	0,41	0,49	0,45	0,41	0,44	
500 Hz	0,51	0,42	0,47	0,59	0,48	0,47	0,490
630 Hz	0,49	0,41	0,41	0,43	0,54	0,46	
800 Hz	0,43	0,42	0,47	0,4	0,43	0,48	
1 kHz	0,5	0,44	0,46	0,54	0,53	0,43	0,483
1.25 kHz	0,45	0,5	0,44	0,48	0,5	0,48	
1.6 kHz	0,52	0,49	0,45	0,48	0,47	0,47	
2 kHz	0,51	0,5	0,5	0,48	0,49	0,46	0,490
2.5 kHz	0,51	0,52	0,49	0,51	0,5	0,56	
3.15 kHz	0,5	0,53	0,47	0,48	0,52	0,52	
4 kHz	0,49	0,49	0,51	0,52	0,51	0,51	0,505
5 kHz	0,49	0,5	0,49	0,55	0,51	0,53	
6.3 kHz	0,51	0,5	0,48	0,47	0,47	0,51	
8 kHz	0,46	0,47	0,48	0,46	0,46	0,5	
10 kHz	0,42	0,42	0,44	0,42	0,44	0,43	
	Q1M1	Q1M2	Q2M3	Q2M4	Q1M5	Q2M6	



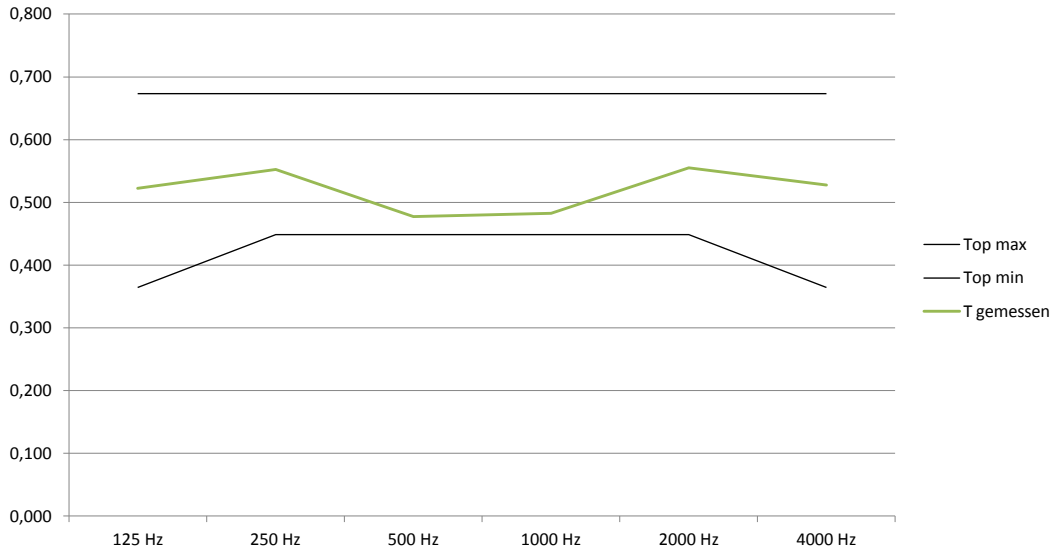
2OG Neubau

Frequenz (Hz)	gemessene Nachhallzeiten						Mittelwert
50 Hz	-	-	-	-	-	-	
63 Hz	0,87	1,73	1,39	1,05	1,05	1,24	
80 Hz	0,84	0,94	0,79	0,58	0,73	0,99	
100 Hz	0,68	0,66	0,61	0,44	0,68	0,59	
125 Hz	0,63	0,69	0,59	0,36	0,63	0,67	0,595
160 Hz	0,49	0,67	0,44	0,39	0,65	0,67	
200 Hz	0,5	0,52	0,69	0,45	0,41	0,51	
250 Hz	0,71	0,78	0,52	0,58	0,55	0,60	0,623
315 Hz	0,46	0,52	0,46	0,48	0,43	0,50	
400 Hz	0,41	0,57	0,47	0,54	0,45	0,44	
500 Hz	0,51	0,48	0,53	0,52	0,52	0,57	0,522
630 Hz	0,59	0,51	0,48	0,52	0,52	0,56	
800 Hz	0,47	0,47	0,48	0,5	0,51	0,43	
1 kHz	0,44	0,45	0,54	0,5	0,47	0,48	0,480
1.25 kHz	0,5	0,54	0,49	0,54	0,52	0,55	
1.6 kHz	0,54	0,53	0,52	0,51	0,52	0,52	
2 kHz	0,52	0,54	0,55	0,52	0,46	0,55	0,523
2.5 kHz	0,53	0,49	0,5	0,51	0,53	0,52	
3.15 kHz	0,52	0,5	0,54	0,56	0,56	0,52	
4 kHz	0,52	0,49	0,54	0,53	0,54	0,54	0,526
5 kHz	0,51	0,52	0,51	0,54	0,53	0,54	
6.3 kHz	0,48	0,51	0,49	0,5	0,52	0,5	
8 kHz	0,47	0,48	0,5	0,49	0,48	0,52	
10 kHz	0,42	0,42	0,44	0,42	0,44	0,43	
	Q1M1	Q1M2	Q2M3	Q2M4	Q1M5	Q2M6	



1OG Neubau

Frequenz (Hz)	gemessene Nachhallzeiten						Mittelwert
50 Hz	4,69		1,74	1,11	1,74	1,11	
63 Hz	0,97	1,44	1,37	1,04	1,37	1	
80 Hz	0,84	1,08	1	0,84	1	0,83	
100 Hz	0,47	0,65	0,82	0,7	0,82	0,7	
125 Hz	0,39	0,78	0,57	0,37	0,59	0,44	0,5225
160 Hz	0,48	0,48	0,45	0,44	0,45	0,43	
200 Hz	0,48	0,63	0,54	0,56	0,55	0,56	
250 Hz	0,52	0,5	0,6	0,58	0,58	0,54	0,5525
315 Hz	0,5	0,57	0,58	0,44	0,58	0,42	
400 Hz	0,42	0,5	0,54	0,33	0,51	0,33	
500 Hz	0,53	0,44	0,46	0,49	0,44	0,5	0,4775
630 Hz	0,5	0,49	0,48	0,45	0,48	0,44	
800 Hz	0,54	0,52	0,37	0,45	0,37	0,43	
1 kHz	0,54	0,5	0,43	0,47	0,47	0,49	0,4825
1.25 kHz	0,48	0,55	0,54	0,56	0,53	0,56	
1.6 kHz	0,54	0,53	0,53	0,56	0,54	0,57	
2 kHz	0,52	0,63	0,49	0,58	0,52	0,59	0,555
2.5 kHz	0,5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	
3.15 kHz	0,52	0,56	0,51	0,52	0,52	0,52	
4 kHz	0,52	0,57	0,51	0,51	0,52	0,54	0,5275
5 kHz	0,54	0,56	0,53	0,51	0,54	0,51	
6.3 kHz	0,52	0,55	0,51	0,52	0,52	0,52	
8 kHz	0,49	0,5	0,48	0,47	0,48	0,48	
10 kHz	0,42	0,42	0,44	0,42	0,44	0,43	
	Q1M1	Q1M2	Q2M3	Q2M4	Q1M5	Q2M6	

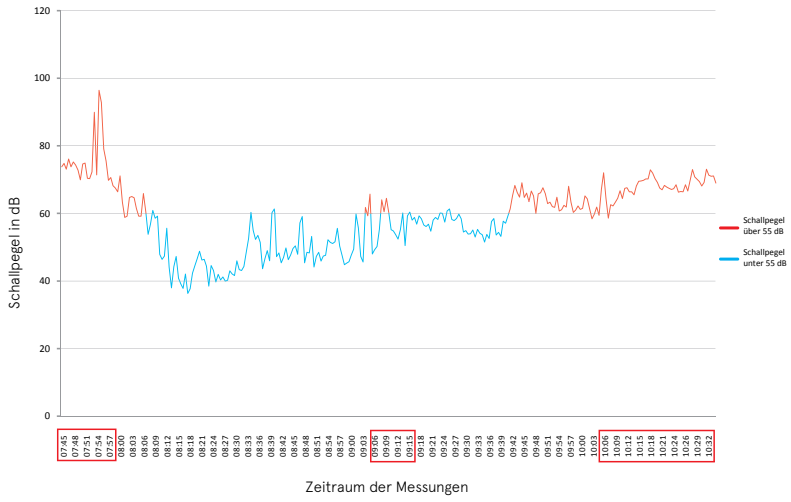


ERGEBNISSE DER SCHALLPEGELMESSUNGEN

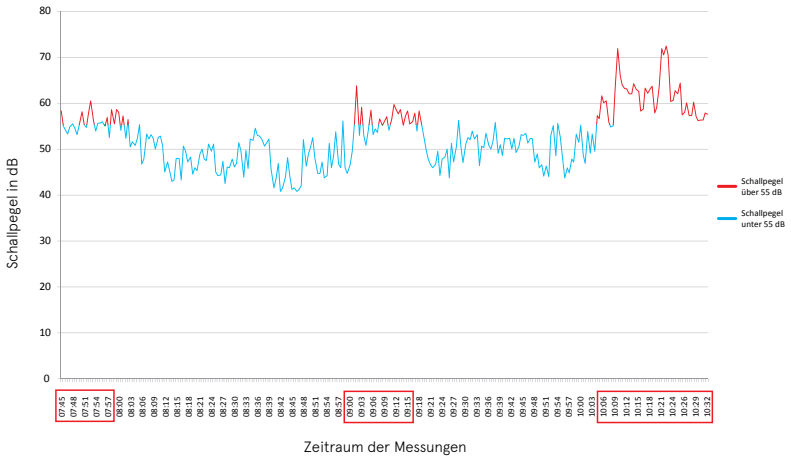
Gang Altbau & Neubau

Zeit	Laeq Altbau	Laeq Neubau
07:45	72,8	58,8
07:48	85,2	55,2
07:51	90,2	61,5
07:54	93,2	58,0
07:57	85,1	52,3
08:00	95,4	51,1
08:03	64,2	47,6
08:06	65,8	52,8
08:09	56,3	49,2
08:12	60,1	47,3
08:15	45,7	41,8
08:18	37,2	44,5
08:21	43,7	47,5
08:24	51,2	43,1
08:27	39,4	42,8
08:30	42,4	48,9
08:33	58,3	49,2
08:36	56,8	54,3
08:39	52,3	51,9
08:42	45,5	49,2
08:45	42,6	47,9
08:48	47,8	45,8
08:51	51,3	41,2
08:54	56,8	44,5
08:57	44,5	47,3
09:00	42,8	47,0
09:03	54,0	55,0
09:06	63,2	63,2
09:09	61,5	59,1
09:12	59,7	55,6
09:15	74,5	45,1
09:18	59,3	57,2
09:21	56,7	49,5
09:24	53,4	44,3
09:27	59,3	45,9
09:30	54,9	54,9
09:33	51,4	51,4
09:36	49,6	50,2
09:39	54,3	47,4
09:42	64,6	49,4
09:45	62,3	51,3
09:48	71,3	58,9
09:51	65,2	61,3
09:54	67,0	55,4
09:57	71,2	72,2
10:00	74,5	74,5
10:03	76,3	64,5
10:06	63,1	71,2
10:09	65,8	62,4
10:12	67,3	64,3
10:15	69,2	69,2
10:18	74,3	74,3
10:21	71,8	71,8
10:24	75,3	71,3
10:26	69,2	69,1
10:29	67,5	58,9
10:32	68,0	56,4

Graphische Auswertung der Messergebnisse im Altbau



Graphische Auswertung der Messergebnisse im Neubau



ANHANG B 2

C

PLANMATERIAL DER SCHULE IN DER ZINCKGASSE

ALTBAU - NEUBAU

In diesem Anhang werden sämtliche Pläne des Alt- und Neubaus der Schule in der Zinckgasse abgedruckt.

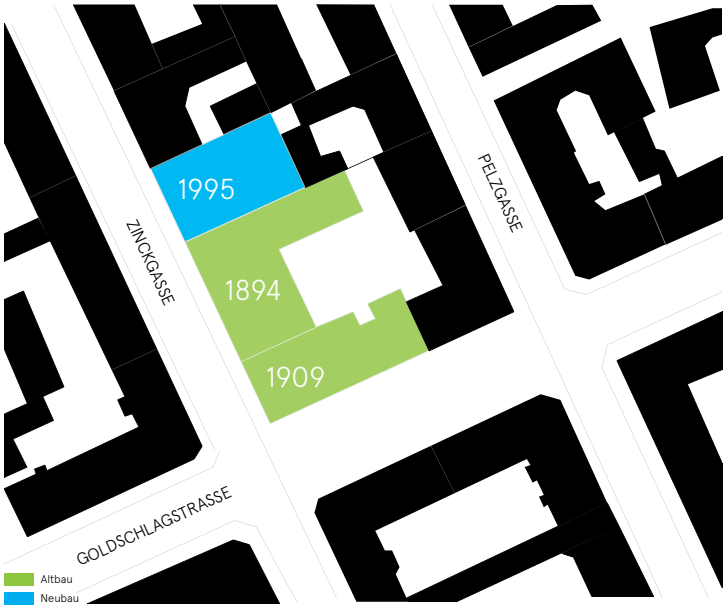
Abbildung 101 | Neubau ÜSPZ

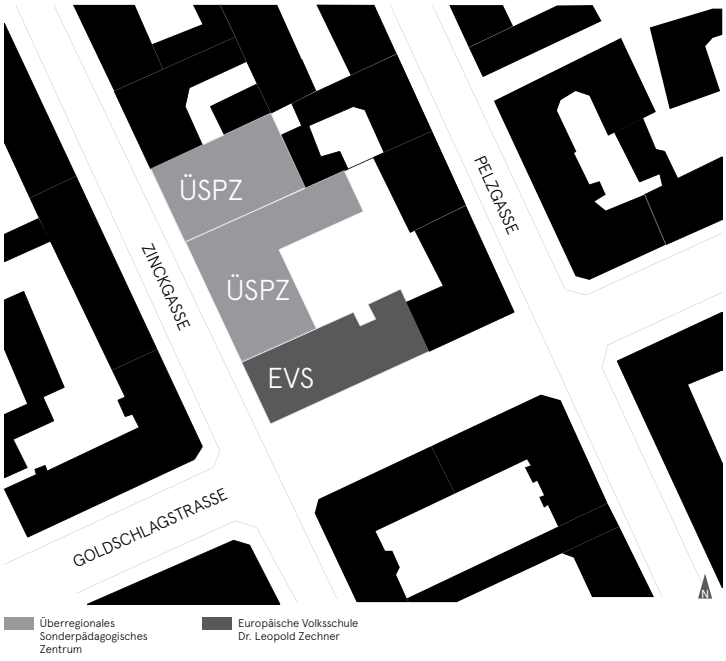
Abbildung 102 | Altbau ÜSPZ

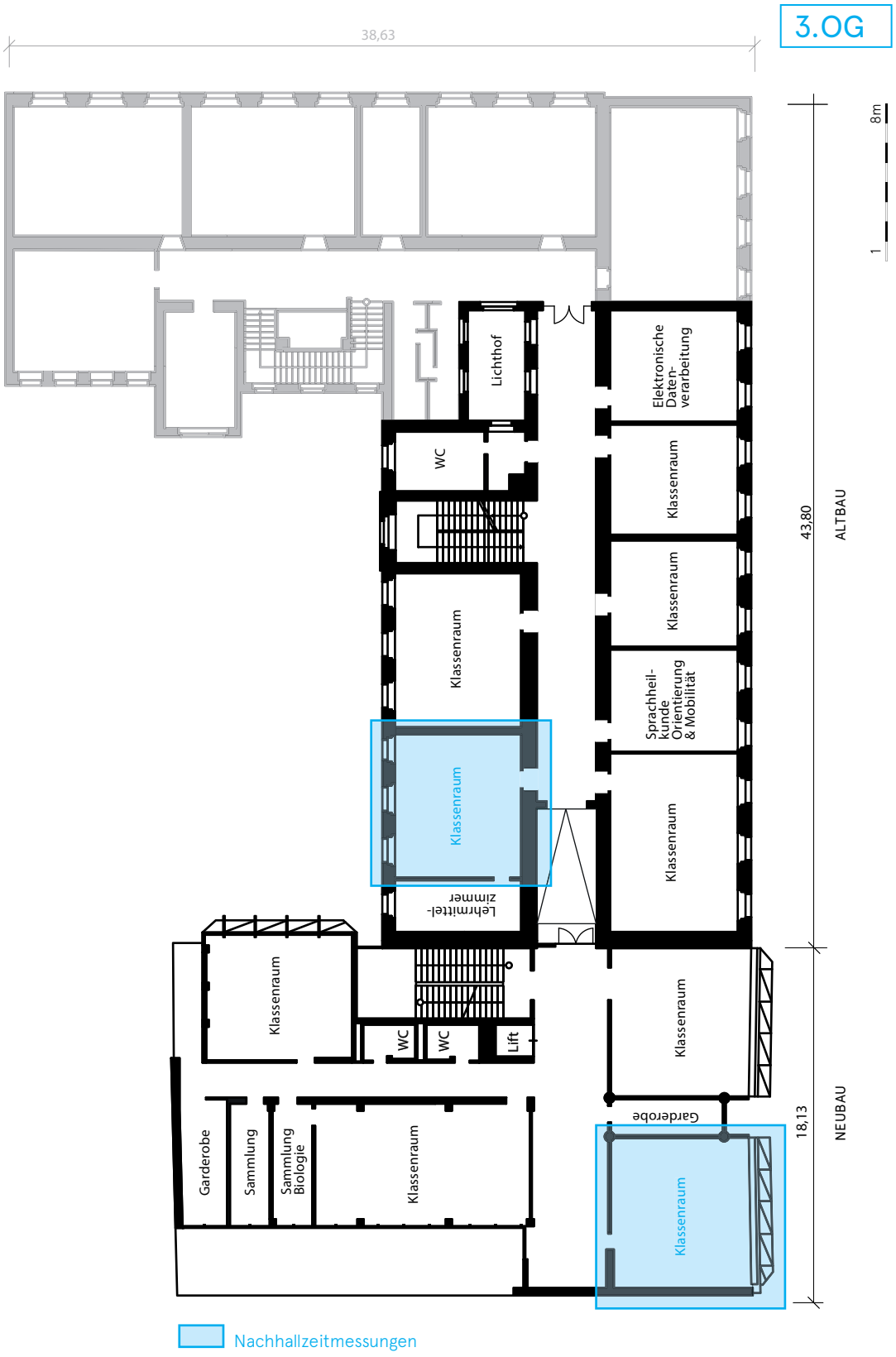
Abbildung 103 | 104 | 105 | Schülerzeichnung

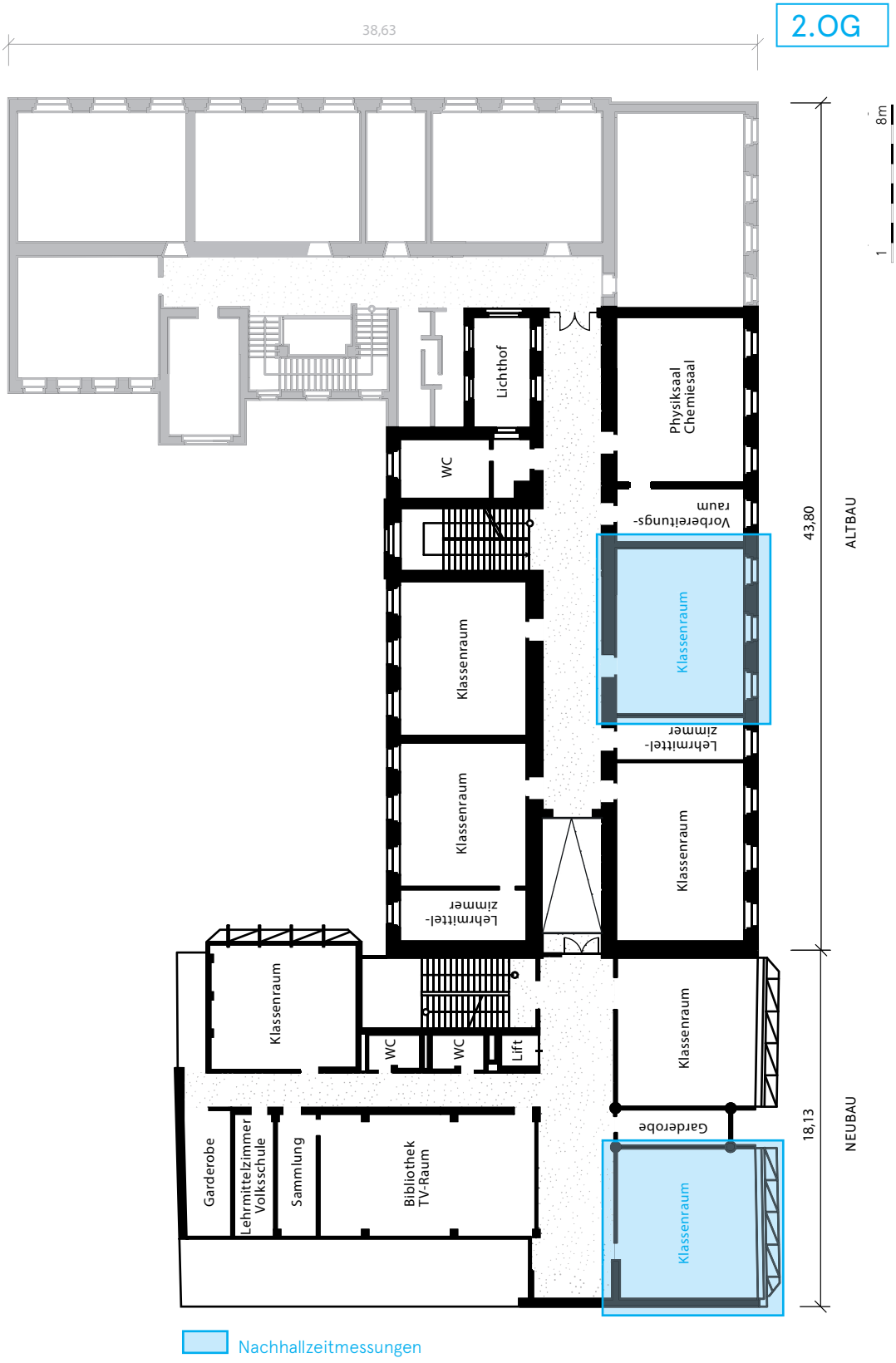
Abbildung 106 | Gangbereich Neubau

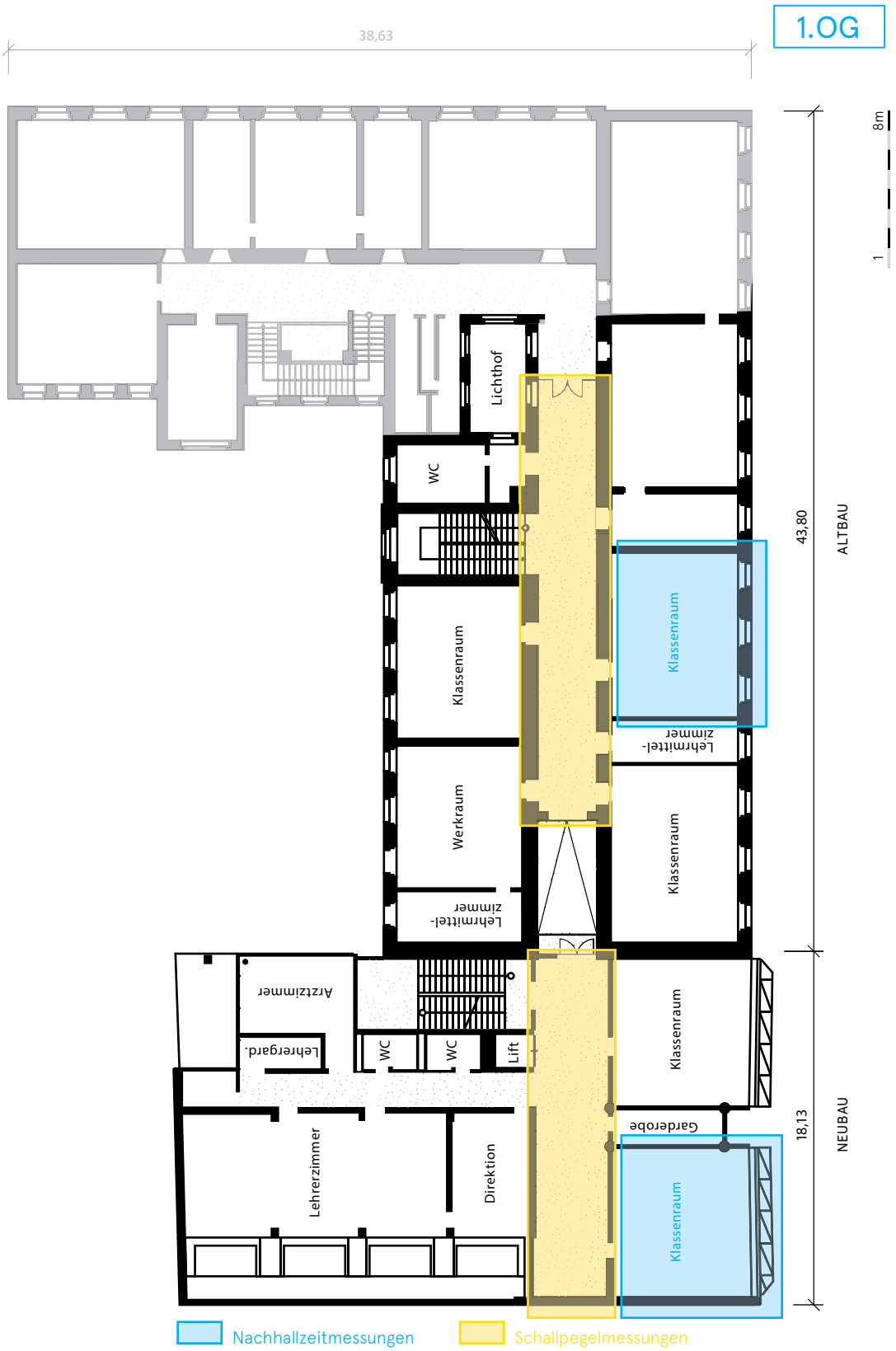
Abbildung 107 | Gangbereich Altbau

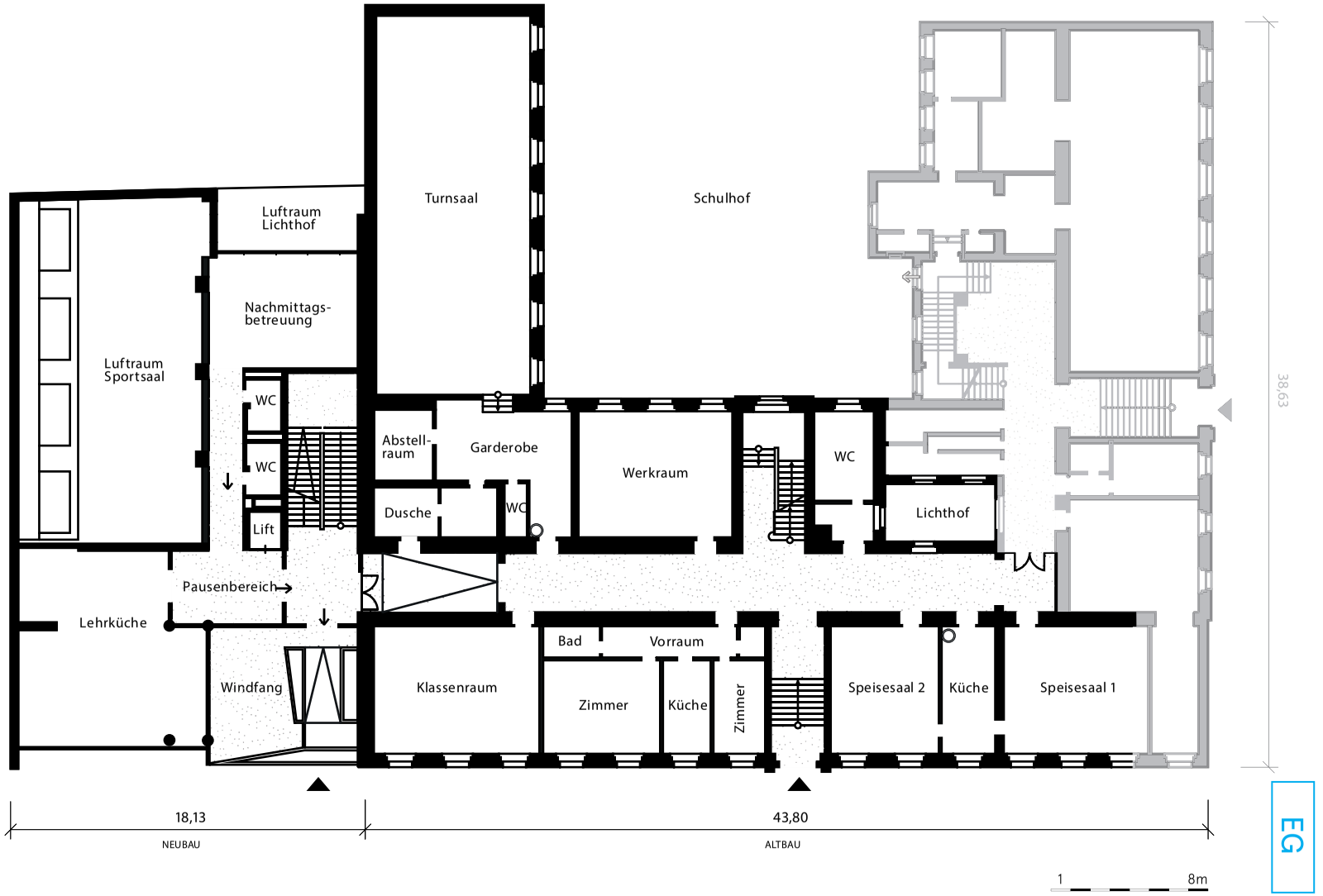

1995
1894
1909
ZINCKGASSE
PELZGASSE
GOLDSCHLAGSTRASSE
Altbau
Neubau


ÜSPZ
ÜSPZ
EVS
ZINCKGASSE
PELZGASSE
GOLDSCHLAGSTRASSE
Überregionales Sonderpädagogisches Zentrum
Europäische Volksschule Dr. Leopold Zechner


3.OG
38,63
8m
1
43,80
ALTBAU
18,13
NEUBAU
Lichthof
Elektronische Daten-verarbeitung
WC
Klassenraum
Klassenraum
Klassenraum
Sprachheil-kunde Orientierung & Mobilität
Klassenraum
Klassenraum
Lehrmittel-zimmer
Klassenraum
Klassenraum
WC
WC
Lift
Garderobe
Garderobe
Sammlung
Sammlung Biologie
Klassenraum
Klassenraum
Nachhallzeitmessungen

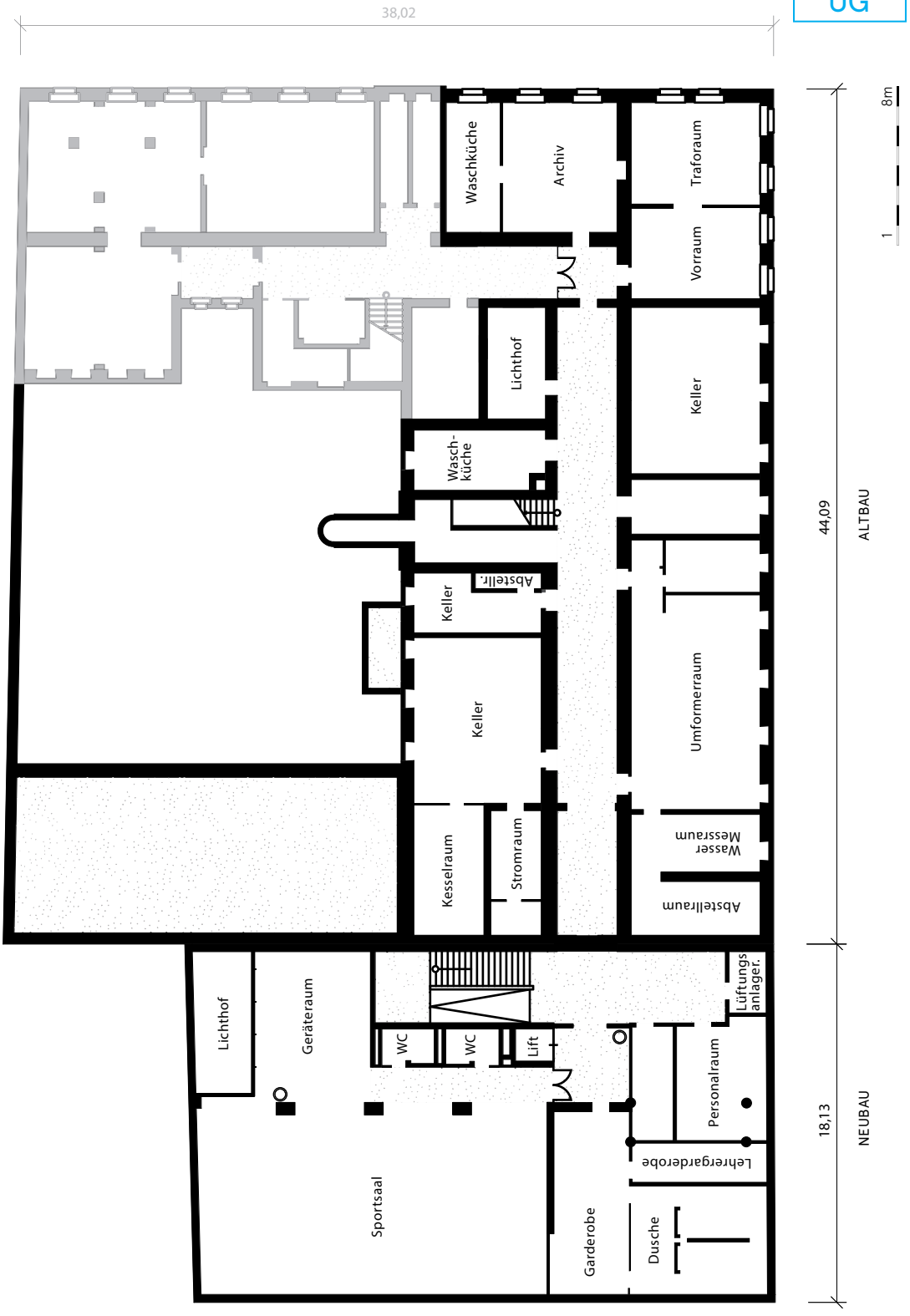

2.OG
38,63
8m
1
43,80
ALTBAU
18,13
NEUBAU
Lichthof
Physiksaal
Chemiesaal
WC
Vorbereitungs-
raum
Klassenraum
Klassenraum
Lehrmittel-
zimmer
Klassenraum
Klassenraum
Lehrmittel-
zimmer
Klassenraum
WC
WC
Lift
Klassenraum
Garderobe
Garderobe
Lehrmittelzimmer
Volksschule
Sammlung
Bibliothek
TV-Raum
Klassenraum
Nachhallzeitmessungen


1.OG
38,63
8m
1
Lichthof
WC
Klassenraum
Werkraum
Lehrmittel-zimmer
Klassenraum
Lehrmittel-zimmer
Klassenraum
43,80
ALTBAU
Arztzimmer
Lehrergard.
WC
WC
Lift
Klassenraum
Garderobe
Lehrerzimmer
Direktion
Klassenraum
18,13
NEUBAU
Nachhallzeitmessungen
Schallpegelmessungen


Turnsaal
Schulhof
Luftraum Lichthof
Nachmittags-betreuung
Luftraum Sportsaal
WC
WC
Lift
Abstell-raum
Garderobe
Werkraum
WC
Dusche
WC
Lichthof
Pausenbereich
Lehrküche
Windfang
Klassenraum
Bad
Vorraum
Zimmer
Küche
Zimmer
Speisesaal 2
Küche
Speisesaal 1
38,63
18,13
NEUBAU
43,80
ALTBAU
1
8m

EG

UG


38,02
8m
1
Waschküche
Archiv
Traforaum
Vorraum
Lichthof
Keller
Wasch-
küche
Abstellr.
Keller
Keller
Umformerraum
Kesselraum
Stromraum
Wasser
Messraum
Abstellraum
44,09
ALTBAU
Lichthof
Geräteraum
WC
WC
Lift
Lüftungs
anlager.
Personalraum
Lehrergarderobe
Sportsaal
Garderobe
Dusche
18,13
NEUBAU