



Umwelt und Geologie

Lärmschutz in Hessen, Heft 4

2. Auflage

Lärminderung in Schulen



Umwelt und Geologie
Lärmschutz in Hessen, Heft 4

Lärminderung in Schulen

2. Auflage

XXX

Wiesbaden, 2013

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Impressum

Umwelt und Geologie
Lärmschutz in Hessen, Heft 4

2. Auflage

ISSN 1617-4038
ISBN 978-3-89026-575-9

Lärmminderung in Schulen

Bearbeiter:

Zusammenfassung: Dr. Wolfgang Eberle, HMULV
Teil 1: Prof. Dr. August Schick
Dr. Maria Klatte
Universität Oldenburg
Institut für Psychologie
Postfach 2503
26111 Oldenburg

Teil 2: Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz
TAC - Technische Akustik
Am Zollhaus 50
41352 Korchenbroich

Betreuung durch HLUG: Dezernat I4, Barbara Hakenberg, Dr. Lothar Ohse

Layout/Druckvorbereitung: Dezernat Z2, Hermann Brenner

Herausgeber, © und Vertrieb:
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Telefon: 0611/701034
Telefax: 0611/9740813
E-Mail: vertrieb@hlug.de

Vorwort zur 1. Auflage

Eine gute Schulausbildung sichert die Zukunft unserer Kinder. Die PISA-Studien verdeutlichten, dass wir hier handeln müssen. Ein wichtiger und lange vernachlässigter Aspekt ist die Raumakustik von Unterrichtsräumen. Hallige Räume, wie wir sie oft noch vorfinden, erzeugen unnötig hohe Geräuschpegel und beeinträchtigen die Unterrichtsqualität. Dauerhafte Lern- und Konzentrationsprobleme sowie eine Beeinträchtigung des Wohlbefindens und der Gesundheit von Schülerinnen, Schülern und Lehrkräften sind die Folgen.

Stichproben zeigten, dass einschlägige technische Anforderungen an die Raumakustik nicht überall erfüllt sind, obwohl die wissenschaftlichen Erkenntnisse längst in einer Deutschen Industrie Norm verfestigt sind.

Der vorliegende Leitfaden führt zunächst allgemeinverständlich in die grundlegenden Zusammenhänge ein um dann pädagogische Konzepte und technische Maßnahmen aufzuzeigen. Im technischen Teil zielt

der Leitfaden vor allem auf den Neubau und die grundlegende Sanierung von Schulgebäuden und spricht hier in erster Linie Architekten und Bauverantwortliche von Schulämtern und Schulträgern an. Er gibt aber auch Hinweise, wie der Geräuschpegel in den Schulräumen durch pädagogische Konzepte gesenkt oder Schulräume nachträglich akustisch verbessert werden können.

Der Leitfaden ist deshalb auch für Lehrkräfte und Eltern eine nützliche Lektüre. Die hier vorgestellten Zusammenhänge sind weitgehend auch auf die Situation in Kindertagesstätten übertragbar.

Der „Leitfaden Lärminderung in Schulen“ des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz und des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie entstand unter maßgeblicher Unterstützung des Hessischen Kultusministeriums und des Programms „Schule & Gesundheit“ und der Unfallkasse Hessen. Hierfür sei herzlich gedankt.

Vorwort zur 2. Auflage



Die Raumakustik hat einen großen Einfluss auf die Befindlichkeit und das Leistungsvermögen der Menschen, die in den entsprechenden Räumen leben und arbeiten. Dies ist eine Tatsache, die leider oft übersehen wird.

Alle aktuellen Konzepte für eine gute Schulausbildung sehen tendenziell einen längeren Aufenthalt der Schülerinnen, Schüler und Lehrkräfte in den Unterrichtsräumen vor. Dem Einfluss der Raumakustik auf den Unterrichtserfolg ist deshalb noch höhere Aufmerksamkeit zu widmen als bisher. So beeinträchtigen beispielsweise Räume mit einer langen Nachhallzeit das Konzentrationsvermögen und das Lernklima und haben damit unmittelbare Auswirkungen auf die schulischen Leistungen. Aber auch bei den Lehrerinnen und Lehrern zeigen sich negative Folgeerscheinungen. Diese

nachteiligen akustischen Verhältnisse werden durch Messungen bestätigt, die das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie in verschiedenen Schulen durchgeführt hat.

Die Resonanz auf die 1. Auflage des Heftes „Lärminderung in Schulen“, das inhaltsgleich auch als CD erhältlich ist, war sehr hoch und zeigt den großen Bedarf an Informationen zu diesem Thema.

Ich freue mich nun, Ihnen die redaktionell geringfügig überarbeitete 2. Auflage vorlegen zu können und hoffe, dass die Anregungen in dieser Broschüre zur Verbesserung des Unterrichtserfolges beitragen.

A handwritten signature in blue ink that reads "Thomas Schmid".

Dr. Thomas Schmid

Präsident
des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie

Inhalt

Vorwort	3
Inhalt	4
Zusammenfassung	5
Teil 1: Hören, Lärm und Lernen	9
1 Einführung	9
2 Physikalische Grundlagen: Was ist Schall?	10
3 Anatomische und physiologische Grundlagen: Wie wir hören	11
4 Lärm und Lärmwirkungen – eine Übersicht	12
4.1 Aurale Lärmwirkung	13
4.2 Extraaurale Lärmwirkung	15
5 Lärm in Schulen und Kindertagesstätten	16
5.1 Könnt Ihr denn nicht zuhören?! Raumakustik und Sprachverstehen	17
5.2 Wirkungen von Lärm auf kognitive Leistungen von Kindern	21
5.3 Raumakustik, Arbeitsbelastung und „Lernklima“	24
6 Hör- und Zuhörförderung in Schule und Kita	27
7 Materialien und Projekte	28
7.1 Thema Hören, Lärm und Gesundheit	28
7.2 Thema Projekte zur Hör- und Zuhörförderung	29
Teil 2: Raumakustik – Planungsgrundlagen und Sanierungsvorschläge	31
8 Schallausbreitung in einem Raum und Sprachverständlichkeit	31
8.1 Direktschall	31
8.2 Frühe (nützliche) Reflexionen	32
8.3 Nachhall	32
9 Nachhall und Lärm	33
10 DIN 18041 – ein gutes Normenwerk für den Planer	34
10.1 Sollnachhallzeiten für Unterrichtsräume	34
10.2 Sollnachhallzeiten für Sport- und Turnhallen	35
10.3 Weitere Planungshinweise	35
10.4 Bedeutung der Norm als Planungsinstrument für den Bauherren und Architekten	37
11 Möglichkeiten der professionellen Schulraumgestaltung	37
11.1 Schallabsorption von Wand- und Deckenmaterialien	38
11.2 Regulierung der Nachhallzeit mit akustisch absorbierenden Decken	38
11.3 Regulierung der Nachhallzeit mit akustisch absorbierenden Wandelementen	41
12 Untersuchung von Unterrichtsräumen in Hessen - Fallbeispiele	41
13 Maßnahmen durch „Selbsthilfe“	44
13.1 Probleme der Eigenleistung durch Eltern oder Lehrer	44
13.2 Grenzen und Möglichkeiten der akustischen Gestaltung mit „einfachen“ Mitteln	45
13.3 Schallabsorbierende Gestaltung von Einrichtungsgegenständen	47
14 Messtechnische Überprüfung der Schulraumakustik	47
14.1 Raumakustische Messungen – die objektive Beurteilung der Akustik	47
15 Literatur/Normen	50
16 Liste von Herstellern von Akustikdecken	51

Zusammenfassung

Der vorliegende Leitfaden „Lärmminderung in Schulen“ enthält in Teil I eine Übersicht über die Auswirkungen von Lärm in Schulräumen. In Teil II werden die akustischen Anforderungen an die Gestaltung von Unterrichtsräumen dargestellt. Dort werden Wege aufgezeigt, wie effektive Abhilfe durch professionelle Deckengestaltung oder auch durch Projekte in Eigeninitiative nachträglich geschaffen werden kann.

Zugleich sind Lehrkräfte, aber auch Erzieherinnen und Erzieher aufgerufen, einen achtsamen und verantwortungsbewussten Umgang mit dem eigenen Gehör und dem anderer zu vermitteln. Der Leitfaden enthält Anregungen und gibt weiterführende Hinweise.

Auswirkungen auf die Gesundheit

Pädagogen, Psychologen und Akustiker beschäftigen sich seit langem mit den akustischen Bedingungen in Schulräumen und Kindertagesstätten und ihren Wirkungen auf Kinder, Lehrkräfte, Erzieherinnen und Erzieher. Nach einer Studie des Instituts für Interdisziplinäre Schulforschung der Universität Bremen aus dem Jahr 2001 ist Lärm einer der wesentlichsten Belastungsfaktoren im Lehrberuf. Mehr als 80 % von über 1 000 befragten Lehrkräften gaben an, sie fühlten sich durch den Lärm in der Schule belastet. Befragungen von Erzieherinnen und Erziehern zeigen ein ähnliches Bild. Messungen dokumentieren die Berechtigung dieser Klagen. In Kindertagesstätten werden oft Lärmpegel erreicht, bei denen an industriellen Arbeitsplätzen Gehörschutz bereitzustellen ist. In Klassenräumen liegen die Geräuschpegel zwar in der Regel unterhalb des gehörschädigenden Bereichs, aber oft weit über den Werten, die für Kommunikation und geistiges Arbeiten geeignet sind. Typische „Lärmbereiche“ in Schulen sind darüber hinaus die Flure, Pausenhallen, Turnhallen, Werkräume und – im Zuge der Einführung neuer Ganztagschulen – zunehmend auch die Mensen und Cafeterien.

Das Unterrichten in akustisch ungünstigen Räumen bedeutet für die Lehrkräfte Reden mit ständig erhöhter Stimme und hat nachweisbar Auswirkungen auf die Gesundheit. Eine von der Heriot-Watt-Universität Edinburgh durchgeführte Studie zur Klas-

senraumakustik zeigte bei denjenigen Lehrkräften, die vorwiegend in raumakustisch ungünstigen Klassenräumen unterrichteten, einen höheren Krankenstand als bei jenen, die in günstigen Räumen tätig waren. Kinder fühlen sich oft zu Unrecht wegen angeblich „lärmigen“ Verhaltens getadelt – in akustisch sehr ungünstigen Räumen entsteht auch bei „leisem“ Verhalten keine wirkliche Ruhe im Raum.

Auswirkungen auf den Unterricht

Vorschul- und Schulkinder sind auf optimale Hörbedingungen angewiesen, um sprachliche Informationen verstehen und mental verarbeiten zu können. Dies gilt prinzipiell für alle Kinder, in besonderem Maße für diejenigen, denen das Hören und Zuhören schwerer fällt. Hierzu gehören Kinder und Jugendliche mit z. B. infektbedingten vorübergehenden oder chronischen Hörschäden. Es betrifft aber auch den Fremdsprachenunterricht und den Deutschunterricht für Kinder mit Migrationshintergrund.

Unregelmäßige, zeitlich strukturierte Geräusche dringen automatisch, ohne dass es also zu verhindern ist, ins Kurzzeitgedächtnis ein und beeinträchtigen u. a. die dort ablaufenden Lernprozesse. Dabei werden Kinder leichter gestört als Erwachsene. Solche Störungen sind den Betroffenen oft gar nicht bewusst. In einer Studie zeigten beispielsweise Zweitklässler Leistungsverlechterungen beim Behalten von Ziffernfolgen um fast 30 %, wenn im Hintergrund gesprochen wurde; die Erwachsenen verschlechterten sich „nur“ um etwa 10 %.

In akustisch ungeeigneten Räumen sind entspannte und effiziente Unterrichtsgespräche nur bedingt möglich. Die permanent erhöhte Belastung der Lehrkräfte und Kinder kann zur Entstehung einer Atmosphäre der Unlust und Anspannung beitragen und das Lernklima dauerhaft beeinträchtigen, wie eine Untersuchung ergab.

Schallausbreitung und Nachhallzeit

Der Schall in einem Raum setzt sich aus drei Anteilen zusammen, aus Direktschall, nützlichen frühen Reflexionen und Nachhall. Diese Anteile wirken unterschiedlich: Der Direktschall trägt die Hauptinfor-

mation. Auch frühe Reflexionen innerhalb der ersten 50 ms sind nützlich, da das menschliche Gehör diese mit dem Direktschall zusammenfasst. Sie unterstützen den Direktschall und fördern die Erzeugung eines lauten Sprecherpegels und eine gute Sprachverständlichkeit. Im Unterschied zu diesen beiden nützlichen Schallanteilen werden alle Reflexionen, die später als 50 ms am Gehör eintreffen, dem Nachhallbereich zugerechnet. Nachhall stört die Übertragung von Sprache in jedem Fall.

Zur Kennzeichnung der Länge des Nachhalls, als Maß für das zeitliche Abklingverhalten der Schallenergie in einem Raum, wird die Nachhallzeit T benutzt. T ist die Zeit, die vergeht, bis die Schallenergie in einem Raum nach Abschalten eines stationären Signals auf den millionsten Teil der Anfangsenergie absinkt.

Der Nachhall entsteht durch Vielfachreflexionen an den Raumbegrenzungsflächen, daher ist die Nachhallzeit von den Schallabsorptionseigenschaften dieser Flächen abhängig. Da Schallabsorptionseigenschaften frequenzabhängig sind, variiert die Nachhallzeit mit der Frequenz.

Raumakustik

Die Raumakustik befasst sich mit der Auswirkung der baulichen Gegebenheiten auf die Schallausbreitung. Die hier wichtigste Kenngröße ist die Nachhallzeit, die angibt, wie lange ein Schallereignis „nachklingt“. Dies hängt ab von der Größe und der Geometrie des Raumes sowie von den akustischen Eigenschaften der Wände, Decken und Einrichtungsgegenstände. Bei zu langer Nachhallzeit werden beim Sprechen nachfolgende Silben durch den Abklingvorgang verdeckt und die Sprachverständlichkeit leidet.

Nachhall verringert aber nicht nur die Kommunikationsfähigkeit, sondern er ist die maßgebliche physikalische Ursache für die Entstehung von Lärm. Oft wird versucht die schlechte Sprachverständlichkeit zu verbessern, indem der Sprecher lauter spricht. Hierdurch wird aber nicht nur das Nutzsignal, sondern auch der Nachhall gleichermaßen lauter, so dass schließlich die Gesamtsituation lediglich lauter, jedoch die Sprachverständlichkeit nicht besser wird. Dieser so genannte „Lombardeffekt“ sorgt dafür, dass in halligen Räumen der Geräuschpegel über-

mäßig stark ansteigt. Zudem verbleiben alle – auch unvermeidliche – Geräusche wie Stühlerücken, Fußescharren, Husten, Blättern oder Klappern mit Stiften zu lange im Raum – der Lärmpegel steigt.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Verringerung von Nachhallzeiten auf ein optimales Niveau der Geräuschpegel um typischerweise 10 dB gesenkt wird. Eine Verringerung des Geräuschpegels um 10 dB entspricht einer Minderung der Schallenergie um 90 % und in etwa einer Halbierung des Lautstärkeempfindens. Die Regulierung der Nachhallzeit ist die wichtigste Maßnahme zur Verbesserung der Akustik in Klassenräumen.

DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“

Die im Jahre 2004 überarbeitete DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ definiert die „Allgemein anerkannte Regel der Technik“ und richtet sich an Bauherren, Schulträger und Planer. Demnach soll die Nachhallzeit in einem durchschnittlich großen, „besetzten“ Unterrichtsraum etwa 0,5–0,6 s betragen. Nicht nur in alten, sondern auch in neuen oder sanierten Einrichtungen finden sich weit höhere Nachhallzeiten. In Unterrichtsräumen ohne wirksame akustische Gestaltung ist dieser Wert typischerweise wesentlich überschritten. In diesen Fällen bedarf es in der Regel keiner weiteren Messung.

Standard-Akustikdecke

Die Praxis zeigte, dass in typischen Klassenräumen der Einbau einer Akustikdecke genügt, um gute Arbeits- und Unterrichtsverhältnisse herzustellen. Der Leitfaden erläutert, wie die schallabsorbierende Deckenverkleidung in typisch gebauten Unterrichtsräumen zu dimensionieren und installieren ist. Die Beauftragung einer Handwerksfirma ist daraufhin in der Regel ohne weitere Beratung durch einen Akustiker möglich. Die Preisspanne für den Einbau einer einfachen Akustikdecke beginnt bei 25 € pro m² für eine fertig montierte Decke. Die für die professionelle akustische Sanierung eines Klassenraumes entstehenden Kosten betragen etwa 1500 €.

Die Regulierung der Nachhallzeit mit marktüblichen Mitteln ist aus technischer Sicht einfach. Alle namhaften Hersteller von Akustikabsorptionsmate-

rialien haben geeignete Akustikdecken in ihrem Programm. Solche Akustikdecken werden in einem bestimmten Abstand von der Decke montiert und bestehen aus einer Kombination aus porösen und Resonanz-Absorbern. Die schallabsorbierende Wirkung lässt sich so in nahezu allen relevanten Frequenzbereichen erzielen. Auch angesichts der zu den anderen Baukosten vergleichsweise geringen Kosten ist es unbedingt angezeigt, die Umsetzung dieser einfachen Maßnahme bei Neubaumaßnahmen standardmäßig durchzuführen bzw. die DIN 18041 als verbindliche Vorgabe in die Ausschreibung aufzunehmen.

Projekte in Eigeninitiative

Werden um zur Senkung der Kosten oder im Rah-

men einer interessanten Erweiterung des Physikunterrichtes Sanierungsmaßnahmen in Eigeninitiative durchgeführt, sind einige Randbedingungen zu beachten. Ansonsten kann die Akustik sogar ungünstig beeinflusst werden.

Ein Projekt zeigte aber auch, dass eine akustische Sanierung in Eigenregie gut vorbereitet sein will und die in der DIN 18041 gegebenen Werte als Maßstab heranzuziehen sind. Weitere Hilfestellung bei Projekten in Eigeninitiative finden sich im Projektbericht „Reduzierung der Lärmbelastung in Schulen durch Verbesserung der Raumakustik“ der Unfallkasse Hessen vom April 2006, der bei der Unfallkasse Hessen angefordert werden kann und im Internet zum Herunterladen zur Verfügung steht (z. B. <http://www.fluesterndesklassenzimmer.de>).

Teil 1: Hören, Lärm und Lernen

Der Einfluss der akustischen Bedingungen in einem Klassenraum auf das Unterrichtsgeschehen ist im Vergleich zu „augenfälligen“ Faktoren wie Raumgröße, Einrichtung und Beleuchtung weniger offenkundig und daher vielen Lehrkräften, Schulleitern und Planern nicht unmittelbar bewusst. Im ersten Teil dieser Broschüre soll die Bedeutung der akustischen Umwelt für das schulische Lernen verdeut-

licht werden. Nach einer allgemeinen Einführung in das Thema Hören und Lärm wird dargelegt, wie und warum ungünstige raumakustische Bedingungen in Schulräumen das Lernen und Lehren beeinträchtigen können. Abschließend werden Konzepte und Materialien zur Lärminderung und Zuhörförderung im Unterricht vorgestellt.

1 Einführung

In der Diskussion um die Qualität der Bildung sollte auch die Umwelt berücksichtigt werden, in der Lernen und Lehren stattfindet. Diese Broschüre befasst sich mit einem zu Unrecht vernachlässigten Aspekt, nämlich der akustischen Umwelt. Dass in der „Hörumwelt Schule“ etwas nicht stimmt, zeigt die Tatsache, dass der Lärm einen der wesentlichsten Belastungsfaktoren im Beruf der Lehrkräfte darstellt. Tatsächlich wurden im Unterricht Schallpegel gemessen, bei denen störungsfreies Kommunizieren und konzentriertes Arbeiten kaum noch möglich sind. Lärm beeinträchtigt Sprachwahrnehmungs-, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozesse, die für die kindliche Entwicklung von großer Bedeutung sind.

Das Lärmproblem wird oft durch bauliche Mängel in den Einrichtungen mitbedingt. Viele Klassenräume sind so hallig, dass die Sprachverständlichkeit leidet und der Lärmpegel ansteigt, da alle – auch unvermeidliche – Geräusche zu lange im Raum verbleiben. Durch die fachgerechte Installation von Schall absorbierenden Materialien können solche Probleme vermieden werden. Dennoch wird die Raumakustik beim Bau und bei der Sanierung von Schulen und

Kindertagesstätten häufig nicht in angemessener Weise berücksichtigt.

Diese Broschüre soll einen umfassenden Einblick in das Themenfeld „Lärm und Lernen“ vermitteln. Sie richtet sich an Lehrkräfte, Schulleitungen, interessierte Eltern, an Trägerinstitutionen sowie an alle Personen und Institutionen, die am Bau und an der Sanierung von Bildungseinrichtungen beteiligt sind. Obwohl der Schwerpunkt im Bereich Schule liegt, sind viele Aspekte auch für den Vorschulbereich unmittelbar relevant. Ziel ist es, den Einfluss akustischer Bedingungen auf Lehr- und Lernprozesse deutlich zu machen und Wege zu einer lernfreundlichen Hörumwelt aufzuzeigen.

Nach einer Einführung in die Thematik „Hören und Lärm“ werden Forschungsbefunde zur Wirkung von Lärm und Nachhall auf Kinder berichtet und praktische Tipps zur Lärminderung und Zuhörförderung in der Schule gegeben. Der zweite Teil vermittelt grundlegende Kenntnisse über die Raumakustik in Schulen, die als Planungsgrundlage für den Bau und die Sanierung von Unterrichtsräumen herangezogen werden können.

2 Physikalische Grundlagen: Was ist Schall?

Der Begriff „Schall“ bedeutet die Ausbreitung von lokalen Druckschwankungen in elastischen Medien wie Luft oder Wasser. Versetzt man beispielsweise eine Stimmgabel in Schwingungen, so werden die Moleküle der umgebenden Luft ebenfalls in Schwingungen versetzt. Wenn sich die in Schwingungen versetzten Luftmoleküle aufeinander zu bewegen, wird der lokale Druck verstärkt, wenn sie sich voneinander weg bewegen, wird er verringert. Die sich bewegenden Moleküle stoßen benachbarte Moleküle an und versetzen diese ebenfalls in Schwingungen. Um die Schallquelle herum breiten sich so wellenförmig Zonen von Unter- und Überdruck aus, die man als Schallwellen bezeichnet. Die Frequenz bezeichnet die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, ihre Einheit ist das Hertz (Hz). Sie bestimmt die wahrgenommene Tonhöhe. Der für den jungen Menschen hörbare Frequenzbereich liegt etwa zwischen 20 und 20 000 Hz (zum Vergleich: der Kamerton a' liegt bei 440 Hz). Schwingungen unterhalb oder oberhalb dieses Bereichs bezeichnet man als Infraschall bzw. Ultraschall.

Der Schalldruck, ausgedrückt in Pascal (Pa), ist ein Maß für die Stärke der Druckschwankungen. Die vom menschlichen Gehör wahrnehmbaren Druckänderungen nehmen von der unteren bis zur oberen Grenze um das Millionenfache zu. Zum einen ist es kaum möglich, diese enorme Empfindlichkeit auf einer linearen Skala abzubilden, zum anderen führt eine Verdopplung des Schalldrucks nicht zu einer doppelten Lautstärkeempfindung. Vielmehr unterliegt die Wahrnehmung der Schallstärke einer logarithmischen Skala. Zur besseren Anpassung an das Hörempfinden legt man bei der zahlenmäßigen Darstellung der Schallstärke daher eine logarithmische Skala zu Grunde. Als schalltechnischer Kennwert dient der Schalldruckpegel mit der Einheit Dezibel (dB). Das Dezibel beschreibt den Schalldruck relativ zu einem festgelegten Bezugswert, der in etwa der Hörschwelle im empfindlichsten Frequenzbereich des Ohres entspricht. Dieser Wert bildet den Nullpunkt in der dB-Skala. Die obere Grenze des Dynamikbereichs ist die Schmerzschwelle, sie liegt bei etwa 130 dB.

Die in Abb. 1 dargestellte Hörschwellenkurve beschreibt den Schalldruck, der notwendig ist, damit ein Ton einer bestimmten Frequenz gerade eben

wahrnehmbar wird. Man erkennt, dass unser Gehör für Frequenzen zwischen 300 und 5 000 Hz besonders empfindlich ist; dies ist der Hauptfrequenzbereich der Sprache. Im Bereich der sehr hohen und tiefen Frequenzen ist viel mehr Schallenergie notwendig, um eine Hörempfindung auszulösen (Gesetz der Frequenzabhängigkeit der Lautstärkeempfindung). Ein Ton von 32 Hz und 60 dB ist gerade noch hörbar, während ein Ton mit 1 000 Hz und 60 dB als Ton mittlerer Lautstärke wahrgenommen wird.

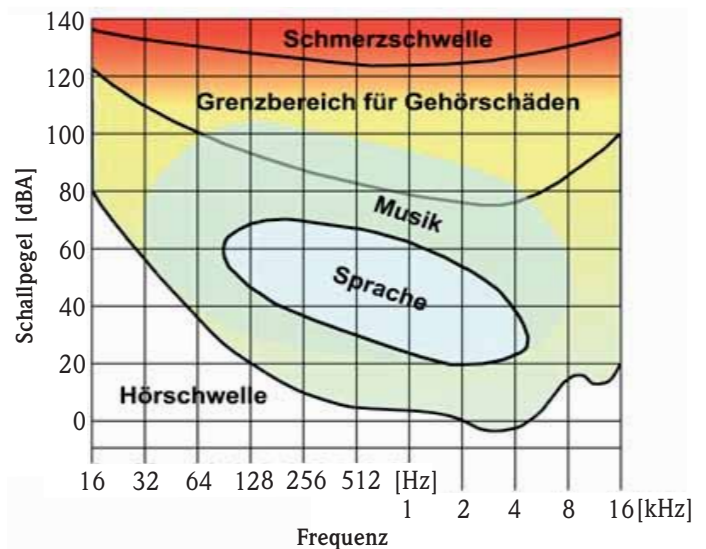
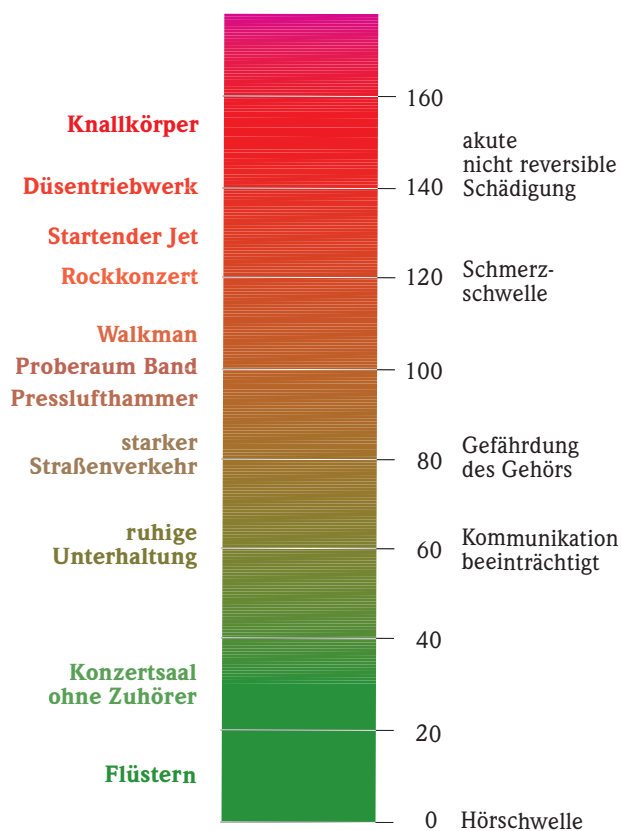


Abb. 1: Das Hörfeld. Die Hörschwellenkurve zeigt den Schalldruckpegel, der notwendig ist, damit ein Ton gerade eben wahrgenommen wird. Unser Gehör ist im Frequenzbereich zwischen 300 und 5 000 Hz am empfindlichsten, dies ist der Hauptfrequenzbereich der Sprache. Schallpegel von über 85 dB können langfristig zu chronischen Hörschäden führen.

Quelle: Minidisc „Schütze Dein Gehör“, Herausgeber und Copyright: Vereinigung der Metall- und Berufsgenossenschaften (VMBG), Kreuzstraße 45, 40210 Düsseldorf. Abdruck mit freundlicher Genehmigung der VMBG.

Die Abhängigkeit der menschlichen Lautstärkeempfindung von der Frequenz wird bei der Schallmessung dadurch berücksichtigt, dass sehr hohe und tiefe Frequenzen weniger stark gewichtet werden. Dies wird durch Frequenzfilter realisiert, die in den Messgeräten implementiert sind. Das wichtigste dieser Filter ist das A-Filter. Schallpegel, die das A-Filter zugrunde legen, werden in dB(A) ausgedrückt (s. Abb. 2).



Das Dezibel (A) ist – trotz aller Kritik – das gängigste Verfahren zur Lärmmessung. Die Kritik ist nachvollziehbar, da es sich beim Lärm in der Regel um laute Geräusche handelt, das Dezibel (A) die Frequenzen aber so gewichtet wie unser Gehör es bei leisen bis mittellauten Geräuschen tut – die tiefen Frequenzen werden stark abgewertet. Bei „lärmüblichen“ hohen Pegeln ist diese Abwertung nicht gerechtfertigt, da die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs in diesem Bereich weniger ausgeprägt ist. Tiefe Töne hohen Pegels nehmen wir durchaus als laut wahr. Zudem spiegeln sich im A-bewerteten Schalldruckpegel viele wichtige Eigenschaften des Gehörs, wie z. B. der Verdeckungseffekt und die beidohrige Signalverarbeitung, nicht wieder.

Abb. 2: Die dB(A)-Skala.

Quelle: www.laermorama.ch. Abdruck mit freundlicher Genehmigung durch Herrn Thomas Gastberger, Baudirektion Kanton Zürich, Fachstelle Lärmschutz, Ch-8152 Glattbrugg.

3 Anatomische und physiologische Grundlagen: Wie wir hören

Aus der psychoakustischen Forschung weiß man heute recht viel darüber, wie einfache akustische Reize, z.B. Töne oder Rauschimpulse, vom Menschen wahrgenommen werden. Von einem vollständigen Verständnis des Hörens in komplexen Alltagssituationen ist man jedoch noch weit entfernt. In der Regel sind wir von mehreren Schallquellen umgeben, sodass in jedem Moment ein überaus komplexes Schwingungsmuster auf unser Ohr trifft. Dieses enthält – für sich betrachtet – kaum Informationen über die Art und Anzahl der zugrunde liegenden Geräuschquellen. Wie gelingt es unserem Hörsystem, hieraus unmittelbar und für uns völlig mühelos eine sinnvolle und wohlgeordnete akustische Umwelt zu konstruieren? Dies ist eine Frage, deren Beantwortung wohl noch viel Zeit in Anspruch nehmen wird.

Das menschliche Ohr ist aus drei Teilen aufgebaut: dem äußeren Ohr, dem Mittelohr und dem Innenohr. Das äußere Ohr besteht aus der Ohrmuschel und dem äußeren Gehörgang. An seinem Ende befindet sich das Trommelfell, welches durch Schallwellen in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingungen werden über die Gehörknöchelchen im Mittelohr, den Hammer, den Amboss und den Steigbügel an das flüssigkeitsgefüllte Innenohr weiter geleitet, welches wegen seiner gewundenen Form als „Schnecke“ (Cochlea) bezeichnet wird.

An den Gehörknöchelchen setzen zwei winzige Muskeln an. Einer davon spannt bei sehr hohen Schallintensitäten das Trommelfell an, der andere kippt den Steigbügel etwas weg. Hierdurch kann das empfindliche Innenohr vor Schädigungen geschützt werden. Bei hohen Frequenzen und bei plötzlich

eintretenden hohen Schallintensitäten wirkt dieser Schutzmechanismus jedoch nicht; ein lauter Knall – wie etwa ein Feuerwerkskörper – kann daher zu irreversiblen Schädigungen des Innenohrs führen. In der Cochlea befindet sich die Basilarmembran mit den äußeren und inneren Haarzellen, den eigentlichen Rezeptorzellen (vgl. Abb. 5a). Oben an den Haarzellen befinden sich feine Sinneshärchen (Stereozilien), deren Auslenkung Erregungen in den zugehörigen Fasern des Hörnervs bewirken. Die Bewegungen des Steigbügels am Schneckeneingang lösen wellenartige Bewegungen („Wanderwellen“) auf der Basilarmembran aus. Dabei liegen die Schwingungsmaxima der Wanderwellen für jede Frequenz an einem anderen Ort. Bei hohen Frequenzen wird das Maximum bereits in der Nähe des Schneckeneingangs erreicht, bei tiefen Frequenzen setzen sich die Wellen bis zur Schneckenspitze fort. Eigenbewegungen der äußeren Haarzellen – die einzigen Sinneszellen, die hierzu imstande sind – verstärken die Auslenkung der Basilarmembran am Ort des Schwingungsmaximums um ein Vielfaches. So wird jede Frequenz auf einem eng begrenzten Ort der Basilarmembran abgebildet – das Ohr leistet eine Frequenzanalyse des eingehenden Schallsignals. Dies ist die Grundlage unseres sehr feinen Frequenzunterscheidungsvermögens. Bei Patienten mit geschädigtem Innenohr ist dieser Mechanismus gestört, da die äußeren Haarzellen ihre Verstärkungsfunktion nicht mehr übernehmen können. Hierdurch wird vor allem das Sprachverstehen beeinträchtigt. Insbesondere in Störgeräuschsituationen haben schwerhörige Menschen große Schwierigkeiten, einem Gespräch zu folgen.

Die entstehenden Signale werden über verschiedene Schaltstellen im Gehirn bis zum auditorischen Cortex im Schläfenlappen und den angrenzenden Großhirnarealen weitergeleitet. Auf dem Weg durch

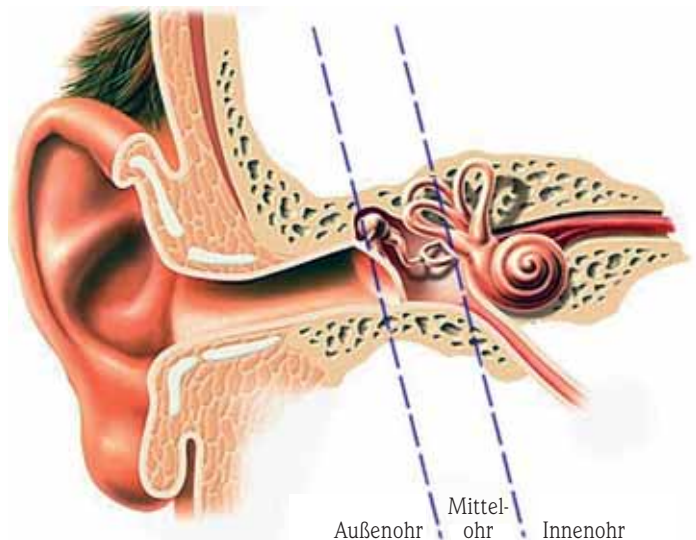


Abb. 3: Der Aufbau des Ohrs.

Quelle: Minidisc „Schütze Dein Gehör“, Herausgeber und Copyright: Vereinigung der Metall- und Berufsgenossenschaften (VMBG), Kreuzstraße 45, 40210 Düsseldorf.
Abdruck mit freundlicher Genehmigung der VMBG.

das Gehirn werden vielfältige und zunehmend komplexere Aspekte der Reizinformationen analysiert, die schließlich wieder zu einem kohärenten Wahrnehmungseindruck zusammengeführt werden müssen. Erst in den kortikalen Arealen entsteht das, was wir gemeinhin als „Hören“ bezeichnen, nämlich die Empfindungen von Lautheit, Klangfarbe und Richtung eines Schallreizes und das Erkennen von vertrauten Geräuschen, Stimmen, oder Melodien. Das Ergebnis dieses Wahrnehmungsprozesses ist dabei nicht nur von den Reizgegebenheiten abhängig (bottom-up), sondern in hohem Maße auch von Lernerfahrungen, Einstellungen, Erwartungen, der Aufmerksamkeit und Motivation der Person (top-down). Diese Faktoren spielen auch bei der Wirkung von Lärm eine besondere Rolle. Aber fragen wir uns zunächst – was ist eigentlich Lärm?

4 Lärm und Lärmwirkungen – eine Übersicht

Unter Lärm verstehen wir Geräusche, die als unangenehm oder störend empfunden werden oder gesundheitsschädigend wirken. Ob ein Geräusch zum Lärm wird, hängt somit zum einen von der Bewertung durch die ihm ausgesetzte Person ab, zum an-

deren von physikalisch messbaren Eigenschaften, insbesondere der Intensität und Einwirkzeit des Schalls. Entsprechend lassen sich die Wirkungen von Lärm auf den Menschen unterteilen in aurale und extraaurale Wirkungen. Mit auralen Wirkungen sind

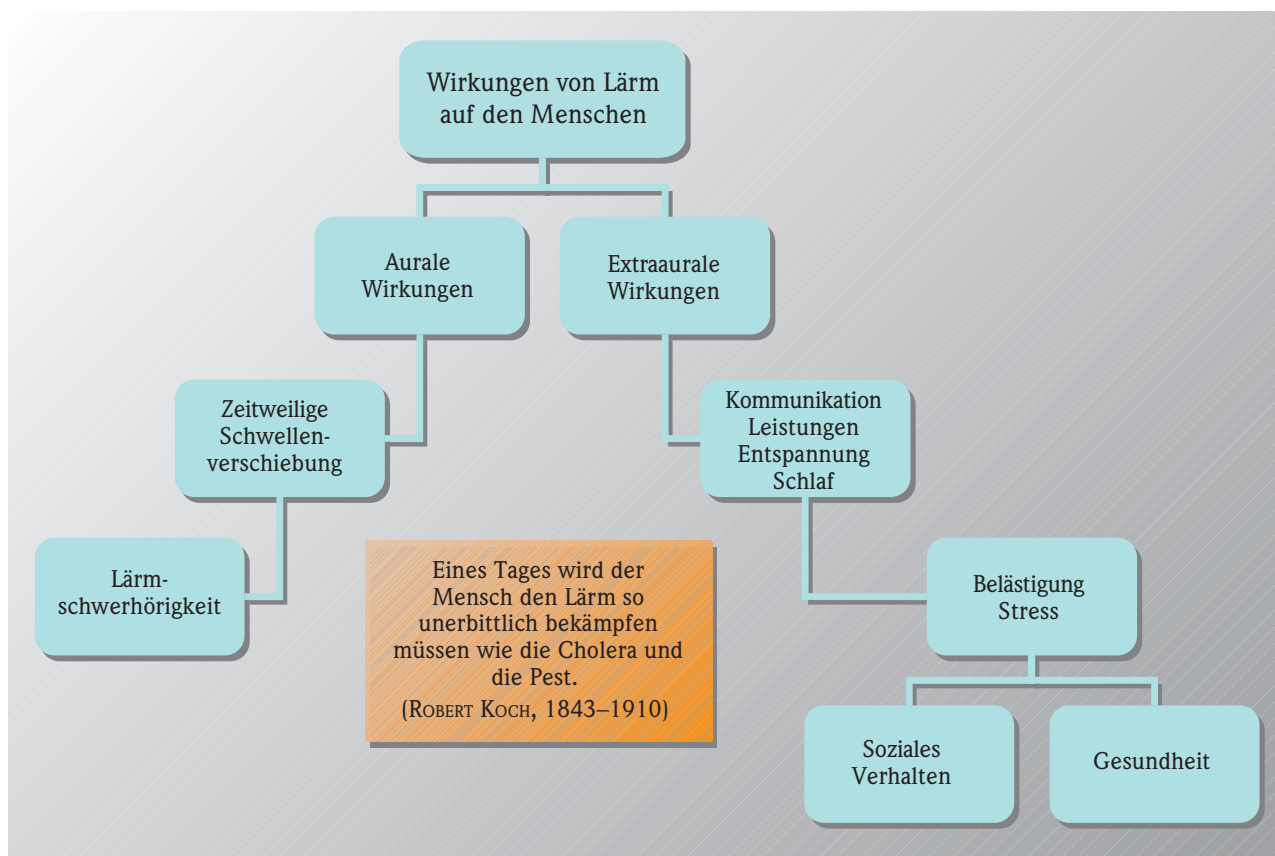


Abb. 4: Schematische Einteilung der Wirkungen von Lärm auf den Menschen.

Beeinträchtigungen der Empfindlichkeit des Gehörs gemeint. Ob solche Beeinträchtigungen auftreten, hängt von der Intensität des Schalls und der Expositionsdauer ab; es spielt dabei keine Rolle, wie der Schall von der Person bewertet wird. Extraaurale Wirkungen betreffen u.a. Störungen der Kommunikation, der Erholung und Entspannung, des Schlafes und der geistigen Leistungsfähigkeit.

Diesen Wirkungen ist gemeinsam, dass der Lärm den Betroffenen bei intendierten Aktivitäten stört oder diese ganz verhindert, was vom Betroffenen als belästigend empfunden wird. In der Lärmbewertung spielt der Begriff der „Belästigung“ eine dominierende Rolle, da das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) explizit einen Schutz vor erheblichen Belästigungen vorsieht. Extraaurale Lärmwirkungen können schon bei mittleren Lautstärken auftreten und sind sehr stark von subjektiven Faktoren abhängig. So kann das Heulen eines Motorradmotors für den Besitzer angenehmen Wohlklang bedeuten, für den Nachbarn jedoch eine unerträgliche Belästigung darstellen.

4.1 Aurale Lärmwirkungen

Lärm kann zu einer Beeinträchtigung des Hörens im Sinne einer Hörschwellenverschiebung führen. Jeder kennt wohl das „taube“ Gefühl, dass sich nach dem Besuch einer lauten Musikveranstaltung oder nach dem Heimwerken mit der Bohrmaschine einstellt und häufig mit Ohrgeräuschen wie Pfeifen oder Rauschen einher geht. Glücklicherweise verschwindet dieser unangenehme Zustand meist nach einigen Stunden der Ruhe, man spricht daher von „zeitweiliger Schwellenverschiebung“, im englischen „temporary threshold shift“ (TTS). Bei längerfristiger Einwirkung von Schall höherer Intensitäten wird das Ohr jedoch dauerhaft geschädigt, es kommt zu einer Lärmschwerhörigkeit. Geräusche unter 85 dB gelten auch bei dauerhafter Einwirkung als unbedenklich (für die Gesundheit des Ohres – auf andere Wirkungen solcher Geräusche kommen wir an späterer Stelle zurück!); für lautere Geräusche gilt: Je höher der Pegel, desto eher wird eine Schädigung ausgelöst. Im Extremfall kann dies durch einen einzigen lauten Knall erfolgen; norma-

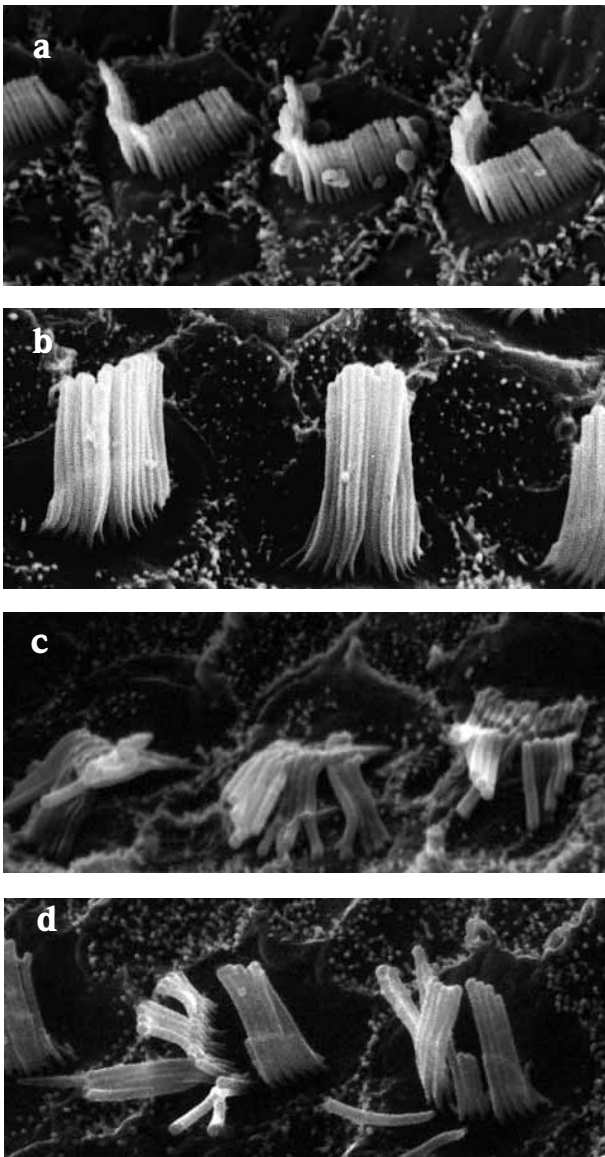


Abb. 5: Haarzellen im Innenohr im gesunden Zustand (a) und bei fortschreitender Schädigung durch Lärm: Zustand der Verklebung (b), Steifeverlust (c) und vollständige Degeneration (Zilienabbrüche, d). Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme, Vergrößerung ca. 8000-fach
Quelle: Freundliche Bereitstellung und Abdruckgenehmigung durch Prof. Dr. H. Ising, Berlin.

lerweise entwickelt sich die Lärmschwerhörigkeit jedoch schleichend über viele Jahre hinweg. Sie beruht auf einer fortschreitenden Veränderung der empfindlichen Haarzellen im Innenohr. Diese verlieren zunächst ihre Festigkeit, bei nicht ausreichenden Erholungszeiten verkleben sie zunehmend bis hin zur vollständigen Degeneration (s. Abb. 5). In diesem Stadium ist die Schädigung irreversibel.

Besonders empfindlich sind die für den Frequenzbereich um 4000 Hertz zuständigen Haarzellen. Lärmbedingte Hörstörungen zeigen sich daher im Tonaudiogramm durch eine charakteristische „Senke“ in diesem Bereich. Viele Menschen, die früher an industriellen Arbeitsplätzen tätig waren, leiden heute an einer Lärmschwerhörigkeit. Die Lärmschwerhörigkeit ist bislang die einzige Krankheit, die als Folge des Lärms anerkannt ist; gleichzeitig gehört sie zu den am häufigsten entschädigten Berufskrankheiten. Die heute geltenden Sicherheitsbestimmungen (Unfallverhütungsvorschrift Lärm, UVV), die z.B. das Tragen von Gehörschutz und die zeitliche Begrenzung des Aufenthalts in Lärmzonen vorschreiben, verbunden mit der zahlenmäßigen Abnahme von Lärm Arbeitsplätzen, haben zu einer deutlichen Verringerung dieser Gefährdung geführt. Demgegenüber ist jedoch mit dem Freizeitlärm eine neue Gefahrenquelle entstanden, von der besonders junge Leute betroffen sind. Durch gewohnheitsmäßiges Hören lauter Musik in Diskotheken, bei Rock-Konzerten oder auch über den Walkman wird der normale Alterungsprozess des Hörorgans stark beschleunigt. Nach Schätzungen von HNO-Ärzten wird jeder dritte Jugendliche bereits im Alter von 50 Jahren ein Hörgerät benötigen. Hierbei ist anzumerken, dass eine Hörschädigung trotz ausgefeilter Technik der Hörgeräte noch immer eine deutliche Beeinträchtigung der Lebensqualität darstellt. Die schon bei mittelgradiger Hörschädigung auftretenden Schwierigkeiten, Sprache in Störgeräuschsituationen zu verstehen, führen oftmals zu einem sozialen Rückzug – man vermeidet gesellige Treffen mit Freunden, Theaterbesuche etc. Auch die Ausübung des Berufs kann erschwert bis unmöglich werden. In Österreich, der Schweiz und einigen deutschen Bundesländern gelten bereits Grenzwerte für die Musik in Diskotheken. Jedoch auch die Schulung von Disc-Jockeys („DJ-Führerschein“) und die Einrichtung leiserer Zonen in den Diskotheken, eventuell verbunden mit einer entsprechenden Zertifizierung, können wesentlich zum Schutz der Besucher beitragen. Am Anfang aller Bemühungen steht jedoch die Aufklärung der Jugendlichen selbst. Durch sorgfältig geplante Unterrichtsprojekte zum Thema „Lärm und Gesundheit“ können Kinder und Jugendliche auch ohne den „drohenden Zeigefinger“ zu einem achtsamen und verantwortungsvollen Umgang mit dem eigenen Gehör hingeführt werden. Vorschläge für diesbezügliche Literatur und Materialien finden sich im Anhang.

Jüngere Kinder sind durch den Umgang mit zu lautem Spielzeug gefährdet. Spielzeugpistolen, Trillerpfeifen, „Tröten“ und Knackfrösche produzieren Schallpegel bis zu 135 dB(A). Zwar gibt es auch hierfür Sicherheitsvorschriften, die geltenden Grenzwerte werden aber von vielen Fachleuten als zu hoch kritisiert. Weiterhin ist zu bedenken, dass die Kinder die Geräte gern direkt ans Ohr halten und die einwirkenden Pegel daher höher sind, als es die Hersteller – wenn überhaupt – angeben. Auch ist das Gehör von Kleinkindern empfindlicher als das von Erwachsenen, da ihr Gehörgang kleiner und anders geformt ist. Dies führt dazu, dass hohe Frequenzen wie das Quieken eines Plastikentchens sehr verstärkt werden. Hier ist besondere Umsicht der Eltern und Pädagogen notwendig. Wenn das von einem Spielzeug produzierte Geräusch am Ohr eines Erwachsenen unangenehm laut wirkt, sollte das Produkt Kindern nicht überlassen werden. Audiogeräte für Kinder sollten mit nicht abstellbaren Lautstärkebegrenzern ausgestattet sein.

4.2 Extraaurale Lärmwirkungen

Extraaurale Lärmwirkungen treten schon bei Schallpegeln unterhalb des gehörschädigenden Bereichs auf. An erster Stelle sind hier Störungen der Kommunikation zu nennen. Lärm kann Sprachlaute maskieren und das Kommunizieren erheblich erschweren. Aber auch die geistige Leistungsfähigkeit wird beeinträchtigt. Lärm lenkt die Aufmerksamkeit ab, unterbricht Denkvorgänge und stört das Behalten und Verarbeiten von Information. Diese Wirkungen sind bei Kindern besonders stark ausgeprägt und im Bezugsfeld Schule natürlich besonders relevant.

Schließlich ist Lärm ein Stressfaktor, der – wie andere auch – zu negativen emotionalen Reaktionen

führen kann, die sich wiederum auf das soziale Verhalten der betroffenen Personen auswirken. Lärm, dem man sich hilflos ausgeliefert fühlt, erzeugt Verärgerung und Frustration. Menschen, die verärgert und frustriert sind, sind weniger bereit, anderen zu helfen; auch ist ihre Aggressionsbereitschaft erhöht. Sozialpsychologische Studien belegen, dass die Hilfsbedürftigkeit eines Mitmenschen viel häufiger übersehen wird, wenn die Situation von Lärm begleitet ist. Weiterhin wurde gezeigt, dass die Hilfsbereitschaft von Personen abnimmt, wenn sie vorher Lärm ausgesetzt waren. Die Wirkungen des Lärms halten also über die eigentliche Expositionsphase hinaus an.

Andauernder Stress kann langfristig zu manifesten Gesundheitsschäden führen. Epidemiologische Studien weisen auf ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei lärmbelasteten Personen hin. Dies gilt insbesondere für Menschen, die sowohl am Arbeitsplatz als auch zu Hause dem Lärm ausgesetzt sind. Auch hier spielt die subjektive Bewertung der Situation eine maßgebliche Rolle. Lärm wird dann zum krankmachenden Stressor, wenn er als unausweichlich und unkontrollierbar angesehen wird oder dem Verursacher üble Absicht unterstellt wird. Der Lärmforscher und Umweltpsychologe Jürgen Hellbrück [1] verdeutlicht dies an folgendem Beispiel:

„Hohe Schallpegel in einer Disco können zwar bei denen, die sich drinnen an der Musik erfreuen, unter Umständen die Entstehung von Schwerhörigkeit begünstigen, werden aber keine Herz-Kreislauf-Erkrankungen auslösen. Bei den Anwohnern im Umkreis der Disco, die sich jeden Abend über den Autolärm der ankommenden und wegfarenden Disco-Besucher und den Stimmenlärm ärgern, kann diese permanente Belästigung psychosomatische Beschwerden entstehen lassen, obwohl der Schallpegel dieser Geräusche weit geringer ist als der Pegel der Musik in der Disco.“

5 Lärm in Schulen und Kindertagesstätten

Das Thema „Lärm in Bildungsstätten“ ist in den letzten Jahren zunehmend in den Blickpunkt des öffentlichen und wissenschaftlichen Interesses gerückt. Pädagogen, Psychologen und Akustiker, aber auch Schulbehörden und Unfallkassen beschäftigen sich mit den akustischen Bedingungen in Schulräumen und Kindertagesstätten und ihren Wirkungen auf Kinder, Lehrkräfte und ErzieherInnen. Anlass hierzu gab u.a. eine Studie des Instituts für Interdisziplinäre Schulforschung der Universität Bremen aus dem Jahr 2001, in der sich der Lärm als einer der wesentlichsten Belastungsfaktoren bei Lehrkräften erwies. Mehr als 80 % von über 1000 befragten Lehrkräften gaben an, sie fühlten sich durch den Lärm in der Schule belastet [2]. Befragungen von ErzieherInnen zeigten ein ähnliches Bild. Auch in dieser Berufsgruppe ist der Lärm ein gravierender Belastungsfaktor [3].

Akustische Messungen dokumentieren die Berechtigung dieser Klagen. In Kindertagesstätten wurden Lärmpegel gemessen, bei denen an industriellen Arbeitsplätzen Gehörschutz bereitzustellen ist [3]. In Klassenräumen liegen die Geräuschpegel zwar in der Regel unterhalb des gehörschädigenden Bereichs, aber oft weit über den Werten, die für Kommunikation und geistiges Arbeiten anzustreben sind [3b, 4]. Typische „Lärmbereiche“ in Schulen sind darüber hinaus die Flure, Pausenhallen, Turnhallen, Werkräume und – im Zuge der Einführung neuer Ganztagschulen – zunehmend auch die Mensen und Cafeterien.

Die Gründe für diese Probleme sind vielschichtig; sie hängen unmittelbar mit der veränderten Sichtweise von (vor-)schulischer Bildung und Erziehung zusammen. In den Schulen werden neben dem herkömmlichen Frontalunterricht zunehmend neue Unterrichtsformen wie Frei-, Partner- und Gruppenarbeit praktiziert, die unserem Anspruch an selbstbestimmtes und entdeckendes Lernen und individueller Förderung eher gerecht werden. Dieser Prozess ist ohne Frage notwendig und richtig, er geht jedoch zwangsläufig mit einem Anstieg des Lärmpegels einher. Damit dies nicht zu einem Problem wird, müssen die Räume, in denen solche Lernformen praktiziert werden, auch ihrem Zweck entsprechend gestaltet sein – sie müssen eine gute Akustik aufweisen.

Die Raumakustik als Teilgebiet der Akustik befasst sich mit der Auswirkung der baulichen Gegebenheiten eines Raumes auf die in ihm stattfindenden Schallereignisse. Die wichtigste Kenngröße der Raumakustik ist die Nachhallzeit, ein Maß für die Halligkeit eines Raumes. Sie gibt (in Sekunden) an, wie lange ein Schallereignis „nachklingt“; dies hängt ab von der Größe und Geometrie des Raumes sowie von den akustischen Eigenschaften der Raumbegrenzungsflächen und Einrichtungsgegenstände. Herrscht in einem Raum eine zu lange Nachhallzeit, so werden beim Sprechen nachfolgende Silben durch den zu langen Abklingvorgang verdeckt. Es kommt zu Verzerrungen des Sprachsignals, die die Sprachverständlichkeit verschlechtern. Zudem verbleiben bei zu langer Nachhallzeit alle – auch unvermeidliche – Geräusche (Stühlerücken, Fußescharren, Husten, Blättern, Klappern mit Stiften) zu lange im Raum – der Lärmpegel steigt.

Der DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ zufolge sollte die Nachhallzeit in einem durchschnittlich großen Unterrichtsraum etwa 0,55 s betragen. Vorliegende Messungen zeigen jedoch, dass dieser Richtwert in vielen Schulräumen und Kindertagesstätten weit überschritten wird. Nachhallzeiten von über einer Sekunde sind keine Seltenheit. Derartige Mängel finden sich nicht nur in alten, sondern auch in neuen oder sanierten Einrichtungen.

Das Wissen um die Optimierung der Raumakustik und deren bauliche Umsetzung ist in Fachkreisen lange bekannt (s. Kap.2). Durch die Installation von schallabsorbierenden Deckenverkleidungen kann in jedem normal gebauten Unterrichtsraum eine gute Akustik hergestellt werden (bei sehr ausgefallener Raumgeometrie ist dies schwieriger). Dennoch werden diese Aspekte beim Bau und bei der Sanierung von Schulen und Vorschuleinrichtungen oft nicht in angemessener Weise berücksichtigt. Die Bedeutung der Akustik in Schulräumen ist auch vielen Lehrkräften nicht bekannt. Hohe Lärmpegel und schlechte Sprachverständlichkeit werden stattdessen oft als unabwendbares Übel oder – noch schlimmer – als Folge der eigenen Unfähigkeit angesehen.

5.1 Könnt Ihr denn nicht zuhören?! Raumakustik und Sprachverstehen

Schulkinder verbringen einen großen Teil der Unterrichtszeit mit Zuhören. Es muss zugehört werden, wenn die Lehrerin oder der Lehrer etwas erklärt, es muss den Mitschülerinnen und Mitschülern zugehört werden, wenn diskutiert wird, es muss ganz besonders genau zugehört werden, wenn diktiert wird oder wenn das Kopfrechnen geübt wird. Lärm und Nachhall im Klassenraum erschweren dies erheblich. Das Zuhören unter derartigen Bedingungen erfordert, dass Hintergrundgeräusche ausgeblendet und unvollständige Informationen kontinuierlich ergänzt werden. Erwachsene können dies relativ gut meistern, Kinder jedoch nicht.

Die Erschwerung des Sprachverstehens durch Lärm und Nachhall ist uns allen bekannt. Versuchen wir, in einer lauten Umgebung ein ernsthaftes Gespräch zu führen, so merken wir recht schnell, dass dies unbefriedigend und anstrengend verläuft. Nach einer Weile werden wir das Gespräch entweder einstellen oder es in einer ruhigeren Umgebung fortsetzen. Die Anstrengung resultiert aus der Notwendigkeit, unvollständig übermittelte Information kontinuierlich zu ergänzen und Hintergrundgeräusche „auszublenden“; auch müssen wir unsere Stimme anheben und Äußerungen, die vom Gesprächspartner dennoch nicht verstanden wurden, wiederholen – der Gesprächsfluss wird immer wieder unterbrochen.

Kinder sind noch weniger in der Lage als Erwachsene, Sprache zu verstehen, wenn Hintergrundgeräusche vorhanden sind oder wenn die Klarheit der Sprache durch den Nachhall im Raum eingeschränkt wird. In diesbezüglichen Studien wurden Kindern und Erwachsenen Silben oder Wörter vorgesprochen, die von den Probanden nachgesprochen werden sollten. Dies ist eine recht einfache Aufgabe, die man schon mit Kindern im Kindergartenalter durchführen kann. Abb. 6 zeigt schematisch das Ergebnis, das man in der Regel bei solchen Versuchen erhält: Werden die Sprachsignale ohne Störgeräusch und ohne Nachhall präsentiert, so gibt es kaum einen Unterschied zwischen den Altersgruppen. Selbst die jüngsten Probanden erreichen eine nahezu perfekte Leistung. Bei ungünstigeren Hörbedingungen zeigen

sich jedoch erhebliche Leistungsunterschiede: Je jünger die Kinder sind, desto stärker werden sie durch Hintergrundgeräusche und/oder Nachhall beeinträchtigt. Erst im Alter von etwa 14 Jahren gleicht sich die Verstehensleistung der von Erwachsenen an [5, 6, 7].

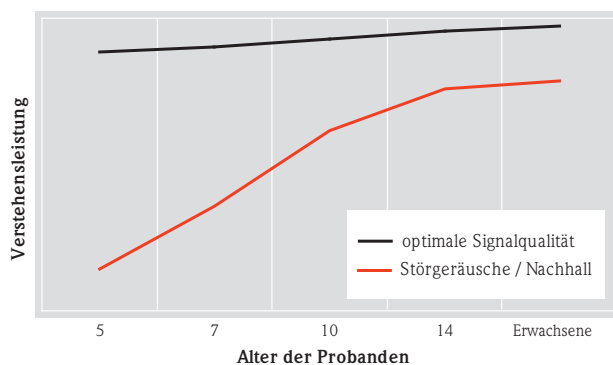


Abb. 6: Schematische Darstellung von Befunden zum Sprachverstehen von Kindern und Erwachsenen unter günstigen und ungünstigen Hörbedingungen. Je jünger die Kinder sind, desto gravierender wirken sich Störgeräusche und/oder Nachhall auf die Verstehensleistung aus. Unter günstigen Hörbedingungen zeigen sich dagegen kaum Unterschiede zwischen den Altersgruppen.

Die Wirkung von Hintergrundgeräuschen hängt dabei nicht nur vom Pegelabstand zum Sprachsignal ab (man nennt dies „Signal-Rausch-Verhältnis“, SNR), sondern auch von der Art der Geräusche [5]. Geräusche, die sich über die Zeit hinweg verändern (z. B. ein Stimmengewirr) beeinträchtigen die Leistung der Kinder mehr als kontinuierliche Geräusche (z. B. das Rauschen einer Klimaanlage).

Diese Erkenntnisse basieren auf laborexperimentellen Studien, sie lassen sich jedoch unmittelbar auf die Situation im Klassenraum übertragen. Dies zeigen Felduntersuchungen, in denen die Sprachverstehensleistung von Kindern in Klassenräumen mit unterschiedlich langen Nachhallzeiten verglichen wurden (vgl. Tab. 1). Die Kinder zeigten in den akustisch günstigen Räumen deutlich bessere Leistungen, und zwar insbesondere dann, wenn die Aufgabe von Hintergrundgeräuschen begleitet war – im Unterricht die normale Situation. Die Leistungsverbesserungen betrugen – je nach Untersuchungsmethodik – 10–25 %. Auch Erfahrungsberichte von Lehrkräften nach einer akustischen Sanierung ihrer Klassenräume belegen die positiven Effekte ein-

Tab. 1: Feldstudien zum Einfluss der Nachhallzeit in Klassenräumen auf Sprachverstehensleistungen von Schülerinnen und Schülern. Die Kinder zeigen in Räumen mit kürzeren Nachhallzeiten signifikant bessere Leistungen, insbesondere, wenn Störgeräusche vorhanden sind (im Unterricht die normale Situation).

Autoren	Stichprobengröße und Alter der Probanden	Störgeräusch	Sprachverstehensleistung im unbehandelten Raum	Sprachverstehensleistung im behandelten Raum
YAKULLO & HAWKINS 1987 [8]	32 Kinder 8–10 Jahre	Stimmengewirr SNR= +2 dB Monaural	Klassenraum mit 0,8 s Nachhallzeit 16,9 %	Laborraum ohne Nachhall 50,5 %
PEKKARINEN & VILJANEN 1990 [9]	152 Schüler und Schülerinnen 15–16 Jahre	Breitbandrauschen SNR= +2 dB	Klassenraum mit 1,7 s Nachhallzeit 40 %	Klassenraum mit 0,7 s Nachhallzeit 67 %
MACKENZIE & AIREY 1999 [10]	Ca. 70 Grundschul-klassen (Details nicht angegeben)	Andere Kinder arbeiten; SNR nicht angegeben	Klassenräume mit 0,7 s Nachhallzeit (Mittelwert)* 57,2 %	Klassenräume mit 0,4 s Nachhallzeit (Mittelwert) 67 %
KLATTE, HELLBRÜCK & WEGNER 2006 [11]	46 Erstklässler	Stimmengewirr SNR = -3 dB	Klassenraum mit 1,1 s Nachhallzeit 54,7 %	Klassenraum mit 0,49 s Nachhallzeit 64,7 %

* die Streuung wird nicht mitgeteilt, jedoch wiesen einige der unbehandelten Räume auch Nachhallzeiten um 1 s auf.

drücklich. Eine Grundschullehrerin äußerte sich dazu folgendermaßen: „Die Kinder reden leiser miteinander, anders miteinander, sie merken selber, dass sie sich auch gar nicht mehr so anstrengen müssen beim Reden, und mir geht es genauso... es ist ja auch so eine Lehrerkrankheit, dass man merkt, die Stimmbänder sind angegriffen, ich muss mich so anstrengen beim Reden, das ist sehr viel angenehmer geworden. Ich kann leiser reden, und auch die Kinder reden leiser miteinander.“

Bislang haben wir uns nur mit dem Verstehen von einzelnen Lauten oder Wörtern befasst. Im Schulunterricht werden natürlich sehr viel höhere Anforderungen an die „Zuhörkompetenz“ der Kinder gestellt. Komplexe sprachliche Mitteilungen müssen nicht nur verstanden, sondern auch im Kurzzeitgedächtnis gespeichert, verarbeitet und gegebenenfalls in Handlungen umgesetzt werden. Auch diese Prozesse werden durch ungünstige Hörbedingungen beeinträchtigt.

Entwicklung der Sprachwahrnehmung

Kinder sind bei Schuleintritt noch keine „fertigen Hörer“. Die für das Zuhören in komplexen Hörsituationen wesentlichen auditiven, sprachlichen und kognitiven Fertigkeiten entwickeln sich bis ins Jugendalter hinein weiter. Das Gehör ist zwar schon lange vor der Geburt vollständig ausgereift, die zentrale Verarbeitung akustischer Reize im Gehirn ist jedoch erst viele Jahre später vollständig entwickelt. Zu diesen zentralen Hörfunktionen gehört unter anderem die Fähigkeit, Signale aus einem Störgeräusch herauszuhören. Ob dies überhaupt gelingt, hängt vor allem vom Lautstärkeabstand zwischen dem Signal und dem Störgeräusch ab (englisch: Signal to Noise-Ratio, SNR). Zahlreiche Studien belegen, dass Kinder einen höheren Signal-Rausch-Abstand benötigen als Erwachsene, damit sie ein Signal in einem Störgeräusch erkennen können. Wählen wir einen Ton als Signal und ein kontinuierliches Rauschen als Störgeräusch, so liegt die Differenz zwischen Kindern im Schuleingangsalter und Erwachsenen bei etwa 5–7 dB. Noch größer werden die Unterschiede, wenn sich das Störgeräusch über die Zeit verändert, wie es ja in Alltagssituationen die Regel ist. Kinder sind weit weniger in der Lage als Erwachsene, solche zeitlich variierenden Störgeräusche nicht zu beachten und ihre Aufmerksamkeit auf das Signal zu fokussieren.

Geht es um das Verstehen von Sprache, so wird die Sache noch schwieriger. Sprachlaute sind sehr komplexe akustische Reize; sie stellen an unser Wahrnehmungssystem besondere Anforderungen. Um beispielsweise ein /ba/ von einem /da/ zu unterscheiden, müssen extrem schnell ablaufende Frequenzänderungen im Sprachsignal erkannt und ausgewertet werden. Um dies leisten zu können, lernen wir, bei der Analyse von Sprachlauten nur auf diejenigen Merkmale zu achten, die in unserer Muttersprache bedeutend sind. Akustisch gleich große Unterschiede, die keine Lautgrenzen kennzeichnen, können wir nicht wahrnehmen. Die Unfähigkeit von Japanern, die englischen Laute /l/ und /r/ zu unterscheiden, ist ein Beispiel dafür. Im Japanischen existieren diese Lautkategorien nicht, es gibt nur einen ähnlichen Laut, der quasi „dazwischen“ liegt. Die kategoriale Wahrnehmung von Sprachlauten bedeutet eine Konzentration auf die in der jeweiligen Sprache relevanten Aspekte bei der Analyse – eine enorme Datenreduktion, die eine schnelle, effiziente und genaue Verarbeitung erst ermöglicht. Die phonetischen Kategorien werden bereits im ersten Lebensjahr durch das Hören der Muttersprache erworben; die „Feinabstimmung“ dauert aber noch bis weit ins Schulalter hinein an. Die Wahrnehmung von Sprachlauten ist daher bei Kindern aufwändiger und störanfälliger. Jüngere Kinder zeigen schlechtere Leistungen als ältere Kinder und Erwachsene wenn es darum geht, ähnlich klingende Laute zu unterscheiden oder Laute zu identifizieren, die undeutlich, unvollständig, von Störgeräuschen umgeben und/oder durch Nachhall verzerrt sind.

In diesbezüglichen Studien wurden die Leistungen von Grundschulkindern beim Verstehen von Einzelwörtern und komplexen mündlichen Anweisungen geprüft. Die Kinder zeigten signifikante Verschlechterungen beim Anweisungsverständnis, wenn die Sätze „verhallt“ oder mit Störgeräuschen präsentiert wurden. Dies war selbst dann der Fall, wenn das Verstehen der Einzelwörter noch recht gut gelang. Dieser Effekt ist dadurch zu erklären, dass bei Halligkeit

und Störgeräuschen mehr kognitive Kapazität aufgewendet werden muss, um die Sprache richtig zu verstehen – man muss sehr konzentriert und genau hinhören. Durch die erhöhten Anforderungen bei der Informationsaufnahme verbleibt weniger Kapazität für das Behalten und Verarbeiten der Information. Die Wirkungen zeigen sich daher zunächst nur bei entsprechend komplexen Höranforderungen (vgl. Abb. 7).

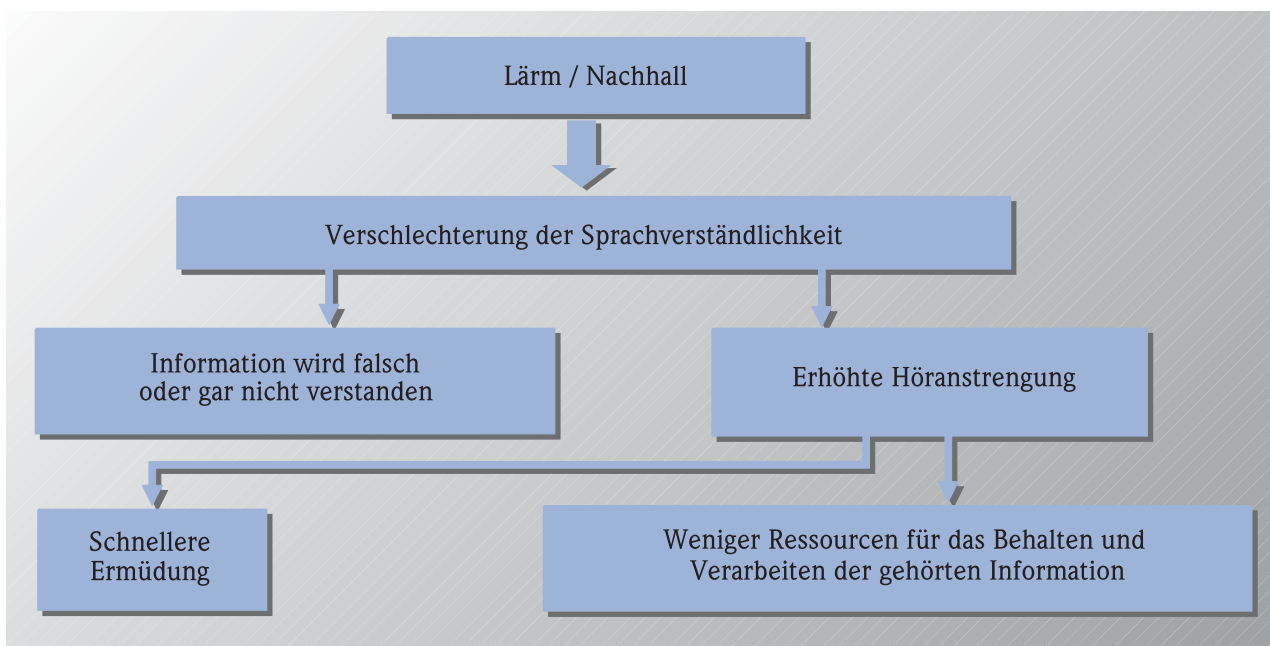


Abb. 7: Schematische Darstellung der Wirkungen von Lärm und Nachhall auf das Hörverstehen. Ungünstige Hörbedingungen bewirken nicht nur, dass Sprachlaute nicht verstanden werden – sie beeinträchtigen auch das Behalten und Verarbeiten der Information.

Studie zum Einfluss der Akustik im Klassenraum auf die Hörverstehensleistungen von Grundschulkindern [12]

Für diese Untersuchung wurden zunächst raumakustische Messdaten in mehreren Klassenräumen einer Oldenburger Grundschule erhoben. Einer der Klassenräume zeichnete sich durch eine subjektiv unangenehme Akustik aus; er war auch bei den Lehrkräften unbeliebt. Die Messungen in diesem Raum zeigten bei allen Frequenzen zu lange Nachhallzeiten sowie einen starken Anstieg der Nachhallzeiten zu tiefen Frequenzen, wodurch ein unangenehmer, „dröhniger“ Raumklang entsteht. In diesem Raum wurde das für die Leistungstests notwendige Sprachmaterial aufgenommen, und zwar einmal im unbehandelten Raum und einmal, nachdem die Sprachverständlichkeit im Raum verbessert worden war. Diese Aufnahmen wurden den Kindern später im Schall-Labor über Kopfhörer dargeboten. Die speziellen Aufnahme- und Wiedergabetechniken ermöglichten dabei eine exakte Rekonstruktion der Hörbedingungen im Klassenraum an jedem Arbeitsplatz im Labor.



Abb. 8a: Grundschulkindern in einem Experiment zur Wirkung der Sprachverständlichkeit im Klassenraum auf das Hörverstehen.

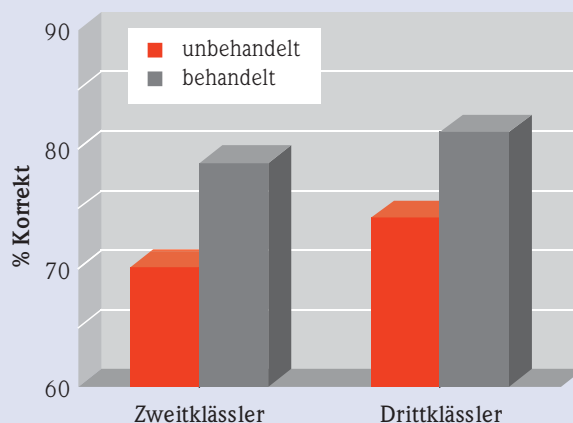


Abb. 8b: Einfluss der Sprachverständlichkeit im Klassenraum auf die Leistungen von Grundschulkindern beim Verstehen mündlicher Anweisungen. Die Kinder erbrachten signifikant bessere Leistungen, wenn das im akustisch behandelten Klassenraum aufgenommene Material präsentiert wurde.

Bei einem Test zum Verstehen von Einzelwörtern machten die Kinder in beiden Hörbedingungen nur wenig Fehler. Die Identifikation der Sprachlaute schien also auch in der akustisch ungünstigen Situation noch recht gut zu gelingen. Große und statistisch bedeutsame Unterschiede zwischen den Bedingungen zeigten sich hingegen beim Verstehen komplexer Anweisungen, einer Aufgabe, die nicht nur die Identifikation, sondern auch das kurzzeitige Speichern und Verarbeiten der Informationen erfordert. Die Kinder erbrachten bessere Leistungen, wenn das im behandelten Klassenraum aufgenommene Material dargeboten wurde. Zur Beurteilung der akustischen Güte eines Unterrichtsraumes reicht es also offensichtlich nicht aus, die hinten sitzenden Kinder zu fragen, wie gut sie die Sprache verstehen!

Diese Befunde zeigen, dass Vor- und Grundschulkin-
der auf optimale Hörbedingungen angewiesen sind,
um sprachliche Informationen verstehen und mental
verarbeiten zu können. Dies gilt prinzipiell für alle
Kinder, in ganz besonderem Maße jedoch für dieje-
nigen, denen das Hören und Zuhören – aus den un-
terschiedlichsten Gründen – ohnehin schwer fällt.

Hierzu gehören natürlich Kinder und Jugendliche mit
peripheren Hörstörungen. Jüngere Kinder sind durch

infektbedingte Flüssigkeitsansammlungen im Mittel-
ohr oft über mehrere Wochen im Hören einge-
schränkt. Nach Angaben von HNO-Ärzten sind
80–90 % aller Kinder hiervon während ihrer Schul-
zeit mindestens einmal betroffen. Weiterhin ist eine
Zunahme von chronischen Hörschäden bei Kindern
und Jugendlichen zu verzeichnen (vgl. Kap. 1). Eine
andere, in diesem Zusammenhang besonders zu
berücksichtigende Gruppe sind Kinder mit nicht-
deutscher Muttersprache. Für diese Kinder ist das

Zuhören ohnehin extrem anstrengend. Eine zusätzliche Erschwerung durch schlechte akustische Bedingungen führt dazu, dass ihre Belastungsgrenzen noch schneller erreicht sind. Analoges gilt für Kinder mit Teilleistungsschwächen im Bereich der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung. Das periphere Hörvermögen dieser Kinder ist meist intakt, so dass sie in audiologischen Standarduntersuchungen nicht auffallen. Die Defizite zeigen sich erst in „schwierigen“ Hörsituationen, z. B. dadurch, dass die Kinder ähnlich klingende Wörter verwechseln, bei Anweisungen häufig nachfragen, auf Ansprache nicht reagieren und große Mühe haben, sich auf wechselnde Sprecher, wie etwa bei Gruppendiskussionen, einzustellen und zuzuhören, wenn Störgeräusche vorhanden sind.

Auch Kinder mit Aufmerksamkeitsstörungen, spezifischen Sprachentwicklungsstörungen oder Lern-

störungen werden durch schlechte raumakustische Bedingungen besonders beeinträchtigt. Eine Erhöhung des Störgeräuschpegels führt bei all diesen Kindern zu einer noch massiveren Beeinträchtigung des Sprachverstehens als bei nicht betroffenen Kindern (s. Tab. 2).

Um ein störungsfreies und müheloses Sprachverstehen zu ermöglichen, sollte der Signal-Rausch-Abstand etwa 10 dB betragen. Für jüngere Kinder oder die eben genannten Gruppen sind 15 dB anzustreben. Bei normaler Sprechlautstärke einer Lehrkraft von etwa 60 dB bedeutet dies, dass der Hintergrundgeräuschpegel in den hinteren Sitzreihen 40 dB nicht überschreiten sollte. Dieser Wert wird aufgrund von Lärmimmissionen von der Straße oder aus Nachbarräumen oft schon in leeren Klassenräumen überschritten.

Tab. 2: Sprachverstehensleistungen bei Kindern mit Entwicklungsstörungen und Kindern, die in ihrer Zweitsprache unterrichtet werden (Gruppe A) im Vergleich zu Kontrollkindern (Gruppe B). In der Ruhebedingung zeigen sich kaum Unterschiede zwischen den Gruppen – alle Kinder können die Aufgabe nahezu fehlerlos meistern. Wird jedoch ein Hintergrundgeräusch eingespielt, werden die Kinder aus Gruppe A erheblich stärker beeinträchtigt. Dasselbe gilt für Kinder mit peripheren Hörstörungen, auditiven Wahrnehmungsstörungen, allgemeiner Lernbehinderung oder Lese-/Rechtschreibstörung. Für all diese Kinder sind optimale Hörbedingungen im Unterricht besonders wichtig.

Autoren	Stichprobe	Sprachverstehensleistung in Ruhe		Sprachverstehensleistung im Störgeräusch	
		Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
ZIEGLER et al. 2005 Exp.1 [13]	Gruppe A: 10 Kinder mit Sprachentwicklungsstörung Gruppe B: 10 Kontrollkinder, ca. 10 Jahre	94,6 %	99,4 %	61,7 %	86,3 %
GEFFNER et al. 1996 [14]	Gruppe A: 27 Kinder mit Aufmerksamkeitsstörung Gruppe B: 15 Kontrollkinder 6–12 Jahre	97 %	99 %	54 %	88 %
NELSON et al. 2005 [15]	Gruppe A: 15 Kinder mit Englisch als Zweitsprache Gruppe B: 7 Kinder mit Englisch als Muttersprache Zweitklässler	96 %	97 %	86 %	97 %

5.2 Wirkungen von Lärm auf kognitive Leistungen von Kindern

„Der Lärm aber ist die impertinenteste aller Unterbrechungen, da er sogar unsere eigenen Gedanken unterbricht, ja zerbricht.“
(Schopenhauer)

Auch geistige Tätigkeiten, bei denen es nicht um Hören und Zuhören geht, können durch Lärm beeinträchtigt werden. Jeder weiß aus eigener Erfahrung, dass plötzlich eintretende, laute, ungewöhnliche oder unbekannte Geräusche die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, von der aktuellen Tätigkeit ablenken und Denkvorgänge unterbrechen. Solche Geräusche

zeigen Veränderungen in unserer Umgebung an, die für uns bedeutend sein können – hierauf reagieren wir ganz automatisch. Das Unterdrücken von solchen Reaktionstendenzen ist schon für Erwachsene mühsam, Kindern fällt es noch weit schwerer. Untersuchungen aus vielen verschiedenen Bereichen zeigen, dass die Fähigkeit, die Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Sache zu fokussieren und auf Störreize nicht zu reagieren, bei Kindern viel weniger ausgeprägt ist als bei Erwachsenen.

Neben diesen globalen, durch Ablenkung der Aufmerksamkeit vermittelten Lärmwirkungen gibt es auch spezifische Störeffekte von bestimmten Geräuscharten auf bestimmte kognitive Prozesse. Ganz besonders empfindlich für Störungen durch Hintergrundgeräusche ist das Kurzzeitgedächtnis. Dieses ermöglicht uns, Informationen über einen kurzen Zeitraum verfügbar zu halten und zu verarbeiten. Wenn wir beispielsweise einen langen, komplizierten Satz lesen oder hören, müssen wir den Satzanfang im Kurzzeitgedächtnis verfügbar halten, um ihn mit dem Satzende in Beziehung setzen zu können. Wenn wir eine Rechenaufgabe lösen, müssen wir die Operatoren und Teilergebnisse im Kurzzeitgedächtnis bereithalten, um damit die notwendigen Berechnungen durchführen zu können.

Unregelmäßige Hintergrundscharle wie Sprache oder flotte Instrumentalmusik führen schon bei geringen bis mittleren Lautstärken zu einer Störung des Kurzzeitgedächtnisses. Dabei macht es keinen Unterschied, ob die zu behaltende Information (z. B. Ziffern- oder Wortfolgen) schriftlich präsentiert oder vorgesprochen wird (wird sie vorgesprochen, muss der Signal-Rausch-Abstand natürlich so gewählt werden, dass fehlerfreies und müheloses Verstehen möglich ist – dies wird in solchen Studien genau kontrolliert).

Die Störung der Behaltensleistung tritt auch dann auf, wenn eine für die Versuchspersonen völlig unverständliche Fremdsprache eingespielt wird – es kommt dabei nicht auf die Bedeutung an. Gleich laute kontinuierliche Schalle wie breitbandiges Rauschen, das Geräusch einer Autobahn oder auch sehr langsame, getragene Instrumentalmusik (wie etwa Meditationsmusik) beeinträchtigen solche Aufgaben dagegen nicht. Von Gedächtnisforschern wird dieser Befund als Hinweis auf eine direkte Verbindung zwischen dem auditiven Wahrnehmungssystem und dem Kurzzeitgedächtnis angesehen. Unregelmäßige,

zeitlich strukturierte Schalle scheinen automatisch ins Kurzzeitgedächtnis einzudringen und die dort ablaufenden Behaltensprozesse zu beeinträchtigen. Man kann dies nicht verhindern, und die Störung ist den Betroffenen oft auch gar nicht bewusst. So äußern die Versuchspersonen nach einem solchen Experiment häufig, das Geräusch habe sie beim Bearbeiten der Gedächtnisaufgabe nicht gestört („Ich hab´ s ja sowieso nicht verstanden“) – die Arbeitsergebnisse beweisen jedoch das Gegenteil.

Auch von dieser Störung sind Kinder wesentlich stärker betroffen als Erwachsene. In einer Studie von Emily Elliott [16] zeigten Kinder der zweiten Klasse Leistungsverlechterungen beim Behalten von Ziffernfolgen um fast 30 %, wenn im Hintergrund gesprochen wurde; die Erwachsenen verschlechterten sich „nur“ um etwa 10 %.

Nachfolgende Studien bestätigen die gravierenden Wirkungen auch bei anderen Aufgaben ([17] s. Abb. 9 und 10). Kinder der ersten Klasse zeigten Leistungsverlechterungen um mehr als 20 % beim Behalten von Silbenfolgen, wenn ein für sie unverständliches Hintergrundsprechen eingespielt wurde – obwohl die Silben mühelos zu verstehen waren. Die Restleistung war nicht viel besser als die, die durch bloßes Raten erreicht werden konnte. Zuggeräusche gleichen Pegels beeinträchtigten die Behaltensleistung dagegen nicht. Ähnliches zeigte sich in Aufgaben, die das Erkennen und Vergleichen der An- oder Endlaute vorgesprochener Wörter erfordern. Kinder der zweiten Klasse verschlechterten sich bei einer solchen Aufgabe um fast 25 %, wenn ein Hintergrundsprechen präsentiert wurde. Auch hier hatten die Zuggeräusche keinerlei Wirkung. (Dies gilt jedoch nicht für Verkehrsgeräusche generell! Die hier eingesetzten Zuggeräusche wirkten subjektiv „glatt“ und rauschähnlich – Elemente wie quietschende Bremsen, das Schlagen auf den Gleisbefestigungen o. Ä. waren darin nicht enthalten. Ist dies der Fall, so kommt es durchaus zu Störungen.)

Diese Erkenntnisse sind für das Thema „Lärm in Schulen“ besonders wichtig, da die Fähigkeit, Lautinformationen zu speichern und zu verarbeiten, beim Spracherwerb und beim Lesen- und Schreibenlernen eine maßgebliche Rolle spielt. Die Kurzzeitgedächtnisleistung im Kindergartenalter – meist erfasst durch das Nachsprechen von „Zauberwörtern“ zunehmender Länge - erlaubt eine Vorhersage der

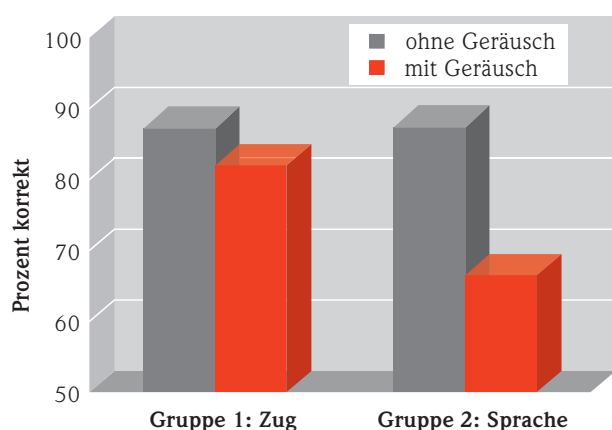


Abb. 9: Leistungen von Erstklässlern beim Behalten von Pseudowörtern. Beide Gruppen bearbeiteten die Aufgaben einmal in Ruhe und einmal unter einem Hintergrundgeräusch. Die Kinder in Gruppe 2 zeigten eine Leistungsver schlechterung um mehr als 20 %, wenn das Hintergrundgeräusch (unverständliche Sprache) eingespielt wurde. In Gruppe 1 zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Leistung in Ruhe und der im Störgeräusch (Zug). Sprachschall – egal ob er verstanden wird oder nicht – dringt in das Kurzzeitgedächtnis ein und stört die dort ablaufenden Behaltensprozesse. Ähnliches gilt für Instrumentalmusik oder andere Geräusche, die sich über die Zeit schnell verändern.

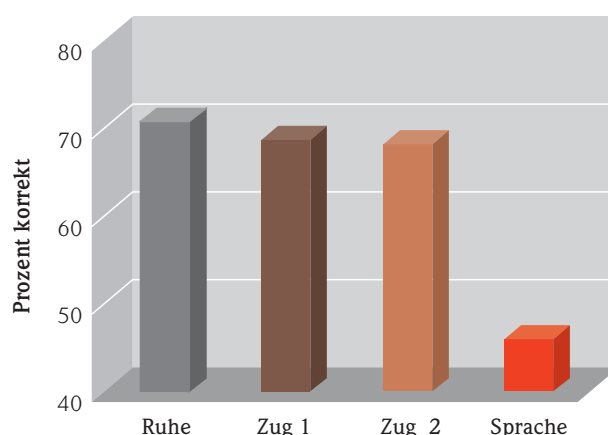


Abb. 10: Leistungen von Zweitklässlern bei einer Aufgabe zur Kategorisierung von Lauten. Aus jeweils 3 vorgesprochenen Wörtern war dasjenige herauszufinden, welches sich im An- oder Endlaut von den anderen beiden unterschied. Die hier erfassten phonologischen Fähigkeiten sind für das Lesen- und Schreibenlernen von grundlegender Bedeutung. Die Kinder zeigten eine Leistungsver schlechterung um fast 25 %, wenn ein für sie unverständliches Hintergrundsprechen eingespielt wurde. Zuggeräusche gleichen Pegels hatten keine Wirkung.

weiteren Entwicklung des Wortschatzes und des sprachlichen Ausdrucksvermögens. Leseanfänger können die meisten Wörter noch nicht als Ganzheiten erkennen – sie müssen sie Schritt für Schritt „erlesen“. Dabei müssen die einzelnen Grapheme in Laute übersetzt, die einzelnen Laute müssen gespeichert und schließlich zusammengezogen werden. Dies stellt erhebliche Anforderungen an das Kurzzeitgedächtnis. Kinder mit Sprachentwicklungs- oder Lese-/Rechtschreibstörungen zeigen meistens erhebliche Defizite in der Kurzzeitgedächtnisleistung. Die oben beschriebene Aufgabe zur Lautkategorisierung erfasst neben der Speicherung noch eine weitere Vorläuferfertigkeit des Schriftspracherwerbs, die man als „Phonologische Bewusstheit“ bezeichnet. Hierbei handelt es sich um die Fähigkeit, mit formalen Strukturen der Sprache, insbesondere mit Lauten, mental zu operieren. Nichts anderes tun Grundschul Kinder, wenn sie unbekannte Wörter erlesen oder „lautgetreu“ verschriften. Folgerichtig zeigen sich auch hohe Korrelationen zwischen der Leistung in der oben beschriebenen Aufgabe und der Rechtschreibleistung ($r=0,6$).

Festzuhalten ist: Lärm stört geistige Prozesse, die beim Laut- und Schriftspracherwerb von entschei-

dender Bedeutung sind. Permanente Störungen dieser Prozesse durch Lärm können langfristig zu Beeinträchtigungen in diesen Entwicklungsbereichen führen. Tatsächlich zeigen Kinder, die in unmittelbarer Nähe einer Einflugschneise oder einer stark befahrenen Straße aufwachsen, Defizite in der Sprachwahrnehmung, der Lesefähigkeit und der Aufmerksamkeit. Es ist zu anzunehmen, dass auch eine weniger extreme Lärmbelastung zur Entstehung solcher Störungen beitragen bzw. bestehende Störungen verstärken kann; hierzu gibt es aber bislang keine Untersuchungen.

In jedem Fall sollte bei Aufgaben, die das Kurzzeitgedächtnis beanspruchen, besonders auf eine ruhige Lernumgebung geachtet werden. Lese- und Rechtschreibübungen von Grundschulkindern verlaufen sicher weniger effizient, wenn die Aufgabe am Gruppentisch unter der Unterhaltung der Mitschülerinnen und Mitschüler oder zu Hause bei laufendem Kassettenrecorder, Fernsehgerät o. Ä. erledigt wird. Ähnliches gilt für das Kopfrechnen oder das Lernen von Vokabeln. Der Lärm lenkt die Kinder nicht nur ab – er stört auch ganz direkt die bei diesen Aufgaben notwendigen Verarbeitungsprozesse.

5.3 Raumakustik, Arbeitsbelastung und „Lernklima“

Lange Nachhallzeiten beeinträchtigen die Sprachverständlichkeit im Raum durch Verzerrung des Sprachsignals; weiterhin bewirken sie eine Zunahme des Grundgeräuschpegels. Das Unterrichten in derartigen Räumen bedeutet für die Lehrkräfte Reden mit ständig erhobener Stimme, was auf die Dauer sehr anstrengt. Der Unterrichtsfluss wird durch häufiges Wiederholen von Informationen und Ermahnungen

der Kinder zur Ruhe unterbrochen. Unlust, Ärger, Erschöpfung sowie Hals- und Stimmlippenprobleme können die Folge sein. Übereinstimmend hiermit zeigte sich in einer von der Heriot-Watt-Universität Edinburgh [10] durchgeführten Studie zur Klassenraumakustik bei denjenigen Lehrkräften, die vorwiegend in raumakustisch ungünstigen Klassenräumen unterrichteten, ein höherer Krankenstand als bei den Kolleginnen und Kollegen, die in besseren Räumen tätig waren. Für die Kinder wird das Zuhören im Unterricht durch die ungünstige Akustik noch anstrengender, auch fühlen sie sich – wie

Gespräche mit betroffenen Schülerinnen und Schüler nahe legen – oft zu Unrecht wegen angeblich „lärmigen“ Verhaltens getadelt – in akustisch sehr ungünstigen Räumen entsteht auch bei „leisem“ Verhalten keine wirkliche Ruhe im Raum. Hinzu kommen die lärmbedingten Störungen der Konzentration und des Gedächtnisses, die wir bereits betrachtet haben.



Abb. 11: In einer Feldstudie an Stuttgarter Grundschulen wurden die Wirkungen der Nachhallzeiten in den Klassenräumen auf die Lärmbelastung und das allgemeine Wohlbefinden der Kinder in der Schule untersucht. Kinder, die in Klassenräumen mit langen Nachhallzeiten unterrichtet wurden, fühlten sich durch Lärm stärker belastet als Kinder aus akustisch günstigen Klassenräumen; sie berichteten auch weniger positive Beziehungen zu ihren Lehrkräften, Mitschülerinnen und Mitschülern. Das Lernen und Lehren in lauten, halligen Räumen bedeutet eine permanent erhöhte Belastung für Lehrkräfte und Kinder, dies kann langfristig zur Entstehung einer Atmosphäre der Unlust und Anspannung beitragen.

Unter solchen Bedingungen sind entspannte und effiziente Unterrichtsgespräche nur bedingt möglich. Ergebnisse einer aktuellen Feldstudie weisen darauf hin, dass die permanent erhöhte Belastung der Lehrkräfte und Kinder langfristig sogar zur Entstehung einer Atmosphäre der Unlust und Anspannung beitragen kann – das Lernklima wird nachhaltig beeinträchtigt (s. Abb. 13).

Nachhallzeit, Lärmbelastung und „Lernklima“: Ergebnisse einer Feldstudie [11, 18, 19]

Im Rahmen des Programms „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ des Landes Baden-Württemberg (kurz: BWPlus) wurden Stuttgarter Grundschul Kinder der ersten und zweiten Klassenstufe untersucht, deren Klassenräume sich hinsichtlich der Nachhallzeiten stark unterschieden (0,49–1,11 Sekunden; zur Erinnerung: nach DIN 18041 sind Werte um 0,55 Sekunden anzustreben). In den zweiten Klassen wurde ein Fragebogen zur Lärmbelastung im Klassenraum eingesetzt. Aussagen wie „Geräusche wie Stühle rücken oder in Taschen herumkramen stören mich“ oder „Meine Mitschüler sind oft sehr laut“ wurden den Kindern (N=375) vorgelesen und von diesen auf Antwortbögen mit „stimmt“ oder „stimmt nicht“ beantwortet. Die Kinder aus den akustisch günstigen Räumen (Nachhallzeiten unter 0,65 s) berichteten eine signifikant geringere Lärmbelastung als die Kinder aus den Räumen mit längeren Nachhallzeiten.

Einzelne Aussagen aus diesem Fragebogen veranschaulichen den Sachverhalt. Auf die Aussage „In der Stillarbeit ist es wirklich still“ antworteten sehr viel mehr Kinder aus den akustisch günstigen Räumen mit „stimmt“. Der Aussage „Unsere Lehrer sagen oft, dass wir leiser sein sollen“ wurde zwar in allen Gruppen sehr häufig zugestimmt, dennoch war der %satz von „stimmt“-Antworten bei den Kindern aus den akustisch günstigen Räumen signifikant geringer (s. Abb.12).

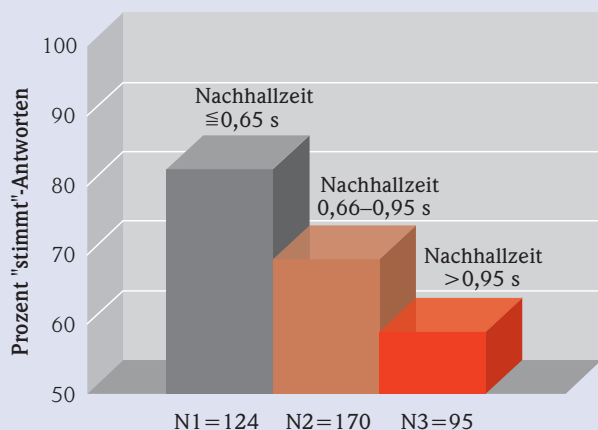


Abb. 12a: Prozentsatz von „stimmt“-Antworten der Kinder auf die Aussage „In der Stillarbeit ist es wirklich still“ in Abhängigkeit von der Nachhallzeit im Klassenraum. Kinder aus Klassenräumen mit kurzen Nachhallzeiten stimmen dieser Aussage wesentlich häufiger zu als Kinder aus Klassenräumen mit längeren Nachhallzeiten.

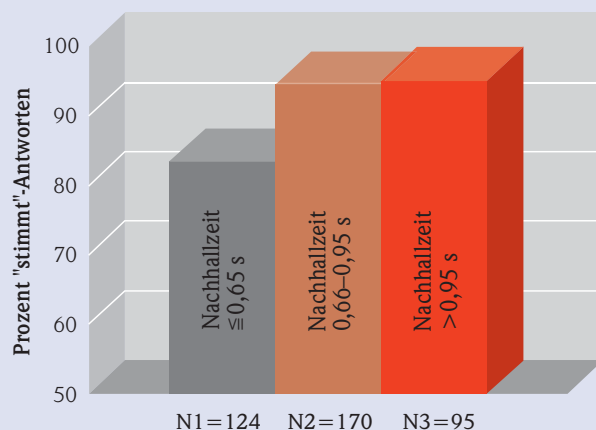


Abb. 12b: Prozentsatz von „stimmt“- Antworten der Kinder auf die Aussage „Unsere Lehrer sagen oft, dass wir leiser sein sollen“ in Abhängigkeit von der Nachhallzeit im Klassenraum. Dieser Aussage wird in allen Gruppen häufig zugestimmt, der Anteil der „stimmt“-Antworten ist jedoch bei den Kindern aus den Räumen mit kurzen Nachhallzeiten signifikant geringer.

In der Studie wurde auch ein Elternfragebogen eingesetzt, in dem sich ebenfalls eine Frage zur Lärmbelastung der Kinder in der Schule befand. Die Aussage „Unser Kind leidet unter dem Lärm, den die anderen Kinder in der Schule machen“ sollte mit „stimmt genau“, „stimmt teilweise“, „stimmt eher nicht“ oder „stimmt gar nicht“ beurteilt werden. Auch hier wurde geprüft, inwieweit die Antworthäufigkeiten in Abhängigkeit von den Nachhallzeiten in den Klassenräumen der Kinder variieren. Da der Elternfragebogen an alle Kinder verteilt wurde, konnten bei dieser Analyse auch Kinder der ersten Klasse einbezogen werden. Die Eltern, deren Kinder in Räumen mit langen Nachhallzeiten unterrichtet wurden, stimmten der Aussage signifikant öfter zu als die Eltern der Kinder aus den Räumen mit kürzeren Nachhallzeiten.

Die hohe Belastung von Lehrerinnen und Lehrern durch Lärm wurde bereits in anderen Studien dokumentiert. Offensichtlich leiden aber auch die Kinder unter dem Lärm in der Schule – und zwar besonders, wenn sie in halligen Klassenräumen unterrichtet werden.

Das Lernen und Lehren in halligen – und dadurch auch lauten – Räumen bedeutet eine permanente Erschwerung von Kommunikations-, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisprozessen – die Arbeitsbelastung steigt. Darüber hinaus können soziale Spannungen auftreten: Die Lehrkräfte zeigen sich verärgert über die vermeintlich lauten Kinder; diese fühlen sich zu Unrecht getadelt, da in halligen Räumen auch bei „leisem“ Verhalten keine wirkliche Ruhe entsteht. Dass solche Bedingungen einer entspannten, freundlichen Unterrichtsatmosphäre entgegenwirken, liegt auf der Hand. Ein Anliegen der Studie bestand darin, diese Hypothese durch Befragungen der Kinder zu überprüfen.

Die Auswirkungen der Nachhallzeit im Klassenraum auf solche emotionalen Aspekte wurden anhand des Fragebogens zur Erfassung von sozial-emotionalen Schulerfahrungen von Rauer und Schuck (2004) geprüft. Dieser Fragebogen enthält Aussagen zu den Beziehungen der Kinder untereinander (Skalen „Klassenklima“ und

„Soziale Integration“, z.B. „Die anderen hören zu, wenn ich etwas sage“, „Wir sind alle gute Freunde“), zur Lehrer-Schüler-Beziehung (Skala „Gefühl des Angenommenseins“, z. B. „Meine Lehrer reden freundlich mit mir“), zur Anstrengungsbereitschaft und zur Schuleinstellung (z. B. „Nach den Ferien freue ich mich auf die Schule“). Auch hier wurden die Aussagen vorgelesen und von den Kindern durch Ankreuzen der Antwortalternativen „stimmt“ oder „stimmt nicht“ beantwortet.

Diejenigen Kinder, die in sehr halligen Klassenräumen unterrichtet wurden, beurteilten ihre Beziehungen zu den Lehrkräften, Mitschülerinnen und Mitschülern weniger positiv, weiterhin zeigten sie eine geringere Anstrengungsbereitschaft. Die Unterschiede zwischen den diesbezüglichen Skalenwerten (Klassenklima, soziale Integration, Gefühl des Angenommenseins, Anstrengungsbereitschaft) waren statistisch hoch signifikant. Die in Abb. 13 dargestellten Antworten der Kinder auf einzelne Aussagen veranschaulichen dies.

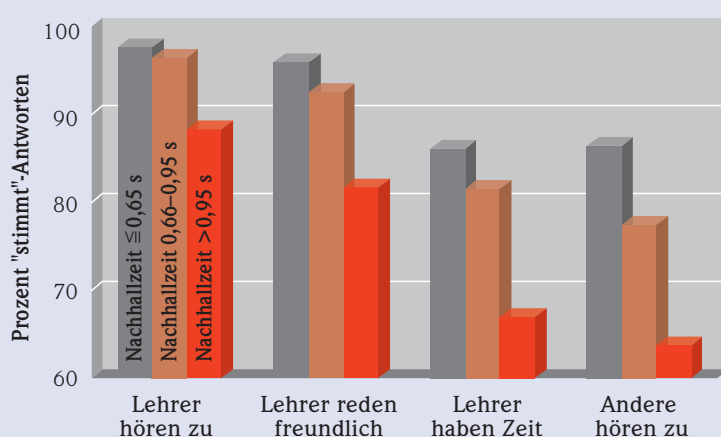


Abb. 13:

Nachhallzeit und Lernklima

Kinder aus Klassenräumen mit langen Nachhallzeiten (rot; N=92) beurteilten die Beziehungen zu ihren Lehrkräften, Mitschülerinnen und Mitschülern weniger positiv als Kinder aus Klassen mit mittleren (hellbraun, N=169) und kurzen Nachhallzeiten (grau, N=119). Die Abbildung zeigt die Antworthäufigkeiten auf diesbezügliche Aussagen („Meine Lehrer hören mir zu, wenn ich etwas zu sagen habe“, „Meine Lehrer reden freundlich mit mir“, „Meine Lehrer haben Zeit für mich“ und „Die anderen hören zu, wenn ich etwas sage“). Die Unterschiede können nicht auf Unterschiede in der sozialen Herkunft der Kinder zurückgeführt werden.

Diese Befunde können nicht durch Unterschiede in der Zusammensetzung der Klassen (Bildungsstand und Einkommen der Eltern, Anteil an Kindern mit nicht-deutscher Muttersprache) erklärt werden – diese Faktoren wurden sorgfältig kontrolliert. Obgleich weitere Einflussfaktoren nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden können (dies ist in Feldstudien immer ein Problem) ist anzunehmen, dass die akustischen Bedingungen im Klassenraum das Lernklima in einer Schulklasse maßgeblich mitbestimmen.

Bei der Diskussion um Bildungsqualität und Bildungsstandards muss auch die Umwelt berücksichtigt werden, in der Lernen und Lehren stattfindet. Ungünstige akustische Bedingungen erhöhen die Arbeitsbelastung von Erzieherinnen, Erziehern und Lehrkräften, erschweren die Kommunikation im mündlichen Unterricht und beeinträchtigen Sprachwahrnehmungs- und kognitive Leistungen, die für den Laut- und Schriftspracherwerb überaus wichtig sind.

Eine dem Lernen und Lehren förderliche akustische Umwelt kann nur durch die Kombination von baulichen und pädagogischen Maßnahmen erreicht werden. Schulräume sind Kommunikationsräume für

Kinder – sie müssen so gestaltet sein, dass sie diesen besonderen Anforderungen gerecht werden; hierzu gehört eine optimale Raumakustik. Wie diese erreicht werden kann, wird im zweiten Teil dieser Broschüre detailliert behandelt. Aber auch einfache Maßnahmen können zur Verringerung des Lärms beitragen:

- Eine Überprüfung des Mobiliars auf unnötige Lärmquellen wie klappernde Fächer und ggf. die Erneuerung von Filzunterlagen unter den Stühlen und Tischen.
- Bei der Auswahl von Spielzeug sollte auch der Lärm mit bedacht werden, der beim Umgang da-

mit entsteht. Spielgeräte, die Geräusche produzieren, können zur unerträglichen Lärmquelle werden, wenn sie von mehreren Kindern gleichzeitig benutzt werden.

- Das Ein- und Ausräumen von Spielzeug verursacht erheblich weniger Lärm, wenn es in ausgepolsterten Kisten, Körben oder Stoffsäcken aufbewahrt wird.
- Das Spielen mit Bauklötzen verläuft wesentlich leiser, wenn es auf Spielteppichen statt auf dem blanken Fußboden erfolgt.

- Kinderlieder oder Geschichten von CD oder Kassette sollten grundsätzlich nicht „im Hintergrund“ laufen, sondern nur in Situationen, wo wirklich zugehört wird.

Wenden wir uns abschließend der Frage zu, welche Möglichkeiten Erzieherinnen, Erzieher und Lehrkräfte über die Raumgestaltung hinaus nutzen können, um das Hören und Zuhören zu fördern und die Lärmbelastung zu verringern.

6 Hör- und Zuhörförderung in Kindertagesstätte und Schule

Hören und Zuhören als Grundlage gelingender Kommunikation hängt – neben den bereits besprochenen Umweltbedingungen – natürlich auch von Merkmalen des Sprechers und des Hörers sowie von der Gestaltung der kommunikativen Situation ab. Wenn eine Lehrkraft, eine Erzieherin oder ein Erzieher schnell, undeutlich oder sehr leise spricht, werden Kinder kaum zum aufmerksamen Zuhören motiviert. Die Schulung der eigenen Stimme und wiederholte Selbstkontrollen des eigenen Sprechverhaltens (Video-Aufnahme, Kassetten- oder Minidisk-Recorder) sollten für Pädagogen selbstverständlich sein, auch, um den in diesen Berufsgruppen häufigen Hals- und Stimmlippenproblemen vorzubeugen. Der Flensburger Sprachwissenschaftler Dr. HARTWIG ECKERT verdeutlicht dies sehr anschaulich [20]:

„Die Referendarin, die sagt, sie hätte wegen der vielen Unterrichtsvorbereitungen keine Zeit, sich um ihre Stimme zu kümmern, gleicht einem „Tour-de-France-Fahrer“, der zu Fuß weitergeht, weil er meint, keine Zeit zum Aufpumpen seines Rades zu haben. Denn: Ohne Stimme geht nichts.“

Neben der Sprechweise ist auch die Formulierung der Mitteilungen zu berücksichtigen. Die Kurzzeitgedächtniskapazität von Kindern im Vor- und Grundschulalter ist noch begrenzt – komplexe Äußerungen und mehrteilige Anweisungen überfordern sie.

Die Einführung und konsequente Einhaltung von wenigen, einfachen Regeln trägt maßgeblich zur

Lärmminderung und zur Förderung einer Kultur des aufmerksamen und anerkennenden Zuhörens bei. Wichtig ist dabei, dass diese Regeln im Konsens mit allen beteiligten Lehrkräften vereinbart, vom ersten Schultag an eingeführt und konsequent eingehalten werden – so werden sie für die Kinder zur Selbstverständlichkeit. Eine Untersuchung des Instituts für Interdisziplinäre Schulforschung der Universität Bremen zum Thema „Lärm in Bildungsstätten“ [4] dokumentiert sehr deutlich die Wirksamkeit eines solchen, vom Kollegium gemeinsam getragenen Konzepts. In Schulen, die dies praktizierten, lagen die in den Unterrichtsstunden gemessenen Schallpegel deutlich niedriger als in vergleichbaren Kontrollschulen. Um Missverständnissen vorzubeugen: Es ist keineswegs autoritärer Drill zu Ruhe und Disziplin gemeint, sondern die Einführung und konsequente Berücksichtigung von Umgangsformen, die allen – den Lehrkräften wie den Kindern – das Miteinander in der Schule erleichtern.

- Grundsätzlich gilt – dies mag trivial erscheinen, kann aber nicht oft genug betont werden – Ruhe abwarten und Aufmerksamkeit herstellen, statt mit lauter Stimme gegen den Lärm anzureden.
- Ruhezeichen einführen: Der Unterrichtsbeginn kann durch einen Triangelton, Gong o. Ä. signalisiert werden, anschließend wartet die Lehrkraft solange, bis Ruhe eingekehrt ist. Darüber hinaus sollten spezifische Handzeichen vereinbart werden, die auch von den Kindern selbst ausgeführt werden, wenn es zu laut wird.

- Auch Rituale wie das Anziehen von Hausschuhen vor Betreten des Klassenraums sind sehr hilfreich – nicht nur durch die Verringerung des Trittschalls. Diese Handlung erfordert ein Innehalten vor dem Betreten des Klassenraums. Hierdurch wird den Kindern implizit vermittelt, dass der Klassenraum einen besonderen Bereich darstellt, in dem man sich anders verhält als draußen auf dem Pausenhof. Stürmt man einfach vom Hof in den Raum hinein, so ist diese Umstellung viel schwieriger.
- Sind die Kinder unruhig und unaufmerksam, so kann ein kurzes Sing- und Bewegungsspiel – bei dem es auch laut werden darf – sehr dazu beitragen, Ruhe und Konzentrationsfähigkeit wieder herzustellen.
- Verbindliche Regeln der Kommunikation wie „Wenn einer redet, hören die anderen ihm zu“ und „Wir fallen uns nicht ins Wort“ können gemeinsam mit den Kindern erarbeitet, in übersichtlicher und für alle verständlicher Form visualisiert und im Klassenraum aufgehängt werden – so genügt ein kurzer Hinweis zur Erinnerung. Hierbei ist zu bedenken: Erzieherinnen, Erzieher und Lehrkräfte sind Modelle für gutes Zuhören – und dies in jedem Augenblick. Wer selbst nur „mit halbem Ohr“ hinhört, statt sich dem Kind ganz zuzuwenden, es womöglich unterbricht oder Äußerungen vorschnell interpretiert – kurz, wer

sich selbst nicht wirklich auf Kommunikation einlässt, kann Kinder nicht zu achtsamen Zuhörern erziehen.

- Zuhörfreundlicher Unterricht setzt gute Vorbereitung voraus. Erfolgreiches Zuhören – verstanden als Integration von neuen Wissensinhalten in die vorhandene Wissensbasis – kann nur gelingen, wenn das relevante Vorwissen aktiviert und die neue Information in strukturierter und organisierter Form übermittelt wird. Worum geht es? Was ist das Ziel? Wie gehen wir vor? – und immer wieder: Wo stehen wir jetzt? Ein klarer und explizit ausgedrückter „roter Faden“ gibt dem Hörer ein Gerüst vor und ermöglicht ihm, Wichtiges von Unwichtigem zu unterscheiden. Die bloße Aufforderung, doch bitte gut zuzuhören, ist dagegen wenig hilfreich. Dies gilt insbesondere für kindliche Hörer, die solche „Zuhörstrategien“ erst erlernen.

Das Thema „Zuhörfreundlicher Unterricht“ kann hier nur angerissen werden, es umfasst natürlich noch sehr viel mehr als die genannten Aspekte. Interessierte Leserinnen und Leser seien auf die Arbeiten von MARGARETE IMHOF verwiesen, die an der Universität Frankfurt zum Thema „Zuhören“ lehrt und forscht, insbesondere auf den Artikel „Hör doch einfach zu!“ in der Zeitschrift „Grundschule“ (Heft 2, Februar 2004, S. 34–35); hier finden sich auch weiterführende Literaturangaben.

7 Materialien und Projekte

7.1 Thema Hören, Lärm und Gesundheit

Im Abschnitt „Aurale Lärmwirkungen“ wurde auf die Gefahr von Hörschädigungen durch Freizeitlärm bei Kindern und Jugendlichen hingewiesen. Es gibt mittlerweile viele gute Materialien, die Erzieherinnen, Erzieher und Lehrkräfte bei der Behandlung des Themas „Lärm und Hören“ heranziehen können, um ihren Schützlingen die Faszination des Hörens nahe zu bringen und sie an einen achtsamen, verantwortungsbewussten Umgang mit dem eigenen Gehör (und dem anderer!) heranzuführen.

- Die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BzgA) hat Unterrichtsmaterialien zum

Thema „Lärm und Gesundheit“ für die Klassenstufen 1–4 und 5–9 zusammengestellt, die als CD mit Begleitbuch bestellt werden können (ein Exemplar kostenlos, bei entsprechender Begründung auch mehrere). Nähere Informationen finden sich unter www.bzga.de (Link: Unterrichtsmaterialien).

- Sehr schön aufgemachte Materialien für die Grundschule finden sich auch in dem Band „Lärm und Hören“ aus der Reihe „Gesundheitserziehung in der Grundschule mit Fipsi und Maxi“, erschienen im Auer Verlag. Ein Auszug aus dem Vorwort: „Die Geschichten von Fipsi und Maxi (zwei Mäuse-

kinder, Anm. der Verf.) sollen zusammen mit den zugehörigen Unterrichtseinheiten dazu beitragen, dass Kinder ihren Körper als interessantes und bestaunenswertes Wunderwerk erleben und begreifen lernen. Damit das möglich ist, muss der Unterricht Spaß machen. Nur so können positive Gefühle entwickelt werden, die nötig sind, damit Kinder ihren Körper und ihre Gesundheit auch als schützenswert ansehen können.“ (GABRIELE HOELTZENBEIN, Autorin des Bandes und Ärztin im Jugendärztlichen Dienst des Gesundheitsamts Oldenburg).

- „Prävention durch Faszination“ ist auch das Leitziel des Medienpakets „Olli Ohrwurm“, das vom Kölner Projektkreis „Schule des Hörens“ im Auftrag der Landeszentrale für Gesundheit Bayern e.V. entwickelt wurde. Es bietet umfangreiche Ideen- und Materialsammlungen für den Einsatz in Kindergarten und Grundschule, aber auch in außerschulischen Kindergruppen und in der Familie. Das Paket für jüngere Kinder (Kindergarten bis 2. Klasse) besteht aus einer Broschüre mit Sachinformationen, Spiel- und Gestaltungsideen, Geschichten zum Vorlesen und Nachspielen und Anleitungen zu kleinen Experimenten sowie zwei CDs mit Hörspielen, Geräuscherätseln, Klanggeschichten, Geräuschrezepten, Liedern und akustisch umgesetzten Sachinformationen. Durch das Material führen die Leitfiguren Olli Ohrwurm, ein „Ohrhöhlenforscher“, und seine Freunde Leo Leise und Lola Laut. Der zweite Band „Neue Abenteuer mit Olli Ohrwurm und seinen Freunden“ richtet sich an Kinder der Klassenstufen 3–4. Er besteht aus einer Broschüre und einer CD und enthält umfangreiche Anregungen zur altersgerechten Auseinandersetzung mit Themen wie „Lärm und Akustik“, „Hörschäden“, „Sprache und Sprechen“, „Geräusche“ und „Wege zu mehr Ruhe und Konzentration“. Informationen zu Olli Ohrwurm finden sich unter www.schule-des-hoerens.de (Link: SDH für Kinder); bestellt werden kann bei der Landeszentrale für Gesundheit Bayern unter www.lzg-bayern.de.
- Die Firma Siemens bietet eine umfangreiche Mediensammlung zum Thema „Ohr, Hören und Schwerhörigkeit“ für den schulartenübergreifenden Einsatz an. Die Materialien wurden im Jahre 2004 mit dem Comenius-Siegel der Gesellschaft

für Pädagogik und Information (GPI) ausgezeichnet. Nähere Informationen hierzu unter www.siemens.com/knowledge-zone.

- Sehr ansprechende, mit Spielen und Animationen versehene Internetseiten zum Thema Lärm und Hören für Schülerinnen und Schüler ab etwa Klasse 5 und Erwachsene finden sich bei der Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich unter <http://www.laermorama.ch>.
- Im Rahmen der Beschäftigung mit dem Thema Lärm in Kindergarten und Schule kann die Nutzung einer so genannten „Lärmampel“ oder eines „SoundEar“ sinnvoll sein. Hierbei handelt es sich um Pegelmessgeräte in Form einer kleinen Verkehrsampel bzw. eines Ohres. Bei zu hohen Pegeln schaltet das Gerät erst auf gelb, dann auf rot – eine Rückmeldung für die Kinder, die für den Lärm sensibilisiert und Ermahnungen unnötig macht. Allerdings ist der Effekt nicht immer von Dauer – ein Wechsel zwischen Kindertagesstätten oder Schulen ist daher sinnvoll und senkt die Anschaffungskosten.

7.2 Thema Projekte zur Hör- und Zuhörförderung

Das Angebot an Spielideen und Materialien zur Hör- und Zuhörförderung ist unüberschaubar. Viele Anregungen finden sich beispielsweise in dem Klassiker „Handbuch der Sinneswahrnehmung“ von RENATE ZIMMER, erschienen im Herder-Verlag. Auch Übungssammlungen zur Förderung der Phonologischen Bewusstheit im Vorschul- und Schuleingangsalter enthalten im ersten Teil – quasi als Voraussetzung für die später folgenden Lautübungen – zahlreiche Lauschspiele. Hierzu gehören das Würzburger Trainingsprogramm „Hören – Lauschen – Lernen“ von KÜSPERT & SCHNEIDER (Vandenhoeck & Ruprecht) sowie der Übungskatalog zur Förderung der Phonologischen Bewusstheit (s. Abschnitt 5.2) von CHRISTIANE CHRISTIANSEN, herausgegeben vom Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Schleswig-Holstein. Informationen zu diesem phantasievoll gestalteten und kostengünstigen Werk finden sich unter www.foerdephon.lernnetz.de.

Im Rahmen des von der Bund-Länder-Kommission geförderten Programms „Kulturelle Bildung im Me-

dienzeitaler“ führten Grundschulpädagoginnen und Grundschulpädagogen der Universität München zusammen mit anderen Partnern ein umfangreiches Projekt zur Zuhörförderung in Grundschulen durch, das weit über die Sensibilisierung für das Hören hinaus geht. Ausgangspunkt war die Überlegung, dass Zuhören eine kulturelle Grundfertigkeit darstellt, die nicht als „Bringschuld“ (so Prof. Kahlert, Leiter des Projekts) der Kinder vorausgesetzt werden kann, sondern gezielter Förderung bedarf – insbesondere im Hinblick auf das Erreichen von Medienkompetenz. Lehrkräfte aus 13 Schulen im Raum München beteiligten sich an der Entwicklung und Umsetzung von Angeboten zu den Bausteinen „Musik“, „Radioarbeit“, „Erzählen“, „Kunst“, „Theater“, „Sprechen und Sprache“, „Klangumwelt“ und „Raumgestaltung“; auch wurden Hörclubs an den beteiligten Schulen eingerichtet. Ein Fazit der betreuenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler:

„Die Wahrnehmung von Hör- und Zuhörbedingungen erweitert und differenziert sich, und das Repertoire, mit dem der Einzelne Hör- und Zuhörsituationen gestalten kann, wächst. Das gilt sowohl für Lehrkräfte wie für Schülerinnen und Schüler. Damit verbessern sich nicht nur die Voraussetzungen für das individuelle Lernen. Es entwickelt sich auch eine Zuhöratmosphäre, in der gemeinsam gelernt und gearbeitet werden kann.“ (BINDER et al. in „Grundschule“ 2/2004, S. 33).

Umfassende Informationen zum Hintergrund und zur praktischen Umsetzung finden sich unter www.ganzohrsein.de, in der Zeitschrift Grundschule (Heft 2, 2004, Themenschwerpunkt Ganz Ohr sein) sowie im Beitrag von Hagen, Hemmer-Schanze,

Huber und Kahlert im Berichtsband zur Oldenburger Tagung „Hören in Schulen“, dieser ist im Internet unter <http://schuleundgesundheit.hessen.de/module/arbeitschutz/laerm/materialcd> abrufbar.

Das thematisch ähnliche Projekt „Ohrenspitzer“, ein Kooperationsvorhaben der Landesmedienzentren Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg und der Stiftung Medienkompetenz Forum Südwest, zielt ebenfalls auf die Förderung der kindlichen Zuhörkompetenz. Unter www.ohrenspitzer.de (Link: Angebot) finden sich Hintergrundinformationen und vielfältige Spielanregungen rund um das Thema Hör- und Zuhörförderung sowie weiterführende Internet-Links, unter anderem zu einer umfangreichen und frei zugänglichen Sammlung von Geräuschen, die sich für die Gestaltung von Hörspielen in Kindertagesstätten und Schulen hervorragend eignen (www.hoerspielbox.de).

Weiterhin sei auf das kürzlich im Ökotoxia-Verlag erschienene Buch „Hört mal, was da klingt“ von CONNY FRÜHAUF & CHRISTINE WERNER hingewiesen. In übersichtlich strukturierter Weise finden sich hier phantasievolle Spielanregungen und Experimente für Kinder im Vor- und Grundschulalter. Die Sammlung zeichnet sich insbesondere durch die Breite der Themen aus: von der Förderung der Lautdiskrimination und auditiven Merkfähigkeit über Hörexperimente und die Herstellung von Hörspielen – mit Hilfe selbst gebauter Instrumente – bis zu Entspannungsübungen reicht das Angebot. Darüber hinaus finden sich wertvolle Hintergrundinformationen zu den einzelnen Bereichen sowie eine CD mit Geräusche-Rätseln, Klanggeschichten und Hörspielen.

Teil 2: Raumakustik – Planungsgrundlagen und Sanierungsvorschläge

Im Teil 1 dieser Broschüre wurde die Thematik „Hören und Lärm“ ausführlich behandelt. In diesem zweiten Teil werden die grundlegenden Kenntnisse über die Raumakustik in Schulen und Unterrichtsräumen dargestellt, die im Weiteren als Planungsgrundlage für Neubauten aber auch zur Sanierung

bereits bestehender Unterrichtsräume herangezogen werden können. Dabei stehen bei der Raumakustik gleichermaßen die Aspekte der Lärmreduzierung sowie die Schaffung guter akustischer Randbedingungen für die Informationsübertragung im Vordergrund.

8 Schallausbreitung in einem Raum und Sprachverständlichkeit

Um zu verstehen, welche technischen Maßnahmen zur Schaffung optimaler raumakustischer Bedingungen notwendig sind, ist es erforderlich sich zunächst damit zu beschäftigen, wie sich Schall in einem Raum ausbreitet und wie er auf die Zuhörerinnen und Zuhörer einwirkt. Hierzu betrachten wir im Folgenden den Weg des Schalls von einem Sender (z. B. Lehrer) zum Empfänger (hier z. B. Schüler). Da der Lehrer als Sender ein recht kompliziertes Sprachsignal überträgt, ist es einfacher, den Weg des Schalls zu verfolgen, wenn man zunächst nur die Ausbreitung eines Schallimpulses (z. B. Händeklatschen) verfolgt. Die Schlüsse, die sich aus der Ausbreitung eines Schallimpulses ergeben, lassen sich gleichermaßen auf Sprachsignale übertragen.

Wird vom Lehrer im Klassenraum (Sender) der Schallimpuls ausgesandt, gelangt dieser über viele verschiedene Wege zum jeweiligen zuhörenden Schüler (Empfänger). Zunächst kommt beim Empfänger der Schallanteil an, der direkt und ohne Umwege und Einflüsse des Raumes vom Sender zum Empfänger gelangt. Dieser Schallanteil heißt Direktschall. Danach treffen nacheinander Schallanteile beim Empfänger ein, die durch Einfach-, Mehrfach- oder Vielfachreflexionen an den Raumbegrenzungsflächen zum Zuhörer geleitet werden. Reflexionen, die innerhalb von 50 ms nach dem Direktschall beim Empfänger eintreffen und somit in der Regel auf dem Weg vom Sender zum Empfänger nur wenige Male an den Wänden reflektiert wurden, bezeichnet man als sog. „frühe Reflexionen“. Während die frühen Einfachreflexionen sich zum Teil noch deutlich voneinander trennen lassen, nimmt die Reflexionsdichte mit der Zeit stark zu. Mit zunehmender

Zeit treffen Schallanteile beim Empfänger ein, die über Vielfachreflexion an den Raumbegrenzungsflächen vom Sender zum Empfänger geleitet werden. Insgesamt entsteht so ein zeitlich exponentiell abklingender Reflexionsbereich, der als Nachhall bezeichnet wird. Der Pegel der einzelnen Reflexionen nimmt dabei mit zunehmender Zeit ab, da bei jeder Reflexion des Schalls an den Raumbegrenzungsflächen (Wände, Decken, Boden) in Abhängigkeit vom Schallabsorptionsgrad der Oberfläche ein Teil der Schallenergie geschluckt wird. Die zeitliche Abfolge der beim Empfänger eintreffenden Schallimpulse wird als Raumimpulsantwort bezeichnet. Eine prinzipielle Darstellung einer Raumimpulsantwort ist in Abb. 14 gezeigt.

Gemäß der obig beschriebenen Unterteilung der Raumimpulsantwort (Direktschall, frühe Reflexionen, Nachhall) haben diese drei Anteile unterschiedliche akustische Wirkungen.

8.1 Direktschall

Der Direktschall bestimmt maßgeblich den wahrgenommenen Schalldruckpegel. Er bestimmt die Schalleinfallrichtung und ist der Hauptinformationsträger. Der Direktschall sollte ausreichend hoch sein. Die Stärke des Direktschalls ist jedoch abhängig von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger. Verdoppelt sich etwa der Abstand zwischen Sender und Empfänger, so fällt der Direktschallpegel um 6 dB. Der Pegel des Direktschalls ist in Klassenräumen somit direkt abhängig von der Sprecherlautstärke.

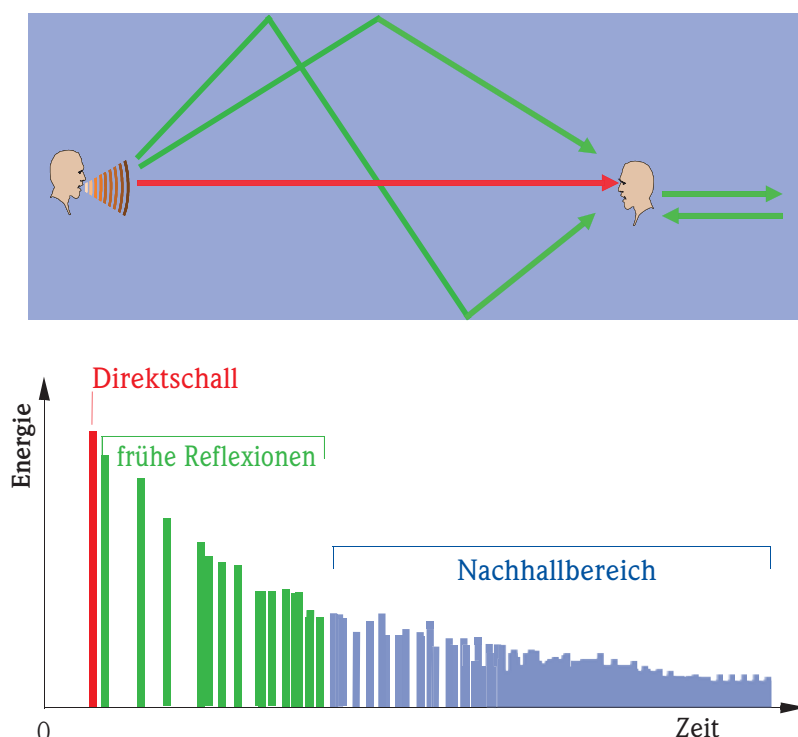


Abb. 14: Schematische Raumimpulsantwort.

8.2 Frühe (nützliche) Reflexionen

Das menschliche Gehör besitzt die Eigenschaft, alle Schallanteile, die innerhalb der ersten 50 ms eintreffen, hinsichtlich ihrer Gesamtenergie zusammenzufassen. Die frühen Reflexionen unterstützen daher den Direktschall hinsichtlich seiner energetischen Wirkung und sind für die Erzeugung z. B. eines lauten Sprecherpegels bzw. einer guten Sprachverständlichkeit nützlich. Frühe Reflexionen sollten daher in ausreichendem Maße vorhanden sein. Der Schall besitzt in Luft eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von ca. 340 m/s. Bei einer maximalen Zeitdauer von 50 ms, innerhalb derer frühe Reflexionen gegenüber dem Direktschall auftreten dürfen, darf der geometrische Umweg des Schalls über die Wand oder Decke im Vergleich zum Direktschall nicht größer sein als ca. 17 m. Es ist zu beachten, dass im allgemeinen die Anzahl und Stärke der frühen Reflexionen auch erheblich vom Ort des Senders und des Empfängers abhängen.

8.2 Nachhall

Alle Reflexionen, die später als 50 ms eintreffen, werden dem Nachhallbereich zugerechnet. Im Nachhallbereich nimmt die Anzahl der Reflexionen stark zu,

während deren Pegel in Abhängigkeit der Absorptionseigenschaften der Raumbegrenzungsflächen exponentiell abnimmt. Zur Kennzeichnung der Länge des Nachhalls wird die Nachhallzeit T benutzt. Die Nachhallzeit ist Maß für das zeitliche Abklingverhalten der Schallenergie in einem Raum und beschreibt die Zeit, die vergeht, bis die Schallenergie in einem Raum nach Abschalten eines stationären Signals auf den millionsten Teil der Anfangsenergie (um 60 dB) abgesunken ist. Auch wenn ein gewisser Nachhall bei Musikübertragung in Räumen zur klanglichen Unterstützung der Instrumente wünschenswert ist, stört Nachhall die Übertragung von Sprache in jedem Fall. Die in der Sprache beinhaltete Information wird durch den Nachhall verschliffen, und mit zunehmender Nachhallzeit sinkt die Sprachverständlichkeit stark ab. Da der Nachhall durch Vielfachreflexionen an den Raumbegrenzungsflächen entsteht, ist

dessen Länge direkt von den Schallabsorptionseigenschaften der Raumbegrenzungsflächen abhängig. Wie im nächsten Abschnitt beschrieben, ist der Schallabsorptionsgrad der Wände und Decken für die verschiedenen Frequenzen der Sprache stark unterschiedlich. Dem entsprechend ist auch die Nachhallzeit zunächst stark frequenzabhängig.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für eine gute Sprach- und Informationsübertragung in Klassenräumen neben dem Direktschall möglichst viele frühe Reflexionen, jedoch kein Nachhall vorhanden sein sollen. Leider ist es sowohl geometrisch als auch physikalisch undenkbar, dass Raumbegrenzungsflächen zwar Einfachreflexionen (frühe Reflexionen) zulassen, Mehrfachreflexionen (Nachhall) aber vermieden werden. Um nun auf „einfache“ Weise die akustischen Eigenschaften von Räumen zur Sprachübertragung optimal einstellen zu können, ist es daher die wichtigste Aufgabe die Nachhallzeit hinreichend zu begrenzen, so dass der Anteil des Direktschalls und der frühen Reflexionen entsprechend ihrer Energieanteile gegenüber dem verbleibenden Nachhall überwiegen. Wie in Teil 1 bereits erwähnt und in Abschnitt 10 ausführlich erläutert, sollte für normal große Klassenräume (Volumen ca. 250 m³) die Nachhallzeit T ca. 0,5 s betragen.

9 Nachhall und Lärm

Wie aus Abschnitt 8 hervorgeht, sind mit dem Nachhall in einem Raum erhebliche Schallanteile vorhanden, die nicht nur keine Sprachinformation tragen, sondern auch noch störend auf die nützlichen Signalanteile (Direktschall und frühe Reflexionen) wirken. Eine Reduktion der Nachhallzeit ist schon aus Gründen der Herstellung einer hinreichenden Sprachverständlichkeit und somit einer Kommunikationsfähigkeit unumgänglich.

Nachhall verringert aber nicht nur die Kommunikationsfähigkeit auf Grund schlechter „Akustik“, sondern er ist die maßgebliche physikalische Ursache für die Entstehung von übermäßigem Lärm. Wenn verschiedene Schallquellen, z. B. das Sprechen der Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler, aber auch sonstige Geräuschquellen wie Stühlerücken o. Ä., den Unterrichtsraum anregen, wirkt die Schallenergie des Nachhalls als reiner Störschall, der schließlich bei längerer Einwirkdauer als Lärm zu betrachten ist.

Oft wird versucht die schlechte Sprachverständlichkeit zu verbessern, indem der Sprecher einfach lauter spricht. Hierdurch werden aber nicht nur die Nutzsignalanteile (Direktschall und frühe Reflexionen), sondern auch der Nachhall gleichermaßen lauter, so dass schließlich die Gesamtsituation lauter, aber eben nicht besser wird.

Ein weiterer wichtiger Effekt, der sog. Lombard-Effekt, wirkt sich zudem negativ auf die Lärmentstehung durch Nachhall aus. In zahlreichen Untersuchungen zeigt dieser Effekt, dass sich Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler in halligen Unterrichtsumgebungen anders verhalten, als in entsprechend bedämpften Räumen. Sind die Räume halliger, ist der diffuse Störpegel des Nachhalls hoch. Dies führt nicht nur dazu, dass die Lehrkraft versucht durch lauterer Sprechen die Situation zu verbessern, vielmehr verhalten sich auch die Schülerinnen und Schüler in Raum lauter. So wird beispielsweise bei Gruppenarbeiten lauter und unkontrollierter gesprochen, es wird mehr getobt usw. Diese Rückkopplung des Nachhalls auf das eigene „akustische“ Verhalten erhöht seinerseits den Lärmpegel und verschlechtert die Situation. In Abb. 15 ist die Abhängigkeit der Lärmentstehung durch den langen Nachhall in Unterrichtsräumen noch einmal schematisch darge-

stellt. Nicht selten werden in Klassenräumen je nach Unterrichtsform Mittelungspegel weit über 70 dB(A) erreicht. Solche Pegel führen unstrittig dauerhaft zu erheblichen Stressbelastungen für die Lehrkräfte und führen zur Verringerung der Lernleistung sowie der sprachlichen und kommunikativen Entwicklung der Schülerinnen und Schüler (siehe auch Teil 1).

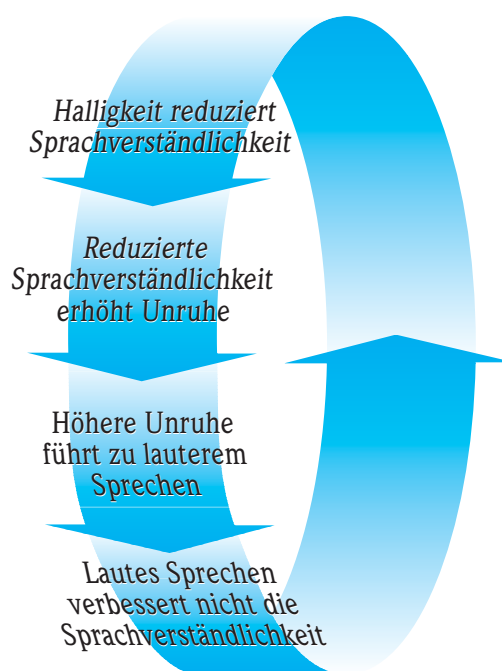


Abb. 15: Lärmkaskade oder Lombard-Effekt.

Aus physikalischer Sicht lässt sich der Lärmpegel in Klassenräumen dadurch absenken, dass die Nachhallzeit durch die Auskleidung der Decken und/oder Wände mit Schall absorbierenden Materialien verringert wird. In Abschnitt 11–13 wird erläutert, wie dies in geeigneter Weise geschehen kann. Hier soll dargestellt werden, welche Auswirkungen die Reduzierung des Nachhalls auf den Lärmpegel in Klassenräumen besitzt.

Sofern bei Unterrichtsräumen kein Augenmerk auf die raumakustische Gestaltung gelegt wurde, werden in diesen Räumen nicht selten Nachhallzeiten von über 1–2 s gemessen. Wird die Nachhallzeit T halbiert, senkt sich zunächst auf Grund der höheren

Schallabsorption der Lärmpegel im Raum um 3 dB ab. Zu dieser rein physikalischen Lärmpegelsenkung kommt jedoch der Effekt der Rückwirkung auf das Verhalten von Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern hinzu. Wird die Nachhallzeit halbiert, so ergibt sich durch das geänderte Gesamtverhalten neben der physikalischen Senkung des Lärmpegels um 3 dB eine zusätzliche Lärminderung von nochmals ca. 3 dB. In der Summe lässt sich so bei Halbierung der Nachhallzeit der Lärmpegel um ca. 6 dB absenken.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass sich ausgehend von Nachhallzeitniveaus von $T = 1,5\text{--}2\text{ s}$ in der Praxis bei Regulierung der Nachhallzeit auf ein optimales Niveau Lärmpegelminderungen von typischerweise 10 dB gegenüber akustisch nicht gestalteten Räumen erzielen lassen. Eine Verringerung des Lärmpegels um 10 dB entspricht einer Reduktion der vormals vorhande-

nen Lärmenergie um 90 % bzw. etwa einer Halbierung des subjektiven Lautstärkeempfindens.

icht selten berichten Lehrkräfte nach einer Sanierung der Akustik von Klassenräumen von zusätzlichen Effekten, die eine Reduktion des Nachhalls mit sich bringt. So verbessert sich die Ortung der Schallquelle erheblich, so dass ein besserer akustischer Bezug zwischen den Kommunikationspartnern (hier meist Lehrkraft und Schülerin/Schüler) auftritt. Störgeräusche wie Stühlerücken o. Ä. werden nur noch weitgehend lokal als störend wahrgenommen und verbreiten sich nicht mehr im ganzen Raum. Insgesamt wird fast immer nach einer akustischen Sanierung von Klassenräumen nahezu euphorisch von der Verbesserung des akustischen Klimas und nicht zuletzt auch von einer erheblichen „Beruhigung“ der gesamten Unterrichtssituation berichtet.

10 DIN 18041 – ein gutes Normenwerk für den Planer

Aus den bisherigen Ausführungen wird deutlich, dass die raumakustische Gestaltung von Unterrichtsräumen eine enorme Bedeutung hat. Die Erkenntnisse über die Zusammenhänge sind nicht neu. Daher sind seit vielen Jahren Empfehlungen für die akustische Gestaltung von kleinen bis mittelgroßen Räumen in der DIN 18041 [21] gegeben. Mit der neuen DIN 18041 mit dem Titel „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“, die im Jahre 2004 in einer neuen Fassung erschienen ist, ist dem Planer ein hervorragendes Planungsinstrument für die akustische Gestaltung von Räumen mit verschiedenen Nutzungszwecken an die Hand gegeben.

10.1 Sollnachhallzeiten für Unterrichtsräume

In Abb. 16 ist das Diagramm zur Ermittlung der Sollnachhallzeit für Zuhörerräume in Abhängigkeit der Nutzungsart und des Raumvolumens dargestellt. Wie aus der Grafik zu entnehmen ist, werden für Unterrichtsräume die strengsten Anforderungen an die Nachhallzeiten gestellt. Ferner ist ersichtlich, dass die Sollnachhallzeit mit dem Raumvolumen ansteigt.

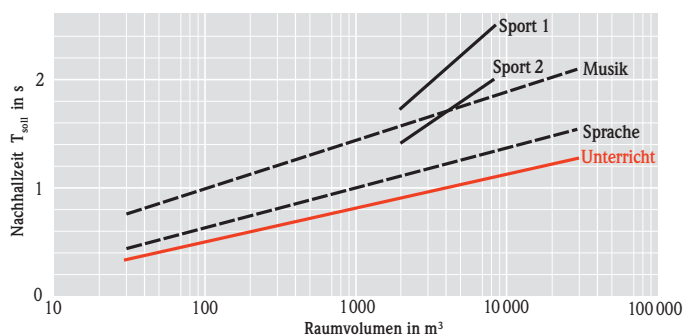


Abb. 16: Sollnachhallzeit T_{soll} von Unterrichtsräumen nach DIN 18041 in Abhängigkeit des Raumvolumens.

Die in Abb. 16 gezeigte Kurve für die Sollnachhallzeit berechnet sich für Klassenräume in Abhängigkeit des Volumens gemäß Gleichung 1 wie folgt:

$$T_{\text{soll}} = \left(0,32 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,17 \right) \quad (1)$$

Abb. 17 zeigt den Toleranzbereich der empfohlenen Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Sprache. Die Darstellung des Toleranzbereiches ist

hierbei relativ, d.h. in Bezug auf die Sollnachhallzeit, gewählt.

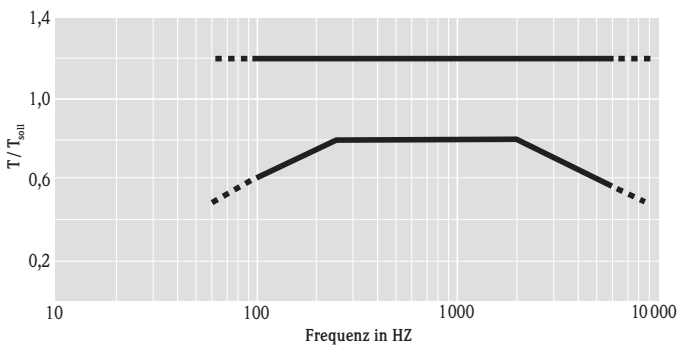


Abb. 17: Toleranzbereich der empfohlenen Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Sprache gemäß DIN 18041.

Im Folgenden wird ein typischer Klassenraum betrachtet, der ein Raumvolumen von 180–250 m³ besitzt. Für ein mittleres Raumvolumen von 180 m³ ergibt sich gemäß Abb. 16 bzw. Gleichung 1 eine Sollnachhallzeit von $T_{\text{soll}} \approx 0,55$ s. Ein Über- bzw. Unterschreiten der Sollkurve ist im Rahmen eines Toleranzbereiches (siehe Abb. 17), der im mittleren Frequenzbereich einer Abweichung von ± 20 % von der Sollnachhallzeit entspricht, möglich. Alle in der DIN 18041 gegebenen „Anforderungen“ an die Nachhallzeit gelten für den besetzten Raum (das entspricht mindestens einer 80 %igen Besetzung des Raumes bezogen auf die nominelle bzw. maximale Personenzahl). Jedoch sollte die Nachhallzeit im unbesetzten Zustand eines Unterrichtsraumes die Nachhallzeit des besetzten Raumes um nicht mehr als 0,2 s überschreiten. Somit wäre für einen unbesetzten Klassenraum mit einem Volumen von ca. 180 m³ eine obere Nachhallzeit von $T \approx 0,75$ s noch als akzeptabel anzusehen.

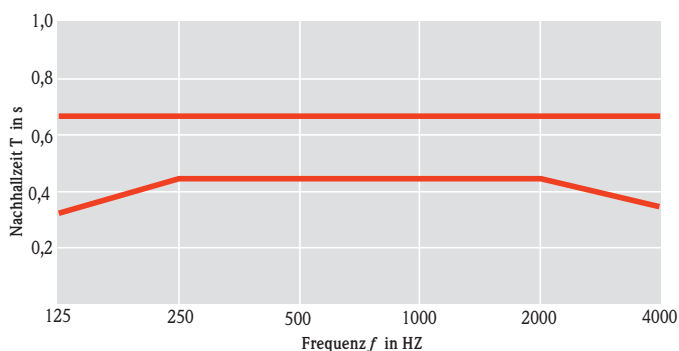


Abb. 18: Toleranzbereich der empfohlenen Nachhallzeit nach DIN 18042 für einen typischen Unterrichtsraum mit einem Raumvolumen von $V = 200$ m³.

10.2 Sollnachhallzeiten für Sport- und Turnhallen

Die obigen Ausführungen lassen sich sinngemäß auf den Unterricht in Turn- und Sporthallen übertragen. Auch hier bewirken zu lange Nachhallzeiten eine erhöhte Lärmbelastung, eine erschwerte bis zuweilen unmögliche Sprachverständlichkeit. Dies umso mehr, da die Lärmerzeugung im Sportunterricht naturgemäß größer ist als beim Unterricht in Klassenräumen. Daher gibt die DIN 18041 auch für Sporträume Sollnachhallzeiten vor, die für eine akustisch akzeptable Unterrichtsatmosphäre unbedingt einzuhalten sind. In Abb. 16 sind die Sollnachhallzeiten in Abhängigkeit des Raumvolumens für zwei unterschiedliche Sportraumkategorien dargestellt. Die zugehörigen Berechnungsgleichungen lauten wie folgt:

$$T_{\text{soll, Sport 1}} = \left(1,27 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 2,49 \right) \quad (2)$$

$$T_{\text{soll, Sport 2}} = \left(0,95 \cdot \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 1,74 \right) \quad (3)$$

Die Angaben gelten für Sporträume mit einem Volumen zwischen 2000 m³ und 8500 m³. Die beiden Sportkategorien „Sport 1“ und „Sport 2“ sind dabei nach Norm wie folgt zuzuordnen:

Sport 1:

- Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum für normale Nutzung und/oder einzügigen Unterrichtsbetrieb (eine Klasse oder Sportgruppe, einheitlicher Kommunikationsinhalt)

Sport 2:

- Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum für mehrzügigen Unterrichtsbetrieb (mehrere Klassen oder Sportgruppen parallel mit unterschiedlichem Kommunikationsinhalt).

10.3 Weitere Planungshinweise für Unterrichtsräume

An dieser Stelle sei betont, dass ein Unterschreiten der in der DIN 18041 angegebenen Toleranzbereiche und somit eine zu starke Absenkung der Nachhallzeit für Unterrichtsräume (nicht Sporträume) nicht empfehlenswert ist. Hierdurch werden die

Räume zunehmend überdämpft, so dass auch die nützlichen frühen Reflexionen zunehmend unterdrückt werden. Insbesondere steigt bei zu stark gedämpften Räumen die Sprecheranstrengung an.

Eine Besonderheit ist bei Schülerinnen und Schülern gegeben, die eine Hörschädigung aufweisen. Für Schülerinnen und Schüler mit ein- oder beidseitiger Hörschädigung wirken in Abhängigkeit vom Grad der Schädigung die frühen Reflexionen nicht unterstützend. Auch wird das Verbleiben eines Restnachhalls als sehr störend empfunden. Insofern empfiehlt die Norm für den Fall, dass hörgeschädigte Schülerinnen und Schüler unterrichtet werden, die Nachhallzeit der Unterrichtsräume gegenüber den o. g. Sollnachhallzeiten bis 20 % abzusenken.

Vergleichbare Anforderungen gelten auch für die Kommunikation in einer Sprache, die nicht als Muttersprache gelernt wurde, bei der Kommunikation mit Personen, die Deutsch als Fremdsprache sprechen, und bei der Kommunikation mit Personen, die auf andere Weise ein Bedürfnis nach erhöhter Sprachverständlichkeit haben, z. B. Personen mit Sprach- oder Sprachverarbeitungsstörungen, Konzentrations- bzw. Aufmerksamkeitsstörungen, Leistungsschwache.

An dieser Stelle sei nochmals betont, dass die Regulierung der Nachhallzeit nach DIN 18041 die wichtigste Maßnahme zur Anpassung der akustischen Verhältnisse in Klassenräumen ist.

Zusätzlich zur Einstellung einer geeigneten Nachhallzeit ist bezüglich der einzubringenden absorbierenden Decken- und Wandverkleidung darauf zu achten, dass möglichst viele frühe Reflexionen, die den Direktschall stärken und somit die Sprachver-

ständlichkeit positiv unterstützen, erhalten bleiben. In Abb. 19 sind beispielhaft günstige und ungünstige Absorberverteilungen nach DIN 18041 abgebildet.

Für die Planerin oder den Planer sind somit in sehr kompakter Weise die wichtigsten Zielvorgaben formuliert, die bei der akustischen Gestaltung von Klassenräumen zu berücksichtigen sind.

Die Norm gibt aber nicht nur Zielvorgaben, sondern erläutert auch, wie die Zielvorgaben planerisch erreicht werden können. Zunächst sei dazu betrachtet, wie sich die Nachhallzeit in Räumen nach der sog. Sabine'schen Nachhallformel (Gleichung 4) unter Kenntnis des Volumens und der entsprechenden Absorptionsgrade der Teilflächen (Decke, Wände und Boden) berechnen lässt.

$$T = 0,163 \frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot \frac{V}{\sum_i S_i \alpha_i} = 0,163 \frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot \frac{V}{A} \quad (4)$$

mit

T = Nachhallzeit in s

V = Volumen in m^3

S_i = Teilfläche einer Wand/Decke oder Boden in m^2

α_i = Schallabsorptionsgrad der i-ten Teilfläche

A = Äquivalente Absorptionsfläche in m^2

Die Schallabsorptionsfähigkeit von Materialien wird dabei durch den Schallabsorptionsgrad α gekennzeichnet. Er gibt an, wie viel der einfallenden Schallenergie durch das Material absorbiert wird. Der Schallabsorptionsgrad von Materialien umfasst so einen Bereich von $\alpha=0$ –1 % bzw. $\alpha=0$ –100 %. Sind die Absorptionsgrade der einzelnen Teilflächen (Wände, Decke, Boden) bekannt, kann mit Hilfe der Gleichung 4 die gesamte im Raum vorhandene Absorption A (äquivalente Absorptionsfläche) und

schließlich die Nachhallzeit berechnet werden. Für bestehende Klassenräume können daraus sowohl die herrschenden Nachhallzeiten einfach abgeschätzt als auch die noch fehlenden, absorbierend zu gestaltenden Flächenanteile ausgerechnet werden. Die Berechnungen sind für 6 Oktavfrequenzbänder (125–4000 Hz) durchzuführen. Die einzubringenden Absorber sind dann gemäß ihrem Absorptionsverhalten so

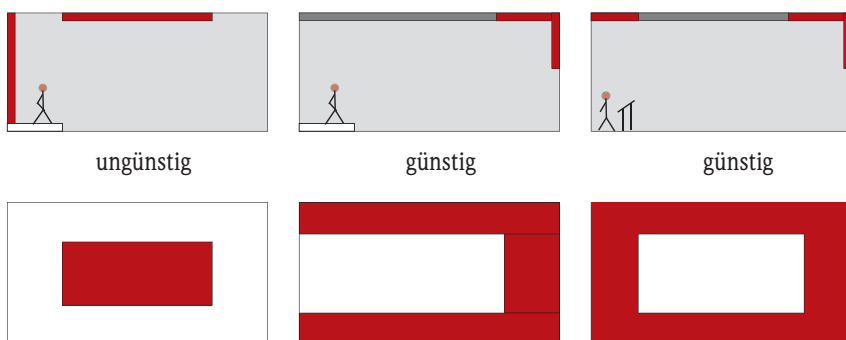


Abb. 19: Ungünstige und günstige räumliche Verteilung von absorbierenden Decken- und Wandverkleidungen nach DIN 18041.

einzustellen bzw. auszuwählen, dass deren Frequenzverlauf den Erfordernissen entspricht und der resultierende Nachhallverlauf innerhalb des in Abb. 17 gezeigten Toleranzbereiches liegt. Zur Berechnung der Nachhallzeiten stellt die DIN 18041 im Anhang B aber auch in der DIN EN 12354-6 (siehe auch [22]) eine ausführliche Liste der Absorptionsgrade in Oktaven vieler Materialien, Gegenstände und auch Personen zur Verfügung, so dass bei Verwendung der in der Liste aufgeführten Materialien bereits eine genaue Berechnung der zu erwartenden Nachhallzeit gelingt.

10.4 Bedeutung der Norm als Planungsinstrument für den Bauherren und Architekten

In Fachkreisen gelten die in der DIN 18041 gegebenen Sollnachhallzeiten als sog. „Allgemein anerkannte Regel der Technik“. Diese sind im juristischen Sinne bei Bauvorhaben stets zu beachten. Leider ist die DIN 18041 nicht wie andere Normen direkt im Bau-recht verankert, so dass viele Bauherren, Schulträger, Planerinnen und Planer einfach nicht wissen, dass hier eine entsprechende Norm zur Verfügung steht.

Eine rechtliche Verpflichtung zur Anwendung dieser Norm bei Neu- und Umbauten von Schulen lässt sich jedoch aus dem Arbeitsschutzgesetz (§5 Beurteilung der Arbeitsbedingungen) sowie den sich aus dem Sozialgesetzbuch VII ergebenden Unternehmerpflichten herleiten.

Wissenschaftlern und Akustikern sind nicht nur diese bestehenden Zusammenhänge, sondern auch die zugehörigen technischen Lösungen zur Reduzierung

des Nachhalls und zur Schaffung von guten bis hervorragenden akustischen Umgebungen seit langer Zeit bekannt. Hersteller von Absorptionsmaterialien haben spezielle Produkte entwickelt, die insbesondere im Deckenbereich von Unterrichtsräumen (siehe Abschnitt 11) eingesetzt werden, um den Nachhall in hinreichendem Maße abzusenken. Der Einsatz solcher Lösungen ist verhältnismäßig einfach und in Bezug auf die Gesamtkosten der Erstellung oder Sanierung von Gebäuden fast vernachlässigbar.

Umso erstaunlicher ist es, dass, obwohl aus technisch-wissenschaftlicher Sicht die Frage zur Herstellung guter raumakustischer Bedingungen beantwortet ist, die zugehörige Umsetzung aber erhebliche Probleme aufweist. Dies insbesondere, da den für den Schulbau und Schulbetrieb Verantwortlichen die Bedeutung der Klassenraumakustik nur selten bewusst ist und deren Auswirkungen auf das Gesamtverhalten unterschätzt wird.

Auch wenn derzeit weitere interessante Forschungsprojekte durchgeführt werden, in denen die Zusammenhänge zwischen Schulraumakustik und dem Lern- / Stressverhalten der Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler untersucht werden, ist angesichts der herrschenden Gesamtlage eindeutig festzustellen, dass in Deutschland kein Erkenntnisproblem, sondern ein Umsetzungsproblem besteht. In sofern wären nahezu alle Probleme in Unterrichtsräumen, die auf mangelnder raumakustischer Gestaltung beruhen, gelöst, wenn schlicht die DIN 18041 bei der Planung berücksichtigt würde. Insofern sind die in Abschnitt 10.1 zusammengefassten „Anforderungen“ der Norm sowohl für den Schulträger/Bauherren als auch für den Planer eine extrem wichtige Planungsgrundlage.

11 Möglichkeiten der professionellen Schulraumgestaltung

Wie in Abschnitt 10 bereits aufgeführt, ist für eine professionelle akustische Schulraumgestaltung die Gesamtaborption der Raumbegrenzungsflächen so einzustellen, dass die Vorgaben der DIN 18041 erfüllt werden. Ein Klassenraum besitzt in der Regel massive Wände, einen massiven Boden und auch ei-

ne massive Decke. Diese Raumbegrenzungsflächen besitzen einen Absorptionsgrad, der oft weit weniger als 10% beträgt. In geringem Maße wirken auch bei hohen Frequenzen die Eigenabsorption der Luft, die Fensterflächen als Tiefenabsorber und die Absorption der in den Unterrichtsraum eingebrachten

Einrichtungsgegenstände. Die Summe der gesamten vorhandenen Absorption A reicht jedoch bei weitem nicht aus, um die Zielvorgaben der DIN 18041 für eine angemessene Nachhallzeit zu erreichen.

Bereits eine überschlägige Rechnung mit den Absorptionsdaten aus dem Anhang B der DIN 18041 und der Gleichung 2 aber auch zahlreiche Messungen (siehe auch Abschnitt 12) zeigen, dass je nach Einrichtungszustand des Unterrichtsraumes für einen nicht akustisch behandelten Standardklassenraum im unbesetzten Zustand mittlere Nachhallzeiten von $T=1,5\text{--}2\text{ s}$ zu erwarten sind.

11.1 Schallabsorption von Wand- und Deckenmaterialien

Bei Schall absorbierenden Materialien wird grundsätzlich zwischen zwei Absorbertypen, dem porösen Absorber und dem Resonanzabsorber, unterschieden.

Der poröse Absorber besteht aus offenporigem Material (Schaumstoff, Mineralwolle o. Ä.). Der Schall dringt in das Material ein und die Schallenergie wird durch Reibung in Wärme umgesetzt. Der poröse Absorber muss hierzu aus physikalischen Gründen einen gewissen Strömungswiderstand besitzen. Die Schallabsorptionswirkung eines porösen Absorbers ist stark frequenzabhängig. Er absorbiert die hohen Frequenzen besonders gut, während er seine Absorptionswirkung bei tieferen Frequenzen zunehmend verliert (siehe Abb. 20). Die Lage des Übergangsbereichs wird durch die Absorberdicke be-

stimmt. Je dicker ein poröser Absorber ist, desto besser ist auch seine Absorptionswirkung bei tiefen Frequenzen. Damit ein Absorber mit optimalen Materialeigenschaften bei 1000 Hz (Mittenfrequenz der menschlichen Stimme) noch einen Schallabsorptionsgrad von 0,8 besitzt, muss dieser eine Dicke von mindestens 4 cm aufweisen. Für eine Frequenz von 100 Hz (Grundfrequenz der männlichen Stimme) wäre bereits eine Absorberdicke von 40 cm (!!) notwendig.

Da der Aufbau solch dicker Wand- und Deckenverkleidungen wegen der hohen Bautiefe und dem großen Materialaufwand nicht praktikabel ist, werden zur Absorption tiefer Frequenzen sog. Resonanzabsorber eingesetzt. Resonanzabsorber benötigen hinter dem eigentlichen Deckmaterial (Mineralfaserplatte, Lochplatte o. Ä.) einen rückwärtigen, fest definierten Luftraum und somit einen Abstand zur Wand. So entsteht ein schwingungsfähiges System, dass bei seiner Schwingungsfrequenz (Resonanzfrequenz) dem Schallfeld besonders viel Energie entzieht. Das prinzipielle Absorptionsverhalten von Resonanzabsorbern ist aus Abb. 20 ersichtlich.

Resonanzabsorber lassen sich in verschiedenen Ausführungen, meist in Kombination mit gelochten oder geschlitzten Materialien aufbauen. Die Berechnung solcher Absorber ist schwieriger als bei porösen Absorbern. Daher wird meist auf die in entsprechenden Prüfständen ermittelten Daten der Hersteller zurückgegriffen und auf Basis dieser Daten die Absorberauswahl getroffen.

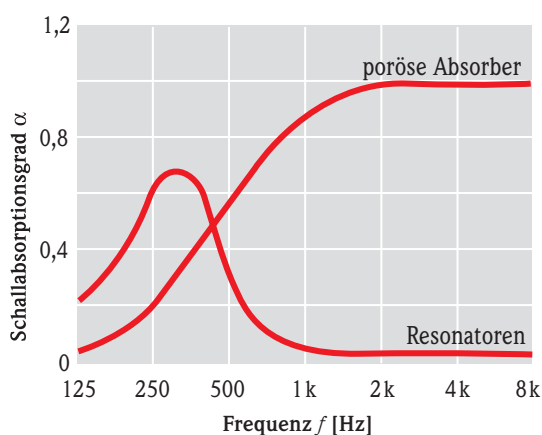


Abb. 20: Prinzipielles, frequenzabhängiges Absorptionsverhalten von porösen Absorbern und Resonanzabsorbern aus FASOLD & VERES [23].

11.2 Regulierung der Nachhallzeit mit akustisch absorbierenden Decken

Die Regulierung der Nachhallzeit mit marktüblichen Mitteln ist aus technischer Sicht sehr einfach. In der Regel sind die Klassenräume so hoch, dass dort ohne größere Schwierigkeiten eine akustisch wirksame abgehängte Decke eingebracht werden kann. Der Vorteil des Einbaus einer akustisch wirksamen abgehängten Decke besteht darin, dass so eine große Fläche mit insgesamt „viel Absorption“ eingebracht wird. Ferner ist eine Deckenkonstruktion gegenüber einer vorgesetzten Wandkonstruktion weniger anfällig für Vandalismus. Somit kann der Deckenaufbau einfach und ohne zusätzliche mechanisch verstärkende Elemente erfolgen.

Alle namhaften Hersteller von Akustikabsorptionsmaterialien haben sog. Akustikdecken in ihrem Programm. Solche Akustikdecken werden in der Regel abgehängt mit einem Luftraum montiert und stellen somit eine Kombination aus porösen und Resonanz-Absorbern dar. Die Schall absorbierende Wirkung lässt sich so in nahezu allen relevanten Frequenzbereichen erzielen. Als mechanischen Träger benutzen alle Hersteller eine entsprechende Grundplatte, die ihrerseits bereits als poröser Absorber wirken kann. Diese besteht je nach Hersteller aus gepresster Mineralwolle, aus verpressten und verklebten Holzspänen, Glasgranulatkugeln, gelochten oder geschlitzten Anordnungen oder anderen offenporigen Systemen. Die Deckenplatte wird mit einem Luftraum von mind. 10 cm (besser >20 cm) unter der Schall reflektierenden Decke mit Hilfe einer Unterkonstruktion angebracht. Je nach Wahl der Deckenplatte wird eine weitere Bedämpfung des Hohlraumes mit dem Einbringen zusätzlicher Schall absorbierender Mineralfasermatten mit einer Dicke $d \geq 40$ mm notwendig.

Die Absorptionsgrade der Deckenmaterialien reichen von $\alpha = 0,5$ (50 % Schallabsorption) bis zu $\alpha = 1$ (100 % Schallabsorption). Die Absorptionsgrade werden mit einem genormten Verfahren nach DIN EN ISO 354 in einem speziellen Messraum (Hallraum) ermittelt. Ein Vergleich der Schall absorbierenden Wirkung von Materialien verschiedener Hersteller lässt sich so objektiv durch Vergleich der entsprechenden Prüfzeugnisse vornehmen. Abb. 21 zeigt einen typischen Verlauf des Absorptionsgrades einer Akustikdecke mit einer Abhanghöhe von 20 cm. Wie

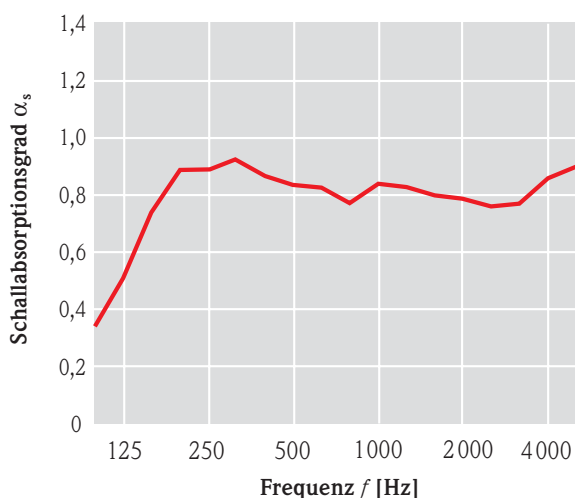


Abb. 21: Verlauf des Schallabsorptionsgrades einer Akustikdecke, Abhanghöhe 20 cm.

Abb. 21 zu entnehmen ist, verläuft der Absorptionsgrad über einen weiten Frequenzbereich sehr ausgeglichen, sinkt jedoch zu tiefen Frequenzen hin ab. Durch Vergrößerung des Deckenhohlraumes kann zwar in der Regel der Abfall bei tiefen Frequenzen verringert werden, die prinzipiell verminderte Tiefenabsorption solcher Decken bleibt jedoch erhalten. Dies führt meist dazu, dass auch nach Einbau der Akustikdecke ein mehr oder minder ausgeprägter Anstieg der Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen verbleibt.

Je besser der Absorptionsgrad der Deckenelemente, desto weniger Deckenfläche muss damit bei gleicher Gesamtabsorption belegt werden. Die nicht belegten Flächen sollten dann gemäß Abb. 19 in der Mitte der Deckenfläche liegen. In Allgemeinen sind die hoch absorbierenden Deckenelemente aber auch teurer als die weniger absorbierenden, so dass bei der Kostenbetrachtung der geringere Flächenanteil mit den höheren Kosten für die Elemente zu verrechnen ist. Im Abschnitt 16 dieser Broschüre sind die Adressen der führenden Firmen von akustisch wirksamen Deckenmaterialien aufgeführt. Dort sind Akustikdecken in allen Varianten zu finden, die nicht nur den funktionalen Aspekt der Schallabsorption bedienen, sondern auch eine architektonisch ansprechende Deckengestaltung ermöglichen.

Wenngleich die Akustik von Klassenräumen im Zweifelsfall individuell gestaltet und optimiert werden sollte, lässt sich für die standardmäßigen Klassenräume ohne weiteren Planungsaufwand die Regulierung durch Einsatz der Standardprodukte erreichen.

Dabei werden folgende Voraussetzungen getroffen:

- Bei den Klassenräumen handelt es sich nicht um solche, die auch zur Unterrichtung von hörgeschädigten Schülerinnen und Schülern genutzt werden.
- Das Volumen der Klassenräume ist nicht größer als 300 m³.
- Die Raumhöhe ist nicht höher als 4 m.
- Die Raumform ist annähernd quaderförmig (Schuhkarton) und weist keine Besonderheiten hinsichtlich der Grundrissgestaltung auf.
- In den Räumen ist keine Sondernutzung geplant (Sprachlabor o. Ä.).
- Der Deckenhohlraum beträgt mind. 10 cm (empfohlen >20 cm).

Werden die obigen Voraussetzungen erfüllt, zeigen sowohl die Rechnungen als auch die Erfahrungen, dass bereits der Einbau einer einfachen Akustikdecke, die den gesamten Deckenbereich (je nach Raumgröße ca. 50–80 m²) abdeckt und einen Schallabsorptionsgrad von „nur“ $\alpha=0,55$ – $0,6$ aufweist, ausreicht, um die Nachhallverhältnisse in den Klassenräumen vollständig zu regulieren. Dies zeigt folgende einfache Beispielrechnung. Der typische Unterrichtsraum habe folgende Daten:

- Raumvolumen $V=180 \text{ m}^3$
- Fläche der Decke $S_{\text{Decke}}=65 \text{ m}^2$
- Soll-Nachhallzeit nach DIN 18041 $T_{\text{soll}}=0,55 \text{ s}$ ($\pm 20 \%$) – für besetzten Zustand
- Maximale Nachhallzeit für den unbesetzten Zustand nach DIN 18041 $T_{\text{maxi}}=0,75 \text{ s}$

In dieser einfachen Rechnung wird angenommen, dass die gesamte Raumabsorption nur über die einzubringende Akustikdecke hergestellt wird. Die Rechnung ist daher sehr konservativ.

$$T = 0,163 \frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot \frac{180 \text{ m}^3}{65 \text{ m}^2 \cdot 0,65} \approx 0,7 \text{ s} \quad (5)$$

im unbesetzten Zustand mit Akustikdecke, $\alpha=0,65$

$$T = 0,163 \frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot \frac{180 \text{ m}^3}{65 \text{ m}^2 \cdot 0,8} \approx 0,56 \text{ s} \quad (6)$$

im unbesetzten Zustand mit Akustikdecke, $\alpha=0,85$

Gemäß Gleichung 5 werden bereits mit dem Einbau einer einfachen Akustikdecke die Anforderungen nach DIN ohne Ausnutzung der oberen Toleranzgrenze sicher erfüllt. Beim Einsatz höherwertiger Akustikdecken (Gleichung 6) wird die Nachhallzeit entsprechend weiter reduziert.

Die Erfahrungen zeigen ferner, dass unter den obigen Randbedingungen beim Einbau einer funktionierenden Akustikdecke keine Beschwerden über die akustischen Verhältnisse in den Klassenräumen auftreten. Die Empfehlungen bzw. Anforderungen der DIN 18041 für normal hörende Schüler werden sicher erfüllt. Der Einbau einer einfachen Akustikdecke bedarf daher in der Regel keiner weiteren Planung.

Sollen Unterrichtsräume beispielsweise für hörgeschädigte Kinder genutzt werden oder ist die Nachhallzeit wegen einer Sondernutzung der Räume (Sprachlabor o. Ä.) geringer einzustellen als oben beschrieben, ist grundsätzlich die Gesamtaborption im Unterrichtsraum zu erhöhen. Dies kann dadurch erfolgen, dass hinsichtlich des Schallabsorptionsgrades höherwertige Akustikdecken eingesetzt werden. Hier bieten einige Hersteller Materialien an, die eine nahezu 100 %ige Schallabsorption besitzen.

Wegen der Knappheit der Mittel im Schulbau werden die Leistungen für die Errichtung einer Akustikdecke entsprechend ausgeschrieben. Die Vorschriften erfordern oft den Zuschlag für den preisgünstigsten Anbieter. Bei der Verarbeitung sind je nach Hersteller jedoch wichtige Aspekte zu beachten, die zur Funktionstüchtigkeit der Decke notwendig sind. Nicht jeder preisgünstige Verarbeiter ist sich über die Details der Ausführung bzw. deren schalltechnische Auswirkung bewusst. Hier wird empfohlen durch eine entsprechende Bauüberwachung einen sachgerechten Einbau sicherzustellen. Die Preisspanne für den Einbau einer einfachen Akustikdecke beginnt bei 25 €/m² inkl. MwSt. für eine fertig montierte Decke. Die für die akustische Gestaltung / Sanierung eines Klassenraumes entstehenden Kosten betragen somit ca. 1500 €. Angesichts der zu den anderen Baukosten vergleichsweise geringen Kosten erscheint es völlig unverständlich, dass die Umsetzung solch einfacher Maßnahmen nicht standardmäßig erfolgt.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass natürlich für architektonisch anspruchsvolle Projekte sowohl höherwertige Materialien als auch individuell gestaltete angehängte Deckenkonstruktionen eingesetzt werden können. Individuelle Deckenkonstruktionen lassen sich hinsichtlich ihres Absorptionsgrades vom Akustiker berechnen und optimieren und so genau auf die jeweiligen Bedürfnisse abstimmen. In den meisten Fällen ist eine solche Vorgehensweise jedoch kostenintensiver, weil nicht nur die Anfertigung einer individuellen Deckenkonstruktion, sondern auch die Planungsleistung des Akustikers zusätzliche Kosten verursacht.

11.3 Regulierung der Nachhallzeit mit akustisch absorbierenden Wandelementen

Die Regulierung der Nachhallzeit durch Akustikdecken ist gegenüber dem Einbau von absorbierenden Wandmaterialien vergleichsweise einfach. In besonderen Fällen ist es jedoch unumgänglich, Wandflächen oder Teilwandflächen zur Regulierung der Nachhallzeit zu nutzen. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Decken als Kühldecken aufgebaut sind und somit auf Grund ihrer thermischen Wirkung nicht verdeckt werden dürfen. Weiterhin ist denkbar, dass die Deckenabsorption auch bei vollständiger Auskleidung der Decke mit einem Material für den angestrebten Nutzungszweck nicht hinreichend ist. Auch in diesem Fall muss die Gesamtaborption durch das Einbringen zusätzlicher Wandelemente erhöht werden. Nicht zuletzt wird gemäß Abb. 19 zur Optimierung der Akustik die Rückwand des Klassenraumes (die der Tafelwand gegenüberliegende Wand) teilweise mit Schall absorbierendem

Material belegt. Dies verringert die Gefahr, dass bei großen Räumen die Rückwandreflexion mit großer Stärke zur Tafel zurückgelangt und bei einem Laufweg von mehr als 17 m (Entfernungen > 8,5 m zwischen Tafel und Rückwand) am Ort des Sprechers als störendes Echo wahrgenommen wird.

Um mit Wandaufbauten die gleichen akustischen Eigenschaften zu erreichen wie mit abgehängten Decken, müssen die akustisch wirksamen Wandmaterialien mit dem gleichen Luftraum (10–40 cm) vor der Wand montiert werden. Da im Allgemeinen jedoch nur geringe Wandabstände (typisch 5 cm) möglich sind, verringert sich die Absorption bei tiefen Frequenzen zum Teil erheblich. Es ist daher empfehlenswert den Einsatz von Wandmaterialien zusammen mit einem Akustiker zu planen. Nur so lässt sich sicherstellen, dass die geforderten Nachhallzeitwerte für alle Frequenzen erreicht werden.

12 Untersuchung von Unterrichtsräumen in Hessen – Fallbeispiele

Im Rahmen des Projektes „Lärm in Schulen“, wurden durch den Projektpartner Unfallkasse Hessen systematische Untersuchungen an 30 Schulen im Raum Darmstadt durchgeführt. Hierzu wurden insbesondere in mehr als 230 Schulräumen die Nachhallzeiten messtechnisch erfasst. Das Messprogramm umfasste gleichermaßen Grundschulen, Gesamtschulen, Haupt- und Realschulen sowie Gymnasien. Die Nachhallzeiten wurden nicht nur von Unterrichtsräumen (Klassenräumen), sondern auch von Fluren, Foyers und Sporträumen ermittelt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in einem Bericht der Unfallkasse Hessen vom August 2005 [23] zusammengefasst. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse wiedergegeben, weil sie durchaus repräsentativ aufzeigen, wie die derzeitige Situation an den Schulen ist und wie sich die einzelnen Unterrichtsräume akustisch voneinander unterscheiden.

Abb. 22 zeigt zunächst die Messergebnisse der Nachhallzeiten für Unterrichtsräume im leeren Zu-

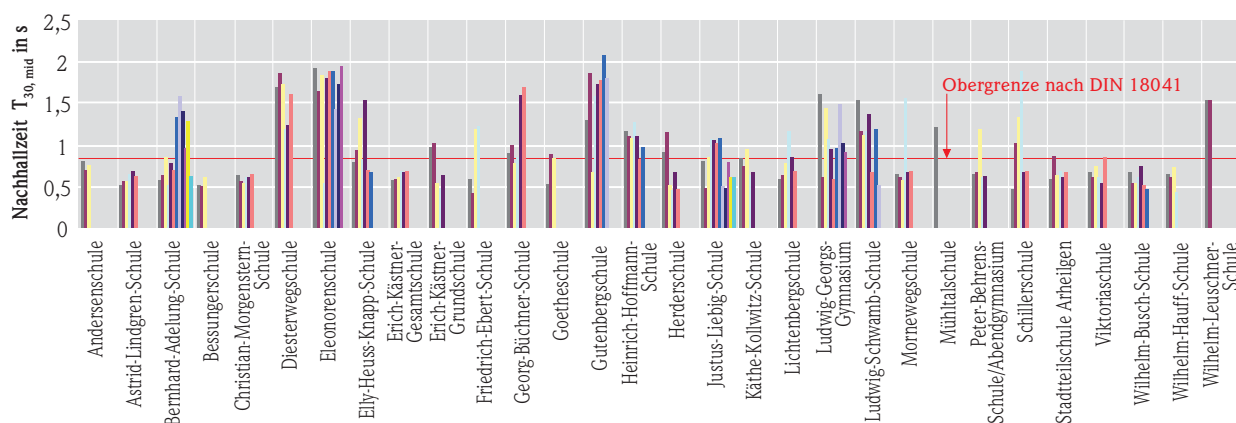


Abb. 22: Nachhallzeiten $T_{30, \text{mid}}$ in Sekunden von 182 Unterrichtsräumen in 30 Schulen (Quelle Unfallkasse Hessen).

stand. $T_{30, \text{mid}}$ ist dabei ein Einzahlwert der Nachhallzeit, der durch die Mittelung der Nachhallzeitwerte in den drei Oktaven von 500 Hz und 1000 Hz-Bändern errechnet wird. Als Vergleichswert wird hier eine Nachhallzeit von $T=0,8$ s herangezogen (rote Linie), die sich nach DIN 18041 für einen Standardklassenraum (Volumen $V \approx 200 \text{ m}^3$) im unbesetzten Zustand ergibt.

Wie aus der Auswertung ersichtlich ist, übersteigen die in den Unterrichtsräumen ermittelten Nachhallzeitwerte die Werte der DIN 18041 zum Teil erheblich. Bei konservativer Auswertung wird deutlich, dass bei jedem dritten Klassenraum die akustischen Verhältnisse unzureichend sind. Dabei handelt es sich bei den Räumen mit unzureichender Akustik nicht etwa nur um Altbauten, die noch nicht entsprechend saniert wurden. Vielmehr sind die Überschreitungen der Sollnachhallzeiten gleichermaßen

auch bei Schulneubauten sowie bei sanierten Schulen zu finden.

Aus der Untersuchung wird ebenfalls deutlich, dass sich die akustisch guten Unterrichtsräume von den schlechten Räumen im Wesentlichen nur durch die Tatsache unterscheiden, dass in den Räumen eine funktionierende Akustikdecke eingebaut ist. Die folgenden Bilder zeigen exemplarisch zwei Beispiele aus der Bernhard-Adelung-Schule in Darmstadt, die den Unterschied deutlich machen.

Wie aus den Bildern sehr deutlich hervorgeht, werden im Chemieraum II, in dem eine Akustikdecke mit Mineralfaserplatten eingebaut ist, die Anforderungen nach DIN 18041 sicher eingehalten. Dagegen sind im Raum 16, der als normaler Unterrichtsraum genutzt wird, ohne den Einbau einer entsprechenden Decke die Nachhallzeitverhältnisse völlig unzureichend.



Abb. 23: Chemieraum II, $V=200 \text{ m}^3$, Akustikdecke aus Mineralfaserplatten.

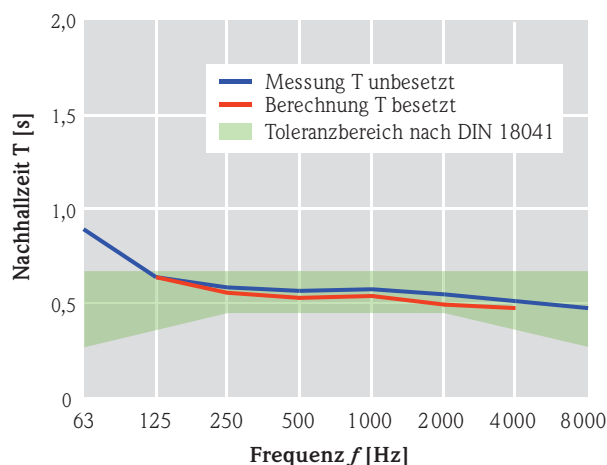


Abb. 24: Chemieraum II, gemessener und berechneter Nachhallzeitverlauf.



Abb. 25: Raum 16, Klassenzimmer, $V = 210 \text{ m}^3$, Decke glatt gestrichen.

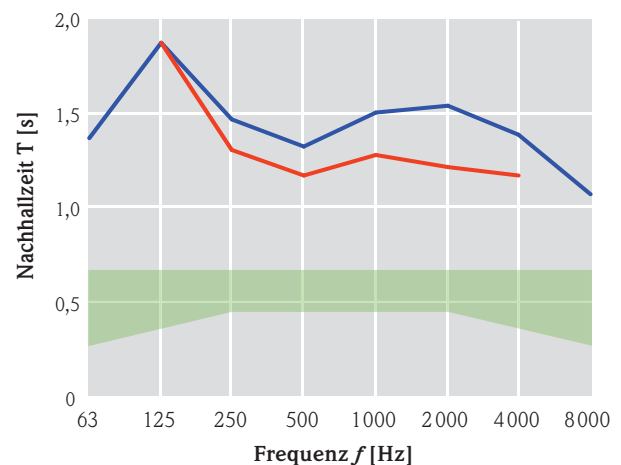


Abb. 26: Raum 16, Klassenraum, gemessener und berechneter Nachhallzeitverlauf. Legende siehe Abb. 24.

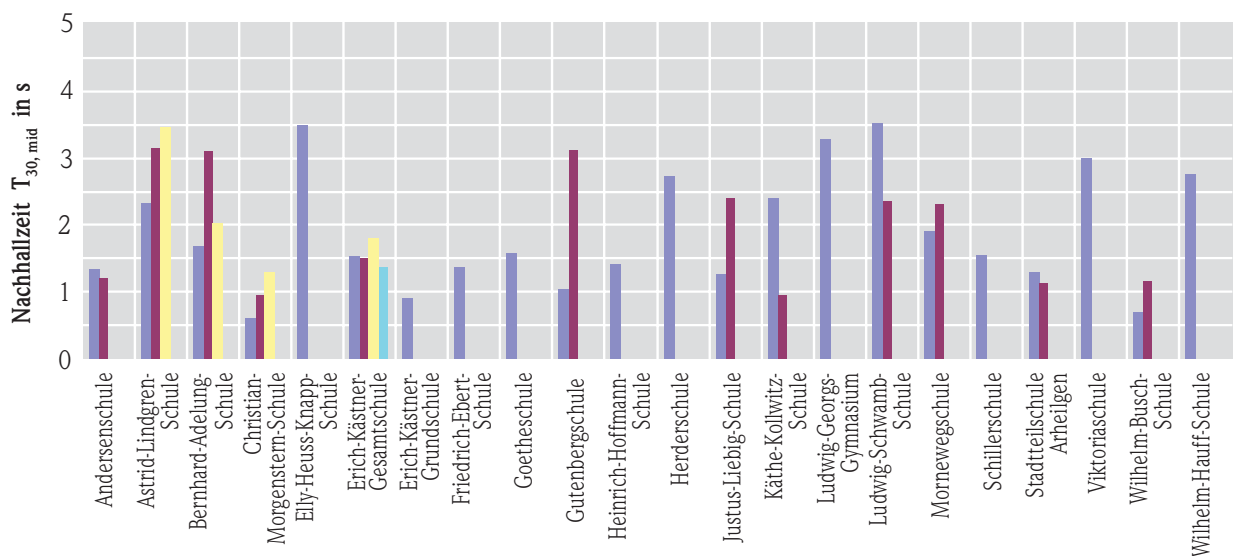


Abb. 27: Nachhallzeiten $T_{30, \text{mid}}$ in Sekunden von 39 Fluren, Foyers und Treppenhäusern in 22 Schulen (Quelle Unfallkasse Hessen).

Es sei nochmals wiederholt, dass die hier ausgesuchten Räume den typischen Unterschied zwischen Räumen mit und ohne Akustikdecke aufzeigen. Auch wenn die statistische Erhebung gemäß Abb. 22 erschreckend ist, ist die technische Lösung einfach, nämlich der Einbau einer Akustikdecke.

Wenngleich im Rahmen dieser Broschüre die akustische Behandlung von Fluren und Foyers nicht im Vordergrund steht, sind in Abb. 27 auch für diese Raumart die Nachhallzeitmessungen dargestellt.

Auch in den untersuchten Flurräumen schwankt die gemessene Nachhallzeit zwischen $T=0,8$ s und 3,5 s erheblich. Wiederum sind auch hier bei einigen sanierten Altbauten keinerlei akustische Maßnahmen getroffen worden. Die Flure und Foyers mit langer Nachhallzeit unterscheiden sich im Hinblick auf die Lärmentwicklung und bezüglich des akustischen Klimas signifikant von denen mit entsprechend kurzer Nachhallzeit. Die Lärmwirkung durch Flure und Foyers ist insbesondere in Pausen und bei entsprechenden Veranstaltungen zum Teil unzumutbar.

In Abb. 28 ist als Beispiel ein Flur gezeigt, der als Altbau saniert wurde ohne die akustischen Belange zu berücksichtigen. Aus Abb. 29 ist ersichtlich, dass die zugehörigen Nachhallzeiten viel zu hoch sind. Wenngleich bei dieser Schule der Denkmalschutz beachtet werden muss, wäre sicherlich der Einbau einer optisch geeigneten Akustikdecke möglich gewesen.



Abb. 28: Sanierter Flur der Gutenbergerschule ohne Akustikdecke.

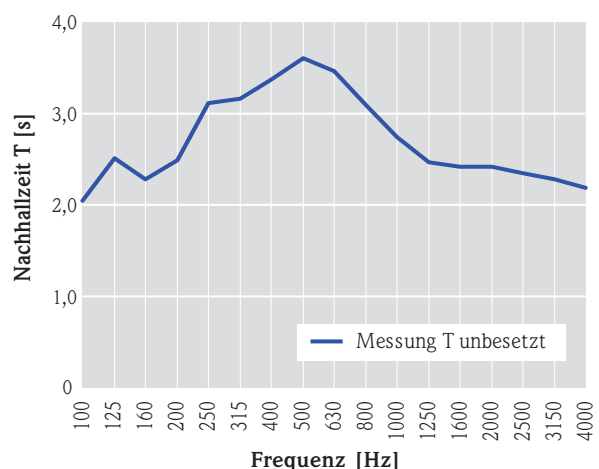


Abb. 29: Sanierter Flur der Gutenbergerschule, gemessener Nachhallzeitverlauf Gutenbergerschule.

Auch wenn die Herstellung guter raumakustischer Verhältnisse für Unterrichtsräume vorrangig ist, muss betont werden, dass auch die Reduzierung des Nachhalls in den Fluren und Foyers der Schulen auf Grund der gleichen Gesetzmäßigkeiten zu einer erheblichen Lärmreduzierung führt und so das akustische Klima an der Schule maßgeblich mit beeinflusst.

Auch für Flure und Foyers gilt, dass in der Regel be-

reits der Einbau einer einfachen funktionstüchtigen Akustikdecke für eine angemessene Reduzierung des Nachhalls ausreicht. Da in Fluren und Foyers aber keine Kommunikationsfähigkeit wie in Unterrichtsräumen sichergestellt werden muss, sollte hier der Nachhall so weit wie möglich reduziert werden.

Der Einbau hoch absorbierender Akustikdecken führt bei normalen Raumhöhen mit Nachhallzeiten von $T = 0,3\text{--}0,5\text{ s}$ zu sehr guten Ergebnissen.

13 Maßnahmen durch „Selbsthilfe“

13.1 Probleme der Eigenleistung durch Eltern oder Lehrkräfte

Immer häufiger stellt sich wegen der finanziell angespannten Lage der Schulträger die Frage, ob Klassenzimmer in schalltechnischer Hinsicht nicht auch durch einfachere Maßnahmen und Eigenleistung durch Lehrkräfte, Eltern, Schülerinnen und Schüler saniert werden können. Hierbei werden zumeist Vorschläge der folgenden Art gemacht:

- Einhängen von Stoffbahnen
- Ankleben von Akustiktapeten
- Einbringen von Schaumstoffelementen
- Aufkleben von Schaumstoffplatten auf die Wände.

Die physikalischen Grenzen dieser Vorschläge liegen zumeist in zwei entscheidenden Punkten:

- Die für eine hinreichende Absorption eingebrachte Fläche ist zu klein. Gemäß den Ausführungen in Abschnitt 11 ist eine Gesamtfläche in Größenordnung der Grundfläche als Absorberfläche bereitzustellen.
- Da die eingebrachten Absorbermaterialien zu dünn sind bzw. direkt auf die Wand- und Deckenflächen aufgebracht werden, wirken die Absorptionsmaßnahmen nur im oberen Frequenzbereich. Die Nachhallkurven sind daher im tief-frequenten Bereich nach wie vor sehr hoch und fallen mit zunehmender Frequenz stark ab. Die Räume wirken akustisch stumpf und brummig.

Die Abb. 30 und 31 zeigen anhand eines Beispiels, wie durch den Versuch Absorption in kreativer Eigeninitiative einzubringen, der Nachhallzeitverlauf eher ungünstig beeinflusst wurde. Der Nachhall über der



Abb. 30: Klassenzimmer in Eigenarbeit akustisch gestaltet, $V=220\text{ m}^3$, Decke glatt gestrichen.

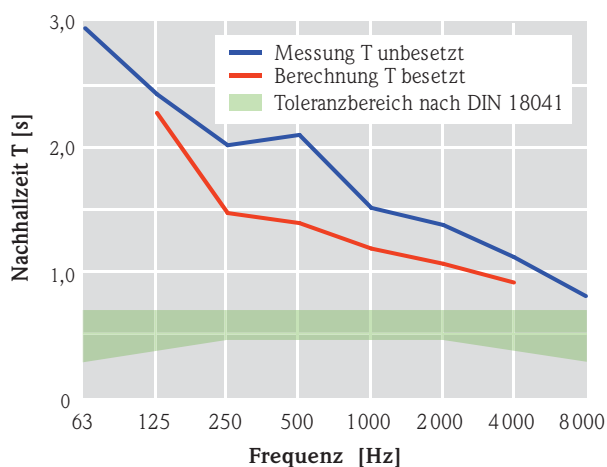


Abb. 31: Klassenraum in Eigenarbeit akustisch gestaltet, gemessener und berechneter Nachhallzeitverlauf.

Frequenz ist unausgeglichen, steigt bei tiefen Frequenzen stark an und ist insgesamt immer noch viel zu hoch.

Von dieser Art der Klassenraumgestaltung ist daher gemäß vorstehenden Ausführungen abzuraten. Abzuraten ist auch von Renovierarbeiten, bei der eine zwar optisch verschmutzte, aber ansonsten funktionstüchtige Akustikdecke mit handelsüblicher Farbe überstrichen wird. Durch die Farbe werden die offenporigen Strukturen der Decke, die zur Schallabsorption benötigt werden, geschlossen. Die Absorptionswirkung verringert sich erheblich. Zur Wiederherstellung der absorbierenden Eigenschaften ist dann ein Austausch der überstrichenen Deckenelemente unumgänglich.

13.2 Grenzen und Möglichkeiten der akustischen Gestaltung mit „einfachen“ Mitteln

Wie bereits beschrieben, ist der Einbau einfacher funktionstüchtiger akustischer Absorber nicht so kostenträchtig, wie oft angenommen wird. Wenn dennoch versucht werden soll, die Nachhallreduktion durch Eigeninitiative herzustellen, sind ein paar Randbedingungen zu beachten.

Zunächst sollte man versuchen mit den Herstellern von Absorptionsmaterialien z.B. über spezielle Konditionen zu verhandeln. So könnte beispielsweise das Rohmaterial seitens der Hersteller als B-Ware o. Ä. geliefert werden. Bei der Wahl des Materials ist unbedingt darauf zu achten, dass neben den akustischen Eigenschaften auch weitere Aspekte von Bedeutung sind.

- Akustische Eigenschaften
- Arbeits – und Gesundheitsschutz
- Brandschutzanforderungen
- Ggf. Denkmalschutz
- Handhabbarkeit und Verarbeitung
- Kosten

Wenn man alle Kriterien berücksichtigt, schränkt sich die Wahl der möglichen Materialien stark ein. Gemäß den Ausführungen in Abschnitt 11 ist zur Erzielung einer hinreichenden Tiefenabsorption das absorbierende Material mit einem Luftraum (> 10 cm) anzubringen. Soll eine entsprechende Unterkonstruktion in Eigenleistung erstellt werden, sind

zusätzlich Aspekte der Statik zu beachten. Die Ausführung wird dann in der Regel so aufwändig, dass die Eigenleistung keinen Vorteil gegenüber einem preiswerten handelsüblichen Produkt mehr besitzt.

Für die raumakustische Gestaltung in Eigenleistung bietet sich daher an, Schaumstoffmatten einzusetzen, die direkt auf die vorhandene Decke aufgeklebt werden. Zu bevorzugen sind dabei solche, die einen hohen Absorptionsgrad besitzen. Die fehlende Tiefenabsorption ist ggf. durch das Anbringen weiterer Tiefenabsorber im Wandbereich auszugleichen. Eine mögliche Umsetzung zeigt folgendes Beispiel:

Im Nachgang des Projektes zur Erhebung der Nachhallzeiten in verschiedenen Unterrichtsräumen wurde federführend durch die Unfallkasse ein kleines Zusatzprojekt durchgeführt, bei dem in der Bernhard-Adelung-Schule in Darmstadt verschiedene Klassenräume in Eigenleistung hinsichtlich der Raumakustik saniert wurden. Im Rahmen des Projektes konnten von einem Hersteller Akustikwaffeln aus Melaminharzschaum als B-Ware zu einem Preis von 9 € je Stück bezogen werden. Die Waffeln haben Ausmaße von 1250 mm · 625 mm · 45 mm. Sie besitzen bei hohen Frequenzen einen Absorptionsgrad von $\alpha > 0,8$.

Die Schaumplatten wurden wie in den Bildern 32 und 33 dargestellt angebracht. Die Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen vor und nach der Sanierung zeigt Abb. 34. Die Messungen zeigen die Vor- und Nachteile einer solchen Absorberkonstruktion. Ab einer Frequenz von 250 Hz sind die Nachhallzeitwerte nach DIN 18041 innerhalb des vorgegebenen Toleranzbereiches. Es zeigt sich aber auch, dass wegen der fehlenden Tiefenabsorption die ermittelte Nachhallzeit bei 125 Hz oberhalb der Toleranzgrenze liegt. Wenngleich neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass bei 125 Hz eine geringfügige Überschreitung der Toleranzgrenze keine signifikanten Auswirkungen auf die akustischen Verhältnisse hat, kann die Überschreitung je nach Art und Ausführung der Sanierung nicht mehr tolerable Größen annehmen.

Zur Tiefenabsorption wurden schließlich im Rahmen des Projektes Plattenresonatoren an den Wänden eingesetzt. Zum Aufbau wird gemäß Abb. 35 eine dünne Span- oder Sperrholzplatte mit einem geeigneten Wandabstand (hier ca. 6 cm) mit Hilfe einer



Abb. 32: Raum 24 der Bernhard-Adelung-Schule in Eigenarbeit mit Melaminharzschaumplatten akustisch gestaltet.

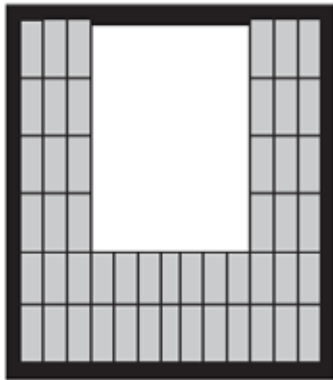


Abb. 33: Prinzipielle Anordnung der Deckenplatten.

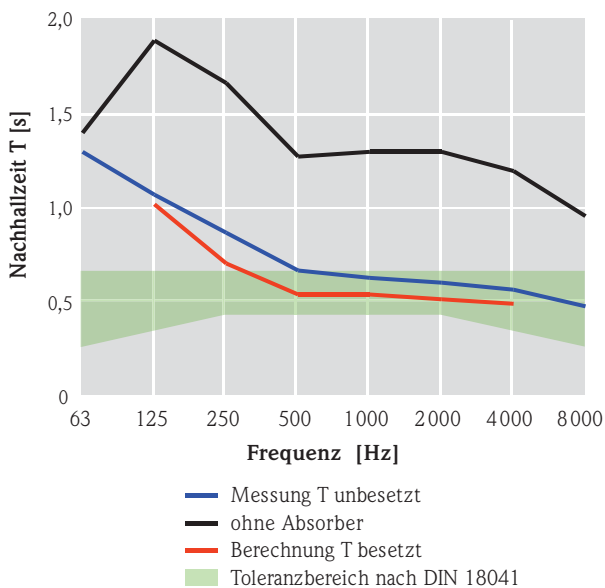


Abb. 34: Raum 24 der Bernhard-Adelung-Schule in Eigenarbeit mit Melaminschaumplatten akustisch gestaltet, gemessener und berechneter Nachhallzeitverlauf.

Unterkonstruktion vor der Wand montiert. Die Platten sind so zu befestigen, dass diese hinreichend gut schwingen können. Der Hohlraum wird mit Mineralwolle ausgefüllt. Die Gesamtfläche des Resonators sollte im Idealfall so groß sein wie die Fläche der Deckenelemente. Dies lässt sich in der Regel jedoch schwer realisieren. Um eine merkliche Tiefenabsorption zu erzielen, ist eine Mindestgröße von 8–10 m² aber nicht zu unterschreiten.

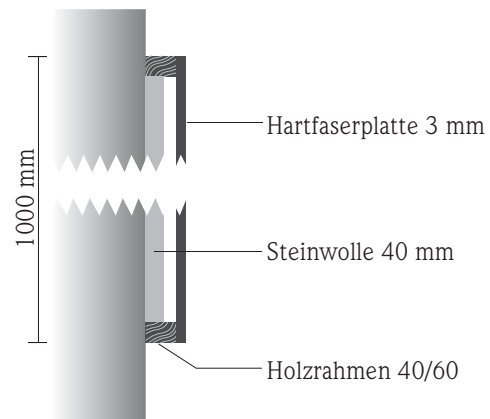


Abb. 35: Prinzipielle Konstruktion eines Tiefenabsorbers.

Insgesamt zeigt das Projekt, dass sich die akustischen Verhältnisse in Klassenräumen in Eigenarbeit mit Hilfe der Unterstützung der Hersteller von Absorptionsmaterialien günstig beeinflussen lassen. Erste Befragungen der betroffenen Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler ergaben sehr positive bis fast euphorische Rückmeldungen. Das Projekt zeigt aber auch, dass eine akustische Sanierung in Eigenregie gut vorbereitet sein muss und nicht zuletzt die in der DIN 18041 gegebenen Werte als zu erreichender Maßstab heranzuziehen sind. Hilfestellung bei Projekten in Eigenarbeit ist durch den Projektbericht [23] gegeben, der bei der Unfallkasse angefordert werden kann.

13.3 Schallabsorbierende Gestaltung von Einrichtungsgegenständen

Alternativ kann zu den im vorigen Abschnitt beschriebenen Maßnahmen auch Mobiliar (Einbauschränke, Regale o. Ä.) zur Schallabsorption eingesetzt werden. Jedoch eignen sich diese Maßnahmen meist nur als Ergänzung zur den bereits beschriebenen Maßnahmen, da die zur Verfügung stehenden Flächenanteile meist zu gering sind.

Offene Regalsysteme, die nicht belegt sind, absorbieren den Schall nur wenig. Erst wenn die Regale mit Spielmaterial o. Ä. belegt sind, ergeben sich mittlere Absorptionsgrade von $\alpha=0,4-0,8$. Die Verwendung von Regalsystemen zur Schallabsorption hat aber den Nachteil, dass zum einen wiederum eine sehr große Regalfläche für eine hinreichende Absorption benötigt wird, zum anderen aber auch die erzielbaren Absorptionswerte direkt von der Regalbelegung abhängen.

Besser ist hier die Schall absorbierende Gestaltung geschlossener Schranksysteme. Hier können die Türen aus mittel bis fein gelochten Materialien hergestellt werden. Je nach Konstruktion ist die Rückseite der Schranktür dann mit einem Vlies zu bekleben. Der Hohlraum des Schrankes sorgt für eine hinreichende Tiefenabsorption. Ein akustisch aktivierter Schrank hat sowohl im belegten als auch unbelegten Zustand eine relativ gute akustische Wirksamkeit. Zur Herstellung einer hinreichenden Gesamtabsorption reichen aber wiederum die zur Verfügung stehenden Flächen nicht aus. Daher ist auch diese Maßnahme nur in Ergänzung zu den anderen Maßnahmen zu sehen. In jedem Fall sollte bei der Bemessung der Maßnahme ein Akustiker beratend zur Seite stehen.

14 Messtechnische Überprüfung der Schulraumakustik

14.1 Raumakustische Messungen – die objektive Beurteilung der Akustik

In den letzten Jahren ist auf Grund zunehmender Aufklärungsarbeit das Bewusstsein um die Probleme schlechter akustischer Verhältnisse in Schulen gerade bei den verantwortlichen Schulträgern, Planerinnen und Planern stetig gewachsen. Wenngleich dieser Prozess längst noch nicht abgeschlossen ist und nach wie vor ein erheblicher Bedarf an Aufklärungsarbeit besteht, werden zunehmend bei Neubauten aber auch bei Altbausanierungen Nachhallreduktionsmaßnahmen durchgeführt.

Durch die Begrenztheit der Mittel stellt sich gerade bei der Altbausanierung immer wieder die Frage, für welche Räume der dringlichste Bedarf für eine akustische Sanierung besteht. Obwohl bereits mit ein wenig Übung durch ein einfaches Händeklatschen eine schlechte Nachhallsituation von einer guten unterschieden werden kann, können die Nachhallzeiten letztlich nur durch objektive Messungen festgestellt werden.

Objektive Messungen werden auch dann oft notwendig, wenn der objektive Nachweis schlechter akustischer Verhältnisse erbracht werden muss, um auch über die Darstellung der objektiven Kennwerte einen entsprechenden Handlungsdruck zu erzeugen.

In früheren Jahren waren Nachhallzeitmessungen technisch relativ aufwändig, so dass die weit verbreitete Meinung herrscht, dass das Messen teuer und schwierig sei. In den letzten Jahren hat aber die Messtechnik erheblich Fortschritte gemacht, so dass die Messungen unter gewissen Randbedingungen sehr einfach und nicht mehr nur von einem Akustiker auszuführen sind.

Die Hintergründe der neueren „einfacheren“ Messmethoden sind in einer Messnorm, der DIN EN ISO 3382-2, niedergelegt. Die Lektüre der Norm sei aber nur denjenigen empfohlen, die sich tiefer mit dem Messverfahren auseinandersetzen möchten.

Die einfache Messmethode beruht darauf, dass im

Raum in geeigneter Weise ein Knall (Impuls) erzeugt wird. Mit Hilfe eines entsprechenden Handschallpegelmessers wird die Impulsantwort (siehe Abschnitt 8) aufgezeichnet und die zugehörige Nachhallzeit automatisch ausgewertet und angezeigt.

Die Impulsquelle (Knallquelle) muss dabei so beschaffen sein, dass sie in allen Frequenzbereichen genügend Energie erzeugt. In der Praxis hat sich hier der Einsatz einer Schreckschusspistole bewährt, die in allen Frequenzbereichen eine sehr hohe Impulsenergie erzeugt. Schreckschusspistolen sind im Verkauf für unter 100 € frei erhältlich. Es wird zum Betrieb lediglich ein kleiner Waffenschein benötigt, dessen Beantragung bei der zuständigen Polizeibehörde jedoch formal einfach und unkompliziert ist. Ist eine Schreckschusspistole nicht zur Hand, können als alternative Knallquellen auch Butterbrottüten verwendet werden, die aufgeblasen und durch kräftiges Zusammenschlagen der Hände zum Platzen gebracht werden. Auch diese Knallerzeugungsmethode erhält in der Regel genügend Energie in allen Frequenzbereichen und bringt gute Messergebnisse. Sie wirkt zugegebenermaßen jedoch weniger professionell. Die Kosten für derartige Knallquellen sind jedoch vernachlässigbar.

An dieser Stelle sei nochmals betont, dass bereits das Einwirken eines einzelnen starken Impulses zu dauerhaften Hörschädigungen führen kann. Daher ist bei der Messung mit Impulsquellen immer ein wirkungsvoller Gehörschutz zu tragen! Ein geeigneter Hörschutz ist in jedem Baumarkt oder Geschäft für Sicherheitsbekleidung für wenige Euro erhältlich.

Höhere Anforderungen werden an den Handschallpegelmesser gestellt. Hier eignen sich zur Messung der Nachhallzeiten nach der Impulsmethode nur solche, die auch über eine entsprechende Software zur internen Nachbearbeitung der Signale verfügen. Solche Schallpegelmesser sind ab 3000 € erhältlich. Zwar ist die Anfangsinvestition hier vergleichsweise hoch, jedoch fallen bis auf ein Stativ keine weiteren Kosten an. Zur Messung wird der Schallpegelmesser auf ein Stativ geschraubt und an der Messposition aufgestellt. Nach Einstellung der Software befindet sich der Schallpegelmesser im Wartezustand. Beim Auslösen des Knalls und dem Überschreiten der Triggerschwelle beginnt der Schallpegelmesser automatisch mit der Aufzeichnung der Impulsantwort. Die anschließende Auswertung der Nachhallzeiten erfolgt ebenfalls automatisch, typischerweise in den terz- oder oktavbreiten Frequenzabstufungen. Durch die im Schallpegelmesser implementierte moderne Signalverarbeitung erkennt das Gerät selbständig, ob bei der Messung ein Fehler vorlag. Fehler können insbesondere dann auftreten, wenn in einigen Frequenzbereichen die Anregungsenergie zu gering war oder während der Messung Störgeräusche (Türklopfen, vorbeifahrendes Auto o. Ä.) aufgetreten sind. Die Fehlmessungen werden entsprechend gekennzeichnet, so dass diese einfach wiederholt werden können. Durch die Triggermöglichkeit kann die gesamte Messung leicht von einer Person durchgeführt werden. Das vollständige zur Messung benötigte Equipment ist in Abb. 36 gezeigt. Die Geräte können von einer Person bequem getragen und bedient werden.



Abb. 36: Equipment zur Durchführung von Nachhallzeitmessungen.

Um möglichst gute Messergebnisse zu erhalten, ist die Messung in einem Klassenraum mindestens zweimal, besser dreimal an unterschiedlichen Positionen für den Schallsender (Knallquelle) oder den Schallempfänger (Handschallpegelmesser) durchzuführen. Die bei den Messungen ermittelten Nachhallzeiten sind dann zu mitteln, was in der Regel auch vom Schallpegelmesser selbständig gemacht wird.

Bei der Messung sind einige wenige, aber wichtige Randbedingungen zu beachten:

- Der Abstand des Messmikrofons zu den Raumbegrenzungsflächen (Wände, Decke, Boden) muss mind. 0,5 m betragen.
- Der Mindestabstand des Messmikrofons zu Gegenständen (Möbel o. Ä.) muss mindestens 0,5 m betragen.
- Zwischen Schallquelle und Mikrofon sollte ein möglichst großer Abstand eingehalten werden (typischerweise >3 m).
- Es sind bei Räumen mit einem Volumen <500 m³ mindestens 2, besser 3 Messungen je Raum mit unterschiedlicher Sende- und Empfangsposition durchzuführen.
- Die Mikrofonhöhe ist bei den verschiedenen Messungen zu variieren (typisch zwischen 80 cm und 2 m).
- Die Messung ist bei Fehleranzeige des Gerätes zu wiederholen.

Neuere Erfahrungen haben gezeigt, dass auch in der Messtechnik weniger erfahrene Personen nach einmaliger Anleitung unter Beachtung der oben aufge-

fährten Punkte in der Lage sind, gute Nachhallzeitmessungen durchzuführen. Dies ist insbesondere für Bauämter, Schulträger oder sonstig verantwortlich involvierte Personen von großem Interesse, die so dank einmaliger Investition jederzeit in der Lage sind die notwendigen Untersuchungen einfach selbst durchzuführen.

Sofern die Messungen nicht nur für interne Zwecke genutzt werden, empfiehlt es, sich bei der Dokumentation der Messungen stets folgende Angaben zu machen:

- Name und Ort des geprüften Raumes
- Größe und Volumen des Raumes
- Wenn der Raum nicht geschlossen ist, Angabe, wie das angegebene Volumen bestimmt wurde (nur für Flure und Foyers)
- Messbedingungen des Raumes (möbliert, Anzahl der Personen)
- Typ der Schallquelle (Pistole, o. Ä.)
- Angabe über die Anzahl der Messungen und der Messpositionen
- Beschreibung der Messeinrichtung
- Tabelle mit den Messergebnissen
- Name der Messorganisation mit Datum

Auch wenn die Hemmschwelle zur Durchführung eigener Messungen hoch ist, sind die bisher gemachten Erfahrungen durchweg sehr gut. Dies sollte ermutigen, zukünftig vermehrt Nachhallzeitmessungen nach vorheriger Anleitung in Eigenregie durchzuführen, um so zur Verbesserung der Lärmsituation in Schulen zielgerichtet beizutragen.

15 Literatur/Normen

- [1] HELLBRÜCK, J. & FISCHER, M. (1999): Umweltpsychologie. Ein Lehrbuch. Göttingen u. A.: Hogrefe.
- [2] SCHÖNWÄLDER, H.-G. (2001): Die Arbeitslast der Lehrerinnen und Lehrer. Essen: Neue Deutsche Schule.
- [3] BUCH, M. & FRIELING, E. (2001): Belastungs- und Beanspruchungsoptimierung in Kindertagesstätten. Bericht des Instituts für Arbeitswissenschaft der Universität Kassel.
- [3b] SCHICK, A., KLATTE, M. & MEIS, M. (1999): Die Lärmbelastung von Lehrern und Schülern – ein Forschungsstandbericht. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 46(3): 77–87
- [4] SCHÖNWÄLDER, H.G.; BERNDT, J.; STRÖVER, F. & TIESLER, G. (2004): Lärm in Bildungsstätten – Ursachen und Minderung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 1030.
- [5] PAPSO, C. F. & BLOOD, I. M. (1989): Word recognition skills of children and adults in background noise. Ear and Hearing 10 (4), 235–236.
- [6] NEUMAN, A.C. & HOCHBERG, I. (1983): Children's perception of speech in reverberation. Journal of the Acoustical Society of America 73(6), 2145–2149.
- [7] JOHNSON, C. E. (2000): Children's phoneme identification in reverberation and noise. Journal of Speech, Language, and Hearing Research 43, 144–157.
- [8] YACULLO, W.S. & HAWKINS, D.B. (1987): Speech recognition in noise and reverberation by school-age children. Audiology 26, 235–246.
- [9] PEKKARINEN, E. & VILJANEN, V. (1990): Effect of sound-absorbing treatment on speech discrimination in rooms. Audiology 29, 219–227.
- [10] MACKENZIE, D.J. & AIREY, S. (1999): Classroom Acoustics. A Research Project. Summary Report. Heriot-Watt-University, Dept. of Building Engineering and Surveying, Edinburgh.
- [11] KLATTE, M.; WEGNER, M. & HELLBRÜCK, J. (2006): Feldstudie zur Akustik in Schulen und ihrer Wirkungen auf Kinder. Teil 2: Ergebnisse aus Leistungstests und Fragebogendaten. In: Fortschritte der Akustik. Beiträge zur Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Akustik, DAGA, Braunschweig.
- [12] KLATTE, M., MEIS, M., JANOTT, C., HILGE, C. & SCHICK, A. (2002): Zum Einfluss der Sprachverständlichkeit auf kognitive Leistungen: Eine Studie mit Grundschulkindern. In: JEKOSCH, U. (Hrsg.). Fortschritte der Akustik – DAGA 2002. Oldenburg: DEGA e.V.
- [13] ZIEGLER, J. C., PECH-GEORGEL, C. & GEORGE, F. (2005): Deficits in speech perception predict language learning impairment. Proceedings of the National Academy of Sciences PNAS 102 (39), 14110–14115.
- [14] GEFFNER, D., LUCKER, J. R. & KOCH, W. (1996): Evaluation of auditory discrimination in children with ADD and without ADD. Child Psychiatry and Human Development 26, 169–179.
- [15] NELSON, P.; KOHNERT, K.; SABUR, S. & SHAW, D. (2005). Classroom noise and children learning through a second language: Double jeopardy? Language, Speech, and Hearing Services in Schools 36, 219–229.
- [16] ELLIOTT, E.M. (2002): The irrelevant speech effect and children: Theoretical implications of developmental change. Memory & Cognition 30(3), 478–487.
- [17] KLATTE, M., SUKOWSKI, H.; MEIS, M. & SCHICK, A. (2004): Effects of irrelevant speech on speech perception and phonological short-term memory in children aged 6 to 7 years. Proceedings of the Joint Congress CFA/DAGA, pp 193–194.
- [18] KLATTE, M., WEGNER, M. & HELLBRÜCK, J. (2006): Lärm in der schulischen Umwelt und kognitive Leistungen bei Grundschulkindern. Teil B: Kognitionspsychologische Untersuchungen. Zwischenbericht zum Statusseminar des Programms „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ des Landes Baden-Württemberg (BWPlus).
(als PDF-Dokument abrufbar unter <http://www.bwplus.fzk.de>; Link: Publikationen)
- [19] SEIDEL, J., WEBER, L. & LEISTNER, P. (2006): Lärm in der schulischen Umwelt und kognitive Leistungen bei Grundschulkindern Teil A – Umwelt- und bauakustische Untersuchungen. Zwischenbericht zum Statusseminar des Programms „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ des Landes Baden-Württemberg (BWPlus).
(als PDF- Dokument abrufbar unter <http://www.bwplus.fzk.de>; Link: Publikationen)
- [20] ECKERT, H. (2004): Die Wirkung der Stimme auf das Zuhören in der Schule. Grundschule, Heft 2/2004, 48–49.
- [21] DIN 18041 Mai 2004. Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, Beuth-Verlag, 10772 Berlin
- [22] DIN EN 12354-6. Ausgabe: 2004-04. Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen, Beuth-Verlag, 10772 Berlin
- [23] Unfallkasse Hessen. Reduzierung der Lärmbelastung in Schulen durch Verbesserung der Raumakustik Projektbericht Unfallkasse Hessen, Ortrun Rickes, April 2006
- [24] FASOLD & VERES: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis. Verlag für Bauwesen in Berlin

16 Liste von Herstellern von Akustikdecken

création baumann GmbH

Paul-Ehrlich-Strasse 7
36128 Dietzenbach
Tel.: 06074 37670
Fax: 06074 376711
mail@creationbaumann.de

Deutsche Heraklith GmbH

Heraklithstraße 8
84353 Simbach am Inn
Tel.: 08571 40440
Fax: 08571 40261
office@heraklith.de

Knauf Bauprodukte GmbH

Postfach 10
97343 Iphofen
Tel.: 09323 310
Fax: 09323 31323 oder 31115
info@knauf-bauprodukte.de

illbruck Akustiksysteme GmbH

Illbruck-Str. 1
34537 Bad Wildungen
Tel.: 05621 969470
Fax: 05621 96947244
www.illbruck.de
akustik-design@illbruck.com

Lahnau Akustik GmbH (ehemals Wilhelmi Werke AG)

Dr.-Hans-Wilhelmi-Weg 1
35633 Lahnau
Tel.: 6441 6010
Fax: 6441 63439
info@wilhelmi.de

Odenwald Faserplattenwerk GmbH

Dr.-F. A.-Freundt-Straße 3
63916 Amorbach
Tel.: 09373 2010
Fax: 09373 201130
www.owa.de

Rigips GmbH

Schanzenstraße 84
40549 Düsseldorf
Postfach 11 09 48
40509 Düsseldorf
Tel.: 0211 55030
Fax: 0211 5503208
www.rigips.de

Rockwool/Rockfon GmbH

Mülheimer Str. 16
46049 Oberhausen
Tel.: 0208 208535
Fax: 0208 804088
info@rockfon.de

bzw.

Deutsche Rockwool Mineralwoll GmbH & Co. OHG

Rockwool Straße 37-41
45966 Gladbeck
Tel.: 02043 4080
Fax: 02043 408444
www.rockwool.de

Saint-Gobain Ecophon GmbH

Taschenmacherstraße 8
23556 Lübeck
Tel.: 0451 8995201
Fax: 0451 8995211
www.ecophon.de

StoVerotec GmbH

Hanns-Martin-Schleyer-Str. 1
89415 Lauingen/Donau
Tel.: 09072 9900
Fax: 09072 990117
infoservice.StoVerotec@stoeu.com

TOPAKUSTIK - Promotion GmbH & Co. KG

Von-dem-Bussche-Str. 3
30938 Burgwedel
Tel.: 05139 4028980
Fax: 05139 4028982
info@topakustik.de



Hessisches Landesamt
für Umwelt und Geologie

www.hlug.de



Unfallkasse Hessen
Partner für Sicherheit

HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM

