

Akustische Ergonomie in Bildungsstätten – eine nutzerorientierte Einführung in die Raumakustik

Dipl. Ing. Rainer Machner
Konzeptentwickler für Bildungs- und Erziehungsstätten
Saint-Gobain Ecophon GmbH, Lübeck

Eine Vorbemerkung

Die Gestaltung moderner Klassenräume, Gruppenräume und Kommunikationsräume allgemein muss heute immer mehr Anforderungen gerecht werden. Neben den aktuellen Trends in der Architektur steht dabei vor allem einer im Mittelpunkt: der Mensch. An seinen Bedürfnissen, seinen körperlichen und seelischen Ressourcen muss sich eine zeitgemäße Arbeitsumgebung messen lassen! Dabei werden jedoch die Arbeitsabläufe, denen ein Raum genügen muss, immer komplexer: Konzentration und Entspannung, Kommunikation und Diskretion, Leistungsdruck und Wohlbefinden dürfen nicht im Widerspruch stehen.

In diesem Zusammenhang haben zahlreichen wissenschaftliche Untersuchungen im In- und Ausland bewiesen: Nicht selten ist es vor allem die akustische Arbeitsumgebung – z. B. schlechte Sprachverständlichkeit oder zu hohe Geräuschpegel – welche das Leistungsvermögen der Mitarbeiter in hohem Maß beeinträchtigt. Untersuchungen von Klassenräumen konnten sogar belegen, dass vielen Schulkindern einfach die akustisch-ergonomischen Voraussetzungen für den Unterrichtserfolg fehlen.

Vor diesem Hintergrund hat schließlich eine ausgewogene Raumakustik bei der Beurteilung der baulichen Qualität von Schulungs- und Kommunikationsräumen in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. So hat auch das Deutsche Institut für Normung (DIN) die maßgebliche Raumakustiknorm DIN 18041 weitgehend überarbeitet und für viele Raumtypen die Anforderungen an eine nutzungsorientierte Raumgestaltung neu definiert. Erst jetzt wird dem Wirkfeld „Unterricht“ eine gesonderte akustische Betrachtung geliefert.

So werden im Folgenden die technischen Betrachtungen der Raumakustik und ihre baulichen Lösungen immer erst an zweiter Stelle stehen. Zuvor erfolgt jeweils ein genaues Hinsehen (bzw. Hinhören!) auf die Kommunikationsvorgänge, die in den jeweiligen Räumen realisiert werden sollen. Erst die Wahrnehmung der oft einfachen, nicht selten jedoch überraschenden Zusammenhänge schafft die Grundlage für eine nutzerorientierte akustisch-ergonomische Raumgestaltung.

Bildungsressourcen

Kein anderer Kommunikationsraum ist vielleicht so archetypisch wie das allen aus eigener jahrelanger Erfahrung vertraute Klassenzimmer. Nirgends wird so ausführlich geredet, diskutiert, getuschelt, doziert wie in einem Schulzimmer oder Gruppenraum. Und tatsächlich: kaum ein anderer Raumtyp erfreute sich in den letzten Jahren eines ähnlichen Forschungsinteresses, wurde ähnlich intensiv durchleuchtet und analysiert.

Richtungweisend ist dabei vor allem die Arbeit der Wissenschaftler/-innen am früheren Institut zur Erforschung von Mensch-Umwelt-Beziehungen an der Universität Oldenburg (SCHICK, KLATTE, MEIS, NOCKE; 2003)ⁱⁱ. Sie wiesen nach, dass ungünstige Hörbedingungen gerade bei Kindern in der Spracherwerbsphase dazu führen, dass sprachliche Informationen falsch oder gar nicht verstanden werden. Das Zuhören wird anstrengender, was einerseits zu schnellerer Ermüdung, andererseits zur Verringerung der Ressourcen führt, die für das kurzzeitige Behalten und mentale Verarbeiten der gehörten Informationen zur Verfügung stehen.ⁱⁱⁱ

Tatsächlich scheint das Hören, Zuhören und Verstehen in unseren Klassenzimmern kein Kinderspiel zu sein. So kamen 1999 bei einer aufwändigen Untersuchung von SCHÖNWÄLDER, BERNDT, STRÖVER, TIESLER^{iv}, welche die qualitative und quantitative Belastung von Lehrerinnen und Lehrern durch möglichst viele mit Schule und Unterricht verbundenen Aktivitäten erfasste, neben erwarteten Belastungsfaktoren (zeitliche Belastung, soziale Probleme etc.) auch unerwartete Ergebnisse zum Vorschein. Beispielsweise stellten die Wissenschaftler/-innen des Instituts für Interdisziplinäre Schulforschung (ISF) an der Universität Bremen eine erstaunliche Konzentration der Antworten auf das Thema Lärm fest.

In der Konsequenz initiierte die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) eine detaillierte Felduntersuchung über die Lärmbelastung in deutschen Bildungsstätten^v. Die Ergebnisse der Studie liegen seit November 2004 der Öffentlichkeit vor. Demnach wurden im Unterricht nur in seltenen Stillarbeitsphasen Geräuschpegel unter 60 dB(A) registriert, in vom Unterrichtsgespräch dominierten Phasen in der Regel zwischen 60 und 80 dB(A). Die menschliche Stimme erwies sich erwartungsgemäß als die wichtigste wirksame Geräuschquelle. Neben der Arbeitsform hing die Lautstärke im Unterricht jedoch auch vom Alter der Schüler und den raumakustischen Eigenschaften des Klassenraumes ab.

Die Forschungslage erinnert also daran, wie viele unterschiedliche Faktoren zusammenspielen müssen, damit schulische Bildung, damit Wissenserwerb letztlich gelingen kann. Und dann ist plötzlich nicht mehr nur der Lehrer alleine für den Lernerfolg der Schüler verantwortlich.



Abb. 1: Bildungsressourcen; © Ecophon

Zu Recht – denn ob er seinen Unterricht beispielsweise in gut beleuchteten, belüfteten, raumklimatisch ausgewogenen und insbesondere leisen Räumen halten kann, liegt im Unterrichtsalltag überhaupt nicht mehr in seiner Macht.

Die Forschungslage macht deutlich: Im Zusammenspiel der einzelnen Bildungsressourcen ist die ergonomische Randbedingung der Raumakustik eine zwar oft vergessene, aber nicht zu unterschätzende Größe. Das liegt nicht zuletzt am Geschehen in den Klassenräumen selbst. Das Stichwort lautet „Moderner Unterricht“. Denn die heute geforderten differenzierten Unterrichtsmethoden wie etwa Partner-, Gruppen- oder Projektunterricht, bei denen die Kinder miteinander sprechen, überlegen und diskutieren sollen, bei denen Kinder sich mitunter frei im Raum bewegen können, erzeugen naturgemäß eine andere Geräuschkulisse, als man das von traditionellen, frontal ausgerichteten Unterrichtsformen her gewohnt ist.

Im jüngsten Projekt des ISF über die „Akustische Ergonomie der Schule“ von OBERDÖRSTER, TIESLER^{vi vii viii} wurden in diesem Zusammenhang die Unterrichtseinheiten nicht nur auf ihren zeitlichen Anteil von Frontalunterricht oder differenzierten Arbeitsformen und auf die jeweiligen Anteile von Lehrer- bzw. Schülerrede hin untersucht, sondern auch die physiologische Arbeitsbelastung bzw. –beanspruchung durch den Geräuschpegel im Klassenraum analysiert.

Und dabei zeigen sich gewaltige Unterschiede - nicht nur zwischen einzelnen Unterrichtsstunden (selbstverständlich verläuft Kunst- oder Musikunterricht anders als eine Mathematik- oder Deutschstunde) oder zwischen den einzelnen Lehrern. Tatsächlich haben auch die Schulen an sich unterschiedliche pädagogische Konzepte kultiviert, die sich bei der Analyse durch alle Lehrer und Fächer hindurch wieder finden lassen. Die akustischen Anforderungen an Klassenräume sind damit so vielfältig wie niemals zuvor.



Abb. 2: Zwei typische Grundschulklassenzimmer. Links: dezentrale Anordnung der Schülerarbeitsplätze; Lehrerarbeitsplatz befindet sich hinten im Raum; Rechts: klassische Ausrichtung der Schülerarbeitsplätze auf den Tafelbereich

Zusammenhänge

Die Auswirkungen der physikalischen Umgebung auf die Geräuschpegel im Unterricht sind seit vielen Jahren belegt. Bereits 1999 konnten MCKENZIE UND AIREY^{ix} von der Heriot-Watt University in Edinburgh zeigen, dass sich durch das Einbringen von absorbierendem Material die Geräuschkulisse im Klassenraum signifikant senken lässt. Sowohl in traditionellen frontalen Unterrichtsphasen, als auch bei differenzierten Arbeitsformen sank der gemessene äquivalente Schallpegel durch akustische Sanierung um durchschnittlich 7-9 dB. Die erreichten Pegelreduktionen waren dabei immer deutlich höher, als das durch das rein physikalische zusätzliche Schall-

schluckpotential durch die Akustikdecke zu erwarten gewesen war. Eine nutzungsgerechte raumakustische Umgebung bewirkt folglich zweierlei: zum einen sorgt der schnellere Schallabbau im Raum für einen niedrigeren Grundgeräuschpegel, zum anderen verändert sich durch die verbesserte ergonomische Umgebung das Nutzerverhalten – Schüler wie Lehrer haben nach der Sanierung weniger Lärm produziert. Wie die aktuelle Studie des ISF zeigt, sind die Auswirkungen der Raumakustik dabei nicht für alle Arbeitsformen gleich: Besonders während offener, schülerzentrierter und differenzierter Unterrichtsphasen war die akustische Ausstattung des Raumes von besonderer Bedeutung. In Einzelfällen konnte der Geräuschpegel während dieser „modernen“ Unterrichtsabschnitte durch eine akustische Sanierung um über 13 dB gesenkt werden.

Auf dieser Basis konnten OBERDÖRSTER UND TIESLER schließlich nachweisen, dass unter unzureichenden akustischen Arbeitsbedingungen die Arbeitsbeanspruchung der Lehrkräfte unnötig hoch ist. Kontinuierliche Messungen der Herzfrequenz zeigten ein deutlich entspannteres Arbeiten unter der niedrigeren Geräuschkulisse in akustisch guten Klassenräumen, sowie eine geringere Empfindlichkeit gegenüber dem Stressor Lärm.

Raumakustischer Komfort

Eine in der Wissenschaft immer noch zentrale raumakustische Größe in diesem Zusammenhang ist die Nachhallzeit des Raumes. Der Terminus bezeichnet die Zeitspanne, innerhalb der ein Geräusch in einem Raum um 60dB abklingen kann. Allgemein gilt: Je kürzer die Nachhallzeit, desto schneller der Schallabbau, desto „trockener“ der Raumeindruck und desto besser die Sprachverständlichkeit. Optimale Nachhallzeiten für unterschiedliche Nutzungsarten werden in der Neufassung der DIN 18041 definiert. Die Nachhallzeit funktioniert als Deskriptor für die akustische Qualität eines Raumes dabei umso besser, je diffuser sich der Schall in diesem verteilt. Im Zweifelsfall, etwa bei nur spärlicher Möblierung und bei parallel stehenden schallharten Wandflächen, sollten unbedingt weitere Parameter mit einbezogen werden, etwa die tatsächliche Schalldruckpegelminderung oder der durchschnittliche Absorptionsgrad α_m des Raumes.

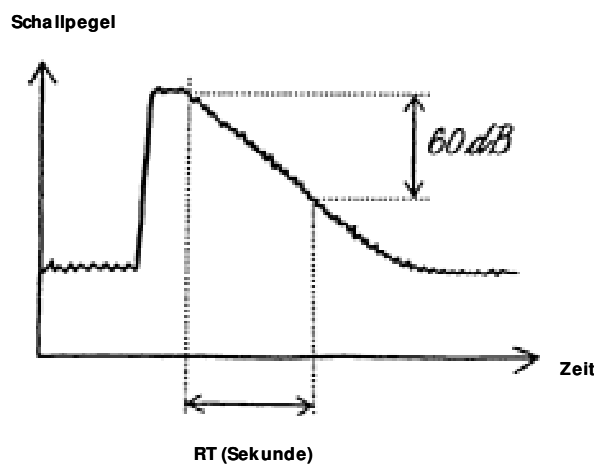


Abb. 3: Schematische Darstellung der Nachhallzeit

Der Begriff der „Sprachverständlichkeit“ kennzeichnet jenen Prozess, durch den es einem Menschen ermöglicht wird, klar und deutlich zu hören, was gesagt wird, und den Kontext des gesprochenen Wortes vollkommen zu verstehen. Dabei ist neben einem ausreichenden Lautstärkeunterschied zwischen Signal und Störgeräusch („SNR“; s.u.) die „Klarheit“ die Eigenschaft von Lauten, die es dem Hörer ermöglicht, die bedeutungstragenden Komponenten des Wortes voneinander zu unterscheiden. Die „Hörbarkeit“ hingegen ist die Eigenschaft des

Lautes, die es ermöglicht, ihn zwischen anderen Lauten herauszuhören. So ist die „Verständlichkeit“ das Maß für den inhaltlichen Anteil einer Botschaft, der vom Hörer korrekt verstanden wird.

Kurz: Klarheit + Hörbarkeit = Sprachverständlichkeit.

Die Verständlichkeit der Sprache in einem Kommunikationsraum lässt sich objektiv anhand des so genannten Sprachübertragungsindex (STI; „Speech Transmission Index“) beschreiben, der die qualitative Reduktion eines Signals zwischen 125 und 8.000Hz auf dem Weg zwischen einem Sender und einem im Raum befindlichen Empfänger beschreibt. Dabei werden beeinträchtigende Faktoren wie Nachhall oder die Hintergrundgeräusche im Raum berücksichtigt. Das Ergebnis wird als Zahlenwert zwischen 0 und 1 ausgedrückt und in eine Bewertungsskala eingeordnet:



Tabelle. 1: Bewertung STI

Tatsächlich ist die Nachhallzeit einer der Haupteinflussfaktoren auf die Verständlichkeit von Sprache in einem Kommunikationsraum. So lässt sich bei SCHÖNWÄLDER, TIESLER ET. AL.^x ein überraschend linearer Zusammenhang der beiden Größen in Klassenräumen finden (der sich jedoch nicht ohne weiteres auf andere Raumtypen übertragen lässt).

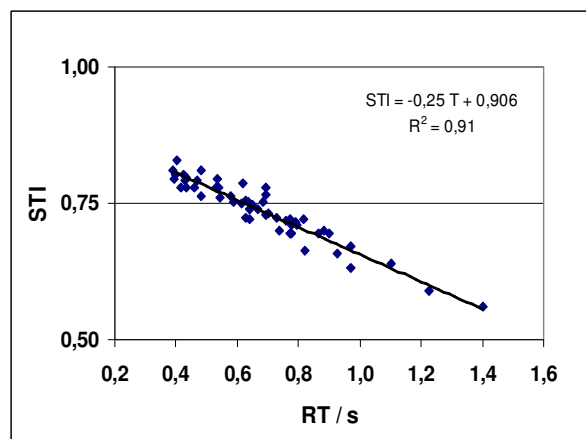


Abb. 4: Zusammenhang Nachhallzeit (RT) – Sprachverständlichkeit (STI) in 55 Klassenräumen

Die Forschungslage der jüngeren Zeit empfiehlt für Klassen- und Seminarräume in der Regel eine Nachhallzeit unter 0,5, in einigen Arbeiten sogar unter 0,4 Sekunden, um eine Sprachverständlichkeit von mindestens 0,75, besser 0,8 und mehr im STI zu erreichen. Hintergrund ist die Gewährleistung vor allem einer ausreichenden Konsonantenverständlichkeit.

Erst durch eine ganzheitliche Betrachtung der subjektiven Empfindung im Raum – lassen sich die entsprechenden Parameter zur raumakustischen Optimierung erfassen:

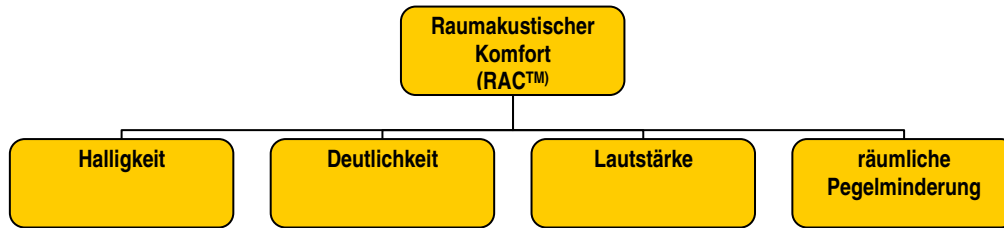


Abb.5: Subjektive Empfindungen des raumakustischen Komforts (RAC™)

Der wachsende Anteil flexibler Raumnutzung, besonders im Bildungsbereich, erfordert jedoch weitere Beschreibungsfaktoren.

Der Raum, sowie dessen akustische Qualität, sollte die in ihm befindlichen Personen immer im Kontext der unterschiedlichen Aktivitäten optimal unterstützen. Die Beschreibung einer optimalen akustischen Arbeitsumgebung geschieht anhand des raumakustischen Komforts (Abb.5.: RACTM). Demnach bedarf es mehrerer Perspektiven, die notwendige Unterstützung durch den Raum objektiv zu erfassen. Die räumliche Pegelminderung ist beispielsweise besonders in modernen Bürosituationen (Open Plan Office) von Bedeutung, wenn der Konflikt von Konzentration und Kommunikation zu vermeiden ist. In Standard-Kommunikationsräumen dagegen ist eher eine sehr gute Deutlichkeit des Sprachsignals, auch bis in den hinteren Raumbereich, gefordert. Der Raum kann in den wenigsten Fällen durch eine objektive Größe allein (z.B. Nachhallzeit) definiert werden. Unumstritten steht eine bestmögliche Auslegung der akustischen Arbeitsumgebung immer im Zusammenhang mit seiner Nutzung und nicht letztlich den Personen.

Die besondere Bedeutung der Konsonantenverständlichkeit

Sprachwissenschaftlich nachgewiesen sind die Konsonanten – besonders die Frikativ- bzw. Explosivlaute – für das inhaltliche Verstehen von Sprache von entscheidender Wichtigkeit. Die Konsonanten formen die Silbe, geben dem Wort seine Bedeutung. Und gerade das Deutsche - im Vergleich etwa zu romanischen Sprachen - ist eine vergleichsweise konsonantenlastige Sprache. Aus eben diesem Grund dürfte sich die Bedeutung des Satzes

„A _ _ e _ i _ _ e _ _ ü _ _ e _ _ i e _ _ u _ _ _ _ _ u _ e _ e _ u _ _ e _“

den meisten Lesern wohl verschließen, während das Pendant

„_ll_ K_nd_r m_ss_n d__ Gr_ndsch_l_ b_s_ch_n“

mit nur wenig Mühe verständlich wird.

Die Linguistik offenbart ein weiteres Problem im Konsonantenbereich: während sich nämlich die Vokale durch lauterer Sprechen weit in den Raum tragen lassen, bleibt den Konsonanten eine Anhebung der Lautstärke versagt. Es ist schlicht unmöglich, einen Explosiv- (p,t,k) oder gar einen Frikativlaut (f,sch) lauter zu machen, als er ist. (Zum Selbsttest empfehle ich dem Leser ein lautes „f“ zu schreien...).

Unter normalen Umständen gleicht die Natur diesen „Wettbewerbsnachteil“ der Konsonanten sehr effizient aus, indem unser Gehör in jenen Frequenzbereichen, in denen sie energetisch relativ stark sind (2kHz – 4 kHz), ausgesprochen empfindlich ist. Hörleistung und Spracherzeugung des Menschen sind somit gut aufeinander abgestimmt.

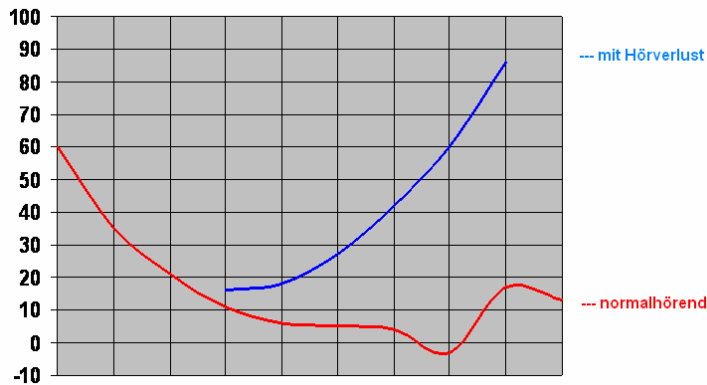


Abb. 6: Hörschwellen; normal und mit hochfrequentem Hörverlust

Dieses Zusammenspiel funktioniert jedoch dann nicht mehr, wenn etwa durch einen hoch- bzw. mittelfrequenten Hörschaden die Abstimmung verschoben bzw. aufgehoben wird. Das gleiche geschieht jedoch prinzipiell auch in halligen Räumen. Benötigt ein Raum eine längere Zeitspanne zum Abbau von Schall, begünstigt dies immer die energetisch starken Sprachbestandteile, die Vokale – welche zum inhaltlichen Verstehen (s. o.) jedoch gar nicht übermäßig hilfreich sind. Die energetisch schwachen Konsonanten gehen hingegen als erstes im allgemeinen Klangbrei unter.

Weitere Einflussfaktoren

Über die Nachhallzeit hinaus ist Sprachverständlichkeit von weiteren Größen abhängig:

- Raumgeometrie
- Hintergrundgeräuschpegel
- Signal-Rausch Abstand (SNR)

Zum mühelosen Verstehen einer Botschaft („Signal“) ist es notwendig, dass diese entsprechend lauter an unser Ohr dringt, als die Summe aller Störgeräusche („Rauschen“) zusammen. Je besser dieser Abstand, desto einfacher das Hören. (Wobei Kinder a priori auf einen höheren Signal-Rausch-Abstand angewiesen sind, als Erwachsene). Tatsächlich gleichen wir einen mangelnden SNR in der Regel über ein Anheben der Stimmlautstärke aus, was im Einzelfall gut funktioniert, bei mehreren Sprechern im Raum („Cocktailparty“) zwangsläufig dazu führt, dass sich der allgemeine Geräuschpegel über die Zeit hinweg immer weiter nach oben schraubt.

Das Problem: Je schlechter die allgemeine Sprachverständlichkeit im Raum, desto höher ist auch der Bedarf an Signal-Rausch-Abstand bei jedem einzelnen Gesprächsteilnehmer. Je schlechter also die Sprachverständlichkeit im Raum, desto schneller schaukelt sich der allgemeine Geräuschpegel auf (was wiederum die Sprachverständlichkeit weiter verschlechtert usw.). Gewährleistet der Raum an sich jedoch bereits eine sehr gute Verständlichkeit vor allem im Konsonantenbereich, kommen alle Beteiligten evtl. auch mit einem niedrigeren SNR aus. Hier ist zumindest ein wichtiger Erklärungsansatz für die oben geschilderte

Verhaltensänderung zu suchen. Das allgemeine Ansteigen des Geräuschpegels beispielsweise in differenzierten, offenen Unterrichtsphasen kann durch entsprechende raumakustische Qualitäten also aufgefangen oder gar verhindert werden.^{xi}

Grundüberlegungen für die raumakustische Planung von Klassen- und anderen Kommunikationsräumen

1. Eine anzustrebende Nachhallzeit unter 0,5 s und einen STI > 0,75

Die Forschungslage zeigt: Eine gedämpfte Raumcharakteristik und exzellente Sprachverständlichkeit führt zu deutlich verringerten Schallpegeln sowie einem ruhigeren Schülerverhalten gerade bei offenen Arbeitsformen. Eine starke Dämpfung auf deutlich unter 0,4 Sekunden geht im Höreindruck bereits etwas zu Lasten des Raumklangs und mag für den Sprecher anfänglich ungewohnt sein. Die fast studioartige Sprachqualität führte jedoch in den vorliegenden Untersuchungen zu signifikanten Ergebnissen und wurde von den beteiligten Lehrerinnen und Schülern als sehr wohltuend bewertet und gut akzeptiert. Gemäß DIN 18041 sollte dabei auf einen ausgeglichenen Nachhallzeitverlauf im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 5 kHz Wert geachtet werden.

2. Verzicht auf einen klassischen Deckenreflektor für eine höhere Flexibilität bei der Raumnutzung

Durch die zunehmend dezentrale Kommunikation im Klassenraum und die Abnahme des Frontalunterrichts verliert der klassische Reflektor an der Deckenmitte seine Bedeutung. Gerade in Gruppen- oder Projektarbeitsphasen, die ohnehin die höchsten Arbeitsgeräuschpegel erzeugen, wirkt er sich eher störend auf die Geräuscentwicklung aus. Der Nutzen einer verstärkten Anfangsreflexion von der Tafelposition aus scheint hingegen in Klassenräumen normaler Größe nicht von besonderer Wichtigkeit zu sein: Keine(r) der an den Studien beteiligten Lehrerinnen und Lehrer bzw. der Schüler beklagte eine unzureichende Schallversorgung etwa auf den hinteren Plätzen. Auch die Messwerte belegen: Keiner der Beteiligten erhob seine Stimme lauter als vor der Sanierung. Offensichtlich wird die Signalpegelminderung durch die absorbierende Decke durch den drastisch gesunkenen Grundgeräuschpegel aufgefangen, so dass auch an entfernten Hörerpositionen ein ausreichender, zumeist sogar verbesserter Signal-Rausch-Abstand zur Verfügung steht.

Selbstverständlich stößt eine reflektorfreie Raumgestaltung mit wachsender Raumgröße an ihre Grenzen. Erinnerung sei in diesem Zusammenhang an die Anmerkungen in der DIN 18041, nach welcher vollflächige Absorberverkleidungen nur bis zu einer Raumgröße von etwa 250 m³ empfehlenswert sind. Bewährt ist als Richtwert auch eine Raumlänge von bis etwa 9 m. In kürzeren Räumen sind vollflächig absorbierende Deckenverkleidungen aufgrund der dann ausreichenden Direktschallversorgung im Allgemeinen unproblematisch.

3. Einzelne Funktionsflächen

Eine starke Dämpfung des Raumes an nur einer Fläche bringt naturgemäß noch andere Schwierigkeiten mit sich.

- Zur Vermeidung hörbarer Flatterechos ist deshalb gerade in den üblicherweise spärlich möblierten Klassenräumen dringend eine absorbierende Gestaltung wenigstens einer Wandfläche (z. B. durch offene Möblierung, absorbierende Pinnwände etc.) zu empfehlen.
- Die Eingewöhnung an eine sehr stark gedämpfte Raumcharakteristik ($RT < 0,4$ s) lässt sich erfahrungsgemäß für den Lehrer/die Lehrerin deutlich erleichtern, wenn man über einer definierten Sprecherposition (z. B. im

Tafelbereich) einen Reflektor anordnet und so dem Sprecher eine akustische Rückmeldung über die eigene Stimme und Lautstärke zur Verfügung stellt. Diese Maßnahme erfordert jedoch, dass bereits in der Planungsphase eine solche Position langfristig benannt werden kann (ohne Abb.)

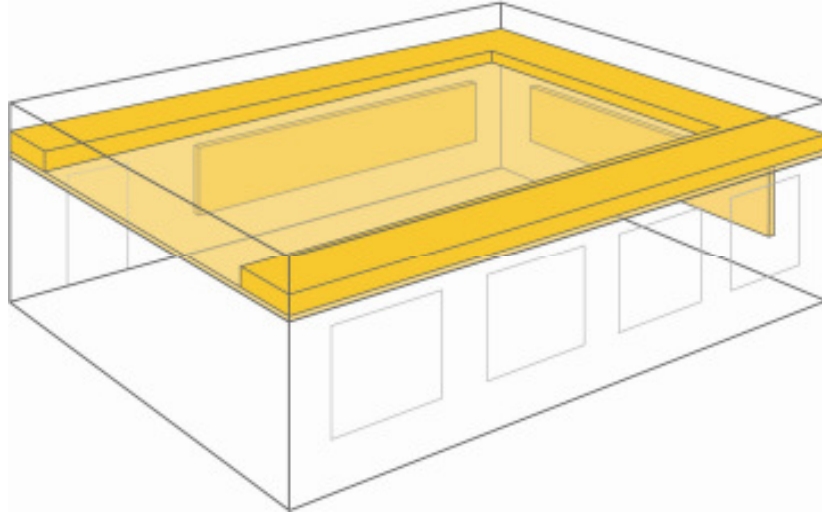


Abb. 7: Schematische Darstellung einer akustischen Klassenraumgestaltung mit vollflächiger Deckenbelegung und Wandverkleidung an der Rückwand/Seitenwand

Eine kleine Materialkunde.

Begriffsklärungen zu Absorptionseigenschaften und Absorberklassifizierungen

Absorptionskoeffizient

Prinzipiell hat jedes Material nur drei Möglichkeiten, sich gegenüber auftreffender Schallenergie zu verhalten. Entweder es nimmt sie auf und wandelt sie in andere Energieformen um (Absorption), es lässt sie durch (Transmission) oder schickt sie in den Raum zurück. Für eine objektive schalltechnische Beschreibung der Materialeigenschaften ist es somit lediglich nötig, das Verhalten des Materials in einer bestimmten Konstruktion und abhängig von der jeweiligen Tonhöhe in diese drei Vektoren zu zerlegen.

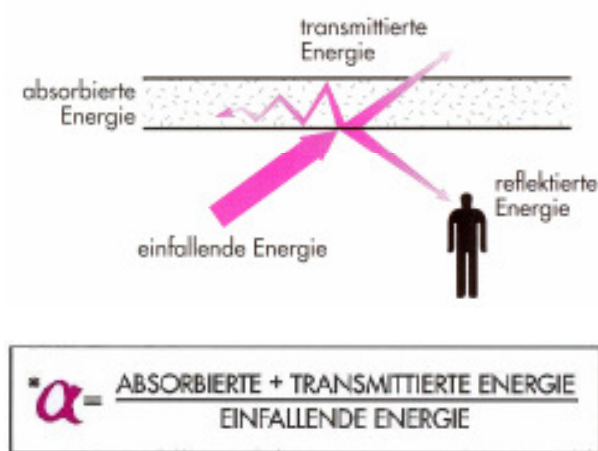


Abb. 8: Schaubild „Absorption“; © Ecophon

Im Ergebnis beschreibt der so gewonnene „Absorptionskoeffizient“ oder „Absorptionsgrad“ α mit einem Zahlenwert zwischen 0 und 1 das Schallschluckvermögen: $\alpha = 0$ entspricht 100% Reflexion; $\alpha = 1,0$ entspricht 100% Absorption.

	Frequenz in Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ecophon Focus E (tKh=200mm)	0,45	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90
Ecophon Master A, alpha (tKh=200mm)	0,50	0,85	0,95	1,00	1,00	1,00
Mineralfaser-Deckenplatte	0,13	0,29	0,47	0,58	0,57	0,54
GK-Loch 8-15-20 (tKh=200mm)	0,44	0,75	0,54	0,40	0,22	0,12
GKB 12,5mm (tKh=200mm)	0,10	0,09	0,05	0,02	0,02	0,02
Beton, glatt und gestrichen	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Teppichboden; 6mm Florhöhe	0,02	0,03	0,05	0,15	0,30	0,35
Vorhang, < 0,2 kg/m²; gerüsch	0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22

Tab. 3: Absorptionskoeffizienten verschiedener Materialien

Absorbertypen

Generell lässt sich zwischen zwei Absorbertypen unterscheiden:

A) Poröse Absorber

- Absorbieren Schall durch Umwandlung in Wärmeenergie;
Grundlage: Porosität
- Absorptionsleistung in der Regel mit hohen Frequenzen ansteigend
- Typische Vertreter: Glas- und Steinwolle, klassische Mineralfaser (gepresst), offene Schaumstoffe, Textilien, Teppiche

B) Resonanzabsorber

- Absorbieren Schall durch Umwandlung in Bewegungsenergie
Grundlage: Masse-Feder-Masse
- Absorptionsleistung bei der jeweiligen Resonanzfrequenz am besten, oberhalb und unterhalb abfallend
- Typische Resonatoren: Plattenschwinger, Lochplattenschwinger, Helmholtz-Resonatoren

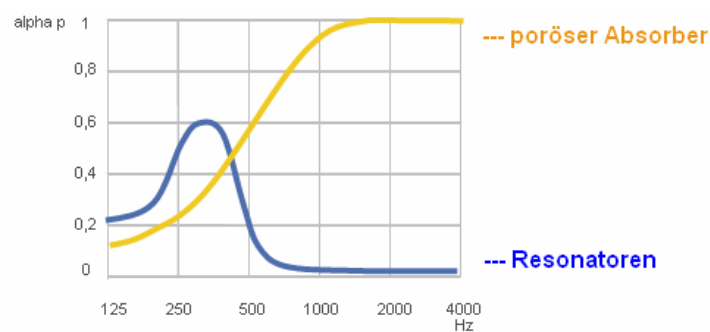


Abb. 9: Typische Absorptionsverläufe von porösen Absorbern und Resonatoren

Typen von Absorptionskoeffizienten

alpha s

Im Hallraum ermittelter Einzelwert des Absorptionsgrades in einem bestimmten Terzband. Üblicherweise werden die Messungen bei den Mittenfrequenzen in Hz in den folgenden Terzreihen durchgeführt:

100 125 160 200 250 315 400 500 630
800 1000 1250 1600 2000 2500 3150 4000 5000

Die ermittelten Absorptionsgrade stehen dabei immer im Zusammenhang mit der jeweils im Hallraum aufgebauten Konstruktion (z. B. Abhängigkeithöhe) und gelten ausschließlich für diese Bedingung!

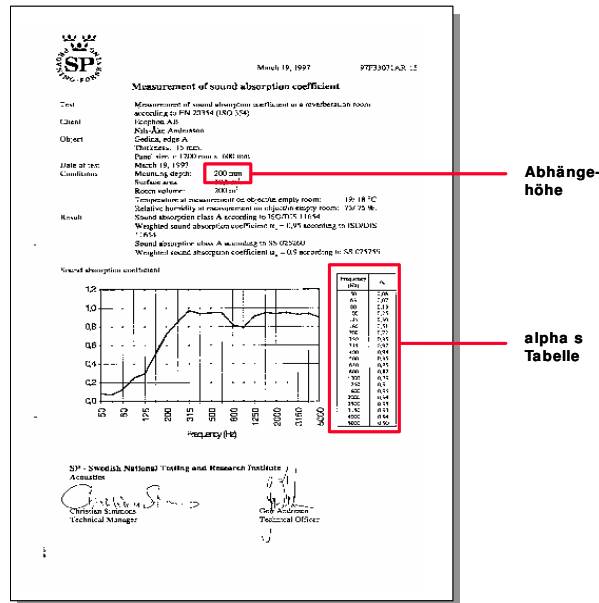


Abb. 10: Beispiel für einen unabhängigen Prüfbericht mit Angabe der einzelnen alpha s-Werte und der vermessenen Konstruktion

alpha p

„Praktischer Absorptionsgrad“. Der arithmetische Mittelwert von jeweils drei Terzbändern auf die 2. Dezimale berechnet und in Schritten von 0,05 gerundet.

100	125	160	200	250	315	400	500	630
800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000

NRC

„Noise Reduction Coefficient“. Ein US-amerikanisches Verfahren zur Bildung einer Einzahlangabe gemäß ASTM C 423. Der arithmetische Mittelwert aus 4 Oktavbändern; auf die 2. Dezimale berechnet, in Schritten von 0,05 gerundet.

125	250	500	1000	2000	4000
-----	-----	-----	------	------	------

Problematisch am NRC-Verfahren ist zum einen der stark limitierte Frequenzbereich, zum anderen lässt die rein arithmetische Mittelung keine Aussage mehr über das tatsächliche Verhalten des Absorbers zu. Ob die ursprünglich einmal gemessenen Werte über die Tonhöhen hinweg gleichmäßig verteilt waren, oder zu den hohen oder zu den tiefen Frequenzen hin anstiegen, ist den NRC-Wert nicht mehr anzusehen. Er gehört sicher zu den Auslaufmodellen der Materialklassifizierung.

alpha w

„Bewerteter Absorptionsgrad“. Das europäische Verfahren zur Bildung einer Einzahlangabe auf Grundlage einer normativen Bezugskurve gemäß DIN EN ISO 11654. Die Bezugskurve wird in 0,05er Schritten so lange verschoben, bis die tatsächliche alpha p-Kurve des zu klassifizierenden Materials über den gesamten Fre-

quenzbereich oberhalb der Bezugskurve liegt. Erlaubt ist eine einmalige Unterschreitung um 0,1 oder eine zweimalige Unterschreitung um 0,05. Am 500 Hz-Wert der Bezugskurve kann schließlich der alpha-w Wert abgelesen werden. Bei hohen alpha w-Werten liefert das Verfahren eine vergleichsweise aussagekräftige Materialbewertung, bei niedrigen Werten zeichnet sich jedoch eine ähnliche Problematik ab, wie beim NRC-Verfahren.

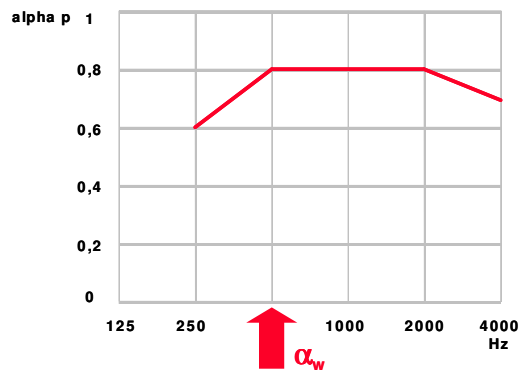


Abb. 11: Bezugskurve zur Bestimmung des alpha p-Wertes gemäß DIN EN ISO 11654

Absorptionsklassen

Vereinfachte Zusammenfassung verschiedener alpha w-Werte zu Absorptionsklassen A bis E gemäß DIN EN ISO 11654.

(α_w 1,0 – 0,9 = Klasse A; 0,85 – 0,8 = Klasse B; usw.)

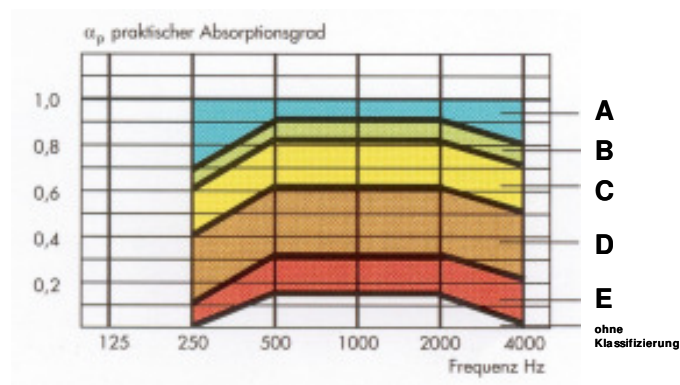


Abb. 12: Schallabsorptionsklassen A bis E gemäß DIN EN ISO 11654

Literatur

- ⁱ Schick, A., Meis, M., Reckhardt, C. (Hrsg.): Contributions to Psychological Acoustics. Eighth Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, 2000
- ⁱⁱ Schick, A., Klatte, M., Meis, M., Nocke, Ch. (Hrsg.): Hören in Schulen. Beiträge zur Psychologischen Akustik. Ergebnisse des neunten Oldenburger Symposiums zur Psychologischen Akustik, Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, 2003
- ⁱⁱⁱ Klatte, M., Meis, M. et al.: Könnt ihr denn nicht zuhören?! Akustische Bedingungen in Schulen und ihre Auswirkungen auf Lernende und Lehrende. In: Schick, A., Klatte, M., Meis, M., Nocke, Ch. (Hrsg.): Hören in Schulen. Beiträge zur Psychologischen Akustik. Ergebnisse des neunten Oldenburger Symposiums zur Psychologischen Akustik, Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, 2003, 233-252
- ^{iv} Schönwälder, H-G., Berndt, J., Ströver, F. und Tiesler, G.: Belastung und Beanspruchung von Lehrerinnen und Lehrern. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, FB 989, Dortmund, NW-Verlag, 2003
- ^v Schönwälder, H-G., Berndt, J., Ströver, F. und Tiesler, G.: Lärm in Bildungsstätten - Ursachen und Minderung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, FB 1030, Dortmund, NW-Verlag, 2004
- ^{vi} Oberdörster, M.; Tiesler, G.: Akustische Ergonomie der Schule. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 1071, Dortmund, NW-Verlag, 2006
- ^{vii} Tiesler, G.; Oberdörster, M.: Die Last mit dem Lärm – Arbeitsalltag von Lehrern und Schülern. Tagungsband zur DAGA 2005
- ^{viii} Oberdörster, M.; Tiesler G.: Seid bitte leise – Akustisch-ergonomische Arbeitsbedingungen für effizienten Unterricht. Tagungsband zur DAGA 2005
- ^{ix} McKenzie, D.; Airey, Sh.: Classroom Acoustics. A Research Project. Heriot-Watt University, 1999.
- ^x Schönwälder, H.-G., Berndt, J., Ströver, F. und Tiesler, G.: Lärm in Bildungsstätten - Ursachen und Minderung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, FB 1030., Dortmund, NW-Verlag, 2004
- ^{xi} vgl. Oberdörster, M.; Tiesler G.: Seid bitte leise – Akustisch-ergonomische Arbeitsbedingungen für effizienten Unterricht. Tagungsband zur DAGA 2005

Weiterführende Literaturempfehlungen:

- Fasold, W.; Veres E.: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis. Planungsbeispiele und konstruktive Lösungen. Berlin, Verlag für Bauwesen, 1998
- Cremer, L.; Möser, M.: Technische Akustik. Heidelberg, Springer Verlag, 2003
- Cremer, L.; Möser, M.: Taschenbuch der Technischen Akustik, Heidelberg, 2004
- INQA-Broschüre: „Lärm in Bildungsstätten“, Initiative Neue Qualität der Arbeit c/o Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, inqa@baua.bund.de, www.inqa.de



- Mit allen Sinnen lernen, Akustische Ergonomie in Bildungsstätten, Saint Gobain Ecophon GmbH, 2002



... und natürlich:

- DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen; Beuth-Verlag, 2004
- Merkblatt zur Neufassung der DIN 18041; Saint-Gobain Ecophon GmbH, Lübeck, 2004

Internet

www.schulakustik.de

www.kassenzimmerpakete.de

rainer.machner@ecophon.de