

Kindgerechte Raumakustik

Arch. Christina Niederstätter
Raum & Akustik KG
IT-Unterinn-Ritten (BZ)



Kindgerechte Raumakustik

1. Gehörswahrnehmung und Umwelt

Der Mensch in unserem Kulturkreis verbringt einen Großteil seines Daseins in Räumen. Im Laufe der Entwicklung wurde unsere äußerst sensible und empfindsame Gehörswahrnehmung jedoch geprägt vom Leben in der freien Natur, als wichtigster Sensor im stetigen Kampf um das Überleben. Solange wir von natürlichen Geräuschen umgeben sind, können wir diese ohne Störmeldungen meist wunderbar assimilieren, aufnehmen und sie bewußt oder unbewußt in den Wahrnehmungshintergrund rücken. Lärmquellen die teilweise einen Schallpegel bis zu 100dB erreichen. Denken wir z. B. an ein beruhigendes Flussrauschen, an das schrille Gezwitscher eines Vogelgesanges, an das Brausen des Windes das uns angenehm in den Schlaf wiegt. Ebenso schreckt uns ein heftiger Donner eines Gewitters nicht auf, solange wir nicht in Gefahr sind.



Abbildung 1: Nachtgewitter im Gebirge

Unser Ohr ortet Schallereignisse, beurteilt diese um uns vor Gefahren zu schützen. Es vermittelt von allen Sinnesorganen die feinste zeitliche Orientierung. So kann durch die Lautstärke die Entfernung der Schallereignisse erstaunlich genau geschätzt werden. Vor allem im Freiraum ist unsere Sinneswahrnehmung sehr lebendig und präzise. Jedoch zeigt sich, daß wir auf die Geräuschkulisse unserer heutigen, technologischen Umwelt teilweise sehr gereizt und weniger anpassungsfähig reagieren.

2. Gehörswahrnehmung in Räumen

Unser Lebensraum hat sich im Laufe der menschlichen Entwicklung radikal geändert, die Leistungsfähigkeit unseres Gehörs entsprechend ausgerichtet. Vom Leben in der freien Natur, in Höhlen, Behausungen in Holz und Stein bis hin zu Wohnen in Gebäuden. Große Räume entstehen, der Mensch wird von einer unerwarteten Raumantwort überrascht, in teils überakustischen Räumen muss er sich wieder neu orientieren.

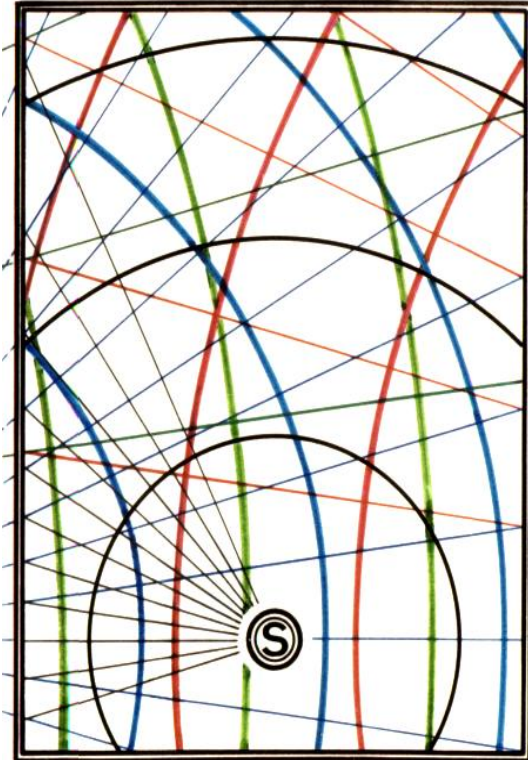


Abbildung 2: Wellenfront der Schallwellen in einem reflektierendem Raum - S: Schallquelle; Direktschall Reflexionen 1., 2., 3. Ordnung (aus Thomas Baer-Loy, Hören und Raumform)

Unser Gehör passt sich mehr oder weniger gut den akustischen Gegebenheiten des streng geometrischen Raumes an, ohne an und für sich dafür geschaffen zu sein. Die Schallreflexionen in einem Raum veranschaulichen sozusagen das Vorhandensein weiterer Schallquellen, die so genannten Spiegelquellen (Abb. 2). Sie scheinen die reale Schallquelle zu vervielfältigen. Unser Gehör besitzt jedoch die Fähigkeit, die von verschiedenen Richtungen kommenden Schallwellen in Tausendsteln von Sekunden zusammen zu addieren, um sie zu einem einzigen Signal zu verschmelzen. Das Gehör, solange der Raum es zulässt, bewertet lediglich Inhalt, Richtung und Entfernung der akustischen Information.

Die Baugeschichte dokumentiert unseren Umgang mit dem Phänomen Akustik. Die Kenntnisse in unseren Kulturkreisen zeigen bereits ein fundiertes Wissen bei den alten Griechen ca. 400 v. C. Die berühmten Amphitheater zeugen davon. Sie garantieren im freien Gelände durch ihre Form und Lage eine geeignete Schallausbreitung um so ein großes Publikum zu erreichen.

Ebenso faszinieren die harmonikalen Proportionen und Dimensionen der romanischen und gotischen Kathedralen, die zu Obertonverstärkung und zu außerordentlichem akustischen Glanz im Nachhallverhalten führen. Bereits in dieser Zeit werden Versuche angestellt, die bis zu 8 Sekunden langen Nachhallzeiten mittels Absorber zu bedämpfen. In Wänden eingemauerte Akustikvasen, mit Asche und Stroh gefüllt, zeugen davon.

Der Umgang mit Akustik entwickelt sich weiter zur Kunst die durch eine reiche Formensprache der Oberflächengestaltung neue Klangbilder in Erscheinung treten läßt. Vor allem in Räumen für die Musikwiedergabe, so z.B. in Theatern und Konzertsälen des 19. und 20. Jahrhunderts, mit dem Einsatz von reich gestalteten Materialien, wie Holz, Gips, Stoff...

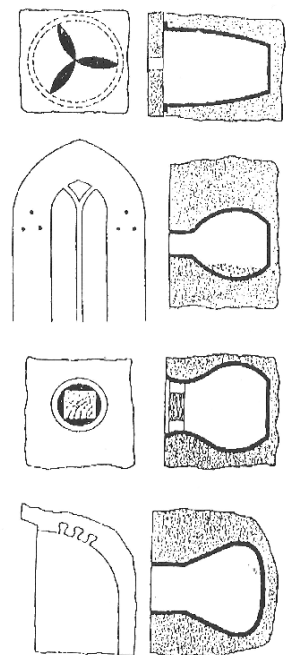


Abbildung 3: Akustische Tonvasen (aus: Der Jöchlsthurn in Sterzing, 1992)



Abbildungen 4: Oberflächengestaltung

a) Holz/Gips Musikvereinsaal Wien 1870

b) Deckenabsorber, perforierter Sichtbeton in Einsegnungshalle Krematorium Hofheide, Belgien 2013

Materialien der heutigen Baukultur sind vielfach bestimmt von Beton, Glas, Stahl mit harten und glatten Oberflächen mit einfachen geometrischen Formen und einer kargen Einrichtung.

Die nüchterne Klarheit der modernen Architektursprache steht jedoch im krassen Gegensatz zur Raumakustik, die teilweise von starkem Nachhall und akustischer Undurchsichtigkeit geprägt ist. Die räumlich akustische Wahrnehmung ist getrübt, das klangliche Ereignis unscharf – verzerrt.

Bereits im Planungsprozess sollten die akustischen Bedürfnisse durch entsprechende Materialwahl und Oberflächengestaltung in das architektonische Gesamtkonzept einfließen um geeignete Lebens- und Arbeitsräume zu schaffen.



Abbildung 5: Decken- Wandabsorber in Holz und Gipskarton mit eingebauten Resonatoren Aula Magna „Gasteiner“, Bozen 2001

3. Raumakustik und Sinneserfahrungen der Kinder

Kinder sind in der Phase der Entwicklung ihrer Sinneswahrnehmung besonders empfindlich. Zudem sehnen sie sich nach räumlicher Geborgenheit. Umso mehr müssen wir darauf achten, daß durch die Umgebung ihre Sinne nicht getäuscht bzw. irritiert werden. Räume für Kinder sollten Halt und Schutz vermitteln. Ihre Stimmen sollten sich im Nachhall nicht verfremden oder zur Unverständlichkeit verzerrt werden. Ein akustisch guter Raum unterstützt ihre noch teilweise undeutliche Aussage bei der Sprachvermittlung.

Durch Überakustik wird der natürliche Geräuschpegel bereits bei normaler Unterhaltung überschritten, die Lautstärke der Sprache unbewusst zusätzlich erhöht. Eine verbale Mitteilung braucht, um wahrgenommen und korrekt interpretiert zu werden, eine Schallintensität mindestens 10-12dB(A) oberhalb des Hintergrundschallpegels. Bei 75 dB(A) Schallpegel, oder mehr, kann man sich nur durch Schreien verständigen. Erhöhter Dauerschallpegel und starke impulsive Geräusche im Hochfrequenzbereich können bereits ab 80dB(A) zu Dauerschäden des Gehörs führen.



Abbildung 6: Kinder in einer Grundschulmensa

Das Sinnesorgan Ohr ist mit dem Geschmack-, Geruch-, Seh- und Tastsinn ein Teil des gesamten Nervensystems. Durch die Sinnesnerventätigkeit, z.B. Hören, erlebt der Mensch schöne bis unangenehme Empfindungen. Eine zu starke Reizüberflutung von unangenehmen Tönen oder Geräuschen, d.h. unangenehme Empfindungen, schwächt das gesamte vegetative Nervensystem. Das Kind wird davon schwach und unruhig. Unruhe ist Ausdruck einer Überbelastung des vegetativen Nervensystems. Eine Fülle gleichzeitiger Eindrücke auf unruhigem Hintergrund bewirkt, dass sich die Eindrücke verwischen, und die einzelnen Wahrnehmungen (Schmecken, Schauen, Hören) unwichtig werden. Solch ein Erleben ermüdet stark. Das verschwommene Erleben, was im Wachzustand aufgenommen wurde, muss im Schlaf unbewusst aufgearbeitet werden (d. h. es folgt ein unruhiger Schlaf). Dies alles bewirkt eine Schulung zur Oberflächigkeit und Wertminderung der einzelnen Sinneseindrücke. Durch die Entfremdung von der Wirklichkeit erlahmt das Interesse an der Welt. Das Kind hört nicht mehr so gut zu. Gut zuhören stärkt den Gehörsinn- und das Kind lernt dabei seinen Redeschwall zu beherrschen, es lernt auch still zu sein. (Dr. Maria Paregger) [9].



Aus den angeführten physiologischen Angaben wird ersichtlich, wie wichtig für Kinder die Möglichkeit verschiedener akustischer Erfahrungen ist. Untersuchungen zeigen, dass kleine Kinder in der selbstständigen Erforschung ihres akustischen Umfelds sehr aktiv und empfindlich sind, während Teenager Schalleindrücken gegenüber bereits eine

emotionale Haltung zeigen. Jedes Individuum kann jedoch durch einzelne Ereignisse zur analytischen Hörweise angeregt werden. Die Aufmerksamkeit richtet sich dann nicht nur darauf, was erklingt, sondern auch wie es klingt. Diese Hörweise wird im erwachsenen Alter in der Regel nur noch für Momente aufrechterhalten, um anschließend mit dem im Gedächtnis gespeicherten Normbild der Erfahrung (z.B. ruhiges Schlafzimmer, hallige Turnhalle, lärmige Straße usw.) verglichen und abgestimmt zu werden.



Abbildungen 7: Bauhöhle und Brücke im Kindergarten Terenten, Projekt Feld 72, Arch. P. Zoderer

Diese der rascheren Orientierung dienenden „Normbilder“ werden im Kindesalter wesentlich geprägt und von da an nur bei anhaltend anderen Erfahrungen korrigiert. Besonders bedrohliche oder glückliche Momente hinterlassen bekanntlich tiefe Spuren, die unsere Erfahrungswelt auch akustisch prägen. Aus der Zahl der Stunden, die ein Kind in der Schule verbringt, lässt sich also direkt auf die Wichtigkeit der dort gewonnenen Sinneserfahrungen schließen. Wie diese ausfallen liegt auch in der Hand der Planer und der akustischen Gestalter. [3]

4. Räumliche Umsetzung

Räume, gleich ob klein oder groß sollten ungestörte Bereiche anbieten um sich emotional vom Geschehen abgrenzen zu können. Kinder machen es uns vor. Sie bauen sich liebend gerne Höhlen wo sie sich in eine eigene Erlebniswelt zurückziehen können.



Abbildungen 8: moderne Sitznische in Filz

Florin und Carla essen im eigenen Stoffhaus

Ein geeignet bedämpfter Raum erlaubt den Aufenthalt mehrerer Personen ohne gegenseitige Störung, um den eigenen Interessen nachzugehen, Gespräche zu führen ohne sich von den anderen gestört zu fühlen bzw. diesen ausgesetzt zu sein. Dies sind unabdingbare Voraussetzungen im Zusammenleben vor allem auch mit Kindern.

Gerade für Raumnutzungen durch Kinder, z.B. in Schulräumen wo wesentliche akustische Erfahrungen gemacht werden, wäre es wertvoll, ganz bewusst Zonen mit verschiedenen akustischen Eigenschaften zu schaffen: Orte der Stille, der konzentrierten Ruhe, Orte zum Essen, zum Sprechen, zum Singen und Musizieren in kleinen Gruppen und für eine größere Anzahl von Zuhörern.

Kinder gehören zu den ersten, die Signale der Nutzung wie den leise plätschernden Brunnen zur Signalisierung relativer Ruhe in der Mensa erkennen, sie entdecken, wenn ein Korridor den Schall kanalisiert und über weite Strecken transportiert oder wenn im Keller die eigene Stimme und Geräusche durch langes Nachhallen verlängert werden. Wie Erwachsene signalisieren sie jedoch sogleich Wohlbefinden, wenn die akustische Gestaltung zur Funktion des Raumes passt.



Abbildung 9: Brunnen in der Grundschulmensa „Manzoni“ / Bozen

Unser Gehör ist der ganzheitlichen Wahrnehmungsweise in erstaunlicher Weise angepasst. Eine Untersuchung seiner Fähigkeit macht auch deutlich, worauf unser Wahrnehmungsziel im täglichen Leben gerichtet ist: es unterstützt die visuelle Orientierung in der Umwelt und ermöglicht eine verletzungsfreie Bewegung (Dorothea Baumann, [6]).

Unser Gehör kann nicht nur hören, sondern auch vergleichen. Stimmen auditive und visuelle Wahrnehmung nicht überein, werden unsere Sinne getäuscht, bzw. Raum und Klang nicht mehr als Einheit erlebt. Die menschliche Wahrnehmungsfähigkeit findet in solchen Situationen keine Maßstäbe, um diese Eindrücke mit Erfahrungswerten zu verbinden. Wir suchen den Fehler zunächst bei uns selbst, glauben an eine Störung der eigenen Sinne. In unbewusst ständiger Anspannung bemühen wir uns, uns auf das akustische Raumgeschehen einzustellen, um unsere Sinneseindrücke in Einklang zu bringen.

Eine zu starke Raumbedämpfung kann das Raumempfinden stören, da die Stimmen im Raum nicht mehr geführt sondern absorbiert werden. Unsere Sinne erfahren eine gewisse Unruhe und Haltlosigkeit. Die Stimme verliert durch Verfärbung an der dämpfenden Oberfläche ihren natürlichen Klangcharakter, das Klangbild ist verzerrt [4].

5. Nachhallzeit und Schallabsorption

Die von einer Schallquelle im Raum ausgehenden Schallwellen werden an den Raumbegrenzungsflächen mehr oder weniger stark reflektiert. Der im Raum auftretende Schallpegel setzt sich aus Direktschall und dem reflektierenden Anteil (diffuses Schallfeld) zusammen. Wie stark die Reflexion ist, hängt von der Beschaffenheit der Oberflächen ab. Wird ein großer Anteil der Schwingungsenergie absorbiert, so ist der reflektierte Anteil gering. Man spricht von einer hohen Schallabsorption. Der Absorptionsgrad α wird wie folgt definiert:

α = absorbierte Schallenergie / auftreffende Schallenergie

$\alpha = 1$ bedeutet somit vollkommene Absorption (keine Reflexionen)

Die Angaben von Schallabsorptionsflächen mit bestimmten Absorptionskoeffizienten ermöglichen die Nachhallzeit eines Raumes zu berechnen. Die **Nachhallzeit T** wird physikalisch durch die Zeit gekennzeichnet, die vergeht, bis der Schalldruckpegel auf -60dB abgesunken ist, nachdem die Schallquelle abgeschaltet wurde.

Die Nachhallzeit T ist abhängig vom Raumvolumen **V** und von der äquivalenten Schallabsorptionsfläche **A** (s. Abb. 10). Gemäß Nachhallformel von W.C. Sabine besteht zwischen Raumvolumen V, Absorption A und Nachhallzeit T folgender Zusammenhang:

$$T = 0,163 V / A$$

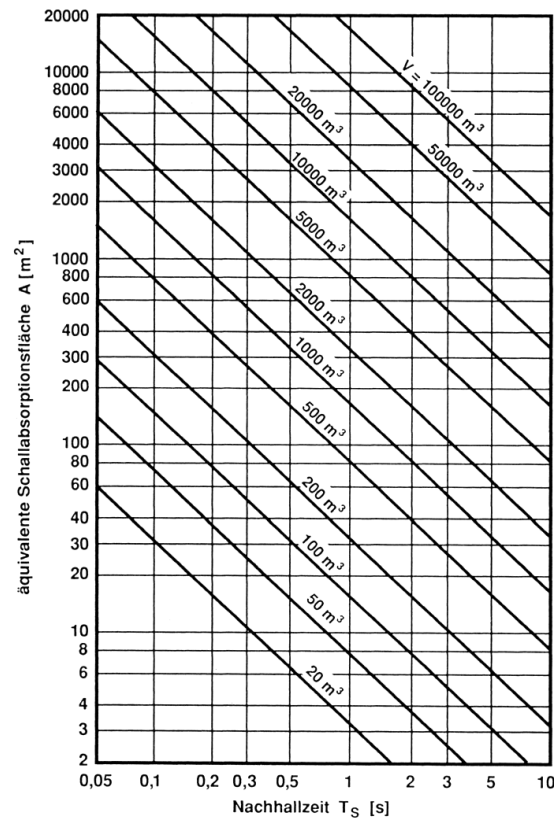


Abbildung 10: Zusammenhang von äquivalenter Schallabsorptionsfläche A, Nachhallzeit T und Raumvolumen V

6. Nachhallzeit – Vergleichsdiagramme

Die Korrektur der Nachhallzeit erfolgt unter Berücksichtigung der jeweiligen Nutzungsfunktion eines Raumes. Während für Sprache der Frequenzverlauf möglichst linear sein sollte, ist für Musik ein leichter Anstieg der Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen nicht störend.

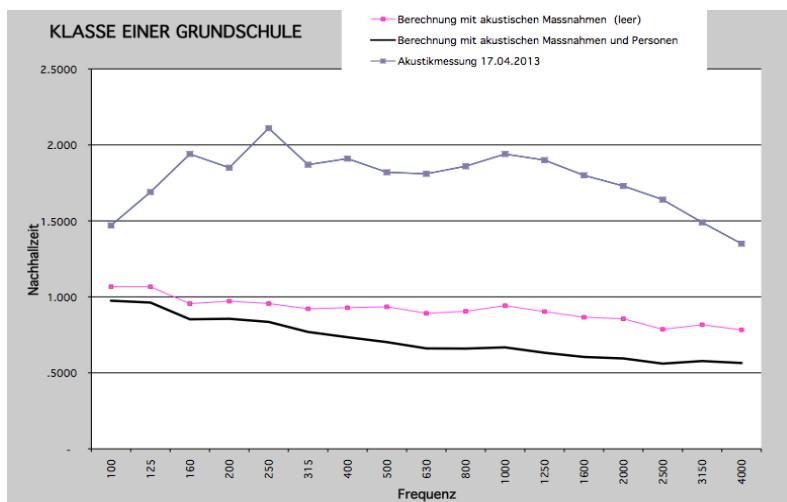


Abbildung 11: Diagramm Nachhallzeitverlauf mit u. ohne Akustikmaßnahmen in einer Grundschulklasse

Dadurch wird die geringere Empfindsamkeit des Gehörs bei tiefen Frequenzen ausgeglichen und der Klang bekommt „Wärme“. Ein zu langer Abklingvorgang, besonders bei tiefen Frequenzen, bewirkt eine Überlagerung der Töne und führt zu mangelnder akustischer Transparenz. Bei zu kurzer Nachhallzeit ist der Raumeindruck „trocken“, die akustische Wahrnehmung beeinträchtigt.

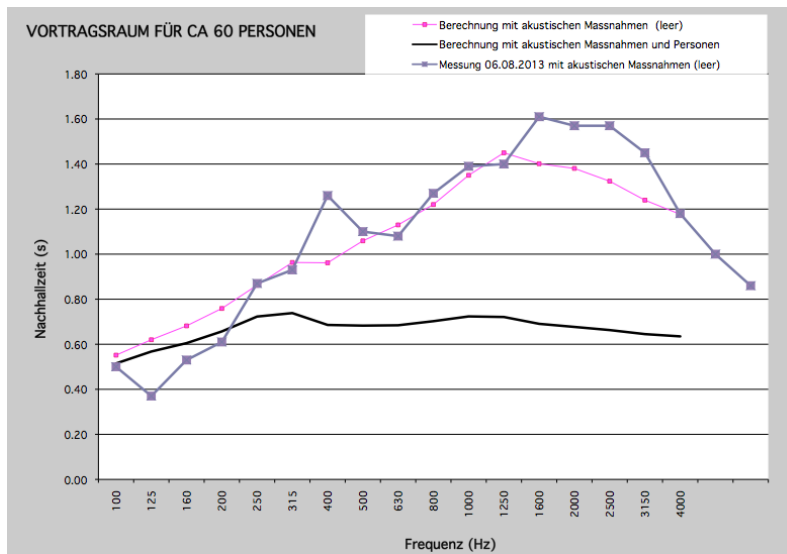


Abbildung 12: Diagramm idealer Nachhallzeitverlauf eines Vortragsraumes

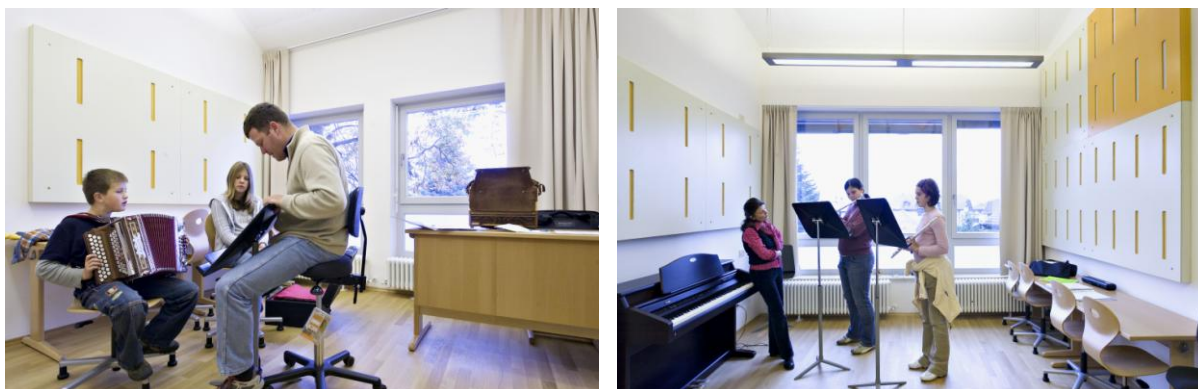
7. Prinzipien raumakustischer Gestaltung

In Nachhinein in die Architektur einzugreifen ergibt meist ein Flickwerk und ist oft kostspielig. Je früher die Akustiker in die Planung einbezogen werden, desto besser.

In der Architektur lassen sich interessante Lösungen beinahe für jede Raumsituation finden. Zielführend sind beispielsweise gedämmte Sitznischen, Abschirmung mittels Paravents und geeignete großflächige Akustikmaßnahmen. Bei der Gestaltung der Oberflächen mit entsprechenden Materialien / Dämmstoffen sollten sich „weiche“ und „harte“ Materialien und „rauhe“ und „glatte“ Oberflächen ergänzen.

Für das Kind ist eine klare visuelle und akustische Struktur wichtig. Die Architektur und Raumakustik müssen deshalb einen klaren ausgeglichenen und transparenten Raumeindruck vermitteln. Wärme und Kälte eines Materials sind spürbar, wirken anregend oder abstoßend. Auch das Absorptionsverhalten der Materialien vermittelt Ruhe oder Unruhe. Der Raum kann somit bereits mit der Wahl der Materialien ein gewisses akustisches Gleichgewicht erhalten.





Abbildungen 13: Vortragsraum und Klassen Musikschule Auer – Akustikwandpaneele in Holz

8. Architektonisch akustische Gestaltungsprinzipien

- Zusammenspiel von harten und weichen Oberflächen
- Großflächige Absorption durch reflektierende Anteile möglichst unterbrechen
- Kleingliedrige Oberflächenstrukturierung führt zu Streuung (Diffusität) der Schallrückwürfe und verbessert die Verständlichkeit
- Akustikmaßnahmen optisch nicht verbergen, sichtbar machen um eine Täuschung der Gehörschwärnehmung zu vermeiden



Abbildungen 14: Kindergärten mit Deckenrippen und Kreisflächen in Schaumstoff, Gipskarton perforiert/glatt

9. Akustische Wahrnehmung

- Ausgeglichenes Absorptionsverhalten in allen Frequenzbereichen schafft eine ausgeglichene Raumatmosfera und führt zudem zu akustischer Transparenz mit guter Verständlichkeit
- Zu geringe Absorption in tiefen Frequenzen führt zu undurchsichtigem und dunklen bzw. zu starke Absorption in den hohen Frequenzen führt zu dumpfen und flachem Höreindruck
- Psychoakustisch brauchen wir Schallrückwürfe aus allen Richtungen, sie verleihen Halt und geben Orientierung

10. Werkstoff Holz

Die immer größer werdende Auswahl an Materialien ermöglicht dem Architekten große Projektierungsfreiheit. Der Werkstoff Holz nimmt einen besonderen Stellenwert bei der akustischen Raumplanung ein.

So zeigt Massivholz bei korrektem Einsatz wunderbar ausgeglichene akustische Eigenschaften. Durch seine Elastizität und Oberflächenbeschaffenheit zeigt es sich als vorge-setzte Wandverkleidung als geeigneter Absorber im Mittel- Tieftonbereich.

Das Prinzip der Bauernstube mit Holzvertäfelung vermittelt eine angenehme Atmosphäre, welche in der heutigen Zeit vermehrt wieder eingesetzt wird. Ob in Theater und Konzertsä-len, wo eine exzellente Hörsamkeit gegeben sein muss, bis hin zu Klassenräumen, Kinder-gärten und Wohnräumen, wo eine gute Verständlichkeit durch Holz erreicht werden kann. Unversiegeltes oder sogar sägerauh belassenes Naturholz kann als Breitbandabsorber ein-gesetzt werden. Die Weichheit, Feinstofflichkeit und Lebendigkeit dieses Materials verleiht sowohl der Musik und als auch der Sprache Wärme und unvergleichliche Ausdruckskraft.



Abbildungen 15: Oberflächenstrukturen in Holz – Konzertsaal „Gustav Mahler“ in Toblach

11. Weiterführende Literatur

- [1] DIN Norm 18041 – Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, 2004-5
- [2] Richtlinien für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache, SGA-SSA, 2004
- [3] Kapitel "Akustik," in Mark Dudek – Entwurfsatlas Schulen und Kindergärten. Dorothea Baumann und Christina Niederstätter, Birkhäuser Verlag, ISBN 3-7643-7052-1 deutsch, ISBN 3-7643-7052-X english, Basel, 2007
- [4] "Studie über den Zusammenhang zwischen akustischer Qualität und Wohlbefinden der Kinder in den Grundschulmensen der Stadt Bozen", Studie im Auftrag der Gemeinde Bozen, Schulbauamt, 2002
- [5] "Acoustics of Primary School Canteens", Beitrag zum International Congress of Acoustics ICA 2001, Rom
- [6] Dorothea Baumann, "Können wir unseren Ohren trauen?", Schweizer Musikzeitung 1 (1998)
- [7] W. Fasold, E. Veres, Schallschutz+Raumakustik in der Praxis - Berlin (1998)
- [8] P. Fausti, A. Peretti, R. Pompoli, Legislazione e normativa in tema di protezione acustica degli edifici scolastici in A. Peretti e R. Pompoli, Rumore e ambienti scolastici, Ferrara (1995)
- [9] Dr. M. Paregger, Bozen, Manuskript (2002)