

Raumakustik der Klassenzimmer der Rudolf Steiner Schule Zürcher Oberland

Kurt Eggenschwiler

Empa - Materials Science & Technology, Abt. Akustik, CH-8600 Dübendorf, e-mail: kurt.eggenschwiler@empa.ch

In den letzten Jahren wurde international die Frage der akustischen Anforderungen für das Lernen und das Lehren in Schulbauten intensiv diskutiert. Der aktuelle Stand des Wissens hat zur Revision von Normen und Richtlinien geführt. In dieser kleinen Studie werden die akustischen Verhältnisse der Klassenzimmer der Rudolf Steiner Schule Zürcher Oberland, Wetzikon untersucht. Die Gestaltung der Schule richtet sich nach den pädagogischen Grundsätzen von Rudolf Steiner. Die Formgebung der Klassenzimmer ergab sich aus den altersgemässen Bedürfnissen und ist deshalb je nach Klasse verschieden. Dem Architekten war die richtige raumakustische Gestaltung wichtig. Allerdings musste die finanzielle Situation der Schule beim Schulhausbau berücksichtigt werden. Messungen und Berechnungen zeigten, dass die aktuellen Anforderungen bezüglich Nachhallzeit und Sprachverständlichkeit in den Klassenzimmern eingehalten sind. In einigen Räumen wurde der Bereich der anzustrebenden Nachhallzeit leicht unterschritten, was aber eher vorteilhaft ist für Schülerinnen und Schüler mit eingeschränktem Hörvermögen und für den Unterricht in Fremdsprachen. Eine Umfrage unter der Lehrerschaft zeigte, dass die akustischen Bedingungen für Sprache als gut eingeschätzt werden. Aber auch für Musik während des Normalunterrichts waren die Rückmeldungen positiv. Schliesslich wird diskutiert, dass das Einhalten der akustischen Anforderungen zwar notwendig, aber nicht hinreichend ist, um dem Lernen und Lehren in Klassenzimmern optimale Voraussetzungen zu geben. In guter Architektur spielen ergänzend und stützend alle Sinnesmodalitäten zusammen.

1 Einleitung

International wird die Frage der Akustik in Klassenzimmern seit einigen Jahren intensiv diskutiert. In Forschungsprojekten werden die Auswirkungen der schlechten Akustik auf Schüler und Lehrer untersucht, wie z. B. in einer wichtigen Untersuchung von MacKenzie 1999 [1] oder in den kürzlich abgeschlossenen deutschen Studien des Fraunhoferinstitut für Bauphysik, der Carl von Ossietzki Universität Oldenburg und der Kath. Universität Eichstätt-Ingoldstadt [2], sowie der Universität Bremen [3]. Interessante Beiträge zur Akustik in Schulen finden sich u.a. in [4], [5], [6] und [7].

Heute sind zwar in vielen Klassenzimmern die akustischen Verhältnisse gut. Viel zu viele Räume bieten dem Lernen und Lehren aber immer noch schlechte Voraussetzungen, obwohl die akustischen Anforderungen im Grundsatz schon lange bekannt sind, und entsprechende Normen auch greifbar waren.

Offenbar fehlte es aber an der Durchsetzungskraft und wohl auch am Bewusstsein für die Akustik - oder für das Hören allgemein. Die moderne Architektur ist stark auf das Visuelle ausgerichtet [8]:

Erstaunlich ist, dass offenbar selbst die erfolgreichen Designer und Architekten alle mit offenen Augen, aber bei völliger Taubheit entwerfen.

Ein im Jahr 2002 erschienenes Buch "Schulen der Zukunft" [9] enthält zwar immerhin einen Abschnitt über Akustik und Lärm. Leider fehlen aber die ganz konkre-

ten Hinweise auf die akustischen Anforderungen oder die Norm, in der sie seit den 60er Jahren enthalten sind. Zudem könnte ein Zitat aus Markus Dederichs Buch zur Anthropologie und Pädagogik von Hugo Kükelhaus [10], zu gefährlichen Fehlinterpretationen und damit zu einer falschen akustischer Gestaltung von Klassenzimmern führen, was den den sonstigen Ausführungen des Buches zur Störung durch Lärm eigentlich widerspricht:

Ein gewisses Mass an Schall wirkt allerdings auch wohltuend auf den Körper und spricht besonders unseren Gleichgewichtssinn an. 'Unser Ohr ist ein Organ, das nicht zum Hören, sondern auch der Orientierung im Raum und dem Gleichgewichtssinn dient. Es ist für Körper und Seele und Geist ein Organ der Orientierung. Entsprechend sollten Räume nicht, wie heute vielfach üblich, mit schallschluckenden Platten akustisch isoliert werden, sondern so gebaut sein, dass sie umgekehrt Echo und Hall ermöglichen' Dederich 1996, 231.

Dederich bezieht sich auf Kükelhaus [11]. Zieht er aus den Ausführungen von Kükelhaus die richtigen Schlüsse für die Akustik im Klassenzimmer? Ein Schulhausbau besteht ja nicht nur aus Klassenzimmern. Und kann auf das Anliegen Hugo von Kükelhaus, die sinnlichen Erfahrungsmöglichkeiten für eine menschliche Architektur zu fördern, mit den heute postulierten akustischen Anforderungen für ein gutes Lernen nicht in Einklang gebracht werden? Vielleicht schliessen sich gute akustische Verhältnisse und lebendige Sinneswahrnehmungen nicht gegenseitig aus (siehe dazu Abschnitt 7.2).

Die in diesem Aufsatz dargestellte kleine Studie ist eine Erweiterung einer Wahlfachdiplomarbeit der ETH Zürich, Studiengang Architektur [12], fokussiert auf die Klassenzimmer. Zusätzlich zu den Untersuchungen in der erwähnten Arbeit wurden die Lehrkräfte der Schule befragt. Es wurde zudem beabsichtigt, akustisch die Frage zu klären, welchen Einfluss die Raumform auf die akustische Wahrnehmung hat. Die dazu vorgesehenen raumakustischen Simulationen konnten aber noch nicht abgeschlossen werden. Jedoch werden am Schluss die akustischen Ergebnisse im Zusammenhang mit anderen Sinnesmodalitäten diskutiert. Die Arbeit wurde an der Euronoise 2006 in Tampere, Finnland vorgestellt [13].

2 Wirkung von Lärm und schlechter Akustik in Schulzimmern

Die Auswirkung von Lärm und schlechter Raumakustik auf das Lernen und Lehren werden aktuell in der Forschung untersucht. Es zeigt sich, dass die Lärmbelastung sich unmittelbar auf die mentale Leistung von Schüler/-innen und Lehrkräfte auswirkt. Schlechteres Sprachverständnis, verringerte Aufmerksamkeit und Konzentration, aber auch eine labilere psychische Verfassung sind die Folgen bei den Lernenden. Vor allem das Kurzzeitgedächtnis scheint zu leiden. Aber auch das soziale Klima wird schlechter, denn Lärm fördert Aggressionen. Es wird vermutet, dass lernschwache Kinder besonders beeinträchtigt werden [4].

Nachfolgenden werden exemplarisch einige Ergebnisse der Studie der Heriot-Watt University [1] dargestellt. In die Studie wurden über 70 Unterrichtsräume von Grundschulen in Schottland, England und Nordirland einbezogen. Die Untersuchungen wurden in unbesetzten und besetzten Schulzimmern, und in solchen ohne akustische Massnahmen ("unbehandelt") und mit akustischen Massnahmen ("behandelt") durchgeführt. Verschiedene akustische Messwerte wurden ermittelt, ein spezieller Wortverständlichkeitstest WIPI für Kinder eingesetzt und ein Fragebogen für die Lehrenden ausgewertet.

Die gemessene Sprachverständlichkeit war in den unbehandelten Schulzimmern signifikant schlechter. Bei diesen Messungen wurden auch immer wieder besonders schlechte Plätze gefunden.

Der Wortverständlichkeitstests (WIPI) ergab in den unbehandelten Klassenzimmern ebenfalls signifikant schlechtere Werte. Besonders gross war der Unterschied, wenn die anderen Kinder arbeiteten und damit einen gewissen Lärmpegel im Raum verursachten.

Die Nachhallzeiten in den unbehandelten Klassenzimmern lagen besetzt im Mittel bei 0.6 Sekunden, bei den akustisch behandelten bei 0.4 Sekunden. Die Streuung wurde in der Zusammenfassung der Studie leider nicht

angegeben. Es gibt aber einen Hinweis, dass einige kleinere der unbehandelten Klassenzimmer mit ihren tiefen Nachhallzeiten den Mittelwert stark drücken. Viele Werte lagen offenbar im Bereich 0.9 - 1.0 Sekunden, einige darüber.

Interessant war die Auswertung der Fragebogen für die Lehrkräfte:

Lehrkräfte die ihre Schulzimmer als laut bewerten leiden eher unter Kopfschmerzen, neigen eher dazu, Halsprobleme in Verbindung mit ihrer Arbeit zu sehen und melden sich bei Halsproblemen eher krank. Lehrkräfte die ihre Schulzimmern als zu hallig bewerten glauben eher, dass die Akustik Einfluss auf die eigene Leistung hat, glauben eher, dass die Akustik Einfluss auf die Leistung und das Verhalten der Kinder hat und sind häufiger krank als ihre Kollegen. Lehrkräfte in Klassenzimmern mit Akustikdecken leiden seltener unter Problemen mit Stimme und Hals.

3 Anforderungen an die Akustik in Klassenzimmern

3.1 Normen und Richtlinien

Die forcierte Diskussion zur Akustik in Klassenzimmern hat in verschiedenen Ländern dazu geführt, dass Normen und Richtlinien dem Stand des Wissens angepasst wurden (z. B. [14], [15], [16], [17]). In den Richtlinien werden Anforderungen für Störgeräuschpegel und Nachhallzeit festgelegt. Die kürzlich revidierte Schweizer Norm SIA 181 [17] gibt Richtwerte für die Nachhallzeit. Sie stützt sich auf die Richtlinien der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik SGA [16], welche die Anforderungen aus der deutschen Norm DIN 18041 [15] aufnimmt. Damit soll die Nachhallzeit für Klassenzimmer von 125 m^3 - 250 m^3 etwa 0.4 - 0.6 s betragen. Die volumenabhängige Sollnachhallzeit und der frequenzabhängige Toleranzbereich sind in Abbildung 1 dargestellt.

Gemäss DIN 18041 sollte für Personen mit eingeschränktem Hörvermögen nach heutigem Kenntnisstand die anzustrebende Nachhallzeit für Räume mit einem Volumen bis zu 250 m^3 in den Oktavbändern 250 Hz bis 2000 Hz bis 20% unter der in Abbildung 1 oben angegebenen Kurve liegen. Vergleichbare Anforderungen gelten auch für folgende Nutzungen: Kommunikation in einer Sprache, die nicht als Muttersprache gelernt wurde; Kommunikation mit Personen, welche die Unterrichtssprache als Fremdsprache sprechen; Kommunikation mit Personen, die auf andere Weise ein Bedürfnis nach erhöhter Sprachverständlichkeit haben, z. B. Personen mit Sprach- oder Sprachverarbeitungsstörungen, Konzentrations- bzw. Aufmerksamkeitsstörungen, Leistungsschwäche.

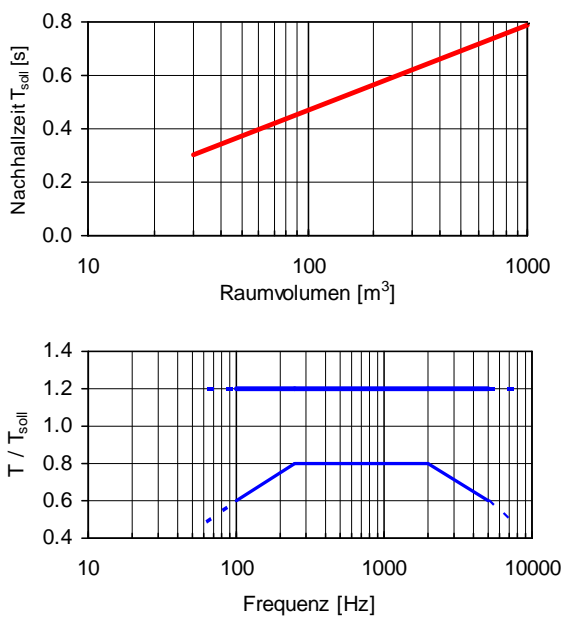


Abbildung 1: Optimale Nachhallzeit T_{soll} für besetzte Klassenzimmer in Funktion des Raumvolumens (oben) und Toleranzbereich für RT / RT_{soll} (unten) gemäss DIN 18041 [15].

LESEBEISPIEL: Für einen Raum mit einem Volumen von 250 m^3 kann aus Abbildung 1 oben eine Soll-Nachhallzeit T_{soll} von 0,6 Sekunden abgelesen werden. Aus Abbildung 1 unten ergibt sich, dass die Nachhallzeit in den Oktavbändern 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz und 2 kHz im Bereich von $T_{soll} \pm 20\%$ liegen sollte, also 0,48 - 0,79 Sekunden. In den Oktavbändern 125 Hz und 4 kHz im Bereich $T_{soll} - 40\%$ bis $T_{soll} + 20\%$ also 0,36 - 0,78 Sekunden.

3.2 Akustische Massnahmen

Bei der Planung und Sanierung von Klassenzimmern stellt sich die Frage, wie die Anforderungen umgesetzt werden können. Abhängig vom Raumvolumen ist es notwendig, gewisse Flächen schallabsorbierend zu gestalten. Wie gross müssen diese Flächen sein? Welche Raumflächen sollten nicht verkleidet werden, damit sie nutzbringend Schall reflektieren können? In der DIN 18041 gibt es es dazu bereits viele Hinweise. Die notwendige Fläche kann mit einer einfachen Berechnung nach der Formel von Sabine ermittelt werden. Für die Anordnung der Absorber gibt es Grundregeln.

Mommertz et al haben weitere Untersuchungen zur Anordnung schallabsorbierender Oberflächen in Klassenräumen gemacht [18]. Sie kommen unter anderem zum Schluss, dass aus akustischer Sicht eine grosse Gestaltungsfreiheit möglich ist. Um eine gute Sprachverständlichkeit zu erreichen, ist aber in erster Priorität die in der

der DIN 18041 geforderte Nachhallzeit einzuhalten. Dazu muss eine grössere Fläche der Decke und der Wände mit einer schallabsorbierenden Verkleidung versehen werden.

In der Regel wird die Decke wohl vollflächig verkleidet werden müssen, wobei zusätzliche Flächen an Wänden günstig sind - auch zum Vermeiden von störenden Flatterechos. Ein Deckenspiegel als Schallreflektor, wie er in der DIN 18041 vorgeschlagen wird (siehe Abbildung 2), kann gewisse Verbesserungen bringen, wenn die geforderte Nachhallzeit eingehalten wird. Je nach Möblierung besteht unter dem Deckenspiegel die Gefahr von Flatterechos.

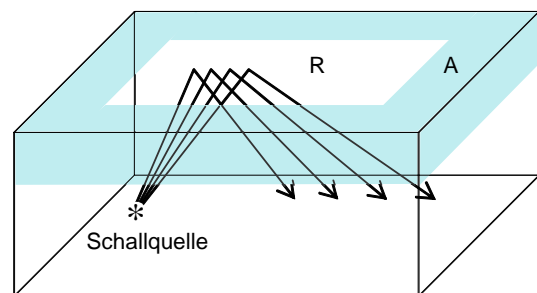


Abbildung 2: Mögliche Anordnung reflektierender (R) und absorbierender (A) Flächen gemäss DIN 18041. Die reflektierende Fläche spiegelt nützlichen Schall in den hinteren Bereich des Raumes. Einsatz in eher grösseren Räumen.

4 Die untersuchten Klassenzimmer

Die untersuchten Klassenzimmer gehören zur Rudolf Steiner Schule Zürcher Oberland, Wetzikon. Die Schule umfasst zwei Kindergartenräume, Klassenzimmer für Kinder und Jugendliche von der 1. bis 12. Klasse, einen grossen Saal, einen kleineren Mehrzwecksaal, einen Eurythmiesaal, einen Musikraum, eine Turnhalle, die Mensa und diverse andere Räume (Architekt: Walter Känel, Mitarbeit: Hans van der Heide; siehe auch [19]).

Ziel der Schule ist es, jedes Kind nach seinem altersgemässen und individuellen Entwicklungsstand zu fördern und zur freien selbstständigen Persönlichkeit zu erziehen. Aus diesem Anliegen folgt direkt die architektonische Gestaltung¹ der Klassenzimmer. Dazu Rudolf Steiner [20]:

Architekturformen gestalten - bis tief in die Seele hinein - das Kind und den jungen Menschen; in ihnen wirkt der lebendigmachende Geist.

¹Wie andere realisierte Beispiele von Schulbauten zeigen, stehen die Steiner Schulen nicht alleine mit dem Anspruch, dass die Architektur von Schulen kindergerecht sein muss. Siehe z.B. [21]



Abbildung 3: Schulhaus Rudolf Steiner Schule Zürcher Oberland, Wetzikon, Aussenansicht. Bildquelle: <http://www.rsszo.ch/>

In Abbildung 4 wird aus dem Grundriss ersichtlich, dass die Kinder in jedem Jahr in einen anderen altersgemäss gestalteten Raum umziehen.

Im Zusammenhang mit dieser Studie ist zu erwähnen, dass der Fremdsprachenunterricht schon in der ersten Klasse einsetzt, und dass den musischen Fächern mehr Bedeutung zugemessen wird als in anderen Schulen.

Gute akustische Verhältnisse waren dem Architekten ein Anliegen. Die finanzielle Situation der Schule, welche vollständig von Eltern und Spendern getragen wird, musste aber bei der Planung einbezogen werden.

Der Architekt plante von Beginn weg akustisch absorbierende Decken. Sein Vorschlag wurde mit einer Nachhallzeitberechnung nach Sabine überprüft. Es ergaben sich Nachhallzeiten, welche im Toleranzbereich der DIN 18041 [15] lagen.

Die Decken im Untergeschoss und im Erdgeschoss sind bei einer Raumhöhe von 3 m flach. Im Obergeschoss folgt die Form der Dachgestaltung. Die Raumhöhe ist variabel

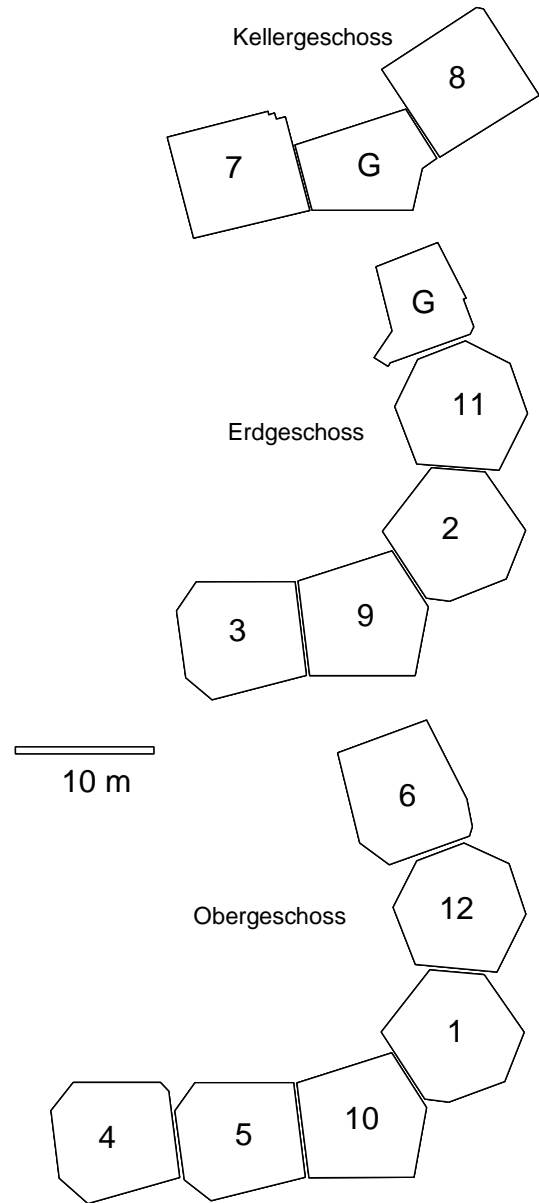


Abbildung 4: Grundrisse der zwölf Klassenzimmer (1 ... 12) und zwei Gruppenräumen "G" der Rudolf Steiner Schule in Wetzikon, Schweiz. Die Nummern bezeichnen die Klasse. "1" steht für 1. Klasse mit siebenjährigen Kindern. Nicht dargestellt sind weitere Räume der Schule.

bis zu rund 5 m.

Die Decke besteht aus Holzriemen mit einem Luftzwischenraum, hinterfüllt mit mindestens 40 mm Mineralfaserplatten. Im Obergeschoss ist auch die thermische Isolation zusätzlich akustisch wirksam. Mit der gewählten Konstruktion war es gut möglich, dass die Schuletern den Einbau selber vornehmen konnten (siehe Abbildungen 5 und 6).



Abbildung 5: Einbau der Akustikdecke durch die Schülern. Bildquelle: <http://www.rsszo.ch/>



Abbildung 6: Klassenzimmer der 5. Klasse im Obergeschoss während der akustischen Messungen

5 Akustische Messungen

Im Rahmen der weiter oben erwähnten Studienarbeit konnten in drei Klassenzimmern Messungen der Nachhallzeit mit dem Messsystem Dirac (Brüel & Kjør Typ 7841) und einem omnidirektionalen Lautsprecher (Brüel & Kjør Typ 4295) durchgeführt werden. Es sind dies die Räume der 8. Klasse im Untergeschoss (Raumhöhe $h = 3$ m, Volumen $V = 200$ m³), der 2. Klasse im Erdgeschoss ($h = 3$ m, $V = 210$ m³) und 5. Klasse im Dachgeschoss ($h = 3 - 5$ m, $V = 265$ m³).

Die Ergebnisse der Messungen der Nachhallzeit sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Nachhallzeit für den besetzten Zustand wurden mit der Formel von Sabine und den Werten für den Absorptionsgrad für Schulkinder von Mommertz [22] berechnet.

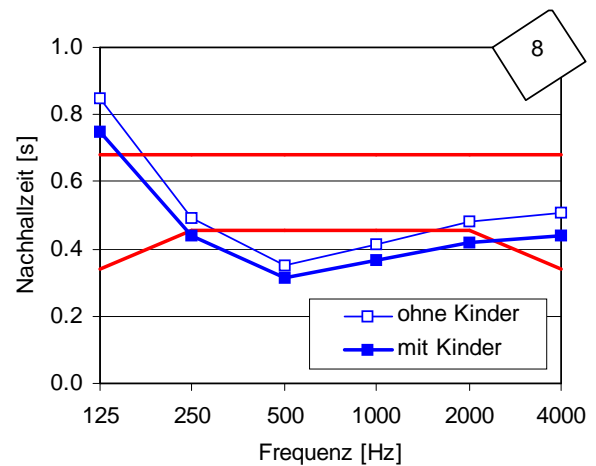
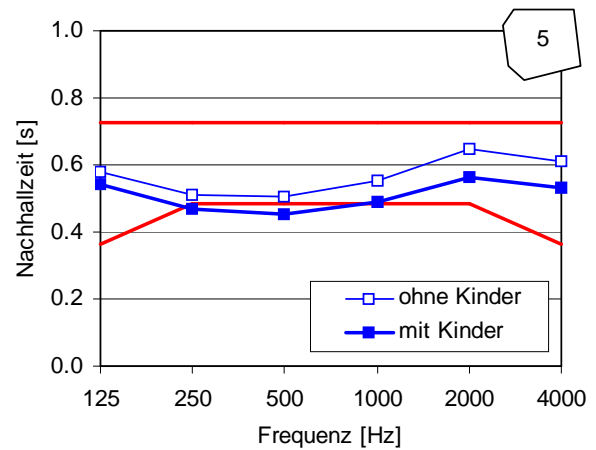
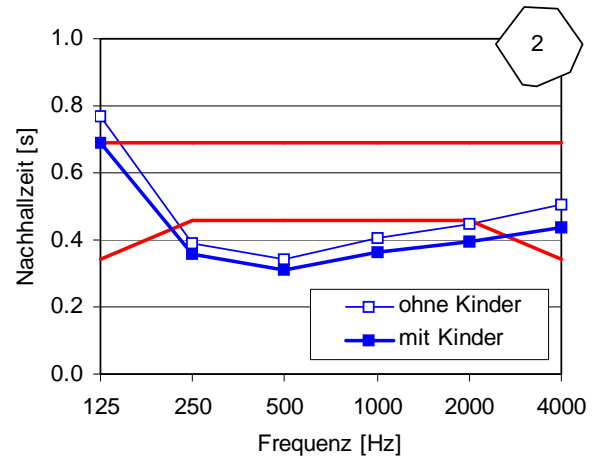


Abbildung 7: Nachhallzeiten in drei Schulzimmern. Ohne Kinder: gemessen; Mit Kindern aus den Messungen hochgerechnet. 2. Klasse im Erdgeschoss, 5. Klasse im Obergeschoss, 8. Klasse im Untergeschoss.

Aus den Messungen mit dem omnidirektionalen Lautsprecher wurde auch der Speech Transmission Index STI ermittelt. Es ergaben sich durchwegs sehr hohe Werte (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Speech Transmission Index STI in drei Schulzimmern gemessen an je fünf Positionen

STI	2. Klasse	5. Klasse	8. Klasse
Maximum	0.80	0.73	0.79
Mittelwert	0.77	0.72	0.76
Minimum	0.76	0.71	0.75

Auf Grund der ähnlichen Volumen und Materialisierung kann auf vergleichbare Nachhallzeiten und STI-Werte in den anderen Klassenzimmern geschlossen werden.

Innerhalb der Studie war geplant, die Akustik der Klassenzimmer mit Hilfe einer raumakustischen Simulation weiter zu untersuchen. Ziel wäre es, den Einfluss der Raumform auf die raumakustischen Parameter wie Nachhallzeit, Early Decay Time EDT, Deutlichkeitsgrad D50 und Speech Transmission Index STI zu untersuchen. Diese Arbeiten konnten allerdings bis zum heutigen Tag nicht abgeschlossen werden.

6 Ergebnisse einer Befragung

6.1 Anlage der Befragung

Als Ergänzung zur Messung wurde eine schriftliche Umfrage bei den Lehrkräften durchgeführt. Ziel war es, Hinweise zur Akzeptanz der Akustik in den Klassenzimmern zu erhalten. Eine Erhebung bei den Kindern und Jugendlichen lag weit ausserhalb der Möglichkeiten dieser Studie.

In einem ersten Teil des Fragebogens wurde ein Polaritätenprofil mit sechs Adjektivpaaren einer deutschen Studie [23] zur Akustik in Klassenzimmern verwendet (siehe Tabelle 2). In der Studie ging es darum, mit Befragungen anstelle von Messungen Aussagen über die akustische Qualität von Klassenzimmern zu machen. Auf der Basis ausgedehnter Versuche wurden die in Tabelle 2 dargestellten Adjektivpaare gefunden, welche sich zur Beurteilung der Hörumgebung als geeignet erwiesen.

Das Profil wurde in einer ersten Frage explizit für Sprache, in einer zweiten auch für die Musikhörbarkeit verwendet.

Weiter wurden Fragen zur Störung durch Lärm gestellt: Strassenlärm bei geschlossenem und offenem Fenster, Geräusche aus anderen Klassenräumen, von haustechnischen Anlagen und von den Schülern im eigenen Klassenzimmer.

Tabelle 2: Polaritätenprofil für die Beurteilung der Sprachakustik

	extrem	sehr	eher	teils	eher	sehr	extrem	
deutlich	o	o	o	o	o	o	o	undeutlich
dröhnend	o	o	o	o	o	o	o	klar
angenehm	o	o	o	o	o	o	o	unangenehm
hallig	o	o	o	o	o	o	o	trocken
anstrengend	o	o	o	o	o	o	o	müheles
klirrend	o	o	o	o	o	o	o	gedämmt

Schliesslich wurde nach einer allgemeine Beurteilung gefragt, wobei nach dem gleichen Muster wie in Tabelle 2 die Antwort mittels Adjektivpaaren ermittelt wurde:

- A Wie beurteilen Sie die akustischen Verhältnisse zum Sprechen als Lehrerin oder Lehrer? (anstrengend - müheles)
- B Wie vermuten Sie, sind die akustischen Verhältnisse zum Sprachverstehen (Verständlichkeit der Sprache) für die Schülerinnen und Schüler? (hinderlich - förderlich)
- C Wie vermuten Sie, sind die akustischen Verhältnisse zum Erlernen von deutscher Sprache oder von Fremdsprachen? (hinderlich -förderlich)
- D Hängt die Akustik nach Ihrer Meinung auch zusammen mit der speziellen Formgebung der Räume? (unwichtig - wichtig)
- E Vermutlich haben Sie Erfahrungen mit Klassenzimmern in anderen Schulhäusern ausserhalb der Rudolf Steiner Schule Zürcher Oberland. Können sie dazu eine Pauschalaussage machen? (schlechtere Akustik - bessere Akustik)

Schliesslich wurden fast 20 Fragebögen zurückgeschickt. Einige Fragebogen bezogen sich nicht auf die Klassenzimmer und Gruppenräume, sondern auf den Kindergarten und die Eurythmiesäle.

6.2 Ergebnisse

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse des Polaritätenprofils zur Sprachakustik dargestellt. Je nach Adjektivpaar konnten 11 - 13 Antworten ausgewertet werden. Es zeigt sich, dass die Lehrkräfte die Akustik für Sprache im Mittel als 'sehr deutlich', 'eher klar', 'eher angenehm', 'eher trocken', 'eher müheles' und 'eher gedämmt' wahrnehmen. Die Streuung ist nicht sehr gross, ausser bei dem Adjektivpaar angenehm-unangenehm.

Bei der Frage zur Musikakustik wurden weniger Antworten gegeben. Die Ergebnisse sind praktisch deckungsgleich mit jenen zu Sprache (Abbildung 9). Die Klassen-

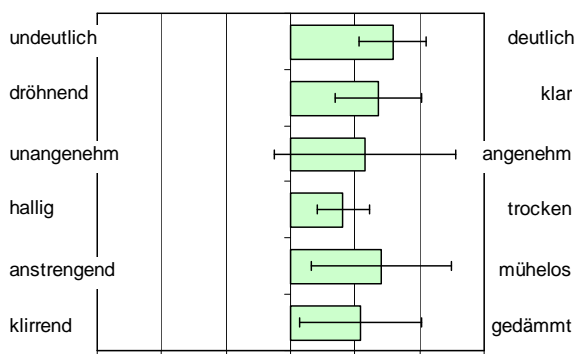


Abbildung 8: Polaritätenprofil zur Sprachakustik in den Klassenräumen. Mittelwert (Balken) und Standardabweichung.

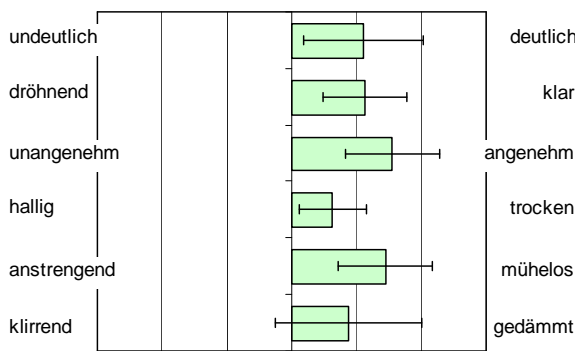


Abbildung 9: Polaritätenprofil zur Musikakustik in den Klassenräumen Mittelwert (Balken) und Standardabweichung.

räume werden damit für die musikalischen Aktivitäten innerhalb des Unterrichts als angenehm, klar und müheles empfunden, wenn auch etwas trocken. Auch von Seiten eines Musiklehrers, der in den Räumen auch andere Fächer unterrichtet, wird die Akustik grundsätzlich als gut empfunden.

Die Ergebnisse zu den Fragen nach den Störgeräuschen sind in Abbildung 10 wiedergegeben. Es zeigt sich eine geringe Störung durch Lärm, ausser bei geöffneten Fenstern und in Einzelfällen beim Pausenlärm.

Die allgemeinen Fragen wurden wie in Abbildung 11 dargestellt beantwortet. Durchwegs wurde die Akustik der Klassenzimmer als geeignet für Sprache und Fremdsprache erachtet. Es wird vermutet, dass die Verhältnisse für die Kinder gut sind. Die spezielle Form der Räume wird in Zusammenhang mit der Akustik gebracht. Schliesslich wird die Akustik als viel besser beurteilt als in anderen Schulen.

Der Vollständigkeit halber seien noch die Rückmeldungen zu anderen Räumen erwähnt.

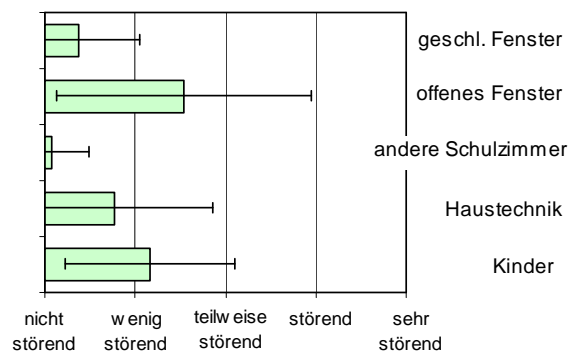


Abbildung 10: Antworten zur den Fragen nach der Lärm-situation. Mittelwert (Balken) und Standardabweichung.

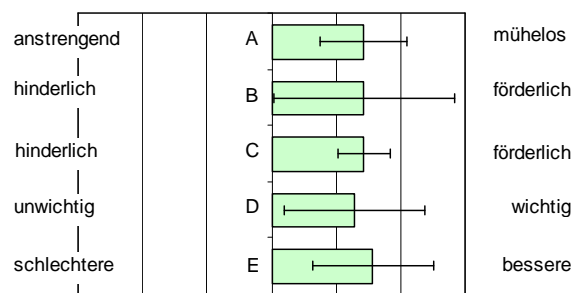


Abbildung 11: Polaritätenprofil zur Sprachakustik in Klassenräumen. Mittelwert (Balken) und Standardabweichung.

Die beiden Kindergarten wurden nicht in die Auswertung oben einbezogen, weil die Räume akustisch nicht vergleichbar sind, und auch keine Messdaten vorliegen. Die Bewertung einer der Kindergärten ist allerdings ähnlich wie jene der Klassenzimmer, wobei die Geräusche allgemein als etwas störender angemerkt.

Die Rückmeldungen zu einem der Eurythmiesäle ($V \approx 440 \text{ m}^3$; mittlere Nachhallzeit ohne Personen 1.1 s) unterscheidet sich stark zu einem Mehrzwecksaal ($V \approx 700 \text{ m}^3$; mittlere Nachhallzeit ohne Personen 1.7 s), der auch für Eurythmieunterricht verwendet wird. Die Rückmeldungen für den Mehrzwecksaal widerspiegeln die lange Nachhallzeit. Die Sprachakustik wird als undeutlich, extrem hallig und sehr anstrengend bezeichnet. Besonders hervorgehoben wird der Lärm der Schüler im eigenen Raum. Die Eignung für Musik wird dagegen im Mehrzwecksaal als gut beurteilt.

7 Diskussion

7.1 Akustische Verhältnisse und Ergebnisse der Befragung

Die akustischen Messungen in drei Klassenräumen zeigten sehr kurze Nachhallzeiten und ausgezeichnete Werte für den STI, also die Sprachverständlichkeit.

In den zwei Räumen mit einem Raumvolumen von rund 200 m³ liegt die Nachhallzeit im Mitteltonbereich unter dem in der DIN 18041 empfohlenen Bereich. Auf der einen Seite sind diese Verhältnisse gemäss vorteilhaft für Schülerinnen und Schüler mit leichten Hörbehinderungen und für den Unterricht in Fremdsprachen. Auf der anderen Seite wurde nach dem Erscheinen der revidierten DIN 18041 auch diskutiert, dass Nutzer von Räumen mit eher kurzen Nachhallzeiten die Akustik als zu stumpf beurteilen, und je nach Grösse des Raumes auch die Sprachverständlichkeit leidet.

Im vorliegenden Fall handelt es sich um nicht zu grosse Klassenzimmer. Die Sprachverständlichkeit könnte durch unterstützende Raumreflexionen kaum wesentlich verbessert werden. Es interessiert aber, wie die akustischen Verhältnisse empfunden werden. Das Ergebnis der Befragung der Lehrkräfte kann zwar nicht auf die Schüler übertragen werden, darf aber trotzdem als wichtiger Indikator benutzt werden.

Es zeigt sich, dass die Klassenzimmer zwar als eher trocken beschrieben werden, nicht aber als anstrengend und auch nicht als unangenehm, sondern im Gegenteil als mühelos und angenehm. Vor allem werden die Verhältnisse als sehr förderlich für den Unterricht empfunden. Allerdings könnte aus dem Mittelwert und der grösseren Streuung des Adjektivpaars 'angenehm - unangenehm' (Abbildung 8) geschlossen werden, dass die Nachhallzeit an der unteren Grenze liegt.

Da die Klassenzimmer im Obergeschoss etwas längere Nachhallzeiten aufweisen als jene im Erdgeschoss und Untergeschoss wurde die Umfrage noch je für die zugehörigen zwei Gruppen von Fragebogen ausgewertet. Erstaunlicherweise waren die Auswertungen der zwei Teilgruppen praktisch deckungsgleich mit jenen aller Lehrkräfte. Im direkten Vergleich würden die unterschiedlichen Nachhallzeiten wahrgenommen werden können, weil die Differenz zwischen den beiden Räumen über der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegen. Die Differenz ist aber zu klein, um sich bei den Antworten unserer Erhebung bemerkbar zu machen. Und es ist auch offensichtlich nicht so, dass die Nachhallzeit in den Klassenzimmern mit der sehr kurzen Nachhallzeit unter einer Schwelle liegt, wo die "trockene" Akustik stark stören würde.

Es ist anzunehmen, dass die Resultate der Befragung dieses Fallbeispiels nicht auf anders gestaltete Klassenzimmer mit ähnlichen Nachhallzeiten in anderen Schulhäu-

sern übertragen werden können. Im nächsten Abschnitt wird diskutiert, dass andere Faktoren der Raumwahrnehmung mit in die Diskussion einbezogen werden müssten.

7.2 Zusammenwirken der Sinne

Wenn man die akustischen Verhältnisse der Räume einer Rudolf Steiner Schule diskutiert ist es nahe liegend, nicht alleine auf die Akustik zu fokussieren, sondern alle Sinnesorgane und deren Zusammenwirken einzubeziehen. Es war in den 1920er Jahren Rudolf Steiner, der die damals fünf oder sechs bekannten Sinne erweiterte auf zwölf und die Bedeutung der Sinne und deren Zusammenwirken untersuchte [24]. Die ersten neun der folgenden Sinne sind heute im Prinzip allgemein anerkannt.

- Tastsinn
- Lebenssinn
- Bewegungssinn
- Gleichgewichtssinn
- Geruchssinn
- Geschmackssinn
- Sehsinn
- Wärmesinn
- Hörsinn
- Gestaltsinn
- Lautsinn (zur Wahrnehmung von Sprache)
- Begriffssinn (zur Wahrnehmung von Begriffen)
- Ichsinn (zur Wahrnehmung einer anderen als der eigenen menschlichen Identität)

Steiners Sinneslehre fand fruchtbar Eingang in Medizin, Pädagogik, Heilpädagogik, Architektur und Design. Bei den beiden letzten Bereichen leistete Wulf Schneider [25] einen aktuellen Beitrag zu Steiners Sinneslehre, bringt Gestaltungsbeispiele und zeigt, dass durch Einbeziehen der sinnlichen Wahrnehmung wesentlich besser geplant und gestaltet werden könnte. Schliesslich gibt er auch Anleitungen zur Schulung der Sinneswahrnehmung.

Auch der eingangs erwähnte Hugo Kükelhaus widmete sich ein Leben lang dem Anliegen vielfältiger und lebendiger sinnlicher Erfahrungen [26].

Die verschiedenen Sinneswahrnehmungen und ihr Zusammenwirken scheint heute auch in der "etablierten" Wissenschaft etwas mehr Aufmerksamkeit zu erfahren. Als Beispiel kann ein Buch des Innenarchitekten und Designers Rudolf Stricker erwähnt werden [8]. Es nimmt eine einmalige Stellung unter den vielen reich bebilderten und gut gestalteten Veröffentlichungen der Architektur ein, welche vor allem visuell ausgerichtet sind. Das Buch widmet sich - auch mit vielen Bildern und auch mit einem guten Layout - aus der Sicht eines Innenarchitekten der *akustischen* Raumgestaltung.

Verschiedene aktuelle Publikationen zeigen, dass auf dem Gebiet der Sinneswahrnehmungen Forschungsbedarf vorhanden ist (siehe z.B. [27], [28], [29], [30]). Die Vielfalt und Bedeutung der Sinneswahrnehmung müsste zudem in der Lehre, besonders in Architektur und Design besser berücksichtigt werden.

Was bedeuten diese Ansätze bezogen auf das dargestellte Fallbeispiel? Räumliches Wahrnehmen basiert auf der Summe aller Sinneseindrücke im Raum. Bei der Beurteilung der akustischen Situation müssen damit eigentlich die anderen Wahrnehmungsbereiche auch berücksichtigt werden. Die Reduktion auf die akustische Dimension ist gefährlich. Und wenn das Ziel einer organischen Architektur in den beschriebenen Räumen erreicht wurde, ergibt sich durch das Zusammenwirken der Sinneswahrnehmung eine lebendige Wahrnehmung.

Damit kann postuliert werden: Während bei gleicher Nachhallzeit in visuell abweisenden Räumen die Klanggestalt des Raumes als unangenehm empfunden wird, kann in einem lebendigen Raum ein gegenteiliges Urteil gefällt werden. Der in den untersuchten Räumen recht kurze Nachhall wird ja tatsächlich von der Lehrpersonen und auch vom Musiklehrer für den Normalunterricht nicht als unangenehm empfunden. Auf der anderen Seite findet man offenbar in anderen Klassenzimmern bei kurzen oder zu kurzen Nachhallzeiten eher negative Rückmeldungen.

8 Fazit

Die Ausführungen in diesem Aufsatz sind nicht als Aufforderung zu verstehen, Klassenzimmer grundsätzlich mit sehr kurzer Nachhallzeit zu planen oder nur die Decke als Absorber zu auszubilden.

Es wird auch keinesfalls die Meinung vertreten, dass sich bei einer "guten und lebendigen" architektonische Gestaltung automatisch eine gute Akustik einstellt - eine Haltung die hie und da von Architekten vertreten wird.

Am Fallbeispiel der Rudolf Steiner Schule Zürcher Oberland können folgende Punkte heraus gearbeitet werden:

- Mommertz [18] hat gezeigt, dass in erster Priorität eine optimale Nachhallzeit eingehalten werden muss um eine gute Sprachverständlichkeit und damit gute Bedingungen für das Lernen zu gewährleisten. Eine optimale Anordnung der Absorber ist allerdings vorteilhaft. Flatterechos werden vermieden und allgemein wird die Sprachverständlichkeit noch etwas verbessert. Die aus verschiedenen Gründen gewählte einseitige Anordnung der Absorption in den hier untersuchten Klassenzimmern ist deshalb nicht a priori nachteilig. Wichtig ist, dass Flatterechos durch den unregelmässigen Grundriss der

Klassenzimmer und die Möblierung vermieden wurden.

- Kurze Nachhallzeiten in Klassenzimmern sind notwendig für das Lernen und Lehren. Noch kürzere Nachhallzeiten sind gemäss den heutigen Erkenntnissen für Hörbehinderte und das Erlernen von Fremdsprachen ideal.
- Die Nachhallzeit in den untersuchten Klassenzimmern liegt zwar an der unteren Grenze. Dies führt aber nicht zu negativen Äusserungen der Lehrkräfte. Im Gegenteil, die Akustik in den Klassenzimmern wird für Sprache als 'deutlich', 'klar', 'angenehm' und 'müheless' beurteilt.
- Auf der Basis der Idee des Zusammenwirkens aller Sinne und der Wirkung der lebendigen Architektur ist es klar, dass z. B. in Bezug auf das Spracherlernen im Klassenzimmer nicht nur die Akustik beurteilt wird, sondern auch die anderen Dimensionen der Wahrnehmung des architektonischen Raumes. Die Aussagen der Lehrkräfte der Schule sind unbedingt auch in diesem Sinn zu interpretieren.



Abbildung 12: Pause auf dem Sonnenplatz, Rudolf Steiner Schule Zürcher Oberland

Literatur

- [1] D. MacKenzie, S. Airey, 'Classroom Acoustics. A research project. Summery report.' Heriot-Watt University, Edinburgh, 1999. Deutsch:
- [2] Ph. Leistner, J. Hellbrück, M. Klante, J. Seidel, L. Weber, *Lärm in der schulischen Umgebung und kognitive Leistungen bei Grundschulkindern*, Forschungsbericht FZKA-BWPLUS; Dezember 2006
- [3] M. Oberdörster, G. Tiesler, *Akustische Ergonomie in der Schule*, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 1071, 2006
- [4] L. Huber, J. Kahlert, M. Klante (Hrsg.), 'Die akustisch gestaltete Schule'. Vandenhoeck & Ruprecht, 2002
- [5] H.-G. Schönwälder, 'Lärm und Stress in der Schule. Ursachen, Folgen, Reaktionsmöglichkeiten', Schulmanagement Handbuch 113 Leipzig 2006
- [6] M. Oberdörster, G. Tiesler, *Lärm in Bildungsstätten*, Initiative Neue Qualität der Arbeit, 2006. <http://www.inqa.de>
- [7] M. Klante, *Auswirkungen der akustischen Bedingungen in Schulräumen auf Kinder. Ergebnisse aus Labor- und Felduntersuchungen*, Lärmbekämpfung 2 (2006), S. 41 - 46
- [8] Schrickler, R. 'Kreative Raum-Akustik für Architekten und Designer', DVA, Stuttgart 2001
- [9] R. Walden, S. Böttelbach, 'Schulen der Zukunft'. Asanger verlag, 2002
- [10] M. Dederich, 'In den Ordnungen des Leibes. Zur Anthropologie und Pädagogik von Hugo Kükelhaus'. Münster: Waxmann 1996
- [11] H. Kükelhaus, 'Unmenschliche Architektur. Von der Tierfabrik zur Lernanstalt'. Frankfurt am Main 1978
- [12] O. Offermann 'Akustik in Schulgebäuden, aufgezeigt am Beispiel der Rudolf Steiner Schule Zürcher Oberland', ETH Zürich, Studiengang Architektur, Vorlesung Raumakustik, unveröffentlicht 2005
- [13] K. Eggenschwiler 'Room Acoustics of Classrooms with different shapes', Euronoise 2006 Tampere, Finland
- [14] Acoustical Society of America, ASA. 'Classroom acoustics. A resource for creating learning environments with desirable listening conditions'. Acoustical Society of America, 2 Huntington Quadrangle Melville, NY 11747, 2000
- [15] DIN 18041:2004-05, 'Hörsamkeit von kleinen und mittleren Räumen.' Beuth Verlag GmbH
- [16] SGA-SSA, 'Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache', Schweizerische Gesellschaft für Akustik SGA, 2004 <http://www.sga-ssa.ch>
- [17] SIA 181:2006, 'SIA 181: Schallschutz in Hochbau', Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Zürich.
- [18] E. Mommertz, K. Drescher, G. Engel 'Untersuchungen zur Anordnung schallabsorbierender Oberflächen in Klassenräumen', DAGA 2002, Bochum, Fortschritte der Akustik - DAGA '02, p. 588-589.
- [19] Walter Känel - Ein Werkbericht, Mensch + Architektur Heft 55/56, 09/2006
- [20] R. Steiner 'Freie Schule und Dreigliederung', Aufsätze über die Dreigliederung des sozialen Organismus und zur Zeitlage 1915-1921, Dornach 1961
- [21] A. Dreier, D. Kucharz, J. Ramseger, B. Sörensen, 'Grundschulen planen, bauen, neu gestalten. Empfehlungen für kindgerechte Lernumwelten', Frankfurt am Main 1999
- [22] E. Mommertz 'Akustische Planung von Schulhausneubauten an ausgewählten Beispielen.', DAGA 2005, München, Fortschritte der Akustik - DAGA '05, p. 563-564
- [23] M. Meis et. al. 'Subjektive Einschätzung der Sprechstimme und der Hörumgebung in universitären Seminarräumen', DAGA 2005, München, Fortschritte der Akustik - DAGA '05 S. 441-442.
- [24] R. Steiner 'Zur Sinneslehre', Acht Vorträge. Ausgew. u. hrsg. v. Christoph Lindenberg, Verlag Freies Geistesleben, 2004
- [25] W. Schneider 'Sinn- und Un-Sinn. Architektur und Design sinnlich erlebbar gestalten' Kkonradin Verlag 1995
- [26] H. Kükelhaus, R. zur Lippe 'Entfaltung der Sinne. Ein Erfahrungsfeld zur Entfaltung der Sinne', Frankf./M 1982
- [27] A. Kohlrausch 'Audio Visuelle Interaktion', DAGA 2002, Bochum Fortschritte der Akustik - DAGA '02, S. 24 - 25
- [28] M. Haverkamp 'Synästhetische Wahrnehmung und Design.', Jahrestagung der Gesellschaft für Musikforschung, Robert Schumann Hochschule Düsseldorf, 25.-28. 9. 2002. Veröffentlicht in: Kalisch, Volker (Hrsg.): Synästhesie in der Musik - Musik in der Synästhesie. Essen: Verlag Die Blaue Eule, 2004
- [29] Abou-Elleal, Esam Ragab Esmail 'Raumakustik - Interaktion visueller und auditiver Wahrnehmungen.' Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2003
- [30] <http://www.multisense.info/> 'Online community for researchers studying multisensory topics' 4. April 2006; übererarbeite/aktualisiert 29. März 2007