

# **Heriot-Watt University Edinburgh**

## **Akustik in Klassenzimmern** Ein Forschungsprojekt

Zusammenfassender Bericht  
1999

David J. Mac Kenzie  
und  
Sharon Airey

Heriot-Watt University  
Department of Building Engineering and Surveying  
(Institut für Gebäudetechnologie und –begutachtung)  
Riccarton, Edinburgh, EH14 4AS

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	4
<b>Kapitel 1</b>	
<b>Einführung</b>	5
1.1 Allgemeines	5
1.2 Ziele der Studie	5
1.3 Kinder mit einer Hörschwäche	6
1.4 Definition des Begriffes „Sprachverständlichkeit“	6
1.5 Faktoren, die die Sprachverständlichkeit beeinflussen	7
1.6 Die Auswirkungen schlechter Raumakustik	8
1.7 Die „School Premises Regulations“ (Verordnung für Schulbauten)	8
1.8 Die „Guidelines For Environmental Design in Schools“ (Richtlinien für Raumgestaltung in Schulen)	9
1.9 Andere Bewertungsgrößen	10
<b>Kapitel 2</b>	
<b>Projektskizze</b>	11
2.1 Einführung	11
2.2 Basisentscheidungen zum Forschungsprojekt	11
2.3 Akustische Messungen	13
2.4 Hintergrund-Geräuschpegel (L)	13
2.5 Nachhallzeit (T)	15
2.6 Sprachverständlichkeit	16
2.7 Maximum Length Sequence System Analyzer (MLSSA)	18
2.8 Der „Word Intelligibility by Picture Identification“-Test (WIPI) (Wortverständlichkeit durch Bildidentifikation)	19
<b>Kapitel 3</b>	
<b>Ergebnisse</b>	21
3.1 Die verschiedenen akustischen Bedingungen	21
3.2 Hintergrund-Geräuschpegel	22
3.3 Frequenzanalyse der gemessenen Hintergrund-Geräuschpegel	23
3.4 Nachhallzeiten	24
3.5 Sprachverständlichkeit	25
3.6 „Tote Winkel“ in Klassenräumen	25
3.7 Wortverständlichkeit durch Bildidentifikation	26
3.8 Fallstudien	26

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Kapitel 4</b>	
<b>Statistische Erhebung zum Klassenzimmer     als Lern- und Arbeitsumfeld</b>	26
4.1 Einführung	26
4.2 Bedeutung des Fragebogens	27
4.3 Verteilen und Einsammeln der Fragebögen	27
4.4 Interpretation der Ergebnisse	27
4.5 In die Erhebung involvierte Schulen	28
4.6 Das Alter der Schulen	28
4.7 Die Innenausstattung der Schulen	29
4.8 Die jeweilige Umgebung der Schulen	29
4.9 Merkmale der Klassenräume	29
4.10 Deckenhöhe	29
4.11 Akustik	30
4.12 Leistungsfähigkeit von Schülern und Lehrern	31
4.13 Erörterung	31
<b>Kapitel 5</b>	
<b>Erörterung und Schlussbetrachtung</b>	33
5.1 Erörterung der Ergebnisse	33
5.2 Schlussbetrachtung	35
5.3 Danksagung	36
Anhang A - Andere Bewertungsgrößen	37
Anhang B - „The Acoustics of Rooms for Speech“	37
Anhang C - Wortverständlichkeit durch Bildidentifikation	38
Anhang D - „Tote Winkel“ in Klassenräumen	38
Anhang E - Fallstudien	40

## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht wurde zusammengestellt durch David J. MacKenzie und Sharon Airey vom „Department of Building Engineering and Surveying“ (Institut für Gebäudetechnologie und –begutachtung) der Heriot-Watt University in Edinburgh, Schottland. Er enthält die Darstellung eines Forschungsprojektes zum Thema Akustik in Klassenräumen, welches zwischen April 1998 und Mai 1999 durchgeführt wurde.

Der Bericht ist das Resultat von Forschungstätigkeiten, die gefördert wurden durch den „Engineering and Physical Science Research Council“ (Forschungsrat für Technik und Naturwissenschaften) (1996 - 1998) und die Firma Ecophon (1998 - 1999). Die Forscher befassten sich eingehend mit den Auswirkungen schlechter akustischer Gegebenheiten in Klassenzimmern. Über 70 Unterrichtsräume von Grundschulen\* in Schottland, England und Nordirland wurden untersucht.

Eine Reihe von objektiven und subjektiven Tests wurde durchgeführt, und zwar sowohl in leeren als auch in besetzten Klassenzimmern sowie jeweils vor und nach der Installation von Ecophon Akustikdecken.

Schülerinnen und Schüler sowie Lehrerinnen und Lehrer\*\* bildeten einen wichtigen Bestandteil der Studie. Während der Tests waren sie vollständig eingebunden in die Datenerhebungsmaßnahmen, und ihre Kommentare wurden sorgfältig notiert.

Diese Arbeit stellt das Problem schlechter Akustik in Klassenräumen heraus, worüber in der nationalen Presse und in anderen Medien vielfach berichtet wurde. Die Sprachverständlichkeit erwies sich in diversen Klassenzimmern als mangelhaft, was auf einen außerordentlich hohen Hintergrund-Geräuschpegel und lange Nachhallzeiten zurückzuführen ist. Die Ergebnisse der Studie haben deutlich gezeigt, dass das Problem gelöst werden kann, indem die Unterrichtsräume mit den richtigen Materialien ausgestattet werden.

---

\*Anmerkung: Die britischen „primary schools“ umfassen die Altersgruppe zwischen 5 und 11 Jahren.

\*\* Anmerkung: Zur besseren Lesbarkeit des Textes wird in der Folge darauf verzichtet, sowohl die männliche als auch die weibliche Form zu nennen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Klassen aus Schülerinnen wie Schülern bestanden, und dass die Mehrheit des involvierten Lehrpersonals weiblichen Geschlechts war.

# **1 Einführung**

## **1.1 Allgemeines**

Die meisten Menschen, sei es in Großbritannien, Europa oder irgendwo anders auf der Welt, verbringen einen bestimmten Teil ihres Lebens in der Schule. Ob dies eine glückliche Zeit ist oder nicht, darüber ließe sich sicherlich streiten. Erziehung und Ausbildung sind ein Teil unseres täglichen Lebens, ungeachtet des Landes, in dem wir uns aufhalten.

Jede Schule kann in verschiedene Bereiche aufgliedert werden. Der vorliegende Bericht konzentriert sich auf den wahrscheinlich wichtigsten Bereich einer jeden Schule - das Klassenzimmer. Das Klassenzimmer ist der Raum, in dem die meisten Kinder den größten Teil ihrer Zeit verbringen, wenn sie in der Schule sind. Collins Wörterbuch der englischen Sprache definiert es wie folgt: „Ein Raum, in dem Klassen unterrichtet werden, vor allem in Schule oder College.“<sup>(1)</sup> Eine Klasse ist dabei eine Gruppe von Menschen, welche zum Zwecke des Unterrichts zusammengeführt werden.

Besonders für kleine Kinder ist das Klassenzimmer ein wichtiger Raum; die meisten werden ihn für den Rest ihres Lebens in Erinnerung behalten. An Grundschulen ist es normalerweise üblich, dass die Schüler das ganze Jahr über hauptsächlich einen einzigen Raum benutzen, während weiterführende Schulen (secondary schools) oft dadurch gekennzeichnet sind, dass bestimmte Räume für bestimmte Schulfächer zur Verfügung stehen, so dass die Schüler alle ein bis zwei Stunden den Klassenraum wechseln. Die Untersuchungen, auf denen dieser Bericht basiert, wurden in den Klassenräumen von Grundschulen durchgeführt. Die Mehrheit der Schulen befindet sich im näheren Umkreis von Edinburgh, einige wenige liegen in Irland und England. Das Milieu in einem Klassenzimmer muss sowohl Lehr- als auch Lernzwecken dienen. Dieses interne Umfeld umfasst zwar eine große Vielzahl verschiedener Aspekte, doch konzentriert sich der vorliegende Bericht einzig auf die Erforschung des Themas Akustik in Klassenzimmern.

## **1.2 Ziele der Studie**

Die Ziele der Studie wurden wie folgt definiert:

- a. Ziel 1: Untersuchung des Einflusses der Nachhallzeit auf die Akustik in Klassenzimmern;
- b. Ziel 2: Untersuchung des psychologischen Einflusses von übermäßigem Lärm im Klassenzimmer auf Grundschüler;
- c. Ziel 3: Untersuchung des psychologischen Einflusses von übermäßigem Lärm im Klassenzimmer auf Grundschullehrer;
- d. Ziel 4: Untersuchung der Auswirkungen von übermäßigem Lärm auf die Unterrichtsgestaltung.

### 1.3 Kinder mit einer Hörschwäche

Im Laufe der Entwicklung eines Kindes werden Informationen über die Welt, in der es lebt, mittels der Sinnesorgane aufgenommen und durch das Gehirn verarbeitet. Diesen Vorgang nennt man Lernen. Einer der wichtigsten Sinne, das Gehör, versorgt das Kind mit neuen Begrifflichkeiten und neuem Vokabular. Das Hören und das Sprechen ermöglichen es dem Heranwachsenden, mit anderen in Kontakt zu treten und eine Sprache auszubilden, mittels derer es argumentieren, hinterfragen und lernen kann.

Jedoch leiden, wie Fiellau-Kikolajsen 1983 feststellte, bis zu 95% aller Kinder im Laufe ihrer ersten 10 Lebensjahre an Erkrankungen des Mittelohrs (2). Die meisten solcher Hörbeeinträchtigungen sind nur temporär, aber die Problematik bleibt oft unerkannt. Ein Lehrer stellt möglicherweise nicht fest, welche Kinder in seiner Klasse gut und welche nicht so gut hören können. Oder welche Kinder zwar hören, aber nicht verstehen können, z.B. aufgrund eines vorübergehenden Hörproblems. Husten und Erkältungen, die Hauptursachen für zeitweiligen Hörverlust, sind unter Schulkindern weit verbreitet, und Hörprobleme tauchen gerade in dem Alter oft auf, welches für die Entwicklung eines Kindes entscheidend ist, nämlich während der Grundschuljahre.

Neben einer Anzahl von hörenden Kindern, die unter einer zeitweiligen Verschlechterung des Gehörs leiden, lassen sich in normalen Schulklassen unter Umständen auch Kinder mit ernsteren, dauerhaften Hörbeeinträchtigungen verschiedenster Art finden. Die britische Ausbildungsverordnung (Education Act) von 1981 (3) konstatiert, dass behinderte Kinder nicht vom normalen Unterricht in den sogenannten „mainstream schools“ ausgeschlossen werden dürfen. Infolgedessen wurden und werden mehr und mehr hörgeschädigte Kinder - teils mit Hörgeräten - in normale Klassen integriert und gemeinsam mit gesunden Kindern in normalen Klassenzimmern unterrichtet. Viele dieser Klassenzimmer wurden ursprünglich nicht unter dem Gesichtspunkt einer guten Akustik gebaut. Daher können Lärm und eine schlechte Sprachverständlichkeit für bestimmte Kinder deutliche Lernhindernisse bedeuten.

### 1.4 Definition des Begriffes „Sprachverständlichkeit“

Dieser Begriff ist bereits einige Male aufgetaucht. In jedem Klassenzimmer, genauer gesagt in jedem Raum, in dem Menschen gesprochener Sprache folgen wollen, stellt die Sprachverständlichkeit einen sehr wichtigen Parameter dieses Raumes dar. Was also bedeutet der Ausdruck? Sprachverständlichkeit kennzeichnet den 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. Dies wird in einem der nachfolgenden Abschnitte noch näher erörtert. Im Unterricht sollten nicht nur die Kinder deutlich hören, was der Lehrer sagt, sondern der Lehrer muss auch verstehen, was die Kinder, z.B. als Antwort auf eine zuvor gestellte Frage, äußern.

In einem kürzlich erschienenen Artikel (26) wurden Definitionen zu den folgenden Termini vorgestellt:

- a. Klarheit;
- b. Hörbarkeit;
- c. Verständlichkeit

- Klarheit: die Eigenschaft von Lauten, die es dem Hörer ermöglicht, die bedeutungstragenden Komponenten voneinander zu unterscheiden;
- Hörbarkeit: die Eigenschaft von Lauten, die es ermöglicht, sie zwischen anderen Lauten herauszuhören;
- Verständlichkeit: das Maß des inhaltlichen Anteils einer sprachlichen Botschaft, der korrekt verstanden wird.

Klarheit + Hörbarkeit = Verständlichkeit

### **1.5 Faktoren, die die Sprachverständlichkeit beeinflussen**

In einem Klassenzimmer gibt es eine Vielzahl von Faktoren, die die Sprachverständlichkeit beeinflussen können. Einige sind von geringerer, andere von größerer Bedeutung. Die letztgenannten finden sich in Abbildung 1.1.

Die Nachhallzeit: Mit Nachhallzeit bezeichnet man die Zeit, in der ein Schallpegel um 60dB abnimmt. Der Wert der Nachhallzeit wird in Sekunden angegeben und er hängt von den Oberflächen in einem Raum ab. Je höher die Schallabsorption durch diese Oberflächen ist, desto geringer ist die Nachhallzeit.

Die Geometrie des Raumes: Viele der älteren Klassenzimmer sind rechteckig, wobei sich das Lehrerpult in der Regel an einer Stirnseite des Raumes befindet. Demgegenüber haben die Klassenräume in moderneren Schulen oft ganz verschiedene Formen, sowohl hinsichtlich des Grundrisses als auch im Querschnitt. So kann die Decke beispielsweise nach einer Seite ansteigend sein. Die Platzierung des Lehrers, also der Ort, an dem er sich während des größten Teils des Unterrichts aufhält, ist in Bezug auf die Form des Raumes von entscheidender Bedeutung.

Das Verhältnis von Sprachsignal (Signal) zu Geräuschpegel (Rauschen): Hier geht es um die Relation zwischen der Stärke des sprachlichen Signals (also der Stimme des Lehrers) und dem übrigen Geräuschpegel (also dem Hintergrundlärm) im Klassenzimmer. Je geringer die Differenz zwischen diesen beiden Pegeln ist, desto schwieriger wird es für die Schüler, das gesprochene Wort herauszuhören und zu verstehen. Das empfohlene Verhältnis Signal - Rauschen liegt bei +15dB. Das bedeutet, die Stimme des Lehrers sollte um mindestens 15dB lauter sein als die Hintergrundgeräusche.

Der Hintergrund-Geräuschpegel: Damit bezeichnet man das Geräuschniveau, welches im Klassenzimmer infolge des ganz normalen täglichen Schulbetriebes existiert.

Die Qualität der Sprachverständlichkeit in einem Klassenraum hängt also von einer Reihe von Faktoren ab. Wenn man einen dieser Faktoren verändert, so kann dies die Sprachverständlichkeit möglicherweise verbessern. Dies muss aber nicht zwangsläufig der Fall sein.

## **1.6 Die Auswirkungen schlechter Raumakustik**

Yacullo und Hawkins (4) untersuchten den Einfluss von Nachhall und Lärm auf die Wortidentifikation. Die Forscher präsentierten 32 normal hörenden Kindern im Alter von 8-9 Jahren Wörter in Räumen mit Nachhallzeiten von 0,0 Sek. und 0,8 Sek. sowie einem Signal-Rauschen-Verhältnis von +2dB und +6dB. Es wurde festgestellt, dass der Nachhall die durchschnittliche Sprachverständlichkeit um 41,1% reduziert hat. Bei dem geringeren Verhältnis von Sprachsignal zu Hintergrundgeräusch sank der Wert der Sprachverständlichkeit um 27,4%. Mit der Yacullo/Hawkins-Studie wird die Nachhallzeit als die schädlichste Einflussgröße in Bezug auf die Sprachverständlichkeit in Klassenräumen herausgestellt.

Eine andere umfassende Studie, die 1997 (5) vorgelegt wurde, beleuchtet den bisherigen Forschungsstand und stellt die Ergebnisse einer aktuellen Untersuchung vor. Der Report befasst sich mit der nachteiligen Wirkung des Abstandes zwischen Sprecher und Hörer sowie mit der Verschleierung sprachlicher Laute durch hohe und niedrige Frequenzen. Außerdem gibt er einen Überblick über frühere Arbeiten zur gemeinsamen Wirkung von Nachhallzeit und Hintergrundgeräuschen. Die Erkenntnisse von Finitzo-Heiber (6) werden besprochen und die Wirkung von Nachhallzeit und Geräuschpegel auf normal hörende und hörgeschädigte Kinder wird entsprechend Tabelle 1.1 präsentiert.

Viele Studien haben sich mit den Auswirkungen von Lärm auf den Menschen befasst, und in verschiedenen Forschungsberichten wurde festgestellt, dass weltweit eine große Anzahl von Klassenzimmern über eine schlecht Akustik verfügt. Einige Forscher haben die möglichen Auswirkungen auf Schüler und Lehrer erörtert. Als Hauptursachen für schlechte Sprachverständlichkeit wurden starke Hintergrundgeräusche und lange Nachhallzeiten identifiziert. Jedoch befassen sich nur wenige Arbeiten mit etwaigen Unterschieden zwischen leeren und voll besetzten Klassenzimmern.

## **1.7 Die „School Premises Regulations“ (Verordnung für Schulbauten)**

Die nachfolgende Erklärung aus der britischen Verordnung über Schulbauten erschien in den vom „Department for Education and Employment“ (Ministerium für Erziehung und Beschäftigung - DfEE) 1997 herausgegebenen „Guidelines For Environmental Design in Schools“ (Richtlinien für Raumdesign in Schulen), auch bekannt als „Building Bulletin 87“: „Jeder Raum oder Gebäudeteil in einer Schule muss mit solchen akustischen Merkmalen ausgestattet sein und über eine solche Schalldämmung verfügen, wie sie für den normalen Gebrauch der Räume angemessen sind.“ Dies ist eine überaus interessante Erklärung, die sorgfältig berücksichtigt werden sollte, wann immer es um die Planung oder Renovierung von Klassenzimmern geht.



## **1.8 Die „Guidelines For Environmental Design in Schools“ (Richtlinien für Raumdesign in Schulen)**

Diese Richtlinien, die vom DfEE 1997 herausgegeben wurden, und die auch unter der Bezeichnung „Building Bulletin 87“ bekannt sind, ersetzen das sogenannte „Building Bulletin 17“, die „Guidelines For Environmental Design and Fuel Conservation in Educational Buildings“ (Richtlinien für Raumdesign und Energieeinsparungen in Unterrichtsgebäuden), deren zweite Auflage 1981 erschienen war (9).

Tabelle 1.2 zeigt einen Auszug zum Thema Geräuschpegel. Es geht um Richtwerte für ein akzeptables Maß an Hintergrundgeräuschen in bestimmten Räumen. Zu beachten ist, dass die empfohlenen Werte für das Unterrichten hörgeschädigter Kinder wenigstens um 10dB unter denen für normal hörende Kinder liegen.

In Tabelle 1.3 werden die minimalen Schallisierungswerte aufgezeigt, die bei aneinander angrenzenden Räumen für verschiedene Situationen empfohlen werden. Um diese Tabelle anzuwenden muss geprüft werden, ob die nebeneinander liegenden Räume ein hohes oder ein eher niedriges Toleranzniveau in Bezug auf Lärm haben. So ist z.B. bei einem Raum mit starker Geräuschentwicklung neben einem anderen mit einem geringen Toleranzniveau eine Zwischenwand mit guten Schallisierungseigenschaften erforderlich. Je geringer die in der Tabelle angegebenen Werte sind, desto schlechter ist die Schalldämmung von Wand oder Decke. Je höher die Werte, desto besser ist die Isolierung.

Auch hier gelten wieder Sonderwerte für das Unterrichten hörgeschädigter Kinder.

### **1.8.1 Schallregulierung**

Der während des Unterrichts in einen Klassenraum von außen eindringende Schall, der verschiedenste Ursachen haben kann, sollte die in Tabelle 1.2 angegebenen Werte keinesfalls übersteigen. Der Geräuschpegel in einem Unterrichtsraum sollte niemals höher sein als maximal 40dB.

In diesem Abschnitt der „Guidelines“ wird auch erwähnt, dass in Klassenzimmern oder anderen Schulräumen mit mechanischer Belüftung die durch diese Ventilationssysteme entstehenden Hintergrundgeräusche dazu dienen können, Lärm aus der äußeren Umgebung zu überdecken. Außerdem wird es als vorteilhaft erachtet, wenn der Hintergrund-Geräuschpegel in einem Klassenraum nicht unter 30dB sinkt. Im Falle von Lärm durch Trittschritte könnten diese durch das Verlegen von Teppichen oder elastischem Vinyl reguliert werden.

### **1.8.2 Nachhallzeit**

Tabelle 1.4 zeigt die empfohlenen Nachhallzeiten für unbesetzte Räume in Grundschulen. Die Werte für das Unterrichten hörgeschädigter Kinder sollten um mindestens 0,2 Sekunden unter den angegebenen Standardwerten liegen.

## **1.9 Andere Bewertungsgrößen**

Anhang A stellt einige andere Bewertungsgrößen vor, die bei der Planung und Gestaltung von Schulen und Klassenräumen berücksichtigt werden können.

Anhang B gibt verschiedene Aspekte zur Raumplanung aus der Publikation „The Acoustics of Rooms for Speech“ (Die Akustik von Räumen für verbale Kommunikation) wieder, 1976 herausgegeben vom „Building Research Establishment“ (Bauforschungsinstitut).

## 2 Projektskizze

### 2.1 Einführung

Vor Beginn der Ecophon-Studie gab es in diesem Bereich Ausgangsstudien, welche im Rahmen eines Projektes durchgeführt wurden, das vom EPSRC gefördert wurde und vom 01.01.1996 bis zum 31.03.1998 andauerte. Projektleiter war David J. MacKenzie, unterstützt wurde er von Professor Bob Craik (co-researcher) und von Sharon Airey (researcher for the project).

### 2.2 Basisentscheidungen zum Forschungsprojekt

#### 2.2.1 Auswahl der Klassenräume

In Anbetracht der vorliegenden Erkenntnisse wurde eine Reihe von Entscheidungen hinsichtlich des Forschungsprojektes gefällt, das im Jahr 1996 begann. Dazu gehörten:

a. Nur Grundschulen sollten an der Studie teilnehmen.

Diese Entscheidung basierte darauf, dass, wenn die Akustik in Klassenräumen wirklich so schlecht sein sollte wie vielfach berichtet, dies einen negativen Einfluss gerade auf die kleinen Kinder haben würde, auf diejenigen, die ihre Schullaufbahn gerade erst beginnen.

b. Klassen mit teilweise hörgeschädigten Kindern sollten an der Studie teilnehmen.

Die Auswahl der für die Studie geeigneten Schulen wurde durch das St. Giles Centre for Hearing Impaired Children (Zentrum für hörgeschädigte Kinder) in Edinburgh vorgenommen. Dieses Zentrum überwacht die Ausbildung hörbehinderter Kinder in der Region Lothian in Schottland. Das Hauptkriterium für die Auswahl einer Schule bestand darin, dass mindestens ein Kind mit Hörproblemen in eine Standardschulklasse integriert war. In den meisten Fällen verfügte keiner der betroffenen Klassenräume über eine spezielle akustische Ausstattung, was in erster Linie auf fehlendes Geld und fehlende fachliche Beratung zurückzuführen war. Die minimale Ausstattung, die vorhanden war, beschränkte sich meist auf Auslegeware sehr verschiedenen Ausmaßes.

Einige weitere Schulen in Großbritannien wurden ausgewählt, um hier die akustischen Verhältnisse vor und nach der Installation von abgehängten Akustikdecken bzw. akustischen Decken- und Wandpaneelen zu testen. Die Aberdeen School For The Deaf (Schule für Taube) wurde dabei als besonders geeignet angesehen für den Vergleich mit anderen Schulen. Diese Schule war nach speziellen Kriterien gebaut worden, um das akustische Unterrichten tauber Schüler zu ermöglichen. Alle Schüler tragen Hörhilfen am Körper und eine hervorragende Akustik ist wesentlich für das Hörempfinden der Kinder und den Erfolg des Unterrichts. Die Schule wurde vor 12 Jahre entworfen und gebaut, und eine gute Akustik war eines der Hauptanliegen der Planer und Architekten.

c. Es sollten Klassenzimmer aus einer Vielzahl verschiedener Schulen getestet werden.

Bei den Schulen handelte es sich durchgehend um Grundschulen (primary schools), abgesehen von zwei Sonderschulen (special needs schools), in denen sowohl Grundschüler als auch ältere Schüler unterrichtet wurden. Die große Bandbreite der ausgewählten Schulen umfasste:

- städtische und ländliche;
- alte und moderne;
- eingeschossige und mehrgeschossige;
- einige wenige provisorische Klassenzimmer (vergleichbar mit sog. Wohncontainern).

d. Die Studie sollte sich auf normale Standardschulklassen konzentrieren.

Über 60 Unterrichtsräume in insgesamt 13 verschiedenen Schulen in Großbritannien wurden getestet. Die untersuchten Räume waren in erster Linie Klassenzimmer, aber es gab auch Hallen, Sporthallen, Büchereien und allgemeine Arbeitsbereiche. Nachfolgend eine Aufgliederung der getesteten Räume:

- 83% Standardklassenräume und 17% Sonderklassenräume (special needs);
- 80% in sich geschlossene und 20% offene Klassenräume (open-plan classrooms);
- 83% ohne akustische Behandlung und 17% mit einem gewissen Maß an akustischer Ausstattung, meist Akustikdecken (der Absorptionsklasse A entsprechend EN ISO 11654).

e. Die Klassenzimmer sollten sowohl in leerem als auch in voll besetztem Zustand getestet werden.

Dies war eine bedeutende Entscheidung, die grundlegende Auswirkungen auf die verwendeten Messmethoden im Rahmen der Studie hatte. Die meisten Grundschulklassen bestehen aus bis zu 30 Kindern. Dies ist das empfohlene Maximum; natürlich können es auch weniger sein. Obwohl sich eine beträchtliche Anzahl von Studien dem leeren Klassenzimmer widmet, haben sich nur sehr wenige Forscher an voll besetzte Klassenräume herangewagt. Dies ist verständlich, da der Gedanke entmutigend sein kann, korrekte akustische Messungen in einem Raum mit 30 kleinen Kindern vornehmen zu wollen, die man mal bitten muss, ganz leise zu sein und ein anderes Mal, sich in gewöhnlicher Lautstärke miteinander zu unterhalten. Da jedoch Klassenzimmer Lernräume sind, in denen sich während der Schulstunden die volle Besetzung von Schülern, Lehrern und etwaigen Assistenten befindet, ist es wichtig herauszufinden, wie die Räume im Rahmen des für sie vorgesehenen normalen Gebrauchs funktionieren.

Abgesehen von den Sonderschulen, an denen Schüler verschiedener Altersstufen unterrichtet wurden, waren alle an der Studie beteiligten Schüler zwischen 5 und 11 Jahre alt. Die Verteilung nach Geschlechtern war mehr oder weniger ausgeglichen. Neben den Schülern waren in den Klassen natürlich auch Lehrer und zum Teil Assistenten zugegen, jedoch in der Regel nicht mehr als zwei Erwachsene gleichzeitig. Das Lehrpersonal war überwiegend weiblich und umfasste verschiedene Lebensalter.

Alle Versuchspersonen trugen Ohrenschützer, wenn der Geräuschpegel als unangenehm erachtet wurde, z.B. während der Messung von Nachhallzeiten.

## 2.3 Akustische Messungen

Es gab eine ganze Reihe akustischer Parameter, die in den leeren und besetzten Klassenräumen gemessen wurden. Dabei handelte es sich um:

### Objektive Messungen

- a. Hintergrund-Geräuschpegel (Background Noise Level - BNL)
- b. Nachhallzeit (Reverberation Time - RT)
- c. Sprachverständlichkeit:
  - Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index - STI)
  - Prozentualer Konsonantenverlust (Percentage Articulation Loss of Consonants - %ALcons)

### Subjektive Messungen

- a. Wortverständlichkeit durch Bildidentifikation (Word Intelligibility by Picture Identification - WIPI)

## 2.4 Hintergrund-Geräuschpegel (BNL)

Einer der nachteiligsten Faktoren hinsichtlich der Sprachverständlichkeit in jeglichem Raum ist der Hintergrund-Geräuschpegel. Dies ist der Schalldruckpegel innerhalb eines Raumes. Er kann sich aus permanenten, beständigen sowie sich verändernden, schwankenden Geräuschpegeln zusammensetzen. In einem typischen Klassenzimmer unterscheidet man 3 Geräuschquellen:

- a. Klassenraumgeräusche - Geräusche, die innerhalb des Klassenzimmers entstehen;
- b. Interne Geräusche - Geräusche, die innerhalb des Schulgebäudes aber außerhalb des Klassenzimmers entstehen;
- c. Externe Geräusche - Geräusche, die von außerhalb in das Schulgebäude eindringen.

In einem Klassenzimmer gibt es in der Regel deutlich mehr Geräuschquellen als in sonstigen Räumen, die zum Hören und Sprechen vorgesehen sind. Nur selten gibt es Lehrer, die nicht über extremen Lärm an ihrem Arbeitsplatz klagen. Je lauter die Hintergrundgeräusche in einem Klassenraum, desto schlechter ist das Verhältnis von Sprachsignal zu Geräuschpegel. Es wurde bereits erwähnt, dass für gutes Hörverstehen die Relation Signal - Rauschen mindestens 10-15dB(A) betragen sollte. Das bedeutet, bei einem Geräuschpegel von 60dB(A) im Klassenzimmer muss der Lehrer mit mindestens 70-75dB(A) sprechen, wobei der negative Effekt der Distanz zwischen Sprecher und Hörer noch nicht berücksichtigt wurde. Wenn die Relation von Sprachsignal zu Hintergrundlärm abnimmt, verschlechtert sich auch die Sprachverständlichkeit.

### **Typische Geräuschquellen in einem Klassenzimmer**

Tabelle 2.1 zeigt die hauptsächlichen Geräuschquellen auf, die sich auf einen Klassenraum auswirken können.

## Messmethoden

Es gibt viele Möglichkeiten, den Hintergrund-Geräuschpegel zu messen. Die für diese Studie ausgewählten Methoden sind:

a. Kontinuierlicher Hintergrund-Geräuschpegel (LAeq,15min)  
(Continuous Background Noise Level)

Diese Messungen wurde durchgeführt mithilfe eines speziellen Messgerätes (B & K Precision Integrating SLM, Type 2222). Im Laufe des Schultages wurden jeweils über einen Zeitraum von 15 Minuten Lesungen aufgezeichnet. Dabei befand sich das Geräuschpegel-Messgerät in Kopfhöhe eines sitzenden Menschen an einem zufällig ausgewählten Platz im Klassenzimmer. Auf diese Weise sollte die für ein in der Klasse sitzendes Kind typische Geräuscherfahrung wiedergespiegelt werden. Die üblichen Geräusche des Schulalltages wurden bei den Messungen berücksichtigt, so auch die Stimmen von Lehrpersonal und Schülern. Diese Messungen wurden vor der Publikation des „Building Bulletin 87“ (1997) vorgenommen, in dem empfohlen wird, den Wert LAeq über den Zeitraum von einer Stunde aufzunehmen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Resultate ähnlich ausgefallen wären.

b. Momentaner Hintergrund-Geräuschpegel (dB(A))  
(Instantaneous Background Noise Level)

Wo immer es möglich war, wurden Aufzeichnungen in den leeren oder besetzten Klassenräumen gemacht. Sechs Messungen wurden an zufällig ausgewählten Positionen im leeren Klassenzimmer vorgenommen. Anschließend wurde der Mittelwert errechnet. Auch beim besetzten Klassenzimmer wurden entsprechende Messungen durchgeführt und Mittelwerte für drei verschiedene Bedingungen festgestellt:

1. Alle Kinder und der Lehrer waren still;
2. Nur die Schüler sprachen;
3. Nur der Lehrer sprach.

Bedingung 1 wurde festgelegt um eine Vorstellung davon zu erhalten, wie hoch der Hintergrund-Geräuschpegel im Raum ist, wenn zwar alle Personen anwesend sind, jedoch schweigen. Bedingung 2 sollte normale Arbeitsbedingungen während des Schulalltags simulieren. Die Kinder wurden angehalten, sich in ihrer normalen „Klassenzimmer-Lautstärke“ zu unterhalten, d.h. in einem Pegel, der für den Lehrer akzeptabel sein würde. Der Lehrer bestätigte, dass die entstandenen Geräuschpegel typisch für eine Gruppenarbeitssituation (mit der Erlaubnis, sich in normaler Lautstärke zu unterhalten) in der Klasse seien. Unter Bedingung 3 sollte festgestellt werden, in welchem Bereich die Sprachsignalstärke der Stimme des Lehrers liegt. Diese konnte anschließend mit dem Geräuschpegel in der Klasse (Bedingung 2) verglichen werden.

Von dem verwendeten Messgerät (B & K 2231 Modular Precision SLM) aus wurden die gemessenen Geräuschpegel in einen Computer übertragen. Anschließend wurden die Werte unter Zuhilfenahme des Softwareprogrammes MLSSA (Maximum Length Sequence System Analyser) analysiert. Der Schallpegelmessers wurde linear gesetzt und das PC-Programm wertete die Informationen mit einer "A Gewichtung" aus, die für das menschliche Hörvermögen repräsentativ ist. Jedoch wurden dabei weder das breitere Hörspektrum von normal hörenden Kindern noch dasjenige von Kindern mit Hörschäden oder Hörhilfen berücksichtigt. Die gesamte technische Ausstattung wurde vor und nach den Tests kalibriert.

## 2.5 Nachhallzeit (RT)

Mit Nachhall bezeichnet man die Fortdauer von Schall in einem abgeschlossenen Raum, nachdem die Schallquelle versiegt ist. Nachhall wird quantifiziert als die Zeit, in der der Schalldruckpegel um 60dB abnimmt. Wie bereits erwähnt, sinkt bei steigender Nachhallzeit die Sprachverständlichkeit in einem Raume.

Der Nachhall steht in direkter Relation zu i) dem Raumvolumen und ii) der Menge schallabsorbierender Materials im Raum. Klassenzimmer neigen dazu, widerhallend zu sein, da sie oft ein relatives großes Raumvolumen besitzen. Ältere Schulen, besonders jene aus dem 19. Jahrhundert, haben normalerweise hohe Decken wegen ihrer erhöhten oder ansteigenden Sitzreihen. Außerdem glaubte man, hohe Decken würden die Infektionsgefahr für Schüler und Lehrer mindern, da die Krankheitserreger zur Decke hochsteigen würden.

Die sehr hohen, verputzten Decken, wurden zum Teil mit schräg abfallenden Winkeln als gestalterisches Element versehen. Aber nicht nur altmodische Klassen haben ein großes Volumen. Modernere Räume sind ebenfalls oft hoch gebaut, um eine geräumige, luftige Atmosphäre zu schaffen. Die Größen der in der Studie untersuchten Räume reichen von 118 m<sup>3</sup> bis 831 m<sup>3</sup>. Das umfasst Klassenzimmer ebenso wie kleine Computerräume und große Sporthallen. Die vorgestellten Ergebnisse beziehen sich jedoch ausschließlich auf Klassenzimmer.

Unabhängig von Alter oder Gebäudestil, befindet sich in den meisten Klassenräumen eine Vielzahl schallreflektierender Oberflächen. Die Decken bestehen oft aus angestrichenem Putz oder Gipsplatten; das gleiche gilt für die Wände. Fenster sind in der Regel groß und nur selten mit Vorhängen versehen. In diesen großen Räumen mit vielen reflektierenden Flächen ist die Nachhallzeit erfahrungsgemäß wesentlich länger als es der Sprache zuträglich ist. Oft hängen die Lehrer zwar Mal- und Bastelarbeiten der Kinder an die Wände, doch werden diese Dekorationen normalerweise nur in Augenhöhe der Kinder angebracht. Sie haben kaum eine Auswirkung auf die Nachhallzeit.

Eines der Hauptziele dieser Studie lag darin, die Unterschiede zwischen leeren und voll besetzten Klassenräumen zu untersuchen. Bei der Planung von Klassenzimmern spielt die Nachhallzeit oft keine große Rolle. Wenn sie jedoch tatsächlich einkalkuliert wird, so geschieht dies in der Regel für leere Klassenräume. Nur wenige Arbeiten befassen sich bislang mit der Absorptionswirkung des menschlichen Körpers und der dadurch möglicherweise veränderten Nachhallzeit. Daher wurden im Rahmen dieser Studie sooft wie möglich die Nachhallzeiten sowohl in leeren als auch in besetzten Klassenzimmern gemessen.

Die Nachhallzeiten wurden ermittelt mit dem B & K Building Acoustics Analyser, Type 4418. Die Geräuschquelle bestand aus einer B & K Sound Source, Type 4224, aufgenommen wurde mit dem 1/2" B & K Condenser Microphone, Type 4134. Die Nachhallzeiten wurden gemessen bei 1/3

Oktaven, zwischen 100 und 4000 Hz. Die Frequenzen an den jeweiligen Enden dieses Spektrums liegen außerhalb der normalen Sprachfrequenzen, doch sollte festgestellt werden, ob es in diesen äußeren Frequenzbereichen etwaige ungewöhnliche Nachhallzeiten gab, die unter Umständen für Kinder oder Träger von Hörgeräten nachteilig sein könnten. Beide Gruppen decken eine größere Bandbreite von Frequenzen ab als normal hörende Erwachsene.

Die Nachhallzeiten wurden an 5-6 zufällig ausgewählten Plätzen in jedem Klassenzimmer erfasst, und die durchschnittliche Zeit für jede Frequenz wurde ermittelt. Die Ergebnisse wurden für alle Frequenzbereiche festgehalten. Das DfEE empfiehlt, die Mittelwerte für 500 und für 1000Hz zu errechnen und diese als repräsentativ für die Nachhallwerte der Räume zu definieren, da diese Bandbreite den durchschnittlichen Frequenzwerten der menschlichen Sprache entspricht. Andere Quellen beschränken sich überwiegend auf die Ergebnisse bei einer Frequenz von 500Hz. Während der Ermittlung der Nachhallzeiten trugen alle Anwesenden zur Sicherheit Ohrenschützer.

## **2.6 Sprachverständlichkeit**

### **2.6.1 Sprachübertragungsindex (STI)**

Der Sprachübertragungsindex wurde bereits von vielen Forschern als Richtschnur für die Sprachverständlichkeit im Klassenzimmer verwendet. Er misst die Reduktion eines sprachlichen Signals auf dem Weg vom Sender zum Empfänger. Dabei berücksichtigt er solche beeinträchtigenden Faktoren wie den Nachhall und die Hintergrundgeräusche im Raum. Die Messung wird in sieben Oktaven durchgeführt, beginnend bei 125Hz bis hin zu einschließlich 8000Hz, sowie bei 14 Modulationsfrequenzen. Die modulierte Übertragungsfunktion, die in jeder Oktave gemessen wird, wird in einen Wert zwischen 0 und 1 umgewandelt, wobei 0 anzeigt, dass nicht das Geringste verstanden wird, und 1 für ein 100%iges Verstehen aller Sprachsilben steht. Tabelle 2.2 zeigt eine Skala, bei der den numerischen Werten zwischen 0 und 1 die verschiedenen Grade der Sprachverständlichkeit zugeordnet sind.

Da bei einem Wert von 0,451-0,599 („befriedigend“) oder darunter bereits bis zu 40% der Sprachinhalte verloren gehen oder falsch verstanden werden, kann man durchaus davon ausgehen, dass diese Werte nicht angemessen für einen Klassenraum sind. Daher wurde für diese Studie festgelegt, dass erst Räume mit Werten von 0,6 oder mehr als für Sprache geeignet eingestuft werden. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde also die Skala aus Tabelle 2.2 zugrunde gelegt, obwohl es auch andere Bewertungsskalen gibt (10).



## 2.6.2 Prozentualer Konsonantenverlust (%ALcons)

Der prozentuale Konsonantenverlust ist ein Anzeiger für die Sprachqualität, die an einem bestimmten Punkt im Raum empfangen werden kann. Es handelt sich um eine objektive Messung des Prozentsatzes an Konsonanten, die bei der Sprachübertragung verloren gehen oder falsch verstanden werden. Somit ist es ein hervorragendes Maß für die Sprachverständlichkeit. Tabelle 2.3 bildet eine Skala ab, in der die empfohlenen %ALcon-Werte in Relation gesetzt werden zu verschiedenen Hörbedingungen.

Die empfohlenen %ALcons für hervorragendes Hörverstehen in Räumen, in denen Kinder gesprochene Sprache verstehen sollen, sollten 5% nicht übersteigen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es keine DfEE-Richtlinien zu den Bereichen %ALcons oder STI gibt.

Sprache besteht aus einer Mischung von Vokalen und Konsonanten, wobei die Vokale starke Selbstlaute sind und die Konsonanten als Mitlaute den Hauptteil der Sprache ausmachen. Wenn Schüler aufgrund einer schlechten Raumakustik nicht in der Lage sind, dem zu folgen, was gesagt wird, kann das tiefgreifende Auswirkungen auf ihre Lernfähigkeit haben. Die folgenden Beispiele verdeutlichen den 100%igen Vokalverlust und den 100%igen Konsonantenverlust in verschiedenen Sätzen.

### 100% Vokalverlust

\_ll\_ K\_nd\_r m\_ss\_n \_n d\_\_ Sch\_l\_ g\_h\_n.

Fügt man die Vokale wieder hinzu, heißt das: Alle Kinder müssen in die Schule gehen.

Die meisten Menschen werden sich die Bedeutung des oben genannten Satzes trotz fehlender Vokale zusammenreimen können. Hört ein kleines Kind Entsprechendes im Klassenzimmer, so ist es vielleicht ebenfalls in der Lage, das Gesagte zu verstehen, weil es sich die fehlenden Elemente anhand der gehörten Teile herleiten kann.

### 100% Konsonantenverlust

I\_ ei\_i\_e \_a\_e\_ä\_u\_e\_e \_\_\_\_\_ ei\_e\_a\_e\_a\_e A\_u\_i\_.

Mit Konsonanten wird aus diesem Satz: In einigen Klassenräumen herrscht eine mangelhafte Akustik.

In diesem Fall ist es außerordentlich schwierig, die fehlenden Bestandteile zu erraten. Daher muss man davon ausgehen, dass bei einem 100%igen Konsonantenverlust, z.B. beim Vorlesen im Klassenzimmer, die Sprache völlig unverständlich wird.

## 2.7 Maximum Length Sequence System Analyzer (MLSSA)

In dieser Studie wurden die objektiven Messungen von STI und %ALcons mit Hilfe der MLSSA-Methode generiert. MLSSA ist ein Softwareprogramm, das das Prinzip der modulierten Transferfunktion verwendet, um STI und %ALcons zu berechnen. Außerdem kann es die RASTI-Werte (Rapid Speech Transmission Index) sowie die Werte für männliche und weibliche Stimmen errechnen.

Obwohl im Laufe dieses Forschungsprojektes eine Vielzahl von Daten erhoben wurden, entschied man sich, nur die Ergebnisse von STI und %ALcons im Detail zu betrachten, da diese generell als die verlässlichsten und repräsentativsten Werte für die tatsächliche akustische Qualität eines Raumes gelten. Die verfügbaren zusätzlichen Daten können für weitere Studien nützlich sein, z.B. über das Verhältnis zwischen den verschiedenen Arten von STI-Messungen.

Die MLSSA-Software lief auf einem DAN-PC, der mit einem Sony-Lautsprecher verbunden war. Das Programm regulierte die Messungen, indem es Impulse generierte, die den Frequenzbereichen menschlicher Sprache entsprachen und eingebettet waren in sogenanntes weißes Rauschen. Der Schall wurde empfangen mit einem B & K (Bruel & Kjaer) 2231 sound level meter, der als Mikrophon und Verstärker diente und den aufgenommenen Schall zwecks Analyse zum Computer zurückleitete. Der Lautsprecher befand sich in Kopfhöhe des Lehrers an einem Platz im Klassenzimmer, der vom Lehrer als sein typischer Aufenthaltsort während des Unterrichts angegeben wurde. Dies wurde als sehr wichtig erachtet und für jeden einzelnen Klassenraum vorab überprüft.

Der Lautsprecher wurde auf 67,5dB (A) für eine Entfernung von 1 Meter vom Gesicht des Lehrers eingestellt. Dieser Lautstärkepegel war das Ergebnis sorgfältiger Prüfung und wurde als repräsentativ für die Stimme des Lehrers definiert, bezogen auf Situationen, in denen er sich an die gesamte Klasse wendet. Das Mikrophon wurde in Ohrhöhe der sitzenden Kinder platziert, und zwar an jedem einzelnen Schülerplatz, sowohl bei leerem als auch bei voll besetztem Klassenzimmer. Dabei wurde sehr darauf geachtet, das Mikrophon so zu halten, dass es nicht den am Ohr des Kindes eintreffenden Schall beeinflusste.

Es ist bekannt, dass sich während des Unterrichts sowohl Lehrer als auch bisweilen Schüler durch den Raum bewegen. Doch wäre es unmöglich gewesen, zu jeder möglichen Sprecher- und Hörerposition die dazugehörigen Messungen durchzuführen. Aufgrund zeitlicher Beschränkungen wurde außerdem an jedem Platz nur eine einzige Messung vorgenommen. Nur wenn ein Platz ungewöhnliche Werte aufwies, wurden zum Teil weitere Versuche durchgeführt. Für jeden einzelnen Platz wurden STI- und %ALcon-Werte aufgenommen. Daraus wurden die durchschnittlichen STI- und %ALcon-Werte für jeden Raum errechnet.

## **2.8 Der „Word Intelligibility by Picture Identification“-Test (WIPI) (Wortverständlichkeit durch Bildidentifikation)**

Obwohl der Sprachübertragungsindex als verlässliche und genaue Größe zur Bestimmung der Sprachverständlichkeit gilt, wurde es für die Zwecke dieser Studie als notwendig erachtet, zusätzlich einen Weg zu finden, die subjektive Einschätzung der Sprachqualität zu bewerten. Soweit man weiß, spiegeln die objektiven Tests zur Sprachverständlichkeit nur den Standpunkt Erwachsener wider, ohne zu berücksichtigen, dass verschiedene akustische Faktoren auf Kinder eine ganz andere Wirkung haben können. Es ist bekannt, dass das kindliche Gehör eine größere Spanne von Frequenzen umfasst als das eines Erwachsenen. Außerdem werden Kinder durch Nebengeräusche leichter gestört und abgelenkt.

Es gibt verschiedene subjektive Tests zur Sprachverständlichkeit, wobei der „Fairbanks' Rhyme Test“ (11) wahrscheinlich der bekannteste ist. Jedoch sind diese Tests in der Regel sehr komplex und damit zu schwierig für Kinder im Grundschulalter. Es wurde also ein Test benötigt, der keine Lese- oder Schreibfertigkeiten abverlangt, da viele der involvierten Schüler gerade erst am Anfang ihrer Schullaufbahn standen. Außerdem musste in diesem Test eine sofortige Reaktion auf den Stimulus erfolgen, um zu vermeiden, dass das Ergebnis von der Gedächtnisleistung abhängig würde.

Verschiedene Test wurden hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit geprüft, und schließlich fiel die Entscheidung auf den „Word Intelligibility by Picture Identification“-Test (WIPI). Ursprünglich war er entwickelt worden, um bei einzelnen Kindern das Ausmaß eines Hörverlustes festzustellen. Er konnte jedoch ohne Probleme modifiziert werden, um zu ermitteln, wie viel Sprache eine Gruppe von Kindern in einer bestimmten Umgebung versteht. Da der Test aus den USA stammte, waren einige Begriffe und Bilder für die britischen Schulkinder ungeeignet. Vor Testbeginn wurde der Original-WIPI unterschiedlichen Gruppen von Lehrern und Schülern präsentiert. Alle Begriffe und Bilder, die regelmäßig falsch verstanden oder ausgelassen wurden, wurden aus den Testbögen entfernt.

Der modifizierte WIPI besteht aus 20 Bögen mit jeweils sechs Bildern, die für sechs phonetisch ähnliche Wörter stehen (siehe Anhang C). Zu jeder Gruppe von sechs Wörtern wird ein Satz präsentiert, in dem eines der Zielwörter enthalten ist. Das Kind muss nun das entsprechende Wort heraushören und das dazugehörige Bild ankreuzen. Da das Ziel dieser Studie darin bestand, festzustellen, wie gut ein Kind im Klassenzimmer die gesprochene Sprache vor dem Hintergrund verschiedener anderer Geräusche hören kann, wurde der modifizierte WIPI-Test unter drei verschiedenen Bedingungen durchgeführt.

- Kontrollierte Bedingungen: Die Testsätze wurden den Probanden via Kopfhörer übermittelt, wodurch etwaige Störungen durch Hintergrundgeräusche völlig ausgeschaltet werden konnten. Die Sätze wurden mit einem Schallpegel von 67,5dB(A) präsentiert, gemessen am Ausgang des Kopfhörers.
- Raumwirkungs-Bedingungen: Die Testsätze wurden frei im voll besetzten Klassenraum präsentiert, jedoch unter vollkommener Stille der anwesenden Personen. Die Sätze wurden in einem Meter Entfernung zum Lautsprecher mit einem Pegel von 67,5dB(A) echofrei wiedergegeben.
- Hintergrundgeräusch-Bedingungen: Die Sätze wurden unter gleichen Bedingungen wie bei 2) präsentiert, jedoch sorgten andere Kinder im Raum durch Unterhaltung in normaler Lautstärke für einen gewissen Geräuschpegel. Die entstandene Lautstärke erwies sich als relativ konstant im gesamten Raum, mit Werten zwischen 61dB(A) und 65dB(A), oft abhängig vom Alter der anwesenden Kinder. Ältere Kinder sind in der Regel lauter.

Die Kinder wurden für den Test an zufällig gewählten Standorten platziert, wobei immer acht Schüler gemeinsam getestet wurden. Sie wurden angehalten, nur auf ihre eigenen Unterlagen zu schauen und keine Ergebnisse von anderen zu übernehmen. Andernfalls würden sie das Experiment verlassen müssen. Während des Tests wurden sie sorgfältig überwacht, um die Einhaltung der Regeln sicherzustellen. Den Probanden wurde außerdem gesagt, dass sie, falls sei ein Wort überhaupt nicht hören konnten, die entsprechende Seite freilassen sollten. Auf diese Weise konnte später unterschieden werden zwischen Wörtern, die korrekt verstanden wurden, solchen die falsch verstanden und jenen, die gar nicht gehört wurden.

Die Sätze wurden von einer zuvor aufgenommen Frauenstimme via CD vorgetragen. Die Anlage, eine Stereoeinheit von Phillips, befand sich in Kopfhöhe des Lehrers und an einem Standort, der zuvor vom Lehrer als sein Hauptaufenthaltort während des Unterrichts festgelegt worden war. Für die oben beschriebenen kontrollierten Bedingungen wurden Junior-Kopfhörer verwendet, die über einen Verteiler mit der Stereoeinheit verbunden waren.

Für jeden Test wurde der Prozentsatz richtiger Antworten festgelegt. Außerdem wurde für jeden Raum zum Vergleich der drei verschiedenen Bedingungen eine Skala mit den jeweiligen Mittelwerten erstellt.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Die verschiedenen akustischen Bedingungen**

Die meisten Klassenräume, die im Laufe des Projektes untersucht wurden, verfügten nicht über eine spezielle akustische Ausstattung. Jedoch ergab sich die Möglichkeit, einige Räume diesbezüglich nachzubehandeln. Dort wurden sowohl vor als auch nach der Installation von Akustikelementen die entsprechenden Messungen durchgeführt.

#### **3.1.1 Unbehandelte Klassenräume**

Die Mehrheit aller Grundschulklassenzimmer in Großbritannien verfügt generell nicht über eine spezielle akustische Ausstattung. Dies hängt ab von dem Zweck der Räume, dem Alter der Schule und davon, ob in jüngerer Zeit Renovierungsarbeiten durchgeführt wurden.

Typische Materialien in unbehandelten Klassenzimmern sind:

- Wände: Putz, Gipsplatten, Wandtafeln, harte Türoberflächen, Glas;
- Fußböden: Vinyl, versiegelte Holzfußböden, ggf. in einigen Bereichen Teppichböden, welche in der Regel hart sind;
- Decken: Putz, Gipsplatten;
- Möbel: Hartholz oder laminierte Oberflächen.

#### **3.1.2 Behandelte Klassenräume**

In einigen Schulen fanden sich Klassenräume mit einem gewissen Maß an akustischer Ausstattung. So z.B.:

- Wände: Gipsplatten, Schallabsorptionspaneele, akustische Platten; stoffüberzogene Türen; Fenstervorhänge;
- Fußböden: Auslegeware - abhängig von der betroffenen Altersgruppe;
- Decken: Gipsplatten, Schallabsorptionspaneele; abgehängte Akustikdecken;
- Möbel: ggf. eine Art von akustischer Behandlung für Tischoberflächen.

Im Rahmen dieser Studie bestand die akustische Ausstattung der Klassenzimmer in der Installation von akustischen Wand- oder Deckenpaneelen, die entweder in ein abgehängtes Deckensystem integriert oder direkt auf die vorhandene Oberfläche montiert wurden.

## **3.2 Hintergrund-Geräuschpegel**

### **3.2.1 Kontinuierlicher Hintergrund-Geräuschpegel (LAeq,15min)**

Die LAeq,15min-Geräuschpegel, wie sie aufgrund des ganz normalen Schulbetriebes entstehen, wurden für fast alle Klassenzimmer ermittelt. Ein Beispiel für eine solche Messung in einer Gemeindegrundschule findet sich in Abb. 3.1. Die Geräuschpegel rangierten zwischen 49dB(A) und 85dB(A), wobei die Pegel innerhalb der jeweils untersuchten Räume insgesamt relativ konstant waren. Bei einem leeren Klassenzimmer fiel der Pegel auf ca. 15-20dB(A), je nachdem, um was für einen Raum es sich handelte. Der besonders hohe Pegel gegen 15:15 Uhr lässt sich dadurch erklären, dass zu dieser Zeit der Gesangsunterricht stattfand.

Beachten Sie, dass der „Guide For The Environmental Design in Schools“ empfiehlt, dass der maximale Hintergrund-Geräuschpegel (LAeq,1hr) in einem Klassenzimmer 40dB nicht übersteigen sollte. Wenn hörgeschädigte Kinder in die Klasse integriert sind, sollte der Wert sogar noch 10dB darunter liegen. Obwohl die hier vorgenommenen Messungen nur eine Zeitspanne von 15 Minuten umfassen (LAeq, 15min), ist dennoch deutlich ersichtlich, dass die vorgefundenen Werte die empfohlenen Richtlinien weit übersteigen.

### **3.2.2 Momentaner Hintergrund-Geräuschpegel (dB(A))**

Die Mittelwerte des momentanen Hintergrund-Geräuschpegels aus einer Reihe von Klassenräumen werden in Tabelle 3.1 wiedergegeben.

Die hier erzielten Messergebnisse entsprechen den Werten, die sich aus den Dauermessungen im Laufe des normalen Schultages ergeben haben. Die Werte in den akustisch ausgestatteten Räumen liegen im Schnitt um 7 bis 9dB(A) unter denen in den unausgestatteten Räume.

Der Geräuschpegel in einem Unterrichtsraum hängt offenbar von einer Vielzahl verschiedener Faktoren ab, wie z.B.:

- Die grundlegende Bauart und Gestaltung der Schule. Einige Klassenräume hatten beispielsweise einen direkten Zugang zur zentralen Halle, die im Laufe des Tages für Aktivitäten wie Gesangsübungen und Sport verwendet wurde;
- Die Belegkapazität des Raumes und das Alter der Schüler. Jüngere Kinder produzierten im Laufe des Tages für längere Zeiträume mehr Lärm, während ältere Schüler lauter waren, wenn sie sich unterhielten;
- Die Lage der Schule und ihrer diversen Räumlichkeiten im Hinblick auf Straßenverkehrslärm und andere externe Schallquellen, wie z.B. Rasenmäher, Luftverkehr u.a.m.;
- Verschiedene Konstruktionselemente, wie beispielsweise Leichtbaudächer mit Metallverkleidung oder aber traditionelle Steinbauweise;
- Variierende Schallisierungseigenschaften der Trennwände und Fußböden;
- Geräuschquellen innerhalb des Raumes, u.a. Heizlüfter und Computer.

Einige Geräuschpegel waren das Ergebnis unzureichender Gebäudeinstandhaltung. Viele Klassenzimmer verfügten über leichtgängige Türen mit defektem Schließmechanismus. Würde man diese durch ein schwereres Türsystem mit intakter Mechanik ersetzen, könnte das den Pegel der von außen eindringenden Geräusche auf ein akzeptables Maß senken. Weitere störende Lärmquellen waren außerdem surrende Beleuchtungselemente und laute Heizungen.

### **3.3 Frequenzanalyse der gemessenen Hintergrund-Geräuschpegel**

Die Hintergrundgeräuschmessungen in den untersuchten Klassenzimmern wurden eingehend analysiert; für die verschiedenen Situationen konnte jeweils ein Frequenzspektrum entwickelt werden.

#### **3.3.1 In sich abgeschlossene Klassenräume: behandelt und unbehandelt**

Die Abbildungen 3.2 und 3.3 zeigen jeweils die Spektren der durchschnittlichen Schalldruckpegel, die in den Klassenräumen unter zwei verschiedenen Raumbedingungen ermittelt wurden. Abb. 3.2 gibt die Werte für konventionelle, in sich abgeschlossene Klassenzimmer ohne spezielle akustische Ausstattung (=unbehandelt) wieder, während in Abb. 3.3 die Ergebnisse für konventionelle, in sich abgeschlossene Klassenräume mit akustischer Ausstattung in Form von zusätzlichen Absorptionselementen (=behandelt) zu finden sind.

Beide Abbildungen geben vier verschiedene Datenerhebungssituationen wieder, nämlich:

1. redende Schüler;
2. redender Lehrer;
3. schweigende Schüler;
4. leerer Raum.

Wie erwartet, ergibt sich durch die sich in der Klasse unterhaltenden Kinder der höchste Geräuschpegel für das gesamte Frequenzspektrum. Es ist interessant, dass die Sprachfrequenzen, die zwischen 125 Hz und 2000Hz liegen, dabei deutlich erkennbar sind. Das gleiche gilt für das Spektrum der Stimme des Lehrers, welche aber nicht ganz so laut ist wie die Schüler. Wenn die Schüler schweigen, ist der resultierende Geräuschpegel natürlich deutlich niedriger, wie Abb. 3.2 zeigt. Dabei fällt das Niveau bei steigender Frequenz rapide ab, was für Hintergrund-Geräuschpegel normal ist. Am leisesten ist es selbstverständlich im unbesetzten Klassenzimmer.

Abb. 3.3 gibt dieselben vier Situationen wieder, doch diesmal für akustisch behandelte Klassenräume. Die Graphik zeigt deutlich, dass die Schalldruckwerte niedriger liegen, die Formen der Kurven im Spektrum jedoch sehr ähnlich sind, mit Ausnahme der Kurve für den leeren Raum, wo sich im niederen Frequenzbereich eine Senkung offenbart. Die Abbildungen 3.4 bis 3.7 zeigen jeweils den Vergleich zwischen behandelten und unbehandelten Räumen für alle vier Messbedingungen.

### 3.4 Nachhallzeiten

#### 3.4.1 Durchschnittliche Nachhallzeiten

Die durchschnittlichen Nachhallzeiten für verschiedene Klassenzimmer werden in Tabelle 3.2 dargestellt.

Wie erwartet, hängt die Nachhallzeit nicht nur vom Raumvolumen ab, sondern auch von Bauart und Gestaltung des Klassenzimmers. Einige Räume waren vollständig mit Auslegeware versehen, andere hatten nur teilweise mit Teppichboden ausgelegte Bereiche, wo sich die Kinder zum Geschichten erzählen u.ä. einfanden, wiederum andere hatten Vinylfußböden und ein paar waren mit nackten Holzfußböden ausgestattet.

Die Fensterbekleidung reichte von völlig fehlenden Vorhängen, was für die Mehrzahl der untersuchten Klassenräume galt, über Netzvorhänge bis hin zu schweren Vorhängen oder Rollos. Bis auf diejenigen mit spezieller akustischer Ausstattung verfügten nur sehr wenige Klassenzimmer über irgendeine Art von Deckenverkleidung. Die Möbel reichten von traditionellen Holztischen und -stühlen bis hin zu moderner Plastikmöblierung. Alle diese Faktoren haben einen Einfluss auf die Nachhallzeit in einem Raum. Die in den akustisch speziell ausgestatteten Klassenzimmern gemessenen Werte ergaben RT-Größen zwischen 0,3 und 0,6 Sek. Dies entspricht den Empfehlungen der DfEE-Richtlinien sogar für solche Klassen, in denen auch hörgeschädigte Kinder unterrichtet werden.

#### 3.4.2 Frequenzanalyse der gemessenen Nachhallzeiten

Abb. 3.8 zeigt das Frequenzspektrum für vier verschiedene Messungen der Nachhallzeiten:

1. unbehandelte leere Klassenzimmer;
2. unbehandelte voll besetzte Klassenzimmer;
3. behandelte leere Klassenzimmer;
4. behandelte voll besetzte Klassenzimmer.

Zu Erinnerung: Unbehandelte Klassenzimmer hatten keine spezielle akustische Ausstattung, während behandelte Klassenzimmer mit Ecophon Deckenelementen der Absorptionsklasse A oder mit Ecophon Akustik-Wandpaneelen ausgestattet wurden. Dies geschah je nach den Gegebenheiten vor Ort entweder in Form einer abgehängten Akustikdecke oder durch Aufbringen der Paneele direkt auf die vorhandene Oberfläche.

Von den vier oben beschriebene Situationen ergab sich bei 1) die längste Nachhallzeit und bei 4) - mit einer Klassenbesetzung von bis zu 30 Schülern - die kürzeste.

Abb. 3.9 vergleicht die ermittelten RT-Werte der behandelten leeren bzw. besetzten Klassenzimmer mit den empfohlenen Werte aus dem „Building Bulletin 87“, wo konstatiert wird, dass die Nachhallzeiten in Klassenräumen, in denen auch hörgeschädigte Kinder unterrichtet werden, zwischen 0,3 und 0,6 Sek. liegen sollten. Das Bulletin definiert dabei, dass diese Werte für den mittleren Frequenzbereich, also zwischen 500 und 1000Hz, gelten sollen.

Abb. 3.10 zeigt die Nachhallzeiten für verschiedene andere Räumlichkeiten in Schulen.



## **3.5 Sprachverständlichkeit**

### **3.5.1 Sprachübertragungsindex**

Der STI wurde für den Sitzplatz jedes einzelnen Schülers in der Klasse ermittelt, sowohl bei leerem als auch bei besetztem Klassenraum. Jedem Platz wurde so ein Wert zwischen 0 und 1 und die dazugehörige qualitative Bewertung zwischen „schlecht“ und „hervorragend“ zugewiesen. Bislang konnten nur die STI- und %ALcon-Werte für die besetzten Klassenzimmer näher betrachtet und zur Präsentation aufbereitet werden. Da aber jeder Test vollständig durchgeführt wurde, kann man bereits jetzt sagen, dass die ermittelten Werte für die besetzten Klassenzimmer generell unter denen der unbesetzten lagen, d.h. schlechter waren. Dies widerspricht einer Studie von Diaz (12), nach der die RASTI-Werte in belegten Räumen aufgrund der Verringerung der Nachhallzeiten besser waren.

Die mittleren STI-Werte der mit Schülern besetzten Klassenzimmer lassen sich Tabelle 3.3 entnehmen.

Einzig Räume mit einem mittleren Wert von 0.600 („gut“) oder darüber gelten als angemessen für die Hör- und Lernumgebungen von Kindern. Die meisten Klassenzimmer in dieser Studie werden diesen Anforderungen nicht gerecht, mit Ausnahme der akustisch speziell behandelten Räume. Die Ausstattung eines Unterrichtsraumes mit absorbierenden Materialien (z.B. Akustikplatten) verringert nicht nur den Hintergrund-Geräuschpegel und die Nachhallzeit, sondern verbessert auch die allgemeine Sprachverständlichkeit im Raum.

### **3.5.2 Prozentualer Konsonantenverlust**

Tabelle 3.4 beinhaltet den durchschnittlichen prozentualen Konsonantenverlust der gesamten getesteten Klassenzimmer.

Für Klassenräume wird heute ein Richtwert von nicht mehr als 5 %ALcons empfohlen. Dies gilt vor allem dann, wenn hörgeschädigte Kinder zum Klassenverband gehören. Anhand der Messwerte lässt sich feststellen, dass weder in sich geschlossene noch offene Klassenräume diesem Anspruch gerecht werden. Demgegenüber sind die Ergebnisse für die akustisch behandelten Räume mit Werten von 4,6% sehr zufriedenstellend. Sie erwiesen sich als hervorragend geeignet für Unterrichtszwecke.

## **3.6 „Tote Winkel“ in Klassenräumen**

Indem die %ALcons an jedem einzelnen Schülerplatz im Klassenzimmer gemessen wurden, ergab sich ein umfassendes Bild von der Schallverteilung im Raum. Bei den meisten war diese Verteilung in Ordnung, jedoch wurde offenbar, dass sich, in Abhängigkeit vom Raumquerschnitt, akustisch „tote Winkel“ ergeben können, die von niemandem als solche erkannt werden. Die Messungen haben ergeben, dass an diesen Stellen ein Konsonantenverlust von 100% möglich ist. Näheres hierzu wird in Anhang D ausgeführt.

### **3.7 Wortverständlichkeit durch Bildidentifikation**

Die Resultate aus diesem Testverfahren geben einen Eindruck davon, ob die Raumakustik wirklich Einfluss hat auf die Schüler, die in diesem Raum arbeiten sollen. Es ist ein subjektiver Test, bei dem die Schüler im Klassenzimmer bestimmte Aufgaben auszuführen haben. Es soll an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass die Tests im Rahmen dieser Studie nicht unter speziell für die Untersuchung geschaffenen Umständen durchgeführt wurden. Sie fanden in ganz normalen Schulen statt, in denen der ganz alltägliche Schulbetrieb ablief, und die Probanden waren die Schüler, die auch sonst in den ausgewählten Klassenräumen unterrichtet wurden. Die Ergebnisse aus der Anwendung des modifizierten WIPI-Tests müssen noch sorgfältig analysiert werden. Jedoch wurden die durchschnittlichen Werte für Räume mit und ohne Akustikausstattung bereits zusammengefasst. Sie werden in Tabelle 3.5 wiedergegeben.

Es ist offensichtlich, dass in den Fällen, in denen die die Testpersonen umgebenden Klassenkameraden miteinander sprachen, der Prozentsatz der Wörter, die korrekt verstanden wurden, deutlich abnahm. Auch hier schnitten akustisch behandelte Räume wieder besser ab als unbehandelte. Dies bedeutet also, dass eine Reduktion des Hintergrund-Geräuschpegels in einem Klassenzimmer die Arbeitsbedingungen dort verbessern kann.

Offenbar gibt es einen Trend, nach dem die WIPI-Werte den STI-Resultaten dahingehend folgen, dass in einem Raum, der einen hohen objektiven Sprachverständlichkeits-Wert erhält, auch beim subjektiven Test gute Ergebnisse erzielt werden. Die Reduktion des Geräuschpegels in einem Klassenzimmer, sei es durch die Installation abgehängter Akustikdecken oder andere Maßnahmen, wird mit Sicherheit ein verbessertes Arbeitsumfeld schaffen, von dem man hoffen darf, dass der Prozentsatz korrekter Antworten steigen wird. Dies ist ein höchst interessanter Test, der ohne Zweifel belegt, dass Hintergrundgeräusche die Konzentration junger Menschen in ihrer Arbeitsumgebung, dem Klassenzimmer, beeinträchtigen können.

### **3.8 Fallstudien**

Die Ergebnisse zweier Fallstudien werden in Anhang E aufgezeigt. Fallstudie 1 wurde an der Priory School in Tadley, Hampshire, England, und Fallstudie 2 an der Balgreen Primary School in Saughton, Edinburgh, Schottland, durchgeführt.

## **4 Statistische Erhebung zum Klassenzimmer als Lern- und Arbeitsumfeld**

### **4.1 Einführung**

Es wurde ein ausführlicher Fragebogen entworfen um die subjektiven Ansichten von Lehrern über die Auswirkungen der Gegebenheiten im Klassenzimmer auf sie selbst und auf ihre Schüler festzustellen.

Dieser Fragebogen sollte einer Reihe von verschiedenen Zwecken dienen:

## 4.2 Bedeutung des Fragebogens

Der Fragebogen wurde entwickelt, um

- ein subjektives Instrument zu haben, das hilft, die Ergebnisse der objektiven Erhebungen in einen größeren Zusammenhang zu stellen;
- einen Überblick über eine größere Anzahl von Schulen zu erhalten, mit dem Ziel festzustellen, ob die getesteten Schulen als typisch gelten können;
- einen Eindruck von der Zufriedenheit von Lehrern mit ihrer Arbeitsumgebung zu erhalten;
- sich ein Bild von den Lehrern zu machen, die in den während der Studie untersuchten Klassen unterrichteten;
- aus der Perspektive der Betroffenen etwas über die Auswirkungen der Akustik im Klassenzimmer auf sie selbst und ihre Schüler zu erfahren;
- Fragen zu stellen, die später in Relation gesetzt werden können zu anderen Fragen und Resultaten, mit dem Ziel, weitere Auswirkungen von Akustik festzustellen, z.B. im Hinblick auf Fehlzeiten von Lehrern;
- Problemfelder aufzudecken, die über die akustischen Messungen hinausgehen.

## 4.3 Verteilen und Einsammeln der Fragebögen

Insgesamt wurden 424 Fragebögen verteilt. Sie wurden persönlich übergeben an Rektoren oder stellvertretende Rektoren, mit der Bitte, sie an das Kollegium weiterzuleiten. Auf diesem Wege sollte das tatsächliche Ausfüllen der Bögen durch die Lehrer gefördert werden. Es wurde ein festes Datum für das spätere Einsammeln vereinbart. Eine Woche vor dieser Frist erhielten die Schulen Anrufe, um an das Datum zu erinnern und der für das Einsammeln verantwortlichen Person hierfür noch genügend Zeit zu geben. Schließlich wurden die vollständig ausgefüllten Fragebögen wieder persönlich abgeholt. Dabei blieben beim Zusammentragen aller Bögen die Schulen und die einzelnen Lehrer anonym.

## 4.4 Interpretation der Ergebnisse

Mit insgesamt 126 eingesammelten Fragebögen ergab sich eine Rückläuferquote von 29,7%. Dieses Ergebnis überstieg bei weitem die erwarteten 10%. Bei 2/3 der Schulen handelte es sich um Grundschulen (10 von 15), Grundschullehrer machten 58% aller Lehrer aus.

Aus den Fragebögen wurden Prozentwerte und Mittelwerte errechnet, anschließend wurden die Resultate anhand verschiedener statistischer Methoden analysiert. Hierbei fanden vor allem der „Mann-Whitney-Test“ und der „Kruskal-Wallis-Test“ Verwendung. Der Signifikanzwert wurde auf  $<0,05$  festgesetzt.

Der größte Prozentsatz der Lehrer gehörte der Altersgruppe 41-50 Jahre (38,4%) bzw. 51-60 Jahre (23,3%) an. Kein Lehrer in dieser Erhebung war älter als 60. Das Alter der Lehrer hatte keinen Einfluss auf ihre Antworten.

Die Mehrheit der Befragten gab an, Klassenlehrer (71,2%) oder Oberlehrer (13,7%) zu sein. Die übrigen waren Rektoren, stellvertretende Rektoren oder Assistenten. Im Hinblick auf Einschränkungen der Sinnesorgane zeigte sich, dass nur sehr wenige Lehrer unter Hörschäden litten (2,7%). Niemand trug ein Hörgerät. Eine große Anzahl jedoch gab an Sehhilfen zu tragen, nämlich 50,7% Brillen, 9,6% Kontaktlinsen und 5,5% beides. Das macht insgesamt 65,8%. Niemand antwortete mit „ja“ auf die Frage, ob etwaige körperliche Behinderungen vorlägen. Die Anzahl der hörgeschädigten Lehrer war zu gering, um die Gesamtergebnisse zu beeinflussen. Das Tragen von Sehhilfen hatte keinen Einfluss auf die gegebenen Antworten.

#### **4.5 In die Erhebung involvierte Schulen**

Nach Auskunft der Befragten umfassten die betroffenen Schulen eine Vielzahl verschiedener Typen, Baujahre und Lagen. Obwohl es sich bei den meisten um Grundschulen mit Schülern im Alter zwischen vier und 11 Jahren handelte, deckten doch eine ganze Menge nur einen Teil dieser Altersspanne ab. So gab es z.B. Vorschulen (infant schools) mit Schülern zwischen 4 und 7 Jahren oder Grundschulen (junior schools), wo Kinder von 7 bis 11 Jahren unterrichtet wurden.

Das Alter der Schulen war sehr verschieden, manche blickten sogar auf über 100 Jahre zurück. Eine so große Zeitspanne umfasst eine ganze Reihe von verschiedenen historischen und modernen Ansichten zu Pädagogik und Architektur, was sich im Design der Schulen deutlich widerspiegelt. Die Anzahl der Stockwerke variierte zwischen eingeschossig (38%), zweigeschossig (37%), dreigeschossig (22%) und vier- oder mehrgeschossig (3%). Im internen Bereich gab es zum größten Teil in sich abgeschlossene Klassenzimmer, die durch Korridore miteinander verbunden waren, aber auch einige offene Klassenräume (open-plan classrooms).

#### **4.6 Das Alter der Schulen**

Das Alter der Schulen hatte signifikante Bedeutung für verschiedene andere Faktoren. Die älteren Schulen waren seltener mit Teppichen ausgestattet ( $p=0,0003$ ) und die Decken waren in der Regel hoch ( $p=0,0186$ ). Neuere Schulen befanden sich eher in Wohngegenden oder ländlicher Umgebung als in städtischer ( $p=0,0003$ ) und in diesen neueren Schulen war das Vorhandensein von halboffenen oder offenen Klassenräumen wesentlich wahrscheinlicher ( $p=0,0012$ ). In neueren Schulen ist außerdem die Anzahl der Schüler pro Klasse höher ( $p=0,0175$ ).

---

#### **Fußnote:**

Der geringste Pegel der Verlässlichkeit liegt für einen Statistiker bei 5% bzw. 0,05. Das bedeutet, dass nur der zwanzigste Teil oder 5% auf Zufall zurückzuführen ist. Jeder Wert unter 0,05 wird somit als signifikant angesehen, und je geringer der Wert ist, desto signifikanter ist das Ergebnis, bis zu einer maximalen Signifikanz von 0,001. Weiteren Aufschluss über Tests und Methoden lassen sich jedem aktuellen Werk über Statistik entnehmen.

#### **4.7 Die Innenausstattung der Schulen**

Die interne Ausstattung der Schulgebäude hatte einen signifikanten Einfluss auf verschiedene andere Faktoren. Die Decken in moderneren, offener gestalteten Schulen waren niedriger ( $p=0,0106$ ) und waren eher in Form abgehängter Decken realisiert als in den traditionell gebauten Schulen ( $p=0,0032$ ). Die offenen Klassen umfassten mehr Schüler ( $p=0,0025$ ). Offen gestaltete Schulen waren jüngeren Datums und befanden sich häufiger in ländlichen oder Wohngegenden. Die Lehrer an solchen Schulen neigten eher dazu, Akustik als wichtigen Faktor im Hinblick auf die eigene Person anzusehen. Sie glaubten, Akustik spiele eine Rolle dabei, wenn sie unter Kopfschmerzen litten ( $p=0,0427$ ), und sie sahen einen Zusammenhang zwischen Akustik und der Leistungsfähigkeit ihrer Schüler ( $p=0,0165$ ).

#### **4.8 Die jeweilige Umgebung der Schulen**

Die Umgebung, in der sich eine Schule befindet, steht in engem Zusammenhang mit mehreren Faktoren. Schulen in städtischem Umfeld sind älter und eher in traditioneller Bauweise mit in sich geschlossenen Räumen gehalten. Sie haben seltener Auslegeware ( $p=0,0029$ ), abgehängte Decken ( $p=0,0101$ ) und Deckenverkleidungen ( $p=0,0035$ ), dafür verfügen sie häufiger über hohe Decken ( $p=0,0448$ ). In diesen Schulen gibt es eher krankheitsbedingte Abwesenheitstage bei den Lehrern ( $p=0,0463$ ).

#### **4.9 Merkmale der Klassenräume**

Das Maß, in dem Auslegeware in einem Klassenzimmer vorhanden ist, steht in Bezug zu anderen Faktoren. In Klassen mit Teppichen ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass auch abgehängte Decken vorhanden sind ( $P=0,0151$ ). Außerdem besteht hier eine Tendenz zu doppelt verglasten Fenstern ( $p=0,0540$ ). Lehrer, die in Räumen mit Auslegeware unterrichten, neigen seltener dazu zu glauben, dass ihre Arbeit mit verantwortlich ist für Probleme mit dem Hals ( $p=0,0318$ ). Darüber hinaus haben sie seltener Halsleiden ( $p=0,0675$ ), und sie neigen eher dazu, die Akustik in ihren Klassenzimmern als gut zu bewerten ( $p=0,0568$ ).

#### **4.10 Deckenhöhe**

Ebenso wie das Alter und die Ausstattung der Schulen ist die Deckenhöhe im Klassenzimmer signifikant verknüpft mit anderen Faktoren. Räume mit hohen Decken haben seltener eine Deckenverkleidung ( $p=0,0001$ ) oder abgehängte Decken ( $p=0,0021$ ). Die Lehrer in solchen Räumen neigen eher dazu, Halsprobleme auf ihren Beruf zurückzuführen ( $p=0,0074$ ) und leiden auch häufiger unter Problemen mit der Stimme und dem Hals ( $p=0,0261$ ).

## 4.11 Akustik

### Gesamtbewertung

Die Lehrer wurden gebeten, ihre Klassenzimmer hinsichtlich der Qualität der Akustik zu bewerten. Der größte Teil bezeichnete die Akustik als „befriedigend“. Diejenigen, die ihre Räume mit „mangelhaft“ oder „schlecht“ bewerteten, hatten auch eine größere Tendenz anzugeben, dass die Akustik ihre Leistungen ( $p=0,0002$ ) und die Leistungen der Schüler ( $p=0,0008$ ) sowie das Verhalten der Schüler ( $p=0,0468$ ) beeinflusst, als die Lehrer, die ihre Klassenräume positiver beurteilten. Die Lehrer in den Räumen mit besserer Akustik beurteilten ihre Klassenzimmer als weniger laut ( $p=0,0001$ ) und weniger widerhallend ( $p=0,0206$ ) denn jene Lehrer, die die Akustik als „mangelhaft“ oder „schlecht“ einschätzten. Diejenigen, die eine schlechte Akustik meldeten, sahen häufiger eine Notwendigkeit darin, für verbesserte akustische Eigenschaften des Klassenzimmers zu sorgen, und zwar mit höchster Priorität vor allen anderen möglichen Veränderungswünschen ( $p=0,0230$ ).

### Geräuschpegel

Die Lehrer wurden unter anderem gefragt, wie laut sie ihre Klassenräume empfinden. Niemand gab an, der Raum sei „zu leise“; 11% hielten ihr Klassenzimmer für „leise“, 54,8% antworteten mit „befriedigend“, 26,0% mit „laut“ und 5,5% sagten, es sei „zu laut“. Es gab eine höhere Wahrscheinlichkeit für Lehrer in Räumen ohne Auslegeware, auf die Frage nach dem Geräuschpegel mit „laut“ zu antworten ( $p=0,0144$ ). Lehrer in lauten Klassenzimmern leiden eher unter Kopfschmerzen ( $p=0,0325$ ) und neigen eher dazu, ihre Arbeit für Halsprobleme verantwortlich zu machen ( $p=0,0141$ ). Ein Lehrer in einem mit „laut“ bewerteten Raum meldet sich bei Halsproblemen eher krank als jemand aus einem leisen Klassenzimmer ( $p=0,0144$ ). Außerdem gibt ein Lehrer mit lautem Klassenraum eher an, dass der Raum stark widerhallt ( $p=0,0005$ ).

### Nachhall

Ähnliche Ergebnisse wurden bei jenen Lehrern verzeichnet, die angaben, ihr Klassenzimmer habe einen starken Nachhall. Klassenzimmer, die als wenig widerhallend eingestuft wurden, hatten häufiger Teppiche ( $p=0,0168$ ), waren weniger laut ( $p=0,0001$ ) und die Lehrer litten seltener unter Halsproblemen ( $p=0,0312$ ). Die Lehrer in stärker widerhallenden Klassenräumen glaubten eher, dass die Akustik Einfluss auf die eigenen Leistungen ( $p=0,0046$ ), die Leistungen der Kinder ( $p=0,0062$ ) und das Verhalten der Kinder ( $p=0,0034$ ) hat. Lehrer in Klassen mit stärkerem Nachhall sind häufiger krank als ihre Kollegen ( $p=0,0134$ ).

Viele Lehrer haben Stimm- und Halsprobleme. Nur 5,5% aller Lehrer gaben an, niemals unter derartigen Problemen gelitten zu haben, während 68,5% sagten, dies komme gelegentlich bzw. regelmäßig vor. Die meisten sehen einen Zusammenhang zwischen diesem Leiden und ihrem Beruf. Das Sprechen gilt als der wichtigste Einflussfaktor bei Stimm- und Halsproblemen. Wie bereits erwähnt, haben Lehrer aus stärker widerhallenden Klassenzimmern mehr krankheitsbedingte Fehltag als ihre Kollegen. Lehrer, deren Unterrichtsräume angehängte Decken haben, leiden ebenfalls seltener unter Problemen mit der Stimme und dem Hals als solche, die ohne Akustikdecken auskommen müssen. ( $p=0,0187$ ). Lehrer, die häufig Probleme mit dem Hals haben, bleiben bei akutem Leiden eher der Schule fern als solche, die nur hin und wieder Probleme damit haben ( $p=0,0016$ ).

#### **4.12 Leistungsfähigkeit von Schülern und Lehrern**

Wie zuvor besprochen, neigen Lehrer, die in lauten, widerhallenden Klassenräumen arbeiten, dazu zu glauben, dass die Akustik Auswirkungen auf ihre eigenen Leistungen und auf Verhalten und Leistungen der Schüler hat. Lehrer mit älteren Grundschulern vertreten diese Ansicht in Bezug auf die Leistungen der Kinder eher als solche mit jüngeren Schülern ( $p=0,0170$ ). Die Lehrer, die einen Zusammenhang zwischen Akustik und Leistungsfähigkeit sehen, würden die akustischen Gegebenheiten eher verbessern wollen als jeden anderen Faktor ( $p=0,0005$  und  $0,0001$ ).

#### **4.13 Erörterung**

Als Ergebnis der ausgewerteten Fragebögen lässt sich festhalten, dass ein wesentlich umfassenderes Bild über Schulen, Klassenzimmer und den einzelnen Lehrer gewonnen werden konnte. Die Erfahrungen mit Schulen und Lehrern im Rahmen der Studie konnten durch diese zusätzliche Erhebung in hohem Maße gestützt werden. Während der akustischen Messungen in den Schulen fanden Begegnungen mit vielen Lehrern statt, und die mit den Fragebögen erfassten Lehrer passen im Hinblick auf Alter, Geschlecht und viele andere Details hervorragend zu erstgenannter Gruppe. Dasselbe gilt für die untersuchten Schulen. Alter, Bauart und Ausstattung der erforschten Schulen finden sich in der statistischen Erhebung wieder. Dies unterstützt die Feststellung, dass die in objektiven Messverfahren untersuchten Schulen, Klassenzimmer und Lehrer in jeder Hinsicht typisch sind und als repräsentative Stichprobe angesehen werden können.

Es erwies sich als besonders wertvoll, die Ergebnisse der objektiven Messungen zur Akustik mit den Ansichten der Betroffenen vergleichen zu können. Die subjektiven Wahrnehmungen zur Akustik in den Klassenzimmern waren nirgends auch nur annähernd so negativ wie die objektiv festgestellten Werte. Jedoch sei darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse der Erhebung insofern problematisch sind, als viele der Befragten mit „weiß ich nicht“ geantwortet haben, respektive die Qualität des Klassenraumes als „befriedigend“ bezeichneten. Dies ist für sozialwissenschaftliche Erhebungen dieser Art typisch und normalerweise unvermeidlich. Es kann viele Gründe für Individuen geben, sich nicht auf andere Antworten einzulassen, so z.B. mangelndes Wissen über das abgefragte Themengebiet, fehlende Zeit um sich angemessen mit der Frage auseinanderzusetzen oder Angst, die eigene Meinung zu sagen.

Natürlich ist es möglich, dass die Lehrer ihre Klassenräume in Bezug auf die Akustik wirklich als „befriedigend“ empfunden haben, aber die Erfahrung des Forscherteams zeigt, dass die meisten Lehrer, denen sie im Laufe der Untersuchungen begegnet sind, höchst unzufrieden mit den akustischen Gegebenheiten in Ihren Unterrichtsräumen waren. Gleichzeitig glaubten sie, wenig dagegen tun zu können. Die Lehrer, die in die Fallstudien eingebunden waren, im Laufe derer Ecophon Akustikdecken installiert wurden, berichteten immer von einer gravierenden Verbesserung der akustischen Gegebenheiten. Die Lehrer, die an der Erhebung teilnahmen, konnten zwar angeben, ob ihre Räume mit abgehängten Decken versehen waren, doch lässt sich aufgrund der Anonymität der Befragung nicht feststellen, um welche Art und Qualität der Decken es sich genau handelte.

Eines der interessantesten Ergebnisse aus der Fragebogenaktion ist, dass bei Klassenräumen ohne oder mit wenig Auslegeware und mit hohen, nicht abgehängten Decken die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass Lehrer krankheitsbedingt ausfallen. Es gibt viele Faktoren, die hier mit hineinspielen könnten, aber der Schluss liegt nahe, dass die schlechte Akustik, die in diesen Räumen unweigerlich herrscht, zumindest teilweise dafür verantwortlich ist. Daher könnte eine verbesserte Akustik durchaus geeignet sein, um Fehlzeiten der Lehrkräfte zu verringern. Subjektive Berichte von Schulen aus früheren Fallstudien stützen diese Annahme. Sie wird außerdem durch die mit dieser Erhebung gewonnene Erkenntnis gestützt, dass die Lehrer in Klassenräumen mit abgehängter Decke seltener Halsprobleme haben. Tatsächlich glaubt eine große Anzahl von Lehrern, dass ihre Tätigkeit, insbesondere das Sprechen und Schreien, für jegliche Stimm- und Halsprobleme verantwortlich ist, unter denen sie leiden.

Es ist zu beachten, dass trotz statistischer Ergebnisse, die einen signifikanten Zusammenhang zwischen zwei bestimmten Faktoren belegen, die möglichen Auswirkungen vieler anderer Faktoren nicht ausgeschlossen werden können. Während es z.B. signifikant sein kann, dass ein Lehrer in einer Klasse mit Teppichboden seltener unter einem rauhen Hals leidet als Lehrer in Räumen ohne Teppichboden, können hier eine Menge weiterer Faktoren, die unentwerrbar miteinander verbunden sind, eine Rolle spielen, wie z.B. Alter der Schule, Klassenausstattung, abgehängte Decken und Anzahl der unterrichteten Schüler. Daher kann es, auch wenn ein Resultat signifikant und ein Zusammenhang zwischen zwei Faktoren höchst wahrscheinlich ist, nicht als bewiesen gelten, dass ein bestimmter Faktor für irgendein Ergebnis allein verantwortlich ist.



## 5 Erörterung und Schlussbetrachtung

### 5.1 Erörterung der Ergebnisse

Auf der Basis der bisher durchgeführten Untersuchungen kann man davon ausgehen, dass die Mehrheit aller Klassenzimmer in Großbritannien über eine schlechte Akustik verfügen.

Die **Nachhallzeiten (RT)** in den untersuchten Räumen waren lang, mit einem durchschnittlichen Wert von 0,7 Sek. für die in sich abgeschlossenen Klassenräumen. Obwohl dies ein ziemlich guter RT-Wert zu sein scheint, ist der ermittelte Durchschnittswert nicht als repräsentativ für die große Bandbreite von tatsächlich gemessenen RTs anzusehen. Einige ganz besonders niedrige Ergebnisse in wenigen Klassenräumen sorgten dafür, dass der gemittelte Wert deutlich niedriger als erwartet ausgefallen ist. Viele Räume lagen im Bereich  $RT=0,9-1,0$  Sek., einige sogar noch darüber. Solche Werte sind schlicht und ergreifend nicht akzeptabel für Räume, in denen unterrichtet wird. Man kann den Forschungsergebnissen entnehmen, dass erst bei einem RT von durchschnittlich weniger als 0,5 Sek. der Sprachübertragungsindex (STI) in einen akzeptablen Bereich rückt.

Die in den Klassenzimmern gemessenen **Hintergrund-Geräuschpegel (BNL)** fielen sehr verschieden aus. Die niedrigsten Werte ergaben sich offensichtlich in leeren Klassenräumen. Bei Anwesenheit der Kinder und dem Gebot, still zu sein, stieg der BNL in der Regel dennoch an. Sobald die Kinder begannen, sich miteinander zu unterhalten, nahm der Wert dann dramatisch zu. Die ruhigste Klasse produzierte einen mittleren Geräuschpegel von 51,9dB(A) und die lauteste 101,1dB(A). Diese Werte sind unglaublich hoch, und jeder Mensch, der einem solchen Lärm über längere Zeit ausgesetzt ist, wird bald an Ermüdungserscheinungen und Stress leiden. Den Lehrer in dieser Situation hören zu wollen wäre schwierig, ihn verstehen zu wollen fast unmöglich, es sei denn, er würde schreien.

**Akustisch behandelte Klassenzimmer** schnitten besser ab als unbehandelte. Die Nachhallzeiten waren kürzer, wie die Mittelwerte zeigen. Der Geräuschpegel lag 9 bis 10dB niedriger und war insgesamt nicht so breit gestreut wie bei unbehandelten Räumen (58,9-79,0dB(A)).

Die verbesserte Akustik in behandelten Klassenräumen lässt sich anhand der Werte von Sprachübertragungsindex (STI) und prozentuaalem Konsonantenverlust (%ALcons) noch wesentlich besser darstellen. Was den Konsonantenverlust angeht, so hörten die Kinder in unbehandelten Räumen (bei gemeinsamer Auswertung offener und in sich geschlossener Klassenräume) im Schnitt nur 84,9% aller Konsonanten, während Kinder in behandelten Räumen 96,4% richtig verstanden. Da Konsonanten die meisten Sprachinformationen beinhalten, ist dies eine entscheidende Differenz.

Die STI-Werte bestätigen diese Erkenntnisse. Unbehandelte Räume erhielten die Bewertung „befriedigend“, was wir als nicht akzeptabel eingestuft haben, behandelte wurden mit „gut“ bewertet. Während diese Ergebnisse offenbar anzeigen, dass behandelte Klassenräume besser sind als unbehandelte, wurde bislang noch nicht gefolgert, welche Art von akustischer Ausstattung die beste ist, wie und wo sie angebracht werden sollte und welche Frequenzbereiche sie berücksichtigen sollte.

Die Ergebnisse der Studie unterstützen die Folgerungen aus früheren Studien dahingehend, dass die Hauptgründe für schlechte Sprachverständlichkeit in Klassenzimmern in hohen Hintergrund-Geräuschpegeln und langen Nachhallzeiten liegen. Es ist bislang noch unklar, welcher dieser beiden Faktoren den nachteiligeren Effekt hinsichtlich der Sprachverständlichkeit hat, aber man nimmt an, dass es die Kombination aus beiden ist.

Bezüglich des Pegels der Hintergrundgeräusche zeigt diese Studie, dass eine stattliche Anzahl von Klassenräumen die 1997 vom britischen DfEE empfohlenen Werte erreicht. Dies gilt jedoch, wie bereits festgestellt, nur für leere Klassenzimmer; wenn die Räume erst einmal voller Schüler sind, wird es sehr laut. Nur die wenigsten der unbehandelten Räume entsprechen den Kriterien für Nachhallzeiten, nämlich nur 10,7%. Es ist entmutigend zu erkennen, wie wenig beim Bau von Unterrichtsräumen an Kinder mit Hörschwächen gedacht wird. Nur extrem wenige Klassenräume werden den hierfür angesetzten Richtlinien gerecht. Von den akustisch ausgestatteten Klassenzimmern jedoch entsprechen 100% diesen strengeren Auflagen.

Man mag in Frage stellen, ob diese Richtlinien angemessen sind. Nachhallwerte zwischen 0,3 und 0,8 Sek. sind eine ziemlich große Spanne, die eine ebenso große Bandbreite von verschiedenen Werten der Sprachverständlichkeit nach sich zieht. Nur am unteren Ende der RT-Werte (0,3-0,5 Sek.) würden sich annehmbare STI-Ergebnisse erzielen lassen. Der Geräuschpegel scheint erreichbar zu sein, jedoch nur in unbesetzten Klassenzimmern. Diese die Richtlinien erfüllenden Räume haben, wenn sie erst einmal von den Schülern eingenommen wurden, immer noch einen sehr hohen Lärmpegel, was an der Nachhallzeit und an von außen eindringendem Lärm liegen kann. Beide Größen lassen sich aber steuern.

Es haben sich im Laufe dieser Studie viele weitere Diskussionspunkte ergeben. Einer besteht in dem Auftreten sogenannter akustisch „**toter Winkel**“ in einigen Räumen mit ungewöhnlicher Deckengestaltung. „Ungewöhnlich“ bezieht sich hier auf jene Decken, die nicht einfach flach waren, sondern beispielsweise über abgeschrägte Winkel oder Balken verfügten. Einige dieser „toten Winkel“ fanden sich in Klassenzimmern, die verhältnismäßig gute Nachhallzeiten und Geräuschpegel hatten. Sie konnten nur anhand der besonders geringen STI-Werte lokalisiert werden, mit %ALcons, die gelegentlich sogar 100% erreichten. Diese Unregelmäßigkeit kann eine Vielzahl von Gründen haben - so z.B., dass Schall von einem bestimmten Punkt weggeleitet wird - und muss noch näher untersucht werden. Der nachteilige Effekt auf die Schulausbildung eines Kindes ist in jedem Falle weitere Untersuchungen wert.

Die Resultate aus den subjektiven Tests, also aus dem WIPI-Test und dem Fragebogen für Lehrer, verstärken die Theorie, dass Menschen in einem Klassenraum mit guter Akustik zu besseren Leistungen fähig sind. Der WIPI-Test zeigt, dass die Schüler nach der Installation von Akustikdecken höhere Werte erzielt haben. Obwohl die Ergebnisse insgesamt besser waren, wenn der Test in aller Stille durchgeführt wurde, zeigten die verschiedenen Werte mit oder ohne Akustikdecke gerade dann dramatische Unterschiede, wenn unter Bedingungen mit Hintergrundlärm getestet wurde. Da dieser Test die wirklichen Bedingungen in Klassenzimmern am ehesten widerspiegelt, kann man annehmen, dass bei besserer Leistung unter Testbedingungen in akustisch behandelten Räumen auch bessere Leistungen im realen Schulalltag erzielt werden können. Die befragten Lehrer gaben ebenfalls an, dass sie glaubten, Schüler würden in verbesserter akustischer Umgebung besser arbeiten. Auch zeigte sich, dass Lehrer in Klassen mit schlechter Akustik mehr Fehltag hatten als ihre Kollegen. Darüber hinaus hatten sie ein höheres Risiko an Stimm-/Halsleiden oder Kopfschmerzen zu erkranken, welche nach der Erkältung die beiden häufigsten Erkrankungen unter Lehrern sind.

## 5.2 Schlussbetrachtung

Nach der Untersuchung einer solchen Vielzahl von Klassenräumen ist davon auszugehen, dass die Stichproben in hohem Maße die heutigen Klassenzimmer repräsentieren. Es wird außerdem angenommen, dass die zufällig ausgewählten Lehrer mit ihren Meinungen und Antworten typisch sind für die meisten Lehrer, die derzeit unterrichten.

Die in den meisten Klassenzimmern nachgewiesenen Nachhallzeiten lagen oberhalb der empfohlenen Werte, in einigen Räumen sogar außerordentlich hoch. Nur sehr wenige unbehandelte Klassenzimmer eigneten sich für das Unterrichten hörgeschädigter Kinder, obwohl in den meisten Klassen eines oder mehrere solcher Kinder zu finden waren, wenn man jene mit berücksichtigt, die an Erkältungen und Ohrinfektionen litten. Auch die Hintergrund-Geräuschpegel lagen deutlich über den Werten, die für Klassenräume empfohlen werden. Die langen Nachhallzeiten und lauten Hintergrundgeräusche sorgten in den meisten Klassenzimmern für eine schlechte Sprachverständlichkeit, was sowohl die objektiven als auch die subjektiven Tests belegten. Diese Fakten bestätigen, dass eine schlechte Raumakustik einer guten Lernumgebung abträglich sein kann. Wenn die Schüler die Worte des Lehrers nicht ohne Probleme hören und verstehen können, wird dadurch das Lernen viel schwieriger. Ein lautes Klassenzimmer mag vielleicht Verhaltens- und Lernprobleme nicht direkt verursachen, aber es könnte bereits existierende Schwierigkeiten sehr wohl verstärken. Ein anderes Resultat schlechter Akustik und besonders lauter Klassenzimmer liegt in dem häufigeren Auftreten von Stimm- und Halsleiden bei Lehrern und der daraus resultierenden größeren Wahrscheinlichkeit krankheitsbedingter Abwesenheit. Dies kann zu erhöhten Kosten und, durch den Einsatz von Vertretungslehrkräften, zu störenden Unterbrechungen in der Schulbildung der Kinder führen.

Klassenräume mit akustischer Ausstattung, die in erster Linie in Akustikdecken der Absorptionsklasse A bestand, schnitten in allen durchgeführten Tests deutlich besser ab. Alle Nachhallzeiten lagen innerhalb der vorgegebenen Richtlinien, die meisten sogar für das Unterrichten hörgeschädigter Kinder. Auch die Geräuschpegel waren in behandelten Klassenzimmern geringer. Infolgedessen war die Sprachverständlichkeit in allen Räumen akzeptabel. Räume mit akustischer Ausstattung wurden von den Lehrern und Schülern bevorzugt, da hier nach ihrer subjektiven Einschätzung das Kommunizieren leichter fiel und die eigene Leistungsfähigkeit besser war.

Einen Klassenraum mit akustischen Elementen zu versehen, verbessert die Raumakustik und schafft eine besseres Arbeits- und Lernumfeld für alle. Da jedes Klassenzimmer individuell verschieden ist, kann es keine Einheitslösung für alle Fälle geben. Jede Situation muss für sich betrachtet werden, unter Berücksichtigung des Alters der Schüler, der üblichen Verwendung des Raumes, Größe und Aufbau des Raumes usw. Generell kann man sagen, je größer die Schallabsorption, desto besser die Akustik in einem Raum. Es gibt, falls überhaupt, nur wenige Beispiele für einen zu hohen Absorptionsgrad in einem Raum, was zu einer zu geringen Nachhallzeit führt. Es wäre empfehlenswert, die vom DfEE vorgegebenen Richtwerte für Klassen mit hörgeschädigten Kindern (RT: 0,3-0,5 Sek. und BNL: 30dB(A)) auf alle Klassenzimmer anzuwenden. Nur dann können gute Sprachverständlichkeit und Wohlbefinden bei Schülern und Lehrern sichergestellt werden, wie diese Studie mit ihren umfangreichen Tests beweist.

Die Jahre, die ein Kind in der Schule zubringt, gehören zu den wertvollsten in seinem Leben. Sie sind möglicherweise die allerwichtigste Zeit überhaupt. Schulen sollen dazu dienen, das Lernen zu erleichtern, also sollten die Räume, in denen dieses Lernen stattfindet, so aussehen, dass sie das Hören erleichtern. Lehrer spielen eine wichtige Rolle in der Erziehung und Ausbildung eines Kindes. Daher sollten sie mit den notwendigen Werkzeugen ausgestattet werden, die sie benötigen, um ihren Job gut zu machen. Eines dieser Werkzeuge sollte ein Klassenzimmer sein, in dem die Schüler gut hören und verstehen können, was gesagt wird, und wo der Lehrer angemessen unterrichten kann, und zwar ohne ungebührlichen Stress und übermäßige Anstrengung. Bislang waren sich nur wenige Menschen der negativen Auswirkungen von schlechter Klassenraumakustik auf die anwesenden Kinder und Lehrer bewusst, am allerwenigsten die Betroffenen selbst.

Es bleibt zu hoffen, dass nun, da dieses Feld ausgiebig beleuchtet wurde, Lösungen angeboten und Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt werden können. Wenn Schüler und Lehrer Leistungen zeigen sollen, die ihren Möglichkeiten entsprechen, sollten sie dafür auch die optimale Umgebung zur Verfügung gestellt bekommen.

### **5.3 Danksagung**

Das Forschungsteam der Heriot-Watt University möchte allen Schülern, Lehrern und Rektoren im gesamten Vereinigten Königreich danken, die die Studie möglich gemacht haben; dies gilt auch für die Belegschaft des St Giles Centre for Hearing Impaired Children, Edinburgh. Unser besonderer Dank gilt Miss Douglas, dem Kollegium und den Schülern der Balgreen School für ihre großzügige Hilfe bei diversen Gelegenheiten. Außerdem möchten wir uns beim EPSRC und bei Ecophon (Großbritannien und Schweden) bedanken, die das Forschungsprojekt gefördert haben.

## Anhang A

### Andere Bewertungsgrößen

Tabelle A1 stellt einige andere Bewertungsgrößen dar, die im Zusammenhang mit der akustischen Gestaltung von Klassenzimmern zur Zeit vorliegen. Es ist offensichtlich, dass es bei einer solchen Vielzahl von Kriterien nicht einfach ist, sich für das richtige zu entscheiden.

## Anhang B

### „The Acoustics of Rooms For Speech“

Im August 1976 publizierte das „Building Research Establishment“ eine Textsammlung (Digest) mit dem Titel „The Acoustics of Rooms For Speech“ (25). Das erste Kapitel wird durch eine Frage eingeleitet:

*Warum haben manche Räume eine schlechte Akustik?*

*Es gibt drei Hauptgründe, warum Räume sich als akustisch schlecht für das gesprochene Wort erweisen können: sie können für die produzierten Laute in zu starkem Maße widerhallen; sie können zu lärmgefüllt sein, weil sie den von außen oder aus Nachbarräumen eindringenden Lauten nicht genug entgegenhalten können; oder sie können so gebaut sein, dass sie den Sprecher akustisch mehr oder weniger von seiner Zuhörerschaft abschirmen (letzteres ist besonders ernst, wenn es sich um Räume handelt, die für Diskussionen vorgesehen sind).*

Nachhall: Bei zu viel widerhallendem Schall empfängt der Hörer noch den reflektierten Laut vorhergehender Silben, während er gleichzeitig versucht, die gerade aktuell gesprochene Silbe zu verstehen. Die beiden an das Ohr dringenden Laute stören sich somit gegenseitig, was Sprache schwer verständlich macht. Der Digest führt weiter aus, dass es Klagen darüber gibt, dass das Hörverstehen in Räumen mit niedrigen Decken und tiefreichenden Querbalken (Abb. B1) schlecht sei. In solchen Fällen kann es sein, dass die Balken die Schallreflexion von der Decke für bestimmte Zonen im Raum beschneidet und den Schall zum Sprecher zurückleitet. Dadurch können, wie Abb. B1 verdeutlicht, in einem Raum „tote Winkel“ entstehen.

Dieses Problem kann durch die Installation einer abgehängten, ebenmäßigen Akustikdecke unterhalb der Balken gelöst werden.

Ein weiterer interessanter Abschnitt lautet: *„In einem spärlich besetzten Auditorium sollte man keine Mühen scheuen, das Publikum dazu zu bewegen, sich so nah wie möglich an das Sprechpult zu setzen. Es liegt in der Verantwortung des Redners sicherzustellen, dass sein Vortrag akustisch tadellos ist. Das bedeutet, er sollte langsam sprechen, wenn nötig in gehobener Lautstärke und mit so exakt wie möglich artikulierte Silben.“*

## **Anhang C**

### **Wortverständlichkeit durch Bildidentifikation**

Abb. C1 zeigt ein Beispiel für die beim WIPI-Test verwendeten Bilderbögen.

## **Anhang D**

### **„Tote Winkel“ in Klassenräumen**

Tabelle D1 zeigt die %ALcon-Resultate für ein Klassenzimmer, in dem die Bandbreite der gemessenen Werte extrem groß ist. Es gibt eine Reihe von Sitzplätzen, die besonders hohe %ALcons haben, was ein Indikator für schlechte Sprachverständlichkeit ist. 23 der 24 Plätze weisen Werte aus, die das empfohlene Maximum von 5% übersteigen, einige liegen sogar bei 100%.

Nähere Betrachtung des Klassenzimmers:

- Die Deckenlinie entspricht der Neigung des Daches. Dadurch verfügt das Klassenzimmer über eine spitz zulaufende Decke;
- Die Mehrheit der Sitzplätze mit 100 %ALcons befindet sich im Bereich unter der Firstlinie des Raumes;
- Weitere dieser Plätze liegen in unmittelbarer Nähe zu großen Schiebetüren, mit denen man angrenzende Klassenzimmer und Nassräume abtrennen kann, die aber permanent offen stehen;
- Obwohl der Raum erst wenige Jahre alt ist, wurde er so konstruiert, dass er einem guten Lernumfeld abträglich ist.

Aus der Sicht der Schüler:

- Jeder Schüler, der auf einem der Plätze mit 100%igem Konsonantenverlust sitzt, ist den anderen gegenüber in hohem Maße im Nachteil;
- Da der Konsonantenverlust ein Maß für die Qualität der Sprache ist, die das Ohr des Schülers erreicht, ist es kaum nachzuvollziehen, was ein Kind in der Klasse unter solchen Umständen überhaupt mitbekommt;
- Zweifellos wird es so sein, dass der Schüler Sprachlaute hört; aber ob er sie verstehen kann, steht auf einem völlig anderen Blatt;
- Da die Schüler in der Regel im Laufe eines Jahres den Sitzplatz nicht wechseln, sind die betroffenen Schüler gravierend im Nachteil, was nicht etwa auf ihr eigenes Verhalten zurückzuführen ist, sondern einzig und allein auf das schlecht konstruierte Klassenzimmer;
- Abhängig von ihrem Sitzplatz im Raum können Schüler unter Nachteilen für ihr persönlichen Fortkommen leiden, und zwar in einer Phase, in der sie den Grundstein legen sollen für ihre gesamte spätere Entwicklung und Ausbildung.

Aus der Sicht des Lehrers:

- Viele Lehrer gaben an, dass sie das Gefühl hatten, in ihren Klassenräumen stimme etwas nicht. Nachdem man ihnen die Ergebnisse der Untersuchung präsentiert hatte, ergaben viele einzelne Aspekte für sie plötzlich ein „rundes Bild“;
- Viele Lehrer waren über die neuen Erkenntnisse sogar erleichtert, da sie nun wussten, dass der Fehler nicht in ihrer Art des Unterrichtens lag;
- Lehrer müssen einem gewissen Qualitätsanspruch gerecht werden. Wenn jemand eine Klasse unterrichtet, deren Klassenzimmer massive akustische Mängel hat, und wenn deshalb eine Vielzahl von Schülern nicht die erwarteten Fortschritte macht, dann muss sich dieser Lehrer unter Umständen Fragen nach seiner Lehrbefähigung gefallen lassen.

In dem Klassenraum, um den es hier geht, wurde schließlich eine Ecophon Akustikdecke installiert. Tabelle D1 präsentiert die %ALcons vor und nach dem Umbau. Es zeigt sich eine massive Veränderung in den Werten, die - mit einer Ausnahme - alle deutlich niedriger liegen und somit wesentlich akzeptabler sind. Das Beispiel zeigt deutlich, dass zusätzliche Absorption in einem Raum die Sprachverständlichkeit nachhaltig verbessern kann.

Dieses Phänomen wurde auch in anderen Schulen beobachtet, die eine ähnliche Deckenstruktur haben wie die Priory School. Eine wesentlich detailliertere Beurteilung solcher Klassenraumtypen ist offenbar notwendig. In jedem Fall hat die Installation der Ecophon Akustikdecke das bestehende Problem gelöst. Heute stellt der Raum ein wesentlich verbessertes Arbeits- und Lernumfeld dar.

## **Anhang E: Fallstudien**

Vorhergehende Forschungsprojekte haben nahegelegt, dass mit höherem Schallabsorptionsgrad in Klassenzimmern die Nachhallzeiten und Hintergrund-Geräuschpegel nachhaltig gesenkt und die Sprachverständlichkeit erhöht werden können. Ähnliche Beobachtungen wurden auch im Rahmen der vorliegenden Studie gemacht. Um dies näher zu untersuchen, wurden Tests in einer Reihe von Klassenräumen durchgeführt, welche mit Ecophon Akustikelementen versehen worden waren. Die akustischen Messungen wurden vor und nach der Installation durchgeführt, und die Ergebnisse der Fallstudien werden nachfolgend präsentiert.

### **Fallstudie 1:**

#### **Die Priory Primary School in Tadley, Hampshire, England.**

Es handelt sich um eine kleine Dorfgrundschule in einer ländlichen Gegend von Hampshire. Die Ursprungsgebäude wurden in den 50er Jahren des 19. Jahrhunderts gebaut, und kürzlich wurden neue Klassenräume und eine Schulhalle in ähnlichem Baustil wie die Originalgebäude hinzugefügt. Die Klassenzimmer haben in der Regel hohe gewölbte Decken, große Fenster und Teppichboden. Die Schule ist umgeben von landwirtschaftlichen Flächen. Neben den landwirtschaftlichen Maschinen - der externen Hauptlärmquelle - wurden vom Lehrerkollegium noch Armeehubschrauber erwähnt, die beim Flug von einem Standort zum nächsten regelmäßig die Schule überfliegen.

Die Lehrer hatten eine schlechte Raumakustik beklagt, mit „Raumechos“ und einem hohen Pegel an Hintergrundgeräuschen. Von der Schulhalle wurde berichtet, dort sei die Sprachverständlichkeit besonders schlecht.

### **Durchgeführte Messungen:**

#### In Klassenzimmer 3:

Nachhallzeit (RT);

Hintergrund-Geräuschpegel (BNT);

Sprachübertragungsindex (STI) und %ALcons;

Hörtest Wortverständlichkeit durch Bildidentifikation (WIPI)

#### In der Mehrzweckhalle:

Nachhallzeit



## **Ergebnisse**

### **Klassenzimmer 3**

#### **Nachhallzeit:**

*Vorher* - Wie Abb. 1 verdeutlicht, entsprach der RT-Wert bei 500 Hz 0,82 Sek. Dies liegt außerhalb der vom DfEE veröffentlichten Richtlinien für normal hörende Kinder und weit außerhalb der Werte für hörgeschädigte Schüler. Beide Gruppen waren aber in der betroffenen Klasse vertreten. Die RT-Werte waren über die gesamte Frequenzbreite in etwa gleichbleibend, mit einem geringen Abfall bei den niedrigeren Frequenzen.

*Nachher* - Nach der Installation der abgehängten Akustikdecke nahm die Nachhallzeit über die gesamte Frequenzbreite beträchtlich ab. Sie lag nun nicht mehr über den Richtlinien der DfEE, und der betroffene Raum erwies sich als wesentlich angenehmere Arbeitsumgebung. Die Auswirkungen der reduzierten RT-Werte lassen sich den folgenden Abschnitten entnehmen.

#### **Hintergrund-Geräuschpegel:**

*Vorher* - Die Geräuschpegel waren relativ hoch. Bei leerem Klassenraum lag der BNL noch im vertretbaren Bereich. Jedoch ergab sich bei Anwesenheit der schweigenden Schüler bereits ein Wert von 60dB(A). Dieser stieg auf 70dB(A) an, wenn die Kinder zu arbeiten und zu sprechen begannen. Bei einem solchen Level hat ein Lehrer Schwierigkeiten, seine Stimme über den Hintergrundlärm zu erheben und sich verständlich zu machen. Der Raum wird als unangenehm laut empfunden.

*Nachher* - Nach der Installation der Akustikdecke wurden die Werte für das voll besetzte Klassenzimmer viel besser. Bei schweigenden Kindern liegt der BNL nun bei 45dB(A), was einen deutlichen Unterschied zum vorherigen Pegel ausmacht. Das führt dazu, dass sich die Kinder beim Arbeiten nicht mehr so laut unterhalten müssen, wodurch sich bei sprechenden Schülern ein neuer Wert von 65dB(A) ergibt. Dies macht das Arbeitsumfeld wesentlich angenehmer, was sowohl Lehrer als auch Schüler bestätigten.

#### **Sprachverständlichkeit:**

*Vorher* - Vor dem Umbau wurde der Raum auf der STI-Skala mit „befriedigend“ beurteilt, der Wert lag bei 0,55. Der zu dem Zeitpunkt vorliegende %ALcons-Wert von 9,7 bedeutet, dass nahezu 10% aller Konsonanten falsch oder gar nicht verstanden wurden. Das scheint auf den ersten Blick nicht viel zu sein, aber wenn man es auf eine Woche im Klassenzimmer umrechnet, so ergibt sich ein ganzer Vormittag bzw. Nachmittag von verlorenen Konsonanten. Wegen der hohen BNL- und RT-Werte neigte der Lehrer dazu zu schreien, was seine Stimme noch zusätzlich verzerrte.

*Nachher* - Dank der verbesserten Absorption lag das Klassenzimmer auf der STI-Skala nun bei „gut“ mit einem Wert von 0,68. Diese Verbesserung zeigte sich auch in den %ALcons von 4,8, was weniger als die Hälfte der vorher verzeichneten Fehler ausmachte. Der Lehrer stellte fest, dass er unter den neuen Gegebenheiten mit einem wesentlich angenehmeren Lautstärkeniveau sprechen konnte und dennoch gehört und - was noch wichtiger ist - verstanden wurde.

### **Der WIPI-Test:**

*Vorher* – Die erzielten Werte der Kontrolltests (bei Satzeinspielung via Kopfhörer) waren sehr hoch, was ein Beleg dafür ist, dass die Klasse generell zu guten Leistungen fähig war. Der im belegten, aber stillen Klassenraum durchgeführte Test hatte ebenfalls recht gute Ergebnisse, jedoch gingen hier im Durchschnitt bereits 7% der Sprache verloren. Bei der Durchführung des Tests unter den normalen Arbeitsbedingungen der Schüler mit dem dazugehörigen Geräuschpegel schließlich sanken die erzielten Werte dramatisch ab. Offenbar konnten die Kinder über die Hälfte der Wörter nicht mehr richtig verstehen.

*Nachher* - Wie erwartet, waren die Ergebnisse im Kontrolltest ähnlich gut wie zuvor. Bei schweigenden Klassenkameraden waren die Testwerte ein wenig besser als vorher, tatsächlich sogar annähernd so gut wie die Kontrollwerte. Dies legt den Schluss nahe, dass bei belegtem Klassenraum mit stillen Kindern optimale Bedingungen für das Hörverstehen herrschen. Bei Ansteigen des Hintergrund-Geräuschpegels auf normales Arbeitsniveau nahmen auch hier die Werte ab. Jedoch nicht annähernd so drastisch wie vor dem Umbau. Entsprechend den niedrigeren BNL- und RT-Werten verbesserte sich die Sprachverständlichkeit in einem solchen Maße, dass die Kinder wesentlich besser hören und verstehen konnten.

### **Die Mehrzweckhalle**

#### **Nachhallzeit:**

*Vorher* - Vor dem Einbau der Akustikelemente hatte die Halle eine extrem lange Nachhallzeit, und zwar besonders im Bereich der Sprachfrequenzen. Das führte zu einem schlechten Raumklima mit miserabler Sprachverständlichkeit und einem hohen Geräuschniveau. Der vorhandene Nachhall war um ein Vielfaches höher als irgendeiner der empfohlenen Werte.

*Nachher* - Die Halle wurde mit einer Akustikdecke und an ausgewählten Stellen mit Akustik-Wandpaneelen versehen, und das Ergebnis ist beeindruckend. Die Nachhallzeit ist jetzt angenehm gering; sie befindet sich klar innerhalb der empfohlenen Richtwerte und wird subjektiv als wesentlich angenehmer für das Sprechen im Raum empfunden. Die Sprachverständlichkeit ist deutlich verbessert und entspricht nun dem eigentlichen Zweck der Halle, wie z.B. Aufführungen von Theaterstücken, Gesangsunterricht und Leibeserziehung. Da die Nachhallzeit so gering ist, kann sie je nach Wunsch bis zu einem gewissen Grad gesteuert werden, indem man die Vorhänge an dem großen Fenster entlang der einen Wand öffnet oder zuzieht.

## Fallstudie 2

### Die Balgreen Primary School in Saughton, Edinburgh, Schottland

Balgreen ist für eine Grundschule im Stadtzentrum, gebaut um die Jahrhundertwende, ganz typisch. Man leidet unter einer Vielzahl von externen Geräuschquellen, wie z.B. Verkehrslärm von einer vielbefahrenen Straße direkt vor der Tür, Hochgeschwindigkeitszügen und regelmäßig laufenden Rasenmähern auf der gegenüber liegenden Grünanlage. Die Schule ist zweigeschossig und die Klassenzimmer haben keine Auslegeware, relativ hohe Decken und große Fensterfronten.

### Durchgeführte Messungen in den Klassenzimmern 1 und 3:

Nachhallzeiten (RT)

### Schlussbetrachtung

Nachhallzeiten in den Klassenzimmern 1 und 3:

*Vorher* - Beide Klassenräume hatten RT-Werte innerhalb der Grenzen, die vom DfEE für normal hörende Kinder empfohlen werden. Jedoch lagen sie über denen, die für hörgeschädigte Kinder gelten. Studien haben gezeigt, dass die Sprachverständlichkeit für jeden Menschen erst dann akzeptiert werden kann, wenn die Nachhallzeit unter 0,5 Sek. liegt. Klassenzimmer 1 zeichnete sich durch sehr ungleichmäßige RT-Werte im Bereich der verschiedenen Frequenzen aus, was gewöhnlich zur Verzerrung von Sprache führt. Zimmer 3 hatte besonders im mittleren Frequenzbereich erhöhte RT-Werte, was die Klarheit der Sprache beeinflusst.

*Nachher* - Obwohl die Nachhallzeiten nicht übermäßig lang waren, wurden sie doch durch die Installation der abgehängten Akustikdecken für die gesamte Frequenzbreite nachhaltig verringert. In beiden Räumen sind die Werte für die verschiedenen Frequenzen ebenmäßiger geworden, so dass die Wahrscheinlichkeit einer Sprachverzerrung geringer ist. Als Folge der geringeren Nachhallzeit wird der Hintergrund-Geräuschpegel ebenfalls niedriger ausfallen. Dadurch wird sich die Sprachverständlichkeit verbessern.

Mrs. Read, die Klassenlehrerin aus Klassenzimmer 1, äußerte: „Die neue Decke sorgt eindeutig für ein leiseres Arbeitsumfeld. Das führt dazu, dass die Kinder auch selbst leiser sind und die Wahrscheinlichkeit, dass Lärm überhaupt entsteht, ist viel geringer. Ich muss nicht so oft die Stimme erheben und der Tag ist sowohl für die Kinder als auch für mich viel ruhiger.“