

Akustische Ergonomie der Schule

Diese Veröffentlichung entspricht der Dissertation „Akustische Ergonomie der Schule“. Sie lag dem Promotionsausschuss Dr. phil. der Universität Bremen vor. Das Kolloquium fand am 03. April 2006 statt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren: Dr. Markus Oberdörster
Dr. Gerhart Tiesler
Universität Bremen
Institut für Interdisziplinäre Schulforschung (ISF) / FB 11
Grazer Str. 4/3040, D-28359 Bremen

Gutachter: Prof. Dr. Hans-Georg Schönwälder; ISF – Universität Bremen
Prof. Dr. Joachim Kahlert; LMU München
Prof. Dr.-Ing. Hans Goydke; PTB Braunschweig
Prof. Dr. Petra Hampel; ZKPR – Universität Bremen

Umschlaggestaltung
und Fotografie: Angelika Rößler,
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Verlag/Druck: Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Bürgermeister Smidt-Str. 74 – 76; D-27568 Bremerhaven
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: 0471 94544-0
Telefax: 0471 94544-77
E-Mail: info@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund
Telefon: 0231 9071-0
Telefax: 0231 9071-2454
E-Mail: poststelle@buaa.bund.de
Internet: www.buaa.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40-42, 10317 Berlin
Telefon: 030 51548-0
Telefax: 030 51548-4170

Dresden:
Proschhübelstr. 8, 01099 Dresden
Telefon: 0351 5639-50
Telefax: 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten. Aus Gründen des Umweltschutzes wurde diese Schrift auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

ISSN 1433-2086
ISBN 3-86509-513-5

Inhaltsverzeichnis

Seite

	Kurzreferat	6
	Abstract	7
	Résumé	8
1	Einleitung	9
1.1	Der Arbeitsplatz Schule	9
1.2	Pädagogische Trends	12
1.3	„Schullärm“	16
1.4	Lärmdefinition	18
2	Herleitung der Fragestellung	21
2.1	Lärmbelastung und Raumakustik	21
2.1.1	Auswirkungen von Lärm mittlerer Intensität	21
2.1.2	Akustische Rahmenbedingungen in Bildungseinrichtungen	26
2.1.2.1	Nachhallzeit und Sabine'sche Formel	27
2.1.2.2	Sprachverständlichkeit	30
2.1.2.3	Die gegenseitige Abhängigkeit von Nachhallzeit und Sprachverständlichkeit	33
2.1.2.4	Die Suche nach der optimalen Nachhallzeit für Klassenräume	34
2.2	Lehrer-Beanspruchung	36
2.2.1	Beanspruchungsreaktionen	36
2.2.2	Physiologische Arbeitskurve	39
2.3	Die Wechselwirkung von Lärmsituation und Beanspruchung	42
2.3.1	Lärm als Stressor	42
2.3.2	Stressverarbeitung	47
3	Leitfragen und Hypothesen	49
4	Methodendiskussion und Operationalisierung	52
4.1	Beschreibung der Datenerhebung	52
4.1.1	Raumakustische Datenerhebung	53
4.1.2	Messung des Schallpegels während des Unterrichts	54
4.1.3	Registrierung der Herzfrequenz während des Unterrichts	54
4.1.4	Unterrichtsbeobachtung	55
4.2	Datensatzdefinition	57
4.2.1	Filtergrößen	57

4.2.1.1	Filter 1: Raumakustische Merkmale	57
4.2.1.2	Filter 2: Pädagogische Merkmale	59
4.2.1.2.1	Die zeitabhängige Klassenbildung – „> 50 %“ versus „< 50 %“	59
4.2.1.2.2	Die inhaltliche Klassenbildung „FU“ und „diffAF“	62
4.2.1.3	Filterkombinationen	64
4.2.2	Reaktionsgrößen	64
4.2.2.1	Schallpegel	64
4.2.2.2	Herzfrequenz	65
4.3	Methodik: Filtern – Gruppieren – Analysieren	66
4.3.1	Filterung	67
4.3.2	Gruppierung	67
4.3.3	Analyse	68
5	Datenanalyse	69
5.1	Interne Analyse der Filterparameter	69
5.1.1	Filter Raumakustik – Interne Analyse der Filterparameter RT und STI	69
5.1.2	Filter Pädagogische Merkmale – Interne Analyse der Filterparameter AF und LR-SR	78
5.1.3	Abhängigkeit der Filter bzw. Filterparameter untereinander	90
5.2	Analyse der Reaktionsgrößen	94
5.2.1	Analyse des Schallpegels	94
5.2.1.1	Analyse des Schallpegels in Abhängigkeit von der Raumakustik	94
5.2.1.2	Analyse des Schallpegels in Abhängigkeit von der Arbeitsform	103
5.2.1.3	Analyse des Schallpegels in Abhängigkeit von den Redeanteilen LR-SR	106
5.2.1.4	Analyse des Schallpegels in Abhängigkeit von ausgewählten Filterkombinationen	109
5.2.2	Analyse der Herzfrequenz	115
5.2.2.1	Analyse der Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Raumakustik	115
5.2.2.2	Analyse der Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Arbeitsform	126
5.2.2.3	Analyse der Herzfrequenz in Abhängigkeit von den Redeanteilen	133
5.2.2.4	Analyse der Herzfrequenz in Abhängigkeit von ausgewählten Filterkombinationen	137
5.3	Synopse – Analyse der Abhängigkeit der Reaktionsgrößen untereinander im Kontext verschiedener Arbeitsformen	147
5.4	Exkurs: Subjektive Befragung zur Lärmempfindlichkeit	162
6	Zusammenfassung	164

7	Arbeitswissenschaftliche Konsequenzen und Ausblick	167
8	Literaturverzeichnis	171
9	Verzeichnis der Abbildungen	179
10	Verzeichnis der Tabellen	190
11	Anhang	191
12	Nachwort	193

Akustische Ergonomie der Schule

Kurzreferat

Die aus Schulen und anderen Bildungsstätten laut gewordenen Klagen über starke Geräuschbelastung gaben Anlass dazu, die möglichen Ursachen und Folgen dieses „Schullärms“ genauer zu beleuchten. In der vorliegenden Studie zur „akustischen Ergonomie der Schule“ werden in diesem Zusammenhang am Beispiel zweier Grundschulen

Grundschule Stichnetstraße: 1.-4. Jahrgang, je 2 Klassen, mit unterschiedlichen raumakustischen Bedingungen (EG: RT > 0,5 s und OG: RT < 0,5 s)

Baumberge-Schule: 2. Klasse vor und nach der Sanierung der Raumakustik

die aktuellen pädagogischen Trends in ihren konkreten daraus resultierenden Arbeitsformen und dem damit verbundenen Kommunikationsverhalten im Unterricht beleuchtet. Auf der Basis von 175 Unterrichtsstunden werden in einem ersten Schritt dabei die Auswirkungen der verschiedenen Arbeitsformen (Frontalunterricht vs. differenzierter Unterricht) auf Grund- (L_{A95}) und Arbeitsgeräuschpegel (L_{Aeq}) im Klassenraum analysiert. In einem zweiten Schritt wird untersucht, wie sich eine veränderte Raumakustik (Nachhallzeit und Sprachverständlichkeit) auf diese Pegel im Kontext der jeweiligen Arbeitsform auswirkt. Die Ergebnisse liefern die Basis zur weitergehenden Frage nach dem Einfluss raumakustischer Bedingungen auf die physiologisch messbare Beanspruchung der Lehrerinnen und Lehrer in Abhängigkeit vom Unterrichtsgeschehen, Arbeitsformen und Redeanteilen. Die Analysen zeigen unter anderem:

1. Am Beispiel einer Sanierung kann eine Pegelreduzierung von bis zu 5 dB bei frontalem Unterricht und 12 dB bei differenzierten Arbeitsformen nachgewiesen werden, wovon 9 dB auf verändertes Schülerverhalten zurückzuführen sind.
2. Die physiologische Beanspruchung reduziert sich unter besseren raumakustischen Bedingungen im Mittel um 3 Herzschläge pro Minute, während auf die einzelne Person bezogen in vergleichbaren Situationen die Beanspruchung um bis zu 10 Herzschläge pro Minute sinkt, Ermüdungsprozesse werden geringer.

Insgesamt lässt sich belegen: Die Arbeitsbedingungen werden durch Verbesserung der Raumakustik positiv verändert, der Geräuschpegel sinkt, das Sozialverhalten der Schüler wird ruhiger, die Lehrkraft erlebt eine geringere Beanspruchung bei gesteigerter Aktivität bei gleichzeitiger geringerer Empfindlichkeit gegenüber dem Geräuschpegel.

Schlagwörter:

Schullärm, Raumakustik, Ergonomie, Sprachverständlichkeit, Lärmbelastung, Beanspruchung, Stress

Acoustic School Ergonomics

Abstract

The complaints about heavy noise pollution in educational institutions were the cause to cast a light on the possible causes and consequences of "school noise". In this context the present study cast a light on the topical educational trends and the connected kind of work and communication behaviour in the classes by means of two elementary schools

Grundschule Stichnathstraße: 1. to 4. year, 2 classes per year with different room acoustic conditions (first floor: RT > 0,5 s and second floor: RT < 0,5 s)

Baumberge-Schule: 2. year, before and after room acoustic redevelopment.

In the first place it is analysed how the different kinds of work (frontal lessons vs. differentiated lessons) have an effect on basically (L_{A95}) and working sound pressure level (L_{Aeq}) in the classroom, on the basis of 175 lessons. In the second place it is investigated how an altered room acoustic (reverberation time and speech intelligibility) has an effect on the sound levels in context with each kind of work. The results provide the basis for the further question which deals with the influence of room acoustic conditions on the teachers' measurable physiological load depending on class events, kind of work and speaking parts. Among other things the analysis shows:

1. A reduction of sound pressure level up to 5 dB at frontal lessons and 12 dB at differentiated lessons (9 dB follow from changed student behaviour) can be proved on the example of redevelopment.
2. Under improved room acoustic conditions the physiological load decreases at 3 heart beats per minute in average. In comparable situations a single person's load decreases up to 10 heart beats per minute, fatigue processes decrease too.

Altogether, with room acoustic improvement the work conditions improve, the sound level decreases, the students' social behaviour becomes calmer, the teachers experience a lower load at increasing activity and at the same time a lower sensitivity with regard to the sound level.

Key words:

Noise in school, room acoustic, ergonomics, speech intelligibility, noise pollution, physiological load, stress

Ergonomie acoustique de l'école

Résumé

Les lamentations qui viennent des écoles et autres établissements scolaires concernant la pollution sonore ont donné lieu à demander des raisons et les conséquences de cette «pollution sonore dans l'école». Dans cette étude «d'ergonomie acoustique dans l'école» on examine par l'exemple de deux écoles primaire:

Grundschule Stichnathstraße: 1^{er} à 4^{ième} classe, chaque fois 2 classes avec des conditions different acoustique (rez-de-chaussée: RT > 0,5 s et supérieur: RT < 0,5 s)

Baumberge-Schule: 2^{ième} classe avant et après l'assainissement de l'acoustique de la classe,

les tendances pédagogique actuel avec les façons de travail les suivantes et les rétentions de communication pendant les leçons. Sur la base de 175 leçons on analyse pendant un premier pas les effets des different façons de travail (leçons frontal et les façons de travail différentier) du niveau sonore de fond (L_{A95}) et du niveau sonore de travail (L_{Aeq}) dans la classe. Pendant un deuxième pas on analyse comment l'acoustique changée (la durée de réverbération et l'intelligibilité) se répercute sur ces niveaux en context des façons de travail different. Les résultats donnent la base à la question considérable de l'influence des conditions acoustique sur la demande physiologique mesurable pour les institutrices et les instituteurs à la dépendance d'événement de leçons, les façons de travail et les parts de conversation. Les analyses fait voir entre autres choses que:

1. À l'exemple d'un assainissement on peut prouver une réduction de la pollution sonore jusqu'au 5 dB avec les leçons frontal et jusqu'au 12 dB avec des manières du travail différentier. De cela on peut attribuer 9 dB à la rétention changé des élèves.
2. La demande physiologique se réduit sous une maniemment mieux acoustique en moyenne vers 3 pulsations du cœur par minute, tandis que la demande se réduit à la même situation pour une personne jusqu'au 10 pulsations du cœur par minute, symptômes de lassitude se diminuer.

En tout on peut démontrer: les conditions du travail changent positif par l'amélioration de l'acoustique, la pollution sonore se réduit, la rétention social des élèves se calme, l'instituteur fait l'expérience d'une demande réduite avec une activité élevé et une sensibilité plus bas pour le niveau sonore en même temps.

Mots clés:

Bruit dans les établissements scolaires, acoustique, ergonomie, intelligibilité, pollution sonore, demande, stress

1 Einleitung

Diese Arbeit steht in der langjährigen Tradition des Instituts für Interdisziplinäre Schulforschung (ISF) der Universität Bremen. Die Forschungsgruppe um J. BERNDT und H.-G. SCHÖNWÄLDER hat es sich bereits in den 70er Jahren zur Aufgabe gemacht, durch eine praxisnahe Feldforschung und die Verknüpfung verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen (Pädagogik, Medizin, Sozial- und Ingenieurwissenschaft) ein möglichst ganzheitliches Bild vom Geschehen in unseren Schulen zu zeichnen. Im Mittelpunkt der Arbeit stand dabei von Beginn der „Arbeitsplatz Schule“ und damit der Arbeitsplatz von Lehrern und Schülern.

Das Themenfeld „Schullärm“ als diagnostizierbare Belastungsgröße rückte Ende der 90er Jahre während des Projektes „Belastung und Beanspruchung im Lehrerberuf“ im Auftrag des Bremer Bildungssenators erstmals in den Mittelpunkt des Interesses. Die Ergebnisse waren aussagekräftig genug, um die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin anzuregen, das ISF mit dem Folgeprojekt „Lärm in Bildungsstätten“ zu beauftragen – der bislang größten Feldstudie zum Thema Schullärm in Deutschland. In über 570 Unterrichtseinheiten in 28 verschiedenen Schulklassen an 5 verschiedenen Schulen wurden nicht nur die Schallpegel und entsprechende raumakustische Daten erhoben, sondern auch wesentliche Unterrichtsereignisse (Arbeitsformen, Redeanteile, Störfaktoren) durch teilnehmende Beobachter protokolliert.

Eine Selektion dieser Daten, ergänzt um physiologische Aufzeichnungen der Herzfrequenz, bildet die Basis auch für die vorliegende Arbeit, die in einem weiteren Schritt die Zusammenhänge zwischen raumakustischen Arbeitsbedingungen im Klassenraum, dem Schallpegel im unterrichtlichen Arbeitsprozess und der gleichzeitigen physiologisch messbaren Arbeitsbeanspruchung der Lehrer prüfen möchte. Ziel ist erneut, wie bei den ersten Studien des ISF vor 30 Jahren, eine möglichst ganzheitliche Beschreibung unterrichtlicher Realität.

Die Möglichkeiten – aber auch Grenzen – interdisziplinärer Forschung zeigen sich auch in der vorliegenden Arbeit. Es wird damals wie heute nicht gelingen, allen Einzelaspekten aus allen beteiligten Disziplinen der Pädagogik, der Arbeitswissenschaft und der Ingenieurwissenschaft voll Rechnung zu tragen. Dafür verspricht die Arbeitsweise einen ansonsten nicht möglichen Einblick in Zusammenhänge über die Grenzen der jeweiligen Fachdisziplinen hinaus.

1.1 Der Arbeitsplatz Schule

Die Schule als Arbeitsplatz sowohl für die Schülerinnen und Schüler als auch für Lehrerinnen und Lehrer zu betrachten, ist nicht neu. Bereits BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) haben in ihrem „Handbuch der Schulhygiene“ diesem Konzept Rechnung getragen, doch in der allgemeinen Diskussion wurde dies immer wieder vergessen. Erst im Rahmen der Schulstressdiskussion in Deutschland gegen Mitte der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts taucht dieser Ansatz wieder auf. So wurde in dem Forschungsprojekt „Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz Schule“ von BERNDT ET AL. (1976, 1977, 1979) sowie SCHÖNWÄLDER (1977) dieser Begriff auf den Arbeitsplatz des Schülers angewandt. Zeitgleich ist dieser Ansatz auch bei RUTENFRANZ (1977) zu finden. Hier taucht erstmals das aus der Arbeitswissenschaft von ROHMERT UND RUTENFRANZ (1975) eingeführte „Belastungs-Beanspruchungs-Modell“,

auf die Schülertätigkeit bezogen, auf, in seiner allgemeinen Form dargestellt in Abbildung 1.1.

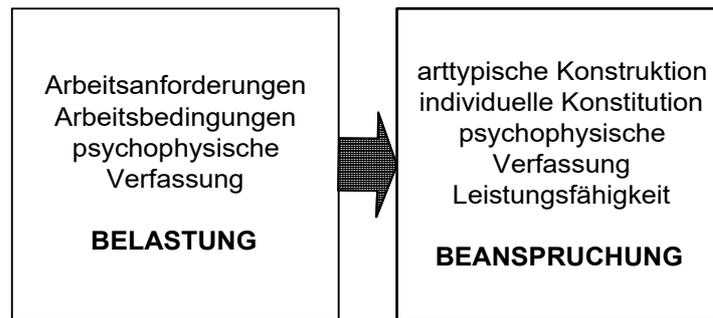


Abb. 1.1 Belastungs-Beanspruchungs-Modell nach BERNDT ET AL. (1976)

Eine sehr viel detailliertere Darstellung dieses Modells ist bei ROHMERT UND RUTENFRANZ (1983) zu finden. Dieses Modell wurde von den Autoren an den Arbeitsplatz Schule angepasst und ist in Abbildung 1.2 dargestellt.

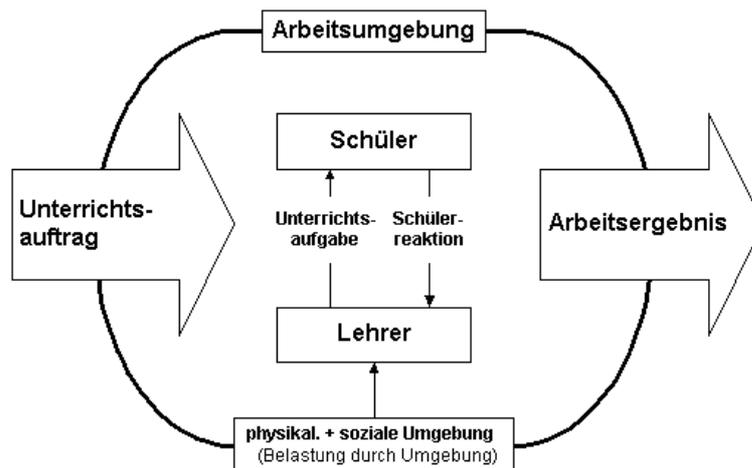


Abb. 1.2 Arbeitssystem „Schule“, modifiziert nach ROHMERT UND RUTENFRANZ (1983)

In diesem Modell steht die Interaktion zwischen Lehrer und Schüler im Vordergrund, sozusagen die Arbeitsaufgabe an sich, aber auch der Einfluss der Arbeitsumgebung auf diesen Arbeitsprozess. Die Frage nach dem „Unterrichtsauftrag“ wird ebenso wenig gestellt wie die nach dem „Arbeitsergebnis“.

Eine zentrale Funktion hat in diesem Modell die Arbeitsumgebung, die Ergonomie des Arbeitsplatzes. Für industrielle Arbeitsplätze, für die dieses Modell ursprünglich entwickelt wurde, werden hier von SCHMITDKE (1993) folgende Faktoren genannt:

- Klima
- Strahlung
- Schadstoffe
- Mechanische Schwingungen

- Arbeitsplatzgestaltung (Arbeitshaltung)
- Beleuchtung
- Lärm

Diese Faktoren sollten selbstverständlich auch bei der Planung eines Schulbaus berücksichtigt werden. Zum Faktor *Klima* gibt es dabei aus dem Bereich der Arbeitswissenschaft eine Vielzahl von Untersuchungen mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Aussagen zur Gestaltung von Arbeitsplätzen sind z. B. bereits bei SCHMITDKE (1974) zu finden. Einzelheiten sind in der Arbeitsstättenverordnung (1996) definiert. In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass Schulgebäude in Deutschland zumindest nicht über zentrale Klima- oder Belüftungsanlagen verfügen, hier bedarf die Regulierung des Raumklimas einer Handsteuerung. So sind denn auch die „Empfehlungen zum Lüften von Klassenräumen“ der Gesundheitsbehörde in Hamburg zu verstehen. Die Faktoren *Strahlung*, *Schadstoffe* und *Schwingungen* können in Klassenräumen in der Regel als nicht relevant betrachtet werden. Lediglich eine Schadstoffbelastung ist durch die Verwendung belasteter Baumaterialien zu einem Problem geworden, man denke hier an Asbest und PCB. Die Arbeitsplatzgestaltung in Bezug auf die *Sitz- bzw. Arbeitsposition* bekommt in der Schule hingegen ganz besondere Bedeutung durch die Phase der körperlichen Entwicklung, in der sich Schüler noch befinden. Die Grundlagen hierfür sind ebenfalls bereits bei BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) zu finden und gelten heute nach wie vor, genau wie der Faktor *Beleuchtung*, für den uns zudem heute sehr viel bessere Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen als vor 100 Jahren. Wenn bei BURGERSTEIN UND NETOLITZKY allerdings der Faktor *Lärm* genannt wird, wird dieser zwar im Sinne der Arbeitswissenschaft auf den Arbeitsplatz selbst bezogen, in Bezug auf Schule wurde damals jedoch nur der Lärm verstanden, der von außen in das Gebäude getragen wird: Umweltlärm, und da in erster Linie Verkehrslärm. Der durch den Arbeitsprozess selbst entstehende „Lärm“, genauer muss hier von Arbeitsgeräusch gesprochen werden, bleibt ebenso unberücksichtigt wie die raumakustischen Rahmenbedingungen.

SOBOTKA (1977) bezeichnet das Schulraumklima als eine Gestaltungsaufgabe, da es „Voraussetzung für Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit“ ist. Sie bezeichnet die ergonomische Bedingung als notwendige Voraussetzung zur Erfüllung der gestellten Aufgabe. Der Geräuschpegel ist in ihrer Liste der Raumklimafaktoren jedoch nicht enthalten. Eine sehr viel neuere Arbeit von SCHNEIDER (2002) fragt genau einhundert Jahre nach BURGERSTEIN immer noch: „Do School Facilities Affect Academic Outcomes?“ und versucht, einen Gesamtzusammenhang zwischen den ergonomischen Bedingungen der Schule und dem Ergebnis aller pädagogischen Bemühungen herzustellen. Zumindest für die untersuchten Verhältnisse an Schulen in den USA wurden Zusammenhänge gefunden, wobei eine Zuordnung zu einzelnen Faktoren allerdings nicht möglich ist.

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stehen jedoch nicht die Schüler, sondern die Lehrer, selbstverständlich in ihrem Arbeitsprozess mit den Schülern. Für die Wahrnehmung der Arbeitssituation durch die Lehrer kommt eine Komponente mit dazu, die zumindest unter dem Aspekt von Stressbewältigung eine besondere Bedeutung bekommt. RICHTER UND HACKER führen zu diesem Zweck eine Erweiterung des ursprünglichen Belastungs-Beanspruchungs-Modells ein und bezeichnen dies als „Auftrags-Auseinandersetzungskonzept“, dargestellt in Abbildung 1.3.

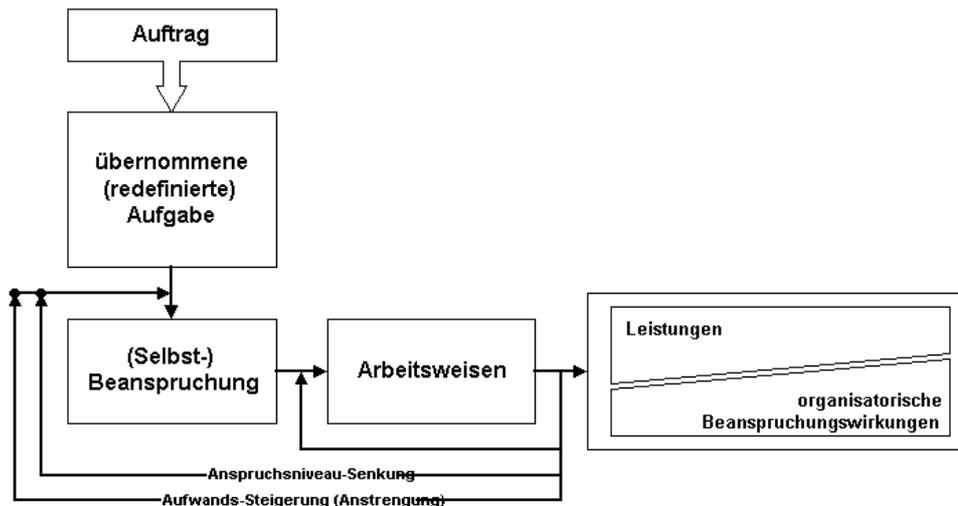


Abb. 1.3 Auftrags-Auseinandersetzungs-Konzept nach RICHTER UND HACKER

Hier werden zwei Begriffe eingeführt, die für die Bewältigung der Aufgabe von großer Bedeutung sind, zum einen die Redefinition der Arbeitsaufgabe, zum anderen die Selbstbeanspruchung. In Anlehnung an das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept müsste der Begriff der *Selbstbeanspruchung* sinngemäß allerdings *Selbstbelastung* lauten, da diese erst die Ursache für eine daraus resultierende Beanspruchung ist. Die Faktoren der Rückkopplung von Arbeitsweise, Selbstbeanspruchung und Redefinition der Arbeitsaufgabe werden im Zusammenhang mit der Stressbewältigung noch von besonderer Bedeutung sein.

1.2 Pädagogische Trends

Es ist nicht zu übersehen: Das Bildungssystem in Deutschland ist in Bewegung wie schon lange nicht mehr. Und das nicht erst seit PISA oder TIMSS. In zahlreichen Bundesländern stehen (mit unterschiedlicher Tragweite) Bildungsreformen an oder werden bereits durchgeführt. Kernlehrpläne, Bildungsstandards, zentrale Abschlussprüfungen, die Einführung des „Schul-TÜVs“, die Verkürzung der gymnasialen Schulzeit oder der Ausbau von Ganztageschulen sind dabei nur einige äußere Zeichen organisatorischer Veränderungen, die von stetem und intensivem Vergleich mit anderen europäischen Ländern und nicht zuletzt einem starken internen Wettbewerb der einzelnen Bundesländer untereinander begleitet werden.

Die Veränderungen der äußeren Schulorganisation sind dabei jedoch nicht der eigentliche Meilenstein. Vielmehr rücken darüber hinaus vor allem die veränderten Arbeitsweisen innerhalb des äußeren Rahmens ins Zentrum des Interesses. Die daraus entstandene vielfältige Debatte über pädagogische Trends und Vorgehensweise am „Bildungsstandort Deutschland“ kann mit dem interdisziplinären Ansatz dieser Arbeit nicht im Detail nachvollzogen werden, verwiesen sei jedoch beispielsweise auf WINTER (2002), der einen guten Überblick über die derzeitige „zwar uneinheitliche, aber breite Suchbewegung nach erweiterten Lehr- und Lernformen in der Schule“ bietet. Er identifiziert dabei, dass es „nicht lediglich um die Reform“ einzelner Unterrichtsmethoden geht, sondern um Versuche „den Unterricht, das Lehren und Lernen, in einen neu definierten Zusammenhang zu bringen“ und stellt, angelehnt an WEI-

NERT (1977), drei wesentliche Merkmale dieser neuen Lernkultur auf: Offenheit, Selbstständigkeit und Individualisierung.

Offenheit

Das Kriterium Offenheit bezieht sich dabei nicht ausschließlich auf Arbeitsformen und Unterrichtsmethoden, zu denen üblicherweise jener „offene Unterricht“ gezählt wird wie Projektunterricht, Wochenplanunterricht, Freiarbeit oder das Stationenlernen, bei denen die Lernenden stärker als üblich über ihre Zeit und zum Teil auch über die Auswahl an Themen verfügen können. Es beinhaltet auch eine veränderte Rollenverteilung zwischen Lernenden und Lehrenden, bei WINTER „institutionelle Offenheit“ genannt.

Diese Offenheit bedeutet keineswegs, dass der Unterricht „ungeplant oder ohne Bestimmung von Zielen abläuft“. Im Gegenteil: Dieser offene Unterricht ringt dem Lehrer neben einer sehr sorgfältigen Planung und Vorbereitung ein hohes Maß an Kompetenz zur Steuerung und Strukturierung ab. Dadurch erweitert sich zwangsläufig seine Aktionsfläche und das dazu notwendige Handlungs-Repertoire: Lernvereinbarungen mit den Schülerinnen und Schülern werden nötig, die begleitende Auswertung, Reflexion und (evtl. gemeinsame) Neukonzipierung der Arbeit werden zu wesentlichen Elementen der Interaktion.

Selbstständigkeit

Ziel und gleichzeitig Grundlage dieser Offenheit ist, dass Schülerinnen und Schüler in dieser Form der Lernkultur häufiger selbstständig arbeiten und lernen. „Autonomie“ lautet das Stichwort. Es steht im Kontext nicht zuletzt mit der Notwendigkeit des lebenslangen Lernens für die individuelle und gesellschaftliche Zukunftsfähigkeit. Konzepte dieser neuen Lernkultur, so WINTER, sind deshalb „deutlich auf die Schülerseite orientiert und achten darauf, dass diese ihre Handlungen selbst steuern und kontrollieren“.

Individualisierung

Konsequenz dieser beiden Merkmale ist eine stärkere Individualisierung des Lernens. Schülerinnen und Schüler sollen und können „– zumindest phasenweise – auf ‚eigenen Wegen‘ lernen“.

Damit aber tritt in der aktuellen Bildungsdebatte eine Zielverschiebung auch in der Arbeitsbeschreibung des Lehrers ein: Sein Fachwissen verliert an Bedeutung, während seine operativen Fähigkeiten zur Beurteilung und Lenkung von Prozessen an Wichtigkeit zunehmen. WINTER nennt als Schlüsselqualifikation die Methodenkompetenz, die Sozialkompetenz und die Selbst- bzw. Persönlichkeitskompetenz.

Mit diesen grundlegenden Weichenstellungen reagiert die pädagogische Diskussion unter anderem auf zum Teil dramatisch veränderte Bedingungen, unter denen heute zu unterrichten ist. Für KLIPPERT (2002) ist das eigenverantwortliche Arbeiten und Lernen als wichtigster Bestandteil eines „neuen Hauses des Lernens“ die Antwort auf veränderte Schülerinnen und Schüler, auf neue Anforderungen an die Schule und auf eine wachsende Lehrerbeltung (Abb. 1.4).

Das traditionelle Methodenrepertoire, so KLIPPERT, reicht „längst nicht mehr aus, um den veränderten Lerndispositionen und -interessen dieser Schülerinnen und Schüler gerecht zu werden“. Auch er fordert daher eine dringende „grundlegende Veränderung sowohl des Rollenverständnisses als auch des Methodenrepertoires der Lehrkräfte“.

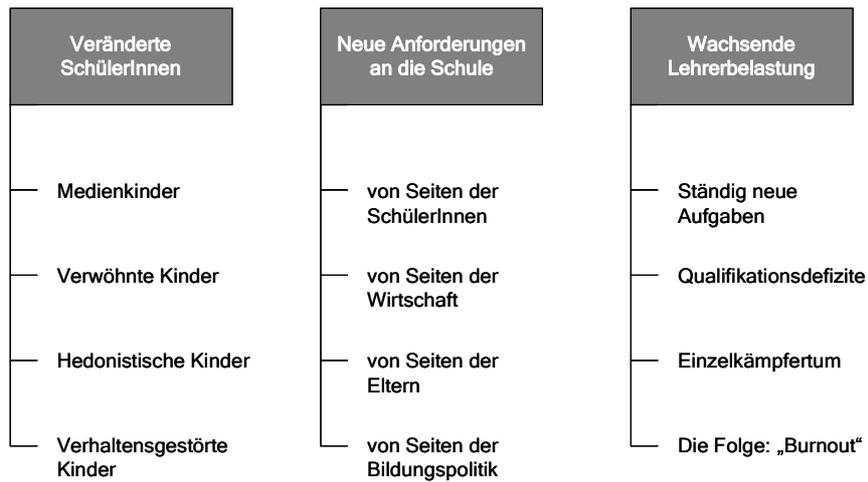


Abb. 1.4 Veränderte Grundbedingungen von Schule nach KLIPPERT (2002)

Unterstützung bekommt er aus der Hirnforschung und Lernpsychologie. So berichtet STRUCK (2001) von einem Modellversuch, bei dem Kinder „in zwei Fünftel der bisherigen Zeit etwa dreimal so viel“ lernten und „das Gelernte etwa dreimal so lange im Gedächtnis parat“ hatten, wenn sie Tempo, Pausen, Vertiefungsgrad und Antworten bzw. Transfer selbst bestimmen konnten. Die Kinder lernten anschaulicher und motivierter und waren aktiver dabei als beim „herkömmlichen, frontal vorgehenden, lehrerzentrierten Unterricht der Wort-, Buch- und Zettelschule“. STRUCK formuliert acht lernpsychologische Grundsätze (zitiert nach STRUCK):

- 1) Kinder und Erwachsenen lernen weniger, wenn man sie belehrt, und lernen besser, wenn sie selbst lernen.
- 2) Junge Menschen lernen besser, wenn man sie beim Lernen zugleich auch handeln lässt („Learning by Doing“).
- 3) Schüler lernen besser, wenn sie beim Lernen auch unbestraft Fehler machen dürfen.
- 4) Kinder lernen besser von Gleichaltrigen als von Erwachsenen.
- 5) Am besten lernen Kinder, wenn sie das, was sie lernen sollen, anderen zu erklären haben. Gutes Lernen geht mit dem Sprechen einher.
- 6) Gutes Lernen braucht positive, also hilfreich weiterführende Resonanz.
- 7) Kinder lernen am besten, wenn sie zu zweit ein Problem zu lösen haben.
- 8) Wahrscheinlich lernen Kinder in altersgleichen Gruppen nicht ganz so gut wie in jahrgangsübergreifenden Klassen.

Damit ist jedoch die Grundrichtung eines halbwegs zeitgemäßen Unterrichts im Zusammenhang mit der postulierten „neuen Lernkultur“ festgelegt: Der Lehrer tritt als Stoffvermittler, als Darsteller vorgegebener Wissensbestände zurück. Auf diese Weise verändern sich aber auch die Tätigkeiten im Klassenraum: Schüler und Schülerinnen müssen ausprobieren, abwägen, miteinander diskutieren. Morgen- und Gesprächskreise, Rollenspiele verorten die genannten lernpsychologischen Ansätze konkret im alltäglichen Unterrichtsgeschehen. Statt allein vor einem Problem zu sitzen (bei Hausaufgaben und Klassenarbeiten) oder nur als Teil des Klassenverbandes, muss Lernen zunehmend gemeinschaftlich stattfinden. Partnerarbeit, so behauptet STRUCK, ist dabei die effizienteste Lernform. Sie ist „der Kleingruppenarbeit,

diese in der Regel der Einzelarbeit und durchweg dem Lernen in großen Gruppen überlegen“. Auch für die Lehrerinnen und Lehrer verändert sich die Tätigkeit: Sie müssen verstärkt beobachten, nachfragen und moderieren. Die bisherige Darbietung von Stoff ist hingegen weniger stark gefragt.

Mitunter zeichnet die aktuelle Bildungsdebatte damit ein überspitztes Bild, welches den klassischen Frontalunterricht als überholt und nicht mehr zeitgemäß erscheinen lässt. Auf Basis der vorherigen Ausführungen ist es tatsächlich schwer vorstellbar, wie mit dieser Lehrmethode die geforderten Qualifikationen überhaupt erreicht werden sollten. Festzuhalten ist jedoch, dass eben dieser Frontalunterricht, glaubt man etwa den Untersuchungen von GUDJONS, nach wie vor die am häufigsten praktizierte Unterrichtsform in deutschen Klassenräumen ist. GUDJONS (2000) definiert einen modernen Frontalunterricht als eine „meistens thematisch orientierte und sprachlich vermittelte Unterrichtsform, in der der Lehrverband gemeinsam unterrichtet wird und die Interaktions- und Kommunikationsformen – in der Regel jedenfalls – von vorn, frontal, von der Lehrkraft gesteuert und kontrolliert werden“. Dies geschieht innerhalb relativ enger spezifischer Grenzen. Frontalunterricht ist dann eine didaktisch sinnvolle Unterrichtsform, wenn es darum geht, einen klar umgrenzten Wissensbereich kurz und knapp zu vermitteln. Solange es eben nicht darum geht, den Schüler zum kooperativen Problemlösen zu erziehen, ist der Frontalunterricht, so GUDJONS (2000), eine „sehr effektive Unterrichtsform, weil die Lehrkraft von vornherein alles sehr genau planen kann [...]. Frontalunterricht braucht, so gesehen, in der Tat für die Vermittlung von Sachverhalten weniger Zeit und ist effektiver, weil zeitökonomischer.“ Darüber hinaus kam er bei seinen Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass Frontalunterricht bei Schülerinnen und Schülern relativ beliebt ist, wenn in diesem eine positive, lebendige und emotionale Lehrerpersönlichkeit greifbar wurde und sie im Rahmen einer guten Gesprächskultur stattfand.

So benennt GUDJONS einige Grundfunktionen, die sich über den Frontalunterricht am effizientesten lösen lassen. Neben der Information und der Vernetzung (damit sich beispielsweise alle Schülerinnen und Schüler auf dem gleichen Wissenstand befinden) ist dies vor allem die Ergebnissicherung und Überprüfung des Lernerfolgs. Dazu sind jedoch auch beim Frontalunterricht unmittelbare und direkte Rückkopplungen nötig. Es geht also keineswegs um ein statisches Lehren oder Dozieren! Die „frontale“ Kommunikation ist keine Einbahnstraße von der Tafel zu den Schülern.

Es ist somit zu erwarten, dass der Frontalunterricht in absehbarer Zeit nicht aus dem Methodenkatalog unserer Schulen verschwindet (obwohl sich bei SCHÖNWÄLDER ET AL., 2004, durchaus solche Schulen finden lassen). Sicher auch, weil er dem Lehrer eine sehr ökonomische, mit vergleichsweise geringem Vorbereitungsaufwand zu betreibende Arbeitsform zur Verfügung stellt. Vielleicht hat GUDJONS (2004) darüber hinaus auch Recht mit seiner Vermutung, dass der Frontalunterricht nicht zuletzt ein wesentlicher Baustein für funktionierende offene Unterrichtsformen ist, und sei es nur, um diese vorzubereiten und zu organisieren. Er behält seine Berechtigung als didaktisch sinnvolle Unterrichtsform, „wenn a) ihre spezifischen Vorteile und eben ihre Grenzen deutlich erkannt werden und b) wenn Frontalunterricht in Verbindung mit anderen schülerorientierten und Selbstständigkeit fördernden Verfahren steht; c) kann man noch sagen, Frontalunterricht ist dann sinnvoll, wenn er gut gemacht wird: spannend, modern – einfach professionell“.

So weit also in Kürze die wichtigsten Schlagworte der momentanen Debatte. Eine intensive Würdigung der Diskussion soll an dieser Stelle nicht erfolgen. Anzumerken wäre jedoch, dass viele der gelesenen Begriffe auch bei oberflächlicher Durchsicht der Literaturgeschichte so „neu“ nicht erscheinen wollen. Auch ist nach arbeitswis-

senschaftlichen Maßstäben die Argumentationskette in der pädagogischen Literatur nicht immer so stringent und nachweisbar, wie man sich das wünschen würde. Ein interdisziplinäres Kommunikationsproblem? Zumindest einen Hinweis auf einen verlässlichen Parameter für die Messung der viel zitierten „Effizienz“ würde man sich jedenfalls wünschen.

Zusammenfassend bleibt dennoch festzuhalten: Sowohl bei den viel genannten und diskutierten offenen, differenzierten Arbeitsformen, aber auch beim klassischen Frontalunterricht in einem zeitgemäßen Gewand, wird der Klassenraum zur Bühne eines fundamental veränderten Kommunikationsszenarios. Als eines der wichtigsten Werkzeuge des Lehrers müssen sich die Rahmenbedingungen, die er zur Verfügung stellt, an diesen veränderten Vorgehensweisen messen lassen.

1.3 „Schullärm“

Im Zusammenhang mit Schulen bzw. beruflichen Bildungsstätten erscheint es ein wenig überraschend, von beruflicher Lärmbelastung zu sprechen. In diesem Zusammenhang ist bisher nicht die Rede von beruflich Lärmgeschädigten gewesen. Ebenso wenig wurde bisher der Verdacht geäußert, dass Beurteilungspegel von 80 dB(A) in Bildungseinrichtungen so oft überschritten werden, dass sich daraus eine berufsbedingte Lärmschwerhörigkeit der Betroffenen entwickeln könnte. Eine erste Aufklärung dieses Sachverhaltes wurde von RITTERSTAEDT, PAULSEN UND KASKA (1980) vorgenommen. Sie haben in Grund- und Hauptschulen des staatlichen Bildungssystems während des Unterrichtes und in Pausen Schallpegel zwischen 50 dB(A) und 80 dB(A) festgestellt, aber Messwerte oberhalb 85 dB(A) traten selbst bei Spitzenwert-Messungen nicht regelmäßig auf. In einer Untersuchung von ENMARKER UND BOMAN (2004) wurden Schülerinnen und Schüler nach den möglichen Ursachen für den Lärm in der Schule befragt. Hier wurden unterschiedliche Erklärungen gefunden, zum einen wurden Gründe in der Schulorganisation angegeben, wie z. B. Klassengröße, Unterrichtsdauer und ungenügende Präsenz der Lehrer, zum anderen alle Geräusche, die von anderen erzeugt werden, wie z. B. Gespräche anderer Mitschüler oder Geräusche von den Fluren. Die eigene Beteiligung wurde dabei kaum wahrgenommen.

Aus einer Untersuchung von SCHÖNWÄLDER ET AL. (2003) zur Belastung und Beanspruchung im Lehrerberuf geht hervor, dass „... der Lärm, den Schülerinnen und Schüler machen“, von 80 % der befragten über 1.200 Lehrerinnen und Lehrer als besonderer Belastungsfaktor benannt wurde. In der gleichen Arbeit wird auch über - daraufhin vorgenommene - dosimetrische Schallpegelmessungen bei neun Lehrerinnen einer Grundschule über ganze Schultage berichtet. Die beobachteten Beurteilungspegel für Unterrichtsstunden lagen zwischen 63 und 85 dB(A). Diese Werte bestehen selbstredend nicht ausschließlich aus „Lärm“, da beispielsweise die Lehrerstimme und die gewollte Schülerstimme als Nutzsignal mit in die Messung einfließen (s. u.). Dennoch: Selbst wenn diese Pegel ausschließlich durch den Lehrer entstanden sein sollten, würde dies zumindest bedeuten, dass er die ganze Zeit über mit deutlich angehobener Sprechleistung hätte reden müssen. An einer zweiten Grundschule, in der stationäre Schallpegelmessungen über jeweils eine Woche in je einer Klasse der vier Jahrgangsstufen vorgenommen wurde, ergab sich ein ähnliches Bild. Hier lagen die Beurteilungspegel für die Unterrichtsstunden zwischen 57 und 73 dB(A). Da auch diese Schallpegelwerte hauptsächlich dem Intensitätsbereich unter 85 dB(A) zuzuordnen sind, kann davon ausgegangen werden, dass weder Schüler

noch Lehrer Gefahr laufen, durch den gegenseitig erzeugten Geräuschpegel im Klassenraum Innenohrschäden davon zu tragen.

Eine Ausnahme dieser Beobachtungen stellen die Untersuchungen von HÄNTZSCHEL (1980) dar, der sich ausschließlich mit dem Lärm in Sporthallen befasste. Er fand als Beurteilungspegel für einen Vormittag mit fünf Unterrichtsstunden, inkl. Pausen, Pegelwerte zwischen 82 und 85 dB(A), für einzelne Stunden bis zu 92 dB(A) mit Spitzenwerten zwischen 100 und 110 dB(A). SCHÖNWÄLDER ET AL. (2003) berichten für den Sportunterricht vergleichbare Pegelwerte. In Sporthallen, die mit akustischen Absorbern ausgestattet waren, lagen die Pegel für einen entsprechenden Vormittag bei 76 dB(A) mit Spitzenpegeln unter 95 dB(A). Die Hallen ohne Absorber waren durch Nachhallzeiten zwischen 2,6 und 4,5 s gekennzeichnet, mit Absorbern unter 2,0 s.

Dennoch bleibt festzuhalten, dass im „normalen“ Unterricht das Problem des „Schullärms“ nicht seinem Gefährdungspotenzial bezüglich auraler Hörschäden zu beschreiben ist. Im Vordergrund stehen vielmehr die Auswirkungen des „weniger lauten“ oder „weniger intensiven“ Lärms auf den Arbeitsplatz von Lehrern und Schülern. In diesem Kontext definiert SCHÖNWÄLDER (1990) Unterricht als ein „Produkt gemeinsamer Arbeit von Lehrer und Schülern“. Damit wird gleichermaßen deutlich, dass es sich bei Unterricht um einen Prozess handelt, der zwar von einer Person gesteuert wird, die nachfolgende Prozessreaktion aber auf der Kursvorgabe beruht. Die in einer arbeitswissenschaftlichen Betrachtung dem Prozess zugrunde liegende Regelgröße soll an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden, sie liegt aber in jedem Falle im Arbeitsauftrag begründet.

Ein wesentliches Steuerungsinstrument dabei ist die „Rede“ des Lehrers, was vergangenheitlich zu vielen Untersuchungen der Anteile von Lehrerrede im Unterricht z. B. geführt hat. SCHÖNWÄLDER (1990) spricht in seiner Darstellung von einer unveränderten „Sprachdominanz“ des Lehrers, d. h., die Anteile der Lehrerrede im Unterricht sind höher als die Anteile der Schülerrede. Daher bekommt die Lehrerrede ihre besondere Bedeutung bei der Entstehung des Geräuschpegels im Unterricht (s. o.). Immerhin liegt der menschliche Sprechpegel je nach Distanz zwischen Sprecher und Hörer im Bereich zwischen „Flüstern“ (40 dB(A)) und „lautem Schreien“ (85 dB(A)) (nach SILBERNAGEL UND DESPOPOULOS, 1991). Nach RITTERSTAEDT, PAULSEN UND KASKA (1980) beträgt der Redeanteil am Unterricht immerhin 66 % der Gesamtzeit, der Anteil anderer Geräuschquellen immerhin 65 %. Allgemeiner Lärm beherrscht den Unterricht zu 17 % und unerlaubtes Reden zu 20 %. Dabei definieren die Autoren den Schallpegelparameter L_{A95} , d. h. den Pegel, der in 95 % der Zeit überschritten wird, als „Grundgeräuschpegel“ im Klassenraum.

Verlässliche absolute Zeitangaben über die Verteilung der einzelnen Redeanteile im Unterricht liegen – vor allem im Kontext der unterschiedlichen pädagogischen Arbeitsformen - bislang nicht vor. Bei allen weiteren Untersuchungen wird gerade diesem Aspekt der unterrichtlichen Kommunikation mehr Rechnung getragen werden müssen als bisher.

Zumindest Erwähnung finden soll in diesem Zusammenhang ein Bereich des Umweltlärms, der mit dem „Schullärm“ (zumindest im Rahmen des vorliegenden Untersuchungsansatzes) nicht unmittelbar zusammenhängt: jener Lärm, dem sich die meisten Menschen mehr oder weniger freiwillig aussetzen, dem Geräuschpegel, der durch jegliche Art von (Musik-)Konsum entsteht. KLEMM (1993) bezeichnet die „Schule der Stille“ als eine alte Aufgabe, die aber neu gestellt werden muss. Sie dokumentiert die Veränderungen in der Lebensumwelt der Kinder und beim Geräuschhintergrund, vor dem wir leben, und die damit verbundenen Auswirkungen auf den zuneh-

mend sorglosen Umgang mit Lärm. Sie leitet daraus eine Reihe von Forderungen zum pädagogischen Handeln ab, um dieser Entwicklung zumindest im Rahmen des Möglichen entgegen zu wirken. Auch ZENNER ET AL. (2000) beklagen in ihrer Arbeit den leichtfertigen Umgang Jugendlicher mit Gefährdungssituationen und benennen konkret: Schießsport, Kinderspielzeug, Musik, Diskotheken, Kopfhörer (Walkman) und Musikgroßveranstaltungen. Sie unterscheiden zwischen temporärem Hörverlust, wenige Stunden bis hin zu mehreren Tagen, sowie permanentem Hörverlust, den sie bereits bei Jugendlichen zwischen 14 und 20 Jahren diagnostizieren konnten, und berichten aus einer Untersuchungsreihe mit 18-jährigen Wehrpflichtigen, bei welcher der Anteil der Probanden mit einem Hörverlust im C5-Bereich > 20 dB(A) bilateral bei 15 % lag, unilateral sogar über 35 %.

Über einen Zusammenhang zwischen dieser Art von Umweltlärm als Grund möglicher unerkannter Hörverluste bei Kindern und einem daraus resultierenden Bedürfnis nach wiederum höheren Geräuschpegeln kann immerhin spekuliert werden. Über einen solchen „Teufelskreis“ fände der moderne Freizeit- und Umweltlärm nämlich schließlich doch Eingang in das Geschehen im Klassenraum. Aussagekräftige Untersuchungen hierzu sind jedoch nicht bekannt. Lediglich eine Untersuchung von LEICHT (2003) aus Australien beschäftigt sich mit der Frage nach den Auswirkungen von Gehörschäden auf Lernen und Verhalten. Sie berichtet von im Kindesalter häufig aufgetretenen Mittelohrentzündungen mit einer vorübergehenden reduzierten Hörfähigkeit und deren Auswirkungen auf Sprach- und Schriftentwicklung sowie auf Verhalten.

1.4 Lärmdefinitionen

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

(Arthur Schopenhauer zugeschrieben)

In allen Bereichen des menschlichen Zusammenlebens entstehen Geräusche unterschiedlicher Qualität und Intensität. Typische Hauptgeräuschquellen sind dabei Arbeitsaktivitäten unterschiedlichster Art und die zwischenmenschliche Kommunikation in all ihren Ausprägungen. Die Zahl der Menschen, die sich dabei durch Lärm belästigt und in ihrer Lebensqualität beeinträchtigt fühlen, steigt unentwegt an.

Was aber ist Lärm? Wodurch unterscheidet er sich von anderen Geräuschen? Um sich mit der Frage der Belastung durch Lärm beschäftigen zu können, vor allem aus unterschiedlicher Betrachtungsweise, sollen hier drei Definitionen diskutiert werden, die aus unterschiedlichen Betrachtungsweisen resultieren.

Definition 1:

„Schall, der in der Arbeitsumgebung auftritt und dessen Frequenzanteile vom Menschen wahrgenommen werden können (Hörschall).“ (CHRIST 1997)

Diese Definition bezeichnet den gesamten Hörschall als Lärm, was sicher dem allgemeinen Empfinden deutlich widerspricht. Diese sehr grobe Zusammenfassung bezieht sich, so der Autor, auf die ersten Arbeitsplätze, denen sich die Arbeitswissenschaft gewidmet hat, vornehmlich in der Metallindustrie, bei denen erstmals sehr zuverlässig aurale Hörschäden durch Lärmbelastung nachgewiesen werden konnten. In der nachfolgenden Erläuterung grenzt CHRIST diese Definition auch weiter ein. Ei-

ne Anwendung auf den Arbeitsplatz Schule, bei dem die Kommunikation im Vordergrund steht, ist in dieser Form ausgeschlossen.

Definition 2:

„Durch unregelmäßige, nicht-periodische Schallwellenmuster erzeugte, mehr oder weniger intensive Geräusche, die für den Empfänger keine sach-sinnhafte Information enthalten und in der Regel als störend empfunden werden.“ (FRÖHLICH 1994)

Diese Definition des Begriffes Lärm von FRÖHLICH (1994) beinhaltet zwei für die Kommunikation wesentliche Anteile, Information und Störung. Hier geht es in erster Linie um die subjektive Beeinträchtigung der Hörwahrnehmung bzw. des Empfindens. Welche weiteren Folgen dies möglicherweise hat, ist nicht von Interesse, es geht nur um die momentane Situation.

Definition 3:

„Lärm ist ein unerwünschtes Geräusch, das zu einer Belästigung, Störwirkung, Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit, besonderen Unfallgefahren oder Gesundheitsschäden führt.“ (HOFFMANN, VON LÜPKE, MAUE, 1999)

In dieser dritten Definition von HOFFMANN, V. LÜPKE, MAUE (1999) kommt eine weitere Dimension hinzu, die Langzeitwirkung, und dies auf mehreren Ebenen, zum einen der Leistungsfähigkeit, zum anderen der Möglichkeit von Unfallgefahren und langfristiger möglicher Gesundheitsschäden, auraler und extraauraler Art. Diese Verknüpfung der reinen Störung durch ein Geräusch mit der Möglichkeit von längerfristiger Beeinträchtigung bis hin zu Gesundheitsschäden wird auch von GUSKI (2000) in seiner Bedeutung hervorgehoben. Die Bedeutung des Lärms für die Arbeitsleistung, die im Zusammenhang mit Schule und Bildung im Wesentlichen aus kognitiven Prozessen besteht, wird später noch zu erläutern sein, ist aber bereits in der Aussage von Schopenhauer enthalten.

Durch die Bemühungen der Arbeitsmedizin mit Unterstützung durch den Gesetzgeber (UVV Lärm) konnte vor allem die Entstehung von Lärm-Schwerhörigkeit durch Schallpegel über 85 dB(A) stark reduziert werden. Die Auswirkungen dieses „lauten Lärms“ auf das Hörorgan des Menschen (aurale Lärmschäden), insbesondere auf das Innenohr mit seinen empfindlichen Haarzellen, als vorübergehende oder dauerhafte Schwerhörigkeit sind in diesem Zusammenhang genauestens untersucht (ISING UND KRUPPA, 1993). Neben diesen auralen Wirkungen von Schall richtet die Forschung ihre Aufmerksamkeit heute jedoch zunehmend auch auf die extraauralen Wirkungen, all jene Krankheitsbilder, die nicht das Hören selbst, sondern vor allem das Herz-Kreislauf-System, aber auch das psychische Wohlbefinden betreffen. Beispiele dafür sind in dem Tagungsbericht Nr. 12 (Lärm am Arbeitsplatz und Herz-Kreislauf-Erkrankungen) der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin (1996) dokumentiert. Die Auslösung von akuten Stressreaktionen durch Lärm, hier aber im Wesentlichen durch „lauten Lärm“ über 85 dB(A), ist unbestritten und durch eine Reihe von Untersuchungen bestätigt. Die Langzeit-Auswirkung des „leisen Lärms“ (< 85 dB(A)) hingegen auf die Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen wird zwar nicht angezweifelt, der Nachweis ist bisher aber nicht eindeutig zu führen gewesen, was möglicherweise mit dem Nachweis der Lärmexposition in der Vergangenheit zusammenhängt. Zudem sind die subjektiven Aussagen der Betroffenen sowohl bezüglich der Intensität als auch der Dauer durch die Bewertung der Schallereignisse als Lärm oft verfälscht, wenn Lärm etwa von den Betroffenen im Sinne von FRÖHLICH (1994) interpretiert und „erlebt“ wird. Beispielsweise erfährt eine objektiv gleich laute Auto-

bahn im Vergleich zur Aufführung im Konzertsaal in der Regel eine sehr unterschiedliche Bewertung; Maßstab ist vor allem die eigene subjektive Einstellung gegenüber dem Geräusch.

Unter diesen Vorzeichen wurde in der Studie von SCHÖNWÄLDER ET AL. (2003) zur Belastung im Lehrerberuf auch die Frage nach der Störung durch den Schülerlärm gestellt. Im direkten Vergleich der empfundenen Störung durch Schülerlärm zum Zeitpunkt der Befragung mit dem Beginn der Berufstätigkeit konstatierten fast 90 % der Befragten eine deutlich gestiegene Lärmempfindlichkeit innerhalb des Berufslebens. Möglicherweise deutet dies auf eine Abnahme der Lärmtoleranz, wenn man diesem Geräusch über lange Zeit (Jahre) regelmäßig am Arbeitsplatz ausgesetzt ist, was der allgemeinen Behauptung der Gewöhnung widersprechen würde.

Im Gegensatz zum „lauten Lärm“, für den es in der klassischen Arbeitswissenschaft eine klare Definition über den Beurteilungspegel gibt, ist die Bewertung der Qualität der Störungen durch den „leisen Lärm“ weniger einfach. PROBST (2003) hat für die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Anlehnung an VDI 2569 „Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro“ und VDI 2058 Blatt 3 „Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten“ für Büroarbeitsbereiche eine Definition anhand der Schallpegelwerte vorgenommen, die in der Tabelle 1.1 dargestellt sind.

Tab. 1.1 Schalltechnische Qualifizierung von Bildschirmarbeitsplätzen nach PROBST (2003)

Pegelbereich (Beurteilungspegel an Arbeitsplätzen)	Schalltechnische Arbeitsplatzqualifizierung
Bis 30 dB(A)	Optimal
Über 30 dB(A) bis 40 dB(A)	Sehr gut
Über 40 dB(A) bis 45 dB(A)	Gut
Über 45 dB(A) bis 50 dB(A)	Im gewerblichen Umfeld akzeptabel
Über 50 dB(A) bis 55 dB(A)	Ungünstig, aber noch zulässig
Über 55 dB(A)	Geräuschbelastung zu hoch

Darüber hinaus gibt PROBST Kriterien bezüglich der Identifizierbarkeit einzelner Schallquellen an sowie der Sprachverständlichkeit zwischen unterschiedlichen Arbeitsbereichen (Privatsphäre). Insgesamt formuliert er aber die Forderung „so niedrig wie möglich“ bezüglich der gesamten Geräuschbelastung.

Aus diesem Portfolio an Lärmdefinitionen für die unterschiedlichen gewerblichen Anwendungsbereiche gilt es nun, für die Schule mit ihrer überwiegend kommunikativ ausgerichteten Arbeitsweise praktikable Kriterien herauszuarbeiten.

2 Herleitung der Fragestellung

2.1 Lärmbelastung und Raumakustik

2.1.1 Auswirkungen von Lärm mittlerer Intensität

Während man bei auralen Wirkungen von Schall von dem einfachen Zusammenhang ausgeht: „*viel Schallenergie (Intensität und Dauer) schadet viel*“, ist die Bestimmung seiner extraauralen Wirkungen sehr viel komplexer. Hier gilt solch eine lineare Beziehung nicht, zumindest ist nach dem bisherigen Kenntnisstand keine derartige einfache Wirkungsgleichung nachgewiesen. Geht man dennoch davon aus, dass auch Geräusche geringerer Intensität als Stressor zu betrachten sind, so muss aber auch die Frage nach den möglichen Wirkmechanismen beantwortet werden. In diesem Zusammenhang führen SUST UND LAZARUS (1997) Störung und Beeinträchtigung von Tätigkeiten, mentalen Prozessen, Kommunikation und Erholungsphasen an. Im Mittelpunkt steht erneut der Aspekt der sprachlichen Kommunikation als wesentlicher Bestandteil der Aus- und Weiterbildung. Die Kommunikationsziele sind dabei vielfältig, neben der Vermittlung von Sachinformationen spielt meistens auch die von sozialen Kompetenzen eine wichtige Rolle. SUST UND LAZARUS beschreiben eine extraaurale Hauptwirkung von Lärm – auch und gerade von leisem Lärm - als Störung dieses Kommunikationsprozesses auf drei Ebenen:

- Inhalt kommt nicht, unvollständig oder verfälscht an
- Beziehungs- und Selbstaussagen werden fehlinterpretiert
- Handlungs-Aufforderungen werden nicht, unvollständig oder falsch verstanden

Das Dosiswirkungsprinzip ist dabei um den Aspekt der Häufigkeit der Störung erweiterbar, wobei die Komplexität der Arbeitsaufgabe eine entscheidende Rolle spielt. Nach ISING, SUST UND REBENTISCH (1996) nimmt das Störpotenzial von Lärm zu:

- je mehr Informationen im Gedächtnis behalten werden müssen
- je mehr geistige Operationen ausgeführt werden müssen (Schlussfolgern, Rechenoperationen)
- je höher die Anforderungen an kontinuierliche Konzentration und Aufmerksamkeit sind
- je verantwortungsvoller die Tätigkeiten in Bezug auf Fehlerfolgen sind (Qualitätsbewusstsein)
- je stärker die Aufgaben unter Zeitdruck gelöst werden müssen

Kurz gefasst lässt sich daraus als neuer Wirkzusammenhang ableiten:

„Je komplexer die Aufgabe, umso eher wird Lärm zur Störung“

Somit bekommt Lärm eine andere Qualität der Beeinträchtigung zugewiesen. Sie findet nicht mehr nur auf der physikalischen Ebene statt, sondern zusätzlich im Bereich kognitiver Funktionen. Eine weitere Qualität der Störung auf der physiologischen Ebene wird im Abschnitt 2.3 gesondert betrachtet.

Mittels einer solchen Lärmwirkungsdefinition ist nun auch eine Näherung an das Geschehen im Unterricht möglich. Da der Arbeitsprozess in Bildungseinrichtungen im

Wesentlichen aus Kommunikation zwischen Lehrerinnen und Schülern besteht (vgl. Kap.1.3), ist der Grundgeräuschpegel, über dem die Kommunikation erfolgen soll, damit klar als Hauptstörgroße identifizierbar – und zwar über die rein physikalischen Zusammenhänge etwa des Signal-Rausch-Abstandes (SNR) hinaus (s. u.). Der Sprechpegel selbst fällt als eigentliches Signal dabei nicht unter den Begriff der Lärmbelastung, zumindest nicht für den Sprecher. Aus seiner Perspektive geht es vielmehr um die notwendige Sprechanstrengung, um sich verständlich zu machen.

Für die Beurteilung der „Lärmbelastung“ in der Schule ist also eine Unterscheidung der nützlichen von den störenden Geräuschen notwendig. Im Kontext des vorwiegend kommunikativen Unterrichtsgeschehens ist das eine erste Herausforderung. So sagen die bislang während des Unterrichtsgeschehens in einem Klassenraum gemessenen Schallpegel, beispielsweise die im Abschnitt 1.3 dargestellten dosimetrischen Messungen, erst einmal nichts aus über die Intensität des möglicherweise darin enthaltenen Störgeräuschanteils. Vergleichsweise einfach lässt sich der Störgeräuschpegel immerhin beim Grundgeräusch des leeren Klassenzimmers ermitteln. Dieser ist dann hauptsächlich abhängig von der Lage des Gebäudes, der baulichen Qualität der Schalldämmung nach außen (Verkehrs- und Umweltlärm) oder zu anderen Gebäudeteilen hin (inkl. Trittschallübertragungen) oder von den technischen Anlagen im Gebäude (Heizung, Klimatechnik). Frühe Untersuchungen von ESSMANN (1973) ergaben in diesem Zusammenhang eine große Variationsbreite mit Werten von 40 bis 55 dB(A) in leeren Klassenräumen bei geschlossenen Fenstern. In den überdurchschnittlich lauten Klassenräumen wurden die Hintergrundgeräusche im Wesentlichen durch Verkehr von außen eingetragen. Auch MACKENZIE UND AIREY (1999) berichten in ihrer Studie mit insgesamt fast 70 untersuchten Klassenzimmern von einem durchschnittlichen Hintergrundgeräuschpegel in den leeren Klassenräumen von 44 dB(A). Dies ist jedoch nicht mit dem Grundgeräuschpegel im Unterricht zu verwechseln. Die gemessenen Durchschnittswerte in den mit allen Schülern besetzten Räumen lagen (während die Kinder „still“ an ihrem Platz arbeiten sollten) mit 55 dB(A) deutlich über diesem „technischen“ Hintergrundgeräuschpegel. Durch akustische Sanierungen einiger Klassenräume (Reduktion der Nachhallzeit vgl. Kap. 2.1.2) belegten MACKENZIE UND AIREY die Abhängigkeit beider Pegel von den raumakustischen Rahmenbedingungen im Klassenzimmer. Dabei waren die durch die Sanierung erzielten Pegelreduktionen während der Arbeitsphasen der Kinder deutlich höher (ΔL 9dB) als im leeren Klassenraum (ΔL 4dB). Die veränderte Umgebung hatte also auch Auswirkungen auf die von den Schülerinnen und Schülern verursachte Schallemission während der Arbeitsphasen. Dieses Ergebnis stützt aktuelle Überlegungen etwa durch ORTSCHIED UND WENDE (2004), dass auch geringe Veränderungen des Schallpegels um 3 dB entgegen bisherigen Annahmen bereits wahrnehmbar sind. Eine detaillierte Analyse der Zusammenhänge von raumakustischen Rahmenbedingungen und Arbeitsverhalten in der Schule, vor allem vor dem Hintergrund verschiedener Arbeitsformen im Unterricht, liegt bislang allerdings noch nicht vor.

SCHÖNWÄLDER ET AL. (2004) verwendeten für die Identifizierung des Grundgeräuschpegels während des Unterrichts ein etwas anderes Verfahren. Sie nehmen die absolut leisesten 10 s aller Unterrichtsstunden in einem Klassenraum und definieren diesen Wert als Hintergrundgeräuschpegel einer „arbeitenden Schulklasse“. Sie fanden Werte zwischen 32 dB(A) und 52 dB(A) je nach Schule und Raumausstattung.

Tab. 2.1 Zuordnung der Qualitätsskala zu Sprachverständlichkeitsmassen (STI) und Signal-Geräusch-Verhältnissen (SNR) auf der Basis ISO 9921 und den Ergebnissen von SUST UND LAZARUS (2003)

Bewertung	ISO 9921		Sust & Lazarus	
	STI	SNR in dB	STI	SNR in dB
excellent	> 0.75	> 7.5	> 0.95	> 13
good	0.6 bis 0.75	3 bis 7.5	0.7 bis 0.95	6 bis 13
fair	0.45 bis 0.6	-1.5 bis 3	0.5 bis 0.7	0 bis 6
poor	0.32 bis 0.45	-6 bis -1.5	0.3 bis 0.5	-6 bis 0
bad	< 0.32	< -6	< 0.3	< -6

Neben dem Hintergrundgeräuschpegel kommt der Sprachverständlichkeit im Klassenraum bei der Beurteilung seiner akustischen Qualität eine besondere Bedeutung zu. Die erste entscheidende Größe ist hierbei der Lautstärkeunterschied zwischen dem erwünschten und dem störenden Schall („Signal-Rausch-Abstand“; signal-to-noise-ratio; SNR). Dabei finden sich in der Literatur sehr unterschiedliche Empfehlungen. Während die DIN EN ISO 9921-1 für Erwachsene einen SNR von 7,5 dB für ausreichend hält, fordern SUST UND LAZARUS (2003) als Grundlage einer „sehr guten“, d. h. weitestgehend fehlerfreien Sprachverständigung einen SNR > 13 dB (Tab. 2.1). Ihre Ergebnisse basieren auf der Untersuchung von Sprachverständnis sowohl anhand von Einsilbern als auch von ganzen Sätzen unter Laborbedingungen.

ROHMERT UND RUTENFRANZ (1983) bemerken ebenfalls, dass eine gute Sprachverständlichkeit nur dann gegeben ist, wenn der Sprachpegel um etwa 10 dB über dem Hintergrundgeräuschpegel liegt, schränken aber ein: Für schwierige und fremdsprachliche Texte soll der Sprachpegel den Grundgeräuschpegel sogar um 20 dB überschreiten. Diese Werte gelten jedoch nur für Erwachsene. SPRENG (2003) verweist auf die generell geringere Sprachperzeptionsleitung von Kindern, NEUMANN UND HOCHBERG belegen eine notwendige Erhöhung des SNR für Kinder im Grundschulalter (9 Jahre) in der Größenordnung von 5 dB gegenüber Erwachsenen. Auch die WHO benennt als Voraussetzung für „sehr gute“ Sprachverständlichkeit bei Schulkindern einen SNR von 15 bis 18 dB (FRANCOIS UND VALLET).

Für die Praxis ergibt sich der in der Abbildung 2.1 dargestellte Zusammenhang zwischen Störgeräuschpegel und Distanz zum Hörer bzw. Sprecher in Abhängigkeit von Sprechanstrengung und der dabei zu erzielenden Sprachverständlichkeit (erneut nach ISO 9921-1).

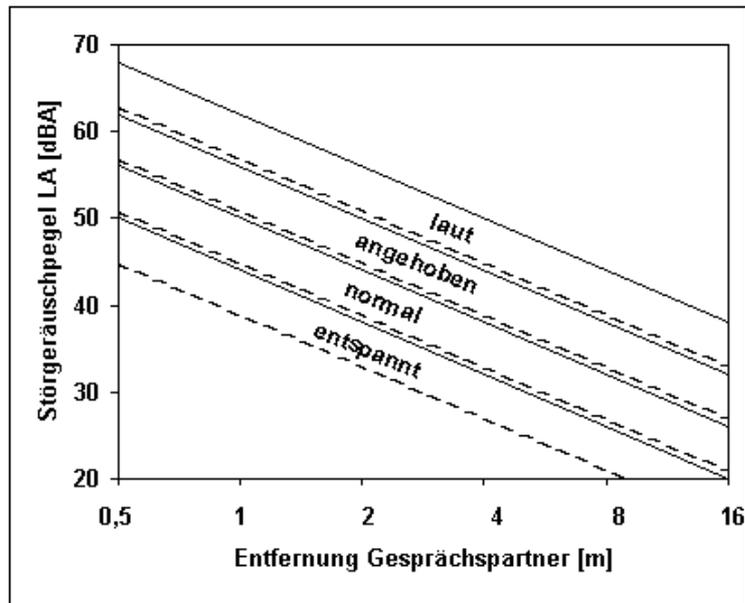


Abb. 2.1 Zulässiger Störgeräuschpegel, um eine sehr gute (- -) bzw. gute (--) Sprachverständigung zu erzielen in Abhängigkeit von der Distanz Sprecher – Hörer und der Sprechanstrengung (nach ISO 9921-1)

Legt man diesen Zusammenhang zugrunde, so ergibt sich für ein Standardklassenzimmer mit einer Größe von ca. 8 x 8 m und einer Distanz zwischen Lehrer und Schüler von maximal etwa 6 m entsprechend dem obigen Diagramm ein maximal zulässiger Grundgeräuschpegel von 35 dB(A), normale Sprechlautstärke und sehr gute Sprachverständlichkeit vorausgesetzt. Bei Berücksichtigung der höheren Richtwerte für den SNR gemäß SUST UND LAZARUS (2003) oder der besonderen Bedürfnislage heranwachsender Kinder ergeben sich bei dieser Betrachtung noch schärfere Anforderungen.

Auf diese Problematik weist auch JOACHIM (2004) in einer Anmerkung hin, in der er eine Begrenzung des Hintergrundgeräuschpegels in Klassenräumen auf höchsten 30-40 dB(A) fordert, entsprechend der EN ISO 11690-1.

Übertragen auf die Kommunikationsprozesse im Klassenraum wird zudem deutlich: Diese Forderungen richten sich in der Praxis nicht primär an den technischen Hintergrundpegel des leeren Klassenraums. Entscheidend ist die Geräuschumgebung, während die Schülerinnen und Schüler arbeiten, also auch jene Geräuschkulisse, die durch die Arbeitsgeräusche und Gespräche der Klassenkameraden erzeugt wird. Vor allem im Kontext der offenen Arbeitsformen des „modernen“, differenzierten Unterrichts (vgl. Kap. 1.2) gewinnt dieser Aspekt an Bedeutung. Zumal durch die Mitschülerinnen und Mitschüler – anders als beispielsweise im Großraumbüro der Erwachsenen – in der Regel kein gleichmäßiger, überdeckender Geräuschteppich entsteht. Und da auch Partner- oder Gruppendiskussionen stets mehr oder weniger kurze Denkpausen zwischen den einzelnen Beiträgen enthalten, kann (vgl. noch einmal Schopenhauer, Kap. 1.4) schon ein einzelnes verständliches Wort aus der Nachbargruppe den logischen Fluss der Gedanken unterbrechen.

Dieser Zusammenhang ist vor allem deshalb von herausragender Wichtigkeit, weil Kinder im Grundschul- oder Sekundarstufen-I-Alter keineswegs ausgelernte Hörer sind. Da unter 12 Jahren das akustische Gedächtnis für Sprache noch nicht voll ausgebildet ist, ist das Verstehen eines gesprochenen Wortes immer mit einer erhöhten

Höranstrengung verbunden. SPRENG (2003) unterscheidet mehrere Phasen der Sprachentwicklung, hier sollen nur die für den Grundschulbereich bedeutsamen hervorgehoben werden, zum einen die „sensible Kindphase“ (4. bis 6. Jahr) und die „Schulkindphase“ (6. bis 14. Jahr). Die erste Phase bezeichnet er als besonders sensibel, da in diesem Zeitraum entscheidende Entwicklungen der Motorik und besonders der Sprachmotorik stattfinden. Von zentraler Bedeutung ist dabei die zeitlich parallele Verarbeitung der akustischen Information in Bezug auf ihre Inhaltsanalyse, d. h. Zugriff auf Gedächtnisstrukturen zur Erkennung „akustischer Folgen“. Durch den kontinuierlichen Einstrom von Informationen werden ältere immer wieder überlagert bzw. gelöscht. Je umfangreicher das akustische Gedächtnis ist, umso leichter fällt es, die momentane Information zu identifizieren und damit die Bedeutung zu erkennen. Das erfordert aber auch, dass bei neuen Informationen, hier repräsentiert durch ein akustisches Muster, dieses im Gedächtnis abgespeichert werden muss. Dieser Prozess der Speicherung im Langzeitgedächtnis ist aber wesentlich langsamer als das Abrufen und wird umso leichter gestört, je mehr Informationen verarbeitet werden müssen. Ein Beispiel aus dem Alltag ist hierfür das Erinnern einer Telefonnummer durch wiederholtes lautloses Vorsprechen. Die zweite Phase der Entwicklung ist nach SPRENG (2003) in erster Linie dem Herstellen eines Zusammenhanges zwischen Hören und Sprache einerseits und dem Lesen und der Schrift andererseits vorbehalten. Hinzu kommt die Entwicklung höherer Wahrnehmungsfähigkeiten, Ausnutzen von Sprachredundanz und grammatikalischen Regeln, um auch bei schlechter Sprachqualität oder Störgeräuschen eine Spracherkennung sicher zu stellen. Sowohl für das Erlernen wie auch für die Durchführung so komplexer kognitiver Prozesse wie Sprachverstehen, Sprechen und Lesen sind Assoziationszentren entscheidend beteiligt, insbesondere um eine Aufmerksamkeitsverteilung vorzunehmen. Im Zusammenhang mit Stressprozessen wird darauf nochmals eingegangen werden (vgl. Kap. 2.3).

Wenn also SUST UND LAZARUS (2002) selbst bei Erwachsenen deutliche geräuschbedingte Leistungsbeeinträchtigungen festgestellt haben, wie viel mehr muss das für die Arbeitswelt der Kinder gelten, bei denen diese Fähigkeit zur Kommunikation noch erlernt werden muss. In einer Untersuchung am Beispiel von Bildschirmarbeitsplätzen zeigte sich, dass mit zunehmendem Komplexitätsgrad und steigender Informationshaltigkeit der Geräusche sich Bearbeitungszeiten der Aufgaben verlängern bzw. die Fehlerhäufigkeit zunimmt, wobei die Störgeräusche zwischen 40 dB(A) und 70 dB(A) lagen, was zumindest vom Pegel her auch der in Schulen beobachteten Situation entspricht (vgl. Kap. 1.3).

KLATTE ET AL. (2003) haben in ihren Untersuchungen konkret zeigen können, welche Auswirkungen Störgeräusche auf Gedächtnisleistungen bei Grundschulern haben. In Labortests wurde belegt, dass das Behalten schriftlich dargebotener Informationen über das phonologische Arbeitsgedächtnis durch andere akustische Informationen gestört wird. Eine Störung durch fremdsprachliche Worte aus einer Silbe bestehend, ergab keinen Unterschied in der Gedächtnisleistung zur Ruhe, bei sechssilbigen Worten zeigte sich aber eine deutliche Erhöhung der Fehlerrate, den gleichen Effekt hatte Stakkato-Musik. Die Autoren fanden dabei keinen Einfluss der Verständlichkeit des Störgeräusches auf den Grad der Störung, ebenso keine Gewöhnung der Versuchspersonen an die Störgeräusche. Als Erklärung wird hier eine direkte Verbindung der auditiven Wahrnehmung mit dem phonologischen Arbeitsgedächtnis angenommen. Diese für einzelne kognitive Prozesse nachweisbaren Störungen ergeben in der Summe eine deutliche Beeinträchtigung der Informationsaufnahme und Verarbeitung, damit der „Schulischen Leistung“ insgesamt. Ähnliche Befunde wurden von

BORMANN ET AL. (2003) für Kinder mit Hörminderung gefunden. HUBER UND ODERSKY (2000) zeigen in ihrer Zusammenstellung die vielfachen Facetten der Auswirkungen von Störungen des Hörvorganges bezüglich des Zuhörens, des Verstehens und des Lernens. Sie zeigen aber auch Wege, diesen Problemen, zumindest von der pädagogischen Seite her, zu begegnen. GREEN, PASTERNAK UND SHORE konnten bei ihren Untersuchungen einen deutlichen Zusammenhang zwischen Lärmbelastung (Beurteilungspegel zwischen 60 und 68 dB(A) mit Spitzenpegeln durch Flugzeuge bis zu 96 dB(A)) und der Lesefähigkeit nachweisen.

In einer Laborstudie konnte MASSARO (1977) bereits zeigen, wie auditorische Informationsverarbeitung durch ein zeitlich folgendes Tonsignal (ohne Informationsgehalt) in Abhängigkeit von der zeitlichen Verzögerung gestört wird. In einem Zeitintervall bis zu 100 ms lag die Fehlerrate bei 30 %, erst danach wurde die Störwirkung geringer. Diese Maskierungsfunktion spielt besonders bei sehr kurzen Abständen zwischen Nutz- und Störsignal, wie sie etwa bei Reflexionen innerhalb eines Raumes vorkommen, eine große Rolle.

In einer Erklärung der WHO von FRANCOIS UND VALLET zum Thema „Noise in Schools“ werden die Beeinträchtigungen durch Lärm in Schulen noch einmal zusammengefasst dargestellt: Reduzierung der Verständlichkeit bei verbaler Kommunikation durch hohen Umgebungslärm, Schwierigkeiten im Erlernen von Schrift und Wort, Verzögerung der Sprachentwicklung, Minderung der Lesefähigkeit und Verringerung des aktiven Wortschatzes sind die wichtigsten Schlagworte. Laut WHO bedarf die Raumakustik beim Bau entsprechend der veränderten Nutzung von Schulgebäuden einer besonderen Beachtung. Sie empfiehlt darüber hinaus eine Begrenzung der Störgeräuschpegel auf 30 dB(A).

2.1.2 Akustische Rahmenbedingungen in Bildungseinrichtungen

Festzuhalten ist also: Schulen sind laute Gebäude (vgl. Kap. 1.3). Und: Die Geräusche in Schulen werden dabei vor allem von Menschen verursacht, nicht wie anderswo von Maschinen etwa. Sie hängen originär mit dem Vorgang des Unterrichtens selbst zusammen, werden durch die einzelnen Arbeitsabläufe und das Verhalten jedes Einzelnen sowie der gesamten Klassengemeinschaft erzeugt. Schullärm entsteht in Schulräumen, nicht ursächlich durch sie (vgl. Kap. 2.1.1). Andererseits wird der tatsächliche Schallpegel im Klassenraum wie auch anderswo nicht nur durch die ursprüngliche Emission bestimmt, sondern auch durch seine raumakustischen Eigenschaften. Sie beeinflussen die Zeitspanne des Schallabbaus und die Schallausbreitung. Als „Medium“ zwischen Sprecher und Hörer hat der Raum darüber hinaus eine besondere Bedeutung für die Klarheit und Deutlichkeit des Sprachsignals, wie es vom Hörer rezipiert wird. Ist also von „Lärm in der Schule“ die Rede, ist es unverzichtbar, die Raumakustik in die Liste der konstituierenden Randbedingungen einer solchen Situation mit aufzunehmen.

Betrachtet man die Eignung von Klassenräumen für das, was in ihnen vonstatten gehen soll, also aus raumakustischer Sicht, steht dem Akustiker für die Beschreibung jener „Hörsamkeit“ eine ganze Palette von Kenngrößen zur Verfügung. Tabelle 2.2 nennt raumakustische Kriterien für den jeweiligen Höreindruck, die sich in entsprechenden Standardwerken (vgl. z. B. FASOLD UND VERES) finden lassen.

Dabei wird die *Halligkeit* des Raumes mit ihrem Kriterium *Nachhallzeit* (Reverberation Time) *RT* im Allgemeinen als dessen wohl auffälligste akustische Eigenschaft bewertet. Und auch in einem Klassenraum ist vor allem die Frage zu beantworten, wie schnell er rein aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften in der Lage ist, Schall

abzubauen. Dabei bewirkt eine kurze „Nachhallzeit“ in der Praxis zweierlei: Zum einen trägt sie durch die schnelle Absorption der Schallenergie im Raum zu einem geringeren Schallpegel bei, zum anderen erhöht sie durch das klarere Sprachsignal die so genannte „Sprachverständlichkeit“ bzw. „Hörsamkeit“ im Raum. Auf die Bedeutung der Sprachverständlichkeit für die Informationsaufnahme durch die Hörenden, insbesondere durch Kinder, wurde im vorhergehenden Kapitel ausführlich eingegangen. Der grundlegende Zusammenhang ist physikalisch recht einfach und in der entsprechenden Fachliteratur ebenfalls seit Jahrzehnten belegt (s. u.).

Tab. 2.2 Raumakustische Kriterien für verschiedene Höreindrücke nach FASOLD UND VERES

Höreindruck	Kriterium
Nachhall, Klangfarbe	Nachhallzeit RT
	Anfangsnachhallzeit EDT
	Bassverhältnis BR
Deutlichkeit	Deutlichkeitsgrad D_{50}
Durchsichtigkeit, Sprachverständlichkeit	Deutlichkeitsmaß C_{50}
	Artikulationsverlust für Konsonanten AI_{cons}
	Sprachübertragungsindex STI bzw. $RASTI$
Raumeindruck	Hallmaß H
	Seitenschallgrad LF
Lautstärke	Schalldruckpegelminderung ΔL

2.1.2.1 Nachhallzeit und Sabine'sche Formel

Die Nachhallzeit RT bezeichnet gemäß Abb. 2.2 die Zeitspanne, in der nach Beenden der Schallabstrahlung in einem Raum der Schalldruck auf ein Tausendstel seines Ausgangswertes gesunken ist, was einer Pegelreduktion um 60 dB entspricht (Abb. 2.3). Das Kriterium wurde von Wallace C. SABINE (1868-1919) bereits um die vorige Jahrhundertwende definiert und stellt so das älteste und bekannteste raumakustische Gütemerkmal dar. In der Abbildung 2.2 wird anhand einer typischen „Raumimpulsantwort“ die Verteilung der an einem Hörerort eintreffenden Schallenergie dargestellt.

Eingezeichnet ist die Unterscheidung zwischen „Nachhall“ (> 200 ms) und Anfangsreflexionen, von denen im sprachlichen Kontext nach allgemeiner Auffassung die Schallenergiekomponenten bis ca. 50 ms vom Ohr nicht vom Primärschall unterschieden werden.

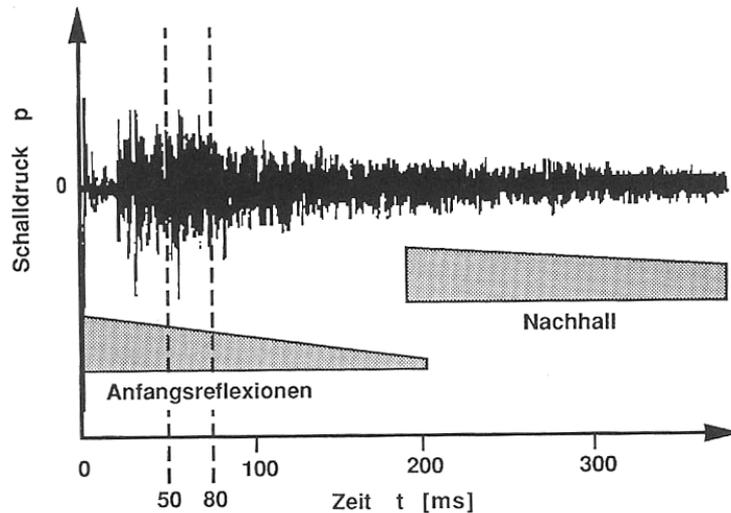


Abb. 2.2 Beispiel einer Raumimpulsantwort, Darstellung entnommen FASOLD UND VERES, S.135

Gemäß der *Sabine'schen Formel*

$$RT = 55,3 \text{ V/A} \cdot c_0 = 0,163 \text{ V/A [s]}$$

mit: V Raumvolumen in m^3
 c_0 Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft; $c_0 \approx 340 \text{ m/s}$
 A äquivalente Schallabsorptionsfläche in m^2

ist die Nachhallzeit damit direkt abhängig vom Raumvolumen und seiner absorbierenden Ausstattung. D. h., sie wächst bei ähnlicher Ausstattung von Räumen mit deren Volumen und sinkt in Räumen ähnlicher Größe mit zunehmend absorbierender Ausstattung.

Bei näherer Betrachtung der Sabine'schen Formel wird jedoch deutlich, dass auch bei vollständiger Schallabsorption ($a = 1$) die Nachhallzeit nicht zu Null wird, sondern eine restliche Nachhallzeit übrig bleibt (vgl. MASUHR). Tatsächlich stellt die Sabine'sche Nachhallgleichung nur eine Näherung für Räume dar, die keine allzu großen schallabsorbierenden Eigenschaften aufweisen. Sie gilt für mittlere Schallabsorptionsgrade bis etwa $\alpha_{\text{Raum}} = 0,3$ mit genügender Genauigkeit. Damit befindet sich ihre Anwendbarkeit bereits im Grenzbereich dessen, was in normal möblierten, akustisch ausgestatteten und besetzten Klassenräumen an Gesamtabsorptionsfläche anzutreffen ist. Im Zweifelsfall empfiehlt sich eine Überprüfung mittels der von EYRING angegebenen Nachhallzeitformel:

$$RT = 0,163 \text{ V} / -\ln(1 - \alpha_{\text{Raum}}) S_{\text{ges}} [\text{s}]$$

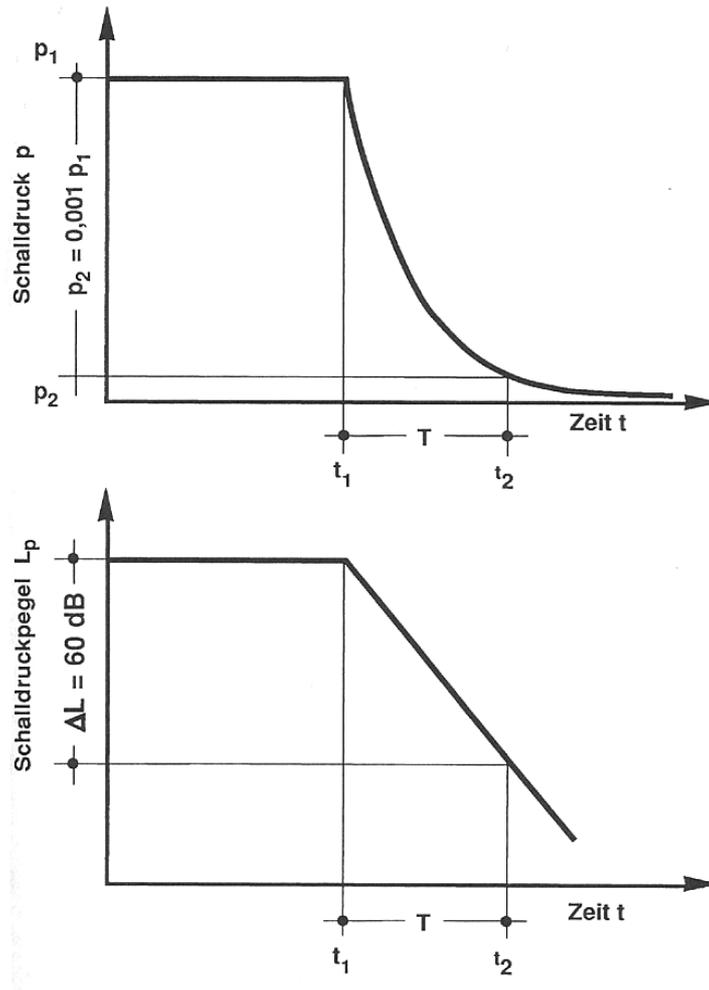


Abb. 2.3 Schematische Darstellung des Nachhallvorgangs für den Schalldruck p und für den Schalldruckpegel L_p ; Darstellung entnommen FASOLD UND VERES, S. 137

Ein weiteres Problem bezüglich der Anwendbarkeit der Sabine'schen Formel stellt die in Klassenräumen aufgrund des Volumens, aber auch der spärlichen Möblierung oft nicht gegebene Diffusität dar. Ein mögliches Rechenverfahren zur Abschätzung dieser nicht-diffusen Schallfelder von NILSSON findet sich im Anhang D der DIN EN 12354-6. Auch BRADLEY UND BISTAFÀ gaben Ende der 90er Jahre noch einmal zu bedenken, dass das für die Anwendung der Sabine'schen Formel vorausgesetzte 100 % diffuse Schallfeld in realen Klassenräumen so gut wie nie vorkommt, weshalb so ermittelte Vorausberechnungen von Nachhallzeiten beständig zu niedrig ausfallen gegenüber einem gemessenen Wert. In ihrem Vergleich verschiedener Verfahren bei Berechnungen von Klassenräumen lieferte die Anwendung der Sabine'schen Formel einen durchschnittlichen Rechenfehler von 21,5 %. Für Räume, bei denen lediglich eine Fläche mit Absorptionsmaterial ausgestattet wurde, lagen einzelne Abweichungen über 40 %.

Auch die Luftdissipation (Einfluss der Luftdämpfung auf die Pegelminderung) wird in der ursprünglichen Sabine'schen Formel nicht berücksichtigt. Diese ist jedoch in den vorliegenden Klassenräumen aufgrund des geringen Raumvolumens selbst bei hö-

heren Frequenzen vernachlässigbar klein und wird im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Da bei Messungen im Feld eine Pegeldynamik von 60 dB in den meisten Fällen nicht realisierbar ist, wird die Nachhallzeit in der Praxis durch die Messung des Schallpegelabfalls in einem Bereich von -5 dB bis -35 dB (sog. T_{30}) bzw. von -5 dB bis -25 dB (sog. T_{20}) bestimmt. Darüber hinaus ergab sich bei subjektiven Befragungen (v. a. im Kontext von Musikdarbietungen) eine nur unbefriedigende Korrelation zwischen gemessener Nachhallzeit und empfundener Nachhalldauer (vgl. FASOLD UND VERES), so dass nicht selten neben der Nachhallzeit RT auch der anfängliche Teil des Abklingvorgangs gemessen wird, der im Vergleich zur Nachhallzeit eher mit dem subjektiv empfundenen Nachhallvorgang übereinstimmt. Für diese „Early Decay Time“ EDT wird üblicherweise der Schalldruckpegelabfall von 10 dB ermittelt (in seltenen Fällen auch 15 oder 20 dB).

In annähernd kubischen Räumen, bei denen keine Raumdimension mehr als dreimal größer ist als die anderen, lässt sich die Schalldruckpegelabnahme, die durch die absorbierenden Flächen im Raum erzeugt wird, rechnerisch beschreiben (vgl. z. B. FASOLD UND VERES). In der Nähe der Schallquelle überwiegt dabei der Direktschallpegel $L_{p \text{ dir.}}$. Mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle (im Unterricht in der Regel von der jeweils sprechenden Person) kommt es zunächst zu einer Pegelabnahme, wie sie auch im Freien („Freifeld“) zu finden ist. Ab einer bestimmten Distanz zum Sprecher stellt sich jedoch ein konstanter Schalldruckpegel, das so genannte „diffuse Schallfeld“, ein: $L_{p \text{ diff.}}$. Dieser diffuse Schalldruckpegel ist nach

$$L_{p \text{ diff}} = L_W - 10 \lg A/4 \text{ [dB]}$$

mit $L_{p \text{ diff}}$ diffuser Schalldruckpegel
 L_W Schalleistungspegel der Schallquelle
 A äquivalente Absorptionsfläche des Raumes

umso niedriger, je größer die äquivalente Schallabsorptionsfläche des Raumes ist. Die erwartbare Schallpegelminderung des diffusen Schallfeldes durch die Erhöhung der Absorptionsfläche lässt sich demnach bestimmen über

$$\Delta L = 10 \lg (A_1 + \Delta A)/A_1$$

Bei einer Verdopplung des Ausgangswertes A_1 des unbehandelten Raumes ergibt sich aus diesem Zusammenhang eine Schalldruckpegelminderung ΔL von 3 dB.

2.1.2.2 Sprachverständlichkeit

Die akustischen Einflussgrößen auf die Hörsamkeit in Klassenräumen sind im Wesentlichen die Lautstärke der akustischen Wahrnehmung von Nutz- und Störsignal, die Schallfeldstruktur (Schallreflexionsfolgen) einschließlich dem frequenzabhängigen Wert der Nachhallzeit und die Übereinstimmung zwischen optischer und akustischer Richtungsorientierung (vgl. TENNHARDT, 2003). Da auf den Einflussfaktor „Störgeräusch“ im vorhergehenden Kapitel bereits ausführlich eingegangen wurde, stehen im Folgenden ausschließlich die Einflussfaktoren Nachhallzeit und Schallfeldstruktur im Mittelpunkt.

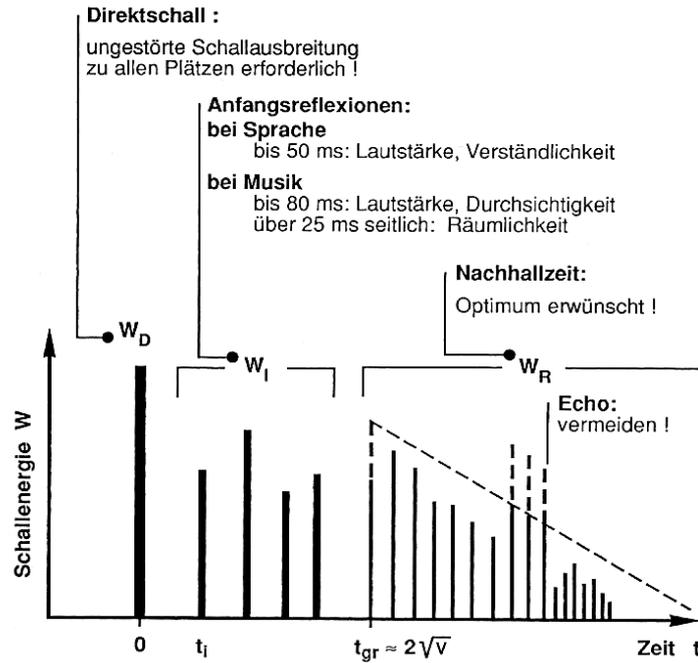


Abb. 2.4 Schematisierte Raumimpulsantwort, Darstellung entnommen FASOLD UND VERES, S.149

t_i : Zeit zwischen Direktschall und erster Reflexion in ms

t_{gr} : Grenzzzeit für den Übergang von Anfangsreflexionen zu diffusen Reflexionen (Nachhall) in ms

V: Volumen in m^3

Leitet man aus der in Abbildung 2.2 dargestellten Raumimpulsantwort einen schematisierten Verlauf der eintreffenden Schallenergien ab, wird die jeweilige Bedeutung der einzelnen Größen zur Sprachverständlichkeit am Hörerort sichtbar (Abb. 2.4). Wesentliches Qualitätsmerkmal ist dabei das Verhältnis der Energien von Direktschall W_D , Anfangsreflexionen W_I und Nachhall W_R .

Üblicherweise werden dabei die ersten, innerhalb von 50 ms eintreffenden Reflexionen als verstärkend und damit als deutlichkeitserhöhend eingeordnet, während energiereiche Schallreflexionen nach 50 ms und Echo- bzw. Flatterechoeffekte als sprachverständlichkeitsmindernd bewertet werden. Allerdings weisen beispielsweise Vertreter von Hörgeschädigtenverbänden darauf hin, dass dieser Grenzwert nur bei vollständig gesundem Hörempfinden gilt. In einschlägiger Literatur finden sich dementsprechend auch Zahlenwerte von 30 ms als Übergangszeit zwischen nützlichen und störenden Reflexionen (vgl. z. B. RUHE, 2000). Ihren praktischen Ausdruck findet diese Energieverteilung schließlich in der „Sprachverständlichkeit“ des jeweiligen Raumes, welche sich demzufolge objektiv und vergleichsweise einfach durch die Kriterien *Deutlichkeitsgrad* D_{50}

$$D_{50} = W_{0-50ms} / W_{ges}$$

bzw. *Deutlichkeitsmaß* C_{50}

$$C_{50} = 10 \lg W_{0-50ms} / W_{50ms-\infty} = 10 \lg D_{50} / (1 - D_{50}) \text{ [dB]}$$

darstellen lässt.

Soll die tatsächliche Verständlichkeit in einem Raum mit größerer statistischer Sicherheit bestimmt werden, werden Testhörer aufgefordert, gesprochene Sätze, Wörter oder Silben mitzuschreiben. Am gebräuchlichsten ist die Niederschrift von Logatomen, nicht bedeutungstragenden Silben, bestehend aus drei Phonemen: einem Konsonanten, einem Vokal und einem weiteren Konsonanten. Dabei wird eine Silbenverständlichkeit von mehr als 50 % als „gut“, von mehr als 70 % als „sehr gut“ bezeichnet. (Für Details vgl. z. B. FASOLD, SONNTAG, WINKLER)

Als zeitgemäßes objektives Verfahren zur Beschreibung der Sprachverständlichkeit dient heute in der Regel der so genannte „*Speech Transmission Index*“ (STI) bzw. dessen verkürzte Variante „*Rapid Speech Transmission Index*“ (RASTI) nach HOUTGAST UND STEENECKEN. Er beruht darauf, dass Sprache als amplitudenmoduliertes Signal aufgefasst werden kann. Entsprechend wird ausgewertet, wie Störgeräusche, Reflexionen und Nachhall die Modulationstiefe eines amplitudenmodulierten Signals im Raum reduzieren. Die Auswertung erfolgt über die 7 Oktaven von 125 Hz bis 8 kHz und 14 Modulationsfrequenzen F von 0,63 Hz bis 12,5 Hz. Aus den resultierenden Modulationsübertragungsfunktionen wird nach einem festgelegten Schema der STI berechnet. Im Hinblick auf die Bewertung der Sprachverständlichkeit gilt folgende Zuordnung (vgl. Tab. 2.3):

Tab. 2.3 Bewertung des Sprachverständlichkeitsindex STI

STI	Bewertung
0 bis 0,30	unbefriedigend
0,30 bis 0,45	mangelhaft
0,45 bis 0,60	befriedigend
0,60 bis 0,75	gut
0,75 bis 1,00	sehr gut

Erwähnenswert ist schließlich noch ein Verfahren, welches ursprünglich zur Optimierung von Beschallungsanlagen entstand: der Artikulationsverlust von Konsonanten (*Articulation Loss of Consonants*) Al_{cons} (vgl. PEUTZ UND KLEIN):

$$Al_{cons} \approx 0,65 (s/r_H)^2 * T [\%]$$

mit s Entfernung zwischen Schallquelle und Hörer in m
 r_H Hallradius in m
 T Nachhallzeit in s

Dabei sollte der Al_{cons} für eine „brauchbare“ Verständlichkeit kleiner sein als 15 %, für eine „gute“ Verständlichkeit kleiner als 10 %, für eine „ausgezeichnete“ Verständlichkeit kleiner als 5 %. Die aus der Gleichung gewonnenen Werte setzen jedoch einen genügend großen Signal-Rausch-Abstand von mindestens etwa 30 dB voraus und verschlechtern sich erheblich, wenn dieser abnimmt. Nach FASOLD UND VERES ist bei einem SNR von nur 20 dB bereits mit einer Verdopplung des STI zu rechnen.

Das Verfahren ist deshalb von Interesse, weil sprachwissenschaftlich die Konsonanten für das inhaltliche Verstehen von besonderer Bedeutung sind. Insbesondere Exp-

losiv- und Frikativlaute (p, t, k, f, ß, z, sch) fungieren, schon allein durch ihre zahlenmäßige Vielfalt, überproportional häufig als bedeutungstragende Elemente einer Silbe bzw. eines Morphems (kleinste bedeutungstragende Einheit der Sprache) (vgl. BERGMANN, PAULY, SCHLAEFER). Akustisch enthalten die genannten Zisch- und Explosivlaute in ihrem Spektrum vorwiegend hochfrequente Signalanteile (1 kHz – 8 kHz). Die Grundtöne und Vokale, die die Lautstärke der Stimme ergeben, sind hingegen vorwiegend niederfrequent (125 Hz – 250 Hz bzw. 250 Hz – 1 kHz). Während letztere vor allem für den Klang der Stimme sorgen, bestimmen die Konsonanten ihre Artikulation. Die unterschiedliche Wichtigkeit für die Sprachverständlichkeit lässt sich durch Flüstern gut demonstrieren. Denn obwohl dem Sprachsignal beim Flüstern die Vibration der Stimmbänder fehlt, es also ausschließlich aus Hauch-, Zisch- und Explosivlauten besteht, ist der Inhalt gut verständlich, sofern das Signal nur ausreichend laut im Verhältnis zum Störgeräusch ist. Allerdings enthalten auch viele Störgeräusche – ebenso wie die Sprache – starke hochfrequente spektrale Anteile. Eine interessante lautmalerische Zusammenstellung von Störgeräuschen findet sich bei RUHE (2003a).

Eine entsprechend starke Bedämpfung der hochfrequenten Störgeräusche ist eine logische Konsequenz. Eine starke Bedämpfung der tiefen Frequenzen hält RUHE hingegen für weniger dringend notwendig. In seiner Untersuchung hat sich keine der in der Studie befragten Personen negativ über tieffrequenten Nachhall geäußert, wenn die Nachhallzeiten im mittleren Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 2 kHz „kurz genug“ waren. So wurde beispielsweise ein Unterrichtsraum, in dem die Nachhallzeit bei 100 Hz fast doppelt so lang war wie im mittleren Frequenzbereich, von den Nutzern als gut beurteilt (RUHE, 2003b). Grund ist die eher schwache Anregung dieser Frequenzen selbst durch die Grundtöne der männlichen Sprache (vgl. auch MASUHR). Diese Vernachlässigung der tiefen Frequenzen ist fachlich umstritten. Verfechter einer stärkeren tieffrequent absorbierenden Ausstattung von Kommunikationsräumen weisen beispielsweise auf die Maskierungseffekte tieffrequenter Störgeräusche hin. In diesem Zusammenhang erinnert MOMMERTZ (2002) an eine von diesem Effekt besonders betroffene Zielgruppe: „Mehr als 30 % aller Kinder und Jugendlichen haben einen zeitweiligen oder bereits beginnenden dauernden Hörschaden“. Auf die Diskussion um die Bedeutung der tiefen Frequenzen wird in dieser Untersuchung nicht weiter eingegangen.

2.1.2.3 Die gegenseitige Abhängigkeit von Nachhallzeit und Sprachverständlichkeit

Die beiden Kenngrößen Nachhallzeit und Sprachverständlichkeit sind dabei in hohem Maße voneinander abhängig: Ist die Nachhallzeit zu lang, bedeutet das für das Sprachsignal, dass nachfolgende Silben durch den zu langen Abklingvorgang der vorhergehenden verdeckt werden. Mit zunehmendem Nachhall sinkt also bei gleich bleibendem Störgeräuschpegel die Nachhallzeit. Häufig findet sich in der Literatur die folgende Übersichtstabelle der Silbenverständlichkeit nach FINITZO-HEIBER UND TILLMAN (1978), etwa bei MCKENZIE UND AIREY oder bei TENNHARDT (Tab. 2.4). TENNHARDT bewertet eine Silbenverständlichkeit von 0 bis 34 % dabei als „schlecht“, von 34 bis 48 % als „ungenügend“, von 48 bis 67 % als „gut“, von 67 bis 90 % als „sehr gut“ und darüber als „ausgezeichnet“. In der Tabelle werden daher alle Zahlenwerte kursiv wiedergegeben, die eine schlechte oder ungenügenden Silberverständlichkeit nachweisen: Danach sind extrem ruhige Räume bei einer mittleren Nachhallzeit von 1,2 s für Schwerhörnde ungeeignet. Und selbst bei einer nur sehr geringen Verhal-

lung von nur 0,4 s benötigen Schwerhörnde einen SNR von mindestens 12 dB(A) für ein „gutes“ Sprachsignal. Dieser Umstand ist auf Kinder mit ihrem ohnehin höheren Bedarf an SNR (vgl. erneut Kap. 2.1.1) sicher gut übertragbar. TENNHARDT (2003) schlägt darüber hinaus vor, bei nichtmuttersprachlicher Kommunikation (etwa Fremdsprachenunterricht oder Unterricht für Schülerinnen und Schüler nicht deutscher Muttersprache) die Bewertungskriterien näherungsweise um eine Stufe zu verschieben, so dass erst bei einer Silbenverständlichkeit von 67 % das Prädikat „gut“ vergeben wird.

Tab. 2.4 Silbenverständlichkeit in Abhängigkeit von der Nachhallzeit und dem Signal-Rausch-Abstand nach FINITZO-HEIBER UND TILLMAN

SNR in dB(A)	RT = 0 s		RT = 0,4 s		RT = 1,2 s	
	Normal- hörende	Schwer- hörende	Normal- hörende	Schwer- hörende	Normal- hörende	Schwer- hörende
> 45	94,5	83,0	92,5	74,0	76,5	45,0
12	89,2	70,0	82,8	60,2	68,8	41,2
6	79,7	59,5	71,3	47,7	54,2	27,0
0	60,2	39,0	47,7	27,8	29,7	11,2

Der Zusammenhang von Nachhallzeit und Sprachverständlichkeit ist auch anhand der physikalischen Kenngrößen sichtbar. So berichtet MOMMERTZ (2001) von einer hohen Korrelation sowohl zwischen STI und Deutlichkeitsgrad als auch zwischen STI und T15 als auch zwischen STI und EDT bei raumakustischen Simulationen von Klassenräumen mit mittleren Nachhallzeiten zwischen 0,3 und 0,8 s und vergleichbarem Störgeräuschpegel.

2.1.2.4 Die Suche nach der optimalen Nachhallzeit für Klassenräume

Auf dieser Basis stellt sich also die Frage nach den raumakustischen Bedingungen, die den adäquaten Rahmen für die in Kapitel 1.2 beschriebenen veränderten pädagogischen Anforderungen liefern. Einfacher gefragt: Wie muss das „Werkzeug Klassenzimmer“ beschaffen sein, damit es Schülern wie Lehrern optimale Arbeitsbedingungen für einen modernen Unterricht bietet?

Bis in die 80er Jahre hinein wurde für sprachlich genutzte Räume mit einem Volumen von ca. 200 m³ (was erfahrungsgemäß einem üblichen Klassenraum entspricht) sowohl in der Normgebung als auch in der entsprechenden Fachliteratur als Richtwert eine mittlere Nachhallzeit von 0,7 oder 0,8 s genannt.

Die Erforschung der Auswirkungen einer verkürzten Nachhallzeit, also einer verbesserten Sprachverständlichkeit, auf das Unterrichtsgeschehen ist dabei nicht so neu, wie man angesichts der aktuellen Diskussion vermuten könnte. Erst kürzlich wurde eine mehr als 30 Jahre zurückliegende, relativ unbekannt gebliebene Untersuchung von EßMANN (1970) zur Klassenraumakustik in der ehemaligen DDR wieder entdeckt. Mittels Silbenverständlichkeitsmessungen, Nacherzählungen von Fremdsprachentexten und Rechentest wurde nachgewiesen, dass die Schülerleistungen in signifikan-

tem Umfang von der raumakustischen Situation abhängig sind. Allerdings wurde für den damaligen Versuch ein stark halliger Klassenraum (mittlere Nachhallzeit RT ca. 1,2 s im besetzten Zustand) benutzt, der zum Vergleich auf den damaligen Stand der Technik gebracht wurde (mittlere Nachhallzeit RT ca. 0,9 s im besetzten Zustand).

Seit den 80er Jahren wird die Frage nach der optimalen Nachhallzeit für die Unterrichtssituation mit der Forderung nach deutlich niedrigeren Werten erneut problematisiert. Anfang der 90er Jahre stellten PEKKARINEN UND VILJANEN (1990) bei einer stichprobenartigen Vermessung von 31 Klassenräumen fest, dass nur zwölf dieser 31 Räume die damaligen Vorgaben der finnischen Behörden nach Nachhallzeiten zwischen 0,6 und 0,9 s (250 Hz – 2 kHz) erfüllten. Allerdings erreichten nur zwei der zwölf Klassenzimmer bei Messungen der Sprachverständlichkeit einen RASTI-Wert von 0,75 („sehr gut“). Bei weiteren Versuchen an typischen Klassenräumen ergab sich, dass nur Klassenräume mit einer mittleren Nachhallzeit von unter 0,6 s eine durchgängig hervorragende Sprachverständlichkeit ($STI > 0,75$) garantierten. In einer darauf folgenden Detailuntersuchung (PEKKARINEN UND VILJANEN, 1991) wurde in einem Testklassenzimmer mit den Maßen 9,5 x 6,5 x 3,5 m mit Glaswollabsorbern an Teilen der Decke und der Rückwand die Nachhallzeit von weit über 1 s auf unter 0,7 s (500 Hz – 2 kHz) gesenkt. Erwartungsgemäß konnte durch die Verkürzung der Nachhallzeit die Sprachverständlichkeit verbessert werden (vgl. Kap. 2.1.2.3). Dabei wurde jedoch deutlich: Je höher die Geräuschkulisse, desto größer war der Einfluss der absorbierenden Maßnahmen auf die Sprachverständlichkeit. BRADLEY (1986) folgend vermuten sie die für sprachliche Kommunikation optimale mittlere Nachhallzeit zwischen 0,4 und 0,5 s. Die Ergebnisse aus Finnland wurden 1999 schließlich durch MCKENZIE UND AIREY in der bis dato weltweit umfangreichsten Feldstudie zur Klassenraumakustik bestätigt. Die beiden Wissenschaftler der Heriot-Watt-University Edinburgh verkürzten die mittlere Nachhallzeit in verschiedenen Testklassenzimmern ebenfalls von 0,8 s auf unter 0,5 s und wiesen in diesem Zusammenhang vor allem auf das durch die Sanierungen veränderte Schülerverhalten und den deutlich geringeren Konsonantenverlust (AI_{cons}) im Klassenzimmer hin. Die ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA veröffentlichte Empfehlungen zur akustischen Gestaltung von Räumen in Abhängigkeit von ihrer Nutzung, so z. B. für leere Klassenräume eine RT von 0,4 bis 0,6 s oder Musikräume von 0,6 bis 1,1 s. Bei Klassenräumen, die für Unterricht genutzt werden, wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass dies sowohl für frontales Unterrichten als auch für differenziertes Arbeiten in Kleingruppen gültig ist. Blieb die Frage, ob derart stark gedämpfte Räume negative Auswirkungen auf das subjektive Wohlbefinden haben. NILSSON UND HAMMER (1995) belegten jedoch am Lund Institute of Technology – entgegen mancher früheren Lehrmeinung –, dass selbst Nachhallzeiten von etwa 0,4 s von vielen Probanden als sehr wohltuend bewertet wurden. RUHE (2003b) weist darüber hinaus auf den Umstand hin, dass bei stark bedämpften normalgroßen Klassenräumen der Signal-Rausch-Abstand auch auf den hinteren Plätzen nicht gefährdet ist. Der durch die zusätzliche Absorptionsfläche geringere Nutzsignalpegel wird durch den gleichzeitig deutlich verringerten Störgeräuschpegel, vor allem aufgrund des veränderten Schülerverhaltens, ausgeglichen. Damit werden jedoch auch die räumlichen Grenzen stark bedämpfter Klassenräume sichtbar: Sie sollten, vor allem bei vollflächig absorbierender Deckenbelegung, eine Raumlänge von 9 m nicht überschreiten. In der DIN 18041 findet sich als Grenzwert für eine vollflächig stark bedämpfte Raumausstattung ein Raumvolumen von 250 m³.

In Deutschland fand die Diskussion um kürzere Nachhallzeiten für Klassenräume in der aktuellen Neufassung der DIN 18041 (2004) ihren vorläufigen Abschluss. Die

dortigen Vorgaben für Standardklassenräume mit geforderten Nachhallzeiten von um die 0,5 s entsprechen der geschilderten internationalen Forschungslage – zumal die Norm auf wichtige pädagogische Problemstellungen, etwa den Fremdsprachenunterricht, Schüler nicht deutscher Muttersprache oder Schüler mit Aufmerksamkeits- und Konzentrationsstörungen, explizit eingeht.

Ein Blick auf die tatsächliche Bausubstanz – zumindest auf der Grundlage der wenigen verfügbaren Statistiken – zeigt ein sehr differenziertes Bild. So wird in Untersuchungen immer wieder eine erstaunliche Variationsbreite an akustischen Qualitäten sichtbar. Beispielsweise berichtet MASUHR von einer stichprobenartigen Überprüfung von 31 Unterrichtsräumen im Kreis Herzogtum Lauenburg. Von den beurteilten Klassenzimmern erfüllten 17 die Anforderungen der neuen DIN 18041, 14 Räume (44 %) mit zum Teil großer Abweichung nicht. RUHE (2003b) berichtet aus seiner Beratungspraxis von zahlreichen Klassenräumen mit mittleren Nachhallzeiten weit über 1 s. Sein Bild ist dabei sicher nicht repräsentativ, da er als beratender Ingenieur hauptsächlich bei Problemlagen kontaktiert wird. Allerdings tritt nach seiner Aussage ein auffälliges Beschwerdeverhalten durch die Lehrerinnen und Lehrer erst bei mittleren Nachhallzeiten von über etwa 1,25 s auf.

Die Tatsache, dass Lehrer wie Schüler bei subjektiven Befragungen den raumakustischen Eigenschaften ihres Klassenraums mehrheitlich gleichgültig gegenüberstehen und sich erst bei wirklich unzureichenden Bedingungen beschweren, wurde auch in der Heriot-Watt-Studie bestätigt (MCKENZIE UND AIREY, 1999). Ist dies ein Phänomen mangelnder Sensibilität und Wahrnehmung, oder sind die Auswirkungen der Raumakustik auf das Unterrichtsgeschehen in der Praxis eventuell gar nicht so deutlich spürbar? Es stellt sich demnach die Frage:

Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Lärmbelastung im Unterricht und der dazugehörigen ergonomischen Rahmenbedingung Raumakustik? Und welche Bedeutung hat dieser Zusammenhang angesichts der in Kapitel 1.2 geschilderten veränderten Kommunikationsabläufe im Klassenzimmer?

Erneut wird hier eine der besonderen Stärken interdisziplinärer Arbeitsweisen greifbar: Zur Beantwortung dieser Frage ist ein Verfahren notwendig, welches die relevanten Parameter Raumakustik, Schallpegel und pädagogische Arbeitsweise objektiv zueinander in Beziehung setzt. Die Entwicklung dieses Verfahrens ist im Folgenden eine der zentralen Aufgaben dieser Untersuchung.

2.2 Lehrer-Beanspruchung

2.2.1 Beanspruchungsreaktionen

Alltagserfahrungen genügen, um zu beobachten, dass das Herz im Zustand physischer Aktivitäten, z. B. beim Laufen oder Treppensteigen, schneller schlägt als beim Liegen in Ruhe. Ähnlich verhält es sich im Zustand psychischer Erregung, etwa bei Wut oder aber auch Freude, also in Zuständen starker emotionaler Erregung. So reagiert das Herz-Kreislauf-System kontinuierlich auf jegliche Anforderung, die an den Organismus zurzeit gestellt wird, selbst bei kognitiven Prozessen, die ohne starke emotionale Erregung ablaufen. Diese kontinuierliche Anpassung der Körperfunktionen an die Anforderungen von außen dient der Aufrechterhaltung der Homöostase (SELYE, 1981). Dieser Prozess wird in der Regel als Stressprozess bezeichnet, ohne

dass er die negativen Eigenschaften besitzt, mit denen der Begriff Stress umgangssprachlich besetzt ist. Im Gegenteil: Es ist der Anpassungsvorgang, der ein Überleben erst ermöglicht, zumindest in dieser allgemeinen Form.

Eine kontinuierliche Aufzeichnung der Herzfrequenz zeigt diesen permanenten Anpassungsprozess in all seinen Veränderungen, so finden sich auch in Phasen unterschiedlicher kognitiver Aktivität dauernde Wechsel von Beschleunigung und Verlangsamung, von psychischer Erregung und Entspannung. Eine solche Aufzeichnung kann man gewissermaßen als Protokoll wechselnder psychophysischer Zustände betrachten, die der betreffende Mensch durchlaufen hat.

Ausgehend von dem im Kapitel 1.1 dargestellten „Belastungs-Beanspruchungs-Modell“ der Arbeitswissenschaft spiegelt eine derartige Herzfrequenzaufzeichnung den Verlauf der Beanspruchungsreaktion des Betroffenen wider. Hier sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die gemessene *Beanspruchung* die Folge aller *Belastungen* repräsentiert, denen die Person zu dieser Zeit ausgesetzt war. Im Zusammenhang mit einer Arbeitsplatz-Analyse bestehen diese Belastungen im Wesentlichen aus der Arbeitsaufgabe, der Arbeitsumgebung und den Arbeitsbedingungen, aber auch den individuellen Eigenschaften der tätigen Menschen. Wenn hier von psychophysischer Beanspruchung gesprochen wird, so meint dies, dass manche Beanspruchungsreaktionen als körperliche (physische) Ereignisse in Erscheinung treten, vielfach aber durch seelische (psychische) Prozesse hervorgerufen oder modifiziert werden. Will man Beanspruchung durch berufliche Arbeit beschreiben, so ist es notwendig, diese Beanspruchungsreaktionen im Arbeitsprozess zu analysieren. Als Mittel der Wahl hat sich in der Arbeitswissenschaft die Aufzeichnung der Puls- oder Herzfrequenz als Beanspruchungsindikator mit mobilen EKG-Geräten durchgesetzt. Der Vorteil dieser Technik ist die praktisch uneingeschränkte Mobilität der untersuchten Personen, wobei die Technik während der Anwendung kaum wahrgenommen wird.

Wie zuvor bereits dargestellt, ist dieses vom Herz-Kreislauf-System stammende Signal der Herzfrequenz sehr reizsensitiv, d. h., jede geringste Störung der Homöostase führt zu einer Änderung dieses Parameters, der Nachteil besteht dagegen in der höchst unspezifischen Reaktion, d. h., aus einer Erregung kann nicht im Rückschluss auf den Auslöser, z. B. Wut oder Freude, geschlossen werden. Dieser Nachteil des Parameters kann jedoch auf verhältnismäßig einfache Weise ausgeglichen werden, idealerweise durch ein möglichst präzises Aktivitätsprotokoll, das sowohl physische als auch psychische Ereignisse enthält, das Treppensteigen oder Ausruhen, aber auch die Art der Tätigkeit oder, soweit beobachtbar, auch emotionale Zustände. Von der Genauigkeit eines solchen Protokolls hängt im Wesentlichen die Interpretation der Herzfrequenz-Aufzeichnung ab.

Abgesehen von medizinisch-klinischen Aspekten der Herzfrequenz kommen in der Beanspruchungsanalyse im Wesentlichen zwei Parameter (vgl. SCHANDRY), die sich durch ihre zeitliche Bindung an äußere Ereignisse definieren, zur Anwendung: Der *tonische* Anteil der Herzfrequenz beinhaltet die Grundaktivierung, die durch lang anhaltende Auswirkungen von Ereignissen, Aktivitäten, Zuständen oder anderem bedingt werden. Im Gegensatz dazu stehen die *phasischen* Anteile, d. h. schnelle Reaktionen auf momentane Ereignisse, z. B. das plötzliche „Herzrasen“ in einer Schrecksituation. Die Trennung der beiden Parameter voneinander ist nur begrenzt möglich. Auf die Bedeutung dieser Tatsache für die vorliegende Untersuchung wird im Kapitel 4.3 noch näher eingegangen. Sowohl tonische als auch phasische Anteile besitzen eine Relevanz bei der Analyse der Arbeitsbeanspruchung.

In einer Untersuchung zur Belastung und Beanspruchung im Lehrerberuf von SCHÖNWÄLDER ET AL. (2003) sind solche Beanspruchungsanalysen für Lehrerinnen und Lehrer durchgeführt worden. Dabei wurde unter anderem die Frage nach der Reproduzierbarkeit, und damit auch der Aussagequalität, der Beanspruchungsverläufe gestellt. Zu diesem Zweck wurde bei 16 Lehrerinnen und Lehrern in zwei aufeinander folgenden Unterrichtswochen am gleichen Wochentag (Wochentag mit der höchsten Stundenanzahl) ein Tagesprofil der Herzfrequenz aufgezeichnet. Die so entstandenen Profile waren bei 14 Personen praktisch identisch, ein Beispiel dafür in Abbildung 2.5. Lediglich bei zwei Lehrerinnen war ein deutlicher Unterschied festzustellen, der Verlauf der Herzfrequenz in der zweiten Woche war ebenfalls identisch, er lag aber um 15 bis 20 Schläge pro Minute höher als in der ersten. Während bei den übrigen sowohl die phasischen als auch die tonischen Anteile fast identisch waren, unterschieden sich die beiden anderen nur in ihrem tonischen Anteil, der phasische war ebenfalls identisch. Im Nachhinein ließ sich dieser Unterschied durch Nachfragen bei den Betroffenen durch eine sehr starke psychische Erregung aufklären, ausgelöst durch psychosoziale Konfliktsituationen. Hier wird deutlich, welchen Einfluss persönliche konstitutionelle Merkmale auf solch einen global reagierenden Parameter haben, aber auch mit welcher Genauigkeit die phasischen Anteile die Arbeitsbeanspruchung abbilden.

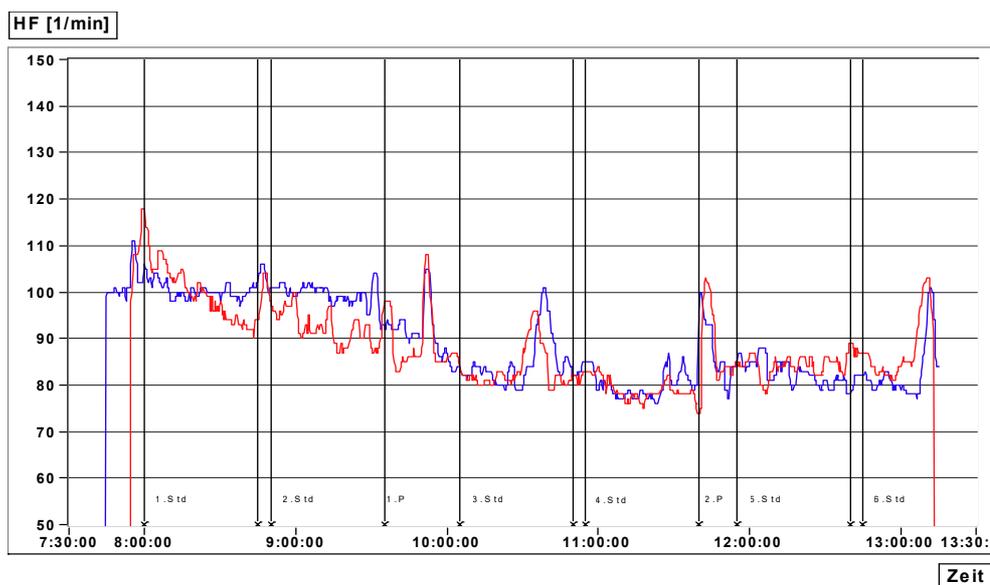


Abb. 2.5 HF-Tagesprofil einer Person an zwei identischen Wochentagen in aufeinander folgenden Wochen mit nahezu identischem Verlauf, nach SCHÖNWÄLDER ET AL. (2003)

Ein anderes Beispiel für die Beanspruchungs-Messung mittels Herzfrequenz ist bei BERNDT ET AL. (1988) zu finden, ebenfalls eine Untersuchung aus dem Arbeitsfeld Schule, hier aber am Beispiel der Beanspruchung der Schüler im Unterricht. Die Autoren zeigen mit ihrer Untersuchung einerseits die Bedeutung der Belastung durch die Unterrichtssituation, die für alle Kinder auch in der gemessenen Reaktion identisch ist, andererseits die Funktion psychosozialer Merkmale der Schüler für ihre Reaktionsweise (vgl. Abb. 2.6).

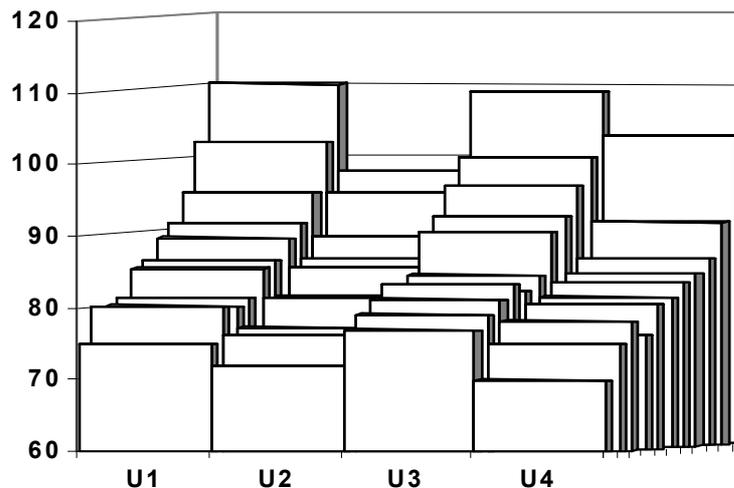


Abb. 2.6 Tagesprofil der Herzfrequenz (Unterrichtsstunden-Mittelwerte) bei 16 Kindern einer 4. Schulklasse, aus BERNDT ET AL. (1988)

In der Darstellung wird der Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Unterrichtsstunde deutlich: Er wirkt auf alle Kinder in gleicher Form, die Rangkorrelation ergab Werte zwischen $r = 0.90$ und $r = 0.97$. Dies bestätigt die große Bedeutung des physischen Anteils in der Reaktion, zeigt aber auch den sehr deutlichen tonischen Anteil, der im Wesentlichen durch psychosoziale Faktoren bedingt war, z. B. Leistungsdruck aus dem Elternhaus.

Die Eignung der Aufzeichnung der Herzfrequenz als Beanspruchungsindikator hat sich in der Arbeitswissenschaft bewährt. Im Zusammenspiel mit einem exakten Beobachtungsprotokoll werden auch detailliertere Aussagen möglich werden, als das bislang im Arbeitsfeld gebräuchlich war (vgl. Kap. 4.1).

2.2.2 Physiologische Arbeitskurve

Beobachtet man die Arbeitsleistung eines Menschen über eine bestimmte Zeit, so wird man feststellen, dass diese nicht konstant ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Arbeitsleistung zu Beginn des Arbeitstages höher ist als gegen Ende. Dieser Prozess wird als Ermüdung durch die erbrachte Leistung bezeichnet (ROHMERT UND RUTENFRANZ, 1983). Der Grad der beobachtbaren Ermüdung ist vor allem durch die Tätigkeit selbst bestimmt, wird aber durch weitere Größen beeinflusst, die zum Teil durch das Arbeitssystem bedingt sind, zum Teil aber auch durch die Person selbst. Die Anforderungen durch das Arbeitssystem sind in der Regel durch rein physikalische Parameter zu beschreiben: Klima, Leistung, Zeitstruktur, etc. Einflussfaktoren, die durch die Person bestimmt sind, sind z. B. deren Fähigkeiten und Fertigkeiten, Motivation etc. Unabhängig davon wurde aber beobachtet, dass die Arbeitsleistung auch einer allgemein gültigen physiologischen Arbeitskurve (vgl. Abb. 2.7) unterliegt. Die Leistungsdisposition zeigt dabei eine deutlich Abhängigkeit von der Tageszeit.

Diese circadiane Periodik bestimmt unter anderem auch das menschliche Schlaf-Wach-Verhalten und wird weitestgehend autonom durch das Zentral-Nerven-System gesteuert, wesentlich beeinflusst durch das Tageslicht. Ermittelt wurde dieser Tages-

verlauf der Leistungsdisposition anhand der Fehlerrate bei einer Bürotätigkeit (BERNER zit. nach ROHMERT UND RUTENFRANZ, 1983), sie ist aber in späteren Untersuchungen (z. B. GRAF, nach ROHMERT UND RUTENFRANZ) auch für andere Tätigkeiten gefunden worden. Diese physiologische Arbeitskurve gilt mit mehr oder weniger starken Ausprägungen und auch leichten Verschiebungen für alle Menschen am gleichen Ort.

Eine derartige circadiane Periodik lässt sich auch bei physiologischen Parametern finden, wenn auch nicht mit immer dem gleichen Verlauf. So ist z. B. der Verlauf während des Schlafes durch eine Mehrphasigkeit überlagert, wobei der tendenzielle Verlauf wiederum sehr ähnlich aussieht. Dieser circadiane Grundtonus ist allen anderen Einflüssen in der Regel unterlegt, wodurch ein natürlicher Verlauf von Aktivierung und Ermüdung bereits vorgegeben ist. In der Arbeitswissenschaft macht man sich diese Kenntnis insoweit zunutze, dass Arbeitszeitstrukturen an vielen Stellen diesen biologischen Vorgaben angepasst werden (ROHMERT UND RUTENFRANZ, 1983). Für den Bereich der Schule wurde in einer Arbeit von HELLBRÜGGE ET AL. (1960) genau auf dieses Phänomen der Tagesperiodik hingewiesen mit dem Vorschlag, dies bei der Fächerverteilung unbedingt zu berücksichtigen. Inwieweit diese Empfehlung in den letzten 45 Jahren berücksichtigt wurde, ist unbekannt.

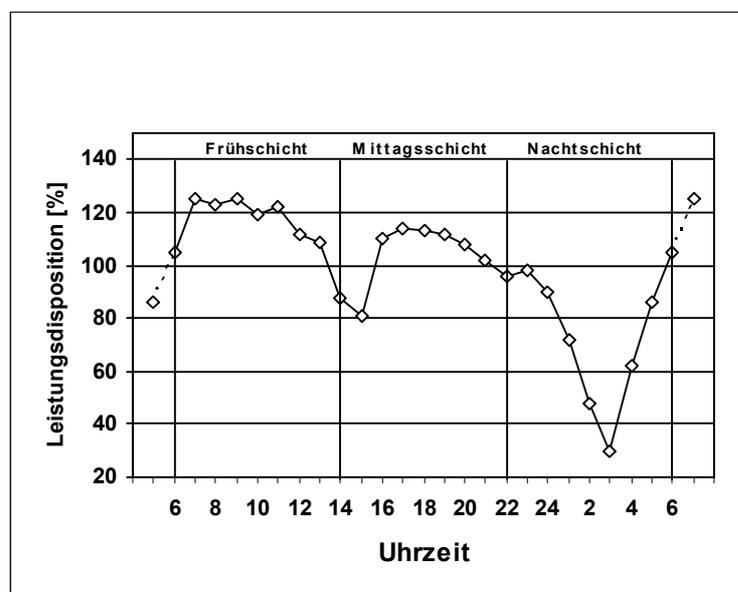


Abb. 2.7 Tagesgang der Leistungsdisposition, nach ROHMERT UND RUTENFRANZ, 1983

Neben dieser circadianen Periodik lassen sich auch längere Periodizitäten finden, so z. B. ein jahreszeitlicher Verlauf, zumindest in mitteleuropäischen Breiten durch das wechselnde Klima bedingt. Weitere Rhythmen ergeben sich aus sozialen Zusammenhängen, etwa dem Wochenarbeitsrhythmus und dem Ferienrhythmus. Diese Rhythmen werden hier nicht weiter diskutiert, da sie einen deutlich erweiterten Untersuchungsansatz voraussetzen. Auf die Bedeutung des Wochenrhythmus wird in der Arbeit von SCHÖNWÄLDER ET AL. (2003) näher eingegangen. Die Autoren fanden eine Zunahme der Aktivierung zur Wochenmitte mit einem deutlichen Ermüdungsabfall zum Wochenende.

Überlagert wird dieser circadiane Rhythmus der Aktiviertheit oder Leistungsdisposition durch weitere Einflüsse, die sowohl Ermüdung als auch zusätzliche Aktivierung

bedeuten können. Ein anschauliches Beispiel für zusätzliche Aktivierung ist der Sportler, der sich für einen bevorstehenden Wettkampf aufwärmt, wodurch alle für motorische Aktivität notwendigen Organsysteme zu erhöhter Leistungsbereitschaft veranlasst werden. Eine bevorstehende kognitive Prüfungssituation hat ähnliche Auswirkungen, es kommt ebenfalls zu einer Aktivierung, in beiden Fällen handelt es sich um Stressprozesse. Das Gegenteil, die Ermüdung, tritt immer nach einer erbrachten Leistung ein, wobei der Grad der Ermüdung von Höhe und Dauer der vorausgegangenen Arbeit abhängt, aber auch von dem Anfangszustand zu Beginn der Tätigkeit. Ein typisches Beispiel dafür ist die Erbringung einer Arbeitsleistung nach einer ungestörten Schlafphase bzw. nach einer gestörten oder gar fehlenden Schlafphase. Eine Übersicht zu dem Zusammenhang zwischen Ermüdung und Erholung gibt QUAAS (1997), ausführliche Darstellungen dazu gibt es aus dem Bereich der Arbeitsmedizin und der Unfallforschung (VALENTIN ET AL., 1979, NORPOTH, 1991), sowie Arbeiten zu Fragen der Nacht- und Schichtarbeit (HAHN 1992).

In dem Zusammenhang von Arbeitsleistung und Ermüdung ist auch die Frage nach der notwendigen Erholungspause zu stellen. LUCZAK (1983) verwendet den Pausenbegriff auf drei Ebenen körperlicher Funktionen:

1. Die Ebene absoluter Ausführbarkeitsgrenzen für neuronale und muskuläre Funktionen, die Refraktärzeiten, die notwendig sind, das energetische Gleichgewicht der Zelle wiederherzustellen. Sie liegen alle im Millisekunden-Bereich. Diese Zeiten sind nicht beeinflussbar, sie entziehen sich jeglicher Manipulation von außen und bestimmen damit die Ausführbarkeitsgrenzen der betreffenden Organe.
2. Eine zweite Ebene ergibt sich aus der Analyse von Arbeitszyklen im Sekunden-Bereich. Diese Zyklen ergeben sich z. B. bei Muskelarbeit aus der Abfolge von Kontraktion und Entspannung, wobei auch hier die Entspannungsphase für die Energieversorgung des Muskels unbedingt notwendig ist. Informativische Arbeit setzt sich aus einer Abfolge von sensorischen, diskriminatorischen, kombinatorischen und motorischen Elementen zusammen, die sowohl simultan als auch sukzessiv ablaufen. Auch hier sind einzelne Organpausen notwendig, um die Funktion auf längere Zeit sicherzustellen.
3. Bei der dritten Ebene wird erst die Erholungspause im Arbeitsprozess genannt, z. B. als Pause zur Nahrungsaufnahme, auch hier, um das durch Arbeit entstandene Defizit auszugleichen.

Untersuchungen zu Aktivierung und Ermüdung an Arbeitsplätzen werden in der Regel exemplarisch durchgeführt, d. h. meistens Einzelpersonen oder sehr kleine Gruppen. So werden neueste Untersuchungen mit Hilfe der Herzfrequenzanalyse in Arbeitssituationen von MYRTEK (2004) dargestellt. Hier werden auch auf kleine Zeitabschnitte bezogene Änderungen der Herzfrequenz positiv als Aktivierung und negativ als Ermüdung interpretiert. Es ist in begrenztem Umfang möglich, aus diesen Beanspruchungsprofilen Aussagen über Phasen der Ermüdung zu treffen bzw. die Wirkung von Pausen in Form zusätzlicher Aktivierung zu deuten. SCHÖNWÄLDER ET AL. (2003) haben dies sowohl für den Unterrichtstag der Lehrer als auch für die Unterrichtswoche getan und die o. g. Effekte beobachtet.

Die Untersuchung der Auswirkungen von Pausen auf die Erholung während des Arbeitstages, ausdrücklich auf die Schule bezogen, wurden bereits 1896 in einem Vortrag von FRIEDRICH dargestellt. Er gibt sehr detailliert Prüfverfahren zur Messung der „geistigen Leistungsfähigkeit“ mittels Diktat und Rechenaufgaben an und bezieht sich

auf noch wesentlich ältere Untersuchungen. Als Konsequenz fordert er eine sofortige Verkürzung der Unterrichtsstunde auf deutlich weniger als 60 min mit einer nachfolgenden Pause von mindestens 8 bis 10 min Dauer, was in etwa der üblichen akademischen Aufteilung (45 zu 15 min) entspricht. Dieser Gedanke entsprechender Erholungspausen während der Schulzeit wird von HELLBRÜGGE (1956) erneut aufgegriffen mit dem Hinweis, zusätzlich die Tagesperiodik mit einzubeziehen. Beide Forderungen werden durch die Tendenz zu Doppelstunden in den letzten Jahren mindestens in Frage gestellt. Inwieweit diese Unterrichtsdauer Ermüdungsprozesse beeinflusst, wäre mit Sicherheit eine weitere interdisziplinäre Forschungsfrage.

Der Einfluss der ergonomischen Arbeitsumgebung auf die Beanspruchung der darin arbeitenden Menschen bleibt von großer Bedeutung, sie stellt zumindest eine Belastungsgröße dar, die täglich wiederkehrend gleich bleibt, abgesehen von gezielt durchgeführten Änderungen, so wie es im Rahmen des Forschungsprojektes „Lärm in Bildungsstätten“ (vgl. SCHÖNWÄLDER ET AL., 2004) als raumakustische Intervention durchgeführt wurde. An einer anderen am Projekt beteiligten Schule fanden sich zwei Gruppen von Klassenräumen, die sich raumakustisch voneinander unterschieden (vgl. Kapitel 4.1), ein Vergleich der Arbeitsbedingungen bot sich an.

Unter diesen Rahmenbedingungen stellt sich die Frage:

„Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Beanspruchung des Lehrers und der ergonomischen Rahmenbedingung Raumakustik?“

2.3 Die Wechselwirkung von Lärmsituation und Beanspruchung

2.3.1 Lärm als Stressor

Ausgehend von dem Stressmodell nach LAZARUS UND LAUNIER (1981) (vgl. Abb. 2.8), bedeutet jeder Wahrnehmungsprozess eine Reizsituation, die durch ihre individuelle Bewertung eine entsprechende Bedeutung zugewiesen bekommt.

Bei Reizen, die sich von dem aktuell wahrgenommenen Muster deutlich unterscheiden, z. B. ein Blinklicht im visuellen Bereich oder ein besonderer Ton, z. B. Autohupe, im akustischen, so ist das Ergebnis dieser Wahrnehmung in der Regel eine Orientierungsreaktion, verbunden mit einer Richtung der Aufmerksamkeit auf dieses Signal. Verbunden mit dieser Reaktion ist eine kurzzeitige Aktivierung auf physiologischer Ebene. Es kommt (sehr stark vereinfacht) nach SELYE (1981) über den Hypothalamus und die Hypophyse zu einer Ausschüttung der beiden Stresshormone Adrenalin und Cortisol, die wiederum eine Steigerung der gesamten Körperaktivität zur Folge haben, sowohl motorisch als auch kognitiv. Legt man den evolutionären Entwicklungsprozess vor ca. 500.000 Jahren zugrunde, so war dies sicher für das Überleben unbedingt notwendig, doch in unserer heutigen Zeit haben sich die Reaktionsmöglichkeiten etwas verändert.

Das Ergebnis einer ersten Bewertung des Stressors, in diesem Falle „relevant“ oder „irrelevant“, führt dann möglicherweise zu einer Entwarnung oder aber auch zu weiterer Aktivierung, um sich mit dem Stressor auseinandersetzen zu können. Entscheidend für die Auslösung des Stressprozesses ist dabei einerseits die Intensität des Reizes im Vergleich zur aktuellen Umgebung, andererseits aber auch das Ergebnis der Bewertung des Reizes.

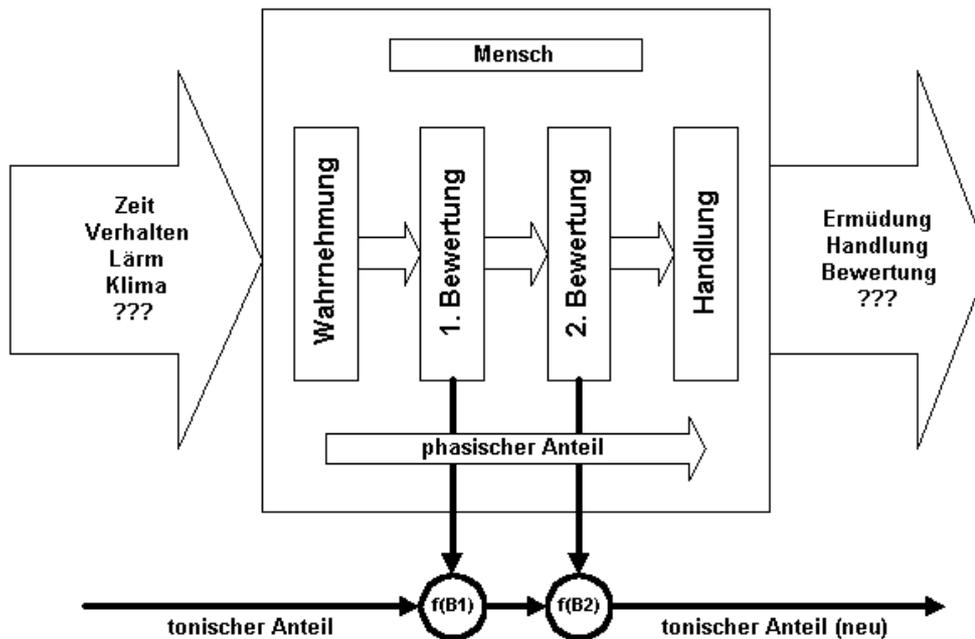


Abb. 2.8 Stressmodell nach LAZARUS UND LAUNIER (1981)

Das Hören des eigenen Namens in einer Gesprächsumgebung führt ebenfalls zu einer Orientierungsreaktion, auch wenn sich der Sprechpegel nicht von dem allgemeinen Geräuschpegel abhebt, hier enthält der Signalinhalt die Bedeutung. Das Ergebnis einer zweiten Bewertung, falls die erste „relevant“ ergeben hatte, entscheidet über die weitere Verarbeitung. So werden an dieser Stelle die eigenen Ressourcen überprüft mit den möglichen Ergebnissen „ist sicher zu bewältigen“, „ist als Herausforderung zu betrachten“ oder „meine Möglichkeiten reichen nicht aus“. Von diesem Ergebnis hängt erneut der weitere Umgang mit dem Stressor und damit auch die Reaktion darauf ab. An dieser Stelle setzen Copingstrategien ein, die zur Stressbewältigung führen können, wie sie von KRETSCHMANN oder SCHAARSCHMIDT UND FISCHER dargestellt werden. Dies ist jedoch nicht Bestandteil einer Suche von ursächlichen Zusammenhängen.

Das Besondere an diesem Modell des psychologischen Stresses ist, dass es einen kontinuierlich ablaufenden Prozess beschreibt, in der Abbildung 2.8 angedeutet durch den Punkt der Neubewertung. Bezogen auf den Stressor „Lärm“ könnte dies möglicherweise bedeuten, dass Dauerlärm, der als Belästigung empfunden wird, dem man sich aber nicht entziehen kann, dem man aber auch nicht unmittelbar entgegen kann, weiterhin ein Stressor mit all seinen physiologischen Auswirkungen bleibt, u. U. aber auch mit verstärkender Wirkung. Dieses Stressmodell wird auch als *transaktionales* Modell bezeichnet. Es beschreibt die Wechselwirkung zwischen Subjekt und Umwelt, der Mensch verändert durch sein Verhalten und seine Reaktionen auch die ihn umgebende Situation, und sei es nur durch emotionales Verhalten. (Der sich über Lärm ärgende Lehrer wird u. U. allein durch seinen Gesichtsausdruck dies den Schülern vermitteln und möglicherweise bereits eine erste Reaktion damit auslösen.)

Die physiologischen Reaktionen auf Lärm, wie sie in der Arbeitsphysiologie beschrieben werden (ROHMERT UND RUTENFRANZ, 1983), umfassen das ganze Spektrum von möglichen Stressreaktionen betreffend u. a. das Vegetative Nervensystem, Hormonsystem, Herz-Kreislauf-System, die Motorik, Wahrnehmung und die Verdau-

ung, wobei aber keine stimuluspezifischen Reaktionsmuster beobachtet werden konnten. Die individuellen Reaktionen sind, auch bei identischen Lärmstrukturen, sehr unterschiedlich. Offensichtlich ist also die *Lärm-Verarbeitung* individuell sehr unterschiedlich, möglicherweise auch ein Ergebnis der jeweiligen Lern- bzw. Sozialisationsprozesse, das Erleben oder den Umgang mit Lärm betreffend. Diese zu beobachtenden Reaktionen entsprechen einem natürlichen Prozess des Organismus, sich mit diesem Stressor auseinander zu setzen. Das ist in vielen Laborexperimenten nachgewiesen, nicht beantwortet ist jedoch Frage, ob es möglicherweise einen langfristigen Summationseffekt dabei gibt. Auf die Möglichkeit einer Chronifizierung wird in der Literatur zwar immer wieder hingewiesen, einen Beleg gibt es bislang dafür nicht.

In Bezug auf Lärm in der Schule berichtet Floss (1964) von Berufsschülern aus unterschiedlichen Ausbildungsbereichen und deren Reaktionen auf Lärm im Unterricht. Er beobachtete Veränderungen in den Bereichen „Reflexerregbarkeit, Fingertremor, Körpertemperatur und Herzfrequenz“. Nach 6-stündigem Unterricht bei einem Geräuschpegel von 62 bis 71 dB(A) stieg die Fehlerrate einer feinmotorischen Aufgabe um 18 % (gesteigerter Fingertremor), bei einem Geräuschpegel von < 40 dB(A) lediglich um 11 %. Unter den gleichen Bedingungen stieg die Körpertemperatur im ersten Fall um +0,16 °C, im zweiten sank sie um -0,22 °C. Bezogen auf die Beanspruchungsreaktion anhand der Herzfrequenz beobachtete er eine Abhängigkeit zur Lautstärke am Ausbildungsplatz, so erlebten die Schüler der Metall-Berufe im lauten Unterricht keine Veränderung der Beanspruchung, Schüler wie z. B. techn. Zeichner zeigten eine Ermüdung um 4 Schläge je Minute und Schüler des Gymnasiums sogar um 12 Schläge pro Minute. Hier macht sich offensichtlich ein Einfluss der „normalen“ Arbeitsbedingung bemerkbar. Eine andere Untersuchung von DÖRING ET AL. (1971) an Säuglingen zeigte im Bereich 60-65 dB(A) zunächst keine Reaktion, gemessen wurde die Veränderung der Hautdurchblutung, ab 70 dB(A) eine mit steigendem Geräuschpegel auch zunehmende Reduzierung der Durchblutung (Stressreaktion). Bei wiederholter Exposition reduzierte sich aber die Schwelle, bei der eine Reaktion beobachtet werden konnte, was auf eine zunehmende Lärmempfindlichkeit hindeutet, ein langjähriger Lernprozess bezüglich des Umgangs mit Lärm war hier abgeschlossen.

Die Bedeutung individueller Copingstrategien, vor allem in Bezug auf mögliche weitere Einflussfaktoren, ist in der Abbildung 2.9 von SUST UND LAZARUS (1997) dargestellt. Die phasischen Anteile dieses Stress-Prozesses werden hier als Dysregulation dargestellt, die aber bei unveränderten Einflussfaktoren z. B. zu einer chronischen Dysregulation werden können. Auf der somatischen Ebene wird hier ein erhöhtes Risiko für Erkrankungen des Herz-Kreislauf- und des Verdauungssystems angeführt.

An dieser Stelle sei nochmals hingewiesen auf das eingangs dargestellte Arbeitsplatzmodell der Schule nach RICHTER UND HACKER, die den Begriff der Redefinition der Arbeitsaufgabe eingeführt haben. Die Redefinition bewirkt in der Darstellung von SUST UND LAZARUS eine Veränderung der *Beeinflussung von physiologischen und psychischen Regulationsmechanismen* und gehört von daher zu der Gruppe der *Einflussfaktoren* in dem Schema. Dieses zentrale Stellglied ist mit verantwortlich für den Verlauf des weiteren Stressprozesses. Auch dieses Modell ist, genau wie das zuvor dargestellte Modell nach LAZARUS, als kontinuierlich ablaufender, sich immer wiederholender Prozess zu verstehen, der kurzzeitig als phasische Reaktion eine Dysregulation zur Folge hat, langfristig möglicherweise eine chronische Dysregulation. SCHAARSCHMIDT UND FISCHER (2001) haben in ihren Untersuchungen zu Persönlich-

keitsstrukturen von Lehrerinnen und Lehrern Eigenschaften gefunden, die in dem obigen Modell zu den *Einflussfaktoren* gehören, aber auch in dem Stellglied der *Beeinflussung* wirksam werden, die Bedeutung für die weitere Stressverarbeitung wird deutlich.

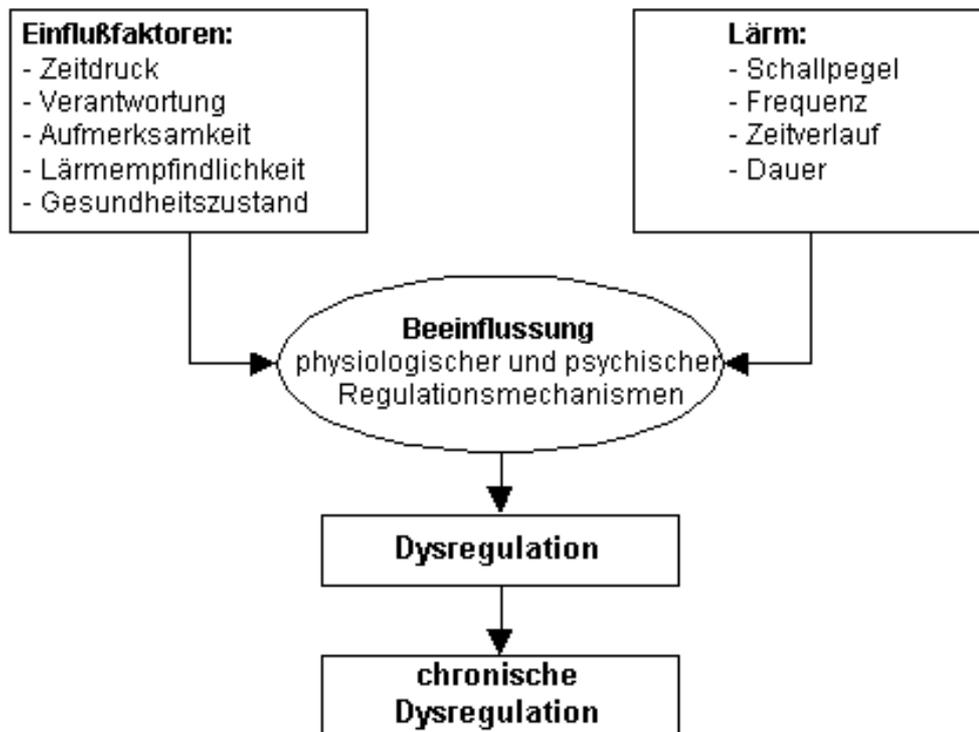


Abb. 2.9 Stresserzeugende Wirkungen von Lärm, modifiziert nach SUST UND LAZARUS, 1997

Bei Forschungsarbeiten zu den Auswirkungen von Lärm auf den Menschen geht es in der Regel um den Einfluss von Umweltlärm, z. B. Verkehrslärm oder Maschinenlärm. STÖLZEL (2004) zitiert in ihrer Untersuchung eine Reihe von Ergebnissen zu den Auswirkungen von Lärm auf physiologische Funktionen, zeigt aber auch die Individualität der Reaktionen. Am besten dokumentiert sind hierbei die Auswirkungen auf den Schlaf des Menschen, wobei auch geringe Schallpegel von 45 bis 55 dB(A) zu einer Störung führen können. (In einigen Fällen auch geringere, man denke hierbei nur an die Mücke, die im Sommer um den Kopf kreist, oder den tropfenden Wasserhahn). BERG (2001) zeigt in seinen Untersuchungen, dass eine reduzierte Nachhallzeit bei normalem Umgebungslärm die Schlafqualität der Versuchspersonen deutlich verbessert hat, ohne an der Außengeräusch-Situation etwas zu verändern.

Die auralen Wirkungen von Lärm sind in der einschlägigen Literatur der Arbeitswissenschaft in Form der „Lärmschwerhörigkeit“ dargestellt. Eine überblicksartige Zusammenfassung ist bei ISING ET AL. (1996) zu finden, in diesem Zusammenhang soll darauf nicht weiter eingegangen werden.

Als Fazit kann hier festgestellt werden, dass es außer der Lärmschwerhörigkeit mit irreversiblen Hörverlust (TTS) keine andere Erkrankung gibt, die ursächlich mit einer Lärmexposition in Verbindung gebracht werden kann. In jedem Falle hat aber Lärm als Stressor physische und psychische Auswirkungen, und dies sowohl momentan als auch langfristig. In der Abbildung 2.10 sind eine Reihe von Störungen auf physio-

logischer, kommunikativer und kognitiver Ebene dargestellt. Hier wird deutlich, dass auch bei Geräuschen unter 40 dB(A), die normalerweise nicht als Lärm bezeichnet werden, zumindest im Schlaf Veränderungen und damit auch Beeinträchtigungen des normalen Verlaufs zu beobachten sind. Die subjektive Bewertung der Störung bzw. der Beeinträchtigung ist dann ein individuell sehr unterschiedlicher Vorgang, wie aus dem modifizierten Stressmodell (Abb. 2.9) nach SUST UND LAZARUS (1997) bereits deutlich wird.

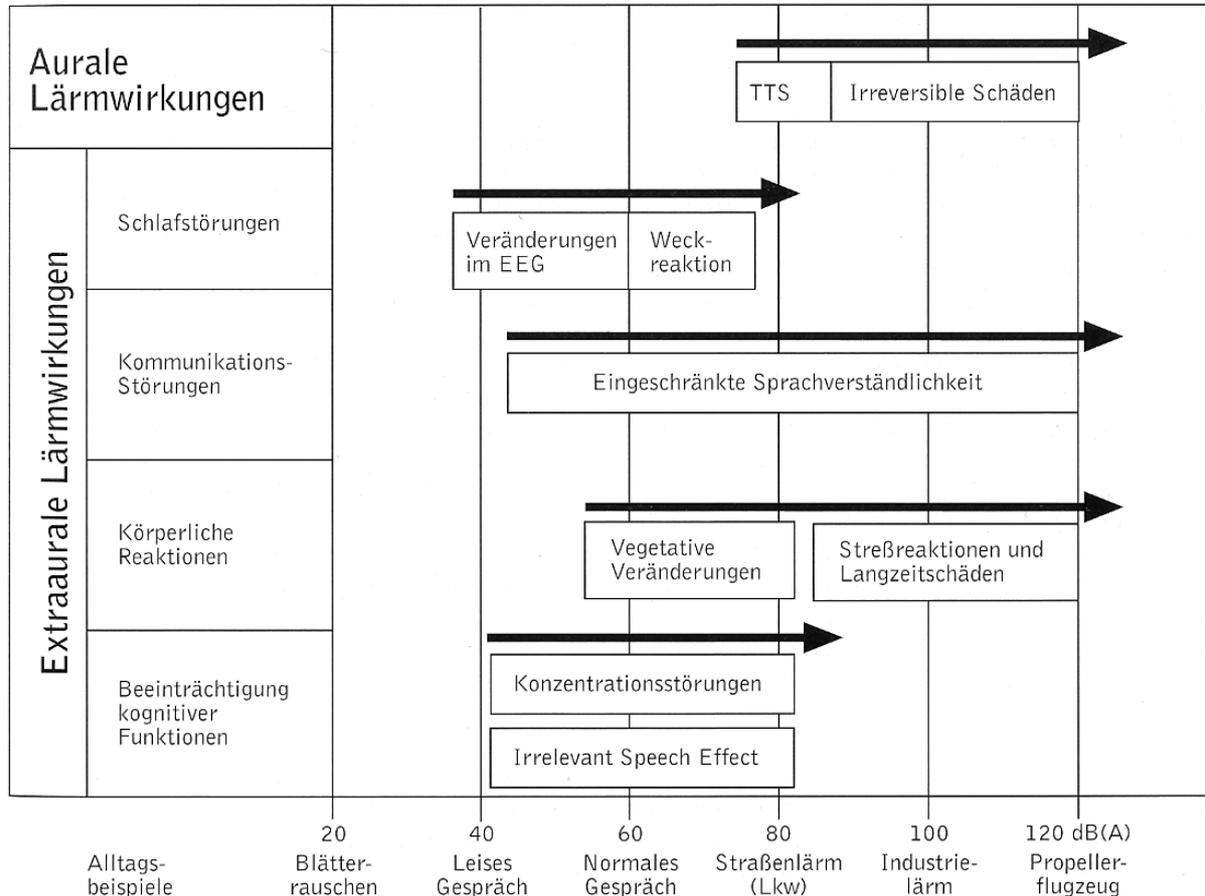


Abb. 2.10 Aurale und extraaurale Lärmwirkungen im Überblick, entnommen: Lexikon der Psychologie (2001)

Betrachtet man die Ausführungen im Abschnitt 2.1.1 zu den Auswirkungen von Lärm auf kognitive Prozesse gemeinsam mit den hier dargestellten Stressreaktionen, so ergibt sich ein deutliches Bild des ursächlichen Zusammenhanges zwischen physiologischen Veränderungen und den daraus resultierenden kognitiven Veränderungen. Selbst unter dem Aspekt der Verbesserung kognitiver Leistungsbereitschaft durch Stressprozesse, wie sie von SELYE (1981) bereits beschrieben wurde, bedeutet dies lediglich eine erhöhte Aufmerksamkeit den Stressor betreffend, nicht aber den übrigen Prozess wie etwa das Lösen einer Rechenaufgabe oder das Speichern einer gerade gehörten Information. Auch wenn sie von der Evolution her als für „das Überleben notwendig“ entwickelt wurde – in diesem Falle ist die Stressreaktion unerwünscht.

2.3.2 Stressverarbeitung

Unter Verwendung der arbeitswissenschaftlichen Terminologie von Belastung und Beanspruchung muss es hier eigentlich korrekt heißen: „Reduzierung oder gar Vermeidung aller Belastungsfaktoren, die den Arbeitsprozess beeinträchtigen“. In der für diesen Bereich greifbaren Literatur wird aber immer wieder von „Stressbewältigung, Stressvermeidung, Antistresstraining“ etc. gesprochen. KRETSCHMANN (1997) spricht deshalb in seinem Trainingsprogramm ausdrücklich von „Vorbeugung beruflicher Überbeanspruchung“ und bietet damit Lehrerinnen und Lehrern eine umfangreiche Liste von Verhaltensregeln im Umgang mit entsprechenden Situationen im Unterricht.

Als Folge langfristiger Überbeanspruchung in einer Arbeitssituation wird oftmals das Burnout-Syndrom angeführt. BURISCH (1994) beschreibt dieses Syndrom als ein Ergebnis lang andauernder und nicht bewältigter Stressprozesse, meist in Verbindung mit Arbeitssituationen, aber auch der allgemeinen Lebenssituation des Betroffenen. Er macht ausdrücklich nicht den Versuch, dieses Krankheitsbild, er bezeichnet es auch als Theorie der Erschöpfung, auf eine Ursache zurückzuführen, vielmehr zeigt er unterschiedliche Wege auf, die zu diesem Zustand führen können.

Ausgehend von dem transaktionalen Stressmodell nach LAZARUS UND LAUNIER (1981) gibt es vom Grundsatz her zwei Möglichkeiten, einer derartigen Überbeanspruchung bzw. einer Stressreaktion im negativen Sinne (Störung, Beeinträchtigung) entgegen zu wirken:

- Beseitigung des Stressors
- Verbesserung der eigenen Ressourcen zur Bewältigung

In der Broschüre „Stress im Betrieb?“ der Arbeitsgruppe Stress (BEERMANN ET AL., 2000) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin werden eine Reihe von möglichen Ansatzpunkten aufgelistet, die sich prinzipiell in zwei Gruppen unterteilen lassen, die aber beide nur mögliche Stressoren aufzeigen und wie man ihnen begegnen kann:

- Arbeitsorganisatorische und soziale Faktoren
Zeit- und Termindruck, Arbeitsumfang, soziale Belastung, Schwierigkeitsgrad, kollegiale Probleme, Schichtarbeit, etc.
- Ergonomische Gestaltungsdefizite
Arbeitsplatz, Arbeitsmittel, Arbeitsumgebung

Die Gestaltungsmöglichkeiten hinsichtlich des Arbeitsplatzes, hier vor allem die Ergonomie, aber auch die Organisation des Arbeitsprozesses, fallen in erster Linie in den Zuständigkeitsbereich des „Arbeitgebers“. In einem Unterpunkt der Maßnahmen zur Minderung von Stress wird aber auch die individuelle Stressbewältigung als Intervention mit angeführt. Damit wird dann doch noch der zweite Faktor aus dem o. g. Stressmodell mit verwendet, Stärkung der eigenen Ressourcen bzw. Veränderung der Bewertung von Stressoren. Diese Bewertungsprozesse sind Gegenstand der Ausführungen von KOHLMANN (1990), der die jeweils angewandten Coping-Strategien im Zusammenhang mit der Persönlichkeit betrachtet. Dieser Frage nach Bewältigungsmustern und Persönlichkeiten gehen auch Autoren wie SCHAARSCHMIDT UND FISCHER (2001) sowie SCHMID (2003) im Detail nach.

Individuelle Verfahren der Stressbewältigung oder Prävention werden nicht Gegenstand dieser Arbeit sein, dies fällt in den Zuständigkeitsbereich der Psychologie und bedarf einer gesonderten Betrachtung, insbesondere in Bezug auf den Bereich Schule. Die in diesem Zusammenhang genannten Stressoren, vgl. SCHÖNWÄLDER ET AL. (2003), beziehen sich nicht nur auf die reine Tätigkeit des Unterrichtens, hier geht es um psychosoziale Konflikte innerhalb eines Kollegiums, mit der Elternschaft, problematischen Schülergruppen etc.

Bezogen auf den Arbeitsplatz Schule, für den diese Untersuchung vorgenommen wurde, ergeben sich demnach drei Ebenen der Interventionsmöglichkeiten, wenn es um eine Reduzierung von möglichen Stressoren geht, die Ergonomie, die Organisation und die individuellen Ressourcen der Lehrerinnen und Lehrer.

Im Forschungsprojekt „Lärm in Bildungsstätten“, das dieser Arbeit zugrunde liegt, wurde zwar die Frage nach der Ergonomie und der Organisation der Schule gestellt, nicht aber die nach den Ressourcen der Lehrerinnen und Lehrer. Lediglich in der pädagogischen Interventionsstudie wurde auf diesen individuellen Faktor Einfluss genommen. Dieser Datensatz findet im Folgenden jedoch keine Verwendung, da er bezüglich des zentralen Faktors der Ergonomie keine Differenzierung erlaubt (vgl. Kap. 4.1). Der Faktor Organisation ist hingegen für die beiden Schulen, deren Daten hier verwendet werden, als praktisch identisch anzusehen, in beiden Schulen gibt es ein sehr ähnliches Zeitraster bezüglich der Unterrichtsstunden, und beide Kollegien handeln nach einem sehr ähnlichen Konzept bezüglich Sozialverhalten der Schüler. So bleibt der übergeordnete Faktor der Arbeitsplatz-Ergonomie als Interventionsvariable übrig. Ausführlich wird dies ebenfalls im Kapitel 4.1 dargestellt.

Die Bedeutung der ergonomischen Umgebungsvariablen „Lärm“ ist nach allen bisherigen Befunden als sehr hoch einzuschätzen, sowohl auf der Ebene der subjektiven Wahrnehmung durch die betroffenen Lehrerinnen und Lehrer, aber auch durch eine Reihe von Befunden aus der Literatur. Nach dem transaktionalen Stressmodell bedingen sich die einzelnen Faktoren wechselseitig in einer Endlosschleife, die es zu analysieren gilt. Dies gelingt aber nur unter Einbeziehung aller an diesem Prozess beteiligten Größen, von der Arbeitsumgebung bis einschließlich der darin arbeitenden Personen. Solch einem Vorhaben sind sowohl zeitliche als auch kapazitive Grenzen gesetzt, wenn man der Prämisse folgt, den zu untersuchenden Prozess möglichst ungestört ablaufen zu lassen.

Mit den zuvor gemachten Einschränkungen lässt sich hier die Frage stellen:

„Welche Auswirkungen hat die ergonomische Randbedingung Raumakustik in jeweiligen Phasen unterschiedlicher Arbeitsformen auf den Zusammenhang von Lärmbelastung und Beanspruchung?“

3 Leitfragen und Hypothesen

Die im Kapitel 2 dargestellte Übersicht zur aktuellen Forschungslage in den einzelnen Disziplinen zeigt zwar teilweise sehr unterschiedliche Fortschritte, aber auch die geringe Bereitschaft, die Grenzen des Fachgebietes zu verlassen und nach möglichen Verknüpfungen mit anderen Disziplinen zu suchen. Eine Ausnahme dabei bildet die Arbeitswissenschaft, die sich von vorneherein als interdisziplinäre Wissenschaft verstanden hat. Sie untersuchte bislang jedoch ausschließlich gewerbliche Arbeitsplätze – zu denen der „Arbeitsplatz Schule“ aber nicht gehört, womit er sich einer breiteren Wahrnehmung durch die Arbeitswissenschaft weitgehend entzogen hat.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die gestellten Leitfragen anhand konkreter Hypothesen zu beantworten, wobei der Schwerpunkt auf der Verknüpfung der verschiedenen Betrachtungsweisen liegt. Das Untersuchungsdesign ist nicht dafür ausgelegt, in den einzelnen Fachgebieten neue spezifische Erkenntnisse zu gewinnen, sondern – zumindest für diesen einen Teilaspekt – ein neues, vollständigeres Bild von Schule zu gewinnen, als dies innerhalb der einzelnen Disziplinen möglich ist. Die Realität von Schule besteht eben aus sehr unterschiedlichen Aspekten: unterschiedlichen Lehrern und Schülern, sehr weit differierenden Arbeitsformen und natürlich auch sehr unterschiedlichen ergonomischen Bedingungen, so z. B. Gebäuden aus den Jahren 1890 bis 2000. Der Ansatz von BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902), Schule als Gesamtheit zu betrachten, besitzt trotzdem bis heute eine gewisse Einmaligkeit.

Die Beantwortung der Leitfragen soll in Anknüpfung an diese Tradition der interdisziplinären Betrachtung erfolgen und ein möglichst umfangreiches Abbild der Realität unterrichtlicher Prozesse geben. Eventuell ergeben sich daraus neue Forschungsfragen in den beteiligten Fachdisziplinen, die auch nur dort beantwortet werden können.

Leitfrage 1: Welcher Zusammenhang besteht zwischen Lärmbelastung im Unterricht und der ergonomischen Rahmenbedingung Raumakustik?

Es ist davon auszugehen, dass der aus der Literatur bekannte Zusammenhang zwischen Geräuschpegel und Raumakustik auch für Klassenräume und Unterricht gilt. Dann muss sich dies auf mehrfache Art nachweisen lassen. Wenn die Raumakustik die Geräuschsituation in einem Raum so nachhaltig beeinflusst wie im Kapitel 2.1 dargestellt, dann muss sich dies sowohl innerhalb einer Schule mit unterschiedlich ausgestatteten Klassenräumen zeigen lassen als auch durch unmittelbare Intervention, d. h. Veränderung der Raumakustik. Daraus ergibt sich die

1. Hypothese:

Eine verringerte Nachhallzeit der Klassenräume führt zu einer Senkung sowohl des Grundgeräusch- als auch des Arbeitsgeräuschpegels im Unterricht.

Die in der Literatur vorhandenen Angaben zur Verteilung von Arbeitsformen und Re-deanteilen von Lehrer und Schülern im Unterricht sind nur sehr ungenau. Wenn der Geräuschpegel im Unterricht in der Hauptsache durch Kommunikation zustande kommt, so bedeutet dies, dass es deutlich leiser sein muss, wenn nur der Lehrer redet und alle Schüler zuhören. Da dies aber auch mit der Arbeitsform zusammenhängt, frontaler versus differenzierter Unterrichtsform, dann bedeutet dies für den Geräuschpegel:

2. Hypothese:

Differenzierte Arbeitsformen erzeugen einen tendenziell höheren Arbeitsgeräuschpegel als lehrerzentrierte Arbeitsformen.

Die Bedeutung der Raumakustik für Sprachverständlichkeit ist unumstritten, wie die gesamte Literatur gezeigt hat. Dabei kommt der Raumakustik im Zusammenhang mit dem Unterrichtsgespräch eine besondere Bedeutung zu, d. h., in Phasen mit starkem Kommunikationsanteil wie z. B. differenzierte Arbeitsformen muss sich eine Verbesserung der Raumakustik stärker auswirken als bei frontalem Unterrichten.

3. Hypothese:

Der Geräuschpegel wird in unterschiedlichen Unterrichtsphasen unterschiedlich stark durch die ergonomische Randbedingung Raumakustik beeinflusst.

Leitfrage 2: Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Beanspruchung des Lehrers und der ergonomischen Rahmenbedingung Raumakustik?

Menschliche Beanspruchung ergibt sich nicht allein aus einer physischen Belastung, wie die Literatur zeigt, sie wird vielmehr auch beeinflusst durch psychische Belastungen, zu denen u. a. emotionales Befinden sehr stark beiträgt. Wenn die akustische Umgebung einen großen Anteil zum Wohlbefinden im weitesten Sinne beiträgt, dann muss sich dies in einer reduzierten Beanspruchung unter besseren Bedingungen niederschlagen.

4. Hypothese:

Die Beanspruchung im Unterricht ist abhängig von der ergonomischen Randbedingung Raumakustik.

Arbeitswissenschaftliche Untersuchungen zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Arbeitsaufgabe, ihrer Durchführung und der dadurch entstehenden Belastung für die tätige Person. Auf den Unterricht in der Schule bezogen heißt dies, dass unterschiedliche Arbeitsformen, z. B. durch veränderte Aufmerksamkeitsanforderungen, unterschiedliche Beanspruchungsreaktionen zur Folge haben.

5. Hypothese:

Die Beanspruchung im Unterricht ist abhängig von der Arbeitsform und Tagesverlauf.

Wenn es einen Zusammenhang sowohl zwischen der Art der zu bewältigenden Aufgabe als auch der Raumakustik und der individuellen Beanspruchung gibt, so muss sich dies auch in der Verknüpfung der beiden Parameter zeigen. Eine Verbesserung der Raumakustik sollte somit für unterschiedliche Arbeitsformen zu einer Reduzierung der Beanspruchung führen.

6. Hypothese:

Die Beanspruchung wird in unterschiedlichen Unterrichtsphasen unterschiedlich stark durch die ergonomische Rahmenbedingung Raumakustik beeinflusst.

Leitfrage 3: Welchen Einfluss hat die ergonomische Rahmenbedingung Raumakustik in jeweils Phasen unterschiedlicher Arbeitsformen auf den Zusammenhang von Lärmbelastung und Beanspruchung?

Ausgehend von der Stresstheorie, wie im Kapitel 2.3 dargestellt, kommt Geräuschen bei der Auslösung von Reaktionen eine besondere Bedeutung zu, dieser Zusammenhang kann aufgrund der Literaturlage als begründet angenommen werden. In

der Literatur sind aber keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen einer Beanspruchungsreaktion und dem Arbeitsgeräuschpegel zu finden, hier wird meist auf den Einfluss von Störgeräuschen verwiesen. Da der im Unterricht gemessene Schallpegel keine Unterscheidung in Nutz- und Störsignal zulässt, kann der Zusammenhang hier so nicht geprüft werden, möglicherweise aber eine Auswirkung des gesamten Arbeitsgeräusches.

7. Hypothese:

Die Beanspruchung im Unterricht - gemessen an der Herzfrequenz des Lehrers - verhält sich proportional zum Arbeitsgeräusch im Unterricht.

Stressreaktionen werden sehr stark durch den Grad der Basisaktivierung beeinflusst, wozu einerseits die Tagesperiodik beiträgt, andererseits Ermüdungsprozesse, die mehr oder weniger ausgeprägt verlaufen können, ebenso die emotionale Grundstimmung. Demgegenüber stehen Phasen der Erholung, z. B. durch Pausen. Wenn eine Verbesserung der Raumakustik zu einer entspannteren Arbeitsumgebung beiträgt, so muss auch im Rahmen einer bestimmten, vergleichbaren Unterrichtssituation die Stressreaktion auf Geräusche geringer sein.

8. Hypothese:

Die Lärmempfindlichkeit des Lehrers ist abhängig von der unterrichtlichen Arbeitsform und der ergonomischen Rahmenbedingung Raumakustik.

4 Methodendiskussion und Operationalisierung

4.1 Beschreibung der Datenerhebung

Die Basis für die vorliegende Untersuchung bilden die im Rahmen des Projektes „Lärm in Bildungsstätten“ durch das ISF erhobenen Daten (vgl. SCHÖNWÄLDER ET AL., 2004), gefördert durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) in Dortmund. Dabei konzentriert sich die Arbeit auf die Datensätze von zwei Schulen, die beide durch ein umfassendes pädagogisches Konzept auch im Umgang mit Lärm auffielen. Beide Schulen gehörten im BAuA-Projekt zu den leisen Schulen und haben einen guten Ruf bei den Eltern. Darüber hinaus liefern die beiden Schulen jedoch sehr verschiedenartige „Startbedingungen“:

A) Die *Baumberge-Schule* in Havixbeck. Die ruhig gelegene Schule dieser Kleinstadt im Münsterland ist mit 625 Schülerinnen und Schülern und 33 Lehrkräften eine der größten Grundschulen in Nordrhein-Westfalen. Die Schülerschaft ist überwiegend gutbürgerlich ohne größere soziale Problemlagen. Das Schulgebäude mit seinen 25 Klassenräumen und 6 Mehrzweckräumen entstand in mehreren Bauabschnitten in den Jahren 1975, 1977 und 1982. Ein Klassenraum der Schule wurde im April 2004 unter Federführung des Vereins „Lernen statt Lärmen e.V.“ akustisch saniert. Das ISF hat diesen Prozess begleitet, so dass auch Daten aus Havixbeck in den Projektbericht „Lärm in Bildungsstätten“ mit einfließen konnten. Seit Jahren führt die Schule mit ihren Schulanfängern ein „sozialpädagogisches Training“ auch zur Lärmreduzierung durch.

B) Die – auch so bezeichnete – *Grundschule in der Stichnathstraße* in Bremen. Die Verlässliche Grundschule liegt in einem verkehrsberuhigten Quartier mit wenig Verkehrslärm und einer überwiegenden Bebauung mit Wohnblocks. Mit 400 Schülerinnen und Schülern und 29 Lehrkräften gehört auch die Grundschule Stichnathstraße eher zu den großen Grundschulen in Bremen. Der Einzugsbereich gilt mit einer geschätzten Zahl von 10-15 % Sozialhilfeempfängern als Sozialer Brennpunkt. Die Schule verfügt über ein ausdifferenziertes Förderkonzept und kooperiert eng mit dem Amt für soziale Dienste, hat einen Hort im Haus und ein Jugendhaus der AWO auf dem Schulgelände. Das Schulgebäude mit seinen 22 Klassenräumen, 4 Horträumen, 1 Musik- und 1 Werkraum stammt aus dem Jahr 1969. Seit Jahren führt die Schule mit ihren Schulanfängern ein „sozialpädagogisches Training“ auch zur Lärmreduzierung durch.

Die Datensätze aus dem BAuA-Projekt werden in der vorliegenden Arbeit durch die zeitgleich aufgezeichneten physiologischen Reaktionsdaten (Herzfrequenz) der Lehrer ergänzt. Das nun zur Verfügung stehende Datenmaterial kann mittels einer wesentlich verfeinerten Herangehensweise der im Vergleich mit dem BAuA-Projekt stark erweiterten Fragestellung Rechnung tragen.

Zwar ist der Datensatz des Projektes „Lärm in Bildungsstätten“ – bedingt durch die allgemeine Problematik „lebensnaher“ Feldforschung – in streng methodischem Sinne nicht repräsentativ und besitzt durch die Einmaligkeit der aufgezeichneten Situati-

onen eine grundsätzlich eingeschränkte Vergleichbarkeit, jedoch wurde bei der Auswahl der aufgezeichneten Unterrichtseinheiten auf eine breite Streuung bezüglich Schulform, Altersstufe und sozialem Umfeld Wert gelegt. Damit kann man vorliegenden Daten in jedem Fall einen „verlässlichen, deskriptiven Charakter“ bescheinigen (vgl. hierzu auch Kap. 4.3).

Die beiden ausgewählten Datensätze haben für die vorliegende Arbeit aufgrund ihrer spezifischen Qualitäten eine jeweils besondere Funktion. So liefert der Datensatz aus der Baumberge-Schule geradezu laborähnliche, kontrollierbare Rahmenbedingungen: Die gleiche Lehrerin hat die gleiche Klasse im gleichen Klassenraum mit einem annähernd gleichen Stundenplan unterrichtet. Beide Wochen waren frei von außergewöhnlichen Ereignissen. Die veränderte Raumakustik markiert damit den einzigen signifikanten Unterschied. Die Grundschule Stichnetstraße liefert hingegen einen deutlich größeren Datensatz, der über verschiedene Klassen, Jahrgangsstufen, Lehrkräfte, Unterrichtsfächer und raumakustische Bedingungen hinweg den Charakter der Feldforschung unterstreicht. Dadurch lassen sich am Datensatz der Baumberge-Schule die einzelnen Fragestellungen mit der notwendigen Exaktheit untersuchen und die Zusammenhänge im Detail aufschlüsseln. Die in der Grundschule Stichnetstraße gewonnenen Daten erfüllen diese Voraussetzung nicht, da sie keine unmittelbar vergleichbaren Situationen liefern. Sie bilden jedoch eine sichere Folie um die in der Baumberge-Schule gewonnenen Ergebnisse mit Einschränkungen auf ihre allgemeine Gültigkeit im Feld zu überprüfen und abzusichern.

4.1.1 Raumakustische Datenerhebung

Aus allen ergonomischen Randbedingungen (vgl. Abschnitt 1.1) des „Arbeitsplatzes Schule“ wird hier lediglich die Raumakustik betrachtet, da sie den entscheidenden Einfluss auf die Geräuschentwicklung im Klassenraum hat. Die Beurteilung der Raumakustik erfolgt anhand der beiden Parameter Nachhallzeit RT (in den Oktavbändern 125 Hz bis 8kHz) und Sprachverständlichkeit. Als Messgröße für die Sprachverständlichkeit wird nach einem von SCHROEDER angegebenen Verfahren aus der Raumimpulsantwort der Sprachverständlichkeitsindex (Speech Transmission Index; vgl. Kap. 2.1.2.2) STI bestimmt. Der so ermittelte STI kennzeichnet aufgrund des Messverfahrens und der Auswertung lediglich den Einfluss der Raumakustik auf die Sprachverständlichkeit. Störgeräusche und der tatsächliche Sprachpegel im Raum werden im Zug der Messung nicht unmittelbar berücksichtigt. Es wäre jedoch möglich, diesen Einfluss nachträglich rechnerisch über die folgende Beziehung zu ermitteln (vgl. MOMMERTZ UND GREINER):

$$m(F)^* = m(F) * (1 + 10^{(-S/Neff)/10})^{-1}$$

Die Messungen erfolgten gemäß den in der DIN 3382 festgelegten Vorgaben. Zur Bestimmung wurde ein von dem Ing.-Büro Müller-BBM entwickeltes Messverfahren verwendet. Insbesondere wurde der gesamte Messvorgang (Generierung des Messsignals, Aufnahme der im Raum reflektierten Schallsignale [Raumimpulsantwort], Berechnung der Messergebnisse bezüglich Nachhallzeiten und Speech Transmission Index) als Software-Lösung realisiert und auf einem Laptop installiert, sodass die kompakte Ausrüstung leicht in den untersuchten Schulen einzusetzen war.

Im Einzelnen erzeugt das Rechnerprogramm als Messsignal einen Sweep von 125 Hz bis 8 kHz und 1 s Dauer, der über einen Dodekaeder in 1,7 m Höhe mind. 1,5 m

von der nächsten Wandfläche entfernt ungerichtet abgestrahlt wurde. Die Aufnahme erfolgt über ein richtungsunabhängiges Mikrofon, welches in 1,1 m Höhe (Ohrhöhe sitzender Kinder) an 6 unterschiedlichen Positionen im Raum aufgestellt wurde. Die exakten Sende- und Messpositionen wurden im Messprotokoll vermerkt.

Als Ergänzung der Messdaten stehen exakte Raumprotokolle zur Verfügung, die neben dem Grundriss auch Angaben über Wand-, Boden- und Deckeneigenschaften sowie einen Möblierungsplan enthalten. Alle Klassenräume wurden im vollbesetzten, halbbesetzten und leeren Zustand vermessen. Zwei erwachsenen Personen waren zum Zweck der Messung in allen Fällen im Raum anwesend. Für die während der Messung im Raum anwesenden Kinder wurden einfache Gehörschutzkapseln mit einer Schalldämmung von etwa 30 dB(A) zur Verfügung gestellt.

4.1.2 Messung des Schallpegels während des Unterrichts

Für die kontinuierliche Erfassung der Geräuschpegel im Unterricht wurden Schallpegelmesser mit folgenden gerätetypischen bzw. eingestellten Merkmalen benutzt:

Genauigkeit:	Typ 1 (IEC 651)
Messbereich:	30 – 140 dB
Pegelbereich für Peak:	43 – 143 dB
Auflösung:	0,1 dB
Frequenzbewertung:	A
Zeitbewertung:	fast

Die Geräte messen kontinuierlich Schallpegel-Werte (L_A) und errechnen und speichern zugleich $L_{Aeq,1s}$ -Werte. Die L_A -Werte wurden zur Weiterverarbeitung online in ein Rechnerprogramm eingelesen, welches daraus weitere abgeleitete Werte errechnet (vgl. Kap. 4.2; für Details vgl. auch SCHÖNWÄLDER ET AL., 2004, S. 22f.).

Die Erhebung des Schallpegels fand unter der Zielstellung Lehrerbelastung im vorderen Drittel des Klassenraums statt. Die Mikrofone der Messgeräte wurden dabei in einem Abstand von mind. 1,5 m von der Tafel- bzw. der Fensterwand auf einem Stativ so platziert, dass sie sich nicht in unmittelbarer Aufsprechrichtung der Lehrkraft befanden.

4.1.3 Registrierung der Herzfrequenz während des Unterrichts

Für die vorliegende Arbeit wurden, über die Aufgabenstellung des Projekts „Lärm in Bildungsstätten“ hinaus, über den Arbeitsvormittag hinweg (gesamter „Schultag“; mit allen gehaltenen Unterrichtsstunden und zwischenliegenden Pausenzeiten) Langzeit-Herzfrequenzprofile sowohl der Lehrerin aus der Baumberge-Schule als auch von den zehn Lehrerinnen und den zwei Lehrern aus der Grundschule Stichnathstraße erhoben. Verwendet werden im Folgenden jedoch nur die Daten aus den Unterrichtsstunden, die in den untersuchten Klassen gegeben wurden.

Die Herzfrequenzprofile wurden mit Messsystemen der Fa. Polar erstellt (s. Abb. 4.1). Die Geräte erfassen die Herztätigkeit mit Hilfe eines Brustgurtes, der einen EKG Aufnehmer mit QRS-Detektor enthält und zugleich als Sender fungiert und bei identifizierten Herzaktionen (QRS-Komplexen) ein Signal abgibt. Dieses Signal wird von einem am Handgelenk getragenen Empfänger registriert, in einen Herzfrequenzwert umgewandelt und gespeichert. Die gespeicherten Herzfrequenzen werden nach Be-

endigung der Aufzeichnung von einem PC übernommen und ausgewertet. Die Speicherung erfolgt in einem Takt von 15 Sekunden (4/min).

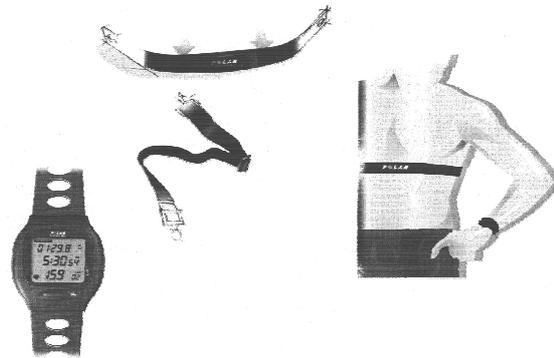


Abb. 4.1 Darstellung der EKG-Aufnehmer und Herzfrequenz-Speicher, System POLAR ®

4.1.4 Unterrichtsbeobachtung

Parallel zu den Geräuschpegel-Messungen wurden in den teilnehmenden Klassen in beiden Schulen Unterrichtsbeobachtungen durchgeführt. Diese erfolgten ebenso wie die Schallpegelmessungen in jeweils allen Unterrichtsstunden eines Schultages über jeweils eine ganze Schulwoche hinweg. Mit einigen Abweichungen vom regulären Stundenplan stehen insgesamt aus der Grundschule Stichnethstraße 154 protokollierte Unterrichtsstunden zur Verfügung, von der Klasse 2b der Baumberge-Schule 31 Unterrichtseinheiten (davon 16 vor, 15 nach der raumakustischen Sanierung).

Dabei wurden jeweils vor einer Unterrichtsstunde in einem Protokollbogen die Rahmendaten zur Charakterisierung des jeweiligen Unterrichtstages und der Unterrichtsstunden festgehalten. Nach der Stunde gab die Lehrkraft unter anderem ihr subjektives Empfinden des Geräuschpegels zu Protokoll. Detaillierte Angaben zu den Fragebögen finden sich im Anhang bei SCHÖNWÄLDER ET AL. (2004), Blätter 1-3.

Die eigentlichen Unterrichtsbeobachtungen erfolgten dann durch je zwei in den Klassen anwesende Beobachterinnen, die zuvor an Video-Aufzeichnungen von Unterrichtsstunden geschult wurden. Alle Aufzeichnungen wurden auf einem Rechner zeitgetreu erfasst, um später zu den anderen, synchron registrierten Parametern Schallpegel und Herzfrequenz in Beziehung gesetzt werden zu können. Ein(e) Beobachter(in) konzentrierte sich dabei allein auf die für diese Untersuchung relevanten pädagogischen Merkmale: die in jeder Unterrichtsphase vorherrschende Arbeitsform des Unterrichts und die aktuelle Richtung ablaufender unterrichtsbezogener Gespräche. Darüber hinaus wurden der Unterrichtsorganisation dienende Aktivitäten vermerkt.

Die erhobenen Parameter im Einzelnen:

Arbeitsform:	Frontalunterricht
	Einzelarbeit
	Partnerarbeit
	Gruppenarbeit
	Sonstige

Redeanteile:	Lehrer zur ganzen Klasse Lehrer zu einzelnen Schülern Schüler zum Lehrer Schüler zur ganzen Klasse Schüler zu einzelnen Schülern
Organisation	Organisatorische Tätigkeit

Alle Merkmale wurden bei Beginn und Ende des Auftretens durch Tastendruck auf einem als Ereignisrecorder programmierten Laptop zeitgetreu mit einer Auflösung von 1 s registriert. Daneben hatte ein(e) zweite(r) Beobachter(in) die Aufgabe, andere von Geräuschen begleitete Ereignisse auf einem Protokollbogen zu vermerken. Diese Daten finden in der vorliegenden Untersuchung jedoch keine Verwendung und sind nur der Vollständigkeit halber genannt.

Durch den Einsatz mehrerer Beobacherteams in der Grundschule Stichnetstraße kann in dieser Schule allerdings trotz Abstimmungs- und Übungsphasen vor der eigentlichen Untersuchung keine 100%ige Übereinstimmung bzw. Vergleichbarkeit der Daten garantiert werden. Dies erschwert eine detaillierte Diskussion der Einzeldaten innerhalb dieser Schule: Möglicherweise sind manche Unterschiede zwischen einzelnen Lehrerinnen und Lehrern ja entstanden bzw. verfälscht durch die verschiedenartige Wahrnehmung bzw. Einordnung durch die Beobachter. Immerhin: In der Baumberge-Schule stellt sich dieses Problem nicht, da hier über den gesamten Beobachtungszeitraum das gleiche Team im Einsatz war – ein weiterer Grund für die besondere Bedeutung und Qualität dieses Datensatzes. Und in der Grundschule Stichnetstraße sind die beiden dortigen Beobacherteams zumindest gleichmäßig innerhalb des OG und EG aufgeteilt, sodass sich das Fehlerpotenzial bei einem Vergleich zwischen den Stockwerken relativiert.

Zu erwähnen ist auch ein weiterer Unsicherheitsfaktor: Mitunter lassen sich die einzelnen Arbeitsformen im Unterrichtsalltag nicht immer exakt voneinander trennen, sei es durch Mischformen oder besondere Anordnungen der betreffenden Lehrkraft (Ist eine kurze stille Lese-Phase, während der die Lehrerin zentral im Tafelbereich steht, nun frontal oder differenziert? usw.). Eine überlegte Zusammenfassung der einzelnen differenzierten Arbeitsformen zu einer Gesamtgröße (vgl. Kap. 4.2.1.2) erscheint auch aus diesem Grund sinnvoll. Eine recht gute Vergleichbarkeit ist in diesem Kontext vor allem von der Beobachtungsgröße „Frontalunterricht“ zu erwarten. Die Kriterien (Vorgaben an die Beobachter) waren hier deutlich klarer als bei den anderen Arbeitsformen.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die vom ISF gewählte Form der Datenerhebung verglichen mit anderen Erhebungen einen großen inhaltlichen Fortschritt markierte. Während zuvor das Verhältnis zwischen einzelnen Arbeitsformen im Unterricht maximal im Verhältnis zueinander erfasst wurde, lässt sich aus dem hier vorliegenden Datensatz bei jeder Analysestufe auch die absolute zeitliche Dauer des jeweiligen Parameters ablesen.

4.2 Datensatzdefinition

Zur Lösung der gestellten Leitfragen stehen damit vier unterschiedliche Datenpools zur Verfügung:

- die akustisch-ergonomischen Rahmendaten des Klassenraums,
- die im Unterricht entstandenen Schallpegel in diesem Klassenraum,
- die pädagogische Vorgehensweise der Lehrerin bzw. des Lehrers und die von ihm angeordneten Arbeitsformen
- und seine eigene physiologische Reaktion, erfasst durch die Herzfrequenz.

Bezüglich ihrer Einordnung in das Arbeitsplatzmodell (vgl. Kap. 2.1) und der zu überprüfenden Hypothesen erfüllen diese Daten jedoch eine sehr unterschiedliche Funktion: Die Raumakustik ist dabei als äußerer Einflussfaktor auf das Unterrichtsgeschehen den (ergonomischen) Arbeitsbedingungen zuzuordnen. Aber auch die Arbeitsform im Unterricht gehört als konkrete Umsetzung des Arbeitsauftrags durch den Lehrer ebenfalls zu den gesetzten Randgrößen. Hingegen entstehen sowohl der Geräuschpegel als auch die Herzfrequenz aus dem Unterrichtsablauf selbst. Sie werden leicht veränderlich von diesem erzeugt oder beeinflusst (vgl. Kap. 2.3.1).

Im weiteren Verlauf wird konsequenterweise mit den beiden Datenpoolgruppen, Raumakustik und pädagogische Arbeitsweise auf der einen Seite, Schallpegel und Herzfrequenz auf der anderen, unterschiedlich verfahren. Während erstere als Filter dienen, um spezifische Unterrichtssituationen bzw. zeitliche Abschnitte aus der Datenmenge zu isolieren und zu gruppieren und damit unterschiedliche Arbeitsbedingungen kennzeichnen (vgl. im Detail Kap. 4.3), liefern zweitere als „Folgeerscheinung“ den Untersuchungsgegenstand selbst. Der Rückbezug auf das Arbeitsplatzmodell schafft so die Folie für eine detaillierte Analyse der Abhängigkeiten der erhobenen Parameter voneinander. Im Folgenden werden daher die raumakustischen Rahmenbedingungen und die pädagogischen Arbeitsformen als „Filtergrößen“ bezeichnet, während Schallpegel und Herzfrequenz als „Reaktionsgrößen“ eingestuft werden.

Die beiden Filtergrößen sind dabei in Bedeutung und Wirkungsweise sehr unterschiedlicher Natur: Während die statische Größe der Raumakustik den „Arbeitsplatz“ Klassenzimmer beschreibt, stellt die dynamische Größe der Arbeitsform eine Rahmenbedingung für den „Arbeitsprozess“ Unterricht dar. Im Rahmen des BAuA-Forschungsprojektes „Lärm in Bildungsstätten“ (SCHÖNWÄLDER ET AL., 2004) wurden Veränderungen gezielt an dem ergonomischen Parameter des Arbeitsplatzes vorgenommen, nämlich an der Raumakustik. Der pädagogische Prozess sollte hingegen bewusst nicht beeinflusst werden.

4.2.1 Filtergrößen

4.2.1.1 Filter 1: Raumakustische Merkmale

Die Messgrößen der Raumakustik, Nachhallzeit RT und Sprachverständlichkeitsindex STI, und die Datenerhebung wurden in Kapitel 4.1.1 bereits beschrieben. Für eine weitere Untersuchung ist es notwendig, die Messergebnisse in begründete Gruppen zusammenzufassen. Bildet man durch den Median der Nachhallzeiten zwei gleich große Gruppen, ergibt sich durch Zufall (die Auswahl der Klassen erfolgte

nach pädagogischen, nicht nach raumakustischen Kriterien) eine überraschend gleichmäßige Verteilung:

Eine erste Durchsicht der Nachhallzeitmessungen im leeren Raum der beiden Schulen zeigt z. B. in der Grundschule Stichnetstraße (vgl. Abb. 4.2) eine deutliche Unterschiedlichkeit der Räume im EG und OG: Während die vier Räume im EG Nachhallzeiten zwischen 0,6 und 0,8 s aufweisen, liegen die Nachhallzeiten der vier Räume im OG deutlich kürzer zwischen 0,4 und 0,5 s (vgl. Analyse in Kapitel 5.1.1). Betrachtet man die beiden Raumgruppen durch die Brille der aktuellen Literatur (MCKENZIE & AIREY, 1999) bzw. der aktuellen Normgebung (DIN 18041), entspricht die Gruppe der OG-Räume einheitlich den dort genannten Empfehlungen bzw. Vorgaben von Nachhallzeiten $\leq 0,5$ s, während die Gruppe der EG-Räume diesen Wert einheitlich übersteigt. Auch die beiden Messergebnisse in der Baumberg-Schule (vgl. Abb. 4.3) ordnen sich in dieses Schema ein. Vor der Sanierung überschreitet die mittlere Nachhallzeit die 0,5-Sekunden-Marke deutlich, nach der Sanierung lag sie mit ähnlichem Abstand darunter.

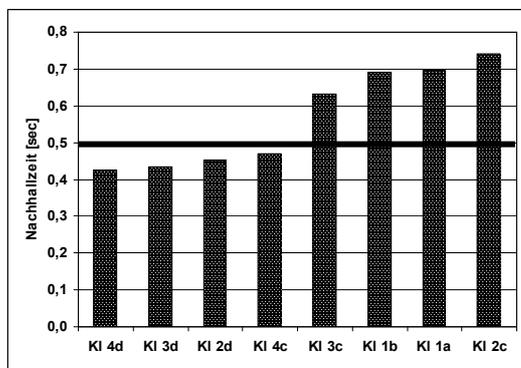


Abb. 4.2 Nachhallzeiten der Klassenräume (leer) in der Schule Stichnetstraße, Unterteilung nach EG (3c, 1b, 1a, 2c) und OG (4d, 3d, 2d, 4c)

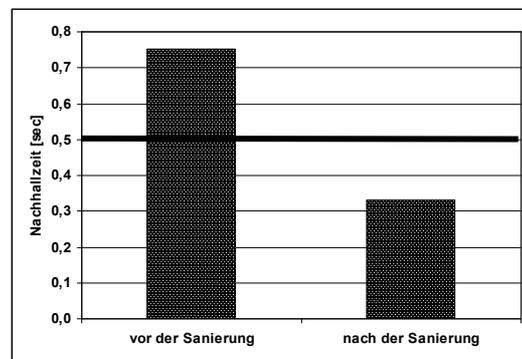


Abb. 4.3 Nachhallzeit (leer) des Klassenraums in der Baumbergeschule vor und nach der akustischen Sanierung

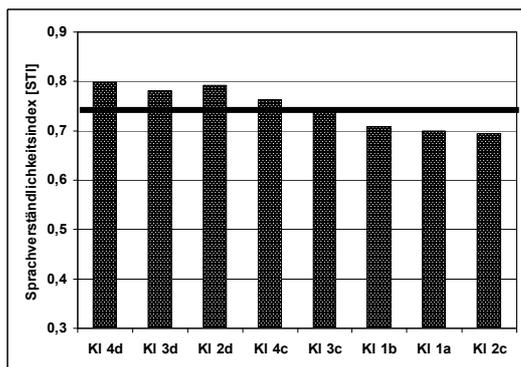


Abb. 4.4 Sprachverständlichkeitsindex [STI] der Klassenräume in der Schule Stichnetstraße, Unterteilung nach EG (3c, 1b, 1a, 2c) und OG (4d, 3d, 2d, 4c)

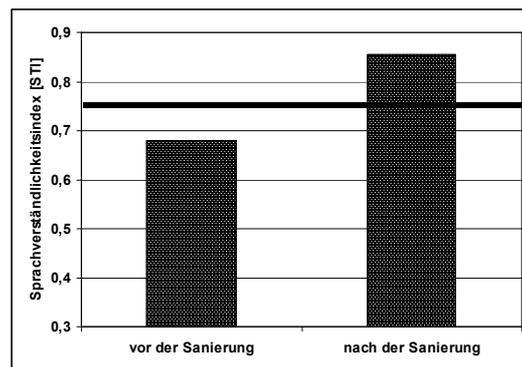


Abb. 4.5 STI vor und nach der Sanierung des Klassenraumes in der Baumbergeschule

Überprüft man die Klassenbildung mittels Median durch den Sprachverständlichkeitsindex STI, ergibt sich – ebenso zufällig – ein ebenso stimmiges Bild. Die Trennlinie der beiden gleich großen und gleichmäßig verteilten Gruppen verläuft sowohl bei den

acht Räumen der Grundschule Stichnetstraße (vgl. Abb. 4.4) als auch in der Baumberge-Schule (vgl. Abb. 4.5) genau bei 0,75 – also bei der Unterscheidung zwischen einer „sehr guten“ und einer nur „guten“ (vgl. Kap. 2.1 bzw. HOUTGAST UND STEENEKEN) Sprachverständlichkeit. Aus raumakustischer Perspektive lassen sich damit für die weitere Analyse folgende Filterparameter definieren:

Nachhallzeit RT	< 0,5 s
	> 0,5 s
Sprachverständlichkeitsindex STI	> 0,75
	< 0,75

Die am Projekt beteiligten Räume lassen sich demnach in folgende, gleich große Gruppen einteilen:

RT < 0,5 s	STI > 0,75	Hvx: Klasse 2bs; Stchn: Klassen 2c, 1a, 1b, 2c
RT > 0,5 s	STI < 0,75	Hvx: Klasse 2b; Stchn: Klassen 4c, 2d, 3d, 4d

4.2.1.2 Filter 2: Pädagogische Merkmale

Selbstredend kommt dem pädagogischen Ansatz, der Art des Unterrichts und nicht zuletzt dem Kommunikationsszenarium im Klassenraum bei einer Untersuchung der akustischen Arbeitsbedingungen eine besondere Bedeutung zu. So hat sich, wenn man der aktuellen Diskussion (vgl. Kap. 1.2) über „modernen Unterricht“ Glauben schenkt, das Geschehen in den Klassenzimmern in den vergangenen Jahrzehnten grundlegend geändert. Das Zusammenspiel und Verhältnis von „frontalen“ und „differenzierten“ Arbeitsformen ist demzufolge eine elementare Filtergröße zur Klärung der Leitfragen. Voraussetzung einer sinnhaften Näherung an diese pädagogischen Merkmale ist dabei eine sowohl zeitliche als auch inhaltliche Klassenbildung, welche die Einzeldaten für eine weitere Analyse verwendbar macht. Die Aufgabe besteht in der Entwicklung einer inhaltlichen Definition sowie einer Möglichkeit der zeitlichen Einordnung von unterrichtlichen Arbeitsphasen im Sinne von „überwiegend frontal“ oder „typisch differenziert“.

4.2.1.2.1 *Die zeitabhängige Klassenbildung – „> 50 %“ versus „< 50 %“*

Die ursprüngliche Erfassung der Arbeitsform erfolgte auf einer Zeitbasis von 1 s (vgl. 4.1.5). Zur weiteren Analyse wird hier neben der 45 min Unterrichtsstunde ein Zeitabschnitt von 5 min gewählt, wodurch die Unterrichtsstunde in 9 zeitgleiche Einheiten unterteilt wird. (Eine stichprobenartig durchgeführte feinere Rasterung, etwa in 1-min-Einheiten, brachte keine neuen Erkenntnisse – zumal sich für sehr kurze Einheiten die Originaldaten nur noch bedingt sinnhaft abbilden lassen.) Die einzelnen Beobachtungskategorien werden nun über die zu analysierende Zeit aggregiert und repräsentieren so die Gesamtdauer der jeweiligen Arbeitsform innerhalb eines Zeitabschnittes in Sekunden. Für die weiteren Analysen ist dabei zu prüfen, ob eine Dichotomisierung der Kategorien die tatsächliche Verteilung der Arbeitsformen in einer

aussagekräftigen Weise widerspiegelt. Zur näheren Bestimmung wird die zeitliche Dauer einzelner Arbeitsformen, hier beispielhaft die Kategorie „Frontalunterricht“ (FU) in der Baumberge-Schule, im Folgenden über eine Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Dauer dargestellt.

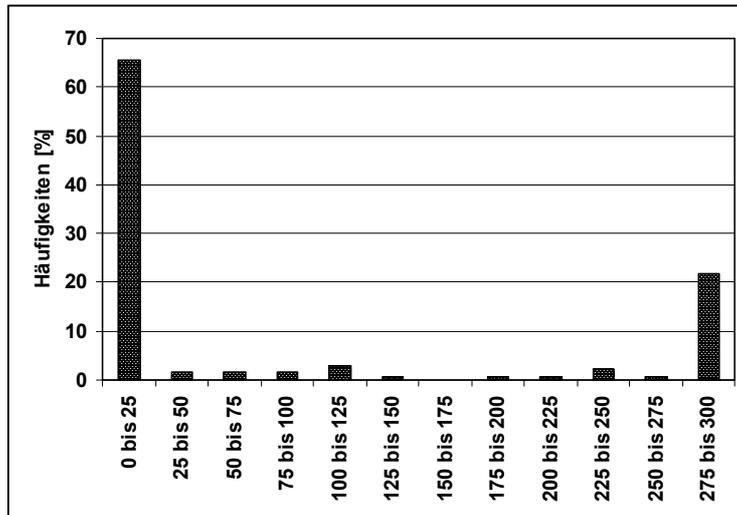


Abb. 4.6 Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile des Frontalunterrichts in den 5-min-Zeiteinheiten, Originaldatensatz – Darstellung in neun Klassen; Baumberge-Schule (vgl. 4.1.5)

Das Verteilungsbild für die in Abbildung 4.6 gezeigte Klasse findet sich auch bei allen anderen Datensätzen und ist nicht nur für den Frontalunterricht, sondern auch für alle anderen beobachteten Arbeitsformen typisch. Die Werte zwischen den beiden Randgruppen, die auf Übergangszustände hindeuten würden, kommen in ähnlich geringem Maß selten vor. Der Versuch liegt somit nahe, die Klassen weiter zu reduzieren.

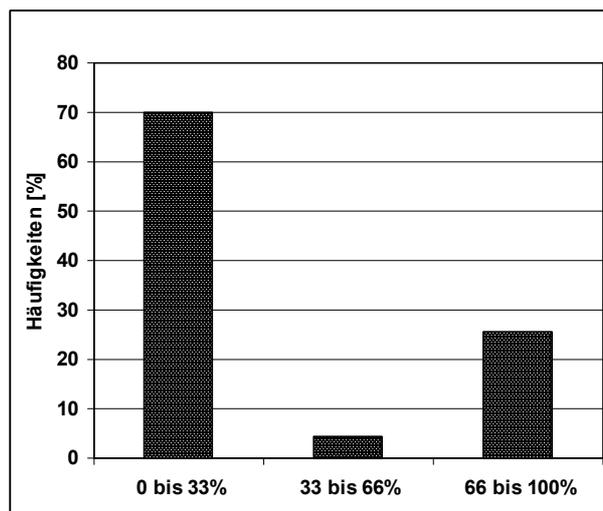


Abb. 4.7 Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile des Frontalunterrichts in den 5-min-Zeiteinheiten, Darstellung in drei Klassen; Baumberge-Schule

Bei der Bildung von drei Klassen ergibt sich das gleiche Bild: Die Mittelgruppe ist nur sehr schwach besetzt, kleiner 5 %, die deutlichen Unterschiede in den beiden Randklassen bleiben auch bei einer Drittelung erhalten (vgl. Abb. 4.7).

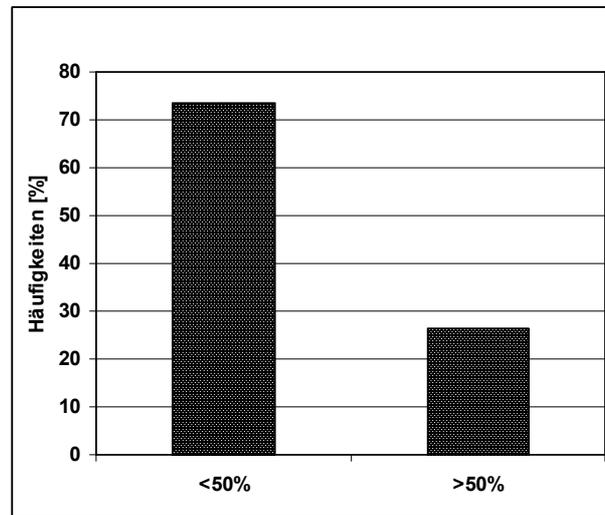


Abb. 4.8 Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile des Frontalunterrichts in den 5-min-Zeiteinheiten, Darstellung in zwei Klassen; Baumberge-Schule

Dieses Ergebnis lässt die Vermutung aufkommen, dass sich auch bei einer Zwei-Klassen-Darstellung die Verteilung nicht ändert, was sich in Abbildung 4.8 bestätigt. Dadurch wird es möglich, von einer Zeiteinheit mit „weniger“ (< 50 %) bzw. „überwiegend“ (> 50 %) „Frontalunterricht“ (FU) zu sprechen. Für die weiteren Betrachtungen wird hiermit eine einfache, gleichzeitig jedoch begründete und zuverlässige Charakterisierung der Arbeitsform möglich, immer bezogen auf den Zeitabschnitt.

Zur Überprüfung wird die Klassenbildung im Folgenden noch einmal an zwei Schulklassen der Grundschule Stichnathstraße durchgeführt, deren Lehrer im Untersuchungszeitraum durch eine unterschiedliche Arbeitsweise auffielen (Abb. 4.9 – 4.11).

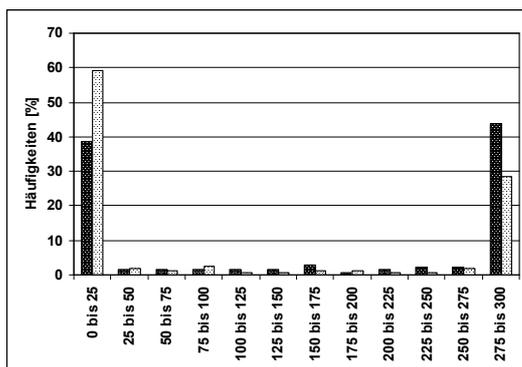


Abb. 4.9 Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile differenzierter Arbeitsformen in den 5-min-Zeiteinheiten, Originaldatensatz – Darstellung in neun Klassen; Grundschule Stichnathstraße (vgl. 4.1.5); im Vergleich: die Klassen 1a (■) und 1b (□).

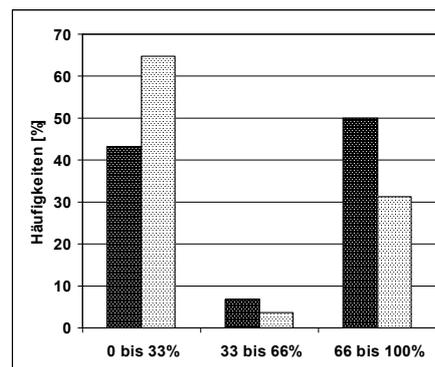


Abb. 4.10 Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile differenzierter Arbeitsformen in den 5-min-Zeiteinheiten, Darstellung in drei Klassen; Grundschule Stichnathstraße; im Vergleich: die Klassen 1a (■) und 1b (□).

Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, ob in beiden Fällen durch die Dichotomisierung und die damit verbundene starke Vereinfachung des Datensatzes die ursprüngliche Häufigkeitsverteilung in diesem Fall der differenzierten Arbeitsformen erhalten bleibt.

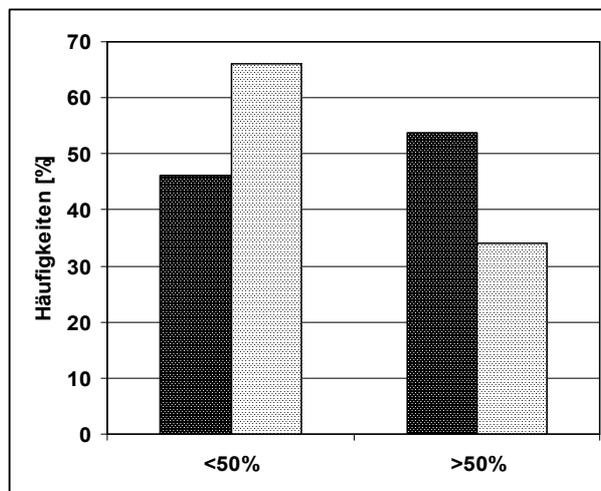


Abb. 4.11 Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile diff. Arbeitsformen in den 5-min-Zeiteinheiten, Darstellung in zwei Klassen; Grundschule Stichnathstraße; im Vergleich: die Klassen 1a (■) und 1b (□).

Das Ergebnis zeigt: Die Dichotomisierung erhält in allen drei Fällen die ursprüngliche Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile. Sie stellt damit ein verlässliches Verfahren für die weitere Datenanalyse dar. Weitere Testreihen haben darüber hinaus ergeben, dass die dichotome Klassenbildung an der 50%-Marke ebenso zuverlässig auf die anderen Arbeitsformen übertragen werden kann.

4.2.1.2.2 Die inhaltliche Klassenbildung – „FU“ und „diffAF“

In dem eigentlichen Beobachtungsschema war eine allgemeine Kategorie „differenzierter Unterricht“ nicht vorgesehen. Stattdessen wurden ER-Daten zu konkreten Teilformen wie „Einzelarbeit“ (EA), „Gruppenarbeit“ (GA) und „Partnerarbeit“ (PA) abgefragt (vgl. 4.1.5). Zugunsten eines klareren Bildes und einer griffigen Zuordnung erscheint es jedoch sinnvoll, diese Einzeldaten in ein gröberes Raster zu gruppieren und weiter zu operationalisieren. Hintergrund ist auch die Erfahrung, dass unterrichtliche Realität sich oftmals nicht so klar abgrenzen lässt wie im Lehrbuch. Zudem fiel in der Praxis die Unterscheidung zwischen Gruppenarbeit, Partnerarbeit und sonstigen Organisationsformen vielen Protokollanten relativ schwer. Dies führte im Ergebnis zu der bereits in 4.1 angedeuteten Problematik des zum Teil unterschiedlichen Beobachterverhaltens in den einzelnen untersuchten Schulen. Relativ klar war hingegen die zeitliche Abgrenzung zum „Frontalunterricht“. Dieser wurde von den Protokollanten gesetzt, wenn die Aufmerksamkeit der ganzen Klasse auf den Lehrer gerichtet war, der Arbeitsauftrag an die Schüler also im Rezipieren bestand. Wenn demzufolge die Protokolldaten bezüglich der Größe „Frontalunterricht“ (FU) als vergleichsweise sicher bewertet werden können, lassen sich alle vom FU abgrenzbaren Arbeitsformen, in denen Schüler nicht auf den Lehrer fokussiert arbeiten (Gruppengröße 1-n), begründet unter dem Begriff der „differenzierten Arbeitsformen“ (diffAF) subsumieren.

$$\text{diffAF} = \text{GA} + \text{PA} + \text{EA}$$

(Die Größe „Organisation“ kann bei dieser Gruppenbildung vernachlässigt werden; sie wurde parallel, also nicht fakultativ, zu den anderen Arbeitsformen erfasst und verschiebt das Verhältnis nicht.)

Bei der direkten Gegenüberstellung (Abb. 4.12 und 4.13) ergibt sich dabei ein auf den ersten Blick überraschender Eindruck. Es scheint, als ob die zusammengefasste Datengruppe „diffAF“ im Gesamt-Vergleich mit dem Frontalunterricht ein anderes Verhältnis erzeugt als die einzelnen Parameter GA, PA und EA im Einzel-Vergleich. Tatsächlich geben aber die kumulierten Werte einen deutlich realistischeren Blick auf das tatsächliche Unterrichtsgeschehen als die Einzelwerte: Da diese aus den Originaldaten errechnet werden – statt etwa einfach das arithmetische Mittel aus den Einzelklassen zu bilden – zeichnet sich auch das originale Verhältnis zwischen frontaler und differenzierter Arbeitsweise wieder ab.

Ein Beispiel: Hätte ein 5-min-Unterrichtszeitabschnitt im Originaldatensatz aus 30 % EA, 30 % PA, 30 % GA und 40 % FU bestanden, also deutlich überwiegend aus differenzierten Arbeitsformen, wäre der Abschnitt in der Einzelbetrachtung trotzdem jedes Mal dem Frontalunterricht zugeschlagen worden, da der Wert für FU ja höher ist als die jeweiligen Einzelwerte. Die Zusammenfassung der Einzelparameter zur Gruppe „diffAF“ korrigiert diesen statistischen Fehler und ordnet den Zeitabschnitt richtigerweise der differenzierten Arbeitsform zu.

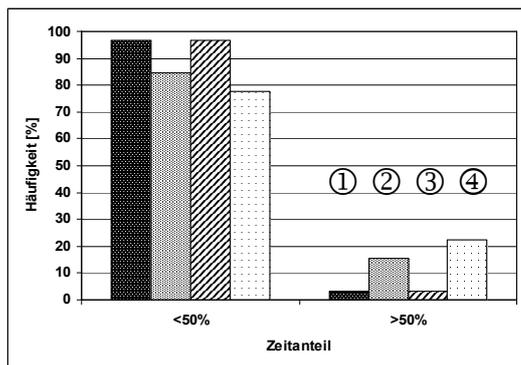


Abb. 4.12 Vergleich der Kategorien EA (1), PA (2), GA (3) und diffAF (4) jeweils in der zeitlichen Zuordnung < 50 % und > 50 %; hier: Datenbasis Baumberge-Schule

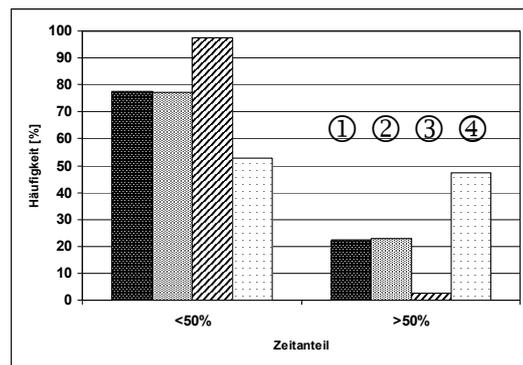


Abb. 4.13 Vergleich der Kategorien EA (1), PA (2), GA (3) und diffAF (4) jeweils in der zeitlichen Zuordnung < 50 % und > 50 %; hier: Datenbasis Stichnathstraße

Aus pädagogischer Perspektive lassen sich bei der weiteren Analyse die im Projektzeitraum protokollierten Arbeitsformen begründet in folgende Filterparameter einteilen:

1) Zeitlicher Anteil einer Arbeitsform am Unterricht: < 50 %
> 50 %

2) Inhaltliche Definition der Arbeitsform AF: FU (Frontalunterricht)
diffAF (diff. Arbeitsformen)

4.2.1.3 Filterkombinationen

Zur Beantwortung der gestellten Leitfragen wird ab einem bestimmten Zeitpunkt eine kombinierte Betrachtung von raumakustischen und pädagogischen Aspekten notwendig sein. Im Zentrum steht dann das Interesse, wie sich die Reaktionsgrößen Schallpegel und Herzfrequenz während einer bestimmten Arbeitsform unter einer ausgewählten akustisch-ergonomischen Randbedingung verhalten. Eine derartige Kombination von Filtergrößen wird ja bereits durch das Arbeitsplatzmodell und die dazu geknüpften Verbindungen am Anfang dieses Kapitels vorgegeben.

4.2.2 **Reaktionsgrößen**

Soll im Sinne der Arbeitswissenschaft die Ergonomie eines Arbeitsplatzes – im vorliegenden Projekt der Klassenraum – durch eine Interventionsmaßnahme verändert werden, so bedarf es einer oder mehrerer Reaktionsgrößen, an deren Veränderung die Auswirkung des Eingriffs gemessen und auch beurteilt werden können. Beispielsweise kann die Installation einer besseren Beleuchtung einerseits an der Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsplatz gemessen werden, andererseits aber auch an der Veränderung der zu erbringenden Arbeitsleistung oder an physiologischen Veränderungen des arbeitenden Menschen, z. B. Ermüdung. Bei der vorliegenden Fragestellung stehen zwei Parameter im Vordergrund, deren Zusammenhang vermutet wird und die durch eine gezielte Intervention beeinflusst werden sollen.

Wie in Kapitel 4.2.1 bereits dargestellt wurde, kann der Arbeitsplatz „Klassenzimmer“ einerseits durch die statische Größe der Raumakustik gekennzeichnet werden, andererseits durch eine dynamische Größe der Arbeitsform. Welche Auswirkungen haben diese beiden ergonomischen Bedingungen also auf den Arbeitsprozess, hier konkret den Unterricht?

4.2.2.1 Schallpegel

Wie in Kapitel 2.1 dargestellt wurde, besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Geräuschpegel in einem Raum und seinen raumakustischen Eigenschaften, d. h., dieser Pegel ist, zumindest bei unveränderter Geräuschquelle, ein Indikator für die Wirksamkeit einer Interventionsmaßnahme. Der Schallpegel ist aber ebenfalls ein Indikator für die Auswirkungen von Kommunikations- bzw. Arbeitsprozessen. Welche Größen des Schallpegels in einem Klassenraum sind für die Beurteilung maßgebend bzw. welche sollen zur Beschreibung der Wirkung einer Intervention verwendet werden? Zwar könnte man festlegen, „je leiser der Unterricht desto besser die Lernumgebung“, so widerspricht dies in gewisser Weise den Erwartungen an eine Unterrichtssituation. Unterricht ist verbunden mit der Erwartung, dass eine Reihe von Menschen gemeinsam arbeiten, einzeln, in der Gruppe oder in jeder denkbaren Form, wobei dieses Arbeiten sowohl aus Rezipieren als auch aus Produzieren besteht, in jedem Falle aber aus einem Minimum an sprachlicher Kommunikation. Hinzu kommt ein zum Leben absolut notwendiger Geräuschanteil, bedingt durch Körperfunktionen, z. B. die Atmung und Körperbewegung.

Aus den fast kontinuierlichen Aufzeichnungen des Schallpegels sind daher zwei Parameter von Bedeutung, die auch der subjektiven Beschreibung der Geräuschsituation durch Lehrer sehr nahe kommen:

- *Grundgeräuschpegel*: Hiermit soll das allgemeine Grundgeräusch in einer voll besetzten Klasse über eine definierte Zeit gekennzeichnet werden. Verwendet wird hierfür das in der Akustik standardisierte Maß des L_{A95} , der den Schallpegel angibt, der in 95 % der Zeit überschritten wird. Damit beschreibt dieser Wert die Grundgeräuschsituation wesentlich besser als z. B. der Minimalpegel, der auch rein zufällig entstanden sein kann. (vgl. RITTERSTAEDT, PAULSEN UND KASKA, 1980)
- *Arbeitsgeräuschpegel*: Der eine Arbeitssituation beschreibende Schallpegelparameter entspricht dem über die Zeit energetisch gemittelten Pegelwert, der Beurteilungspegel $L_{Aeq, Zeit}$.

Ausgehend von der Anforderung, unterschiedliche Zeitabschnitte zu analysieren, angefangen von der gesamten Unterrichtsstunde mit 45 min bis zu kurzen Arbeitsphasen von 5 min, entsteht die Forderung nach Schallpegelparametern, die diesen Zeitabschnitt charakterisieren (vgl. Tab. 4.1). Die beiden zuvor dargestellten Parameter beschreiben sowohl für die kleine als auch die große Zeiteinheit die Arbeitssituation von ihrer Geräuschentwicklung. Beide Parameter werden aus dem kontinuierlich erhobenen Pegel $L_{Aeq, 1s}$ errechnet.

Tab. 4.1 Parameter zu Grund- und Arbeitsgeräuschpegel

<i>Zeitspanne</i>	<i>Parameter</i>	
1 s	$L_{Aeq, 1s}$	SPL-Mittelwert über 1 s
5 min	$L_{Aeq, 5min}$	„Arbeitsgeräuschpegel“ SPL-Mittelwert über 5 min
	$L_{A95, 5min}$	„Grundgeräuschpegel“ Wird in 95 % der Zeit überschritten
1 U-Std.	$L_{Aeq, 45min}$	„Arbeitsgeräuschpegel“ SPL-Mittelwert über 1 U-Std.
	$L_{A95, 45min}$	„Grundgeräuschpegel“ Wird in 95 % der Zeit überschritten

Die Verwendung dieser Parameter kann darüber hinaus auch über frei definierbare Zeitabschnitte erfolgen.

4.2.2.2 Herzfrequenz

Die Auswirkung von Interventionsmaßnahmen bei einem Arbeitsplatz haben natürlich auch Auswirkungen auf die Menschen, die hier tätig sind. Neben der Möglichkeit einer subjektiven Befragung zur Befindlichkeit oder zum Erleben einer Veränderung wird die Herzfrequenz als Indikator für Beanspruchung verwendet (vgl. Kap. 2.2). Eine willentliche Beeinflussung der Herzfrequenz, z. B. im Zusammenhang mit Autogenem Training zur Entspannung, ist in einer normalen Arbeitssituation auszuschließen, so steht hiermit ein objektives Maß zur Beanspruchung zur Verfügung.

In Analogie zur Reaktionsgröße „Schallpegel“ kann der Parameter Herzfrequenz in zwei Anteile zerlegt werden, einen *tonischen* sich langsam verändernden und einen *phasischen*, der sich der aktuellen Belastung schnell anpasst (vgl. SCHANDRY).

- *Basisaktivierung*: Unter Basisaktivierung ist der tonische Anteil zu verstehen, der sich z. B. im Laufe eines Tages verändert, möglicherweise aber auch über eine Unterrichtsstunde, z. B. durch Ermüdungsprozesse. Ermittelt wird die Basisaktivierung als minimaler HF-Wert in einem definierten Zeitabschnitt. Durch die Aufzeichnung bedingt, HF jede 15 s, entfällt die Notwendigkeit irgendwelcher Mittelungen, um die respiratorische Arrhythmie zu eliminieren. Der Basiswert signalisiert das während des betrachteten Zeitintervalls vorherrschende basale Aktivierungsniveau (den Grad der psychophysischen „Erregung“).
- *Beanspruchung*: Der als Reaktion auf die aktuelle Belastung sich einstellende HF-Wert, der phasische Anteil, ergibt sich aus dem Mittelwert der Herzfrequenz in dem zu beschreibenden Zeitabschnitt über die gemessenen 15-s-Werte.

Für die zu analysierenden Zeitabschnitte gelten die gleichen Regeln wie zuvor unter Abschnitt 4.2.2.1 für den Schallpegel.

4.3 Methodik: Filtern – Gruppieren – Analysieren

Eine Analyse des vorliegenden Datensatzes, der ein Abbild der realen Arbeitssituation darstellt und nicht im Rahmen eines ausgewogenen Untersuchungsdesigns, wie es in Laboruntersuchungen zu finden ist, erhoben wurde, ist lediglich mit den Techniken der deskriptiven Statistik möglich. Ausgehend von dem strengen Design einer Interventionsstudie, bei der genau ein Parameter variiert wird, dürfen in einer solchen Feldstudie keine zwei aufeinander folgenden Situationen miteinander verglichen werden, da die Einwirkung von Störvariablen nur zu begrenzen, nicht aber auszuschließen ist. Im Abschnitt 4.1 wurden in diesem Kapitel bereits Ausführungen zu dem gewählten Datensatz gemacht, hier wurden auch die spezifischen Besonderheiten der beiden Schulen, Baumberge-Schule und Grundschule Stichnetstraße bereits genannt. In der Praxis werden üblicherweise zwei Vorgehensweisen bei der Datenanalyse benutzt, um diesem Mangel an Kontrollierbarkeit entgegen zu wirken, zum einen die Verwendung möglichst großer, repräsentativer Datensätze, zum anderen die Betrachtung von Situationen mit einer höchstmöglichen Übereinstimmung. Die beiden ausgewählten Datensätze liefern jeweils eine dieser Voraussetzungen: Auf der einen Seite sind dies die Daten der Grundschule Stichnetstraße mit acht Klassen und je einer Beobachtungswoche, auf der anderen Seite die Daten der Baumberge-Schule mit einer Klasse, die vor und nach der Interventionsmaßnahme je eine Woche beobachtet wurde.

In beiden Schulen stehen für die Auswertung die bereits mehrfach beschriebenen Daten:

- Schallpegel, 1-s-Takt
- Herzfrequenz, 15-s-Takt
- Unterrichtsbeobachtung (11 Parameter), 1-s-Takt

zur Verfügung. In der Summe bedeutet dies einen Datensatz je Unterrichtsstunde (45 min) von:

- 180 HF-Werten
- 2.700 Schallpegelwerten
- 8.100 Werten von Redeanteilen der Lehrkraft
- 5.400 Werten von Redeanteilen der Schüler
- 13.500 Werten über Arbeitsformen

Dies ermöglicht eine zeitliche Auflösung bei der Analyse bis zu 1 s genau, ausgenommen sind davon die Herzfrequenz-Daten mit einer Auflösung von 15 s. Eine höhere zeitliche Auflösung der Herzfrequenz zu Zwecken der Beanspruchungsanalyse ist in Felduntersuchungen bei arbeitswissenschaftlichen Fragestellungen wegen der geringen Kontrollierbarkeit der Situation nicht gebräuchlich (vgl. SCHÖNWÄLDER ET AL., 2001).

Für einen kontrollierbaren Umgang mit diesem sehr komplexen Datensatz einer Unterrichtsstunde bzw. eines Unterrichtstages erfolgt die Auseinandersetzung in der Regel in drei Schritten: Zu Beginn steht eine Filterung anhand der bislang definierten Parameter. In einem zweiten Schritt werden die Datensätze zu, aus der jeweiligen Leitfrage abgeleiteten, zeitlichen Einheiten zusammengefasst: Auf dieser Basis erfolgt schließlich die deskriptive Datenauswertung.

4.3.1 Filterung

Wie zuvor in Kapitel 4.2.1 dargestellt, werden die Datensätze sowohl nach raumakustischen als auch nach pädagogischen Merkmalen sortiert, um sie miteinander zu vergleichen. Ausgehend von dem Arbeitsplatzmodell, das in dieser Komplexität nur sehr selten angewandt wurde, und wenn, dann überwiegend auf Büro-Arbeitsplätze. Von einer Ergonomie der Schule ist normalerweise nicht die Rede. Die *Filterung* der Datensätze erfolgt, um die einzelnen Einflussgrößen in ihrer Einzelwirkung und später in der kombinierten Wirkung trennen zu können. Hierbei sind zwei Reaktionsgrößen zu berücksichtigen, Arbeitsgeräusch und Beanspruchung. Ein wesentlicher Filter besteht in der Auswahl der Datensätze, die im Folgenden analysiert werden, wobei wir hierbei nicht von Filterung sprechen, es ist mehr eine Vorselektion. Hierunter ist die Ausklammerung von Daten zu verstehen, die nicht zu einer Klärung der hier gestellten Fragen beitragen, z. B. Unterrichtsstunden unter besonderen Bedingungen, z. B. nicht in dem eigentlichen Klassenraum wie Sport oder Musik, oder aber auch Unterrichtsstunden mit unvollständigen Datensätzen, z. B. Schallpegeldata ohne Unterrichtsbeobachtung.

4.3.2 Gruppierung

Die Grundfrage bezüglich der Gruppierung der Daten ist die nach ihrer zeitlichen Auflösung. Es müssen im Kontext der jeweiligen Fragestellung Zeitabschnitte definiert werden, innerhalb derer die jeweiligen Datensätze aufeinander bezogen werden können. Die Bildung dieser Zeitabschnitte orientiert sich in erster Linie an der Zeitstruktur, die den Arbeitsrhythmus der Schule vorgibt. Erster wichtiger Zeitabschnitt ist unbestritten die Unterrichtsstunde selbst. Um den Prozess des Unterrichtes analysieren zu können, muss die einzelne Unterrichtsstunde aber in feinere Zeitabschnitte aufgelöst werden. Im Nachfolgenden wird hier ein Zeitabschnitt von 5 min verwendet,

der die Unterrichtsstunde in neun gleiche Abschnitte unterteilt. Eine Begründung für dieses Zeitfenster lässt sich nur von mehreren Seiten geben. In der Mathematik wird zur Beschreibung von solchen Prozessverläufen, wie wir sie in der Schule finden, eine Polynomapproximation dritter oder fünfter Ordnung verwendet, was mit neun Stützstellen noch gut möglich ist (vgl. ULLRICH, 1981). Der Verdacht liegt nahe, dass kürzere Zeitabschnitte keine neuen Erkenntnisse liefern (vgl. dazu auch die Ausführungen unter 4.2.2). Bei der Analyse des Schallpegels im Unterricht sind bei 5-min-Zeitabschnitten sowohl die Berechnung des Mittelwertes $L_{Aeq,5min}$ als auch des Grundgeräuschpegels L_{A95} möglich. Auf der Basis der 300 Einzelwerte $L_{Aeq,1s}$ ist ein zuverlässiger Wert für diesen 95%-Pegel möglich. Für die Ermittlung einer Basisaktivierung aus den Herzfrequenzdaten hat sich das 5min-Zeitfenster ebenfalls bewährt (vgl. SCHÖNWÄLDER ET AL., 2003, TIESLER ET AL., 2002).

Damit wird die Bedeutung der hohen zeitlichen Auflösung, mit der die Daten ursprünglich erhoben wurden, deutlich. Nach unserem Kenntnisstand findet mittels der hier eingeführten zeitlichen Gruppierung erstmals eine unterrichtsbezogene Datenauswertung nicht nur auf Stundenebene statt, sondern auch auf der Basis kürzerer Einheiten. Dieses Verfahren ermöglicht beispielsweise eine interne Analyse von Unterrichtsphasen, die von einer bestimmten Arbeitsform dominiert werden.

4.3.3 Analyse

Die Analyse der nach Filterung und Gruppierung ausgewählten Daten erfolgt in aller Regel deskriptiv, selbst für Stichprobenvergleiche sind die Daten nicht geeignet. Dies liegt oftmals an den sehr unterschiedlichen Datenmengen, die nach der Filterung und Gruppierung übrig bleiben, vielfach auch an den sehr unterschiedlichen Datenstrukturen, man denke hier an die Beobachtungsdaten. Für den Vergleich zweier Datengruppen kommen dabei neben reinen Mittelwert-Vergleichen vor allem Analysen der Häufigkeitsverteilung zur Anwendung. Diese sind im gegebenen Kontext nicht selten aussagekräftiger, vor allem wenn es sich, wie oftmals bei den Aufzeichnungen der Herzfrequenz oder des Schallpegels, nicht um normalverteilte Daten handelt. An einigen Stellen wird zudem versucht, mittels linearer Regression den Zusammenhang zwischen zwei Größen darzustellen, zumindest um Tendenzen zu zeigen. Die statistisch strengen Voraussetzungen hierfür (vgl. LIENERT) sind allerdings nicht gegeben. Im Kontext der Schallpegelanalyse ist zudem auf eine Problematik der Mittelwertbildung hinzuweisen. Wird beispielsweise der Beurteilungspegel des Lärms für eine Unterrichtsstunde oder einen beliebigen Zeitabschnitt berechnet, so handelt es sich dabei um eine energetische Mittelung, wie dies in der Lärmforschung üblich ist. Die Mittelung wird erst auf der Ebene des Schalldrucks durchgeführt, danach erfolgt eine Umwandlung in die logarithmische Pegeldarstellung. Werden jedoch verschiedene Zeitabschnitte bzw. Situationen miteinander verglichen, kommt eine arithmetische Mittelung zum Einsatz. In diesem Fall wird im Ergebnis also nicht ein „Gesamt-Beurteilungspegel“ aus allen 1-s-Werten dieser Zeitabschnitte dargestellt, sondern tatsächlich der arithmetische gemittelte Wert aus den ursprünglichen Beurteilungspegeln der einzelnen Zeiträume.

Im Zuge der Datenanalyse kommt dabei keine der gängigen statistischen Signifikanzprüfungen zur Anwendung. Die Besonderheit dieses Vorgehens besteht jedoch darin, dass mit sehr hoher zeitlicher Präzision direkt in den von äußeren Faktoren dominierten Arbeitsprozess hineingesehen werden kann.

5 Datenanalyse

5.1 Interne Analyse der Filterparameter

5.1.1 Filter Raumakustik – Interne Analyse der Filterparameter RT und STI

Die an der Untersuchung beteiligten Räume wiesen bezüglich ihrer raumakustischen Rahmendaten nur wenig Spektakuläres auf. Die Nachhallzeiten in den 8 vermessenen Räumen der Grundschule Stichnetstraße und im Klassenraum in der Baumberge-Schule bewegten sich – mit einer durchaus beachtenswerten Streuung von bis zu 0,4 s – in der Größenordnung, die auch frühere Untersuchungen (vgl. z. B. MOMMERTZ oder MASUHR) für Klassenräume mit üblicher Raumkubatur und Ausstattung angaben. Überdurchschnittlich lange Nachhallzeiten über 1 s (wie bei RUHE, 2003b, oder SCHÖNWÄLDER ET AL., 2004) wurden im vorliegenden Datensatz nicht gemessen. Die Abbildungen 5.1 und 5.2 geben einen Überblick über die mittleren Nachhallzeiten aller bewerteten Räume im jeweils leeren, halb und voll besetzten Zustand. Bei der Mittelung wurde mit den Oktavbändern 125 Hz bis 8 kHz der gesamte sprachrelevante Frequenzbereich berücksichtigt. Die frequenzabhängigen Einzelergebnisse und die Raumdaten können der Tabelle im Anhang A entnommen werden.

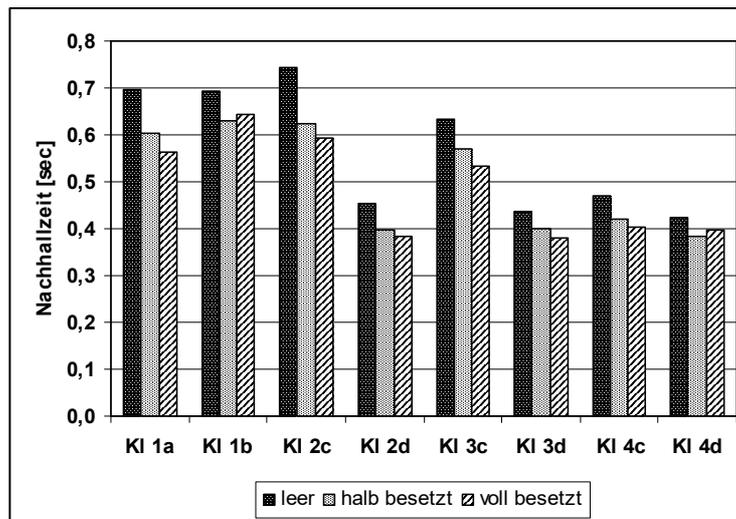


Abb. 5.1 Raumakustische Bilanz der Schule Stichnetstraße; mittlere Nachhallzeiten gemessen im leeren, halb und voll besetzten Raum

Bei einer raumakustischen Bewertung, etwa gemäß der Neufassung DIN 18041, tritt bei den Klassenräumen in der Stichnetstraße eine auffällige Zweiteilung zu Tage: Die Räume im Obergeschoss der Klassen 2d, 3d, 4c und 4d erfüllen mit Nachhallzeiten unter 0,5 s die aktuellen Vorgaben, während die Klassenräume im Erdgeschoss, 1a, 1b, 2c und 3c, diese überschreiten (vgl. Kap. 4.2.1.1). Bei großzügiger Auslegung der Norm (ohne Einzelfallbetrachtung, d. h. ohne Berücksichtigung leistungsschwacher Kinder, nicht muttersprachlicher Kinder oder Fremdsprachenunterrichts) lägen die mittleren Nachhallzeiten der Klassenräume 1a und 3c im voll besetzten Zustand aber noch im Toleranzbereich.

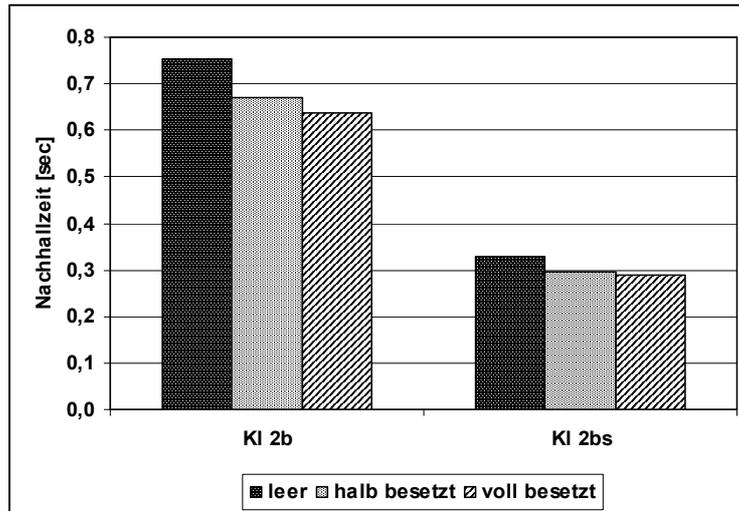


Abb. 5.2 Raumakustische Bilanz der Baumberge-Schule; mittlere Nachhallzeiten gemessen im leeren, halb und voll besetzten Raum

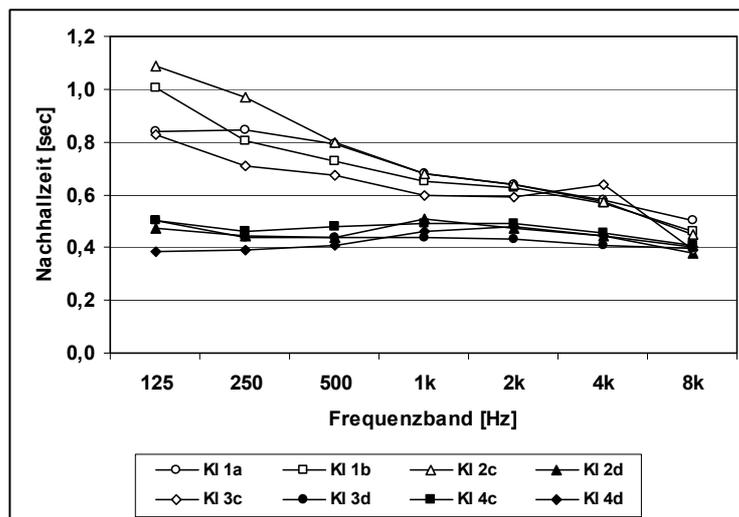


Abb. 5.3 Frequenzabhängige Nachhallzeit der Klassenräume in der Grundschule Stichnathstraße im leeren Zustand

Bei der frequenzabhängigen Analyse offenbart sich ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Raumgruppen. Die Räume im OG mit den kürzeren Nachhallzeiten weisen von 125 Hz bis 8 kHz einen sehr linearen, gleichmäßigen Frequenzverlauf auf, während die Klassenzimmer im EG allesamt einen deutlichen Anstieg der Nachhallzeit bei den tiefen Frequenzen zu verzeichnen haben (Abb. 5.3). Dabei zeigt sich innerhalb der – architektonisch ähnlichen – Räume erneut eine erstaunliche Variationsbreite zwischen 0,8 und 1,1 s im Oktavband 125 Hz. Eine Differenz, die sich auch aus dem unterschiedlichen Raumvolumen (zwischen 180 m³; Kl. 2c und 230 m³; Kl. 1b) nicht ohne weiteres erklären lässt. Eine gegenseitige Abhängigkeit besteht nicht. Selbst im voll besetzten Zustand liegen damit jedoch auch die Klassen 1a und 3c zumindest im Oktavband 125 Hz über den Vorgaben der DIN 18041 (Abb. 5.4).

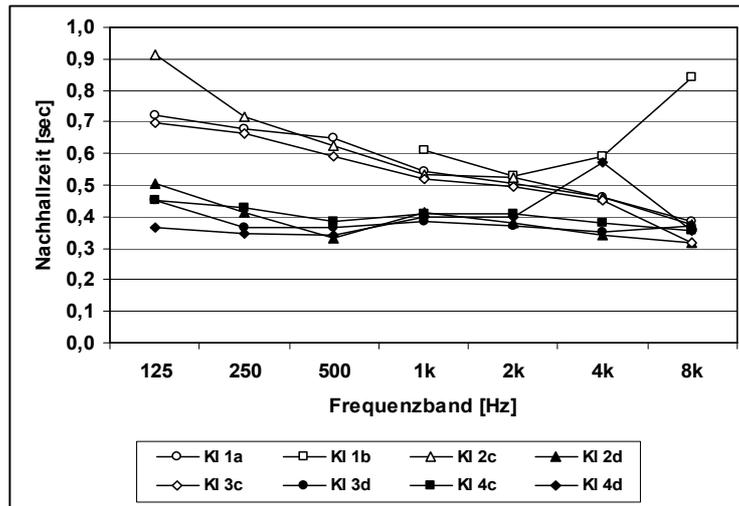


Abb. 5.4 Frequenzabhängige Nachhallzeit der Klassenräume in der Grundschule Stichnathstraße im voll besetzten Zustand

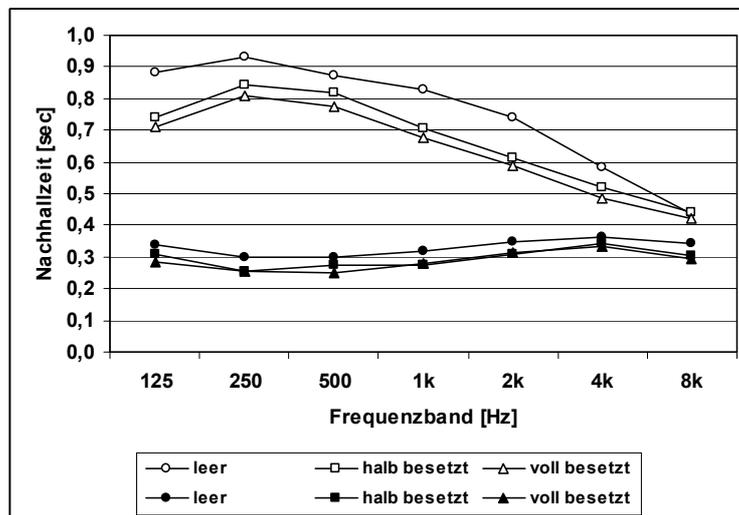


Abb. 5.5 Frequenzabhängige Nachhallzeit des Klassenraums in der Baumbergschule vor (□) und nach (■) der Sanierung im leeren, halb und voll besetzten Zustand

Die frequenzabhängige Betrachtung der Nachhallzeit im Klassenraum der Baumbergschule ergibt ein ähnliches Bild. Auch hier ergab die Messung im ursprünglichen Zustand mit einer mittleren Nachhallzeit von 0,75 s im leeren und 0,65 s im voll besetzten Raum kein katastrophales, aber eben auch kein sehr gutes Ergebnis mit einem deutlichen Anstieg der Nachhallzeit zu den mittleren und tiefen Frequenzen hin (Abb. 5.5). Bei der Sanierung wurde dann wieder großer Wert auf einen anschließend linearen Nachhallzeitverlauf gelegt. Da der Klassenraum in der Baumbergschule mit seiner sehr kurzen Nachhallzeit von 0,35 s durch die Sanierung sehr stark bedämpft wurde, reagiert er nach dem Umbau erwartungsgemäß kaum noch auf die Raumbesetzung. Die raumakustischen Messdaten bleiben weitgehend unabhängig von der Anzahl der im Raum befindlichen Personen. Generell wirkte sich die Raumbesetzung nicht so gravierend auf die raumakustischen Daten aus wie erwartbar. Tatsächlich lag der Rückgang der Nachhallzeit durch die zusätzliche Absorption der

Schülerinnen und Schülern – abhängig von der Ausgangslage – meist nur im Bereich der zweiten Nachkommastelle. Abbildung 5.6 zeigt, dass erst bei einer Nachhallzeit im leeren Klassenraum von etwa 0,7 s und mehr die Reduktion der Nachhallzeit eine nennenswerte Größenordnung von über 0,1 s erreichte.

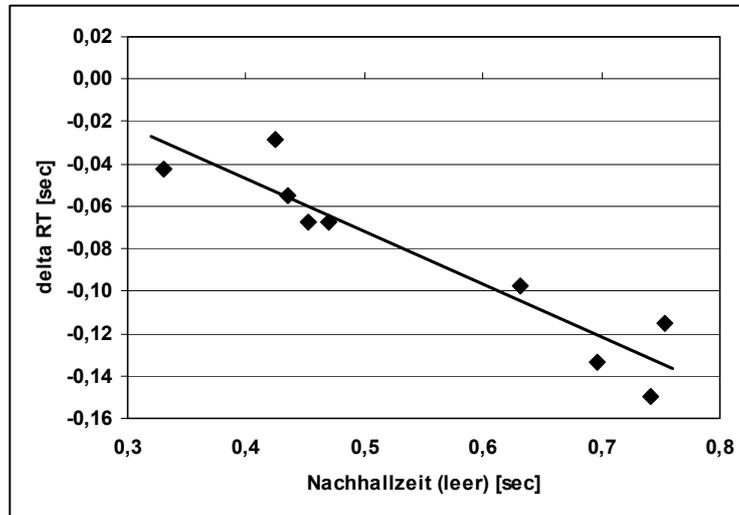


Abb. 5.6 Veränderung der Nachhallzeit durch volle Besetzung der Klassenräume mit Schülern im Vergleich zum leeren Zustand
 $\text{delta RT [s]} = 0,052 - 0,249 \cdot \text{RT [s]}$; $r = 0,94$

Allerdings war dieser Zusammenhang auf den zweiten Blick nicht so linear wie vermutet. Bei der Analyse der Auswirkung einer nur 50%igen Raumbesetzung fiel auf, dass bei geringerer Schülerdichte im Klassenzimmer die Abhängigkeit zwischen ursprünglicher Nachhallzeit und deren Reduktion mit steigendem Ausgangswert zunahm. Bei Räumen mit einem Ausgangswert unter 0,5 s lagen die Veränderungen hingegen nur noch in Bereichen von weniger als 0,05 s und damit bereits in der Größenordnung üblicher Messtoleranzen (Abb. 5.7)! Durch den unmittelbaren Vergleich der Zahlenwerte wurde jedoch auch deutlich, dass die in Abbildung 5.1 gezeigten Veränderungen der Nachhallzeit durch die Besetzung deutlich überproportional auf die erste Hälfte der Schüler zurückzuführen waren. Tatsächlich ergab sich bei einer genaueren Betrachtung, dass die Erhöhung der Besetzung von der halben auf die ganze Anzahl der Schüler zwar erwartungsgemäß eine weitere Reduktion der Nachhallzeit mit sich brachte, diese lag jedoch in einer vernachlässigbaren Größenordnung von etwa 0,01 bis 0,04 s. Ein Zusammenhang dieser geringen Veränderungen mit der ursprünglichen Situation ist aus diesen Daten nicht mehr sinnhaft konstruierbar (Abb. 5.8), eine weitere Analyse der Ergebnisse verbietet sich bereits aufgrund der Messungenauigkeiten, die mindestens in gleicher Höhe anzunehmen sind und den Daten einen eher zufälligen Charakter verleihen.

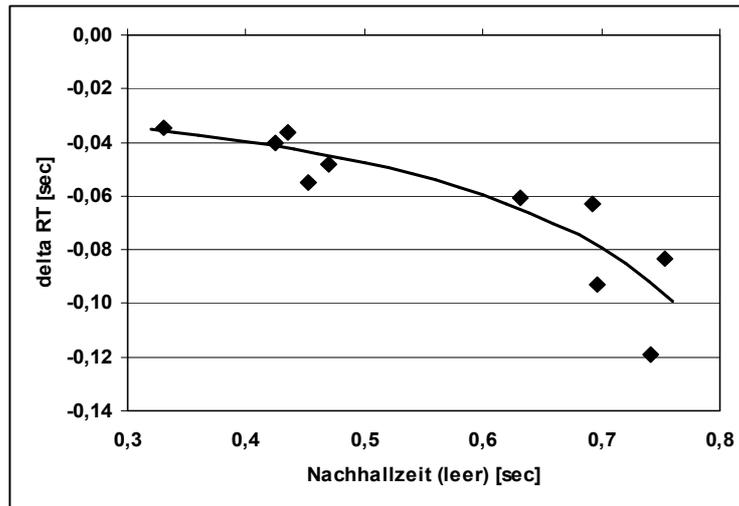


Abb. 5.7 Veränderung der Nachhallzeit durch halbe Besetzung der Klassenräume mit Schülern im Vergleich zum leeren Zustand
 $\text{delta RT [s]} = 1/(-42,042 + 42,059) * \text{RT [s]}$; $r = 0,93$

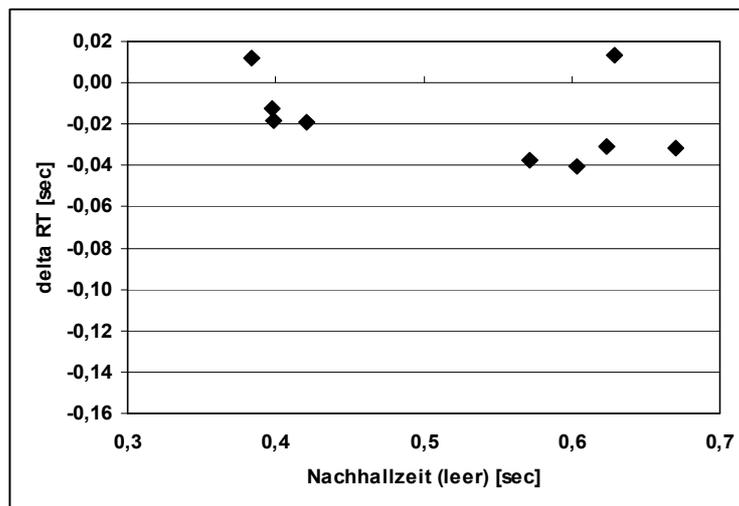


Abb. 5.8 Veränderung der Nachhallzeit durch volle Besetzung der Klassenräume mit Schülern im Vergleich zum halb besetzten Zustand
 Ein Zusammenhang ist nicht herstellbar.

Dennoch erweckt diese erste Analyse hinreichendes Interesse für eine genauere, vor allem frequenzabhängige Frage nach der äquivalenten Absorptionsfläche von Schülerinnen und Schülern im Grundschulalter im möblierten Klassenraum. Datenbasis sind nach wie vor alle an der Untersuchung beteiligten Klassenräume in der Grundschule Stichnetstraße und der Baumberge-Schule im leeren, halb besetzten und voll besetzten Zustand. Allerdings werden im Folgenden die Messwerte aus der Klasse 1b der Stichnetstraße und aus dem sanierten Klassenraum 2bs der Baumbergeschule zum Teil nicht berücksichtigt, da im einen Fall die Messung in einigen Oktavbändern fehlerhaft war, im anderen Fall aufgrund der stark gedämpften Raumakustik kleinste, im Bereich der Messunsicherheit liegende Abweichungen bei der gemessenen Nachhallzeit zu überproportional großen Veränderungen bei der zurückgerechneten Absorptionsfläche führen.

Kalkuliert man mittels der Sabine'schen Formel – im Bewusstsein aller damit verbundenen Unsicherheitsfaktoren (vgl. Kap. 2.1.1) – aus den Messergebnissen die zusätzliche, durch die Schülerinnen und Schüler eingebrachte Absorptionsfläche, wird die oben bereits geschilderte Abhängigkeit von der Besetzungsdichte noch einmal deutlich. Die Abbildungen 5.9 und 5.10 zeigen die Unterschiede sowohl bei der Gesamt-Absorptionsfläche, die durch die Schülerinnen und Schüler in den Klassenraum eingebracht wird, als auch bei der Absorptionsfläche pro individuellem Schüler. Während letztere bei voller Besetzung, also bei etwa 2,2-2,6 m² Raumgrundfläche pro Schüler, abhängig von der Frequenz im Mittel bei 0,41 m² liegt, ist sie bei einer nur halben Besetzung des Klassenraums, damit bei etwa 4,5-5,3 m² Raumgrundfläche pro Schüler, mit durchschnittlich 0,56 m² pro Schüler deutlich höher.

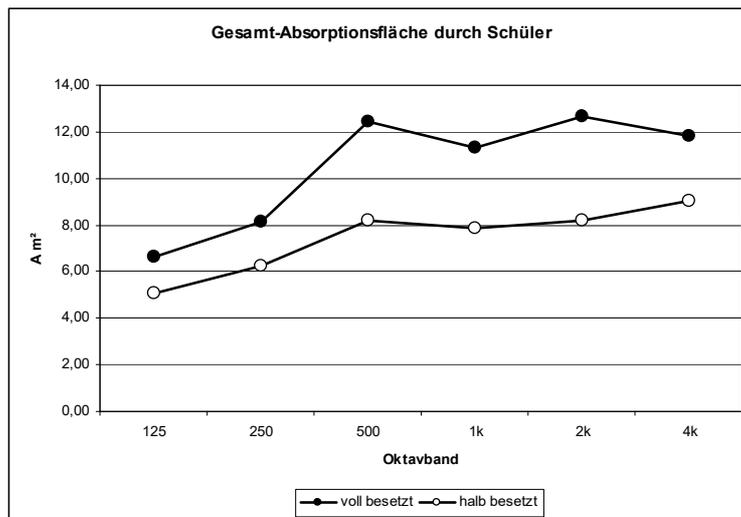


Abb. 5.9 Äquivalente Absorptionsfläche durch Schüler pro Klasse bei voller und halber Besetzung (Mittelwert aus Grundschule Stichnathstraße + Baumberge-Schule (ohne 2bs))

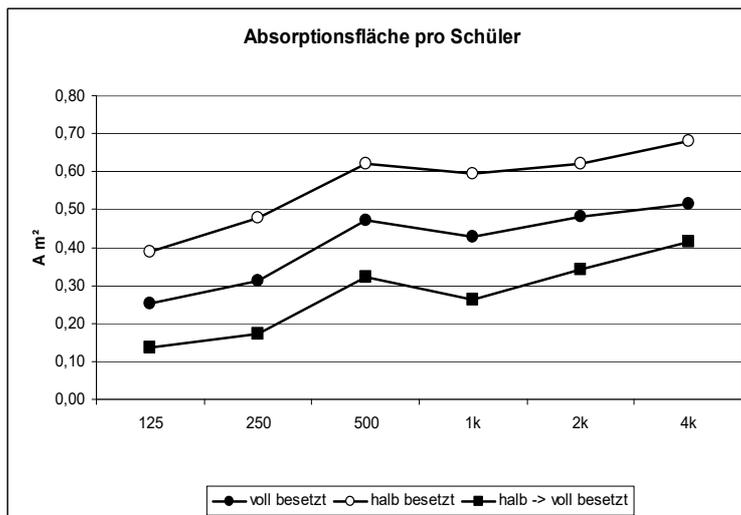


Abb. 5.10 Äquivalente Absorptionsfläche pro Schüler bei unterschiedlich dichter Besetzung (Mittelwert aus Grundschule Stichnathstraße + Baumberge-Schule (ohne 2bs))

Erneut wird sichtbar, wie wenig entscheidend die zweite Hälfte der Raumbesetzung ist. Mit einer aus dem Ergebnis abgeleiteten rechnerischen Absorptionsfläche von im Mittel nur $0,28 \text{ m}^2$ pro Schüler, tragen diese Schüler deutlich weniger zum Ergebnis bei. Da selbstredend alle Schüler ähnliche physikalische Absorptionseigenschaften mitbringen, wäre der Grund für diese Divergenz durch weitere Untersuchungen zu klären. Zu denken wäre beispielsweise an eine genauere Betrachtung der Schüler als Streukörper und der sich mit der Besetzung verändernden Streukörperdichte. Zu denken wäre möglicherweise auch an die Frage der Raumdiffrusität in Klassenzimmern. (Allerdings wurde bei den Messungen im halb besetzten Zustand auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Kinder Wert gelegt.)

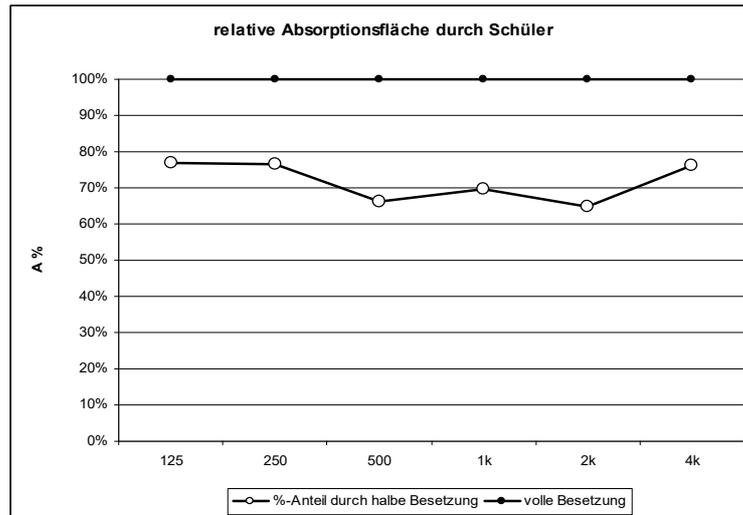


Abb. 5.11 Relative Absorptionsfläche durch Schüler pro Klasse – im Vergleich: volle und halbe Besetzung (Mittelwert aus Grundschule Stichnethstraße + Baumberge-Schule (ohne 2bs))

Fest steht jedenfalls: Mit der halben Besetzung der Klassenräume war in der vorliegenden Untersuchung die maximal erzielbare Absorptionswirkung durch Schüler nahezu ausgeschöpft. Die zweite Schülerhälfte beeinflusste die Räume kaum noch im messtechnisch sinnvoll unterscheidbaren Bereich.

Betrachtet man die Gesamt-Absorptionsfläche, die durch Schülerinnen und Schüler in den Raum eingebracht wird (100 %), wird deutlich, dass je nach Oktavband durchschnittlich ca. 70 % dieser Fläche bereits mit den ersten 12-15 Schülerinnen und Schülern im Raum vorhanden ist (Abb. 5.11).

Schließlich erstaunt noch der unerwartet hohe akustische „Wirkungsgrad“ der Grundschulkinder im Oktavband 125 Hz. Mit Absorptionswerten um die $0,3$ bis $0,4 \text{ m}^2$ pro Schüler (Abb. 5.10) liegt dieser deutlich über den klassischen Angaben der Fachliteratur bzw. der aktuellen DIN 18041. Dabei fanden alle Messungen im Lauf des Frühjahrs statt (März bis Mai), die Kinder waren dieser Jahreszeit angemessen „mittelwarm“ bekleidet.

In der statistischen Mittelung unterscheiden sich die Absorptionswerte der Erstklässer übrigens nicht von denen ihrer Mitschüler in der vierten Klasse. Die Werte passen dabei gut zu den unlängst von Mommertz vorgestellten Zahlen auf der breiteren Basis des Gesamtprojektes „Lärm in Bildungsstätten“ (Mommertz, 2005), welches auch SchülerInnen der Sekundarstufe I mit einbezog. Allerdings hat Mommertz keine jahrgangsabhängige Auswertung veröffentlicht. Wie weit sich die Zahlenwerte mit

dem Alter (und damit der Größe) oder auch der Bekleidung der Schülerinnen und Schüler verändern, müsste die Ingenieurwissenschaft bei Interesse etwa durch genauere Messungen im Hallraum klären. Zumindest bei älteren Jugendlichen bzw. jungen Erwachsenen (Sekundarstufe II) wären begründet deutliche andere Ergebnisse zu erwarten. Die hier ermittelten Absorptionswerte von Grundschulern liefern für diese Schülergruppe sicher keine hilfreiche Basis.

Bezüglich der Sprachverständlichkeitsindizes STI ergibt sich bereits auf den ersten Blick ein ähnliches Bild wie bei der Untersuchung der Nachhallzeit.

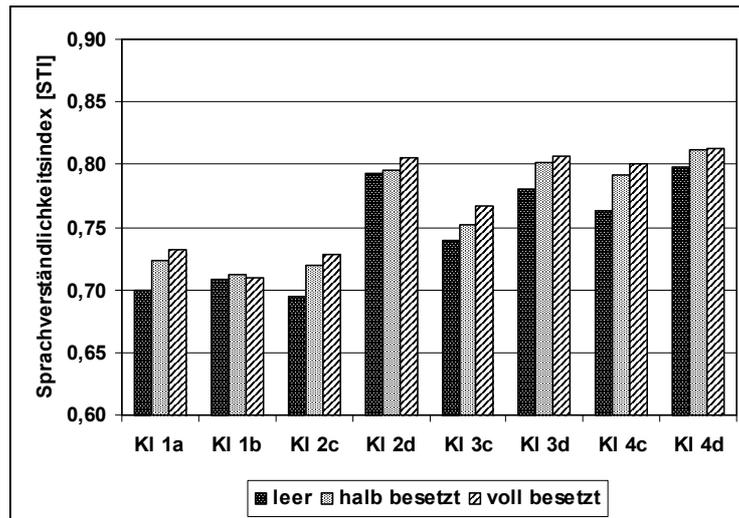


Abb. 5.12 Sprachverständlichkeitsindex STI in den Klassenräumen der Grundschule Stichnetstraße im leeren, halb und voll besetzten Raum

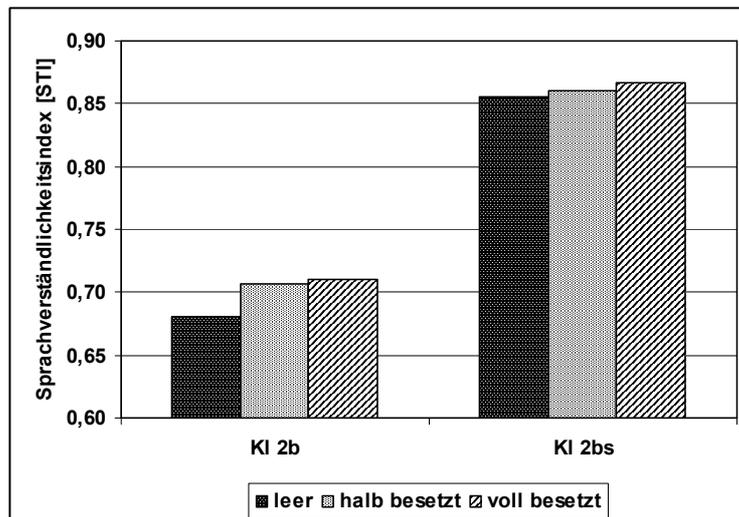


Abb. 5.13 Sprachverständlichkeitsindex STI im Klassenraum der Baumbergschule vor (2b) und nach (2bs) der Sanierung im leeren, halb und voll besetzten Raum

In der Grundschule Stichnetstraße weisen alle Klassenräume des Obergeschosses (2d, 3d, 4c und 4d) bereits im leeren Zustand mit STI-Werten von z. T. weit über 0,75

deutlich bessere Werte auf als ihre Pendants im Erdgeschoss (1a, 1b, 2c und 3c) (Abb. 5.12). Wie bei der Nachhallzeit schneidet bei den Räumen im EG der Klassenraum 3c auch bei der Bestimmung des STI am besten ab. Im besetzten Zustand kann er als einziger den Grenzwert $STI > 0,75$ („sehr gut“) erreichen.

Auch in der Baumberge-Schule verbesserte sich durch die Sanierung die Sprachverständlichkeit. Die starke Reduktion der Nachhallzeit ging zwar etwas zu Lasten des Raumklangs, bescherte gleichzeitig jedoch in jedem Besetzungszustand eine fast studioartige Sprachverständlichkeit mit einem STI von über 0,85! (Abb. 5.13)

Grundsätzliche Parallelen der RT- und STI-Messungen sind vor allem aufgrund des Messverfahrens, welches sich bei der Bestimmung des STI vor allem auf die Auswertung der Raumimpulsantwort stützt (vgl. Kap. 4.1.1), nicht überraschend. Da zudem im vorliegenden Fall die Datenbasis aus sehr vergleichbaren Räumen besteht, mit ähnlichem Volumen, ähnlicher Kubatur, Möblierung, Besetzung und Nutzung, erscheint es fachlich legitim, beide Größen in direkten Bezug zueinander zu setzen. Und tatsächlich zeigt sich bei einer Regressionsanalyse der Sprachverständlichkeit in direkter Abhängigkeit von der Nachhallzeit bei einer zugrunde gelegten Datenbasis aller Räume unter jeweils allen Besetzungszuständen (leer, halb und voll besetzt) mit einer Regressionsgeraden $STI = 0,949 - 0,361 \cdot RT$ und einem $r = 0,977$ die gegenseitige Abhängigkeit unerwartet deutlich (Abb. 5.14). Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang eine aktuelle Untersuchung von MOMMERTZ (2001), der bei akustischen Simulationen von Klassenräumen einen ebenso linearen Zusammenhang zwischen EDT und STI errechnete. Zumindest für die hier untersuchten Klassenräume üblicher Größe und Gestalt lässt sich damit festhalten: Die mittlere Nachhallzeit 0,5 s markiert auch die Grenze zwischen „sehr guter“ ($STI > 0,75$) und „guter“ ($STI < 0,75$) Sprachverständlichkeit.

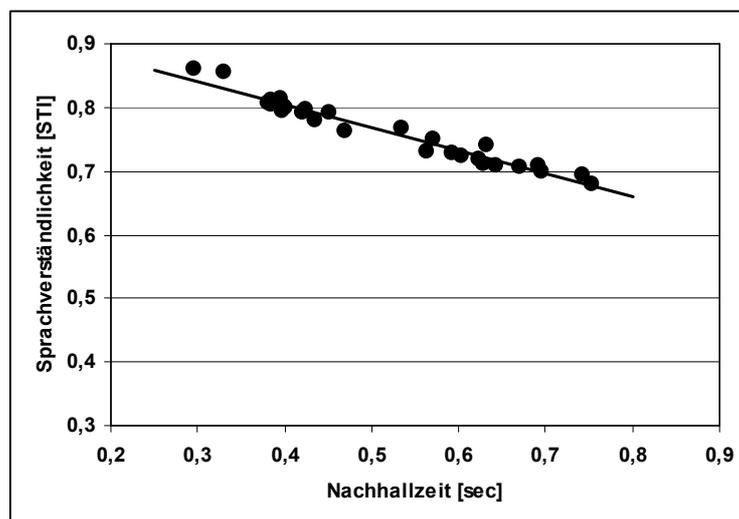


Abb. 5.14 Sprachverständlichkeit STI in Abhängigkeit von der Nachhallzeit RT für alle Besetzungszustände in allen Klassenräumen

Der klare Zusammenhang lässt es sinnvoll erscheinen, sich bei den weiteren Analysen – zumindest im vorliegenden Datensatz – auf nur einen raumakustischen Filterparameter zu beschränken, da sich die beiden Werte ohne weiteres aufeinander beziehen bzw. umrechnen lassen.

5.1.2 Filter Pädagogische Merkmale – Interne Analyse der Filterparameter AF und LR-SR

Ausgangspunkt dieses Kapitels ist die Frage nach der unterrichtlichen Realität in unseren Klassenzimmern. Wie wird unterrichtet? Wer spricht im Unterricht? Wie lange? Und mit wem? Durch die Auswertung der durch die Beobachterinnen erhobenen Daten lässt sich diese Frage zumindest für die an der Untersuchung beteiligten Schulen beantworten. Für diese beiden Beispiele lässt sich ein seltenes, objektiv quantifiziertes Bild über das pädagogische Geschehen im Klassenraum zeichnen. Ob dieses Bild in seiner Gesamtheit repräsentativ auch für andere Schulen ist, sei dahin gestellt. Immerhin: Bei der getrennten Betrachtung der zeitlichen Aufschlüsselung der Arbeitsformen und der Redeanteile während des Unterrichts in den beiden Schulen Baumberge-Schule, vertreten durch die Klasse 2b bzw. 2bs (■), und Grundschule Stichnetstraße (●), werden zum Teil deutliche Unterschiede in der Arbeitsweise sichtbar – vielleicht ein Hinweis, dass sich die nachfolgenden Ergebnisse begründet auf andere Schulen mit jeweils ähnlicher Arbeitskulturer übertragen lassen. Nach der schulabhängigen Datenauswertung erfolgt im weiteren Verlauf eine fokussierte Analyse einzelner Klassen oder Unterrichtsstunden.

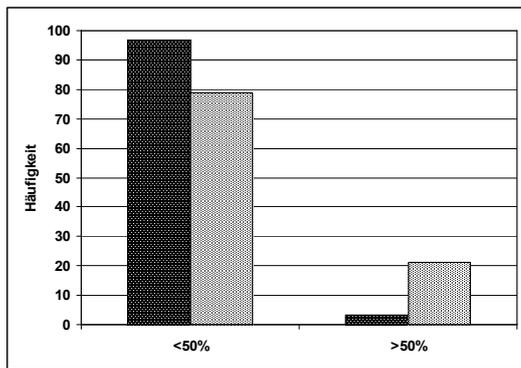


Abb. 5.15 Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF *Einzelarbeit*.

Im Vergleich: Gesamtergebnis Baumberge-Schule, Klasse 2b/2bs (■), und Grundschule Stichnetstraße (●)

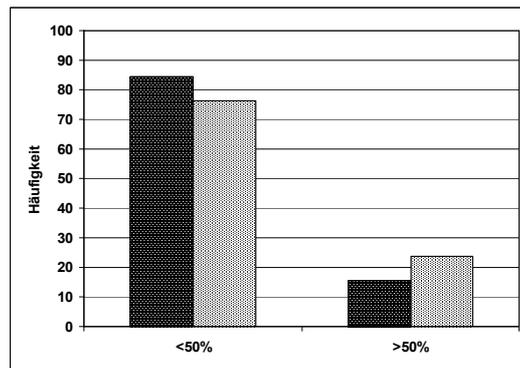


Abb. 5.16 Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF *Partnerarbeit*.

Im Vergleich: Gesamtergebnis Baumberge-Schule, Klasse 2b/2bs (■), und Grundschule Stichnetstraße (●)

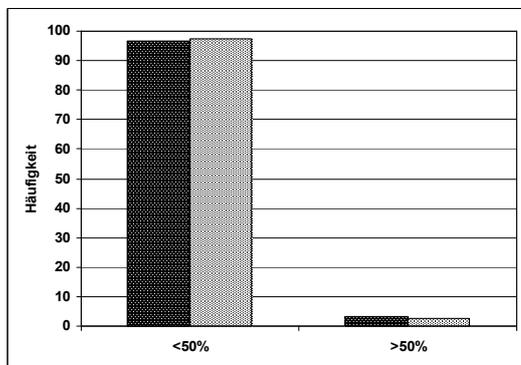


Abb. 5.17 Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF *Gruppenarbeit*.

Im Vergleich: Gesamtergebnis Baumberge-Schule, Klasse 2b/2bs (■), und Grundschule Stichnetstraße (●)

In einem ersten Schritt werden die einzelnen Beobachtungskategorien zu den Arbeitsformen auf die Häufigkeit ihres zeitlichen Vorkommens im Unterricht hin untersucht (Abb. 5.15-5.17). Dabei werden die Häufigkeiten der einzelnen Zeitabschnitte

ermittelt, in denen die untersuchte Arbeitsform (AF) überproportional vertreten war. Unterschieden wird dabei zwischen Phasen mit Anteilen $< 50\%$ bzw. $> 50\%$ der jeweiligen Kategorie (vgl. 4.2.1.2). Die linken Balken („ $< 50\%$ “) vertreten dabei alle Zeitabschnitte, in denen die Summe aller anderen AF größer war als die untersuchte. Sie sind somit naturgemäß relativ groß und bezüglich der Aufgabenstellung nicht aussagekräftig.

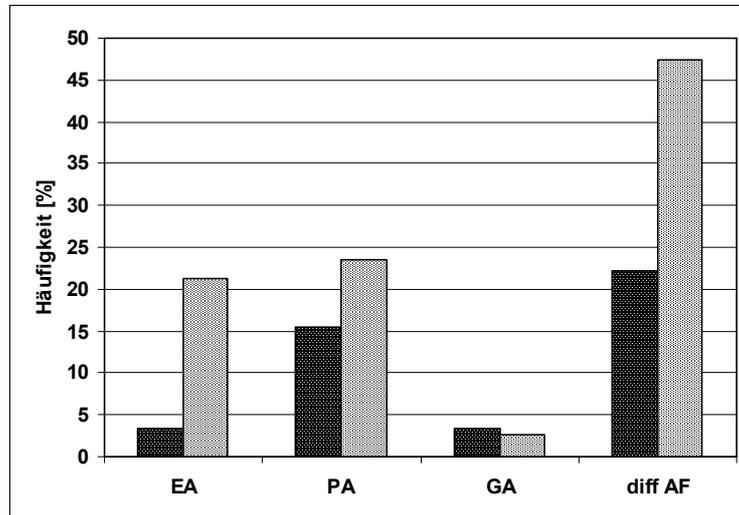


Abb. 5.18 Übersicht der Häufigkeit der Zeitabschnitte mit EA, PA, GA und diffAF. Im Vergleich: Gesamtergebnisse Baumberge-Schule, Klasse 2b/2bs (■), und Grundschule Stichnetstraße (●)

Die Zusammenfassung der drei Kategorien Einzel-, Partner- und Gruppenarbeit zur Gesamtkategorie „diffAF“ ergibt eine verlässliche Aussage über die tatsächliche zeitliche Größenordnung von differenzierten Unterrichtsphasen in den beiden Schulen (Abb. 5.18). Dabei entspricht der Wert zur Kategorie diffAF nicht unmittelbar der Summe der Einzelkategorien, sondern errechnet sich aus den zeitlich hoch aufgelösten Einzeldaten jedes Mal neu. Damit erzeugt die Kategorie diffAF einen realistischeren Gesamteindruck über das tatsächliche Verhältnis differenzierter und frontaler Arbeitsphasen. In Abschnitt 4.2.1.2 wurde auf dieses Phänomen bereits hingewiesen.

Jetzt treten die anfangs erwähnten Unterschiede zwischen beiden Schulen deutlich sichtbar zu Tage: In der Summe werden in der Grundschule Stichnetstraße etwa doppelt so viele Zeitabschnitte von differenzierten Arbeitsformen dominiert wie in der Baumberge-Schule.

Dies findet seine Entsprechung in der Kategorie „Frontalunterricht“ (FU) (Abb. 5.19). Der zeitliche Anteil organisatorischer bzw. sonstiger Unterrichtsphasen ist hingegen in beiden Schulen vergleichsweise ähnlich. (Abb. 5.20 und 5.21)

Durch den direkten Vergleich der beiden Hauptkategorien FU und diffAF wird deutlich: Der Unterricht in der untersuchten Klasse der Baumberge-Schule ist im Ansatz ein anderer als in der Grundschule Stichnetstraße; er ist stärker lehrerzentriert und weniger stark von differenzierten Unterrichtsphasen geprägt (Abb. 5.22).

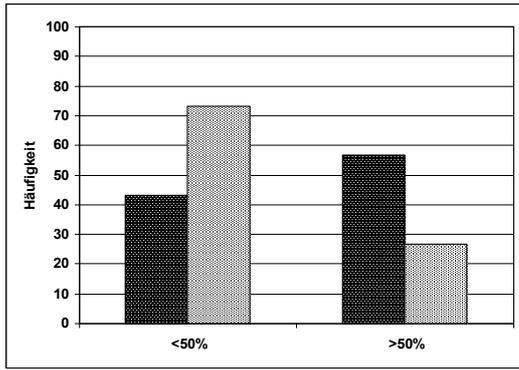


Abb. 5.19 Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF *Frontalunterricht*.
Im Vergleich: Gesamtergebnis Baumberge-Schule, Klasse 2b/2bs (■), und Grundschule Stichnathstraße (□)

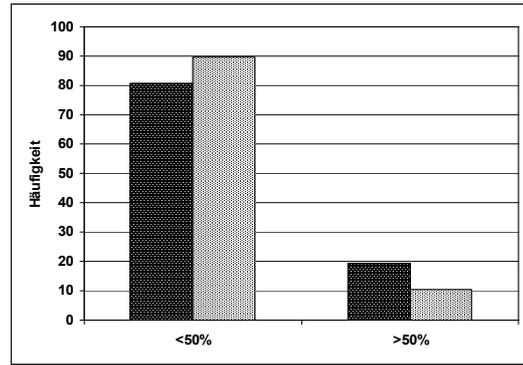


Abb. 5.20 Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF *Organisation*.
Im Vergleich: Gesamtergebnis Baumberge-Schule, Klasse 2b/2bs (■), und Grundschule Stichnathstraße (□)

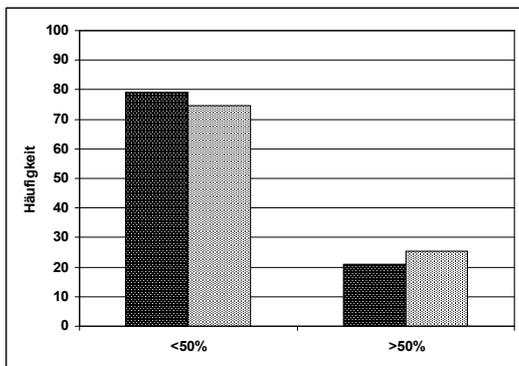


Abb. 5.21 Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF *Sonstige*.
Im Vergleich: Gesamtergebnis Baumberge-Schule, Klasse 2b/2bs (■), und Grundschule Stichnathstraße (□)

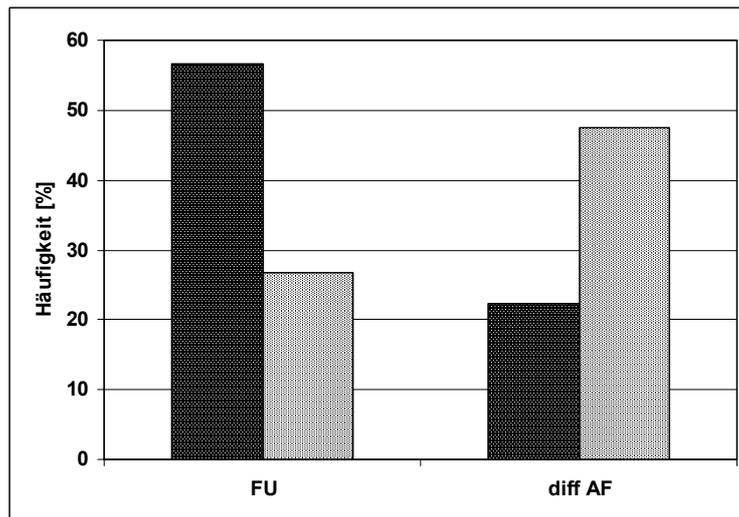


Abb. 5.22 Arbeitsformen im Schulvergleich.
Häufigkeit der Zeitabschnitte mit > 50 % FU bzw. diffAF in der Baumberge-Schule, Klasse 2b/2bs (■), und Grundschule Stichnathstraße (□)

Bei der Gesamtdarstellung mittels eines „Unterrichts-Grids“, welches die organisatorischen und sonstigen Arbeitsphasen mit einbezieht, wird der Unterschied ebenfalls deutlich. Während das Grid der Baumberge-Schule deutlich nach oben (FU) ausschlägt, zeigt das Diagramm für die Grundschule Stichnethstraße ebenso klar nach rechts (diffAF) (Abb. 5.23 und Tab. 5.1).

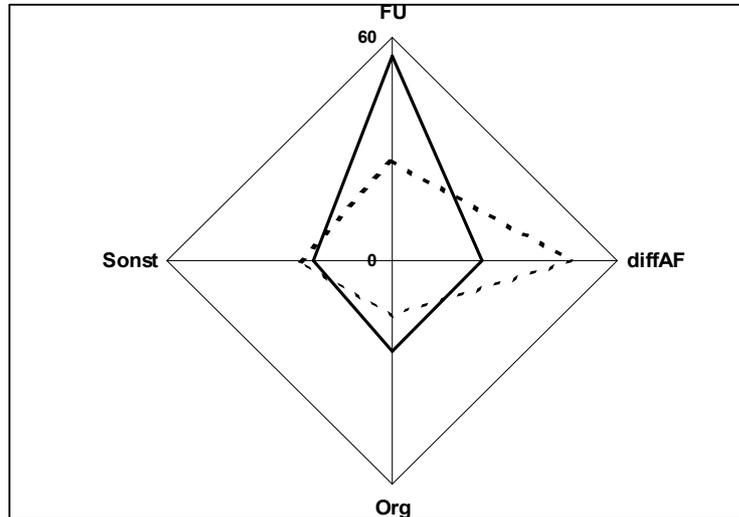


Abb. 5.23 Unterrichts-Grid für die Häufigkeit der Arbeitsformen FU, diffAF, Org und Sonst. Schulvergleich zwischen der Baumberge-Schule; Klasse 2b/2bs (—), und Grundschule Stichnethstraße (- - -). Angaben in %

Tab. 5.1 Einzeldaten zu Abb. 5.23
Anmerkung: Die Summe der Einzelkategorien überschreitet 100 %, da das Merkmal „Organisation“ zeitgleich mit den anderen Kategorien registriert werden konnte.

	Baumberge	Stichnethstraße
FU	54,79 %	27,04 %
diffAF	23,91 %	47,65 %
Org	24,53 %	14,49 %
Sonst	20,91 %	24,95 %

Das bedeutet jedoch keineswegs, dass die Schülerinnen und Schüler in der Baumberge-Schule weniger am Unterrichtsgeschehen beteiligt waren, als in der Grundschule Stichnethstraße! Denn erst die Zusammenschau der obigen Kategorisierung mit den tatsächlichen Redeanteilen im Unterricht erzeugt ein ganzheitliches Bild. Setzt man diese miteinander in Bezug (vgl. Unterrichts-Grid; Abb. 5.24) zeigt sich: Gerade in der untersuchten Klasse 2b/2bs der Baumberge-Schule kamen trotz hoher Anteile Frontalunterrichts durch Schülerrede (SR) dominierte Zeitabschnitte vergleichsweise häufig vor.

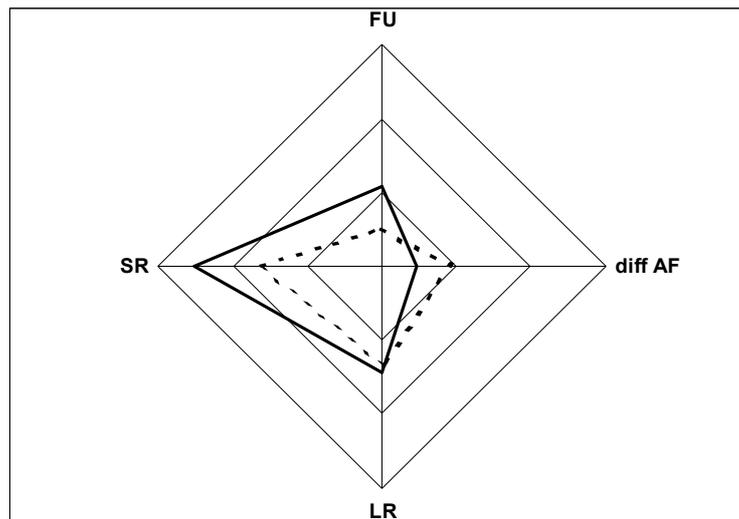


Abb. 5.24 Unterrichts-Grid für die Häufigkeit der Arbeitsformen FU und diffAF und Redeanteile SR und LR. Schulvergleich zwischen der Baumberge-Schule; Klasse 2b/2bs (—), und Grundschule Stichnetstraße; (- - -). Angaben in %; Skalierung 0 bis 150.

Dies zeigt sich auch in der direkten Gegenüberstellung mit einer vergleichbaren Einzelklasse aus der Grundschule Stichnetstraße (hier Klasse 3c). Die beiden Klassenräume unterscheiden sich bei ähnlicher Raumgröße und Schülerzahl auffällig durch ihre Sitzordnung. Während die Schülerinnen und Schüler in der Baumbergeschule hufeisenförmig auf den Tafelbereich ausgerichtet sind, sind die Arbeitsplätze in der Klasse 3c der Stichnetstraße aufeinander zu gruppiert. (Abb. 5.25 und 5.26)



Abb. 5.25 Klassenraum der Klasse 3c in der Grundschule Stichnetstraße



Abb. 5.26 Klassenraum der Klasse 2b in der Baumberge-Schule

Erwartungsgemäß findet diese Sitzordnung in der Arbeitsform ihren Niederschlag: Erneut tendiert die Lehrerin der Klasse 2b (Baumberge-Schule) deutlich stärker zu frontalen Arbeitsformen als ihre Kollegin in der Klasse 3c (Grundschule Stichnetstraße). Dennoch sind die Schülerinnen und Schüler in beiden Klassen intensiv am Unterrichtsgeschehen beteiligt. Das Verhältnis zwischen Schüler- und Lehrerrede wird in beiden Klassen durch die Arbeitsform scheinbar nicht wesentlich bestimmt (Abb. 5.27).

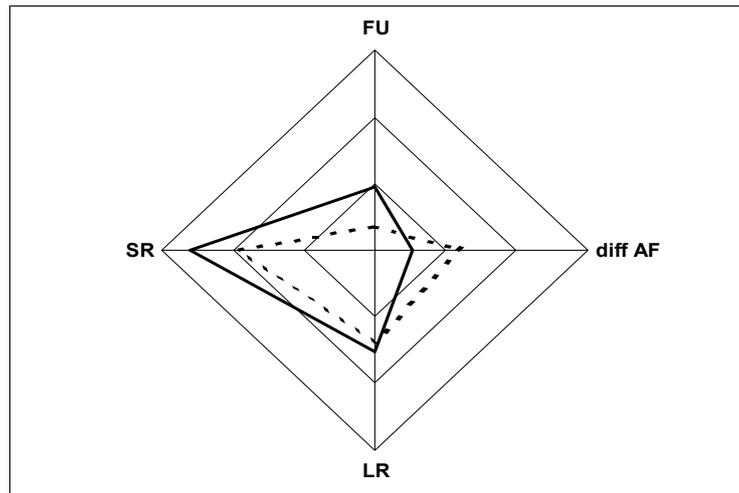


Abb. 5.27 Unterrichts-Grid für die Häufigkeit der Arbeitsformen FU und diffAF und Redeanteile SR und LR. Klassenvergleich zwischen der Kl. 2b; Baumberge-Schule (—), und der Kl. 3c; Grundschule Stichnethstraße (- - -). Angaben in %; Skalierung 0 bis 150.

Grund genug, das Zusammenspiel von Arbeitsform und Redeanteilen im Folgenden genauer unter die Lupe zu nehmen:

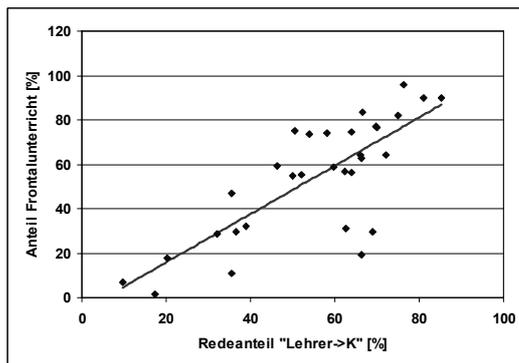


Abb. 5.28 zeitlicher Anteil der Lehrerrede an die ganze Klasse in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier FU. Datenbasis: Baumbergeschule gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
31	-5,93	1,09	0,78	0,61

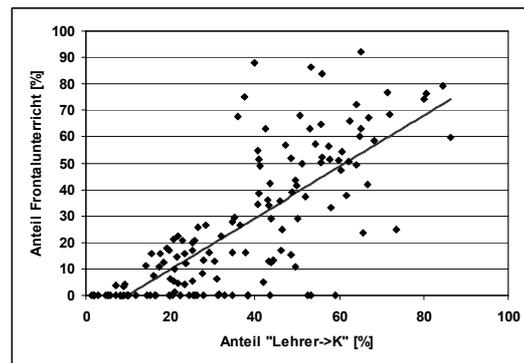


Abb. 5.29 zeitlicher Anteil der Lehrerrede an die ganze Klasse in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier FU. Datenbasis: Grundschule Stichnethstraße gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
144	-9,71	0,97	0,76	0,57

Tatsächlich ergibt eine zeitlich hoch aufgelöste Analyse auf Basis ganzer Unterrichtsstunden (Zeitabschnitt 45 min) zwar die erwartete Zunahme der Lehrerrede an die ganze Klasse mit Zunahme frontaler Arbeitsformen (Abb. 5.28 und 5.29) bzw. eine Abnahme der Lehrerrede an die ganze Klasse mit Zunahme differenzierter Arbeitsformen (Abb. 5.30 und 5.31), allerdings mit nur mäßigen Regressionsgraden. Insgesamt ist die Abhängigkeit des Lehrerredeanteils von den Arbeitsformen damit nicht so stark wie zunächst erwartet. Beispielsweise spricht der Lehrer auch während

differenzierter Unterrichtsphasen (Einzel-, Partner- und Gruppenarbeit) häufiger zur ganzen Klasse als zu einzelnen Schülern oder Arbeitsgruppen.

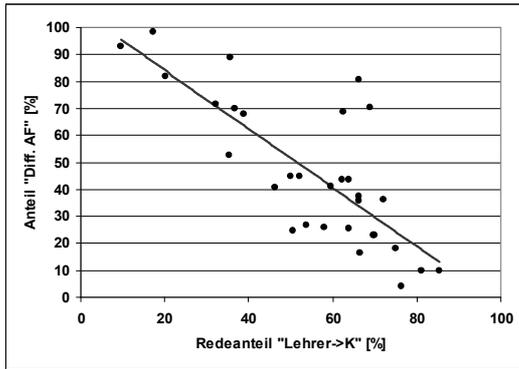


Abb. 5.30 zeitlicher Anteil der Lehrerrede an die ganze Klasse in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier diffAF. Datenbasis: Baumbergeschule gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
31	105,93	-1,09	0,78	0,61

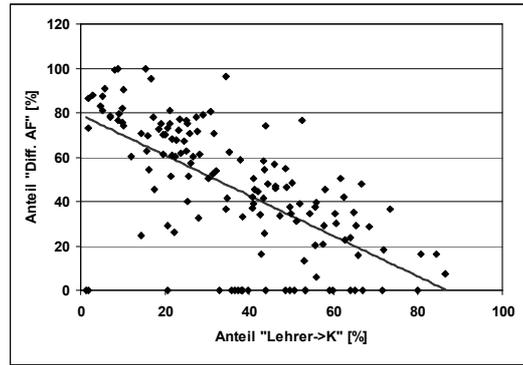


Abb. 5.31 zeitlicher Anteil der Lehrerrede an die ganze Klasse in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier diffAF. Datenbasis: Grundschule Stichnetstraße gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
144	79,03	-0,91	0,64	0,41

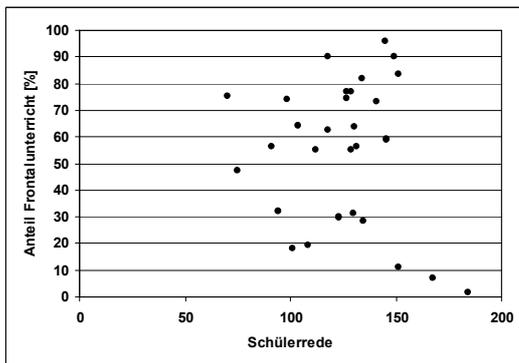


Abb. 5.32 zeitlicher Anteil der Schülerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier FU. Datenbasis: Baumbergeschule gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
31	73,26	-0,15	0,14	0,02

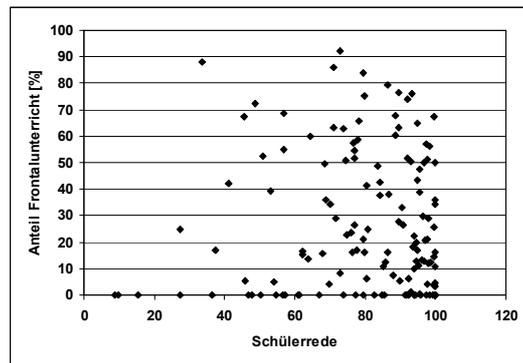


Abb. 5.33 zeitlicher Anteil der Schülerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier FU. Datenbasis: Grundschule Stichnetstraße gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
144	28,20	-0,03	0,03	0,00

Dazu passend ist zwischen den zeitlichen Anteilen der Schülerrede und der Arbeitsform gar keine sinnvolle Abhängigkeit erkennbar (Abb. 5.32 und 5.33). Schließlich steht auch der zeitliche Anteil der Gesamt-Lehrerrede in keinem Zusammenhang mit der Arbeitsform (Abb. 5.34 bis 5.37). Überspitzt ausgedrückt: Der Lehrer/die Lehrerin redet immer; ganz gleich ob frontaler oder differenzierter Unterricht – immer ist ein

nennenswerter zeitlicher Anteil des Unterrichts durch die Lehrerrede dominiert! (Die Schüler stehen diesem Phänomen allerdings in nichts nach.)

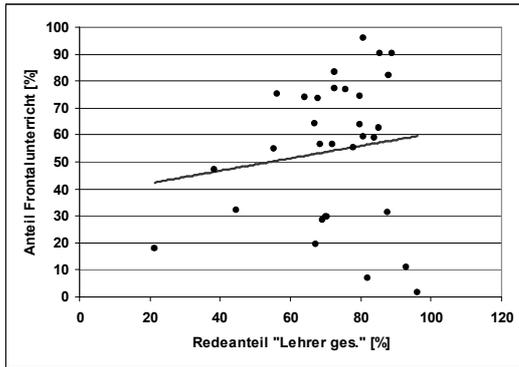


Abb. 5.34 zeitlicher Anteil der Gesamt-Lehrerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier FU. Datenbasis: Baumbergeschule gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
31	37,53	0,23	0,14	0,02

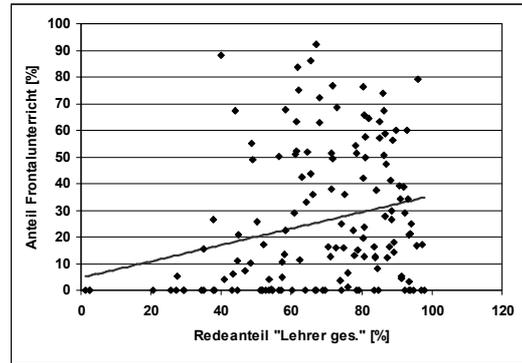


Abb. 5.35 zeitlicher Anteil der Gesamt-Lehrerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier FU. Datenbasis: Grundschule Stichnetstraße gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
144	4,75	0,31	0,25	0,06

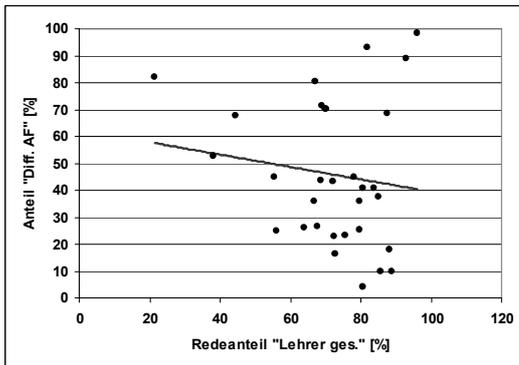


Abb. 5.36 zeitlicher Anteil der Gesamt-Lehrerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier diffAF. Datenbasis: Baumbergeschule gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
31	62,47	-0,23	0,14	0,02

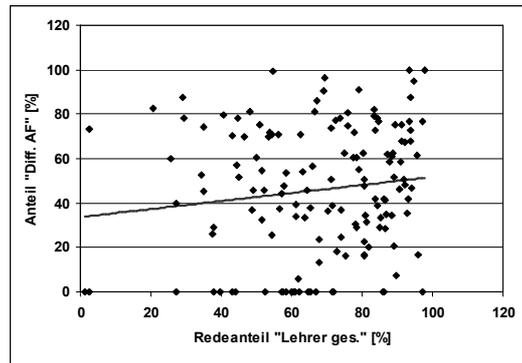


Abb. 5.37 zeitlicher Anteil der Gesamt-Lehrerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform; hier diffAF. Datenbasis: Grundschule Stichnetstraße gesamt

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
144	33,70	0,18	0,13	0,018

Das Geschehen im Klassenraum lässt sich folglich aus kommunikationstechnisch-akustischer Perspektive mit gängigen Stereotypen nicht hinreichend beschreiben. „Frontalunterricht“ heißt eben nicht, dass der Lehrer ohne Unterbrechung doziert (Stichwort „frontales Unterrichtsgespräch“). Ebenso wenig bedeuten offene, schülerzentrierte Arbeitsformen, dass der Lehrer aufhört, zur ganzen Klasse zu sprechen.

Die alters- und zeitabhängige Aufschlüsselung der Arbeitsform und Redeanteile liefert weitere Einblicke in die genannte „unterrichtliche Realität“. So weist die Analyse der Arbeitsform in Abhängigkeit von der Jahrgangsstufe erneut das unterschiedliche Grundkonzept zwischen Baumberge-Schule und Stichnethstraße aus. Abbildung 5.38 zeigt alle an der Untersuchungen beteiligten 2. Klassen im direkten Vergleich. Da der Unterricht der Klasse 2b in der Baumberge-Schule zweimal protokolliert wurde (vor und nach der Sanierung), also zwei Datensätze von je einer Woche zur Verfügung stehen, taucht sie im Folgenden mehrfach als Klasse 2b sowie als Klasse 2bs auf. Es handelt sich um die gleichen Schülerinnen und Schüler und die gleiche Lehrerin, allerdings fand der Unterricht unter verschiedenen Grundbedingungen statt.

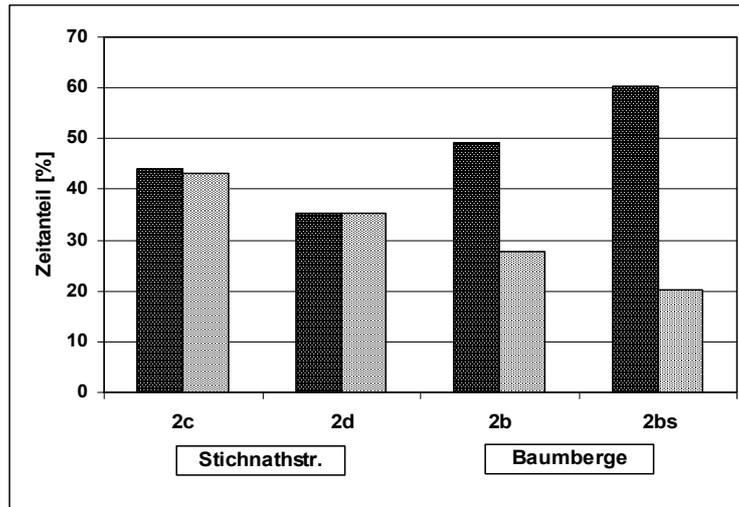


Abb. 5.38 Vergleich der Arbeitsformen im Unterricht FU (■) und diffAF (□) zwischen den Klassen der 2. Jahrgangsstufe

Die beiden zweiten Klassen 2c und 2d sind ihrerseits jedoch auch nicht repräsentativ für die ganze Grundschule Stichnethstraße. Die klassenweise Aufschlüsselung belegt hier deutliche Unterschiede im Arbeitsverhalten (Abb. 5.39).

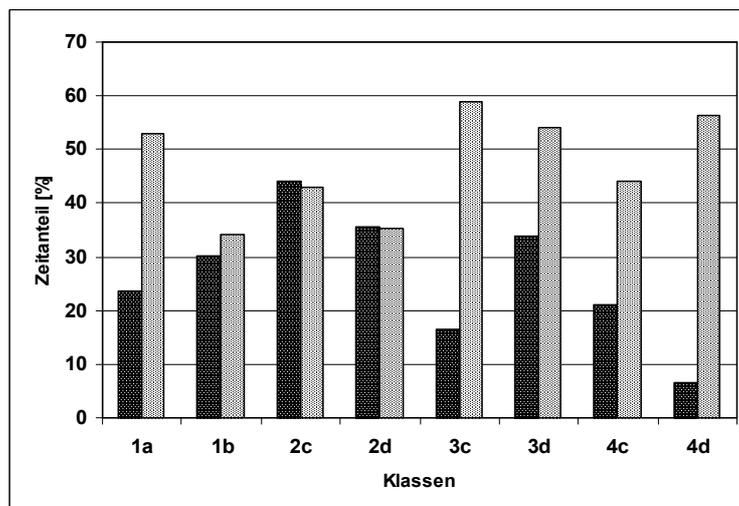


Abb. 5.39 Vergleich der Arbeitsformen im Unterricht FU (■) und diffAF (□) zwischen allen Klassen der Grundschule Stichnethstraße

Ob diese altersabhängig motiviert oder auf die pädagogischen Präferenzen des Lehrers zurückzuführen sind, lässt sich durch diese Daten nicht klären. Festzuhalten ist immerhin: In den älteren Klassen (dritte und vierte Jahrgangsstufe) ist die Tendenz zum überwiegend differenzierten Unterricht deutlich sichtbar, während die Arbeitsformen in den meisten der unteren Klassen (erste und zweite Jahrgangsstufe) etwa ausgeglichen verteilt sind.

Bei einer Betrachtung der Redeanteile zeigt sich jedoch erneut: Weder in der Baumberge-Schule noch in den unteren Klassen der Grundschule Stichnathstraße führt der dominante bzw. gleich hohe Anteil Frontalunterricht zur sprachlichen Inaktivität der Schülerinnen und Schüler. Die Abbildungen 5.40 und 5.41 zeigen in nahezu allen Jahrgangsstufen in beiden Schulen die meist schülerlastige, zumindest jedoch ausgeglichene Verteilung der Redeanteile.

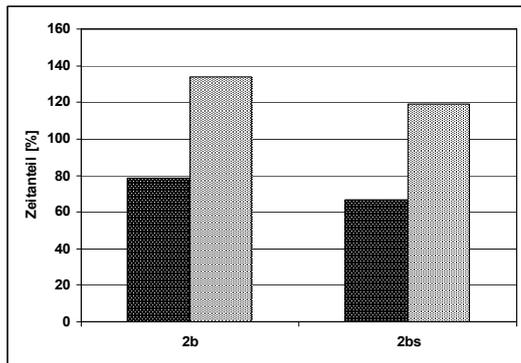


Abb. 5.40 Vergleich der Redeanteile im Unterricht sortiert nach LR (■) und SR (▨) in der Baumberge-Schule

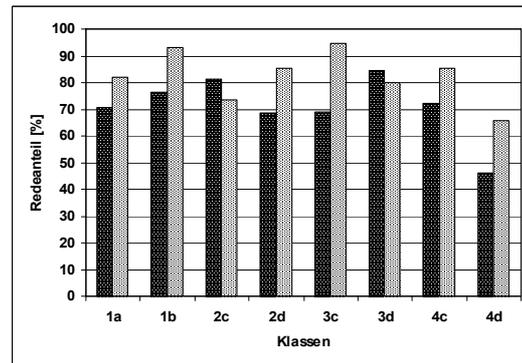


Abb. 5.41 Vergleich der Redeanteile im Unterricht sortiert nach LR (■) und SR (▨) in der Grundschule Stichnathstraße

Zumindest bemerkenswert ist ein leichter Trend, der bei einer jahrgangsbabhängigen Bündelung der Redeanteile sichtbar wird. In der Summe nämlich wurde in den vierten Klassen der Stichnathstraße weniger gesprochen, als in den jüngeren Jahrgangsstufen. Dieser Effekt wird überdurchschnittlich durch das Kommunikationsverhalten in der Klasse 4d verursacht und ist dennoch nicht zu übersehen (Abb. 5.41).

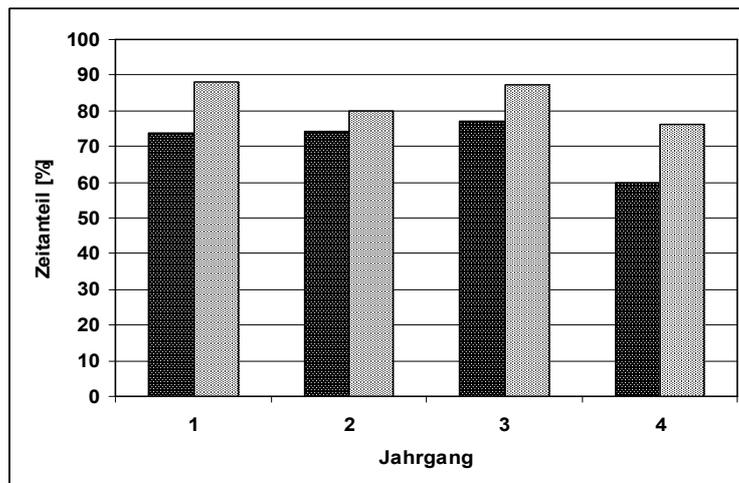


Abb. 5.42 Verteilung der Lehrerrede (■) und Schülerrede (▨) in der Grundschule Stichnathstraße; sortiert nach Jahrgangsstufen

Er wird noch deutlicher, wenn man von der hohen zeitlichen Auflösung zurück zur Analyse der Zeitabschnitte geht. Jetzt wird sichtbar, dass tatsächlich die Zeitabschnitte mit einem dominanten zeitlichen Anteil Lehrerrede in der vierten Jahrgangsstufe weniger stark vertreten sind als in den Klassen 1 bis 3 (Abb. 5.42). Diese Tendenz zur Verringerung der Redeanteile in der vierten Jahrgangsstufe wird bei genauem Hinsehen auch in der Schülerrede sichtbar (Abb. 5.42), aber nicht so ausgeprägt bei der Lehrerrede.

Dafür steigt jedoch die Häufigkeit der „stillen“ Zeitabschnitte, also jener Momente, in denen entweder Lehrer oder Schüler weniger als 50 % der Zeit sprechen, in den vierten Klassen sprunghaft an (Abb. 5.43 und 5.44). Diese Zunahme ist sowohl bezüglich der Lehrer- als auch der Schülerrede feststellbar. Ob dies durch die höhere Konzentrationsfähigkeit der 10-Jährigen, durch ein besseres Sozialverhalten oder ganz andere Einflussfaktoren (z. B. pädagogische Präferenz des Lehrers) begründet ist, darüber lässt sich an dieser Stelle nur spekulieren.

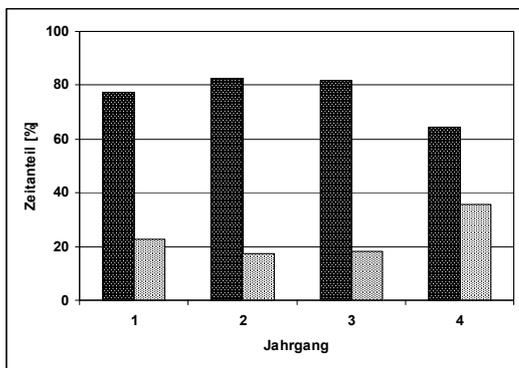


Abb. 5.43 Verteilung der Lehrerredeanteile im Unterricht, Zeitabschnitte mit SumLR > 50 % (■) und SumLR < 50 % (□) in der Grundschule Stichnathstraße; sortiert nach Jahrgangsstufen

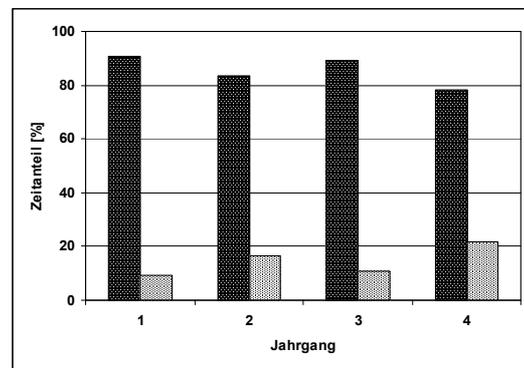


Abb. 5.44 Verteilung der Schülerredeanteile im Unterricht, Zeitabschnitte mit SumSR > 50 % (■) und SumSR < 50 % (□) in der Grundschule Stichnathstraße; sortiert nach Jahrgangsstufen

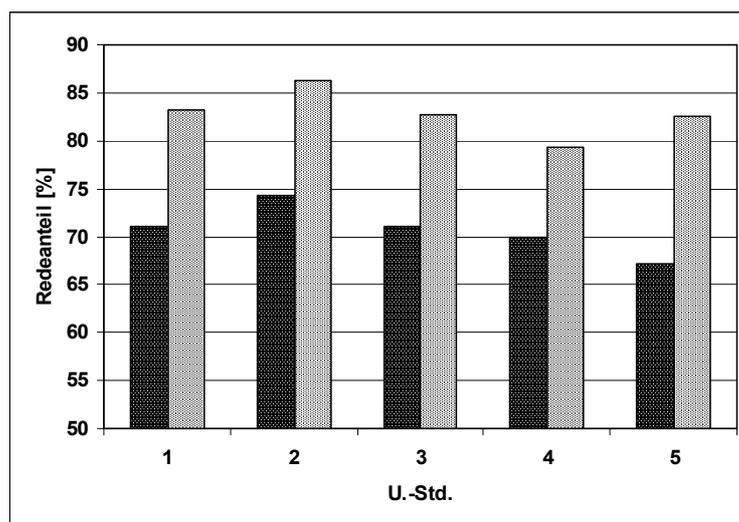


Abb. 5.45 Verteilung der Lehrerrede (■) und Schülerrede (□) in der Grundschule Stichnathstraße im Tagesverlauf; sortiert nach Unterrichtsstunden (alle Klassen)

Ein weites Feld für Spekulationen liefert auch der Befund, dass die Redeanteile – vor allem die Redeanteile der Lehrerinnen und Lehrer – in der Stichnetstraße über den Schulvormittag hinweg auffällig abnehmen. Abbildung 5.45 liefert die Durchschnittswerte aus den Lehrerredeanteilen aller in der Stichnetstraße an der Untersuchung beteiligten Pädagoginnen: Im Gegensatz zu ihren Schülerinnen und Schülern nehmen sie sich über den Vormittag hinweg immer weiter zurück. Ein Ermüdungsphänomen? Falls ja, bliebe die Frage, warum dieses Phänomen bei der Kollegin in der Baumberge-Schule nicht auftritt. Deren Redeanteile bleiben im Wochenmittel über den Vormittag hin weitgehend konstant, nehmen in den letzten beiden Stunden sogar leicht zu (Abb. 5.46).

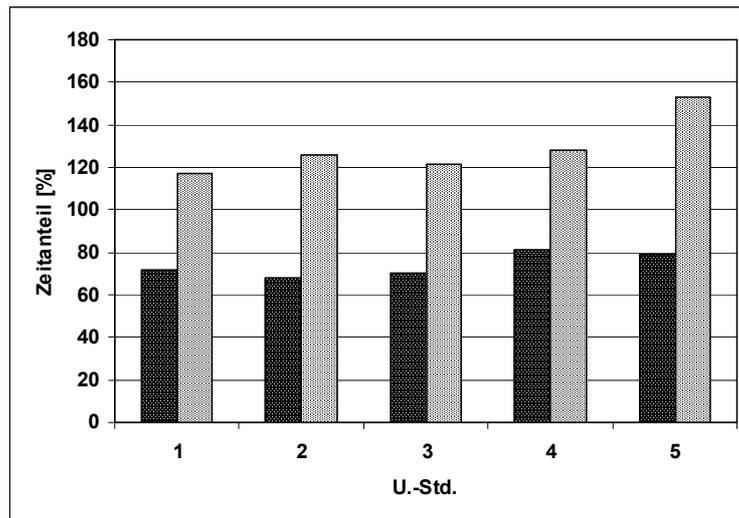


Abb. 5.46 Verteilung der Lehrerrede (■) und Schülerrede (□) in der Baumbergeschule im Tagesverlauf; sortiert nach Unterrichtsstunden

Die vorliegenden Daten liefern auf diese Beobachtung keine Antwort. Möglicherweise liegt ein Grund in der unterschiedlichen Ermüdung der Lehrkräfte (wenn es sich denn überhaupt um eine Ermüdungserscheinung handelt), in dem stark unterschiedlichen sozialen Milieu der Schülerschaft, vielleicht aber auch in der Präferenz der Arbeitsform. Tragen die offenen differenzierten Arbeitsformen in der Stichnetstraße zu dieser Ermüdung bei, während die besser kontrollierbaren frontalen Arbeitsformen der Kollegin in der Baumberge-Schule diese verhindert und damit Ressourcen zu einer späten Steigerung der Gesprächaktivität und einer Öffnung der Arbeitsformen freihält?

Tatsächlich ist bemerkenswert, dass die differenzierten Arbeitsformen, von denen der Unterricht in der Stichnetstraße so stark geprägt wird, dort in der letzten Unterrichtsstunde nicht mehr so stark zum Einsatz kommen (Abb. 5.47), während sich in der Baumberge-Schule eine völlig andere Situation ergibt: Hier verlässt die Lehrerin in den letzten beiden Stunden mehr und mehr die bis dahin dominanten frontalen Arbeitsformen und schwenkt überraschend konsequent auf eine differenzierte Arbeitsweise um (Abb. 5.48).

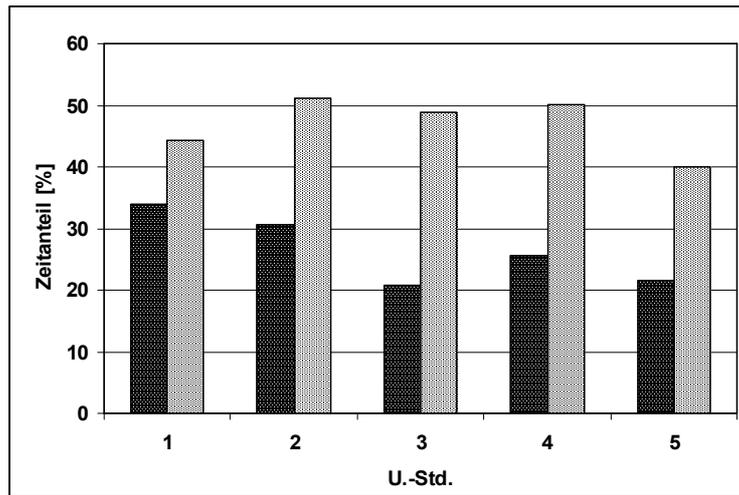


Abb. 5.47 Verteilung der Arbeitsformen FU (■) und diffAF (▨) in der Grundschule Stichnathstraße im Tagesverlauf; sortiert nach Unterrichtsstunden

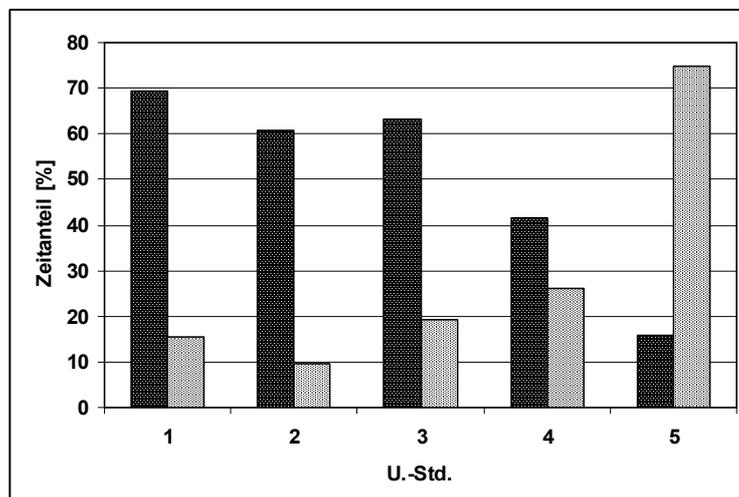


Abb. 5.48 Verteilung der Arbeitsformen FU (■) und diffAF (▨) in der Baumberge-Schule im Tagesverlauf; sortiert nach Unterrichtsstunden

Letztlich werden die meisten Zusammenhänge dieser Aspekte im Rahmen dieser Untersuchung nicht befriedigend zu klären sein. Eventuell liefert jedoch die folgende Analyse des Schallpegels und der Herzfrequenz für dieses Mosaik weitere Steinchen.

5.1.3 Abhängigkeit der Filter bzw. Filterparameter untereinander

Vor der eigentlichen Analyse der Reaktionsgrößen Schallpegel und Herzfrequenz ist abschließend zu klären, ob und wie weit die beiden Filtergrößen oder auch ihre jeweiligen Filterparameter voneinander selbst abhängig sind. Schließlich könnte man ja vermuten, dass beispielsweise die raumakustische Umgebung einen Einfluss auf die Entscheidung des Lehrers hat, diese oder jene Arbeitsform zu bevorzugen. Ließe sich ein solcher Zusammenhang feststellen, wäre das nicht ohne Folgen für das weitere Vorgehen, da die pädagogische Arbeitsform dann selbst eine Reaktionsgröße bezüglich der Raumakustik darstellen würde. Ähnliches gilt, wenn sich nachweisen

lässt, dass eine bestimmte raumakustische Umgebung, insbesondere eine gute bzw. schlechte Sprachverständlichkeit, ein bestimmtes Redeverhalten zur Folge hätte (was sich ebenso begründet vermuten ließe).

Etwaige Auswirkungen einer veränderten Nachhallzeit auf das Unterrichtsgeschehen lassen sich am sichersten in der Baumberge-Schule überprüfen, da hier gut kontrollierbare, gleiche Randbedingungen vorliegen: Die gleiche Lehrerin unterrichtet die gleiche Klasse mit dem gleichen Stundenplan im gleichen Klassenraum. Da der einzige Unterschied in der veränderten Nachhallzeit besteht, liegen folglich fast laborartige Vergleichsbedingungen vor. Bereits der erste Blick auf das Unterrichts-Grid der beiden beobachteten Wochen gibt Entwarnung: Die Lehrerin hat sich in beiden Wochen der gleichen Arbeitsformen bedient. Und diese wiederum waren durch einen ähnlichen Mix an zeitlichen Redeanteilen geprägt (Abb. 5.49).

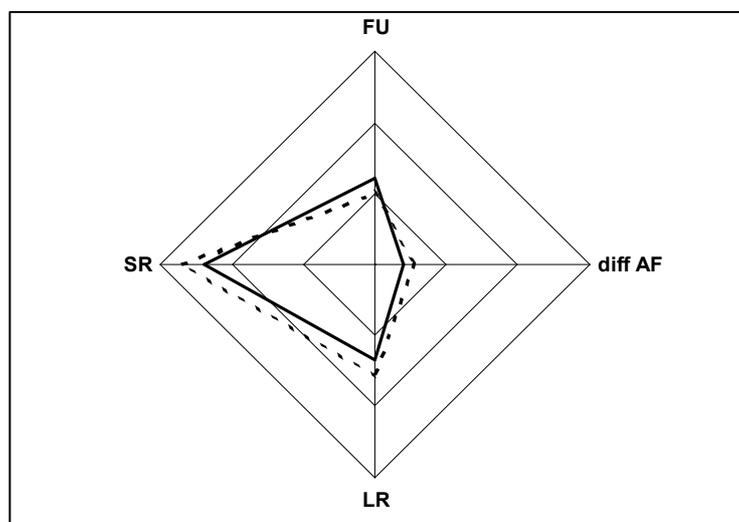


Abb. 5.49 Arbeitsformen und Redeanteile in der Baumberge-Schule vor (- -) und nach (—) der Sanierung. Datenbasis: alle Unterrichtsstunden

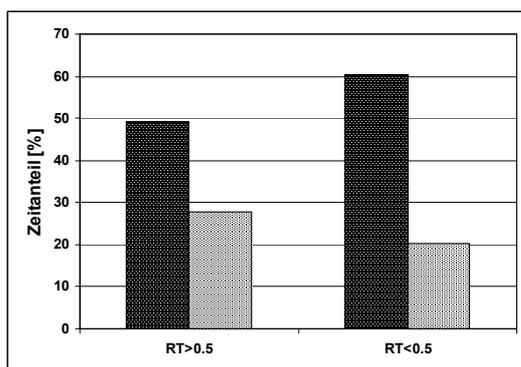


Abb. 5.50 Arbeitsformen Frontalunterricht (■) und diffAF (▨) in der Baumberge-Schule vor und nach der Sanierung; Datenbasis: alle Unterrichtsstunden

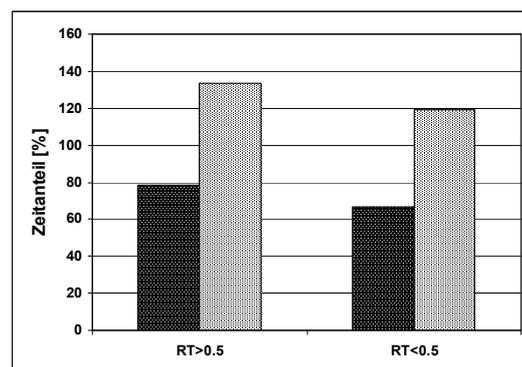


Abb. 5.51 Redeanteile Lehrerrede (■) und Schülerrede (▨) in der Baumberge-Schule vor und nach der Sanierung; Datenbasis: alle Unterrichtsstunden

Ein Blick auf die Häufigkeitsverteilung bestätigt dieses Bild: Zwar hat sich das Verhältnis zwischen den Zeiteinheiten mit vorwiegend Frontalunterricht und denen mit vorwiegend differenzierten Arbeitsformen leicht verschoben (Abb. 5.50), doch liegen diese Veränderungen sicher nicht im grundsätzlichen Bereich. Die Häufigkeitsverteilung der Redeanteile hingegen belegt die direkte Vergleichbarkeit der beiden Unterrichtswochen (Abb. 5.51).

Vergleicht man in der Grundschule Stichnetstraße die Räume mit Nachhallzeiten $RT > 0,5$ s mit denen $RT < 0,5$ s, ergibt sich ein ähnliches Bild. Dabei ist nicht zu vergessen, dass die Unsicherheitsfaktoren in dieser Schule ohnehin ungleich höher sind als in der Baumberge-Schule (verschiedene Lehrer, verschiedene Klassen, verschiedene Jahrgangsstufen, verschiedene Klassenräume). Wagt man in diesem Bewusstsein die direkte Gegenüberstellung, zeigt sich, dass die pädagogische Schulkultur sich auch hier unabhängig von der akustischen Qualität der Klassenzimmer manifestiert (Unterrichts-Grid; Abb. 5.52). Dies ist in zweierlei Hinsicht bedeutsam: Zum einen bestätigt es die Unabhängigkeit der beiden Filtergrößen voneinander, zum anderen schafft es eine zentrale Voraussetzung für die spätere Analyse der Reaktionsgrößen, die auf verlässliche, also möglichst konstante Filtereigenschaften angewiesen ist.

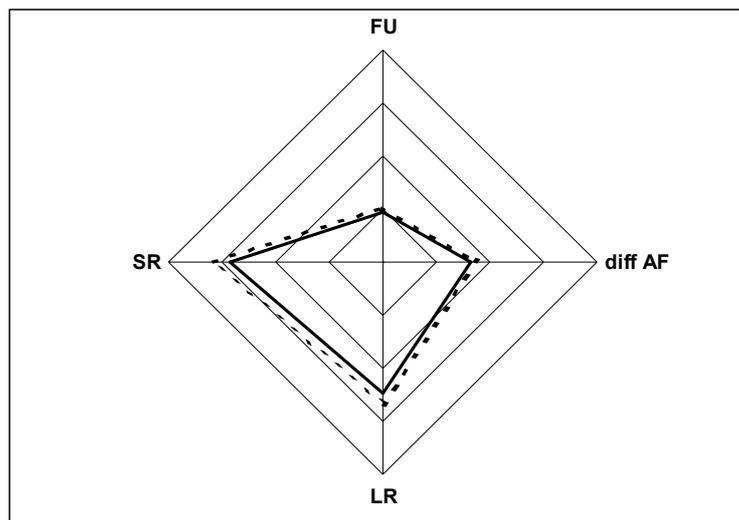


Abb. 5.52 Arbeitsformen und Redeanteile in der Grundschule Stichnetstraße mit $RT > 0,5$ s (- -) und $RT < 0,5$ s (—). Datenbasis: alle U.-Std.

Auch ein Vergleich innerhalb der Jahrgangsstufen macht deutlich, dass die Wahl der Arbeitsform eher von den pädagogischen Präferenzen des Lehrers abhängt als von der Raumakustik. Exemplarisch lässt sich dieses in den zweiten und dritten Klassen beobachten. Von beiden Jahrgangsstufen wird jeweils eine Klasse in einem Klassenraum mit $RT < 0,5$ s, die andere in einem Klassenraum mit $RT > 0,5$ s unterrichtet. Die Unterrichts-Grids belegen, dass auch hier kein Zusammenhang der Arbeitsform mit der Raumakustik konstruierbar ist (Abb. 5.53 und 5.54).

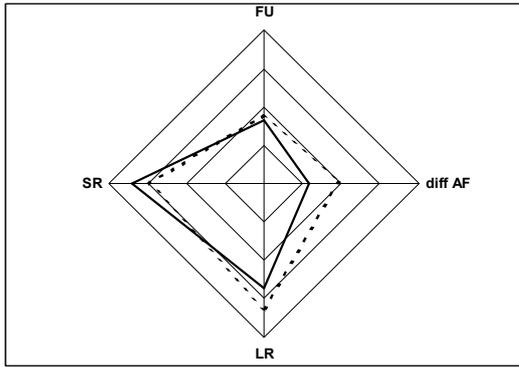


Abb. 5.53 Arbeitsformen und Redeanteile RT > 0,5 s (- -) und RT < 0,5 s (—); Stichnathstraße; Vergleich der Klassen 2c und 2d

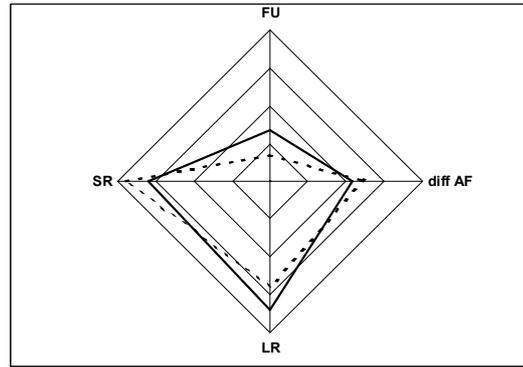


Abb. 5.54 Arbeitsformen und Redeanteile RT > 0,5 s (- -) und RT < 0,5 s (—); Stichnathstraße; Vergleich der Klassen 3c und 3d

Auch in der Grundschule Stichnathstraße kann ein Blick auf die Häufigkeitsverteilung der Arbeitsformen und Redeanteile diesen Eindruck bestätigen. In den Klassenräumen mit Nachhallzeiten $RT > 0,5$ s wird auch nach diesem Verfahren mit den gleichen Arbeitsformen unterrichtet wie in ihren Pendanten mit Nachhallzeiten $RT < 0,5$ s. Trotz unterschiedlich guter Sprachverständlichkeit wird in beiden Raumgruppen dementsprechend zumindest quantitativ gleich viel gesprochen (Abb. 5.55 und 5.56).

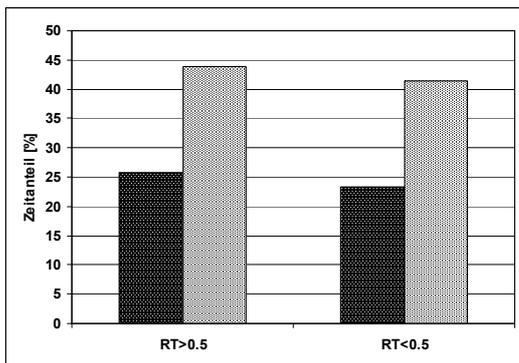


Abb. 5.55 Arbeitsformen Frontalunterricht (■) und diffAF (▨) in der Grundschule Stichnathstraße mit RT > 0,5 s und RT < 0,5 s; Datenbasis: alle Unterrichtsstunden, alle Jahrgänge

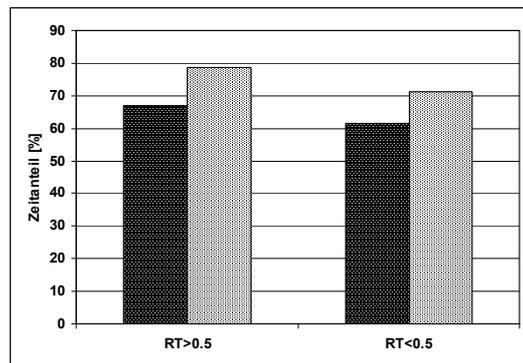


Abb. 5.56 Redeanteile Lehrerrede (■) und Schülerrede (▨) in der Grundschule Stichnathstraße mit RT > 0,5 s und RT < 0,5 s; Datenbasis: alle Unterrichtsstunden, alle Jahrgänge

Die Unabhängigkeit der beiden Filtergrößen Raumakustik und Pädagogische Merkmale kann damit als gesichert angenommen werden. Die methodische Einordnung der Pädagogischen Merkmale mit den Parametern Arbeitsform und Redeanteile als Filtergröße hat sich als richtiges Setting erwiesen.

5.2 Analyse der Reaktionsgrößen

5.2.1 Analyse des Schallpegels

5.2.1.1 Analyse des Schallpegels in Abhängigkeit von der Raumakustik

Die wichtigste Informationsquelle zur Frage der Auswirkungen der raumakustischen Bedingungen auf die Schallpegel im Unterricht ist erneut die Baumberge-Schule, da sich die beobachteten Unterrichtswochen ausschließlich in diesem Merkmal unterscheiden, darüber hinaus jedoch geradezu laborähnlich kontrollierbare Bedingungen aufweisen: Die protokollierten Unterrichtseinheiten fanden mit derselben Lehrerin, derselben Klasse und demselben Stundenplan im selben Klassenraum statt. Lediglich die neue Akustikdecke veränderte die Arbeitsbedingungen (vgl. 5.1.1). Diese Veränderung hatte jedoch unerwartet deutliche Auswirkungen auf das Unterrichtsgeschehen. Sowohl der Arbeitsgeräuschpegel, ausgedrückt im $L_{Aeq,5min}$, als auch der Grundgeräuschpegel, ausgedrückt im $L_{A95,5min}$, wurden durch die Raumakustik deutlich beeinflusst. Die Abbildung 5.57 zeigt die Verschiebung in der durchschnittlichen Häufigkeit der im Unterricht gemessenen Arbeitsgeräuschpegel bzw. Grundgeräuschpegel in Abbildung 5.58.

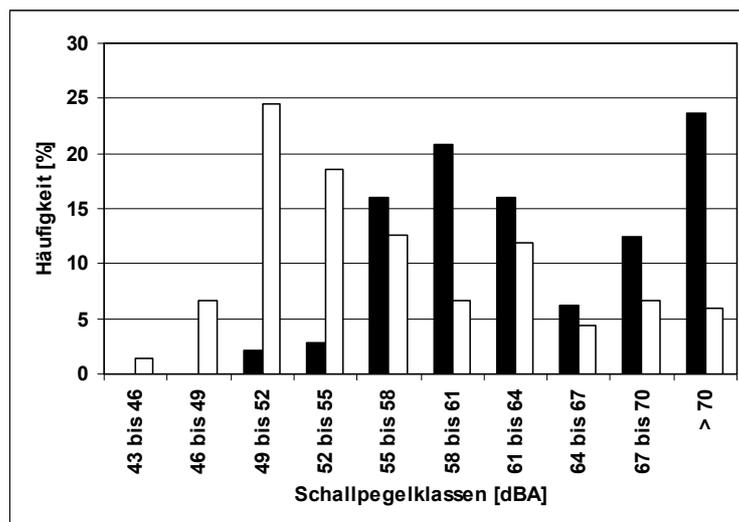


Abb. 5.57 Häufigkeitsverteilung des Arbeitsgeräuschpegels $L_{Aeq,5min}$ vor (■) und nach (□) der Sanierung (Baumberge-Schule; alle U.-Std.)

Dabei wird der Unterschied im Grundgeräuschpegel der Klasse noch deutlicher als im Arbeitsgeräuschpegel. Da letzterer auch von der Arbeitsform nicht unerheblich beeinflusst wird (vgl. 5.2.1.2), ist der Grundgeräuschpegel ein nicht zu unterschätzender Indikator für die tatsächliche Lernumgebung, also die grundsätzliche Voraussetzung für das Geschehen im Klassenraum.

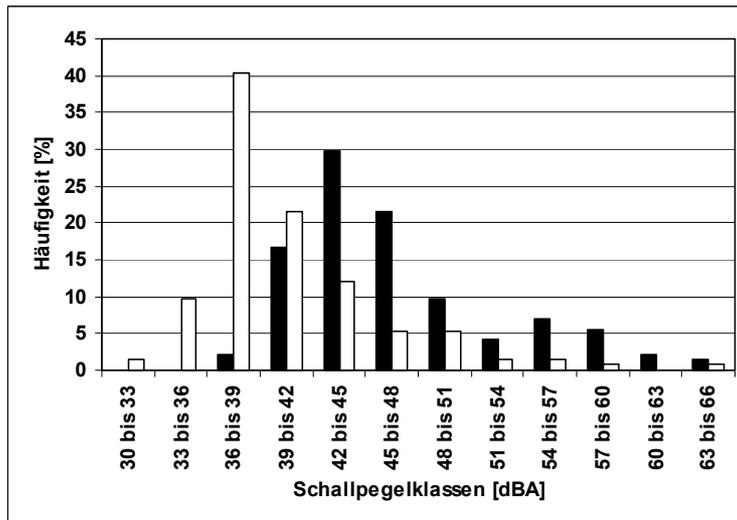


Abb. 5.58 Häufigkeitsverteilung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5\text{min}}$ vor (■) und nach (□) der Sanierung (Baumberge-Schule; alle U.-Std.)

Nach der Sanierung liegt das Maximum der Verteilung um zwei Klassen, entsprechend 6 dB(A), bei ansonsten gleicher Verteilung niedriger als vorher. Die Pegelreduktionen lassen sich dabei nicht nur in den Durchschnittswerten, sondern auch innerhalb konkreter Einzelfälle nachweisen.

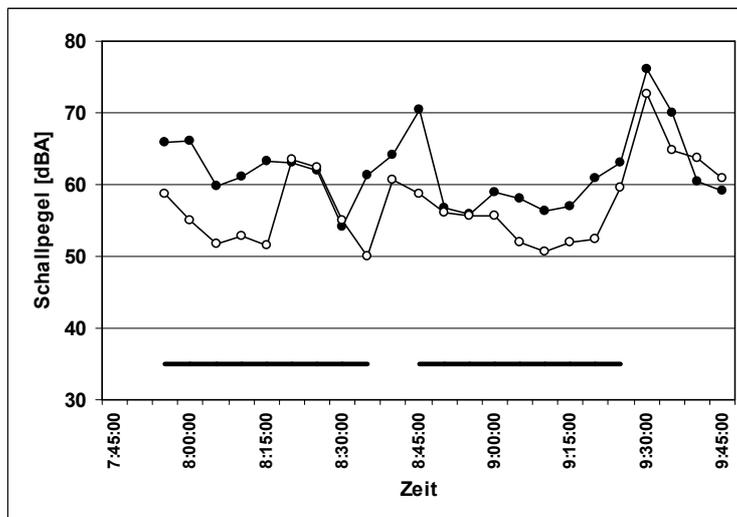


Abb. 5.59 Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5\text{min}}$ vor (●) und nach (○) der Sanierung für zwei identische Unterrichtsstunden (Do 1. und 2. Std.)

Beim Vergleich direkt korrespondierender Unterrichtssituationen, wie sie in der Baumberge-Schule aufgrund der engen Rahmenbedingungen gut zu konstruieren sind, zeigen sich die Auswirkungen der raumakustischen Sanierung. Die Abbildungen 5.59 und 5.60 geben Arbeits- und Grundgeräuschpegel zweier korrespondierender Unterrichtsstunden unter identischen Bedingungen vor und nach der Sanierung wieder. Der durchgezogene Strich markiert die eigentliche Unterrichtsstunde, die Zwischenräume kennzeichnen Pausenzeiten.

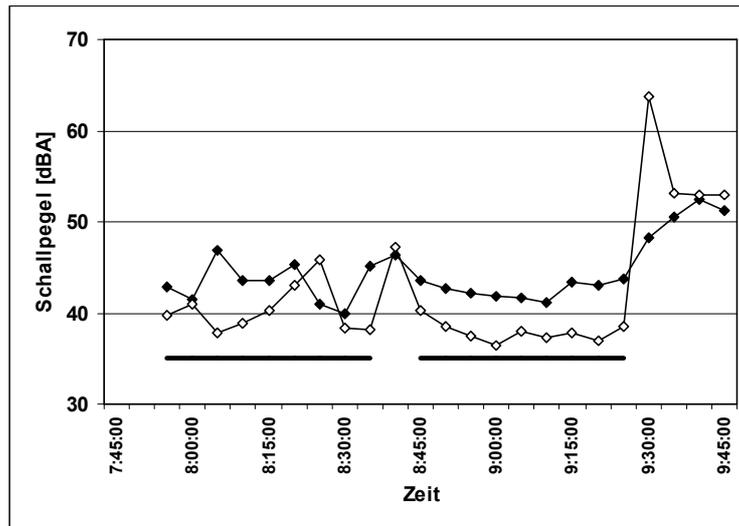


Abb. 5.60 Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ vor (●) und nach (○) der Sanierung für zwei identische Unterrichtsstunden (Do 1. und 2. Std.)

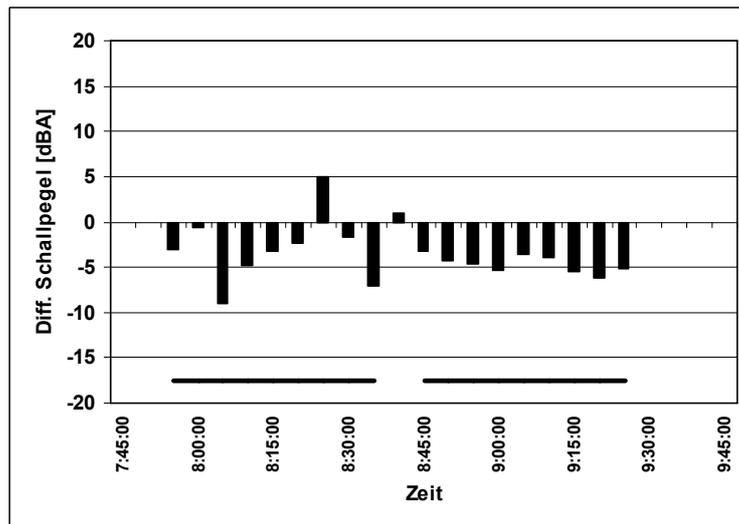


Abb. 5.61 Veränderung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5min}$ durch die Sanierung für die identischen Situationen (s. o.)

Die Vergleichbarkeit der Verläufe und damit die Reproduzierbarkeit des Unterrichtsgeschehens sind klar erkennbar. Gut sichtbar sind auch die jeweiligen Pegelanstiege während der Pausenzeiten. Der ungewöhnlich starke Anstieg des Grundgeräuschpegels nach der zweiten Stunde im sanierten Zustand gibt Raum für Spekulationen: Ist das die Reaktion der Schülerinnen und Schüler auf die lange vorhergehende Konzentrationsphase mit einem sehr niedrigen Grundgeräuschpegel? Falls ja, wäre das ein schöner Gedanke: Die Aktivitäten verteilen sich auf die dafür vorgesehenen Zeiträume: konzentriertes Arbeiten im Unterricht und zerstreutes Toben und Rufen in den Pausen. Fest steht: Die beiden Unterrichtsstunden vor und nach der Sanierung, jeweils die erste und zweite am Donnerstag Vormittag, unterscheiden sich in ihrem Grundgeräuschpegel im direkten Vergleich deutlich (Abb. 5.61) und sind damit typisch für den allgemeinen Trend der durch die Sanierung ausgelösten Veränderungen.

Über den Tag hinweg wird eine weitere Folge der raumakustischen Sanierung in der Baumberge-Schule sichtbar. Die Dämpfung des Klassenraums veränderte nicht nur die durchschnittlichen Pegel, sondern auch deren Verteilung bzw. Entwicklung über den Vormittag hinweg. Auch hier wird der Einfluss der Raumakustik besonders beim Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ sichtbar. Während die Pegelminderung zwischen un-sanierem und saniertem Klassenraum im Arbeitsgeräuschpegel einigermaßen gleichmäßig, etwas schwächer nur in den ersten beiden Stunden, vonstatten ging (Abb. 5.62), wurde sie im Grundgeräuschpegel über den Vormittag hinweg immer größer (Abb. 5.63). Die zugehörigen Regressionsdiagramme (Abb. 5.64 und 5.65) verdeutlichen: Der Anstieg des Arbeitsgeräuschpegels über den Vormittag hinweg wurde durch die Sanierung stark reduziert, der übliche Grundgeräuschpegelanstieg wurde sogar weitgehend verhindert. Ob dies einen weiteren Hinweis auf ausbleibende Ermüdungserscheinungen darstellt, wird im weiteren Verlauf zu klären sein (vgl. hierzu Kap. 5.2.2). Dieses Phänomen wird auch dann sichtbar, wenn man statt der gemittelten 5min-Zeitabschnitte die Durchschnittswerte der Grundgeräuschpegel der ganzen Unterrichtseinheiten ($L_{A95,45min}$) gegenüberstellt (Abb. 5.66).

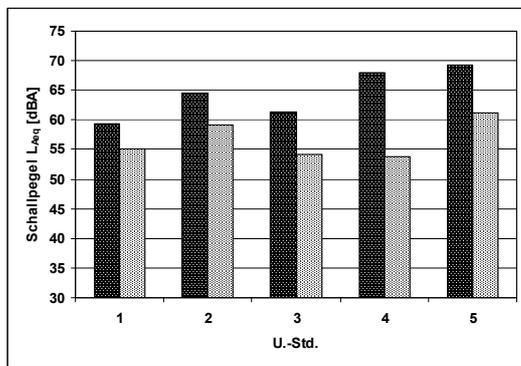


Abb. 5.62 Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ vor (■) und nach (□) der Sanierung (Baumberge-Schule; alle U.-Std.; sortiert nach U.-Std. am Tag)

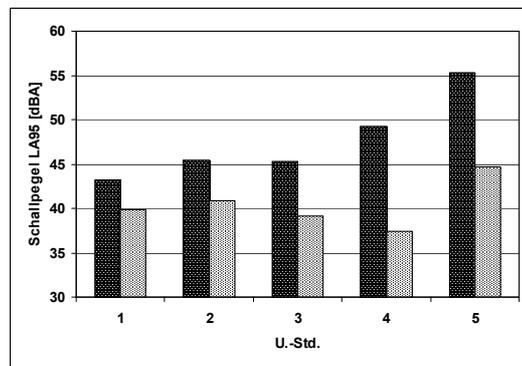


Abb. 5.63 Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ vor (■) und nach (□) der Sanierung (Baumberge-Schule; alle U.-Std.; sortiert nach U.-Std. am Tag)

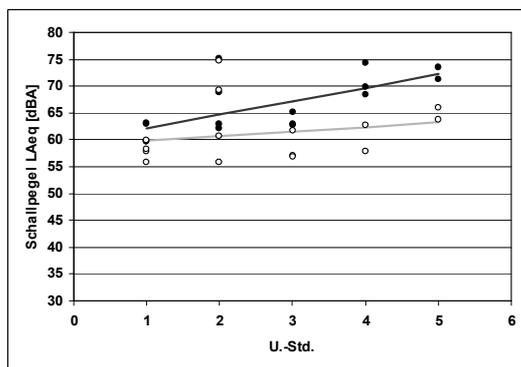


Abb. 5.64 Einzelwerte und Regression zu Abb. 5.62

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	R	R ²
vor	16	59,60	2,53	0,68	0,47
nach	15	59,01	0,84	0,22	0,048

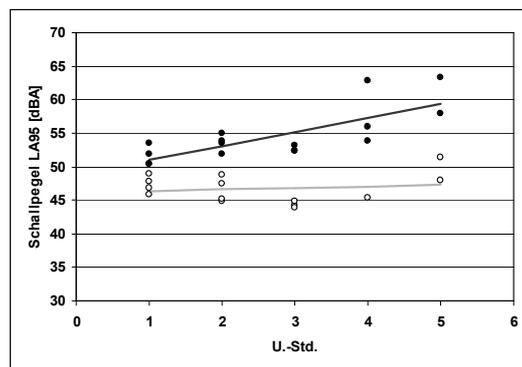


Abb. 5.65 Einzelwerte und Regression zu Abb. 5.63

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	R	R ²
vor	16	48,90	2,09	0,76	0,57
nach	14	46,14	0,22	0,14	0,02

Im Durchschnitt sank der Grundgeräuschpegel in der Baumberge-Schule um 8,8 dB(A). Das ist in mehrfacher Hinsicht ein erstaunlicher Wert. Zum einen liegt er bereits relativ nahe an der 10-dB-Marke, die im Allgemeinen als Halbierung der empfundenen Lautheit eingestuft wird. Im Klartext: Der Hintergrundgeräuschpegel in der Baumberge-Schule war im subjektiven Lautheitsempfinden nach der Sanierung nur noch etwa halb so laut wie vor der Sanierung.

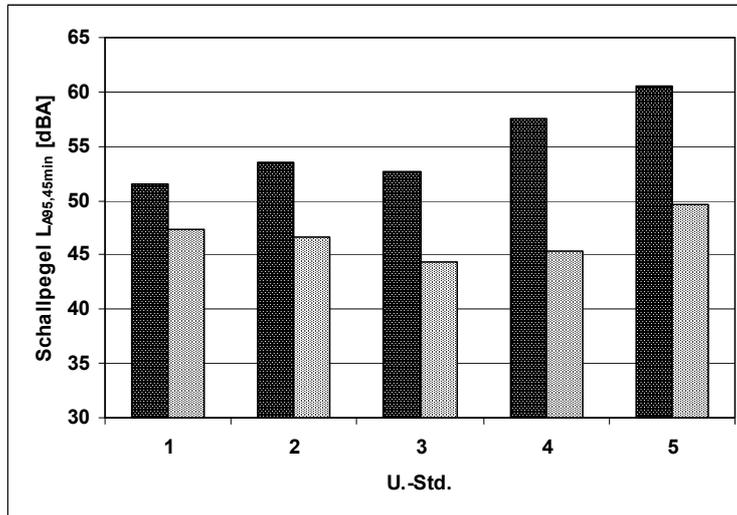


Abb. 5.66 Mittlerer Grundgeräuschpegel aus $L_{A95,45\text{min}}$ vor (■) und nach (▨) der Sanierung (Baumberge-Schule; alle U.-Std.; sortiert nach U.-Std. am Tag)

Dies ist vor allem deshalb überraschend, da die Baumberge-Schule durch ihr pädagogisches Anti-Lärm-Konzept und ihr konsequentes Einüben leiser Arbeitsformen bereits vor dem Umbau eine ausgesprochen leise Schule war. Insofern bewegten sich die Erwartungen bezüglich der Geräuschreduktion etwa im Rahmen dessen, was rein physikalisch durch die eingebrachte Absorptionsfläche an Pegelminderung erreichbar war:

V	$225,8 \text{ m}^2$	$A = 0,163 \cdot V/T$
RT_{vor}	$0,75 \text{ s}$	(Sabine)
RT_{nach}	$0,35 \text{ s}$	$\Rightarrow A_{\text{vor}} = 49,07 \text{ m}^2$
		$\Rightarrow A_{\text{san}} = 105,16 \text{ m}^2$
		$\Delta L = 10 \lg (A1 + \Delta A)/A1 [\text{dB}]$
		$\Rightarrow \Delta L_{\text{calc}} = 3,31 \text{ dB}$

Damit ist jedoch zum anderen die Beteiligung der Schülerinnen und Schüler an dieser Pegelreduktion evident. Mehr als die Hälfte des erreichten Effekts kommt nicht durch die physikalische Absorption, sondern durch das Schülerverhalten zustande.

Obwohl die Kinder in der Baumberge-Schule auch vor der Intervention bereits ungewöhnlich leise und diszipliniert waren, reagierten sie in ihrem Verhalten unmittelbar und überraschend deutlich auf die veränderte Lernumgebung und senkten so den Hintergrundgeräuschpegel im Unterricht insgesamt um mehr als das Doppelte des rechnerisch prognostizierten Wertes.

Für die kontrollierten Bedingungen der Baumberge-Schule ist der Zusammenhang zwischen Raumakustik und Geräuscentwicklung im Unterricht damit klar nachweisbar. Wie aber verhält sich dieser Zusammenhang in der Grundschule Stichnathstraße mit deutlich mehr Variablen (verschiedene Schüler, Lehrer, Jahrgangsstufen)? Lassen sich auch Verbindungen zwischen den unterschiedlichen Raumcharakteristiken der beiden Stockwerke und dem Geräuschpegel im Klassenraum finden? Zumal die raumakustischen Unterschiede zwischen den Klassenräumen des EG und des OG deutlich geringer sind als jener, der durch die Sanierung in der Baumberge-Schule erzeugt wurde.

Die Ergebnisse überraschen: Tatsächlich lassen sich in der Grundschule Stichnathstraße über alle acht Klassen hinweg die gleichen Abhängigkeiten finden wie in der Baumbergeschule. Unabhängig von Lehrkraft und Altersstufe „produzieren“ die Räume im OG mit ihren um 0,1 bis 0,3 s kürzeren Nachhallzeiten geringere Arbeits- und vor allem Grundgeräuschpegel als die Räume im EG (Abb. 5.67 und 5.68). Erneut ist die Auswirkung dieser kürzeren Nachhallzeiten durch die Verschiebung in der Häufigkeit der Schallpegelklassen beim Grundgeräuschpegel besonders klar sichtbar! Auch in der Grundschule Stichnathstraße sorgt die raumakustische Qualität der Klassenräume – in allen Jahrgangsstufen und bei allen Lehrerinnen – für leisere oder lautere akustische Grund-Arbeitsbedingungen.

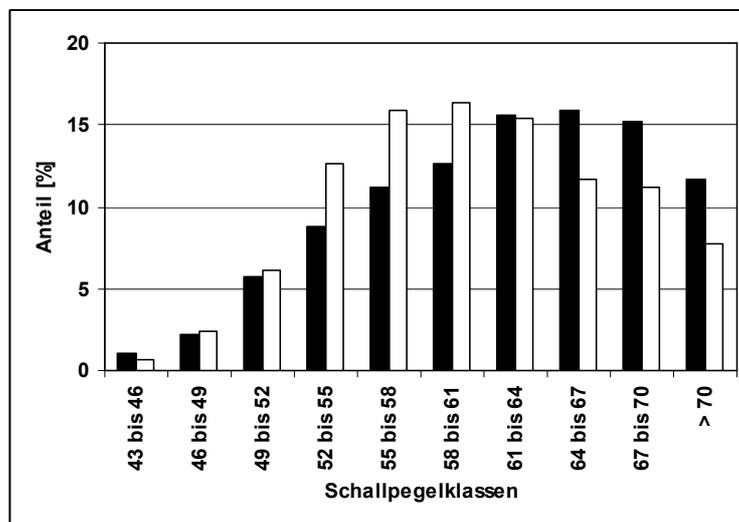


Abb. 5.67 Häufigkeitsverteilung des Arbeitsgeräuschpegels $L_{Aeq,5min}$ im EG (■) und im OG (□) (Stichnathstraße; alle U.-Std., jahrgangsübergreifend)

Um wenigstens den Unsicherheitsfaktor der Jahrgangsstufe auszuschließen, lohnt ein Blick auf die zweiten und dritten Klassen, die jeweils einmal im OG und einmal im EG unterrichtet werden. Diese Einzelvergleiche sind allerdings nicht ganz unproblematisch, da der Schallpegel hier im Gegensatz zur Baumberge-Schule ja auch von den unterschiedlichen Stilen der Lehrkraft oder einem anderen Verhalten der Schülerschaft oder weiteren Faktoren abhängen kann. Wagt man sie dennoch, ergibt sich

erwartungsgemäß kein ganz so stimmiges Bild wie in der Baumberge-Schule, dennoch aber ein sichtbarer Zusammenhang.

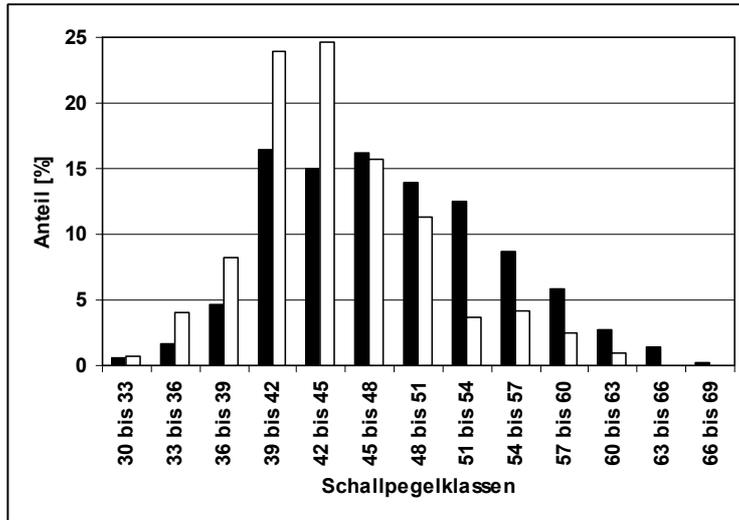


Abb. 5.68 Häufigkeitsverteilung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5min}$ im EG (■) und im OG (□) (Stichnathstraße; alle U.-Std., jahrgangsübergreifend)

Die Häufigkeitsverteilung der Schallpegel (Abb. 5.69 bis 5.72) belegt: Dem allgemeinen Trend folgend, war der Unterricht im OG in beiden Jahrgangsstufen sowohl im Arbeits- als auch im Grundgeräuschpegel tendenziell niedriger als im EG. Vor allem die hohen Schallpegelklassen kamen in der Regel weniger häufig vor.

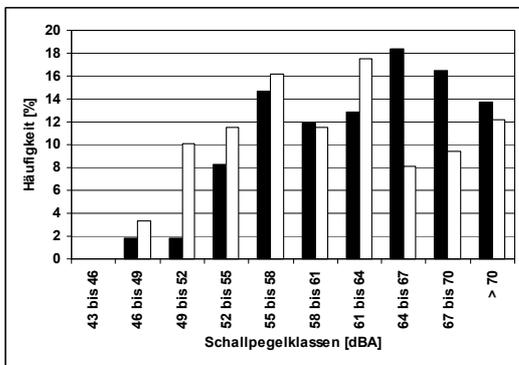


Abb. 5.69 Häufigkeitsverteilung des Arbeitsgeräuschpegels $L_{Aeq,5min}$ im EG (■) und im OG (□) (Stichnathstraße; alle U.-Std., 2. Klassen)

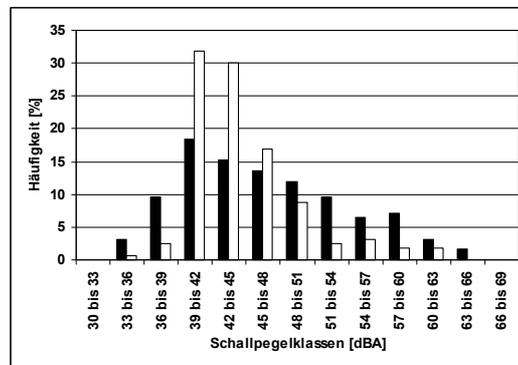


Abb. 5.70 Häufigkeitsverteilung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5min}$ im EG (■) und im OG (□) (Stichnathstraße; alle U.-Std., 2. Klassen)

Median L_{A95} : EG: 45,5 dB(A)
OG: 43,2 dB(A)

Das umgekehrte Ergebnis im Arbeitsgeräuschpegel der dritten Klasse (Abb. 5.71) macht aber auch das Problem der Vergleichbarkeit noch einmal sichtbar. Ist der höhere Pegel im OG auf die „Unwirksamkeit“ der Raumakustik zurückzuführen, oder hat der Lehrer nur anders unterrichtet (oder einfach eine sehr laute Stimme)? Immerhin: Im Grundgeräuschpegel sind auch in den dritten Klassen die Schallpegelklassen > 51 dB(A) im OG weniger häufig besetzt als im EG (Abb. 5.72) und auch im

Median verhalten sich die zweiten und dritten Jahrgangsstufen gleich: In beiden Fällen lag der Median des Grundgeräusches in den Räumen mit der kürzeren Nachhallzeit ca. 2 dB unter denen im Erdgeschoss.

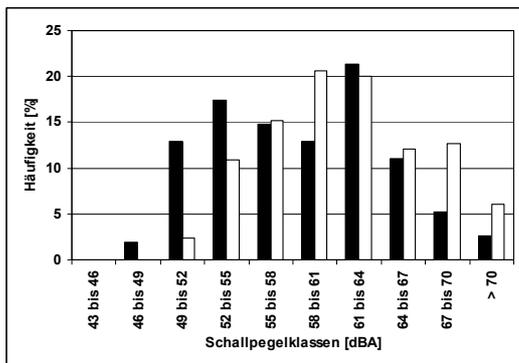


Abb. 5.71 Häufigkeitsverteilung des Arbeitsgeräuschpegels $L_{Aeq,5min}$ im EG (■) und im OG (□) (Stichnathstraße; alle U.-Std., 3. Klassen)

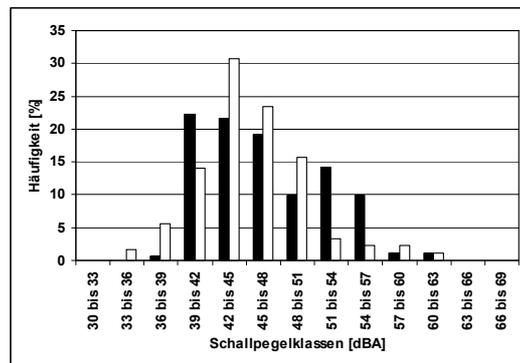


Abb. 5.72 Häufigkeitsverteilung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5min}$ im EG (■) und im OG (□) (Stichnathstraße; alle U.-Std., 3. Klassen)

Median L_{A95} : EG: 46,2 dB(A)
OG: 44,6 dB(A)

Dass dies kein Zufall ist, belegt die systematische Gegenüberstellung aller Klassenräume in der Grundschule Stichnathstraße. Um den Einfluss des Lehrers dabei möglichst gering zu halten, dient auch hierbei der Grundgeräuschpegel als Bezugsgröße. Abbildung 5.73 zeigt im Ergebnis einen direkten, linearen Zusammenhang zwischen dem Grundgeräuschpegel und der Nachhallzeit: In den Klassenräumen mit Nachhallzeiten zwischen 0,6 und 0,75 s lernen die Kinder unter einem ca. 5 dB laueren Grundgeräuschpegel als ihre Altersgenossen in den Klassenräumen mit Nachhallzeiten zwischen 0,4 und 0,5 s.

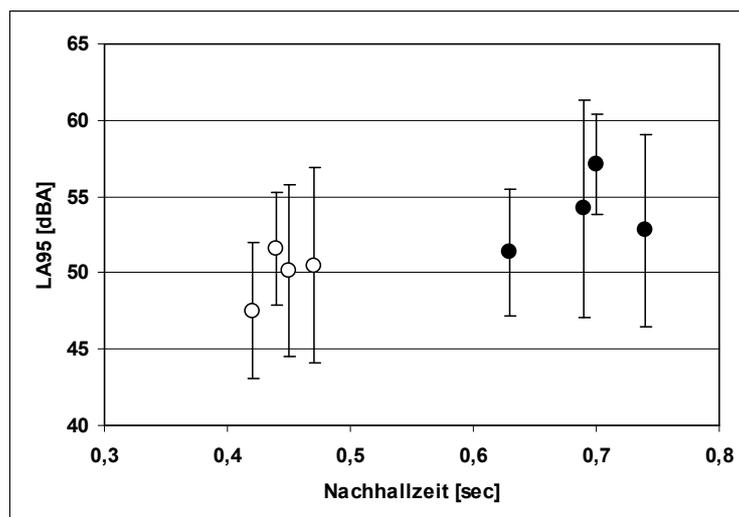


Abb. 5.73 Grundgeräuschpegel L_{A95} in Abhängigkeit von der Nachhallzeit der Klassenräume für die Grundschule Stichnathstraße; alle Klassen EG (●) und OG (○)

Damit wird auch deutlich: Die aktuelle Fassung der DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ lässt mit ihren Vorgaben bei großzügiger vs. strenger Auslegung bei der Anwendung auf Klassenräume Spielraum für recht unterschiedliche akustische Raumqualitäten. Noch deutlicher wird das Bild, wenn man die gemessenen Grundgeräuschpegel auf die jeweiligen Sprachverständlichkeitsindizes STI bezieht. Die Klassenräume mit „sehr guter“ Sprachverständlichkeit ($STI > 0,75$) schneiden dabei sichtbar besser ab als ihre „guten“ Pendanten im EG ($0,60 < STI < 0,75$) (Abb. 5.74). Die Regression zwischen den beiden Größen ist auffällig gut (Abb. 5.75).

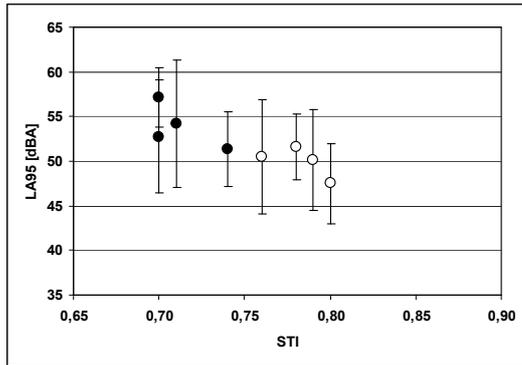


Abb. 5.74 Grundgeräuschpegel L_{A95} in Abhängigkeit vom STI der Klassenräume für die Grundschule Stichnetstraße; alle Klassen EG (○) und OG (●)

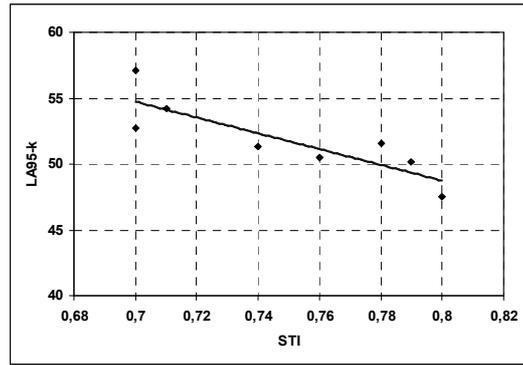


Abb. 5.75 Regression zu Abb. 5.74

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	R	R ²
8	96,72	-59,98	0,85	0,73

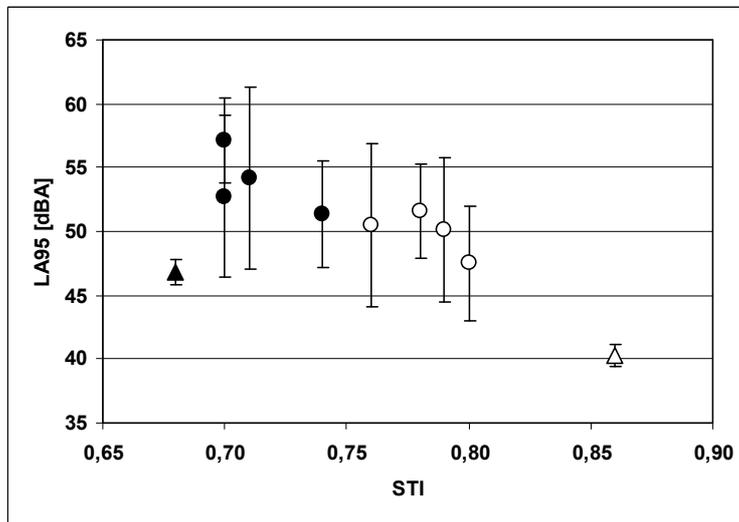


Abb. 5.76 Grundgeräuschpegel L_{A95} in Abhängigkeit vom STI für die Grundschule Stichnetstraße; alle Klassen EG (●) und OG (○), und Baumberge-Schule vor (▲) und nach (△) Sanierung

Das Bild passt zu den Ergebnissen aus der Baumberge-Schule. Die dort gemessene Reduktion des Grundgeräuschpegels hatte ihren Auslöser ebenfalls in einer deutlich verbesserten Sprachverständlichkeit. Abbildung 5.76 zeigt die Veränderung in der

Zusammenschau mit den Werten aus der Grundschule Stichnetstraße: Obwohl die Klasse 2b in der Baumberge-Schule bei vergleichbarem konsequentem pädagogischen Konzept mit einem bereits deutlich niedrigerem Grundgeräuschpegel „ins Rennen ging“, konnte mit der fast studioartigen Sprachverständlichkeit ($STI > 0,85$) die nochmalige spürbare Pegelreduktion erreicht werden.

Der Zusammenhang zwischen den raumakustischen Eigenschaften des Klassenraums und dem Geräuschpegel kann mit den vorliegenden Daten somit sicher belegt werden. Ausgehend von den pädagogischen oder sozialen Eingangsvoraussetzungen findet dieses Phänomen in den beiden Schulen auf unterschiedlichen Niveaus statt. Es ist jedoch in allen Klassenräumen nachweisbar. Die Abhängigkeit der Unterrichtsschallpegel von der Raumakustik ist dabei überraschend linear. Der Befund passt gut zu den Ergebnissen aus Voruntersuchungen an anderen Datensätzen (vgl. OBERDÖRSTER UND TIESLER, 2004). Auch dort zeigte sich eine lineare Reduktion des Grundgeräuschpegels L_{A95} um etwa 1,6 bis 2,0 dB pro 0,1 s reduzierter Nachhallzeit.

5.2.1.2 Analyse des Schallpegels in Abhängigkeit von der Arbeitsform

Im Gegensatz zur vorhergehenden Fragestellung liefert die Untersuchung der Abhängigkeit zwischen Schallpegel und Arbeitsform weniger eindeutige Ergebnisse. Eine erste Gegenüberstellung der mittleren Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil Frontalunterricht zeigt zumindest für die Baumberge-Schule den Befund, dass frontalunterrichtlich dominierte Zeitabschnitte im Allgemeinen leiser sind als andere (Abb. 5.77). Der gemessene Durchschnittswert zwischen 55 und 60 dB(A) entspricht in etwa einer erwachsenen Sprechstimme bei normaler, nicht übermäßig angestrenzter Unterhaltung – ein weiteres Indiz für das ruhige Arbeitsklima in der Baumberge-Schule, welches in frontalen Unterrichtsphasen die Lehrerin an der Tafel nicht zum zeitlich ausgedehnten Anheben der Sprechleistung zwingt. Tatsächlich liegt der allgemeine Geräuschpegel in der Grundschule Stichnetstraße in überwiegend frontalen Zeitabschnitten deutlich höher als in der Baumberge-Schule. Eine deutliche Differenz zu wenig frontalen Unterrichtsabschnitten ist hier allerdings nicht erkennbar.

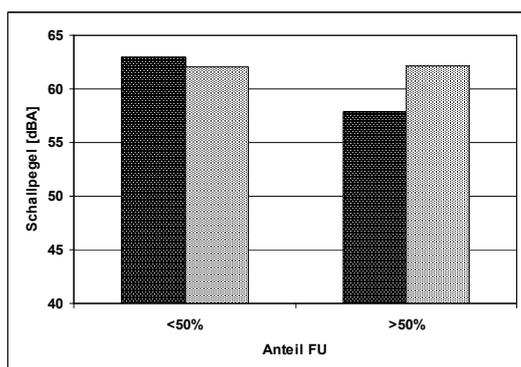


Abb. 5.77 Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil FU, Baumberge-Schule (■) und Schule Stichnetstraße (▨)

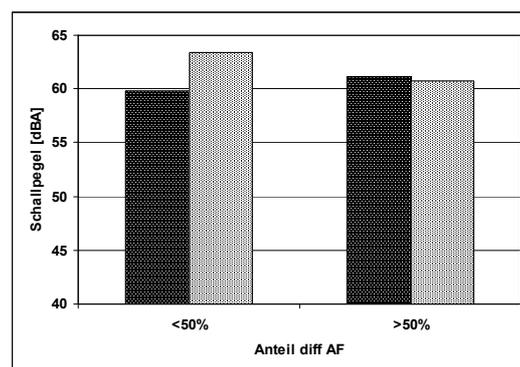


Abb. 5.78 Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil diff AF, Baumberge-Schule (■) und Schule Stichnetstraße (▨)

Ob allerdings die aus allen Klassen gemittelten Schallpegel der Grundschule Stichnathstraße für diese Fragestellung überhaupt hilfreich sind, scheint fragwürdig. Erneut schlagen hier die vielen Unsicherheitsfaktoren (Lehrerpräferenzen, Schülerverhalten etc.) zu Buche. Darüber hinaus hatte sich bereits im Projektbericht der Studie „Lärm in Bildungsstätten“ bei der dort vorgenommenen ersten Bewertung der Schallpegel eine deutliche Jahrgangabhängigkeit gezeigt (vgl. SCHÖNWÄLDER ET AL., 2004).

Bleibt man also bei dem sicheren Datensatz der Baumberge-Schule, wird bezüglich der von differenzierten Arbeitsformen geprägten Unterrichtsabschnitte als Phänomen sichtbar: Diese sind im Durchschnitt lauter als andere Arbeitsphasen (Abb. 5.78). (Wieder wird diese Tendenz von den Durchschnittswerten aus der Grundschule Stichnathstraße nicht bestätigt.)

Die in der Baumberge-Schule sichtbaren Auswirkungen der Arbeitsform auf den Schallpegel sind dabei nicht nur im Arbeitsgeräuschpegel, sondern bereits im Grundgeräuschpegel sichtbar. Und das deutlicher als erwartet: Beim Frontalunterricht sinkt der Grundgeräuschpegel gegenüber den anderen Arbeitsformen um mehr als 5 dB auf gerade noch 42 dB(A) (Abb. 5.79) – eine weitere Bestätigung der Baumberge-typischen leisen Schulkultur. Während differenzierter Arbeitsphasen hingegen klettert der Grundgeräuschpegel auf Werte um die 47 dB(A) (Abb. 5.80). Erstaunlicherweise finden sich diese Tendenzen nun auch im Datensatz aus der Grundschule Stichnathstraße wieder. Liefert die Grundschule Stichnathstraße damit doch ein Indiz, dass dieser Zusammenhang zwischen Arbeitsform und Grundgeräuschpegel allgemein gültig und damit auf andere Schulen übertragbar ist, oder ist auch dies eine Folge des ähnlichen pädagogischen Konzeptes?

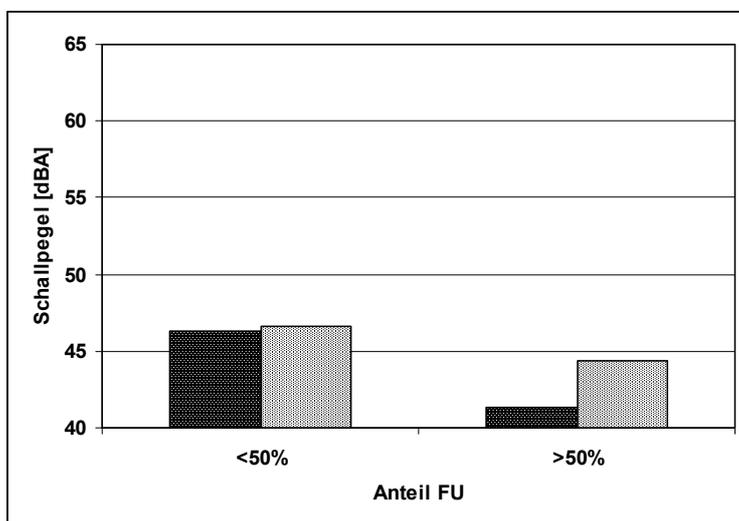


Abb. 5.79 Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil FU, Baumberge-Schule (■) und Grundschule Stichnathstraße (◻)

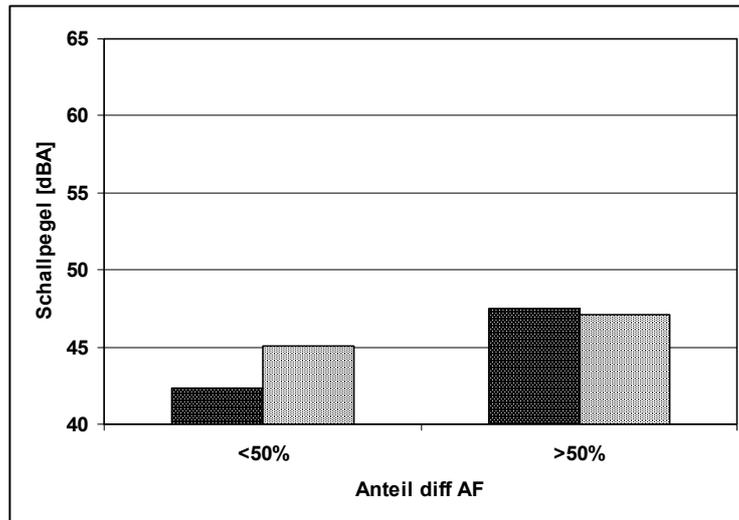


Abb. 5.80 Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil diffAF, Baumberge-Schule (▨) und Grundschule Stichnethstraße (⊙)

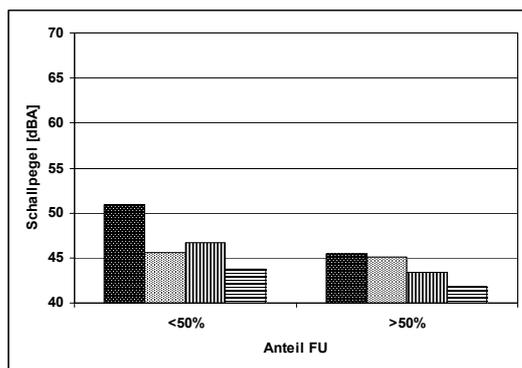


Abb. 5.81 Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil FU, 1. KI (▨), 2. KI (⊙), 3. KI (||) und 4. KI (=)

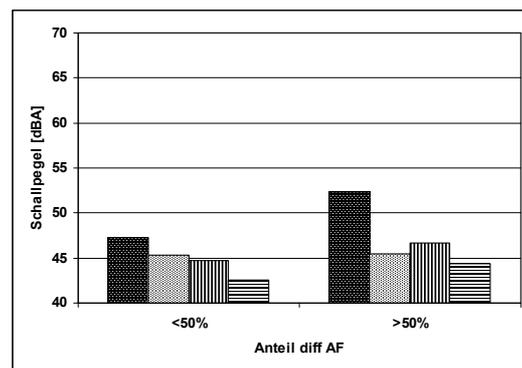


Abb. 5.82 Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil diffAF, 1. KI (▨), 2. KI (⊙), 3. KI (||) und 4. KI (=)

Tatsächlich erhärtet sich bei einer jahrgangsabhängigen Aufschlüsselung der Daten der Verdacht. Die Abbildungen 5.81 und 5.82 bestätigen den Abfall bzw. Anstieg der Grundgeräuschpegel in Abhängigkeit von der Arbeitsform. Wodurch diese jedoch verursacht ist, lässt sich an dieser Stelle mit den vorliegenden Daten nicht klären. Welche Rolle spielt die Tageszeit (vgl. 5.2.1.1)? Spielt das Alter der Schüler und damit ihr Arbeitsverhalten eine entscheidende Rolle? Die deutlichen Unterschiede zwischen erster und vierter Jahrgangsstufe legen diese Vermutung nahe.

Für den Arbeitsgeräuschpegel ist diese Abhängigkeit in der Stichnethstraße auch bei einer jahrgangsabhängigen Aufschlüsselung der Daten nicht nachweisbar. Insgesamt bleiben die Ergebnisse dieser Untersuchung damit wenig aussagekräftig. Ohne eine nähere Differenzierung, vor allem der Einbeziehung der Raumakustik in die Fragestellung, lassen sich außer den genannten Vermutungen keine allgemeinen Tendenzen mit hinreichender Sicherheit ableiten.

5.2.1.3 Analyse des Schallpegels in Abhängigkeit von den Redeanteilen LR-SR

Ähnlich wie im vorhergehenden Abschnitt hilft auch bei der Analyse des Schallpegels in Abhängigkeit von den Redeanteilen eine unterrichtsstundenbezogene Zusammenstellung der Einzelwerte nicht weiter.

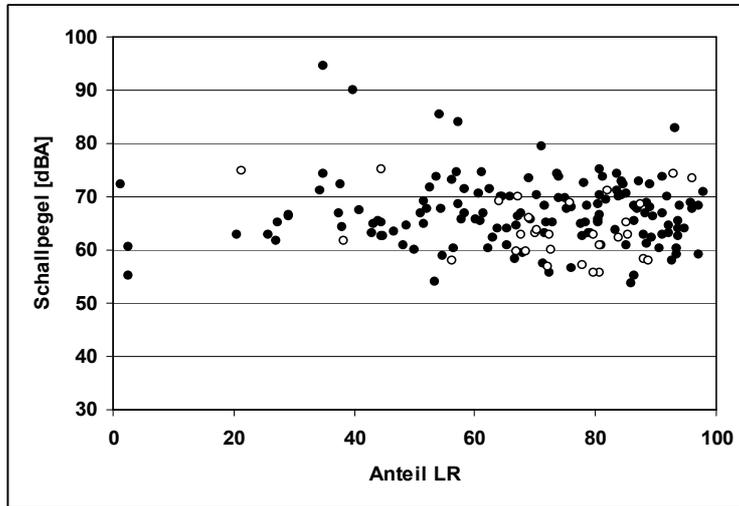


Abb. 5.83 Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil des Lehrers über die U.-Std., Grundschule Stichnethstraße (●) und Baumberge-Schule (○)

Bezüglich der Lehrerrede und ihrer Auswirkung auf den Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ wird in Abbildung 5.83 zwar noch einmal deutlich, dass sich die Werte in beiden Schulen in ähnlichen Größenordnungen bewegen. Letztlich ist aber nur eine „Haufenbildung“ sichtbar, einen Zusammenhang bzw. eine Regression zwischen beiden Größen liefert weder diese Übersicht noch eine nach Schulen aufgeteilte Betrachtung (Abb. 5.84 und 5.85).

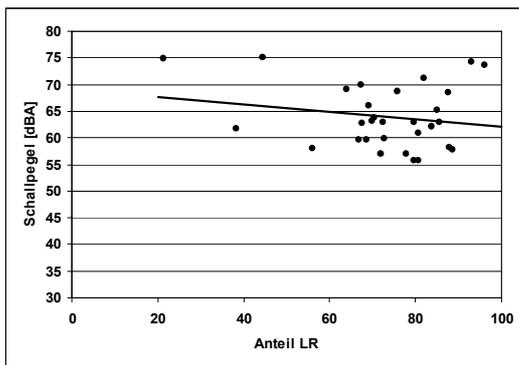


Abb. 5.84 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil des Lehrers über die U.-Std., Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	r	r ²
30	69,10	-0,07	0,19	0,04

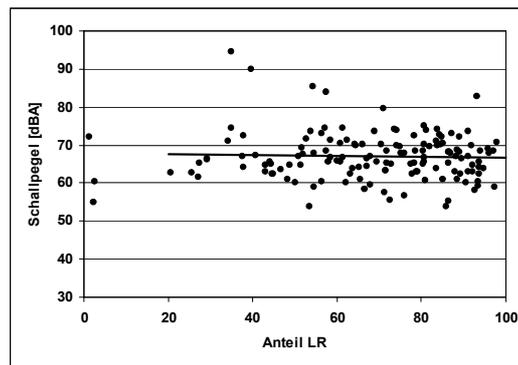


Abb. 5.85 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil des Lehrers über die U.-Std., Grundschule Stichnethstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	r	r ²
142	67,75	-0,01	0,04	0,00

Bezüglich der Schülerredeanteile ergibt sich das gleiche Bild. Nur der Vollständigkeit halber die entsprechenden Grafiken (Abb. 5.86 bis 5.88).

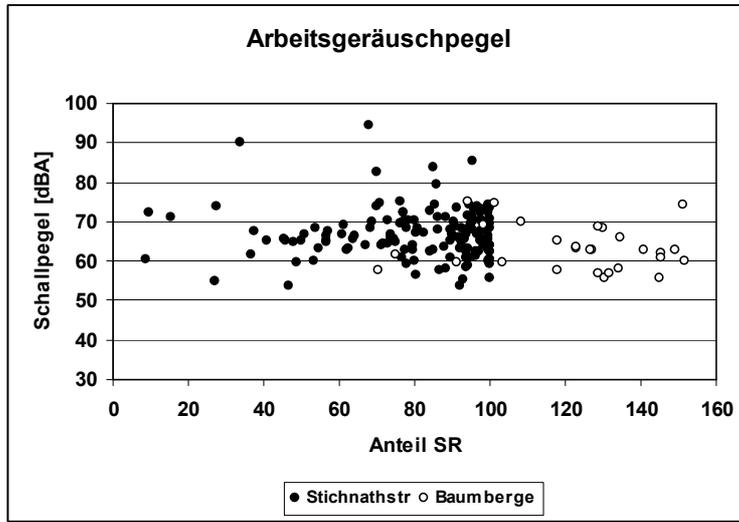


Abb. 5.86 Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil der Schüler über die U.-Std., Grundschule Stichnethstraße (●) und Baumberge-Schule (○)

Ein Zusammenhang zwischen der Schülerrede und dem stundenbezogenen Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ lässt sich daraus nicht ableiten. Anzumerken ist lediglich das unterschiedliche Beobachterverhalten in den beiden Schulen: Während in der Baumberge-Schule der Schülerredeanteil durch paralleles Registrieren unterschiedlicher Redemerkmale in der Summe größer als 100 % sein kann, wurden die Redeanteile in der Grundschule Stichnethstraße nur alternativ registriert.

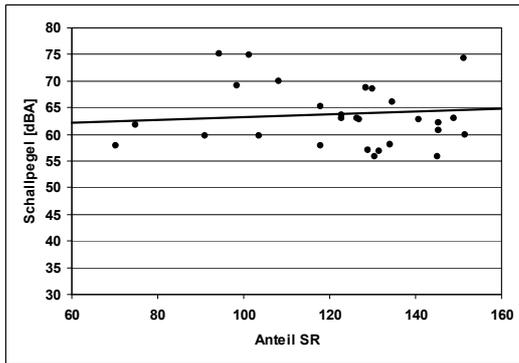


Abb. 5.87 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil der Schüler über die U.-Std., Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	r	r ²
30	60,63	0,03	0,11	0,01

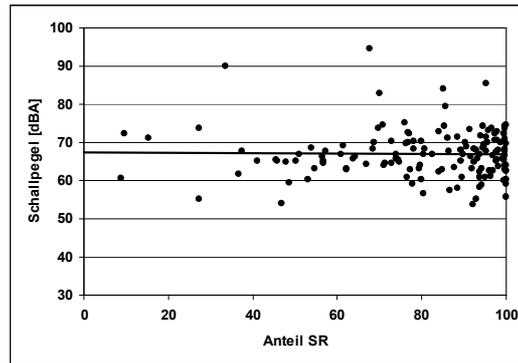


Abb. 5.88 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil der Schüler über die U.-Std., Grundschule Stichnethstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

N	A	B	r	r ²
142	67,37	-0,01	0,02	0,00

Bedient man sich statt der stundenbezogenen Mittelwerte der operationalisierten 5-min-Einheiten, vergleicht man also bewusst nur Zeiteinheiten mit ähnlicher bzw. gleicher Struktur, ändert sich das Bild. So geht aus den Abbildungen 5.89 und 5.90 hervor, dass die Unterrichtsphasen, die vorwiegend durch die Lehrerrede geprägt waren, zumindest in der Baumberge-Schule leiser waren als jene, in denen der Lehrer wenig gesprochen hat, während Zeitabschnitte, die von der Schülerrede dominiert wurden, deutlich lauter waren als jene, in denen die Schülerinnen und Schüler wenig redeten. Hier ist nochmals anzumerken, dass ein geringer zeitlicher Anteil Lehrerrede nicht mit häufiger Schülerrede gleich zu setzen ist. Für die Grundschule Stichnathstraße lässt sich dieser Zusammenhang nur bei der Schülerrede finden. Einmal mehr ließe sich über den pädagogischen Ansatz des Kollegiums in der Baumberge-Schule spekulieren, welcher es der Lehrerin eventuell ermöglicht, ungestört zu sprechen. Das disziplinierte Zuhören der Kinder wäre dann die Rahmenbedingung für die vergleichsweise leisere Sprachlautstärke der Lehrerin. In der Grundschule Stichnathstraße tritt dieser Effekt nicht ein. Ein anderes Sozialverhalten der Schüler wäre eine Erklärung, sofern sie die Lehrkräfte nötigte, sich mit erhöhter Sprechlautstärke Gehör zu verschaffen. Auf die Problematik dieses Datensatzes wurde jedoch bereits unter anderem im vorhergehenden Abschnitt 5.2.1.2 eingegangen.

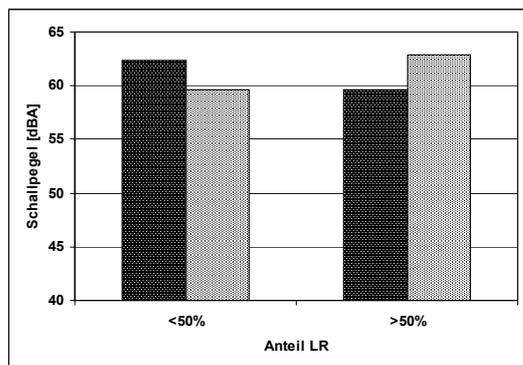


Abb. 5.89 Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil LR, Baumbergeschule (■) und Schule Stichnathstraße (▨)

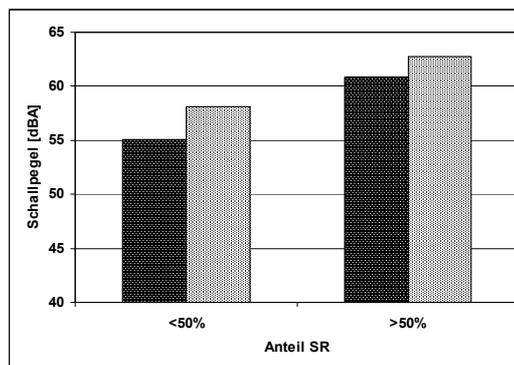


Abb. 5.90 Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil SR, Baumbergeschule (■) und Schule Stichnathstraße (▨)

Ähnlich wie bei der Arbeitsform findet sich das Verhältnis von Arbeitsgeräuschpegel und den Redeanteilen auch beim Grundgeräuschpegel wieder. Lediglich ein niedriger Grundgeräuschpegel in Zeitabschnitten $LR < 50\%$ bei der Baumberge-Schule fällt aus dem Rahmen.

Eine jahrgangsabhängige Aufschlüsselung der Daten aus der Grundschule Stichnathstraße bringt keine neuen Erkenntnisse. Auffällig ist lediglich die vierte Klasse: Hier ist der Unterschied im Arbeitsgeräuschpegel zwischen Unterrichtsphasen mit niedrigem Lehrerredeanteil und Phasen mit hohem Lehrerredeanteil besonders hoch (Abb. 5.91). Möglicherweise ist das ein Hinweis auf ein „reiferes“ Schülerverhalten, also ein konzentrierteres aufmerksames Arbeiten in Abschnitten des Zuhörens oder Stille, dafür jedoch engagierteres Auftreten und Mitreden in Gesprächsphasen. Dieser Unterschied findet sich auch im Grundgeräuschpegel wieder. Dieser altersabhängige Effekt wurde ebenfalls bereits unter Kap. 5.2.1.2 angesprochen.

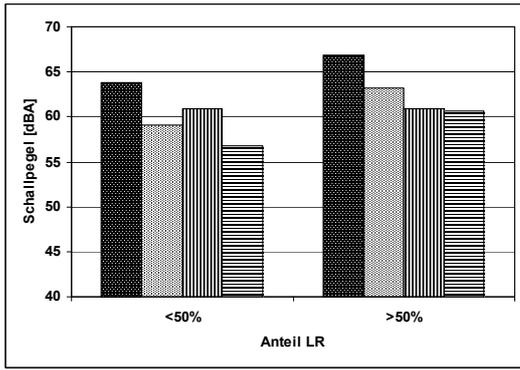


Abb. 5.91 Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil LR, 1. KI (▨), 2. KI (▩), 3. KI (||) und 4. KI (≡)

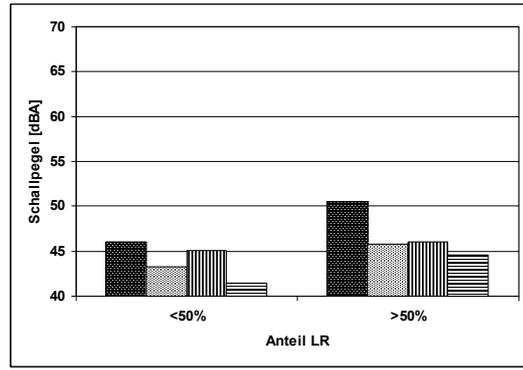


Abb. 5.92 Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil LR, 1. KI (▨), 2. KI (▩), 3. KI (||) und 4. KI (≡)

Insgesamt gleicht das Fazit damit dem Resümee des vorstehenden Abschnitts: Weitere und vor allem abgesicherte Aussagen gelingen nur durch das Einbeziehen weiterer Parameter, vor allem der der Raumakustik.

5.2.1.4 Analyse des Schallpegels in Abhängigkeit von ausgewählten Filterkombinationen

Auf Basis der vorstehenden Auswertungen ist es nun also möglich zu fragen, wie sich Arbeits- und Grundgeräuschpegel im Klassenraum aufgrund der raumakustischen Arbeitsumgebung (Filter 1) während bestimmter Arbeitsphasen (Filter 2) verändern. Hat die ergonomische Randbedingung der Raumakustik tatsächlich, wie in Hypothese 3 formuliert, in den jeweiligen Arbeitsformen unterschiedliche Auswirkungen?

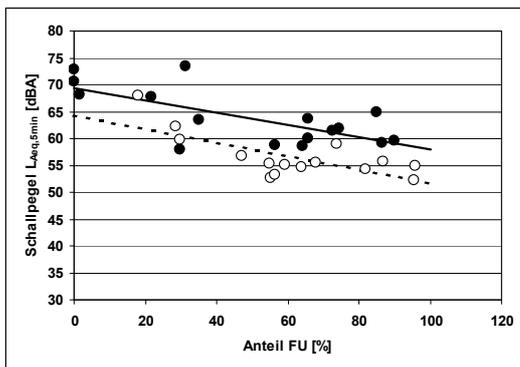


Abb. 5.93 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	16	69,48	-0,11	0,70	0,49
○	15	64,34	-0,13	0,72	0,52

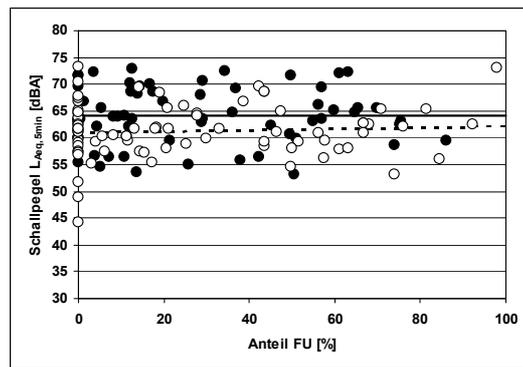


Abb. 5.94 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU im EG (●) und OG (○), Grundschule Stichnathstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	66	64,11	0,00	0,00	1,75
○	75	60,87	0,013	0,07	0,01

Erneut steht eine stundenbezogene Auswertung mit den Durchschnittswerten auf Basis der 5-min-Einheiten am Beginn der Betrachtung. Die Abbildungen 5.93 bis 5.96 zeigen dabei sowohl für die Baumbergeschule als auch für die Grundschule Stichnathstraße die deutliche generelle Reduktion im $L_{Aeq,45min}$ sowie im $L_{A95,45min}$, bedingt durch die unterschiedlichen raumakustischen Zustände. Die jeweilige Regression der einzelnen Analysen ist jedoch ausgesprochen schwach, ein Zusammenhang mit der Arbeitsform offenbart sich somit in dieser Betrachtungsweise erst einmal nicht.

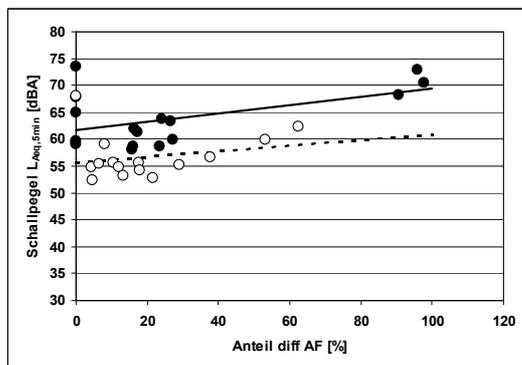


Abb. 5.95 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	16	61,67	0,08	0,52	0,27
○	15	55,59	0,05	0,23	0,05

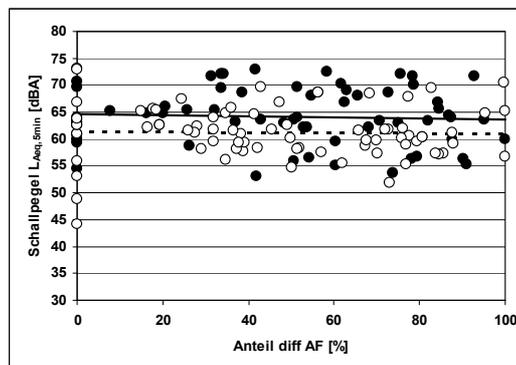


Abb. 5.96 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF im EG (●) und OG (○), Grundschule Stichnathstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	66	64,57	-0,01	0,05	0,00
○	75	61,45	-0,01	0,03	0,00

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang noch einmal der individuelle pädagogische Stil der beobachteten Lehrerin in der Baumberge-Schule (vgl. im Detail Kap. 5.1.2). Vor allem in Abbildung 5.95 wird erneut deutlich, dass Stunden mit einem hohen zeitlichen Anteil differenzierter Arbeitsformen in beiden Beobachtungswochen vergleichsweise selten vorkamen. Der gemittelte Geräuschpegel über die ganze Unterrichtsstunde hinweg ist bei dieser Lehrerin dann auch stark abhängig von der gewählten Arbeitsform. Die (jeweils schwachen!) Regressionsgraden zeigen, dass die frontalunterrichtlich dominierten Unterrichtsstunden zum Teil deutlich leiser waren als jene, in denen überwiegend differenziert gearbeitet wurde (vgl. v. a. Abb. 5.77 und 5.78). In der Grundschule Stichnathstraße, für die ja der wesentlich größere Datensatz mit unterschiedlichen Klassen und Lehrern zur Verfügung steht, relativiert sich diese Beobachtung als Einzelfall. In den Abbildungen 5.94 und 5.96 ist zwar wieder die generelle Beruhigung durch die bessere Raumakustik im Obergeschoss der Schule sichtbar, eine gleichzeitige Abhängigkeit ist aus den gemittelten Durchschnittswerten jedoch nicht herauszulesen. Für die Grundgeräuschpegel $L_{A95,45min}$ ergibt sich ein ähnliches Bild (Abb. 5.97 bis 5.100).

Gerade beim Grundgeräuschpegel schafft die beobachtete Lehrerin der Baumbergeschule in ihren stark frontal gestalteten Unterrichtsstunden mit einigen Durchschnittswerten um die 45 dB(A), nach Sanierung sogar teils unter 40 dB(A) eine außergewöhnlich leise Lern- und Arbeitsatmosphäre. Dafür sind die Unterschiede im Grundgeräuschpegel zwischen diesen frontalen und den wenigen überwiegend differenziert unterrichteten Stunden vergleichsweise hoch. Im bunt zusammen gewürfelten Datensatz der Grundschule Stichnathstraße ist ein solcher Zusammenhang er-

neut nicht nachweisbar. Allerdings gibt die Analyse des Grundgeräuschpegels in beiden Schulen doch ein erstes Indiz für eine Abhängigkeit der Pegelreduktion nicht nur von der Raumakustik, sondern auch von der Arbeitsform. Obgleich durch die Mittelung auf ganze Unterrichtsstunden der Präzision der Analyse Grenzen gesetzt sind und die vorliegende Regression erneut eher schwach ist, ist der Befund in allen vier Fällen der gleiche (Abb. 5.97 bis 5.100): Die Reduktionen des Grundgeräuschpegels $L_{A95,45min}$ fallen in Stunden mit hohem zeitlichen Anteil differenzierter Arbeitsformen in beiden Schulen höher aus als in den Stunden mit hohem zeitlichen Anteil Frontalunterrichts!

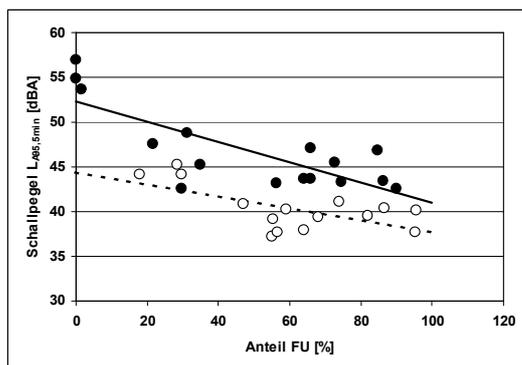


Abb. 5.97 $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	16	52,33	-0,11	0,78	0,61
○	15	44,38	-0,07	0,64	0,41

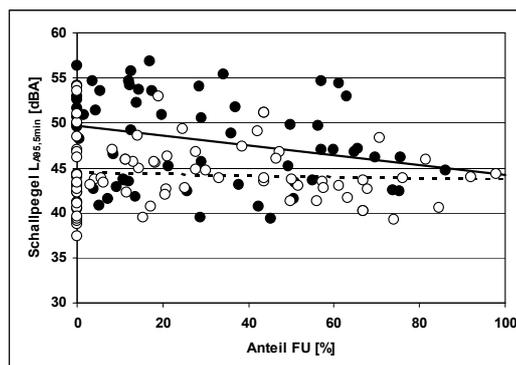


Abb. 5.98 $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU im EG (●) und OG (○), Grundschule Stichnathstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	66	49,62	-0,054	0,27	0,07
○	75	44,47	-0,01	0,06	0,00

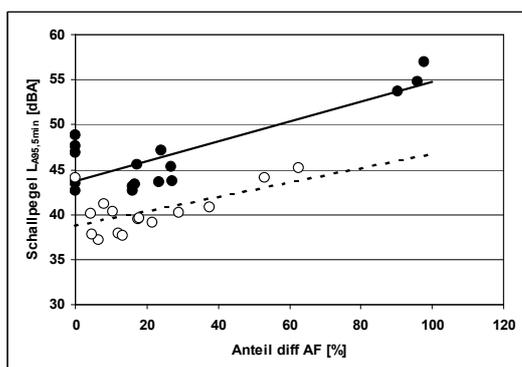


Abb. 5.99 $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	16	43,68	0,11	0,83	0,69
○	15	38,71	0,08	0,60	0,36

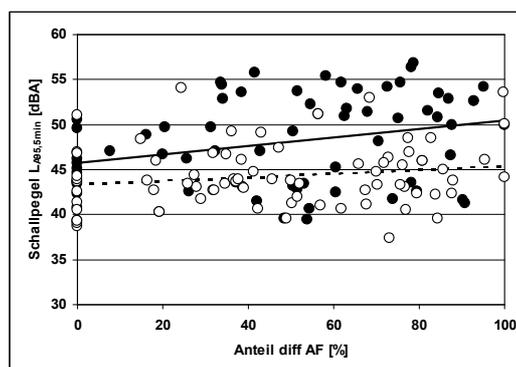


Abb. 5.100 $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF im EG (●) und OG (○), Grundschule Stichnathstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	66	45,77	0,05	0,28	0,08
○	75	43,35	0,02	0,18	0,03

Der Verdacht liegt nahe, dass dieser Befund raumakustisch nicht nur durch die Verringerung des Hintergrundgeräuschpegels aufgrund der zusätzlich eingebrachten Absorptionsfläche erzeugt wird, sondern vor allem durch die verbesserte Sprachverständlichkeit im Klassenraum. Diese ermöglicht eine qualitativ bessere Kommunikation durch ein klareres Sprachsignal. Sowohl die Lehrer als auch im Besonderen die Kinder, die ja ohnehin auf höhere Signal-Rausch-Abstände angewiesen sind als Erwachsene (vgl. Kap. 2.1), können so ohne ein Heben der Stimme miteinander kommunizieren.

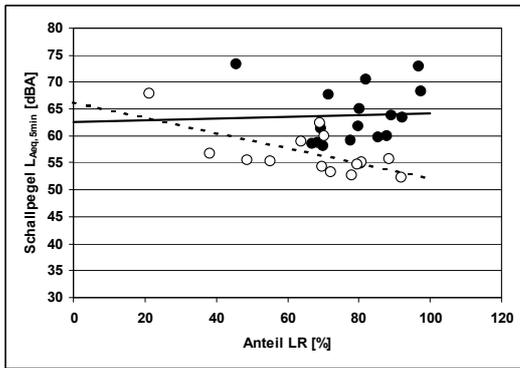


Abb. 5.101 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	16	62,66	0,02	0,04	0,00
○	15	66,14	-0,14	0,66	0,43

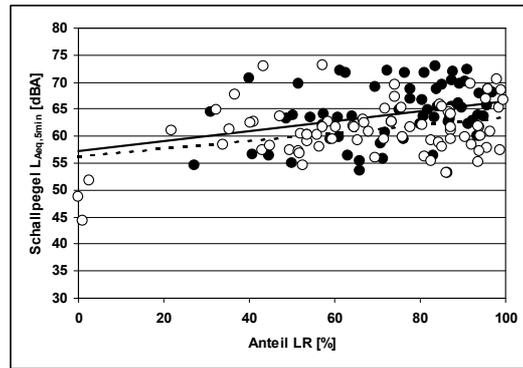


Abb. 5.102 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR im EG (●) und OG (○), Grundschule Stichnetstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	66	57,17	0,09	0,31	0,09
○	75	56,18	0,07	0,36	0,13

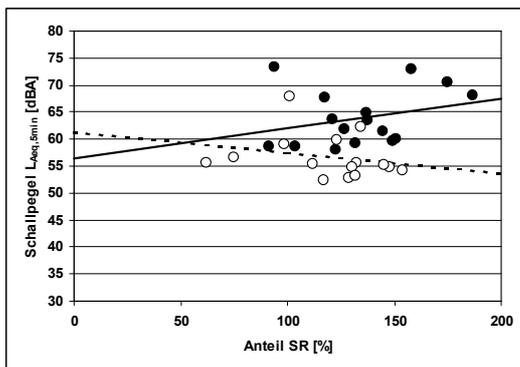


Abb. 5.103 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil SR vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	16	56,49	0,06	0,28	0,08
○	15	61,15	-0,04	0,24	0,06

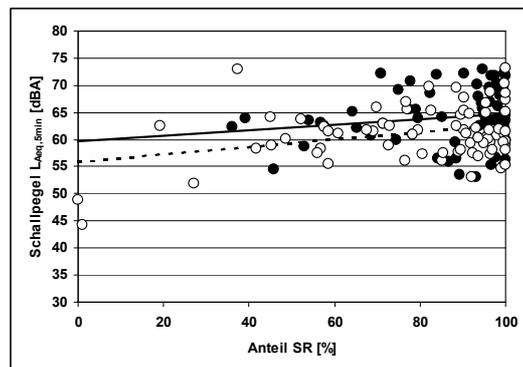


Abb. 5.104 $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil SR im EG (●) und OG (○), Grundschule Stichnetstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	66	59,79	0,05	0,16	0,02
○	75	55,82	0,07	0,32	0,10

Diese Vermutung, dass dieses in den vorliegenden Unterrichtsstunden tatsächlich geschieht, wird gestützt durch die Erkenntnis, dass in beiden Schulen die pegelreduzierende Wirkung der verbesserten Raumakustik von den zeitlichen Anteilen der Lehrer- bzw. Schülerrede klar abhängig ist. Je mehr in den einzelnen Stunden geredet wurde (ob Schüler oder Lehrer) desto deutlicher ist die Differenz der durchschnittlichen Arbeits- bzw. Grundgeräuschpegel (Abb. 5.101-5.108). Der Teufelskreis „spricht einer laut, muss der Nächste noch lauter sprechen, usw.“ („Lombard-Effekt“) wird durchbrochen.

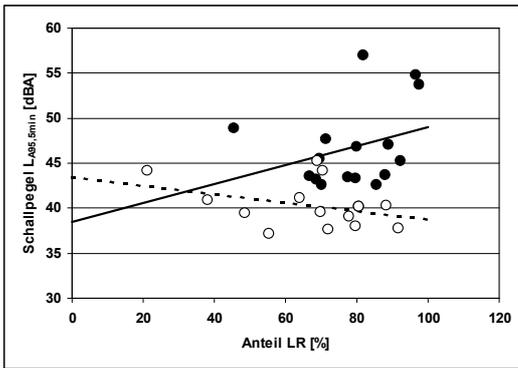


Abb. 5.105 $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	16	38,51	0,11	0,31	0,09
○	15	43,48	-0,05	0,37	0,13

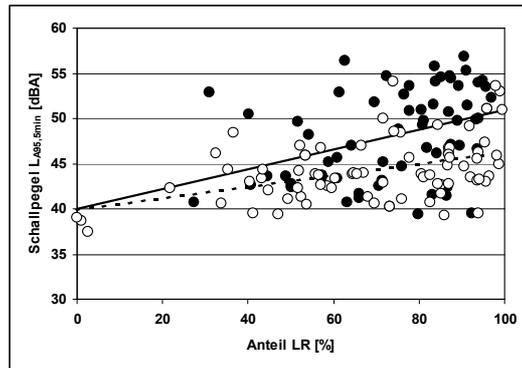


Abb. 5.106 $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR im EG (●) und OG (○), Grundschule Stichnathstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	66	40,04	0,11	0,38	0,14
○	75	39,85	0,06	0,45	0,20

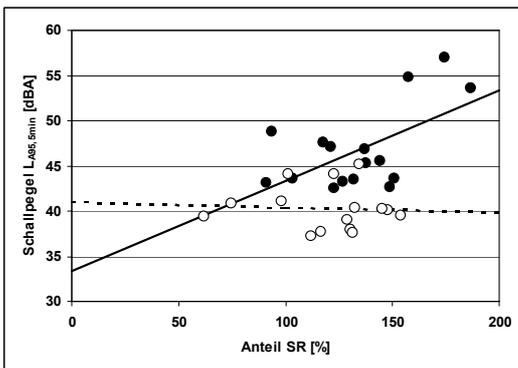


Abb. 5.107 $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil SR vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	16	33,36	0,10	0,58	0,34
○	15	40,91	-0,01	0,05	0,00

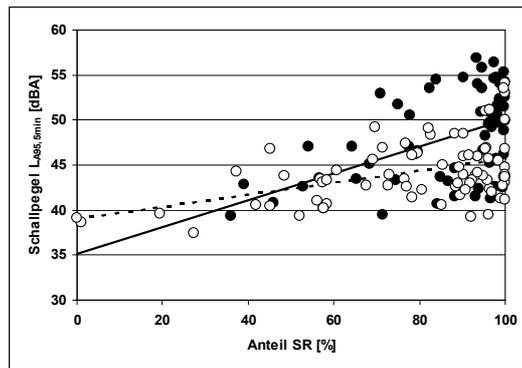


Abb. 5.108 $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil SR im EG (●) und OG (○), Grundschule Stichnathstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r	r ²
●	66	35,16	0,15	0,49	0,24
○	75	38,94	0,07	0,45	0,20

Mit einem Blick in die jeweiligen Arbeitsphasen hinein schließt sich der Kreis. Der Datensatz aus der Baumberge-Schule liefert aufgrund der kontrollierten und damit gut vergleichbaren Rahmenbedingungen den Schlüssel für eine genauere Gegenüberstellung. Und obwohl in der Baumberge-Schule nicht ganz so viele von differenzierten Arbeitsformen dominierte Zeiteinheiten zur Verfügung standen wie wünschenswert, genügt die Datenlage, um den Zusammenhang zu dokumentieren: Während der differenzierten Arbeitsphasen wirkte sich die ergonomische Randbedingung wesentlich deutlicher sowohl auf den Arbeits- (Abb. 5.109) als auch auf den Grundgeräuschpegel (Abb. 5.110) aus.

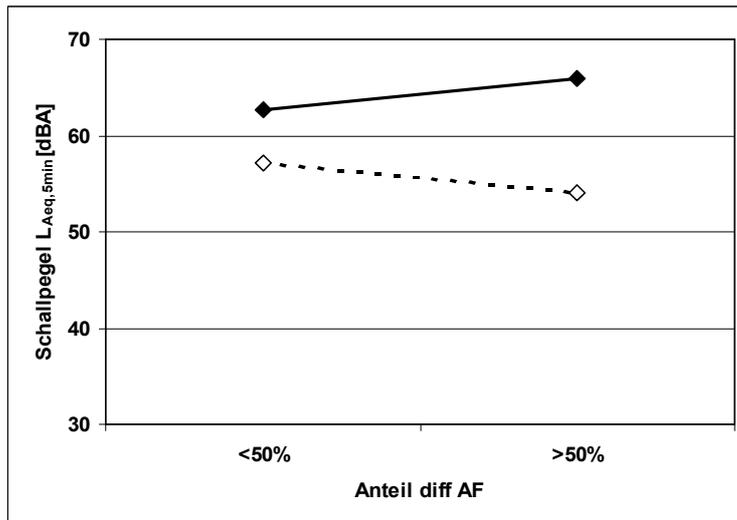


Abb. 5.109 Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

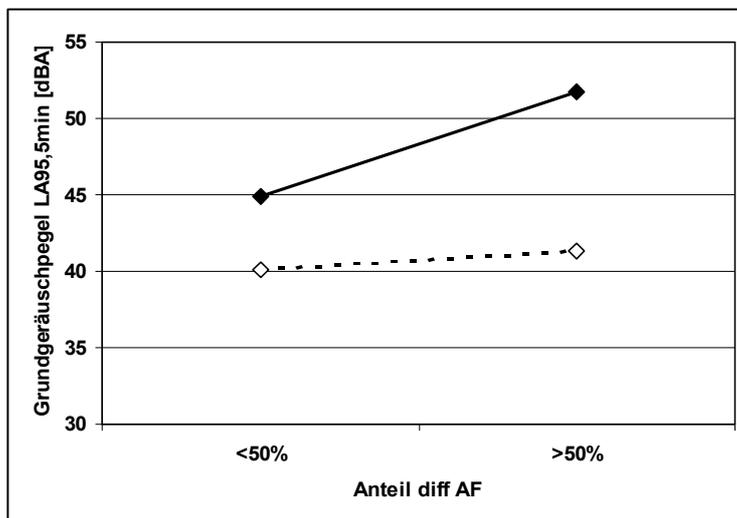


Abb. 5.110 Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF vor (●) und nach (○) der Sanierung, Baumberge-Schule

Sowohl beim L_{Aeq} als auch beim L_{A95} war die durch die raumakustische Sanierung erreichte Pegelreduktion in differenzierten Unterrichtsphasen mit über 12 dB mehr als doppelt so hoch wie in frontalen Unterrichtsphasen (hier diffAF < 50 %; 5 dB)! Im

Rückblick auf das bereits Gesagte über die physikalisch erwartbare Pegelreduktion von ca. 3,3 dB (vgl. Kap. 5.2.1.1) wird zudem deutlich: Während der frontalen Unterrichtsphasen wird der Großteil der erreichten Pegelreduktion tatsächlich durch den physikalischen Vorgang der Absorption erzeugt. Die Auswirkung auf das Sprechverhalten war in diesen Unterrichtsphasen eher gering. Während differenzierter Unterrichtsphasen allerdings spielte die akustische Arbeitsumgebung für das Sprech- und Kommunikationsverhalten eine bedeutende Rolle. Ein Anteil von etwa 9 dB an der gemessenen Pegelreduktion kam hier von der Emissionsseite, also von einer Verhaltensänderung der Lehrerin und der Schüler. Die akustisch-ergonomischen Rahmenbedingungen für Unterricht sind damit vor allem im Kontext der „modernen“, nicht lehrerzentrierten Arbeitsformen ein bedeutsamer Faktor der Geräuscentwicklung im Klassenraum.

Die Entwicklung des Arbeitsgeräuschpegels bestätigt dabei noch einmal die obige Vermutung über den akustischen Wirkzusammenhang. Der in der Baumberge-Schule übliche Arbeitsgeräuschpegelanstieg beim Wechsel zu differenzierten Arbeitsformen wurde nicht nur vermindert. Die Analyse der 5min-Einheiten belegt, dass nach der Sanierung die Unterrichtseinheiten „diffAF > 50 %“ sogar tendenziell leiser waren als ihre frontalunterrichtlichen Pendanten. Eine mögliche Erklärung ist, dass der Lehrer nicht mehr in gleichem Umfang von der Tafel aus zur ganzen Klasse spricht (also bis zum Schüler in der letzten Reihe eine Distanz von etwa 6-7 m überbrücken muss). Stattdessen findet die Kommunikation über geringere Entfernungen statt (Tischgruppe, Arbeitsgruppe). Wenn der normalerweise zu erwartende Lombard-Effekt durch die verbesserte Sprachverständlichkeit jedoch ausbleibt, können alle Beteiligten mit gedämpfter Stimme ohne Verlust der Verständlichkeit kommunizieren. Die Baumberge-Schule belegt: Die starke Dämpfung des Klassenraums mit Nachhallzeiten unter 0,4 Sekunden ermöglichte differenzierte Unterrichtsphasen auf einem Arbeitsgeräuschniveau unterhalb einer einzelnen erwachsenen Sprechstimme. Die Entwicklung des Grundgeräusches (Abb. 5.110) rundet dieses Bild ab. Auch hier blieb der üblicherweise mit differenzierten Unterrichtsphasen verbundene Anstieg des Geräuschpegels nach der Sanierung aus.

Die Tendenzen werden auch bei Stichproben in der Grundschule Stichnetstraße sichtbar. Allerdings ist aufgrund der Vielzahl an Unsicherheitsfaktoren (verschiedene Klassen, Jahrgangsstufen, vor allem aber Lehrkräfte) nicht anzunehmen, dass eine Einzelanalyse innerhalb des Datensatzes Stichnetstraße für diese Fragestellung verlässliche Ergebnisse liefern kann. Auf eine Darstellung wird aus diesen Gründen verzichtet.

5.2.2 Analyse des der Herzfrequenz

5.2.2.1 Analyse der Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Raumakustik

Ob es einen Zusammenhang zwischen den raumakustischen Bedingungen und der individuellen Beanspruchung in vergleichbaren Arbeitssituationen gibt, soll in diesem Abschnitt untersucht werden.

In der Grundschule Stichnetstraße ergeben sich durch die Gebäudeeigenschaften (vgl. Kap. 5.1.1) zwei unterschiedliche akustische Situationen, zum einen im EG mit $RT > 0,5$ s, zum anderen im OG mit $RT < 0,5$ s. Von den Teilnehmern an der Untersuchung haben fünf Personen im EG unterrichtet und acht Personen im OG, wobei ein Lehrer unter beiden Bedingungen unterrichtet hat. Für die mittlere Beanspru-

chung und die Basisaktivierung im Unterricht ergibt sich das in Abbildung 5.111 dargestellte Bild. Als Mittelwert über alle Personen ist ein Unterschied von über 3 Schlägen pro Minute zu finden. Dies bedeutet unter besseren raumakustischen Bedingungen somit eine sichtbar geringere Beanspruchung, und zwar sowohl bezogen auf die Basisaktivierung als auch auf die mittlere Beanspruchung im Unterricht.

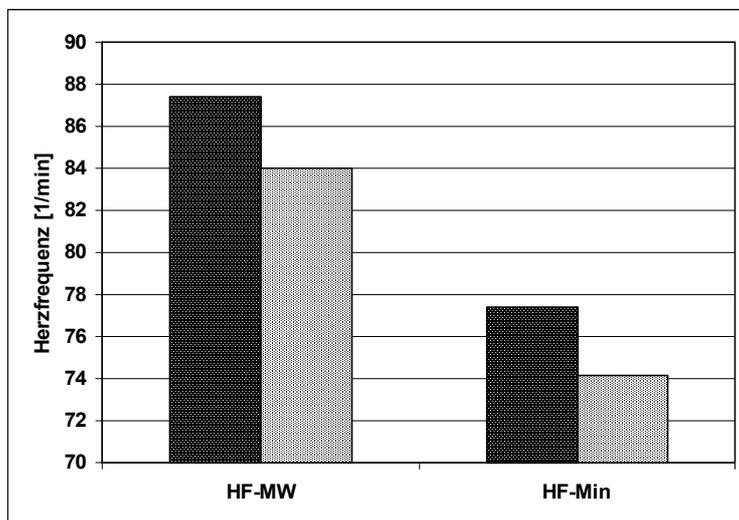


Abb. 5.111 Mittlere Beanspruchung (HF-MW) und Basisaktivierung (HF-Min) im Unterricht über alle Lehrerinnen, gruppiert nach Klassenräumen im EG (Dotted) und OG (Cross-hatched); Grundschule Stichnathstraße

Die Daten sind jeweils die Mittelwerte aus 5-min-Zeitabschnitten und Unterrichtsstunden mit mindestens 35 min Dauer, vgl. Tab. 5.2.

Tab. 5.2 Übersicht über Anzahl der Versuchspersonen (Vpn) und analysierten Zeitabschnitte

RT	Vpn	Zeitabschnitte
RT > 0,5 s	N = 5	486
RT < 0,5 s	N = 8	914

Eine der teilnehmenden Lehrkräfte hat sowohl im EG als auch im OG unterrichtet, sie ist also in beiden Datensätzen enthalten. Die Mittelwerte der Beanspruchung nur für diese eine Person ergeben ein ähnliches Bild, vgl. Abbildung 5.112, wenn auch der Unterschied etwas geringer ist, die Aussage an sich bleibt aber erhalten, unter besseren raumakustischen Bedingungen ist sowohl die Basisaktivierung als auch die Beanspruchung geringer. Ein möglicher Einwand gegen diese Interpretation könnte darin liegen, dass es sich bei den beiden unterrichteten Klassen um eine erste und eine dritte Klasse handelte. Diese Frage wird weiter unten noch einmal aufgegriffen. Da der individuelle Zustand des Herzkreislauf-Systems, bedingt z. B. durch körperliche Leistungsfähigkeit, einen Einfluss auf die absoluten Werte der Herzfrequenz hat, liegt es nahe, die mittlere Beanspruchung für jede einzelne Person, sortiert nach den Klassenräumen, in denen sie unterrichten, zu analysieren und miteinander zu vergleichen.

Das Ergebnis ist in Abbildung 5.113 dargestellt. Auch hier zeigt sich die höhere Beanspruchung bei den Personen, die im EG unterrichtet haben.

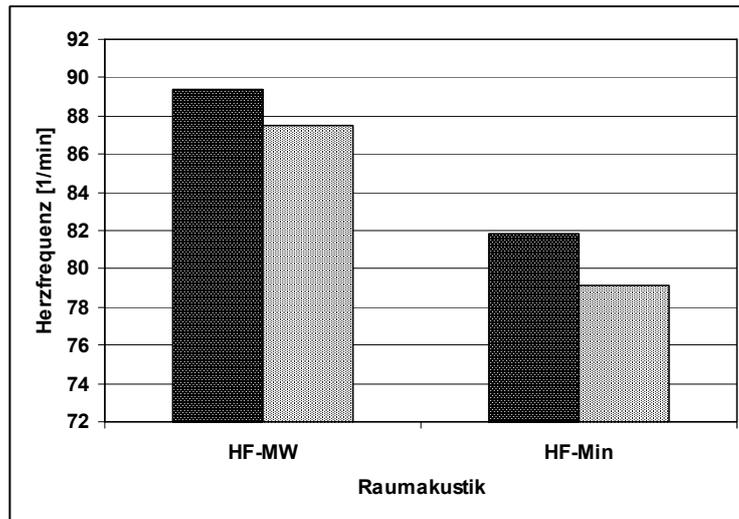


Abb. 5.112 Mittlere Beanspruchung für eine Person in der Grundschule Stichnathstraße, die unter beiden Bedingungen unterrichtet hat, gruppiert nach Klassenräumen im EG (■) und OG (▨);

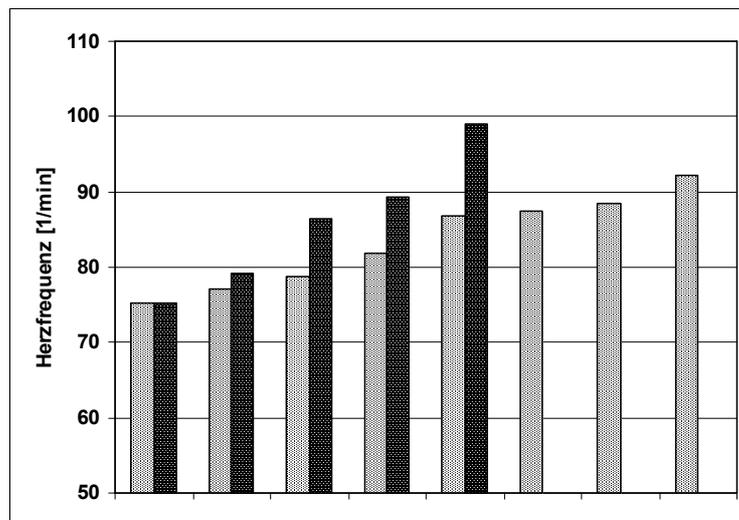


Abb. 5.113 Mittlere Beanspruchung einzelner Lehrerinnen und Lehrer, gruppiert nach den Klassenräumen, RT > 0,5 s (■) und RT < 0,5 s (▨); Grundschule Stichnathstraße

Eine Gegenüberstellung der Basisaktivierung (Abb. 5.114) ergibt, bis auf eine Ausnahme, das gleiche Bild, die Rangfolge stimmt in beiden Fällen exakt überein.

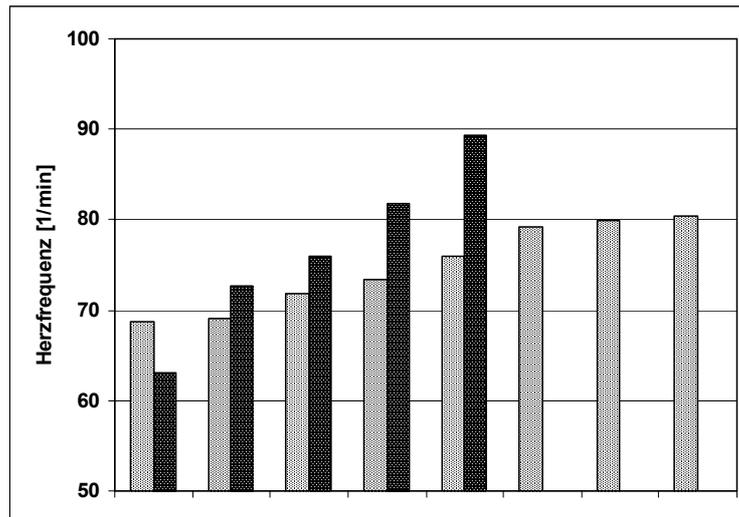


Abb. 5.114 Basisaktivierung im Unterricht einzelner Lehrerinnen und Lehrer, gruppiert nach den Klassenräumen, RT > 0,5 s (■) und RT < 0,5 s (□); Grundschule Stichnetstraße

Im Vergleich zu diesen Ergebnissen aus der Schule Stichnetstraße nun die Daten der Lehrerin aus der Baumberge-Schule. Der Vergleich der mittleren Beanspruchung und der Basisaktivierung im Unterricht ist in Abbildung 5.115 gegenübergestellt. Auch hier ergibt sich das gleiche Bild wie zuvor in Abbildung 5.112.

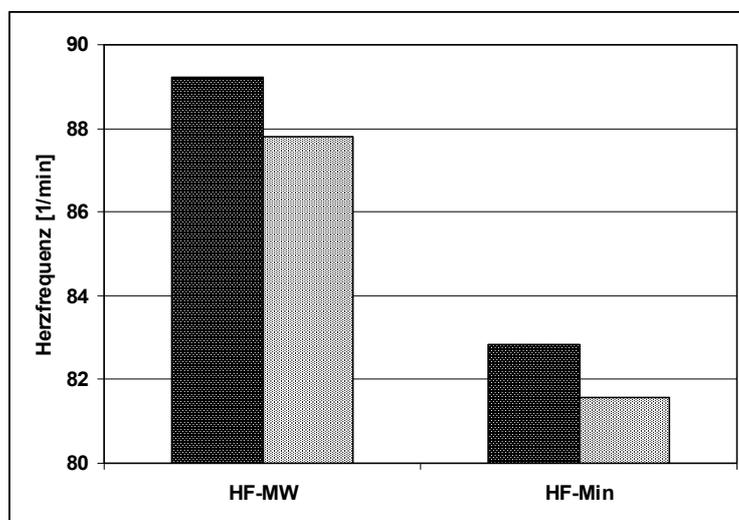


Abb. 5.115 Mittlere Beanspruchung (HF-MW) und Basisaktivierung (HF-Min) im Unterricht, gruppiert nach der Raumakustik vor (■) und nach (□) der Sanierung; Baumberge-Schule

Der einfache Vergleich von Mittelwerten stellt, insbesondere bei nicht normal verteilten Daten, wie wir sie bei der Herzfrequenz vorliegen haben, ein Problem dar. Hier liegt es nahe, sich mit der Verteilung der Daten etwas genauer auseinanderzusetzen. Basierend auf den 5min-Zeitabschnitten wird nachfolgend die Verteilung sowohl der mittleren Beanspruchung, die Arbeitswissenschaft spricht hier auch von Arbeitspuls, als auch der Basisaktivierung analysiert. Die Verteilung der mittleren Beanspruchung

aller Lehrerinnen und Lehrer der Grundschule Stichnathstraße ist in der Abbildung 5.116 dargestellt, die der einzelnen Lehrerin der Baumberge-Schule in Abbildung 5.117. Die Werte sind in beiden Grafiken gruppiert nach „guter“ ($RT < 0,5$ s) und „schlechter“ ($RT > 0,5$ s) Raumakustik.

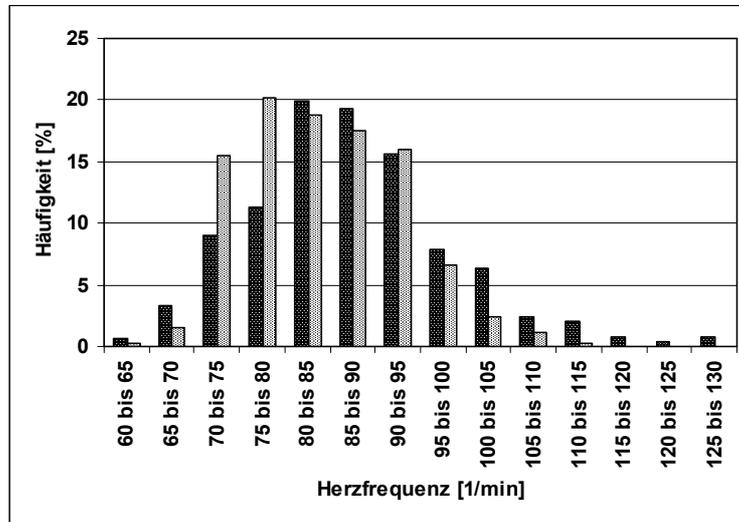


Abb. 5.116 Verteilung der mittleren Beanspruchung aller Lehrerinnen und Lehrer im Unterricht, gruppiert nach den Klassenräumen, $RT < 0,5$ s (▨) und $RT > 0,5$ s (▩); Grundschule Stichnathstraße

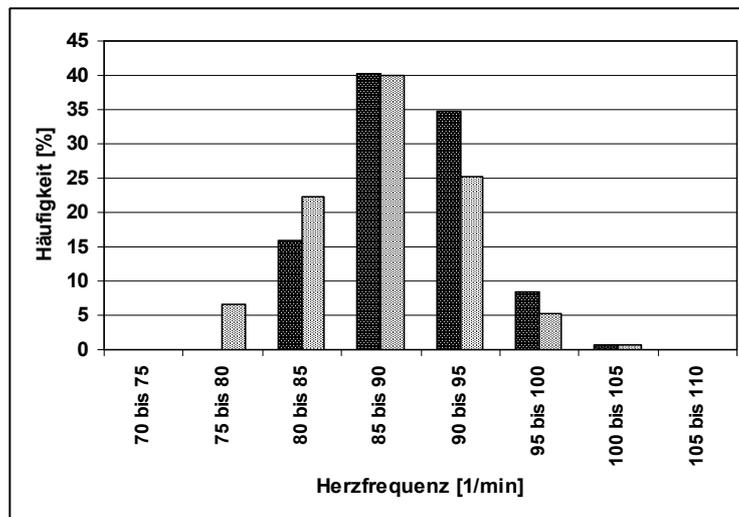


Abb. 5.117 Verteilung der mittleren Beanspruchung im Unterricht, gruppiert nach den Bedingungen, vor (▩) und nach (▨) Sanierung; Baumberge-Schule

Die Häufigkeitsverteilung der HF unter guter Raumakustik liegt ca. eine Klassenbreite (5 Schläge/min) niedriger als unter schlechter Raumakustik, die berechneten Median-Werte sind in Tabelle 5.3 dargestellt, wobei auch hier für einen genauen Vergleich wiederum Normalverteilung der Werte angenommen werden müsste, die aber nicht gegeben ist.

Der Unterschied in den beiden Verteilungen der Lehrerin aus der Baumberge-Schule fällt deutlich geringer aus, er macht sich lediglich in den Anteilen der beiden Klassen

neben dem Maximum bemerkbar (Abb. 5.117). In den Abbildungen 5.118 und 5.119 sind die entsprechenden Verteilungen der Basisaktivierung dargestellt.

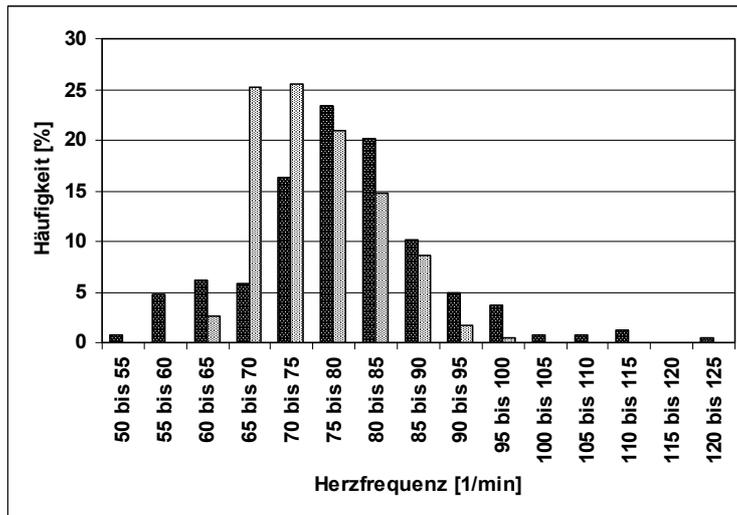


Abb. 5.118 Verteilung der Basisaktivierung im Unterricht aller Lehrerinnen und Lehrer, gruppiert nach den Klassenräumen, RT < 0,5 s (▨) und RT > 0,5 s (▩); Grundschule Stichnetstraße

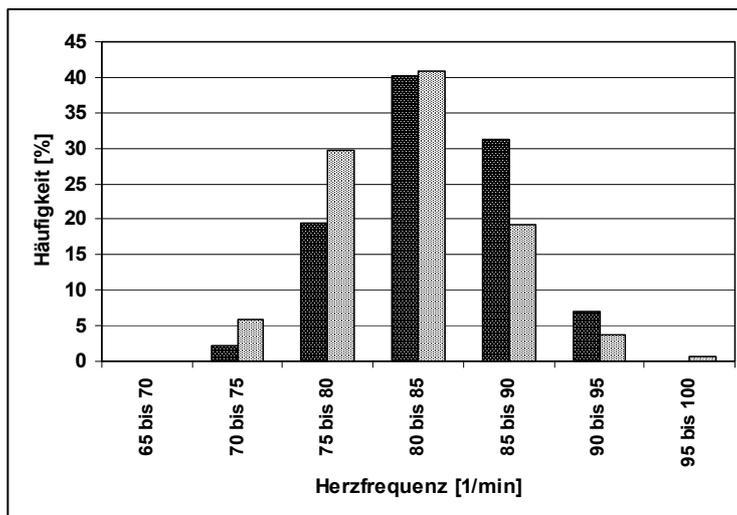


Abb. 5.119 Verteilung der Basisaktivierung im Unterricht, gruppiert nach den Bedingungen, vor (▩) und nach (▨) Sanierung; Baumberge-Schule

Während sich die Verteilung der Basisaktivierung in der Baumberge-Schule nicht von der der mittleren Beanspruchung unterscheidet, bezogen auf die Veränderung vor/nach der Sanierung, wohl aber im Niveau, wird der Unterschied in der Gruppe der Lehrerinnen und Lehrer der Grundschule Stichnetstraße deutlicher, er beträgt hier ca. 10 Schläge/min weniger unter guter Raumakustik.

Tab. 5.3 Medianwerte von Beanspruchung und Basisaktivierung der Grundschule Stichnetstraße (St) und Baumberge-Schule (Bb)

		Median [1/min]			
Nachhallzeit		Beanspruchung		Basisaktivierung	
Schule		St	Bb	St	Bb
RT > 0,5 s		84,7	88,5	76,0	83,0
RT < 0,5 s		83,7	87,9	74,0	82,0

Alle bisherigen Darstellungen machen keinen Unterschied bezüglich des Unterrichtstages und der Frage nach möglicher fortschreitender Ermüdung, wie bei fast allen Arbeitsprozessen zu beobachten. Der Einfluss von Unterrichtsfach und vereinzelt späterem Arbeitsbeginn kann hier nicht berücksichtigt werden, da die Zahl der hier erfassten Unterrichtsstunden mit $n = 156$ bei 12 Personen, 5 Unterrichtstagen und 5 Unterrichtsstunden je Tag zu klein ist.

Zunächst die Darstellung der mittleren Beanspruchung im Unterricht an der Grundschule Stichnetstraße in Abbildung 5.120.

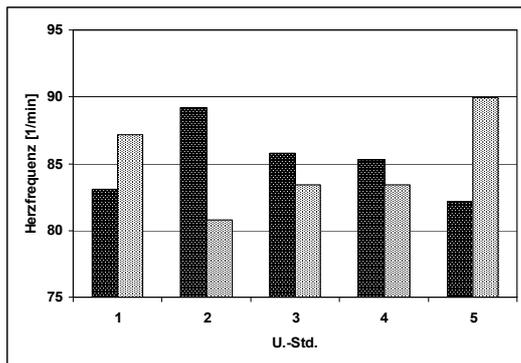


Abb. 5.120 Beanspruchung im Unterricht im Verlauf des Unterrichtstages, sortiert nach EG (■) und OG (□); Grundschule Stichnetstraße

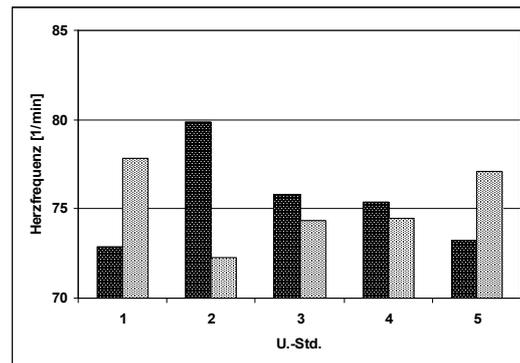


Abb. 5.121 Basisaktivierung im Unterricht im Verlauf des Unterrichtstages, sortiert nach EG (■) und OG (□); Grundschule Stichnetstraße

Der von der Tendenz gegenläufige Trend unter den Bedingungen im EG und OG der Schule erzeugt auf den ersten Blick den Eindruck von sinkender Beanspruchung unter akustisch schlechteren Bedingungen, zumindest ab der zweiten Unterrichtsstunde, im Gegensatz dazu die Zunahme der Beanspruchung unter akustisch besseren Bedingungen. Deutlich wird aber auch hier wieder die insgesamt niedrigere Beanspruchung, von den beiden Randstunden abgesehen, in der zweiten bis vierten Unterrichtsstunde. Die Frage nach der Ermüdung wird durch die Analyse der Basisaktivierung, dargestellt in Abbildung 5.121, beantwortet. Der Verlauf der Basisaktivierung entspricht genau dem der Beanspruchung im Unterricht, dies heißt aber, dass unter akustisch schlechteren Bedingungen (EG) ab der 2. Unterrichtsstunde eine deutliche Ermüdung einsetzt, im Gegensatz zur steigenden Aktivierung im OG.

Die Frage nach dem tatsächlichen Verlauf der Ermüdung bei einer Person unter verschiedenen raumakustischen Bedingungen kann jedoch nur am Beispiel der Lehrerin aus der Baumberge-Schule gezeigt werden, dargestellt in der Abbildung 5.120.

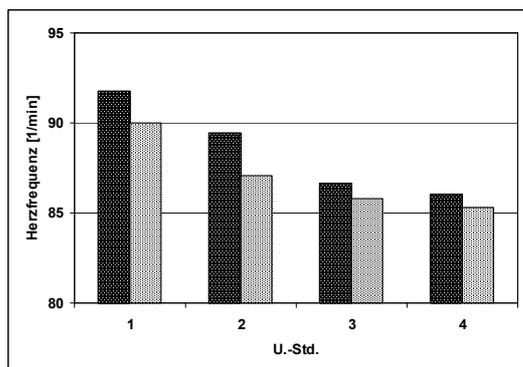


Abb. 5.122 Beanspruchung im Unterricht im Verlauf des Unterrichtstages, vor (■) und nach (▨) der Sanierung; Baumberge-Schule

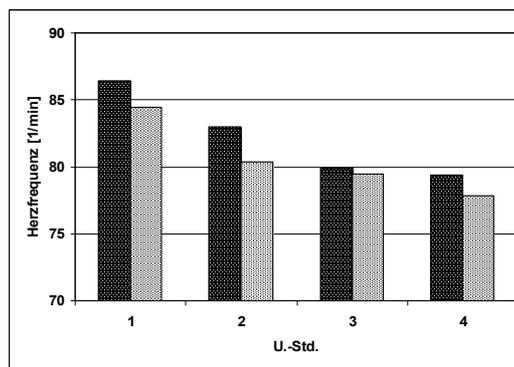


Abb. 5.123 Basisaktivierung im Unterricht im Verlauf des Unterrichtstages, vor (■) und nach (▨) der Sanierung; Baumberge-Schule

Dieser Verlauf der Beanspruchung induziert die Vermutung „stetig sinkende Beanspruchung“ vor und nach der Sanierung, d. h., die raumakustische Sanierung bewirkt hier keinen Unterschied bezüglich der Veränderung über den Tag betrachtet. Der in den Gesamt-Mittelwerten gefundene Unterschied zwischen „guten“ und „schlechten“ raumakustischen Situationen wird hier aber dennoch wieder sichtbar.

Der in Abbildung 5.123 dargestellte Verlauf der Basisaktivierung ist vor und nach der Sanierung tendenziell gleich, vor der Sanierung etwas größer als nachher. Vergleicht man nun aber den Verlauf von Beanspruchung und Basisaktivierung vorher und nachher miteinander, so bedeutet dies, dass der Arbeitsaufwand, definiert als

$$\text{Arbeitspuls} = \text{Beanspruchung} - \text{Basisaktivierung}$$

in beiden Fällen etwa gleich ist. Nach der Sanierung bewegt er sich jedoch auf einem durchgängig niedrigeren, d. h. entspannteren Niveau. Hinzu kommt der deutlich größere Ermüdungsabfall von der 1. zur 4. U.-Std. vor der Sanierung. Die besseren akustischen Bedingungen bewirken demnach doch einen geringeren Ermüdungsprozess.

Die Frage nach Ermüdungsprozessen kann mit dem vorliegenden Datenmaterial nur unvollständig beantwortet werden, da dies bei der ursprünglichen Projektplanung zu Beginn methodisch nicht berücksichtigt wurde. So wie zuvor bereits dargestellt, weist ein Anstieg der Herzfrequenz auf Aktivierung, ein Abfall dagegen auf Ermüdung hin. In den beiden letzten Abbildungen 5.122 und 5.123 wird ein Ermüdungsprozess über den Vormittag hin aufgezeigt. Überträgt man dieses Prinzip nun auf Zeitabschnitte von 5 min, so kann der Trend der Herzfrequenz in diesen Zeitabschnitten sehr vereinfacht unterteilt werden in:

Positiver Trend → Aktivierung
Negativer Trend → Ermüdung

In Abbildung 5.124 ist eine summarische Darstellung des HF-Trend_{5min} über alle beobachteten Zeitabschnitte aller Lehrerinnen und Lehrer der Grundschule Stichnathstraße dargestellt, lediglich unterteilt nach den akustischen Bedingungen der Klassenräume. Während unter akustisch schlechteren Bedingungen (EG) der Anteil an Ermüdung mit 54 % deutlich überwiegt (gegenüber 46 % Anteil Aktivierung), ist das Verhältnis unter akustisch besseren Bedingungen ausgeglichen. Durch die Summation über alle Personen gehen hier wieder individuelle Eigenschaften verloren.

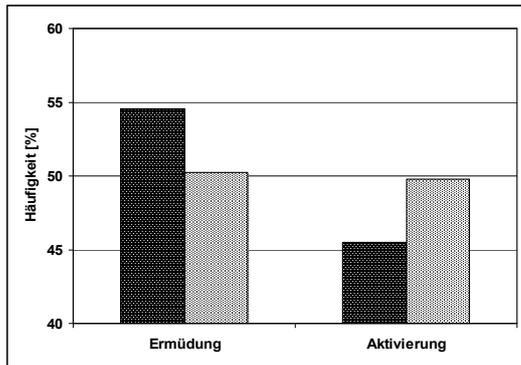


Abb. 5.124 Häufigkeitsverteilung positiver und negativer HF-Trends unter unterschiedlichen akustischen Bedingungen, EG (■) und OG (▨); Grundschule Stichnathstraße

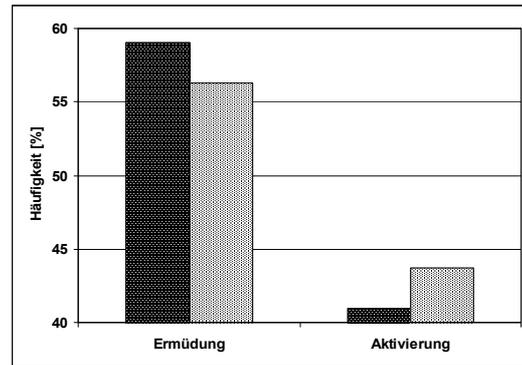


Abb. 5.125 Häufigkeitsverteilung positiver und negativer HF-Trends unter unterschiedlichen akustischen Bedingungen, vor (■) und nach (▨) Sanierung; Baumberge-Schule

Der Vergleich für die Lehrerin an der Baumberge-Schule vor und nach der Sanierung ergibt ein zwar etwas verschobenes, tendenziell aber gleiches Bild. Während vor der Raumsanierung das Verhältnis von Ermüdung zu Aktivierung 58 % zu 42 % war, ist es nach der Sanierung 56 % zu 44 %, also ein leichter Gewinn an Aktivierung bzw. eine geringere Ermüdung (Abb. 5.125).

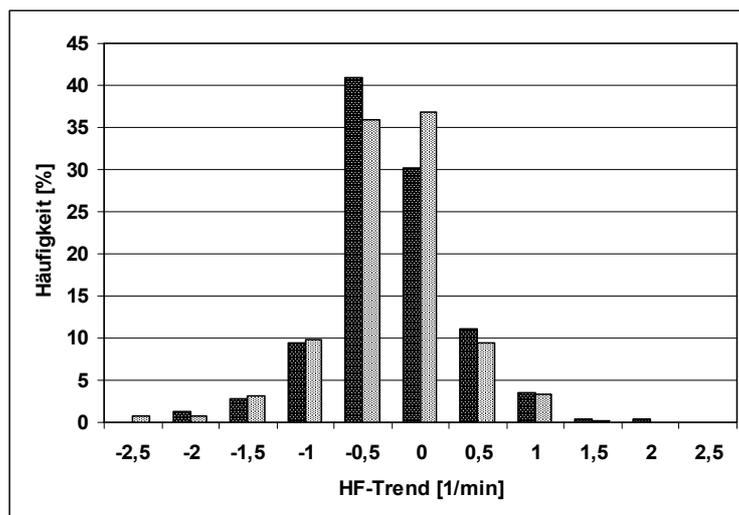


Abb. 5.126 Häufigkeitsverteilung der HF-Trend-Werte über alle Lehrerinnen und Lehrer, gruppiert nach EG (■) und OG (▨); Grundschule Stichnathstr.

Um die Frage der Ermüdung etwas detaillierter analysieren zu können, wird der HF-Trend_{5min} auf seine Amplitude hin geprüft, d. h. dargestellt in einer Häufigkeitsverteilung. Für die Grundschule Stichnetstraße in Abbildung 5.126 dargestellt.

Der zuvor in der summarischen Darstellung gefundene Unterschied zwischen Ermüdung und Aktivierung spiegelt sich auch hier wider. Da in der Skalierung der Klassen jeweils die Untergrenzen dargestellt sind, bedeutet dies für die Klasse „-0,5“-Werte zwischen -0,5 und 0 bzw. für die Klasse „0“-Werte zwischen 0 und 0,5. Für das EG finden wir demnach das Maximum der Verteilung im Ermüdungsbereich, für das OG dagegen ausgewogen zwischen Ermüdung und Aktivierung.

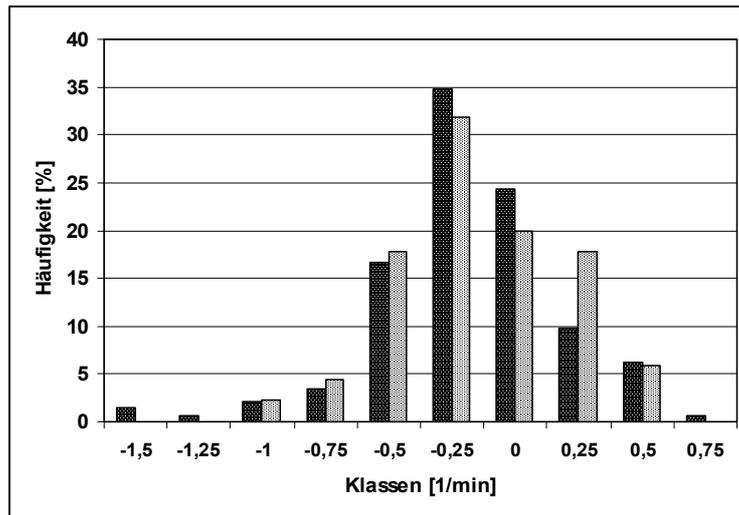


Abb. 5.127 Häufigkeitsverteilung der HF-Trend-Werte über alle U.-Std., gruppiert vor (▨) und nach (▩) Sanierung; Baumberge-Schule

In Abbildung 5.127 ist die entsprechende Verteilung für die Lehrerin der Baumberge-Schule vor und nach der Sanierung dargestellt. Wie in der zusammenfassenden Darstellung bleibt das Maximum der Verteilung nach der Sanierung im Ermüdungsbereich, dennoch ist eine deutliche Zunahme von Aktivierungsanteilen unter den verbesserten raumakustischen Bedingungen zu erkennen. In beiden Darstellungen ist die Ermüdung über den Schulvormittag mit enthalten.

Die Aufschlüsselung der Daten nach Unterrichtsstunden im Tagesverlauf ergibt für die im EG der Grundschule Stichnetstraße unterrichtenden Lehrerinnen und Lehrer die folgende Verteilung von Ermüdung und Aktivierung (Abb. 5.128).

Dabei überwiegt bei 4 von 5 Unterrichtsstunden (mit Ausnahme der 3. Unterrichtsstunde) der Ermüdungsanteil, wobei zur 5. Unterrichtsstunde hin eine leichte Zunahme von Aktivierungsanteilen zu beobachten ist. Im Gegensatz dazu zeigen die Daten aus dem OG (Abb. 5.129) eine deutliche Zunahme der Aktivierungsanteile über den gesamten Vormittag, sodass in der 4. und 5. Unterrichtsstunde sogar der Aktivierungsanteil mit Werten > 50 % überwiegt.

Für die einzelne Lehrerin an der Baumberge-Schule ergibt sich ein ähnliches Bild wie zuvor (Abb. 5.130). Der insgesamt höhere Anteil an Ermüdung, wie bereits in der Summe dargestellt, bleibt zwar erhalten, der Verlauf ist aber ähnlich der Gruppe aus der Grundschule Stichnetstraße: Tendenziell ist eine Verringerung der Ermüdung über den Vormittag sichtbar.

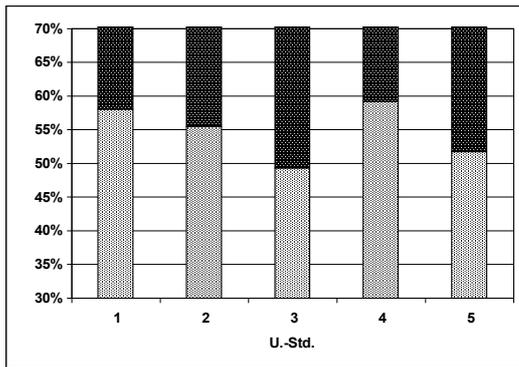


Abb. 5.128 Anteile von Ermüdung (◐) und Aktivierung (◑) im Tagesverlauf im EG der Schule Stichnathstraße (RT > 0,5 s)

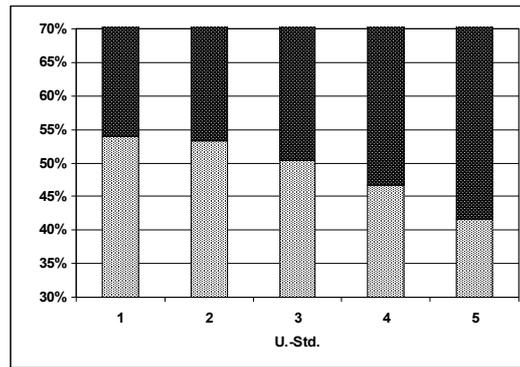


Abb. 5.129 Anteile von Ermüdung (◐) und Aktivierung (◑) im Tagesverlauf im OG der Schule Stichnathstraße (RT < 0,5 s)

Auffällig ist hier die starke Zunahme von Ermüdungsanteilen in der 2. und 3. Unterrichtsstunde auf über 60 %, bezogen auf den Zeitraum vor der Sanierung. Unter den guten raumakustischen Bedingungen nach der Sanierung ergibt sich hier eine deutlich veränderte Verteilung (Abb. 5.131).

Die im größeren Datensatz der Grundschule Stichnathstraße gefundene Zunahme von Aktivierungsanteilen über den Vormittag unter den guten raumakustischen Bedingungen bestätigt sich also auch im Einzelfall.

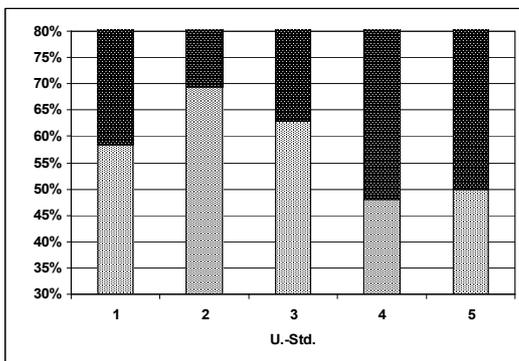


Abb. 5.130 Anteile von Ermüdung (◐) und Aktivierung (◑) im Tagesverlauf vor der Sanierung (RT > 0,5 s); Baumberge-Schule

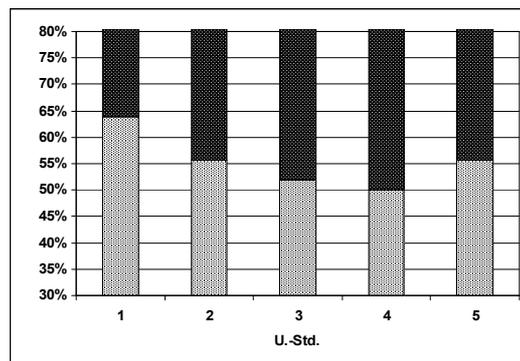


Abb. 5.131 Anteile von Ermüdung (◐) und Aktivierung (◑) im Tagesverlauf nach der Sanierung (RT < 0,5 s); Baumberge-Schule

In der Summe bleibt festzuhalten, dass unter besseren raumakustischen Bedingungen eine Verringerung der Beanspruchung, zumindest der Lehrerinnen und Lehrer, festzustellen ist. Und das sowohl bezogen auf die Basisaktivierung als auch auf die absolute Beanspruchung. Hinzu kommt eine deutliche Abnahme von Ermüdungsprozessen, verbunden mit einem Aktivierungsgewinn. Im Sinne des Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes kann hier der Rückschluss aus der reduzierten Beanspruchung gezogen werden: Eine Verbesserung der Raumakustik stellt eine Reduzierung der Belastung dar!

5.2.2.2 Analyse der Herzfrequenz in Abhängigkeit von der Arbeitsform

Ausgehend von dem Belastungs-Beanspruchungs-Modell der Arbeitswissenschaft (vgl. Kapitel 1.1) setzt sich die Belastung des Menschen nicht nur aus den ergonomischen Umgebungsbedingungen zusammen, sondern ebenso aus der Arbeitsaufgabe bzw. Tätigkeit und den damit verbundenen Anforderungen und Aktivitäten, wie sie u. a. in dem „Transaktionalen Stressmodell“ nach LAZARUS beschrieben werden.

Bezogen auf den Unterricht in der Schule bedeutet dies neben einer Redefinition der Vorgaben aus Schulgesetz und Lehrplan die praktische Durchführung des Unterrichtens, so wie es durch die Unterrichtsbeobachtung im Detail festgehalten wurde (vgl. Kap. 2). Es liegt also nahe zu fragen, ob das (aktive?) frontale Unterrichten mehr beansprucht als z. B. das Beaufsichtigen von differenzierten Arbeitsformen.

Für einen ersten Überblick werden in Abbildung 5.132 die zusammengefassten Daten der Lehrerinnen und Lehrer der Schule Stichnetstraße – gemittelt nach der Unterrichtsform und den jeweiligen Redeanteilen sowie gruppiert nach größerem und kleinerem Anteil – dargestellt.

Bezogen auf die Form des Unterrichts ergibt sich aus dieser ersten Zusammenstellung kein erkennbarer Unterschied in der Beanspruchung. Die frontalunterrichtlich geprägten Arbeitsphasen stellen für die Lehrkräfte in etwa die gleiche Belastung dar wie die Phasen mit differenzierten Arbeitsformen. Ein deutlicher Unterschied ergibt sich jedoch bei der Unterscheidung der Redeanteile: Ein hoher Anteil eigener Rede (Lehrerrede) ergibt eine deutlich höhere Beanspruchung als ein geringerer Anteil. Im Gegensatz dazu ist die Beanspruchung durch das Zuhören bei hohem Anteil Schülerrede geringer. Eine mögliche Interpretation: Zuhören beansprucht weniger als selbst Reden.

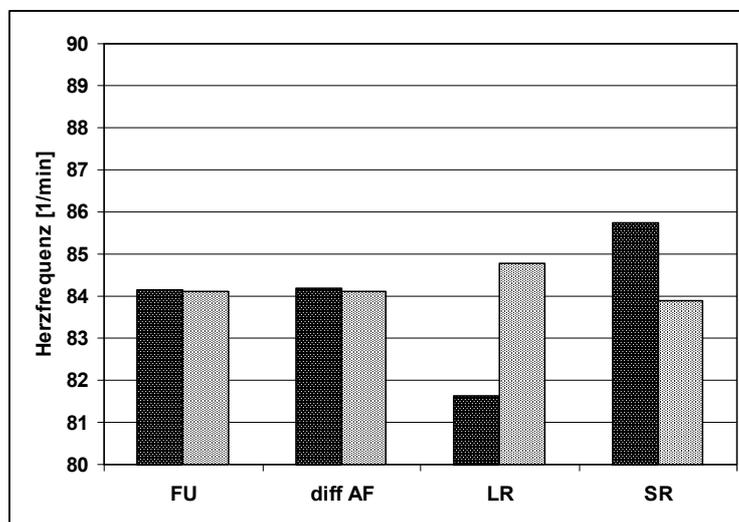


Abb. 5.132 Mittlere Beanspruchung im Unterricht, Anteil Unterrichtsform/Rede, Anteil < 50 % (■), Anteil > 50 % (▨), (n = 12 Lehrerinnen/Lehrer); Schule Stichnetstraße

Die gleiche Datenanalyse, bezogen auf die Lehrerin aus der Baumberge-Schule (Abb. 5.133), zeigt mehr.

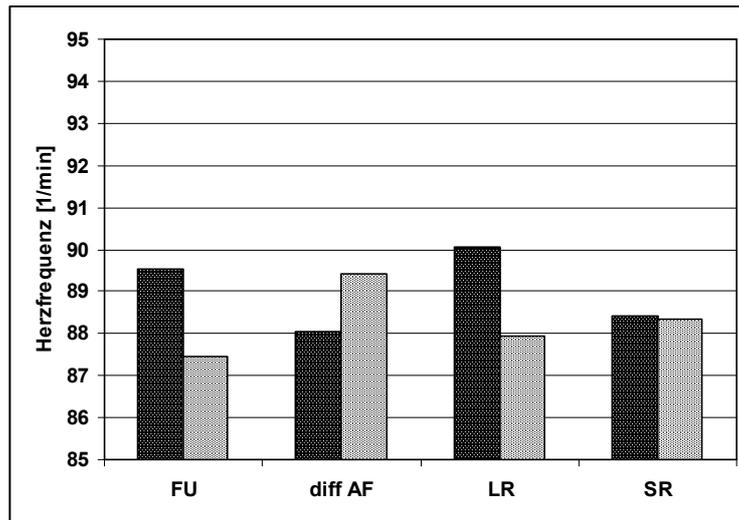


Abb. 5.133 Mittlere Beanspruchung im Unterricht, Anteil Unterrichtsform/Rede, Anteil < 50 % (▨), Anteil > 50 % (▩), (n = 1 Lehrerin); Baumberge-Schule

Neben der individuellen Veränderung durch die Veränderung der akustisch-ergonomischen Arbeitsbedingungen (vor und nach der Sanierung) wird anhand der Datenlage auch die individuelle Präferenz dieser einen Pädagogin für „ihren“ persönlichen Unterrichtsstil greifbar. Für die Lehrerin stellt der überwiegende Frontalunterricht eine deutlich geringere Beanspruchung dar als differenzierte Arbeitsformen. Die Hintergründe bleiben spekulativ. Möglicherweise zeigt sich hier die höhere Belastung durch Verteilung der Aufmerksamkeit auf mehrere Schülergruppen im Gegensatz zu einer einheitlichen Aufgabe bei Frontalunterricht. Möglicherweise bedeutet der frontal geführte Unterricht aber auch einfach ein höheres Maß an Kontrolle, und die dadurch gewonnene Sicherheit trägt zur Entspannung bei. Dazu würde der Befund hinsichtlich der Redeanteile passen. Je mehr die Lehrerin selbst redet, desto geringer ihre Beanspruchung. Eine Unterscheidung nach dem Redeanteil der Schüler ergibt allerdings keinen erkennbaren Unterschied.

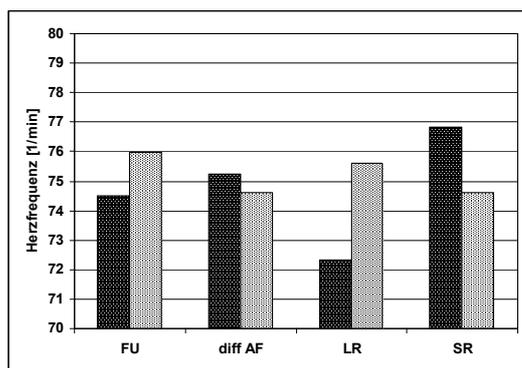


Abb. 5.134 Mittlere Basisaktivierung im Unterricht, Anteil Unterrichtsform/Rede, Anteil < 50 % (▨), Anteil > 50 % (▩), (n = 12 Lehrerinnen/Lehrer); Grundschule Stichnetstraße

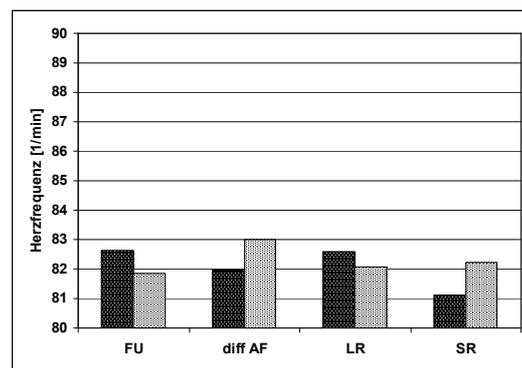


Abb. 5.135 Mittlere Basisaktivierung im Unterricht, Anteil Unterrichtsform/Rede, Anteil < 50 % (▨), Anteil > 50 % (▩), (n = 1 Lehrerin); Baumberge-Schule

Bezieht man nun die gleiche Fragestellung nicht auf die mittlere Beanspruchung, sondern auf die Basisaktivierung, sozusagen die Grundanspannung, so ergibt sich ein leicht abweichendes Bild, insbesondere auf die Arbeitsform bezogen. Bei der Gruppe der Lehrerinnen und Lehrer aus der Grundschule Stichnetstraße (Abb. 5.134) fällt auf, dass es nun doch einen Unterschied zwischen Frontalunterricht und differenzierter Arbeitsform gibt: Ein höherer Anteil von Frontalunterricht generiert auch eine höhere Basisaktivierung. Möglicherweise schlägt sich hier nieder, dass die Anspannung bei der synchronen Arbeitsform größer ist als bei der Anleitung kleinerer Arbeitseinheiten.

Diese über die gesamte Gruppe gemittelte Darstellung verdeckt jedoch eventuell unterschiedliche Reaktionen bei den einzelnen Personen. Daher im Vergleich dazu wiederum die Daten der Lehrerin aus der Baumberge-Schule (Abb. 5.135). Die Basisaktivierung der Lehrerin in den beiden Unterrichtsformen ist in ihrer mittleren Beanspruchung (Abb. 5.133) im Verhältnis durchaus ähnlich. Bemerkenswert ist allenfalls der Anstieg der Grundanspannung bei einem höheren Anteil Schülerrede (was möglicherweise eine Erklärung der höheren mittleren Beanspruchung in Phasen mit geringerer Lehrerrrede sein kann). Absolut gesehen ist die Basisaktivierung der Pädagogin jedoch nur wenig von der Arbeitsform beeinflusst – die Abweichungen bewegen sich allesamt in einer Größenordnung von maximal 1 Schlag pro Minute.

Die hier dargestellten Reaktionen auf die Phasen mit unterschiedlichen Arbeitsformen bzw. Redeanteilen von Lehrer und Schülern scheinen für die Lehrerin in der Baumberge-Schule fast gegensätzliche Ergebnisse zu geben als für ihre Kollegen in der Grundschule Stichnetstraße. Ob dies jedoch in der individuellen Konstitution der einen Lehrerin durch die unterschiedlichen pädagogischen Stile der Schulen (und damit einem bestimmten Reaktionsmuster bei den Lehrerinnen und Lehrern in der Stichnetstraße) begründet ist, lässt sich auf dieser Datenbasis nicht klären, dazu bedürfte es einer umfangreicheren Vergleichsstudie mit einem anderen Design.

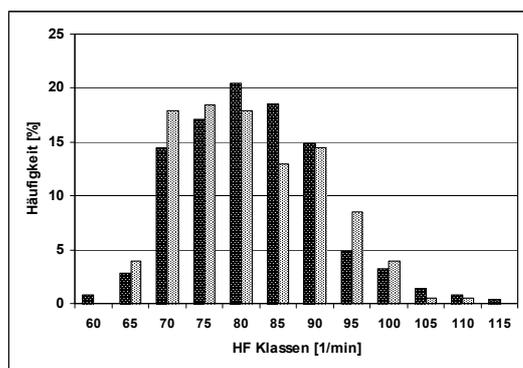


Abb. 5.136 Häufigkeitsverteilung der HF-MW_{5min}, sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil FU, Anteil < 50 % (▨), Anteil > 50 % (▩), (n = 12 Lehrerinnen/Lehrer); Grundschule Stichnetstraße

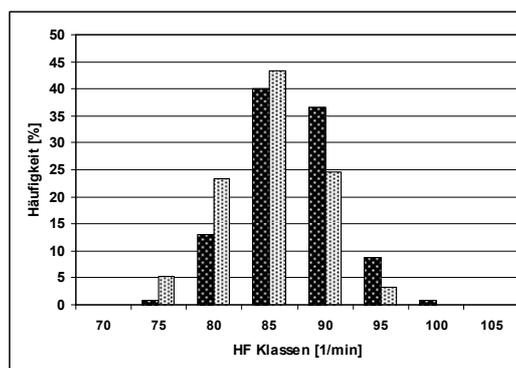


Abb. 5.137 Häufigkeitsverteilung der HF-MW_{5min}, sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil FU, Anteil < 50 % (▨), Anteil > 50 % (▩), (n = 1 Lehrerin); Baumberge-Schule

Natürlich kann eine Darstellung von Mittelwerten der gemessenen Beanspruchung lediglich orientierenden Charakter haben. Zur Beantwortung der gestellten Leitfragen ist jedoch eine genauere Analyse notwendig. So sollen die HF-Daten im Nachfolgenden in ihrer Verteilung analysiert werden, jeweils bezogen auf die Unterrichtsform

bzw. die Redeanteile. Wie oben werden auch in diesem Schritt die Daten der Lehrerin aus der Baumberge-Schule und die Summe der Daten der 12 Lehrerinnen und Lehrer der Grundschule Stichnetstraße getrennt ausgewertet.

Was bei den Mittelwerten in der Zusammenfassung noch nicht erkennbar war, wird in diesem Analyseschritt sichtbar: Die Verteilung der Beanspruchung im Unterricht (Abb. 5.136) zeigt eine leichte, aber messbare Verschiebung der Verteilung zu niedrigeren Werten bei Phasen mit höherem Anteil Frontalunterricht. Tatsächlich fällt also die Lehrerin in der Baumberge-Schule nicht aus der Rolle (Abb. 5.137; aber auch noch einmal Abb. 5.133): Ein höherer Anteil Frontalunterricht (> 50 %) erzeugt offenbar auch bei den Kolleginnen und Kollegen in der Grundschule Stichnetstraße eine etwas geringere Beanspruchung als andere Formen des Unterrichtens. Etwaige Deutungsmuster siehe oben.

Infolge dieser Überlegungen muss die Beanspruchung in Phasen mit anderen Formen als Frontalunterricht dementsprechend höher sein. Tatsächlich lässt sich der Zusammenhang mit differenzierten Arbeitsformen in den Abbildungen 5.138 und 5.139 sowohl für die Grundschule Stichnetstraße als auch für die Baumberge-Schule festmachen.

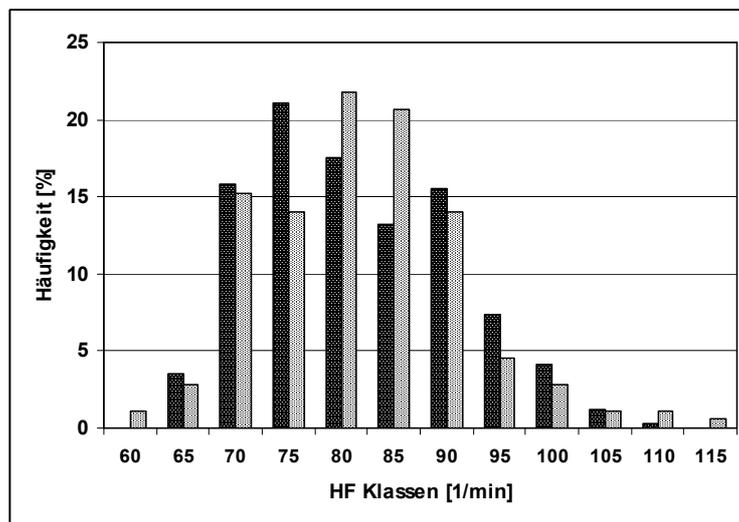


Abb. 5.138 Häufigkeitsverteilung der HF-MW_{5min}, sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil diffAF, Anteil < 50 % (▨), Anteil > 50 % (▩), (n = 12 Lehrerinnen und Lehrer); Schule Stichnetstraße

Besonders beim Datensatz der Grundschule Stichnetstraße ist der Unterschied zwischen der Beanspruchung durch differenzierte Arbeitsformen (> 50 %) und nicht-differenzierte Arbeitsformen (< 50 %) deutlich sichtbar (Abb. 5.138). Die Verschiebung beträgt hier mindestens eine Klassenbreite, d. h. über 5 Schläge pro Minute. Das bedeutet, dass die immer wieder geforderten „modernen“ Unterrichtsformen – Partner-, Gruppen- oder Projektunterricht – die Lehrerinnen und Lehrer objektiv messbar physiologisch stärker belasten als der klassische Frontalunterricht.

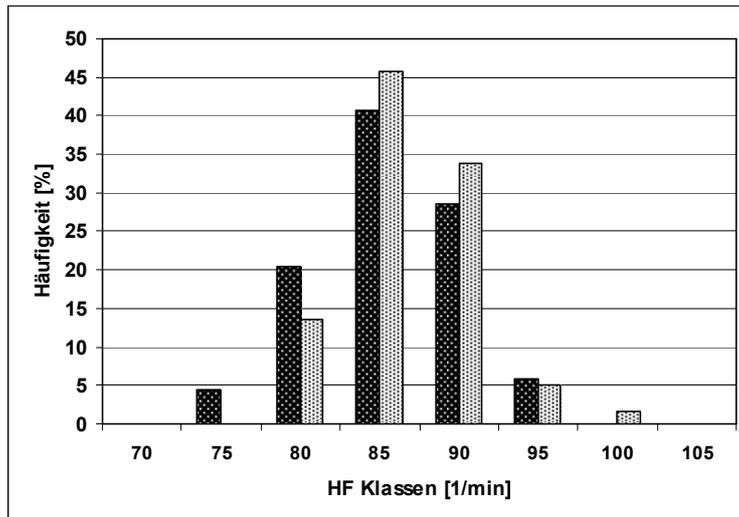


Abb. 5.139 Häufigkeitsverteilung der HF-MW_{5min}, sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil diffAF, Anteil < 50 % (▨), Anteil > 50 % (▩), (n = 1 Lehrerin); Baumberge-Schule

Erstaunlicherweise fiel gerade bei der Einzelfallanalyse aus der Baumberge-Schule dieser Unterschied geringer aus, war von der Tendenz aber identisch (Abb. 5.139). Möglicherweise ist der geringere Unterschied an dieser Schule bzw. bei dieser Person jedoch darauf zurückzuführen, dass der absolute zeitliche Anteil diffAF insgesamt ohnehin sehr niedrig ist. Dennoch bleibt festzuhalten: In Phasen mit hohem zeitlichen Anteil diffAF > 50 % ist die Beanspruchung der Lehrkraft deutlich höher als in anderen Phasen, es wird mehr Aufmerksamkeitsleistung, vor allem verteilte Aufmerksamkeit, von den Lehrerinnen und Lehrern verlangt, als bei dem frontalen Unterrichten.

In einem nächsten Schritt bleibt die Frage zu klären, ob sich diese Differenzen in der Beanspruchung auch in der Grundanspannung der Lehrkraft, gemessen als Basisaktivierung, niederschlagen. Es geht dabei um nicht weniger als die Frage, mit welcher Grundhaltung sich die Lehrkräfte einer bestimmten Arbeitsform nähern. In den Abbildungen 5.140 und 5.141 wird analog die Häufigkeitsverteilung der Basisaktivierung in Phasen niedrigerer (< 50 %) und höherer (> 50 %) Anteile differenzierter Arbeitsformen für alle Lehrerinnen und Lehrer der Grundschule Stichnetstraße sowie der Kollegin in der Baumberge-Schule dargestellt: Tatsächlich ergibt sich für die Basisaktivierung in beiden Schulen praktisch die gleiche Verteilung wie bei der mittleren Beanspruchung.

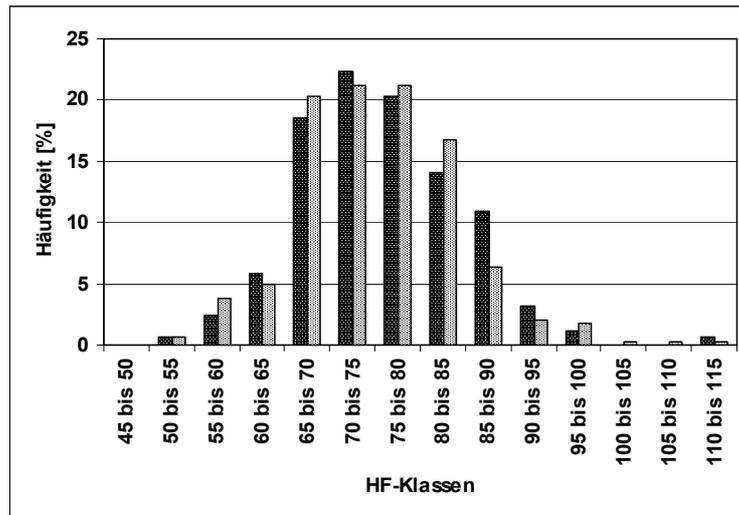


Abb. 5.140 Häufigkeitsverteilung der Basisaktivierung HF-min_{5min}, sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil diffAF, Anteil < 50 % (■), Anteil > 50 % (▨), (n = 12 Lehrerinnen und Lehrer); Grundschule Stichnathstraße

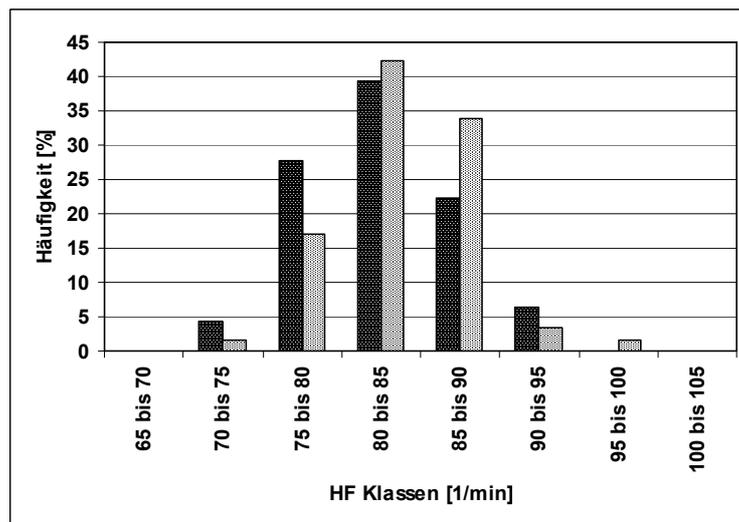


Abb. 5.141 Häufigkeitsverteilung der Basisaktivierung HF-min_{5min}, sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil diffAF, Anteil < 50 % (■), Anteil > 50 % (▨), (n = 1 Lehrerin); Baumberge-Schule

Die Analyse der Einzeldaten aus der Baumberge-Schule (Abb. 5.141) zeigt dabei noch einmal deutlich, wie viel entspannter die Lehrerin in nicht-differenzierten Unterrichtsphasen arbeitet. Die Verschiebung der Häufigkeiten ist hier am deutlichsten sichtbar. Wie zuvor bereits dargestellt, machen die Phasen mit Frontalunterricht auch den weitaus größeren zeitlichen Anteil im Unterricht aus. Eine mögliche Interpretation wäre demnach hier in der Weise denkbar, dass das frontale Unterrichten die gewohnte Arbeitsform ist und von daher eine geringere Belastung darstellt. Ein möglicher weiterer Einflussfaktor kann hier nicht berücksichtigt werden, Belastung durch motorische Aktivität: Stehen beim Frontalunterricht und Gehen zu den Arbeitsgruppen. Dies wurde nicht mit protokolliert.

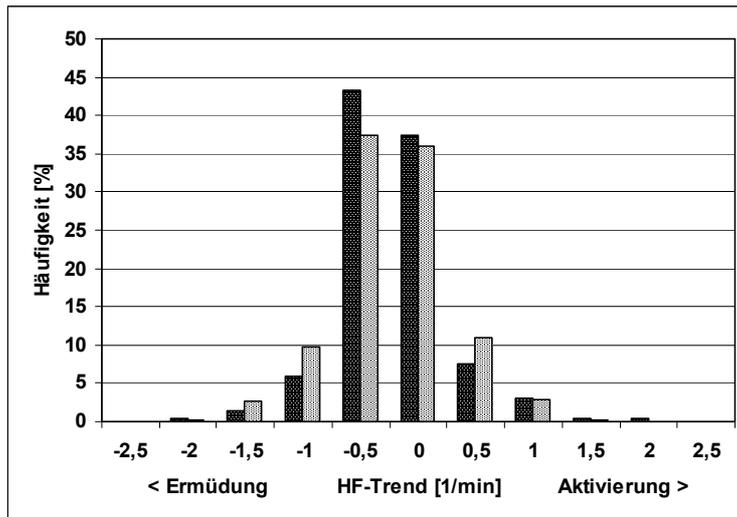


Abb. 5.142 Häufigkeitsverteilung des HF-Trend_{5min}, sortiert nach Phasen mit überwiegendem Anteil FU (■) bzw. diffAF (□), Schule Stichnetstraße n = 12

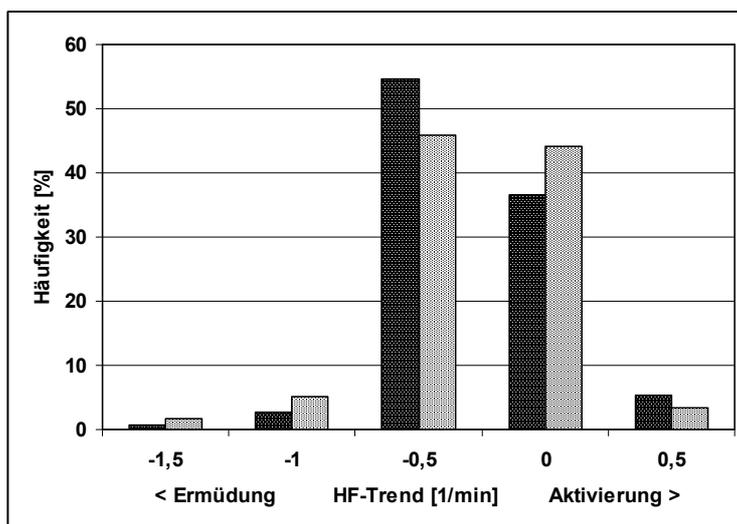


Abb. 5.143 Häufigkeitsverteilung des HF-Trend_{5min}, sortiert nach Phasen mit überwiegendem Anteil FU (■) bzw. diffAF (□), Baumberge-Schule n = 1

Die zentrale Frage ist schließlich die nach der Auswirkung der unterschiedlichen Arbeitsformen auf Ermüdung bzw. Aktivierung der Lehrerin bzw. des Lehrers. Hierüber gibt wiederum die Verteilung des HF-Trend_{5min} Auskunft. In Abbildung 5.142 sind die Daten – wieder sortiert nach Phasen mit überwiegendem Anteil Frontalunterricht und differenzierter Arbeitsform – erneut für alle Lehrerinnen und Lehrer der Grundschule Stichnetstraße dargestellt, in Abbildung 5.143 für die Lehrerin der Baumberge-Schule.

Dabei lässt sich in beiden Schulen, besonders deutlich in der Baumberge-Schule, in den Phasen mit überwiegendem Anteil Frontalunterrichts ein leichter Trend zu stärkerer Ermüdung feststellen. Insgesamt sind die Anteile von Ermüdung und Aktivierung jedoch, vor allem in der Grundschule Stichnetstraße, überraschend ähnlich. Was bedeutet, dass dort – jedenfalls im Durchschnitt aller Lehrkräfte – keine der bei-

den Arbeitsformen auffallend mehr zu Ermüdung oder Aktivierung beiträgt als die andere.

Festzuhalten bleibt abschließend, dass differenzierte Arbeitsformen zu einer höheren Beanspruchung führen als frontale Unterrichtsformen, was zum Teil auf die vermehrte Aufmerksamkeitsleistung zurückzuführen ist. Mehrere Arbeitsgruppen müssen gleichzeitig kontrolliert und möglicherweise im Wechsel unterstützt werden. Bei frontalem Unterrichten ist die zu kontrollierende Gruppe größer, d. h. die gesamte Klasse, dafür ist die volle Aufmerksamkeit nur für eine Gruppe notwendig.

5.2.2.3 Analyse der Herzfrequenz in Abhängigkeit von den Redeanteilen

Nach der Filterung mittels der Unterrichtsform soll es im Folgenden um die Frage gehen, ob sich die Beanspruchung der Lehrkräfte grundsätzlich an bestimmten Kommunikationsmerkmalen festmachen lässt.

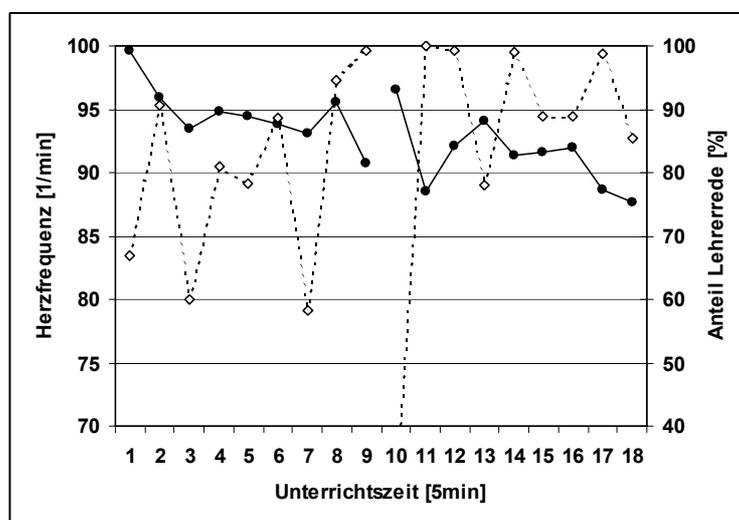


Abb. 5.144 Verlauf von Anteil LR (◇) und mittlerer Beanspruchung (●) über zwei U.-Std. (Beispiel aus der Baumberge-Schule)

Konkret: Welche Art der Kommunikation ist – unabhängig von ihrem Inhalt – für die Lehrer stärker beanspruchend und welche weniger? Für eine erste Näherung an die Fragestellung ist in Abbildung 5.144 der Verlauf der Redeanteile einer Lehrerin und deren mittlere Beanspruchung am Beispiel der ersten und zweiten Unterrichtsstunde eines Schultages synchron dargestellt.

Im Folgenden soll der Bedeutung der Redeanteile im Unterricht für die Beanspruchung der Lehrer detaillierter nachgegangen werden. In Abbildung 5.145 ist die mittlere Beanspruchung der Lehrerinnen und Lehrer beider Schulen für die Phasen mit geringem (< 50 %) und höherem (> 50 %) Redanteil dargestellt.

Wie zu erwarten war, ist die Beanspruchung für die Lehrerinnen und Lehrer der Grundschule Stichnetstraße in Phasen hoher Redeanteile für die Lehrer größer als in Phasen mit geringerem Redeanteil. Betrachtet man dies nun aber bezogen auf die Phasen mit niedrigem bzw. hohem Redeanteil der Schüler, so ergibt sich zwar ein entsprechendes Bild, aber auf einem deutlich höheren Niveau, d. h., in Phasen mit niedrigem Anteil SR ist die Beanspruchung noch höher als in Phasen mit hohem An-

teil LR. Dies sind offensichtlich Phasen, in denen eine weitere Belastung auf die Lehrer einwirkt. In diesem Zusammenhang ist noch einmal wichtig zu erwähnen, dass die Phasen mit wenig LR keineswegs identisch sind mit den Phasen mit viel SR oder umgekehrt!

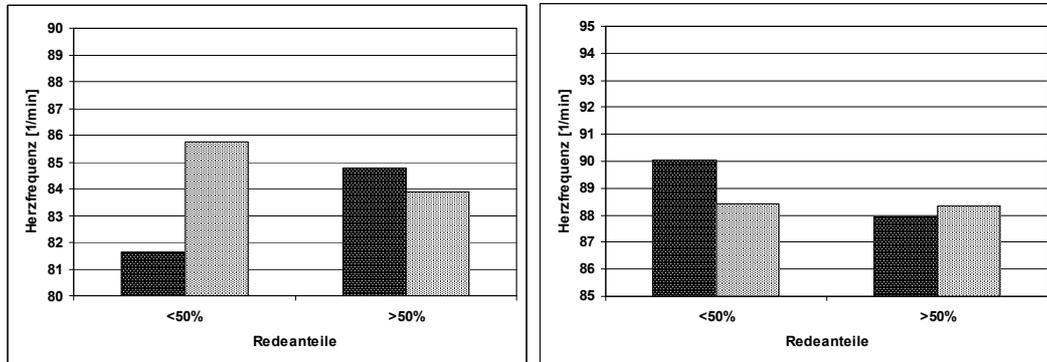


Abb. 5.145 Mittlere Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile Lehrer (■) und Schüler (▨), links Schule Stichnathstraße (n = 12), rechts Baumberge-Schule (n = 1)

Für die Daten der einzelnen Lehrerin an der Baumberge-Schule ergibt sich erneut ein Bild, welches nicht zu dem des Kollegiums aus der Stichnathstraße passt (Abb. 5.145 rechts). Zwar ist hier die Beanspruchung, zumindest in der Mittelwertdarstellung, weitgehend unabhängig von dem Anteil der SR, sie steigt aber deutlich an, wenn die Lehrerin selbst wenig redet. Am wenigsten beansprucht ist sie hingegen, wenn sie selbst die hohen Redeanteile (und damit die Kontrolle über das Geschehen?) hat. Dies entspricht den zuvor gemachten Aussagen zur Beanspruchung dieser Lehrerin, bezogen auf die Unterschiede zwischen Frontalunterricht und differenzierten Arbeitsformen.

Betrachtet man diesen Effekt mittels der Darstellung der Verteilung der mittleren Beanspruchung (Abb. 5.146), wird das Bild noch etwas deutlicher. Die sichtbaren Verschiebungen nach links bzw. rechts belegen die höhere Beanspruchung bei hohem Anteil LR in der Schule Stichnathstraße und bei geringem Anteil LR in der Baumberge-Schule.

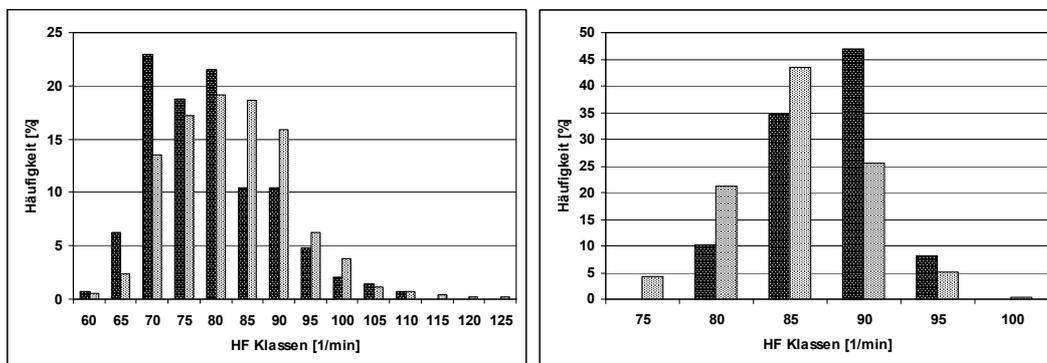


Abb. 5.146 Häufigkeitsverteilung der Mittleren Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile des Lehrers, Anteil < 50 % (■) und > 50 % (▨), links Schule Stichnathstr. (n = 12), rechts Baumberge-Schule (n = 1)

Bezogen auf die Redeanteile der Schüler ergibt sich in der Häufigkeitsverteilung (Abb. 5.147), verglichen mit den Durchschnittswerten (vgl. Abb. 5.145), ein überraschendes Bild. Der bei den gemittelten Werten der Grundschule Stichnetstraße interpretierbare Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Schülerrede lässt sich durch die Häufigkeitsverteilung nicht bestätigen. Tatsächlich wird diese in beiden Schulen durch die Schülerrede nicht maßgeblich beeinflusst, sodass entgegen den ersten Trends davon ausgegangen werden kann, dass die Aufmerksamkeitsleistung als ein Faktor der Beanspruchung weitgehend unabhängig ist von den Redeanteilen der Schüler.

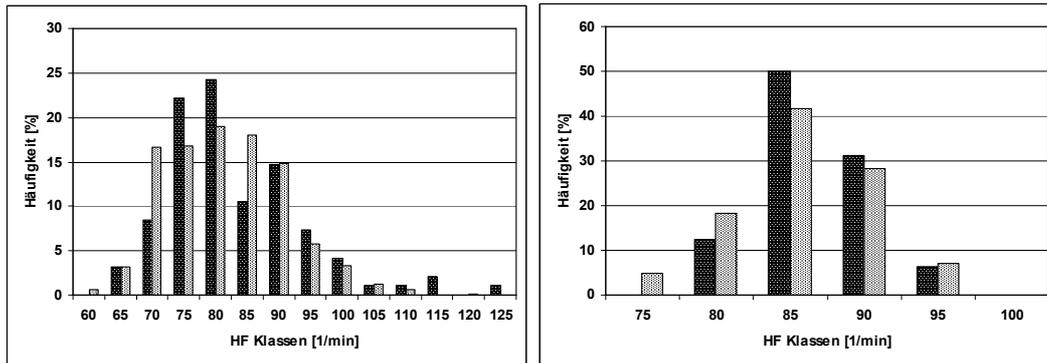


Abb. 5.147 Häufigkeitsverteilung der Mittleren Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile der Schüler, Anteil < 50 % (■) und > 50 % (▨), links Schule Stichnetstraße (n = 12), rechts Baumberge-Schule (n = 1)

Bezüglich der Basisaktivierung ergeben sich bei einer ersten Durchsicht der Mittelwerte (Abb. 5.148) ähnliche Bilder wie bei der mittleren Beanspruchung im Unterricht. Dies weist wiederum darauf hin, dass die jeweilige Tätigkeit bereits die Basisaktivierung induziert.

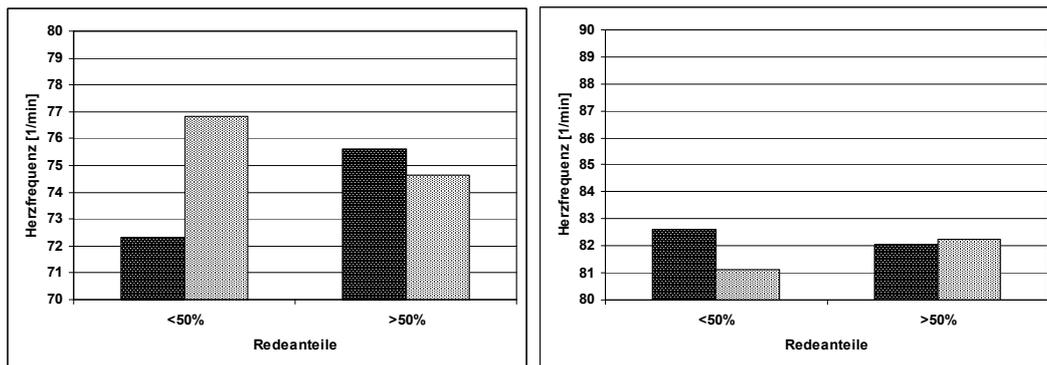


Abb. 5.148 Mittlere Basisaktivierung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile Lehrer (■) und Schüler (▨), links Schule Stichnetstraße (n = 12) und rechts Baumberge-Schule (n = 1)

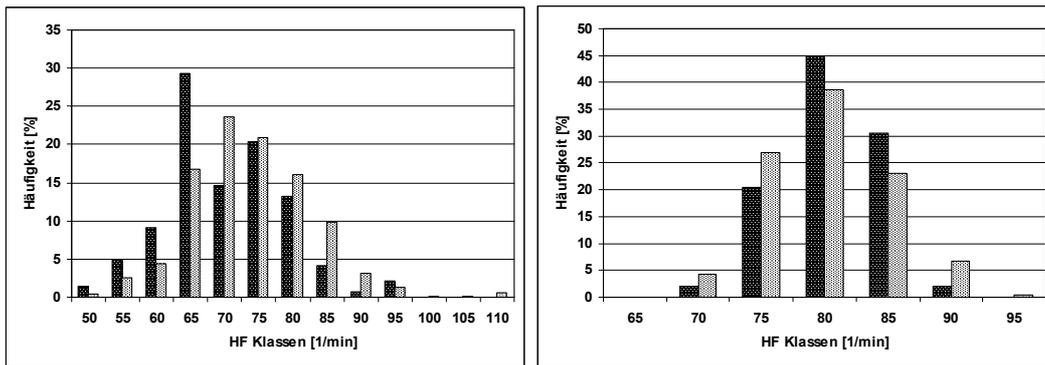


Abb. 5.149 Häufigkeitsverteilung der Basisaktivierung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile des Lehrers, Anteil < 50 % (■) und > 50 % (▨), links Schule Stichnetstraße (n = 12) und rechts Baumberge-Schule (n = 1)

Auch hier lohnt zur Bestätigung wieder der Blick auf die Verteilung der Basisaktivierung für beide Schulen, dargestellt in der Abbildung 5.149. Sie entspricht weitestgehend der Verteilung der mittleren Beanspruchung in Abbildung 5.146. Auch bei der Verteilung der Basisaktivierung findet sich keine Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil der Schülerrede SR (ohne Abb.).

Wenn also die entsprechende Tätigkeit bereits einen deutlichen Einfluss auf die Basisaktivierung hat, stellt sich auch hier die Frage nach Ermüdung bzw. Aktivierung. Das entsprechende Trendmaß für die jeweiligen Rede-Phasen ist für die beiden Schulen in den Abbildungen 5.150 und 5.151 dargestellt. Dabei ergibt sich für die Lehrerinnen und Lehrer der Grundschule Stichnetstraße im Mittel ein geringfügiges Überwiegen der Aktivierungsanteile in Phasen mit weniger LR, während in Phasen mit höherem Anteil sich Aktivierung und Ermüdung die Waage halten (Abb. 5.150 links). Im Gegensatz dazu überwiegt bei der Lehrerin der Baumberge-Schule in beiden Fällen die Ermüdung, bei wenig LR sogar deutlich stärker, 63 % zu 37 %, als bei höheren Anteilen, 55 % zu 45 % (Abb. 5.150 rechts).

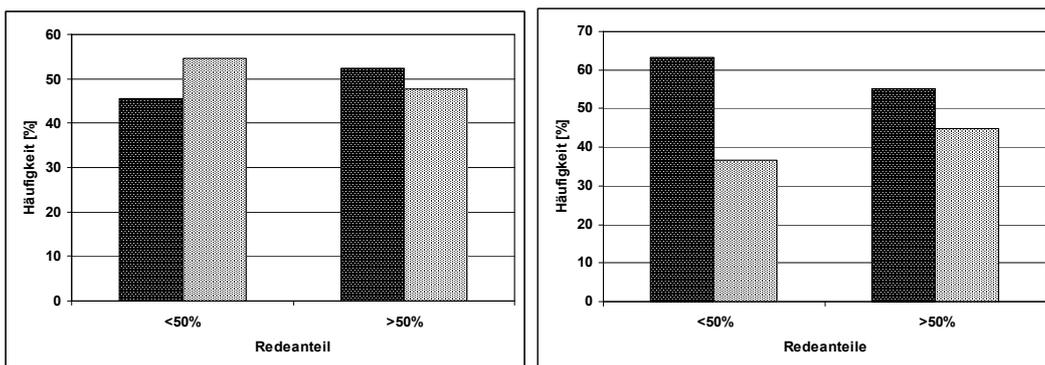


Abb. 5.150 Häufigkeit von Ermüdung (■) und Aktivierung (▨) im Unterricht in Abhängigkeit vom Redeanteil des Lehrers, links Schule Stichnetstraße (n = 12), rechts Baumberge-Schule (n = 1)

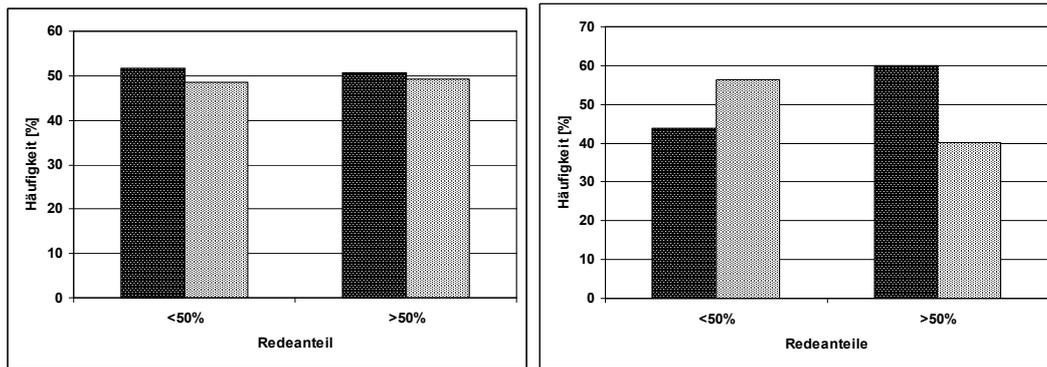


Abb. 5.151 Häufigkeit von Ermüdung (■) und Aktivierung (▨) im Unterricht in Abhängigkeit vom Redeanteil der Schüler, links Schule Stichnathstraße (n = 12), rechts Baumberge-Schule (n=1)

Bezogen auf die Redeanteile der Schüler ist bei den Lehrerinnen und Lehrern der Grundschule Stichnathstraße kein Unterschied zu finden, hier sind Ermüdung und Aktivierung in beiden Fällen gleich (Abb. 5.151 links). Hier muss für die Interpretation allerdings nochmals darauf hingewiesen werden, dass Phasen mit hohem Redeanteil des Lehrers nicht gleichbedeutend sind mit Phasen von geringem Anteil SR, hier kann es durchaus Überschneidungen geben, da beide Redeanteile parallel und nicht alternativ registriert wurden. Bei der Lehrerin der Baumberge-Schule finden wir erneut das inzwischen erwartete gegensätzliche Verhalten, also eine stärkere Ermüdung bei hohem Anteil SR und stärkere Aktivierung bei geringem Anteil SR (Abb. 5.151 rechts).

Insgesamt lässt sich hier festhalten, dass ein Einfluss der eigenen Redeanteile auf die Beanspruchung zu beobachten ist, was sicher zu weiten Teilen auf eine erhöhte Basisaktivierung im jeweiligen Moment zurückzuführen ist. Das „Gegenbeispiel“ der Kollegin aus der Baumberge-Schule zum Durchschnittstrend lehrt jedoch, dass andererseits auch der von dem betreffenden Lehrer bevorzugte Stil der Arbeitsform und die damit verbundene Aktivität eine große Rolle spielt. Die Frage, inwieweit die Beanspruchung durch das Reden oder durch das Zuhören generiert wird, bleibt akademisch. Ihr kann in einem solchen Feldversuch ohne Beeinflussung sicher nicht nachgegangen werden, hierfür wären gezielte Laboruntersuchungen notwendig, bei denen jedoch fraglich bliebe, inwieweit damit die Realität von Unterricht nachgebildet werden kann.

5.2.2.4 Analyse der Herzfrequenz in Abhängigkeit von ausgewählten Filterkombinationen

Die Beanspruchung der Lehrerinnen und Lehrer im Unterricht ist, so ist es ja auch im Belastungs-Beanspruchungs-Konzept definiert, von allen das Arbeitssystem bestimmenden Faktoren abhängig. In den vorangegangenen Abschnitten konnten Abhängigkeiten von unterschiedlicher Effektstärke, bezogen auf die Raumakustik, die Arbeitsformen im Unterricht und die Redeanteile von Lehrern und Schülern, gezeigt werden. In diesem Abschnitt soll nun versucht werden, die wechselseitigen Beeinflussungen der Parameter, soweit dies überhaupt erfassbar ist, aufzuzeigen. Die Komplexität eines solchen Datensatzes ist ausschnitthaft in der Abbildung 5.152 dargestellt, zu sehen sind zwei synchron aufgezeichnete Parameter, die Herzfrequenz als Beanspruchungsindikator und die Redeanteile der Lehrerin über die Zeit hinweg.

Die Überlagerung von zwei Aufzeichnungen des gleichen Wochentages, einmal vor der Raumsanierung (RT > 0,5 s) und einmal nach der Sanierung (RT < 0,5 s), weist auf den Effekt der Raumakustik hin. Der Inhalt der Darstellung ist zu definieren als

$$\text{Beanspruchung} = f(\text{Zeit}, \text{Lehrerrede}, \text{Raumakustik})$$

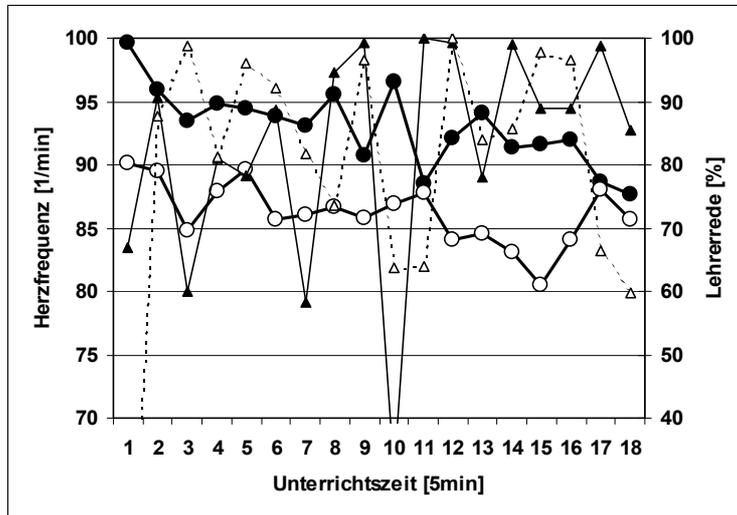


Abb. 5.152 Baumberge-Schule, synchrone Darstellung von HF_{MW} (●○) und LR (▲Δ) für RT > 0,5 s (●▲) und RT < 0,5 s (○Δ)

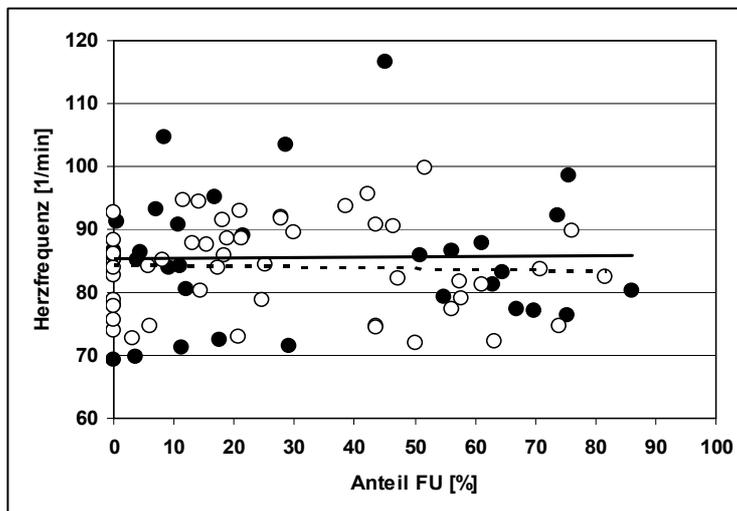


Abb. 5.153 Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU; Klassenräume mit RT > 0,5 s im EG (●) und RT < 0,5 s im OG (○), Regressionsgerade EG (—) und OG (- -), (n = 12 Lehrerinnen/Lehrer); Grundschule Stichnetstraße

Eine übersichtliche und damit auch zusammenfassende Auswertung kann erkennbar auf der Basis von einzelnen Verläufen aus den Unterrichtsstunden jedoch nicht erfolgen, hier ist – unter Berücksichtigung weiterer Parameter – eine Mittelung auf Zeit-

abschnitte von Unterrichtsstunden erforderlich. Am Beispiel von Arbeitsform und Re- deanteilen ist dies ja bereits in den vorangestellten Kapiteln erfolgt. Eine erste Fra- gestellung ist nun die mittlere Beanspruchung als Folge des frontalen Unterrichtens unter Berücksichtigung der raumakustischen Bedingungen. Dafür wird im Folgenden die mittlere Beanspruchung sowie der Anteil an Frontalunterricht für jede Unterrichtsstunde gerechnet und nach $RT > 0,5$ s und $RT < 0,5$ s, d. h. schlechter bzw. besserer Raumakustik, differenziert. In Abbildung 5.153 sind die Daten der Grundschule Stichnethstraße dargestellt.

Gleichzeitig wurde für beide Gruppen die lineare Regression gerechnet in der Form:

$$Y = A + B * X$$

	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>r</i>
$RT > 0,5$	32	85,26	0,01	0,02
$RT < 0,5$	51	84,37	-0,01	0,04

Aus den beiden Regressionsgraden kann im Kollegium der Grundschule Stichnethstraße kein signifikanter Unterschied abgelesen werden, auffällig ist lediglich ein leichter tendenzieller Unterschied in der Steigung. In den akustisch besseren Räumen stellt ein steigender Anteil FU damit eine geringere Beanspruchung für den Lehrer dar als in den akustisch schlechteren. Einschränkend ist hier aber noch einmal an die Problematik der verschiedenen Personengruppen erinnert. Präziser lässt sich die unmittelbare Auswirkung der Raumakustik auf die Beanspruchung deshalb am Einzelbeispiel der Lehrerin aus der Baumberge-Schule festmachen (Abb. 5.154):

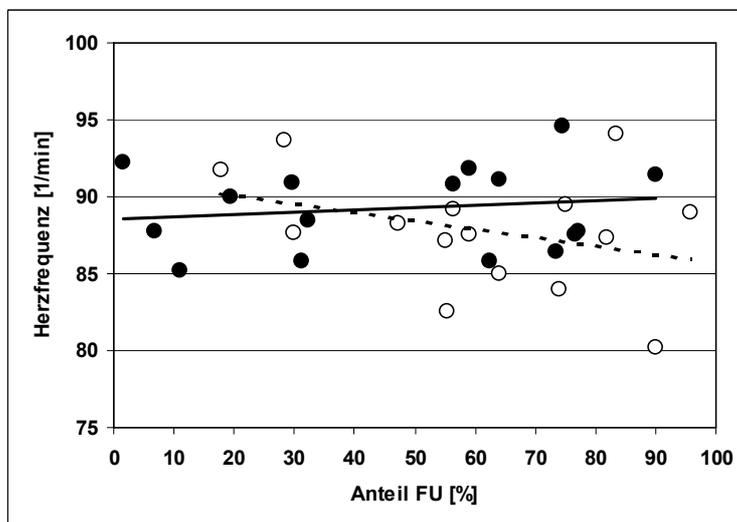


Abb. 5.154 Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU vor (●) und nach der Sanierung (○), Regressionsgerade vor (—) und nach (- -) der Sanierung, (n = 1 Lehrerin); Baumberge-Schule

$$Y = A + B * X$$

	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>r</i>
$RT > 0,5$	16	88,50	0,01	0,16
$RT < 0,5$	15	91,16	-0,06	0,34

Die Regressionskoeffizienten zeigen bei dieser Kollegin eine sehr viel deutlichere Abhängigkeit. Auffällig ist vor allem der sehr unterschiedliche Grad der Steigung; nach der akustischen Sanierung fällt mit steigendem Anteil FU die Beanspruchung deutlich, das Unterrichten in dieser Arbeitsform stellt unter guten akustischen Bedingungen – zumindest für diese Lehrerin – eine deutlich geringere Belastung dar.

Wie sieht es aber mit der Basisaktivierung bei den Lehrerinnen und Lehrern aus? Erneut wird nach der Grundanspannung gesucht, die in den unterschiedlichen Unterrichtsstunden vorliegt. Zu Beginn wieder die Daten aus der Grundschule Stichnathstraße (Abb. 5.155), wiederum mit den eingezeichneten Regressionsgraden.

Wie bei den Daten der mittleren Beanspruchung ist auch hier kein signifikanter Zusammenhang zu sehen. Tendenziell bestätigt sich jedoch auch hier der Effekt, dass unter guten akustischen Bedingungen und zunehmendem Anteil FU eine etwas geringere Basisaktivierung gemessen wurde. Für die Lehrerin der Baumberge-Schule ergibt sich ein zur mittleren Beanspruchung äquivalentes Bild (Abb. 5.156).

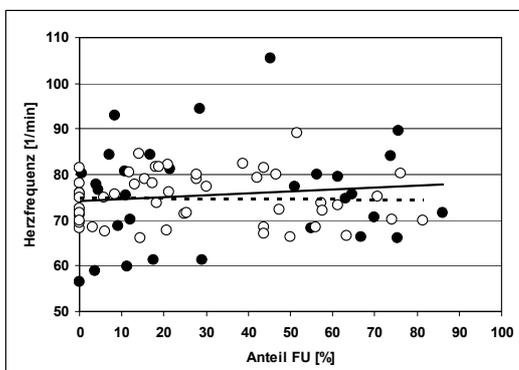


Abb. 5.155 Basisaktivierung im Unterricht in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU; Klassenräume mit $RT > 0,5$ s im EG (●) und $RT < 0,5$ s im OG (○), Regressionsgerade EG (—) u. OG (- -), ($n = 12$ Lehrerinnen/Lehrer); Grundschule Stichnathstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r
RT > 0,5	32	74,29	0,04	0,11
RT < 0,5	51	74,93	-0,01	0,03

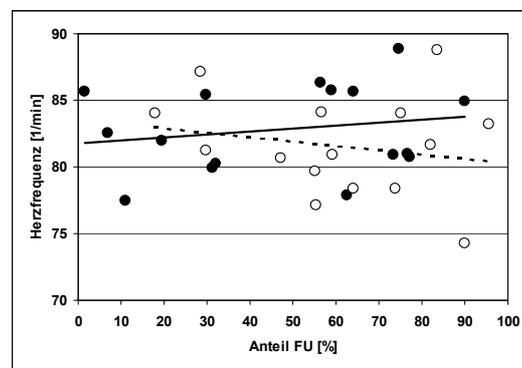


Abb. 5.156 Basisaktivierung im Unterricht in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU; vor (●) und nach der Sanierung (○), Regressionsgerade vor (—) und nach (- -) der Sanierung, ($n = 1$ Lehrerin); Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r
RT > 0,5	16	81,80	0,02	0,19
RT < 0,5	15	83,52	-0,03	0,20

Die Anpassung der Regressionsgraden ist auch hier etwas deutlicher als in der Grundschule Stichnathstraße, wenn auch ebenfalls nicht signifikant. Aber es zeigt sich erneut, dass sich unter akustisch besseren Bedingungen auch die Grundanspannung mit zunehmendem Anteil FU verringert.

Wie verhält sich Herzfrequenz der Lehrkräfte bei unterschiedlichen akustischen Rahmenbedingungen nun aber während differenzierter Arbeitsphasen? Bei der vorhergehenden Analyse, dargestellt in Kap. 5.2.2.2, ergab sich ja keine nennenswerte Abhängigkeit der Beanspruchung von der Arbeitsform an sich. Unterstellt man der differenzierten Arbeitsform jedoch eine höhere Geräusentwicklung als dem gemeinsamen Folgen frontaler Ereignisse, so könnte sich hierbei auch die Raumakustik stärker auswirken. Für die Lehrerinnen und Lehrer in der Grundschule Stichnathstraße ist dieser Zusammenhang in Abbildung 5.157 dargestellt. Betrachtet man die

Regressionsgraden, so ergibt sich für beide Situationen eine leichte Zunahme der Beanspruchung mit steigendem Anteil differenzierter Arbeitsform. Und tatsächlich ist diese Zunahme unter akustisch besseren Bedingungen (RT < 0,5 s) etwas geringer. Die Beanspruchung der Lehrerinnen und Lehrer in der Grundschule Stichnathstraße während differenzierter Unterrichtsphasen wird durch die raumakustische Arbeitsumgebung (wenn auch mit schwachem Regressionskoeffizienten) positiv beeinflusst.

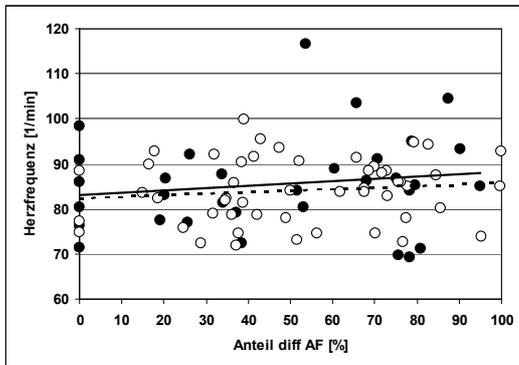


Abb. 5.157 Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF; Klassenräume mit RT > 0,5 s im EG (●) und RT < 0,5 s im OG (○), Regressionsgerade EG (—) u. OG (- -), (n = 12 Lehrerinnen/Lehrer); Grundschule Stichnathstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r
RT > 0,5	32	83,09	0,05	0,15
RT < 0,5	51	82,26	0,03	0,12

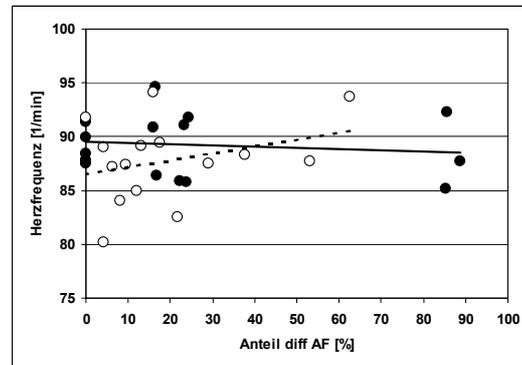


Abb. 5.158 Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF; vor (●) und nach der Sanierung (○), Regressionsgerade vor (—) und nach (- -) der Sanierung, (n = 1 Lehrerin); Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r
RT > 0,5	16	89,53	-0,01	0,14
RT < 0,5	15	86,53	0,06	0,31

Für die Lehrerin der Baumberge-Schule ergibt sich allerdings ein entgegen gesetztes Bild. Ihre Beanspruchung steigt unter akustisch guten Bedingungen mit zunehmendem Anteil differenzierten Arbeitens deutlich an (Abb. 5.158). Allerdings wird die Regressionsgerade vor der Sanierung maßgeblich durch drei für diese Lehrerin eher untypische „Ausreißerstunden“ erzeugt. Würde man diese außer Acht lassen, ergäbe sich wieder ein ähnliches Bild wie beim Kollegium der Grundschule Stichnathstraße. Es empfiehlt sich demnach, dieses „Ergebnis“ mit hinreichender Vorsicht zu interpretieren. Die Betrachtung der Basisaktivierung in Abhängigkeit von den differenzierten Arbeitsformen zeigt, ähnlich wie beim Frontalunterricht, in beiden Schulen weitgehend das gleiche Bild wie die der mittleren Beanspruchung (ohne Abb.). Vor diesem Hintergrund bleibt schließlich die Frage nach der indirekten Auswirkung des eigenen Sprechvorgangs auf die Beanspruchung. Erzeugen eventuell gleiche Redeanteile der Lehrer unter unterschiedlichen raumakustischen Bedingungen – Kommunikationsbedingungen – unterschiedliche Beanspruchungen?

In diesem Zusammenhang noch einmal der Hinweis: Für die Gruppe der Lehrerinnen und Lehrer der Schule Stichnathstraße lässt sich dieser Sachverhalt nur zwischen den beiden Gruppen prüfen, die Auswirkung auf die einzelne Person ist anhand dieses Datensatzes nicht feststellbar. Für das Kollegium zeigt die Abbildung 5.159 aber unerwartet klar einen stärkeren Anstieg der Beanspruchung unter den akustisch schlechteren Bedingungen im EG mit zunehmendem Redeanteil als unter den akus-

tisch besseren Bedingungen im OG. Hier lässt sich begründet ein enger Zusammenhang mit der besseren Sprachverständlichkeit in den Klassenräumen $RT < 0,5$ s vermuten. Das Ergebnis belegt, dass das Reden in diesen Räumen weniger anstrengend ist.

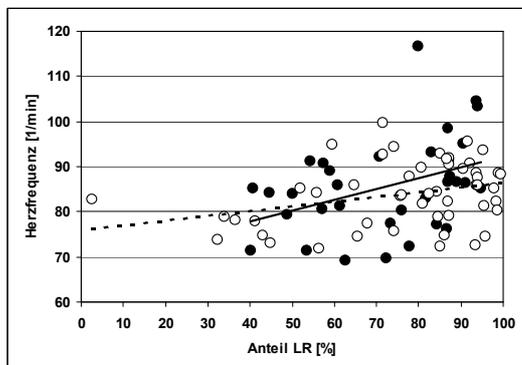


Abb. 5.159 Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR; Klassenräume mit $RT > 0,5$ s im EG (●) und $RT < 0,5$ s im OG (○), Regressionsgerade EG (—) u. OG (- -), (n = 12 Lehrerinnen/Lehrer); Grundschule Stichnathstraße

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r
RT > 0,5	32	69,48	0,24	0,38
RT < 0,5	51	75,96	0,11	0,32

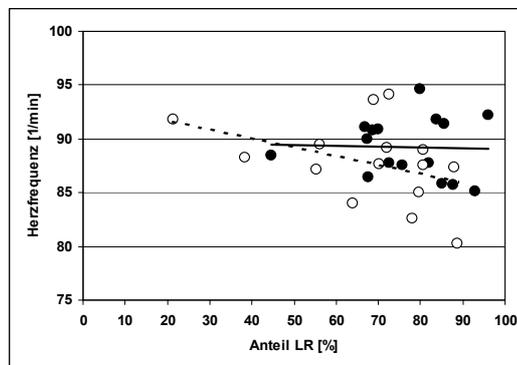


Abb. 5.160 Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR; vor (●) und nach der Sanierung (○), Regressionsgerade vor (—) und nach (- -) der Sanierung, (n = 1 Lehrerin); Baumberge-Schule

$$Y = A + B \cdot X$$

	N	A	B	r
RT > 0,5	16	89,84	-0,01	0,04
RT < 0,5	15	93,34	-0,08	0,40

Auch wenn die Ergebnisse der Regressionsrechnung nicht signifikant sind, so zeigt sich hier doch ein deutlicherer Zusammenhang als bei der Form des Unterrichtes. Erst recht, wenn man die Auswirkung der raumakustischen Sanierung auf die individuelle Beanspruchung bei der Lehrerin der Baumberge-Schule betrachtet, die sich ja durch ihre Bevorzugung der frontalen Unterrichtsform von den Gewohnheiten der Kolleginnen und Kollegen in der Grundschule Stichnathstraße unterscheidet (Abb. 5.160). Während unter der ursprünglichen akustischen Arbeitsbedingung ($RT > 0,5$ s) der Anteil eigener Rede keine Auswirkung auf die Beanspruchung hat, zeigen die Daten der Regressionsgraden deutlich, dass die Beanspruchung nach der Sanierung mit zunehmenden eigenen Redeanteilen sinkt.

Nach der überblicksartigen Betrachtung der Stundenmittelwerte soll im Nachfolgenden eine genauere Betrachtung der Beanspruchung in Abhängigkeit von der Raumakustik innerhalb der Arbeitsphasen mit hohen Anteilen frontaler bzw. differenzierter Arbeitsformen vorgenommen werden. Erneut werden die Zusammenhänge in diesem Analyseverfahren besser greifbar als über die gemittelten Stundenwerte. So zeigt der Blick auf die Verteilung der mittleren Basisaktivierung in frontal dominierten Unterrichtsabschnitten für die Grundschule Stichnathstraße (Abb. 5.161) eine Verschiebung um etwa 5 [1/min] unter günstigeren akustischen Bedingungen, d. h. entspannter. Bei gleicher Arbeitsform (FU) arbeiten die Lehrer im OG ($RT < 0,5$ s) also mit einer geringeren Basisaktivierung und damit entspannter. Bei der Lehrerin der Baumberge-Schule ergibt sich das gleiche Bild (Abb. 5.162).

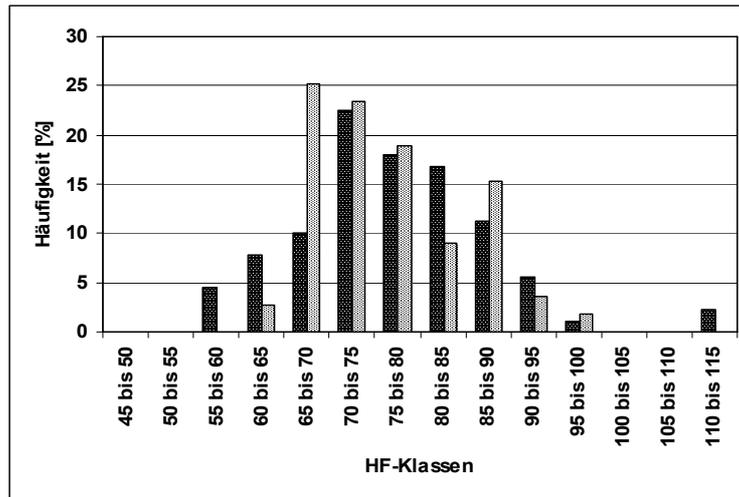


Abb. 5.161 Verteilung der Basisaktivierung in Phasen mit $FU > 50\%$, sortiert nach Klassen mit $RT > 0,5\text{ s}$ (■) und $RT < 0,5\text{ s}$ (⋯), ($n = 12$ Lehrerinnen/Lehrer); Grundschule Stichnathstraße

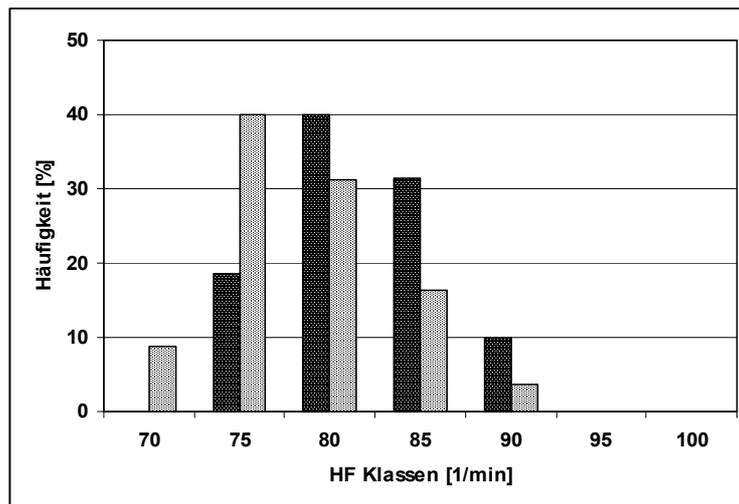


Abb. 5.162 Verteilung der Basisaktivierung in Phasen mit $FU > 50\%$, sortiert vor (■) und nach (⋯) der Sanierung, ($n = 1$ Lehrerin); Baumberge-Schule

Die interindividuellen Unterschiede, die sich beim Kollegium der Grundschule Stichnathstraße zeigen, werden durch die intraindividuelle Reaktion im Einzelfall (Baumberge-Schule) bestätigt: In beiden Fällen ist eine Verschiebung um eine Klassenbreite zu niedrigerer Aktivierung hin konstatierbar. Auch für Unterrichtsphasen mit einem hohen Anteil differenzierter Arbeitsformen ist die Verteilung der Basisaktivierung im Folgenden dargestellt. Abbildung 5.163 zeigt das Ergebnis für die Lehrerguppe aus der Grundschule Stichnathstraße:

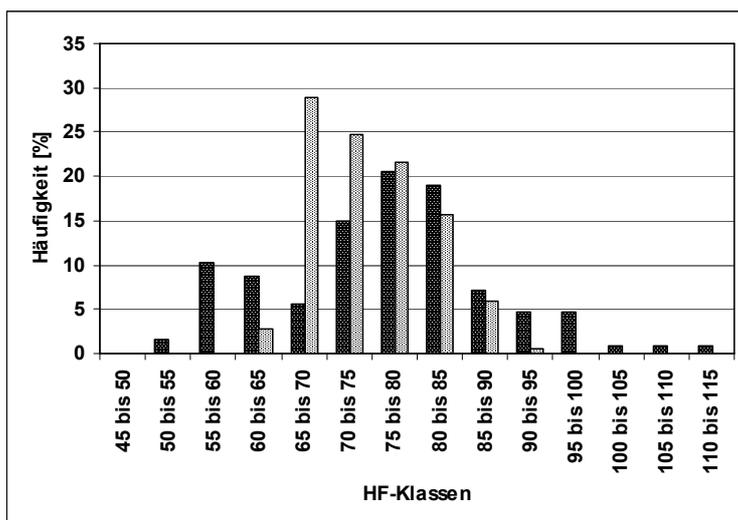


Abb. 5.163 Verteilung der Basisaktivierung in Phasen mit $\text{diffAF} > 50\%$, sortiert nach Klassen mit $\text{RT} > 0,5\text{ s}$ (■) und $\text{RT} < 0,5\text{ s}$ (□), ($n = 12$ Lehrerinnen/Lehrer); Grundschule Stichnathstraße

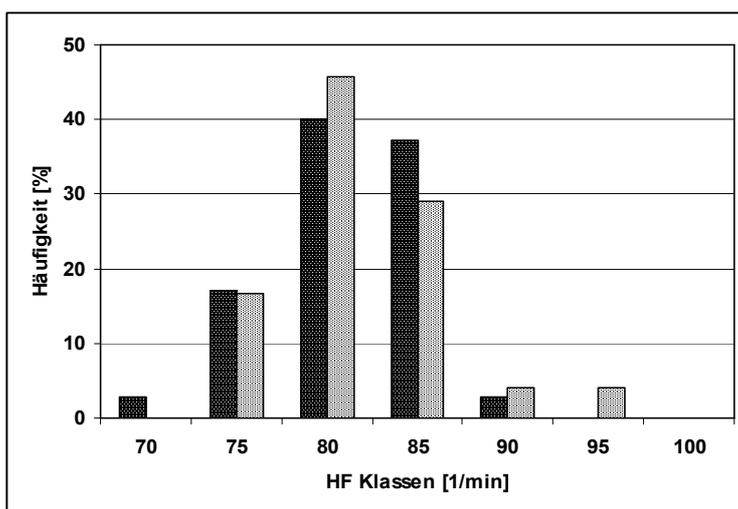


Abb. 5.164 Verteilung der Basisaktivierung in Phasen mit $\text{diffAF} > 50\%$, sortiert vor (■) und nach (□) der Sanierung, ($n = 1$ Lehrerin); Baumberge-Schule

Hier wird der Einfluss der besseren Raumakustik bzw. Sprachverständlichkeit auf die Basisaktivierung noch deutlicher, das Maximum der Verteilung liegt um zwei Klassenbreiten – entsprechend 10 Schläge pro Minute – niedriger als unter schlechteren Bedingungen. Auch bei der Lehrerin aus der Baumberge-Schule ist eine Verschiebung innerhalb der beiden Klassen 80-90 [1/min] zu erkennen (Abb. 5.164). Jedoch ist dieser Effekt wesentlich geringer als unter frontalen Unterrichtsbedingungen, wodurch erneut die klare pädagogische Präferenz der Lehrerin sichtbar wird. Dieser Befund bestätigt jedoch die obige Vermutung, dass das Ergebnis der reinen stundenbezogenen Mittelwertanalyse (vgl. noch einmal Abb. 5.158) die Zusammenhänge zwischen raumakustischen Arbeitsbedingungen und Belastung während differenzierter Arbeitsformen nur unzureichend abgebildet hat.

Neben der Frage nach der mittleren Beanspruchung durch Unterricht bzw. der

Grundanspannung in Form der Basisaktivierung wurde in den vorhergehenden Abschnitten bereits das Ermüdungs- bzw. Aktivierungsverhalten der Lehrpersonen analysiert.

Dieser Fragestellung, ob unter bestimmten Arbeitsbedingungen Ermüdungsprozesse stärker stattfinden als unter anderen, soll auch unter dem erweiterten Aspekt von guter ($RT < 0,5$ s) bzw. schlechter ($RT > 0,5$ s) Raumakustik noch einmal nachgegangen werden. Für die Grundschule Stichnetstraße ist die Verteilung des $HF_{Trend,5min}$ für die Arbeitsphasen mit überwiegendem Anteil Frontalunterricht über alle Lehrerinnen und Lehrer in Abbildung 5.165 dargestellt.

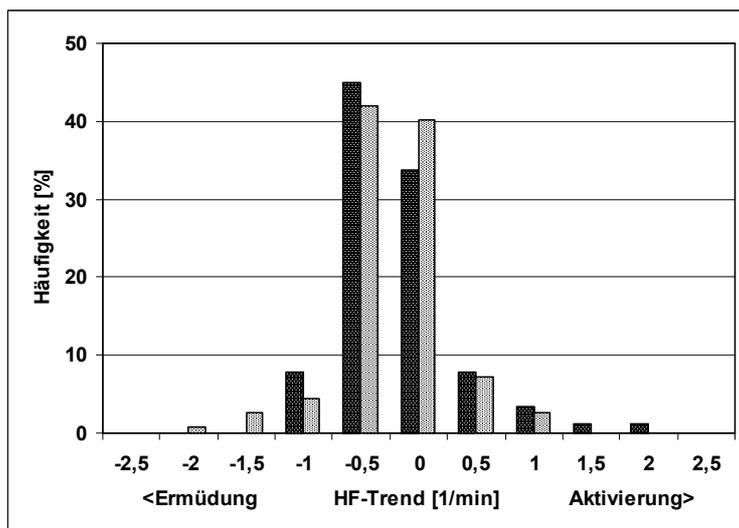


Abb. 5.165 Verteilung des HF-Trends in Phasen mit $FU > 50\%$, sortiert nach Klassen mit $RT > 0,5$ s (■) und $RT < 0,5$ s (◐), ($n = 12$ Lehrerinnen/Lehrer); Grundschule Stichnetstraße

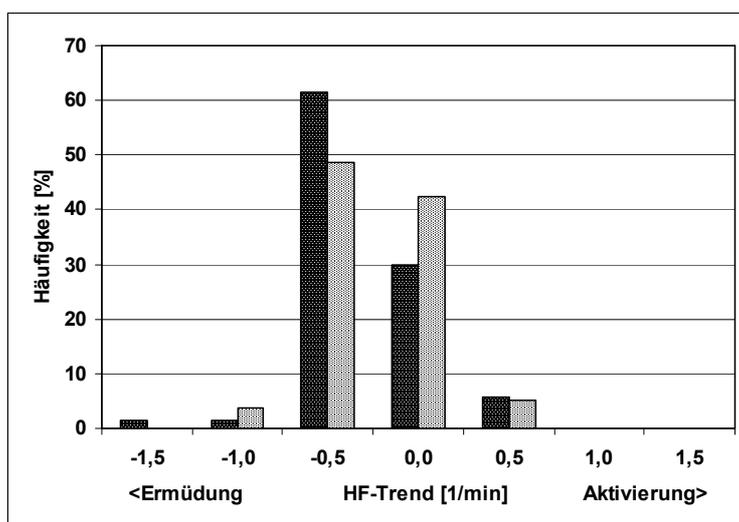


Abb. 5.166 Verteilung des HF-Trends in Phasen mit $FU > 50\%$, sortiert vor (■) und nach (◐) der Sanierung, ($n = 1$ Lehrerin); Baumberge-Schule

Der Unterschied der beiden Gruppen ist bei dieser Klassenbreite innerhalb der beiden mittleren Klassen (-0,5 bis 0 und 0 bis 0,5) als Verschiebung zu erkennen: In der

Tendenz ist das Verhältnis von Ermüdung und Aktivierung unter akustisch besseren Bedingungen (OG) ausgeglichen, wohingegen in den anderen Räumen (EG) die Ermüdungsanteile überwiegen. Für die Lehrerin in der Baumberge-Schule ergibt sich das gleiche Bild (Abb. 5.166): Auch hier sind die Anteile von Aktivierung und Ermüdung unter den guten akustischen Bedingungen ausgeglichen, während vor der Sanierung die Ermüdungsanteile doppelt so hoch sind.

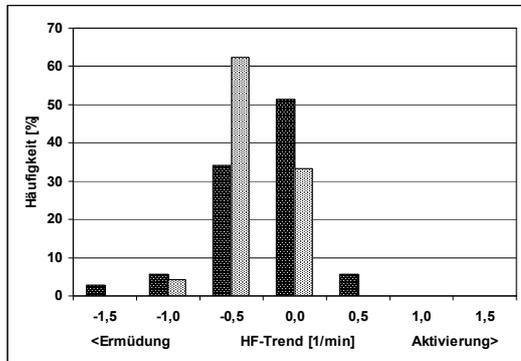


Abb. 5.167 Verteilung des HF-Trends in Phasen mit diffAF > 50 %, sortiert vor (■) und nach (▨) der Sanierung, (n = 1 Lehrerin); Baumberge-Schule

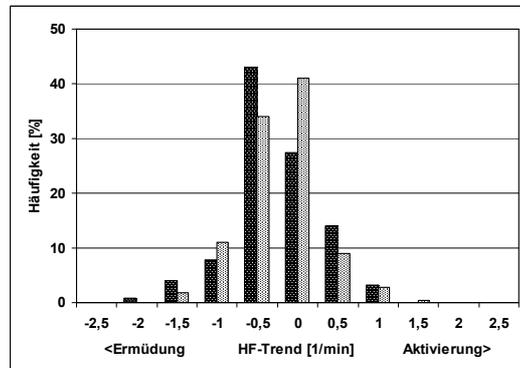


Abb. 5.168 Verteilung des HF-Trends in Phasen mit diffAF > 50 %, sortiert nach Klassen mit RT > 0,5 s (■) und RT < 0,5 s (▨), (n = 12 Lehrerinnen/ Lehrer); Grundschule Stichnetstraße

Für die Phasen mit überwiegendem Anteil an differenzierter Arbeitsform zeigt sich – zumindest für die Grundschule Stichnetstraße – ein noch deutlicheres Ergebnis (Abb. 5.168). Zwischen den beiden Gruppen an Klassenräumen findet, bezogen auf die beiden mittleren Klassen in der Verteilung, sogar eine Umkehrung der Verteilung statt. Während unter schlechteren akustischen Bedingungen ein deutlich höherer Anteil Ermüdung zu finden ist, stellt sich unter den besseren Bedingungen im OG (RT < 0,5 s) ein höherer Anteil Aktivierung ein. Für die Lehrerin der Baumberge-Schule ist dies nicht zu beobachten (Abb. 5.167). Erneut schlägt hier ihre grundsätzliche Abneigung gegenüber differenzierten Unterrichtsformen zu Buche – was zusätzlich zu einem vergleichsweise geringen Anteil dieser Arbeitsform am gesamten Unterricht führt. Es ist anzumerken: Das daraus resultierende geringe n legt nahe, bei der Bewertung der Ergebnisse aus der Baumberge-Schule bezüglich dieser Fragestellung eine größere Unsicherheit mit einzukalkulieren.

Da es zudem, bedingt durch die unspezifische Reaktion der Herzfrequenz auf jede Art von Reiz, bei dieser Art der Analyse in einzelnen Fällen zu sehr verschiedenen individuellen Reaktionsweisen kommen kann, was in einer Feldstudie durch einen möglichst repräsentativen Datensatz ausgeglichen werden soll, empfiehlt sich für die vorliegende Fragestellung bei abweichenden Ergebnissen eine Orientierung eher am größeren Datensatz aus der Grundschule Stichnetstraße

Als Fazit der vorausgehenden Analysen kann dabei jedoch in jedem Fall gesichert festgestellt werden, dass die mittlere Beanspruchung, zumindest in der Gesamtbeurteilung, sowohl während frontaler, noch mehr jedoch während differenzierter Arbeitsphasen unter akustisch besseren Arbeitsbedingungen geringer ist als unter akustisch schlechten Bedingungen.

5.3 Synopse – Analyse der Abhängigkeit der Reaktionsgrößen untereinander im Kontext verschiedener Arbeitsformen

Anhand konkreter ausgewählter Beispiele soll abschließend eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse versucht werden, welche die Einflüsse der beiden Filtergrößen Raumakustik und pädagogische Arbeitsform synoptisch gegenüberstellt. Ein letztes Mal liefern die kontrollierten Daten aus der Baumberge-Schule die Basis für eine qualifizierte Gegenüberstellung. Der Vergleich von zwei Situationen, vor und nach der Intervention (Sanierung der Raumakustik), ist hier ohne größere Lücken im Datensatz möglich, was bei einer Feldstudie ohne korrigierende Eingriffe so nicht selbstverständlich ist. Im Mittelpunkt der nachfolgenden Analysen stehen zwei Vormittage, an denen in den beiden Untersuchungswochen vor und nach der Sanierung mit fast identischem Stundenplan unterrichtet wurde: der Dienstag und der Donnerstag.

Die zentrale Frage ist auch beim letzten Schritt der Auswertung die Bedeutung der Raumakustik für den Unterrichtsprozess und die Auswirkung auf die Beanspruchung der Lehrerin. Allerdings soll in diesem Rahmen auf eine erneute breite Statistik verzichtet werden. Die methodische Vorgehensweise besteht diesmal im Vergleich einzelner korrespondierender Unterrichtssituationen.

So ist in Abbildung 5.169 der Verlauf des Schallpegels im Unterricht über den Dienstagvormittag von der 1. bis zur 4. U.-Std. dargestellt. Zur besseren Lesbarkeit sind die betreffenden Unterrichtsstunden als durchgehender Strich gekennzeichnet. Im zeitlichen Verlauf zeigt sich an diesem Tag im konkreten Einzelfall jene Reduzierung des Schallpegels nach der Sanierung, wie sie in den vorangehenden Abschnitten bereits in den statistischen Analysen gezeigt werden konnte.

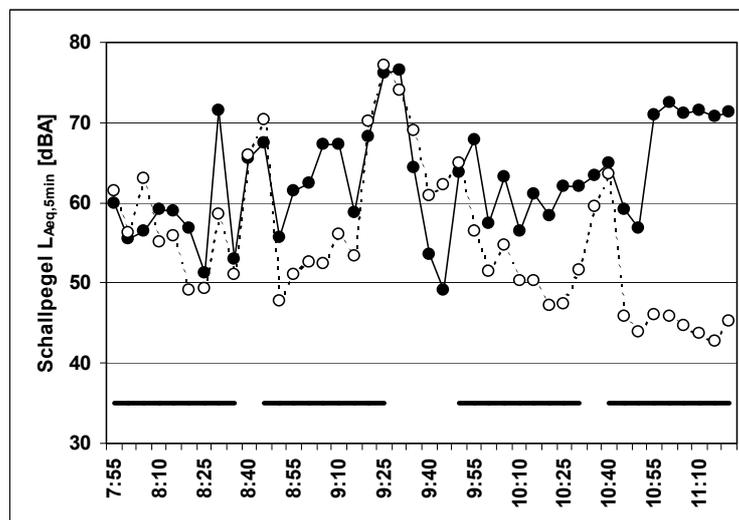


Abb. 5.169 Arbeitsgeräuschpegel im Unterricht (Di, 1.– 4. U.-Std.) vor (●) und nach (○) der Sanierung; Baumberge-Schule

Der Stundenplan für die ersten drei Stunden ist dabei in beiden Unterrichtswochen gleich; unterrichtet wurden Sprache, Sachkunde und Mathematik. Die vierte Stunde (in der ersten Beobachtungswoche Sachkunde) steht für einen Vergleich nicht zur Verfügung, da die Schülerinnen und Schüler in der zweiten Beobachtungswoche frei

hatten. Auffällig an der Gegenüberstellung ist der synchrone Verlauf des Geräuschpegels. Die Geräuschentwicklung im Klassenraum war in den beiden Wochen ähnlich – sie fand jedoch auf unterschiedlichen Niveaus statt: Nach der Sanierung war es im Unterricht deutlich leiser. Damit zeigen sich die allgemeinen Ergebnisse der vorhergehenden Analysen in Kapitel 5.2.1 auch in den hier ausgewählten Einzelfällen.

Wie sieht im Verhältnis dazu die Beanspruchung der Lehrerin an diesem Tag aus? Abbildung 5.170 zeigt den Verlauf der Herzfrequenz über diesen Unterrichtstag, wiederum für die Zeit vor und nach der Sanierung des Klassenraumes.

Bei globaler Betrachtung des Beanspruchungsverlaufes über den Unterrichtstag hinweg fällt auch hier der synchrone Verlauf auf. Der Niveauunterschied in diesem Einzelfall korrespondiert mit der statistischen Analyse in Kapitel 5.2.2. Der große Unterschied in der 4. U.-Std. ist bedingt durch die unterschiedliche Aktivität der Lehrerin in der Freistunde (Aufenthalt im Lehrerzimmer?). Dennoch ist der starke Anstieg der Beanspruchung in der 4.U.-Std. vor der Sanierung während des Sachkunde-Unterrichtes bemerkenswert: In dieser Stunde hat die Lehrerin lange Zeit mittels der von ihr „ungeliebten“ differenzierten Arbeitsformen unterrichtet. Auch dieses Phänomen konnte bereits in den vorhergehenden Analysen gezeigt werden.

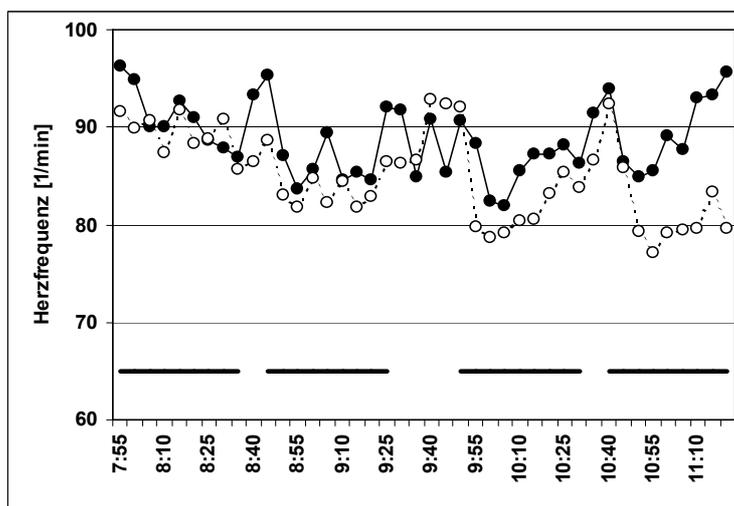


Abb. 5.170 Mittlere Beanspruchung im Tagesverlauf (Di, 1.– 4. U.-Std.) vor (●) und nach (○) der Sanierung

Ein zweiter Wochentag, der sich für eine direkte Gegenüberstellung anbietet, ist der Donnerstagmorgen. Die ersten beiden Unterrichtsstunden waren in beiden Wochen inhaltlich identisch (Sprachunterricht und Mathematik), die Daten der 3. U.-Std. sind allerdings unvollständig bzw. fehlerhaft, und die 4. U.-Std. unterscheidet sich im Fach, vor der Sanierung „Sachkunde“ und nach der Sanierung „Religion“. Beim Verlauf des Arbeitsgeräuschpegels zeigt sich erneut der weitgehend synchrone Verlauf auf unterschiedlichem Niveau (Abb. 5.171). Aus dem Rahmen fallen wieder die 4. U.-Std., die sich durch das Unterrichtsfach und die Arbeitsform unterscheiden. Insgesamt zeigt sich – wie bereits am Dienstag – vor allem in den ersten beiden Unterrichtsstunden ein deutlicher Trend sowohl bei der Schallpegelentwicklung als auch bei der Herzfrequenz (Abb. 5.172).

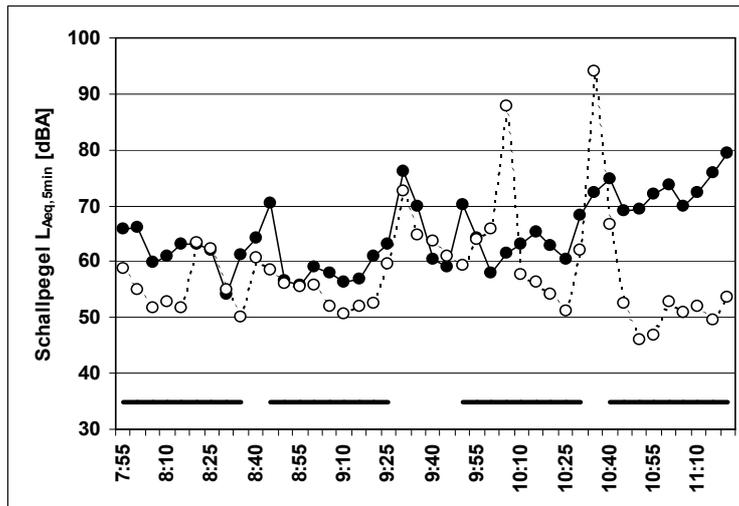


Abb. 5.171 Arbeitsgeräuschpegel im Unterricht (Do, 1.– 4. U.-Std.) vor (●) und nach (○) der Sanierung

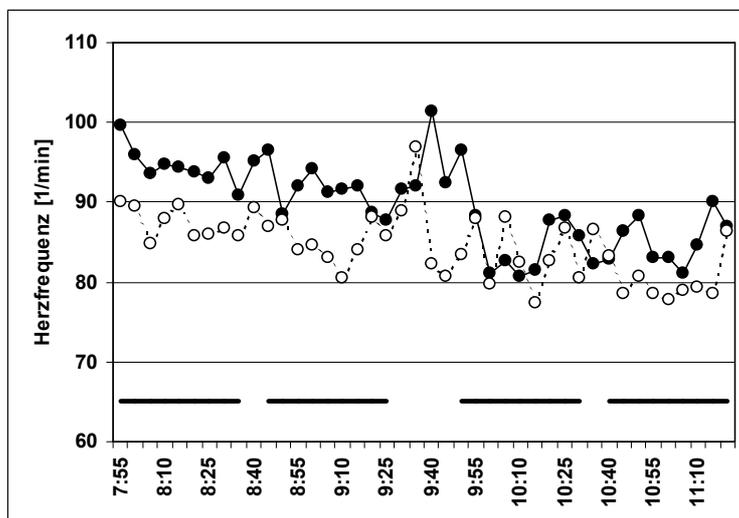


Abb. 5.172 Mittlere Beanspruchung im Tagesverlauf (Do, 1.– 4. U.-Std.) vor (●) und nach (○) der Sanierung

Da die Beanspruchung eine Folge der Belastung ist und der Geräuschpegel im Unterricht ein wesentliches Merkmal dieser Belastung, werden die beide Größen im Folgenden für die beiden ausgewählten Tage noch einmal in direkte Beziehung gesetzt (Abb. 5.173-5.176).

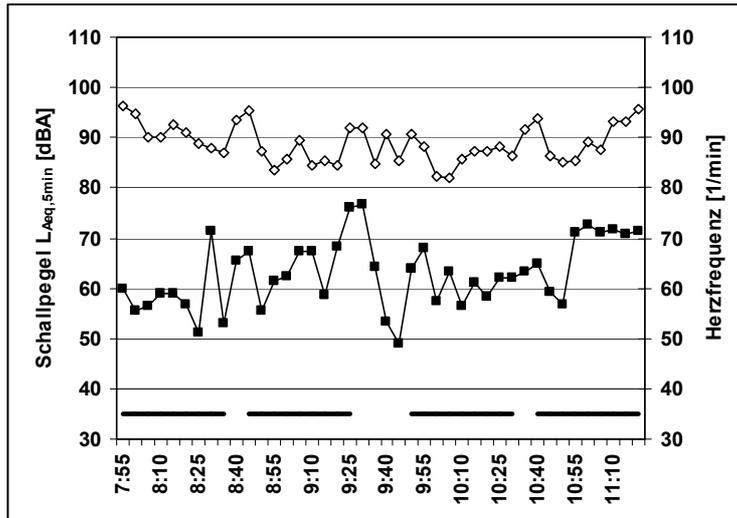


Abb. 5.173 Mittlere Beanspruchung (\diamond) und Schallpegel (\blacksquare) im Tagesverlauf (Di, 1.–4. U.-Std.) vor der Sanierung

Welchen Einfluss hat der Lärm im Klassenraum also auf die Beanspruchung der Lehrerin? Der Vergleich der Kurvenverläufe beider Parameter lässt zumindest in großen Bereichen einige Ähnlichkeiten erkennen. Zum Beispiel hat der Anstieg des Schallpegels über die 3. U.-Std. des Dienstags vor der Sanierung gut sichtbar einen entsprechenden Anstieg der Herzfrequenz zur Folge, am gleichen Tag in der 2. U.-Std. sind sowohl die beiden Maxima als auch die beiden Minima in beiden Parametern zeitgleich zu finden. Und auch an den anderen Tagen sind große Ähnlichkeiten in den Verläufen der beiden Parameter zu erkennen. Zu berücksichtigen ist jeweils die Einschränkung, dass natürlich auch andere Belastungsfaktoren in diese Situationen hineinwirken.

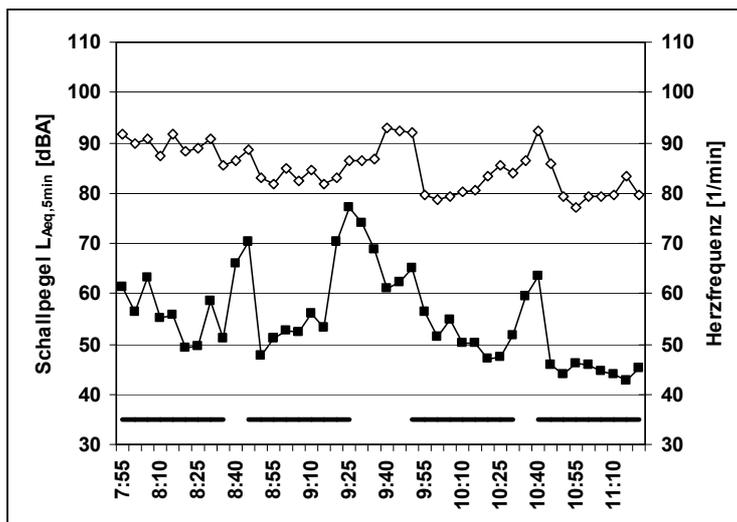


Abb. 5.174 Mittlere Beanspruchung (\diamond) und Schallpegel (\blacksquare) im Tagesverlauf (Di, 1.–4. U.-Std.) nach der Sanierung

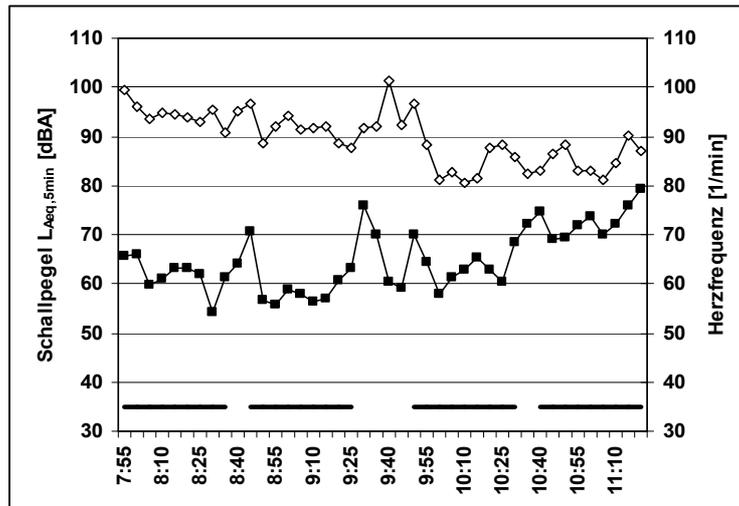


Abb. 5.175 Mittlere Beanspruchung (\diamond) und Schallpegel (\blacksquare) im Tagesverlauf (Do, 1.– 4. U.-Std.) vor der Sanierung

Aber: Obwohl streng reproduzierbare Untersuchungssituationen an und für sich nur im Labor herstellbar sind, wird auch im vorliegenden Datensatz aus dem „kontrollierten Feld“ eine enge Kopplung der Beanspruchungsreaktion an die Belastungsgröße „Schallpegel“ deutlich sichtbar. Zumal sich die tatsächliche Vergleichbarkeit der jeweiligen Unterrichtseinheiten anhand der Unterrichtsgrids im Detail nachvollziehen bzw. überprüfen lässt.

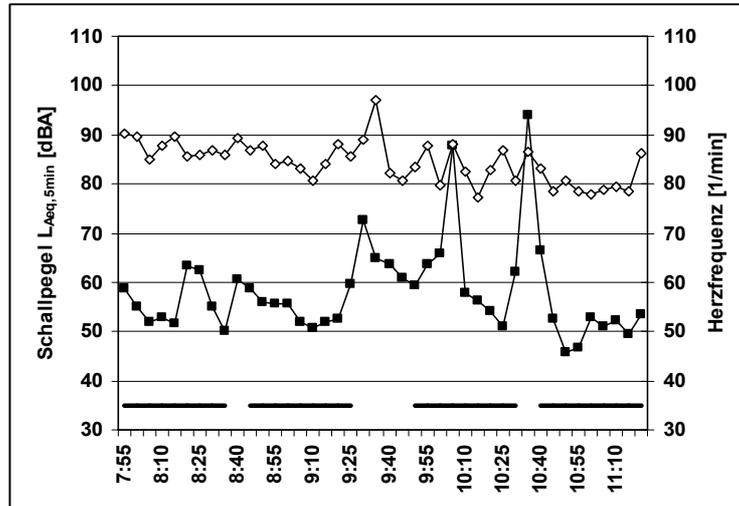


Abb. 5.176 Mittlere Beanspruchung (\diamond) und Schallpegel (\blacksquare) im Tagesverlauf (Do, 1.– 4. U.-Std.) nach der Sanierung

Für das Beispiel „Donnerstag“ sollen im Folgenden für die ersten beiden und die vierte Unterrichtsstunde die Ergebnisse der Unterrichtsbeobachtung gegenübergestellt werden, um die Ähnlichkeit der Unterrichtssituation, bezogen auf die gesamte Stunde, zu verdeutlichen. Sichtbar werden dabei die jeweiligen zeitlichen Anteile von Arbeitsformen und Redeanteilen. Die Abbildungen 5.177 bis 5.179 zeigen die jeweiligen Unterrichtsgrids für den Donnerstag, wobei jeweils unter a) die Unterrichtsstunde

vor der Sanierung und b) die entsprechende Stunde nach der Sanierung dargestellt ist.

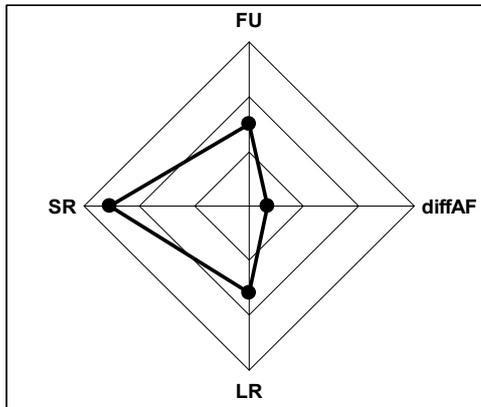


Abb. 5.177a Donnerstag, vor San., 1. Std.

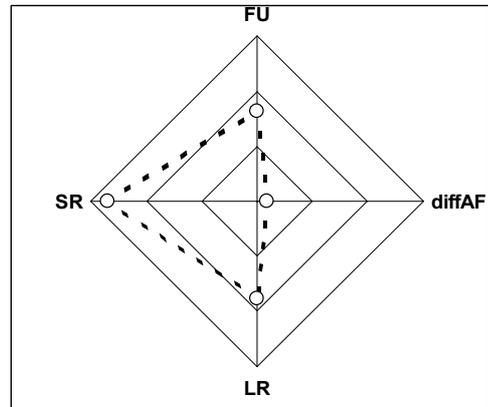


Abb. 5.177b Donnerstag, nach San., 1. Std.

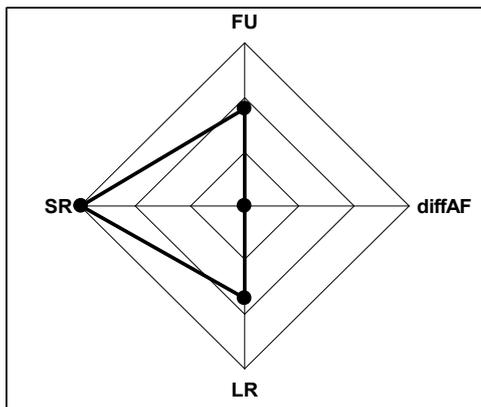


Abb. 5.178a Donnerstag, vor San., 2. Std.

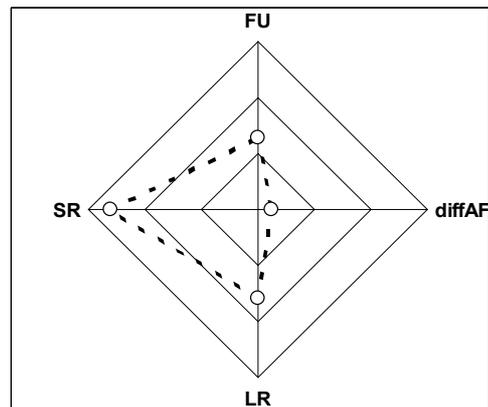


Abb. 5.178b Donnerstag, nach San., 2. Std.

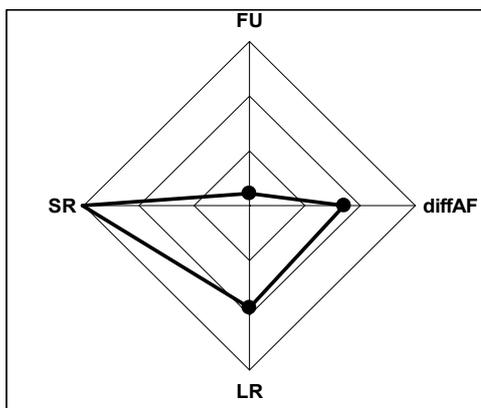


Abb. 5.179a Donnerstag, vor San., 4. Std.

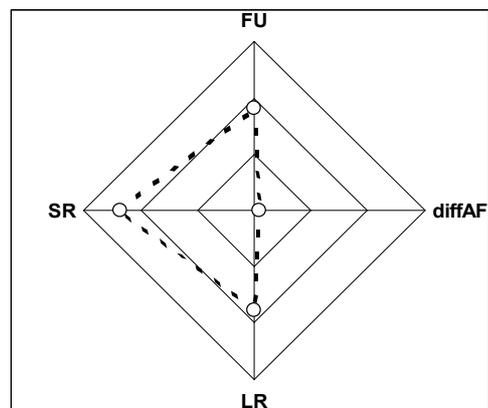


Abb. 5.179b Donnerstag, nach San., 4. Std.

Auffällig ist die sehr hohe Übereinstimmung der Grids für die 1. und 2. U.-Std., was die sehr hohe methodische Ähnlichkeit der Unterrichtsstunden bestätigt. In der 4. U.-Std. ist jedoch eine nahezu gegensätzliche Arbeitsform zu beobachten. Verantwortlich dafür ist der bereits erwähnte Wechsel im Stundenplan: Statt des Fachs „Sachkunde“ (vor der Sanierung) wurde nach dem Umbau „Religionslehre“ unterrichtet. Und während der Sachkundeunterricht fast während der gesamten Stunde von differenzierten Arbeitsformen geprägt war, kam die Religionsstunde scheinbar ganz ohne diese aus.

Mit diesem Kenntnisstand ist es abschließend also für diese sechs ausgewählten Unterrichtseinheiten auf methodisch abgesicherter Basis möglich, die Korrelation der Beanspruchungsgröße Herzfrequenz mit dem Arbeitsgeräuschpegel im Detail herauszuarbeiten. Eine Analyse der gesamten Tagesstruktur erscheint für diesen Zweck nicht sinnvoll, da sie zu viele unkontrollierbare Unterbrechungen dieser Kopplung aufweist (z. B. durch Pausen etc.). Im Folgenden (Abb. 5.180-5.183) wird für jede dieser sechs Unterrichtsstunden in 5min-Abschnitten die jeweilige mittlere Beanspruchung (HF_{mw5min}) als Funktion des Arbeitsgeräuschpegels ($L_{Aeq,5min}$) dargestellt.

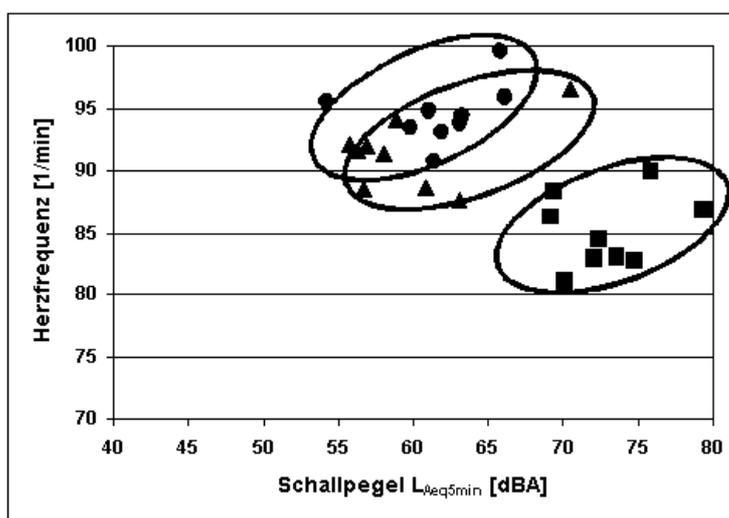


Abb. 5.180 Mittlere Beanspruchung in Abhängigkeit vom Arbeitsgeräuschpegel, Do vor der Sanierung, 1. (●), 2. (▲), 4. (■) U.-Std.

Die eingezeichneten Ellipsen fassen dabei die Daten jeweils einer Unterrichtsstunde zusammen, wobei die Achse der Ellipse in der Darstellung mit der entsprechenden Regressionsgeraden übereinstimmt.

Bei der Zusammenschau der drei Stunden des Donnerstags vor der Sanierung (Abb. 5.180) fallen dabei zwei Dinge unmittelbar ins Auge: zum einen die Verschiebung der Ellipsen nach rechts, also der Anstieg des Arbeitsgeräuschpegels über den Schultvormittag, zum anderen der Abfall der Beanspruchung als Folge von Ermüdung, wie dies z. B. in Kap. 5.2.2 beschrieben wurde. Innerhalb der einzelnen Stunden allerdings führte – erkennbar an der Lage der Ellipsen – ein Anstieg des Geräuschpegels ausnahmslos zu einer Erhöhung der Herzfrequenz und damit zu einer Zunahme der Belastung.

In den Abbildungen 5.181 bis 5.183 ist schließlich für jede dieser drei Unterrichtsstunden die Situation vor und nach der Sanierung dargestellt. Für die 1. und 2. U.-Std. zeigt sich sowohl die Abnahme des Arbeitsgeräuschpegels als auch der Beanspruchung unter der akustisch verbesserten Arbeitsumgebung. Zusätzlich ist der An-

stieg der Herzfrequenz in Abhängigkeit vom Schallpegel nach der Sanierung geringer als vorher (niedrigerer Steigungswinkel der Ellipse). Dies weist auf eine geringere Empfindlichkeit gegenüber dem Belastungsfaktor Lärm hin, wenn die akustischen Rahmenbedingungen optimal sind. Ob dies durch die verbesserte Sprachverständlichkeit oder den gesunkenen Geräuschpegel verursacht wird, lässt sich hier nicht klären.

Für die 4. U.-Std. wird eine direkte Ableitung, bedingt durch die unterschiedlichen Unterrichtsfächer und die damit verbundenen entgegen gesetzten Arbeitsformen, praktisch unmöglich. Dennoch: Die Grafik zeigt auch hier eine Reduzierung des Schallpegels und der Herzfrequenz, ebenso eine Reduzierung der Empfindlichkeit.

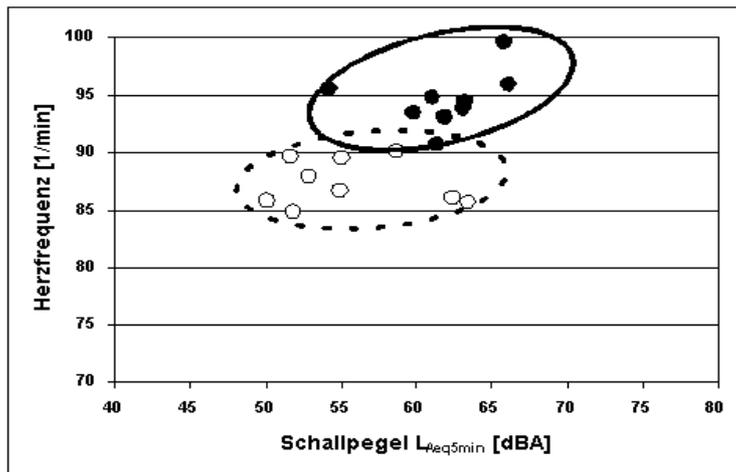


Abb. 5.181 Mittlere Beanspruchung in Abhängigkeit vom Arbeitsgeräuschpegel, Do 1. Std. „Sprache“, vor (●) und nach (○) der Sanierung

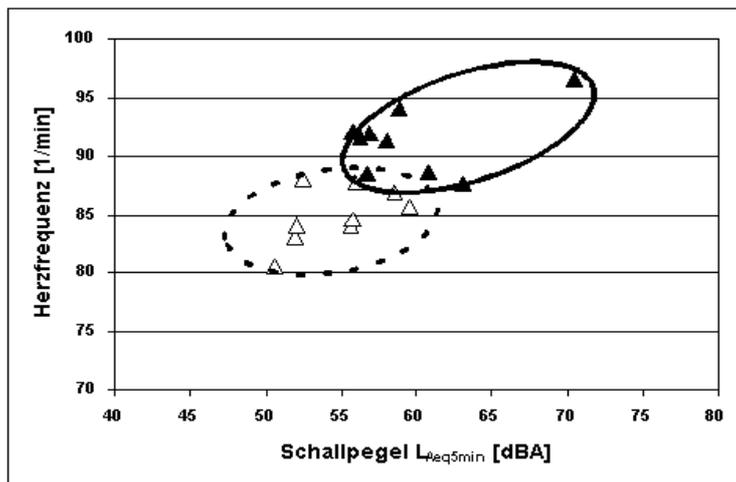


Abb. 5.182 Mittlere Beanspruchung in Abhängigkeit vom Arbeitsgeräuschpegel, Do 2. Std. „Mathematik“, vor (▲) und nach (△) der Sanierung

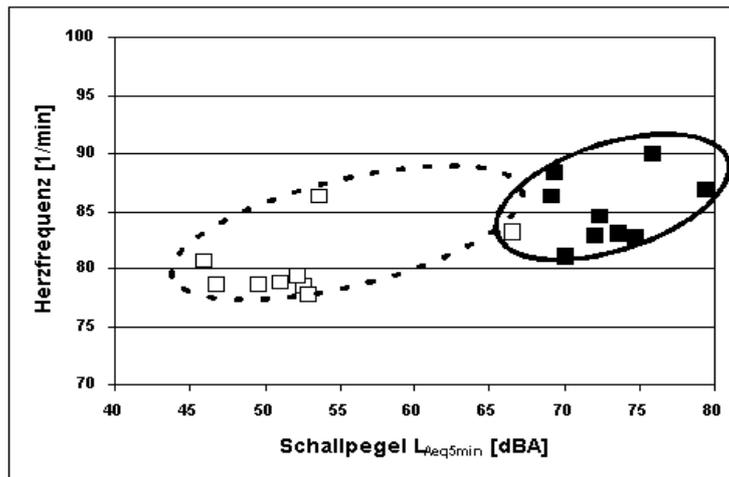


Abb. 5.183 Mittlere Beanspruchung in Abhängigkeit vom Arbeitsgeräuschpegel, Do 4. Std. „Sachkunde/Religion“, vor (■) und nach (□) der Sanierung

Über die generelle Tendenz der Lehrerin zu niedrigerer Beanspruchung bei überwiegend frontaler Arbeitsweise wurde hinreichend gesprochen. Allerdings, auch das zeigt der direkte Stundenvergleich, gelingt es der Pädagogin, mit dieser Arbeitsform eine außergewöhnlich leise und konzentrierte Arbeitsatmosphäre zu schaffen. Die Arbeitsgeräuschpegel der Religionsstunde sind mit 5min-Mittelwerten zwischen 45 und 55 dB(A) und einem „Ausreißer“ auf gerade mal 65 dB(A) geradezu sensationell niedrig.

Die hier dargestellte Auswirkung der raumakustischen Sanierung kann auch am zweiten ausgewählten Beispiel gezeigt werden, den ersten beiden Unterrichtsstunden des Dienstags, in denen in beiden beobachteten Wochen die gleichen Fächer, Sprache und Sachkunde, unterrichtet wurden. Für die 1. Unterrichtsstunde (Sprache) (Abb. 5.184) kann eine leichte Zunahme der frontalen Arbeitsform beobachtet werden, allerdings ohne eine Veränderung in der differenzierten Arbeitsform. Ebenso ist eine Abnahme der Schülerrede festzustellen. Für die 2. Unterrichtsstunde (Sachkunde) (Abb. 5.185) ist die Unterrichtsgestaltung bezüglich Arbeitsform und Redeanteilen fast identisch.

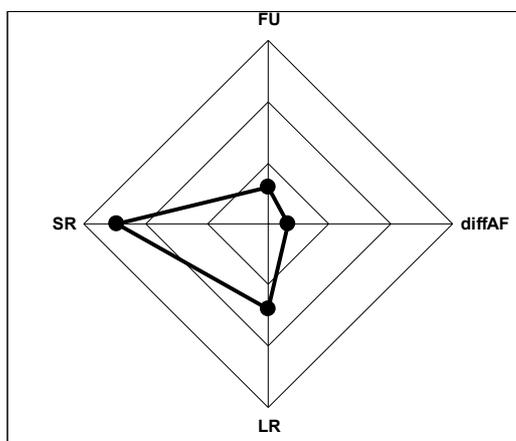


Abb. 5.184a Dienstag, vor San., 1. Std.

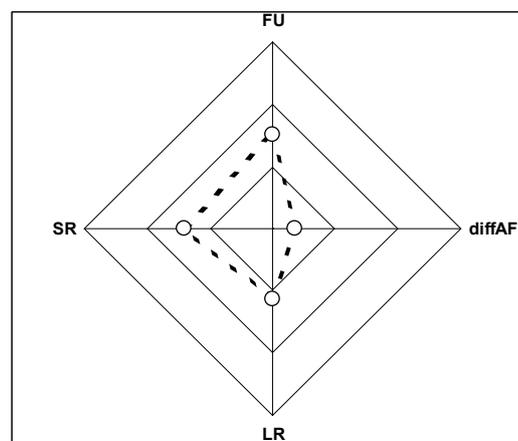


Abb. 5.184b Dienstag, nach San., 1. Std.

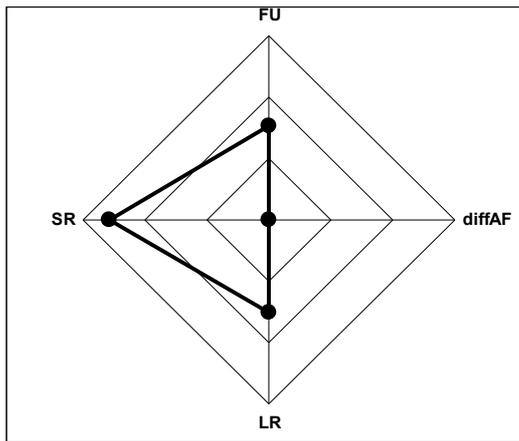


Abb. 5.185a Dienstag, vor San., 2. Std.

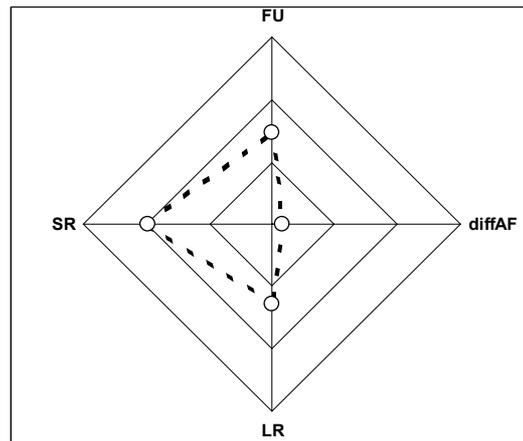


Abb. 5.185b Dienstag, nach San., 2. Std.

In Abbildung 5.186 ist erneut der Zusammenhang zwischen dem Arbeitsgeräuschpegel und der Beanspruchungsreaktion der Lehrerin dargestellt. Die jeweiligen zu einer Unterrichtsstunde gehörenden Daten, aufgelöst in 5 min Abschnitte, sind wieder durch eine Ellipse zusammengefasst. Die Radien der Ellipsen geben die Streuung der Daten in den beiden Dimensionen an und die Achsen entsprechen den Regressionsgraden.

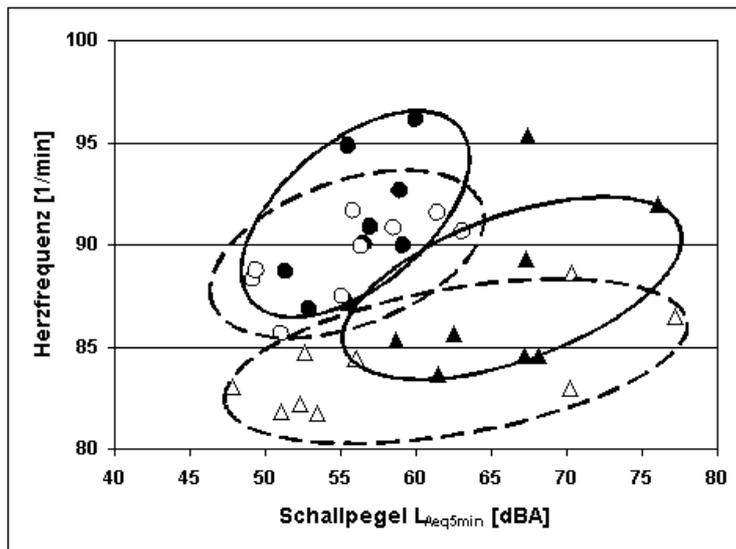


Abb. 5.186 Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Arbeitsgeräuschpegel am Di vor (●▲) und nach (○△) der Sanierung, 1. (●○) und 2. (▲△) U.-Std.

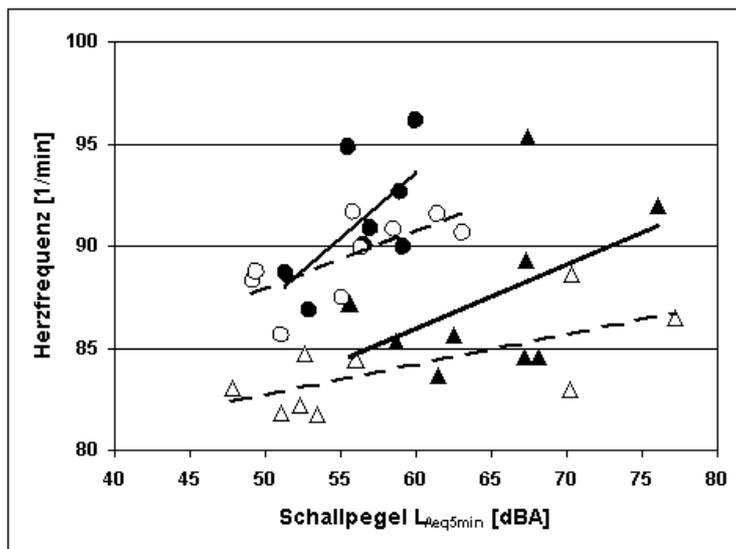


Abb. 5.187 Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Arbeitsgeräuschpegel am Di vor (● ▲ —) und nach (○ △ ---) der Sanierung, 1. (● ○) und 2. (▲ △) U.-Std. mit Regressionsgeraden

In dieser Darstellung wird zum einen der Ermüdungseffekt in der Reihenfolge der Stunden deutlich, zum anderen der Einfluss der raumakustischen Sanierung, die Werte der zweiten Woche liegen in beiden Dimensionen niedriger als vorher. In der Abbildung 5.187 sind die gleichen Daten wie in Abbildung 5.186 noch einmal dargestellt. Eingezeichnet sind diesmal aber nur die Regressionsgeraden, deren Steigung ein Maß für die Lärmempfindlichkeit ist: Sie geben an, um wie viel Schläge pro Minute die Beanspruchung in Form der Herzfrequenz bei einer Änderung des Arbeitsgeräuschpegels ansteigt. Die Reduzierung der Lärmempfindlichkeit unter den akustisch besseren Bedingungen nach der Sanierung lässt sich somit deutlich belegen.

Gerade deshalb lohnt am Ende noch einmal eine zusammenfassende Beurteilung der Auswirkungen der Raumakustik auf den Unterricht und der daraus resultierenden Beanspruchung der unter diesen Bedingungen arbeitenden Lehrerin unter der getrennten Betrachtung der beiden typischen Arbeitsformen des „frontalen“ oder eben „differenzierten“ Unterrichts.

Und dabei ergibt sich in der Gesamtschau der beiden Unterrichtswochen, die das Projektteam des ISF die Lehrerin in der Baumberge-Schule begleiten durfte, ein eindrückliches Bild (vgl. zur Ausgangslage noch einmal Kap. 5.2.1 und Kap. 5.2.2): Die Veränderung der ergonomischen Arbeitsbedingungen – hier in Form der Reduzierung der Nachhallzeit bzw. Erhöhung der Sprachverständlichkeit – führte sowohl während des Frontalunterrichts als auch während differenzierter Unterrichtsphasen des Unterrichtes zu einer Verringerung des Arbeitsgeräuschpegels einerseits und der Lehrer-Beanspruchung andererseits.

Abbildung 5.188 zeigt noch einmal die Verteilung des Arbeitsgeräuschpegels in der beobachteten Klasse der Baumberge-Schule in Phasen mit überwiegendem Anteil FU vor und nach der Sanierung:

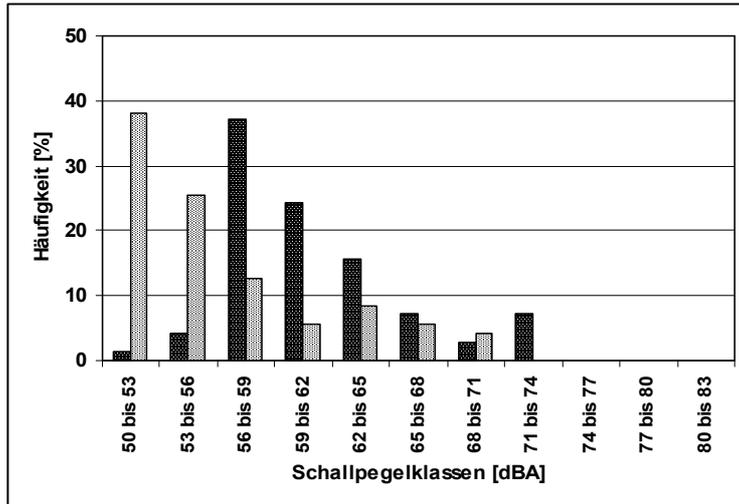


Abb. 5.188 Verteilung des Arbeitsgeräuschpegels in Phasen mit FU > 50 % vor (■) und nach (▨) der Sanierung

Während das Maximum der Verteilung vor der Sanierung in der Klasse „56 bis 59 dB(A)“ lag, liegt es nach der Sanierung um 6 dB niedriger. Bezogen auf einen angenommenen mittleren Sprechpegel eines Erwachsenen mit etwa 62 dB(A) bedeutet dies:

<i>RT > 0,5 s</i>	<i>n = 70</i>	<i>67,1 % unter 62 dB(A)</i>
<i>RT < 0,5 s</i>	<i>n = 71</i>	<i>81,7 % unter 62 dB(A)</i>

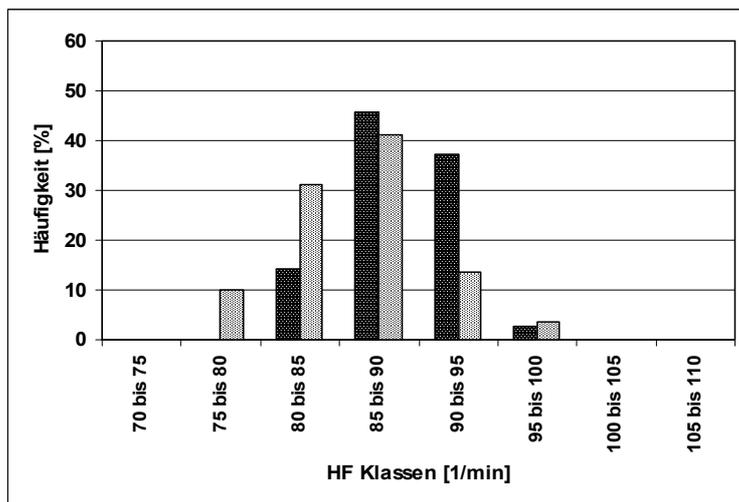


Abb. 5.189 Verteilung der mittleren Beanspruchung in Phasen mit FU > 50 % vor (■) und nach (▨) der Sanierung

Abbildung 5.189 zeigt die Verteilung der mittleren Beanspruchung für die gleichen Arbeitsphasen wie zuvor: Bei der mittleren Beanspruchung liegt das Maximum der Verteilung sowohl vorher als auch nachher in der Klasse „85 bis 95 [1/min]“. Ver-

gleichet man aber die Zeitanteile, in denen die Beanspruchung unter dem Wert von 90 [1/min] lag, so ergibt sich dennoch ein deutliches Bild einer reduzierten Beanspruchung.

$RT > 0,5 s$	$n = 70$	60,0 % unter 90 [1/min]
$RT < 0,5 s$	$n = 80$	82,5 % unter 90 [1/min]

Bei einer Betrachtung der Schallpegel-Maxima während differenzierter Arbeitsphasen (Abb. 5.190) entsteht möglicherweise ein irritierendes Bild durch die starke Häufung in der niedrigsten Klasse „50 bis 53 dB(A)“. Die kumulative Betrachtung der Schallpegelwerte unter 62 dB(A) (s. o.) klärt diesen Sachverhalt sehr viel besser. Denn auf diese Weise zeigt sich praktisch eine Verdopplung der Anteile, in denen vergleichsweise leise miteinander gesprochen wurde. Durch den deutlich verringerten Gesamtanteil ist hierbei eine eventuell höhere Schwankungsbreite zu berücksichtigen.

$RT > 0,5 s$	$n = 35$	31,4 % unter 62 dB(A)
$RT < 0,5 s$	$n = 15$	60,0 % unter 62 dB(A)

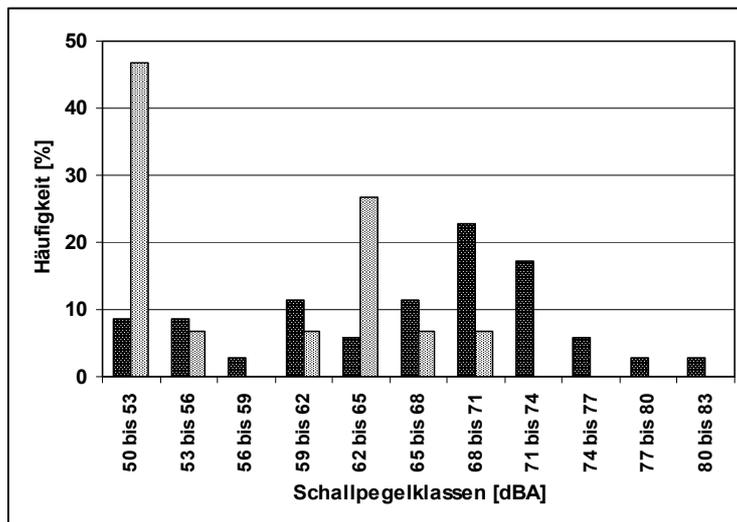


Abb. 5.190 Verteilung des Arbeitsgeräuschpegels in Phasen mit $\text{diffAF} > 50\%$ vor (■) und nach (▨) der Sanierung

Auch der Unterschied in der Verteilung der mittleren Beanspruchung (Abb. 5.191) fällt während der differenzierten Arbeitsphasen deutlich geringer aus als während der frontalunterrichtlich dominierten. Dennoch macht auch hier die Betrachtung der ku-

mulativen Verteilung der Daten, bezogen auf den Wert 90 [1/min], die Reduzierung der Beanspruchung sichtbar.

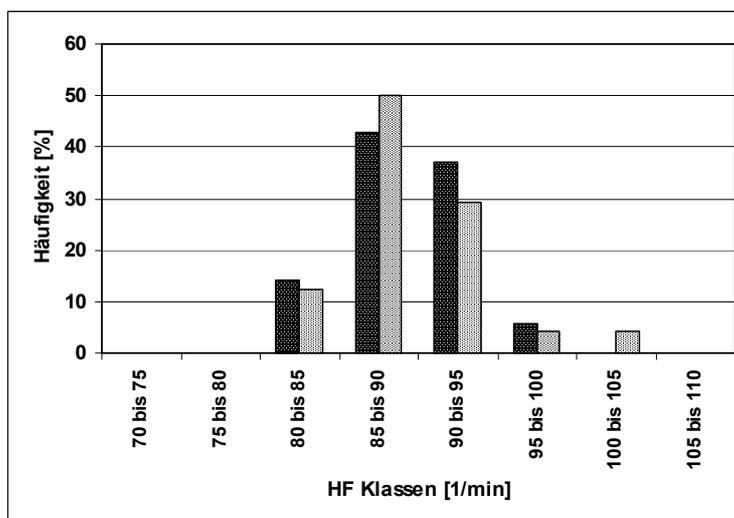


Abb. 5.191 Verteilung der mittleren Beanspruchung in Phasen mit $\text{diffAF} > 50\%$ vor (■) und nach (▨) der Sanierung

$RT > 0,5\text{ s}$	$n = 35$	57,1 % unter 90 [1/min]
$RT < 0,5\text{ s}$	$n = 24$	62,5 % unter 90 [1/min]

In der Zusammenschau mit den Ergebnissen aus den vorhergehenden Analysen kann sicher begründet darüber spekuliert werden, dass die Wirkung während differenzierter Arbeitsphasen bei einigen Lehrerinnen und Lehrern aus dem Kollegium der Grundschule Stichnetstraße noch höher ausgefallen wäre (und während frontaler Arbeitsphasen evtl. niedriger?).

Die Ergebnisse der vorhergehenden statistischen Analysen finden sich also im Kleinen wieder. Auch in der konkreten einzelnen Unterrichtsstunde ist – während beider Arbeitsformen – eine Auswirkung der raumakustischen Rahmenbedingungen auf Geräuschpegel und Beanspruchung der Lehrkraft erkennbar. Die beiden Parameter verhalten sich dabei auffallend parallel. Ein Zusammenhang der beiden Größen kann mehr als begründet angenommen werden. Der so genannte „leise Lärm“ schlägt sich direkt in der Beanspruchung der Lehrerin nieder.

Wie im Kapitel 2.3.1 dargestellt, handelt es sich bei Geräuschen in jedem Fall um einen Stressor, d. h. eine Belastungsgröße. So ist es nachvollziehbar, dass die Beanspruchungsreaktion auf einen an Intensität zunehmenden Stressor auch stärker wird. Der hier festgestellte Zusammenhang lässt sich somit interpretieren: Mit steigendem Schallpegel steigt auch die Herzfrequenz.

Für die einzelne Unterrichtsstunde ist dieser Zusammenhang klar nachweisbar. Für die Interpretation dieses Unterschiedes zwischen den einzelnen Stunden greift das Modell von SUST UND LAZARUS (1997), nach dem eine kontinuierliche Dysregulation zu einer tonischen Verschiebung führt, was sich als Ermüdung oder Aktivierung nie-

derschlägt. Dass die Empfindlichkeit dieser Dysregulation aber auch noch durch andere Parameter beeinflusst werden kann, zeigen die Vergleiche der Unterrichtsstunden vor und nach der Sanierung sehr deutlich. Die bessere Raumakustik hat eine deutlich geringere Lärmempfindlichkeit zur Folge, und damit ist die Wirkung des Stressors reduziert. Die anderen Einflussgrößen können dabei als konstant angenommen werden.

5.4 Exkurs: Subjektive Befragung zur Lärmempfindlichkeit

Im Rahmen des Projektes „Belastung und Beanspruchung von Lehrerinnen und Lehrern“ (vgl. SCHÖNWÄLDER ET AL., 2003) wurde die Frage nach der subjektiven Belastung durch „den Lärm, den Schülerinnen und Schüler machen“ (Frage 105 des Belastungs-Fragebogens) von über 80 % der befragten 1.159 Lehrerinnen und Lehrer mit „trifft zu“ beantwortet. Diese subjektive Einschätzung des Faktors „Lärm“ sollte durch entsprechende Einschätzung einer realen Unterrichtssituation, die durch eine Schallpegelmessung begleitet wurde, auf ihre Qualität der Einschätzung hin überprüft werden. Da sich die Einschätzung der „Lautheit“ einer Unterrichtsstunde auf die volle Zeit und nicht auf einzelne Ausschnitte bezieht, kann hier die Einschätzung unmittelbar nur mit dem Beurteilungspegel der Unterrichtsstunde verglichen werden. Andererseits ist es denkbar, dass bei der Bewertung auch nur einige besondere Situationen aus der Erinnerung für die Einschätzung von Bedeutung sind, dies kann sowohl eine sehr unangenehme laute Situation, aber auch eine ungewöhnlich leise Arbeitsphase gewesen sein. Hinzu kommt eine tonische Komponente der Empfindlichkeit, wie sie von SCHÖNWÄLDER ET AL. (2003) im Verlauf eines Unterrichtstages zu beobachten war. Dieser Effekt ist möglicherweise auf eine zunehmende Ermüdung oder eine sich aufsummierende Empfindlichkeit gegen Lärm zurückzuführen. Ein Vergleich der mittels des LEF (Lärm-Empfindlichkeits-Fragebogen) von ZIMMER UND ELLERMEIER (1997) bei den Lehrerinnen und Lehrern erhobenen Lärm-Empfindlichkeit ergab nach SCHÖNWÄLDER ET AL. (2004) keinen Zusammenhang mit den im Unterricht abgegebenen Einschätzungen der Lautheit einer Stunde.

Für die Lehrerin an der Baumberge-Schule wurde die subjektive Bewertung der „Lautheit“ in beiden Wochen vor und nach der raumakustischen Sanierung für jede Unterrichtsstunde erfasst. In Abbildung 5.192 ist die Verteilung der subjektiven Bewertung vor und nach der Sanierung dargestellt.

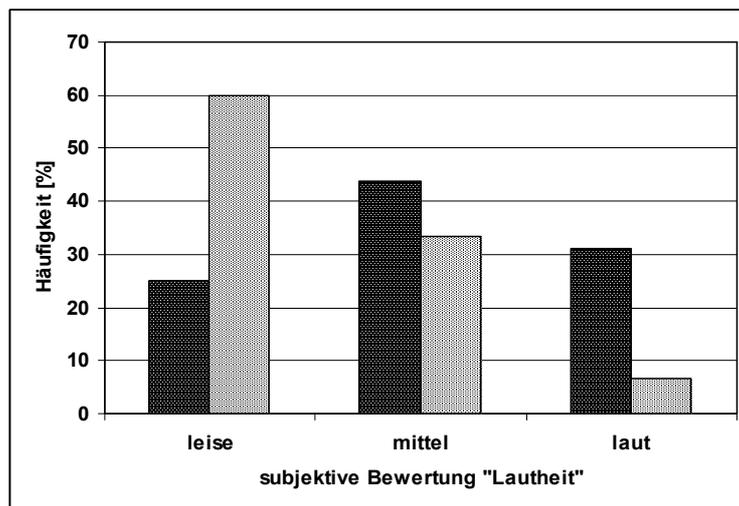


Abb. 5.192 Antworthäufigkeit der subjektiven Bewertung von „Lautheit“, RT > 0,5 s (■) und RT < 0,5 s (▨)

Aus dieser Darstellung kann der Schluss gezogen werden, dass nach der Sanierung die Geräuschsituation als deutlich leiser eingeschätzt wird im Vergleich zur Situation vor der Sanierung. Die Bewertung „laut“ kommt praktisch nicht mehr vor, dafür eine

Bewertung „leise“ für 60 % der Unterrichtsstunden. Diese einseitige Verteilung nach der Sanierung deutet zumindest auf eine größere Zufriedenheit mit der Gesamtsituation hin. Die Tatsache, dass es im Unterricht allgemein leiser geworden ist bei gleicher Verteilung auf die Unterrichtsstunden, würde eine einfache Verschiebung der „Lautheits“-Beurteilung erwarten lassen, nicht aber eine derart schiefe Verteilung, wie zuvor dargestellt.

In Abbildung 5.193 sind die Bewertungen der Lautheit dieser Lehrerin über alle beobachteten Unterrichtsstunden dargestellt, jeweils in Abhängigkeit vom tatsächlich gemessenen Arbeitsgeräuschpegel.

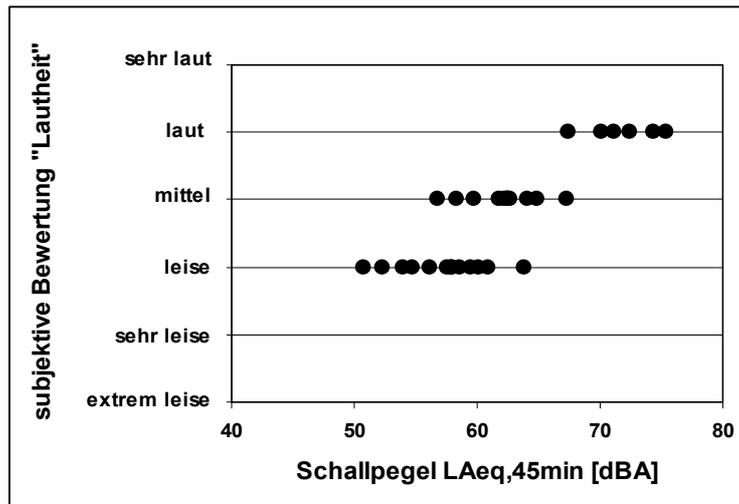


Abb. 5.193 Subjektive Bewertung der „Lautheit“ in Abhängigkeit vom Beurteilungspegel $L_{Aeq,45min}$

Aus der Abbildung wird die sehr große Streuung der Beurteilung der Geräuschsituation deutlich, ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der subjektiven Einschätzung und dem gemessenen Beurteilungspegel existiert nicht. Allein der Bereich von 55 bis 65 dB(A) wird sowohl „leise“ als auch „mittel“ eingestuft, und dies nur auf ein und dieselbe Person bezogen, zwischen unterschiedlichen Personen ist eine sehr viel größere Streuung zu erwarten. Die schiefe Verteilung in Abbildung 5.192 entspricht nicht der Verteilung der Beurteilungspegel, d. h., die Diskrepanz beruht auf der enorm großen Toleranzbreite der Bewertung, sicher aber auch auf der Bewertung der Gesamtsituation, möglicherweise auch auf einer gewissen Hemmschwelle, die Kategorie „sehr leise“ überhaupt zu verwenden.

Die Verwendung einer solchen subjektiven Bewertung der Lautheit ist als orientierte Größe durchaus möglich. Letztlich liefern Befragungen alleine aber keine verlässliche Beurteilung der tatsächlichen Geräuschsituation. Die hierfür erforderliche Diskussion, was letztendlich die subjektive Einschätzung beeinflusst, soll in diesem Rahmen nicht angeschnitten werden.

6 Zusammenfassung

1) Wie erwartet sind sowohl der Arbeitsgeräuschpegel als auch der Grundgeräuschpegel in beiden Schulen deutlich abhängig von der Raumakustik: Je kürzer die Nachhallzeit, je besser damit gleichzeitig die Sprachverständlichkeit, desto leiser wurde das Unterrichtsgeschehen im Klassenraum. Dieser Zusammenhang war dabei in den untersuchten Klassenräumen mit Nachhallzeiten zwischen 0,3 s und 0,8 s auffallend linear: Der Geräuschpegel verringerte sich um etwa 2 dB pro 0,1 s reduzierter Nachhallzeit. Die erzielten Pegelreduktionen in der Baumberge-Schule waren dabei deutlich größer als dies durch die bei der Sanierung zusätzlich eingebrachte Absorptionsfläche rechnerisch zu erwarten war, wodurch der Beitrag durch die Verhaltensänderung der Schülerinnen und Schüler an dieser Reduktion greifbar wird. Das pädagogische Verhalten war dabei in beiden Untersuchungswochen nahezu gleich. Die Reduktion kam also nachweisbar nicht durch die eventuell vermutbare Tatsache zustande, dass Schüler oder Lehrerin während des zweiten Untersuchungszeitraums quantitativ weniger miteinander gesprochen hätten. Da die zeitlichen Redeanteile aber nicht zurückgingen, muss die Ursache in einer verminderten Sprechlautstärke liegen. Auffällig war zudem ein weiteres Phänomen: Während vor allem der Grundgeräuschpegel in der Baumberge-Schule vor der Sanierung über den Unterrichtsvormittag hinweg um durchschnittlich 10 dB anstieg, blieb dieser Anstieg nach der Sanierung weitgehend aus.

2) Die Vermutung, offene differenzierte Arbeitsformen erzeugen generell einen höheren Arbeitsgeräuschpegel als frontale kontrollierte Arbeitsformen, ließ sich anhand der vorliegenden Datenlage nur bedingt bestätigen. Tatsächlich ergab die Analyse des Datensatzes aus der Baumberge-Schule mit Pegeldifferenzen von ca. 5 dB zwischen frontalen und nicht-frontalen Unterrichtsphasen dieses Bild sehr deutlich – es wurde jedoch vom Datensatz aus der Grundschule Stichnethstraße nicht mit der gleichen Deutlichkeit bestätigt. Überraschenderweise unterscheiden sich in beiden Schulen die unterschiedlichen Arbeitsformen kaum bezüglich der zeitlichen Anteile von Lehrer- bzw. Schülerrede. Frontalunterricht bedeutet demnach nicht, dass die Schüler am Geschehen nicht beteiligt wären (Stichwort: frontal gelenktes Unterrichtsgespräch), offenes Arbeiten bedeutet hingegen ebenso wenig, dass der Lehrer aufhört zu sprechen.

3) Die durch die raumakustischen Veränderungen in der Baumberge-Schule erreichten Pegelreduktion war nicht für alle Arbeitsformen gleich. Tatsächlich war die Pegelreduktion während differenzierter Arbeitsphasen im Vergleich zu vor der Sanierung mit durchschnittlich 12 dB mehr als doppelt so hoch wie die während frontaler Unterrichtsphasen beobachtete Senkung um ca. 5 dB. Geht man von einer physikalischen Pegelreduktion von etwa 3-4 dB aus, wird deutlich: Während frontalunterrichtlicher Arbeitsphasen wird ein Großteil der erreichten Minderung über die physikalische Absorption erreicht, während differenzierter Arbeitsphasen schlägt hingegen vor allen ein verändertes – leiseres – Nutzerverhalten zu Buche. Die akustische Qualität des Raumes ist also vor allem während differenzierter Arbeitsphasen bedeutsam. Während der Arbeitsgeräuschpegel vor der Sanierung mit einer Zunahme des zeitlichen Anteils differenzierter Arbeitsformen in der Regel anstieg (s. o.), war dieser Zusammenhang unter den verbesserten raumakustischen Bedingungen (mittlere Nachhall-

zeit $< 0,5$ s) nicht mehr feststellbar. Im Gegenteil: Die offenen Arbeitsphasen waren nach der Sanierung im Mittel sogar leiser als der kontrollierte frontale Unterricht.

4) Die Beanspruchung im Unterricht ist abhängig von der ergonomischen Randbedingung Raumakustik. Der Unterschied in der mittleren Beanspruchung und in der Basisaktivierung der Lehrerinnen und Lehrer war dabei nicht nur in der Baumberge-Schule mit ihren klar kontrollierbaren Randbedingungen (vor und nach Sanierung) feststellbar, sondern auch in den beiden akustisch unterschiedlichen Stockwerken der Grundschule Stichnetstraße. Der in den Mittelwerten z. T. nur schwach ausgeprägte Unterschied wird deutlicher, wenn man die Häufigkeitsverteilung der beobachteten HF-Werte aller Personen gegenüberstellt. Bei der Verteilung der Basisaktivierung ist dieser Zusammenhang noch deutlicher zu erkennen. Unter den akustisch günstigeren Bedingungen im Obergeschoss ist die Grundanspannung deutlich niedriger als bei den Lehrkräften, die im Erdgeschoss unterrichten. In der Grundschule Stichnetstraße lässt sich unter den akustisch besseren Bedingungen im OG (Nachhallzeit ca. 0,5 s) eine Gleichverteilung von Ermüdung und Aktivierung beobachten, während im EG mit den nur 0,1 bis 0,2 s längeren Nachhallzeiten die Ermüdung überwiegt. Auch in der Baumberge-Schule lässt sich nach der Sanierung eine Verringerung der Ermüdungsanteile beobachten. Die Ermüdung anhand eines weiteren Parameters zu überprüfen, wäre hier natürlich sinnvoll, war aber im Projektdesign nicht vorgesehen, sicher aber eine Frage für die Zukunft.

5) Die Beanspruchung im Unterricht ist sowohl abhängig vom Tagesverlauf als auch von der Arbeitsform. Dabei ist generell ein deutlicher Ermüdungseffekt über den Schulvormittag zu beobachten. Allerdings fällt dieser Effekt unter akustisch besseren Bedingungen (Baumberge-Schule nach der Sanierung, Grundschule Stichnetstraße im OG) weniger stark aus. Bezüglich der Arbeitsform werden in der Herzfrequenz in der Baumberge-Schule vor allem die persönlichen Präferenzen der Lehrkraft sichtbar. Im gemischten Datensatz aus der Grundschule Stichnetstraße sind bei einer Mittelwertbetrachtung keine Abhängigkeiten erkennbar. Allerdings zeigt sich bei einer detaillierten Analyse der Verteilung auch hier eine geringere Beanspruchung der Lehrerinnen und Lehrer während frontaler Unterrichtsphasen. Da Aufmerksamkeitsprozesse zu einer steigenden Beanspruchung führen, wäre dies eine Erklärungsmöglichkeit, denn bei differenziertem Arbeiten muss die Lehrkraft viele verschiedene Arbeitsgruppen kontrollieren oder anleiten, bei frontalem Unterrichten aber nur alle Schüler als eine Gruppe. Ähnliches gilt für die Redeanteile: Vor allem in der Baumberge-Schule zeigt sich eine auffällig geringe Beanspruchung durch die eigene Rede. Auch hier stellt sich die Frage nach der Verteilung der Aufmerksamkeit, ist eigenes Sprechen weniger belastend als das „mehrfache“ Zuhören.

6) Die mittlere Beanspruchung der Lehrerinnen und Lehrer fällt in der Grundschule Stichnetstraße unter den akustisch besseren Bedingungen im OG sowohl während frontaler als auch während differenzierter Arbeitsphasen tendenziell weniger stark aus. Ein Unterschied zwischen den Arbeitsphasen (wie etwa beim Schallpegel) wurde dabei nicht sichtbar. Auch die Verteilung der Basisaktivierung war in beiden Schulen während beider Arbeitsformen bei guter Raumakustik deutlich geringer. Dabei konnte in beiden Schulen unter akustisch guten Bedingungen eine Reduzierung der Ermüdung beim Frontalunterricht festgestellt werden. Für differenzierte Arbeitsphasen ist dieser Zusammenhang nur in der Grundschule Stichnetstraße sichtbar (evtl. Problem eines statistischen Artefakts). Der Vergleich solcher ausdifferenzierter Ar-

beitssituationen ist nur auf das Individuum bezogen möglich, für den Gruppenvergleich ist das vorhandene N zu klein. Hier spielen individuelle Faktoren wie Konstitution, motorisches Verhalten, Verhaltensmuster und vieles mehr eine deutliche Rolle, die aber für die einzelne Lehrkraft nicht mit erhoben worden sind. Dies macht nochmals die besondere Bedeutung der Untersuchung aus der Baumberge-Schule deutlich.

7) Die synoptische Verknüpfung an Einzelverläufen zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen Beanspruchungsreaktion und „Lärm“ im Unterricht. Für die einzelnen Unterrichtsstunden lassen sich tendenzielle Abhängigkeiten zeigen: Wird durch die verbesserte Raumakustik der Arbeitsgeräuschpegel im Unterricht gesenkt, verringert sich gleichzeitig auch die Beanspruchung der Lehrkraft. Während des 5 bis 10 dB leiseren Unterrichts unterrichtete die Lehrkraft mit einer um etwa 10 Schläge pro Minute reduzierten mittleren Herzfrequenz. Die hier beobachtete Veränderung der Empfindlichkeit gegenüber der Belastung durch Unterricht kann im Falle der Baumberge-Schule eindeutig auf die Veränderung der akustischen Ergonomie zurückgeführt werden, denn alle anderen Bedingungen sind konstant geblieben, soweit dies in einer Felduntersuchung kontrollierbar ist. In einem kurzzeitigen Laborexperiment sind solche Veränderungsprozesse im Individuum, wenn überhaupt, dann nur sehr eingeschränkt zu beobachten.

8) Die ergonomische Rahmenbedingung Raumakustik schlug sich ursächlich durch den verringerten Geräuschpegel im Unterricht zweifach in der Beanspruchung der Lehrkraft nieder: Neben der geschilderten Reduktion der mittleren Herzfrequenz veränderte sich auch ihre „Lärmempfindlichkeit“. Unter akustisch besseren Bedingungen war eine geringere Stressorwirkung des Faktors Lärm zu beobachten: Die Lehrkraft reagierte auf einen gleichen Geräuschpegelanstieg physiologisch weniger stark, ihre Herzfrequenz erhöhte sich deutlich weniger. Im Sinne des Stressmodells bedeutet dies, dass die Verarbeitung des Stressors „Lärm“, auch wenn es sich hier nur um Arbeitsgeräusche handelt, sowohl durch interne als auch durch externe Faktoren beeinflusst wird. Möglicherweise ist für die Reduzierung der Beanspruchung ursächlich nicht der reduzierte Geräuschpegel verantwortlich, sondern vielmehr die verbesserte Kommunikationsbedingung, die aber ohne Eingriff in die Raumakustik nicht möglich gewesen ist. Die Verknüpfung der Einflussfaktoren ist hier von entscheidender Bedeutung, und dies über die Zeit, die dieser Arbeitsprozess dauert. Die Analyse des Arbeitsplatzes mit einer Momentaufnahme allein ist nicht möglich, der Prozess über die Zeit ist von entscheidender Bedeutung für die individuelle Reaktion.

7 Arbeitswissenschaftliche Konsequenzen und Ausblick

Im Zusammenhang mit Arbeitsschutzmaßnahmen wird im gewerblichen Bereich häufig das in Abbildung 7.1 dargestellte TOP-Modell benutzt, welches die verschiedenen Interventionsebenen bei Gefährdungen der Arbeitssicherheit und die damit erzielbaren Wirkungen beschreibt (und damit übrigens per se einen *interdisziplinären* Denkansatz zur Basis hat). Dabei wird grundsätzlich zwischen **T**echnischen, **O**rganisatorischen und **P**ersönlichen Lösungen unterschieden, wobei davon ausgegangen wird, dass eine Lösung umso wirksamer ist, desto weiter oben sie angesiedelt wird (vgl. z. B. HARTUNG). So ist es beispielsweise wesentlich wirkungsvoller, maschinellen Lärm direkt an seiner Emissionsquelle zu reduzieren, als die betroffenen Personen durch organisatorische Maßnahmen davor zu schützen oder diese gar auf der personellen Ebene mit Gehörschutz auszustatten.

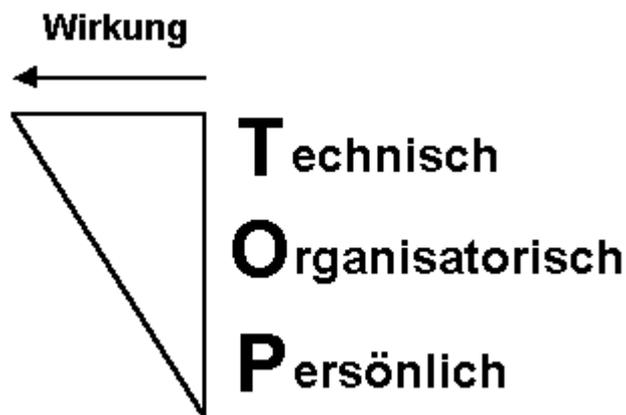


Abb. 7.1 TOP-Modell aus der Arbeitswissenschaft (HARTUNG)

Auf die Schule wurde dieses Modell, zumindest in der uns bekannten Literatur, bislang nicht angewandt. Eventuell zeigt sich auch hier, dass ein Schulhaus üblicherweise von den Arbeitswissenschaftlern nicht als „Arbeitsplatz“ wahrgenommen wird, ebenso wenig wie sich Schulforscher und Pädagogen arbeitswissenschaftlicher Instrumentarien bedienen.

Dabei könnte eine Übertragung des Modells auf die Schule so manches Missverständnis auch in der Diskussion um den Schullärm aufklären. Tatsächlich, so unsere Erfahrung aus zahlreichen Gesprächen, werden zu diesem Thema – je nach Gesprächspartner – nicht selten Aspekte aus den verschiedenen Kategorien vermischt und unvermittelt nebeneinander gestellt. Ohne eine qualifizierende Zuordnung ist eine solche Gemengelage jedoch meist nicht zielführend – insbesondere wenn zusätzlich emotional überlagerte Aspekte mit ins Spiel kommen. Wie soll man schließlich argumentieren, wenn die Forderung nach raumakustisch-ergonomisch guten Arbeitsbedingungen (T) mit einem lapidaren Hinweis auf die Lehrerpersönlichkeit oder „vielleicht ja“ mangelnde pädagogische Qualifikation (P) „entkräftet“ wird. Ein Rückbezug auf das TOP-Modell des Arbeitsschutzes macht die Mechanik einer solchen Auseinandersetzung deutlich: Es werden schlicht verschiedene Schubladen gezogen. Dass diejenigen, welche die technischen Lösungen bezahlen sollen, die jeweili-

gen Probleme gern im organisatorischen bzw. persönlichen Bereich verorten, ist dabei auch im gewerblichen Arbeitsschutz keine neue Erfahrung.

Auch in der öffentlichen Diskussion um den Schullärm wird dieser eher mit Defiziten beim Lehrer als beim Klassenraum in Verbindung gebracht. Aber auch von Lehrerinnen und Lehrern selbst wird die akustische Arbeitsumgebung, unter der sie unterrichten, kaum wahrgenommen, wie die Untersuchungen von MCKENZIE UND AIREY (1999) zeigten. Die Ursachenforschung verlässt selten den pädagogischen Tellerrand. Die Aufmerksamkeit schließt maximal den Bereich der Organisation mit ein, konzentriert sich dabei aber üblicherweise auf Merkmale wie Klassengröße oder Sozialverhalten. Zu Unrecht: Von den im Projekt „Lärm in Bildungsstätten“ (SCHÖNWÄLDER ET AL., 2004) untersuchten Grundschulen ist die Schule mit den kleinsten Klassengrößen, unter 20 Schülern, die lauteste Schule gewesen, bei gleichzeitig guter Raumakustik ($RT = 0,5 \text{ s}$).

Nimmt man TOP jedoch auch für den Schulbereich ernst, werden zwei fundamental bedeutsame Aspekte des Themas sichtbar: Zum einen verbietet es sich, das Phänomen „Schullärm“ auf nur eine Ursache zurückzuführen. Zum anderen wird deutlich, dass verschiedene Spieler einen aktiven Beitrag leisten müssen, damit ein förderliches Arbeitsumfeld für einen guten Unterricht entstehen kann. Kurz: Den ergonomischen Rahmenbedingungen (T) muss ein entsprechendes pädagogisches (P) und organisatorisches (O) Konzept gegenüberstehen.

Selbstredend wäre es völlig absurd zu behaupten, Lehrerinnen und Lehrer hätten keinen Einfluss auf die Geräuscentwicklung in ihren Klassenzimmern. Natürlich haben sie ihn – und sie müssen ihn nutzen. Im Bericht Lärm in Bildungsstätten von SCHÖNWÄLDER ET AL. (2004) wurden diese Einflussmöglichkeiten bereits eingehend behandelt. In der Untersuchung wurde gleichzeitig die Größenordnung sichtbar, in der Pegelminderungen durch pädagogische Interventionen einzelner Lehrkräfte innerhalb einer kürzeren Zeit zu erwarten sind: ca. 2 dB. Gleichzeitig waren jedoch bei vergleichbaren raumakustischen Bedingungen und vergleichbarer Sozialstruktur der Schülerschaft vergleichsweise große Unterschiede (5 bis 6 dB) im Geräuschpegel zwischen einzelnen Schulen feststellbar. Die Zusammenhänge waren dabei leicht identifizierbar: Wirklich leise waren nur jene Schulen, in denen das Kollegium ein einheitliches pädagogisches Konzept verfolgte. Wenn nicht nur in allen Klassenzimmern und während des Unterrichts die gleichen Verhaltensregeln gelten, sondern darüber hinaus in allen Bereichen der Schule, und die Kinder – egal welchem Lehrer/welcher Lehrerin sie auch begegnen – bei Nichteinhalten dieser Regeln mit der gleichen Reaktion zu rechnen haben, schlug sich das in den gemessenen Geräuschpegeln nachhaltig nieder. Das Rezept ist also ebenso einfach wie Erfolg versprechend, bedarf allerdings eines gemeinschaftlich handelnden und gegenseitig solidarischen Kollegiums. Zahlreiche Rückmeldungen von Lehrerinnen und Lehrern im Laufe unseres Projekts, dies sei in ihrem Kollegium nicht denkbar, sind verwunderlich – und eigentlich auch nicht akzeptabel. Die Forderung nach teamorientiertem Handeln ist auch in nichtakademischen Berufsgruppen längst eine Selbstverständlichkeit! Ein Beispiel: Die im Mittel leisesten beiden Schulen der BAuA-Untersuchung beginnen das Schulleben ihrer Erstklässer nicht etwa mit Unterricht, sondern einem mehrwöchigen sozialpädagogischem Training zum Verhalten in der Schule.

Ausbildung tut also Not – und das nicht nur bei den Schülern. Ob solche Trainings Bestandteil der Lehrerausbildung sind, entzieht sich unserer Kenntnis. Ermutigt durch die beiden positiven Beispiele trauen wir Lehrerinnen und Lehrern jedoch durchaus zu, aufgrund ihrer pädagogischen Kompetenz und Erfahrung gemeinsam solche Programme für ihre Schule zu entwickeln. Das konsequente gemeinsame Vorgehen erscheint dabei wesentlich wichtiger als inhaltliche Details. Die Lehrer müssen dabei nicht von vorn anfangen. Es stehen zahlreiche gute Unterrichtsmaterialien zur Verfügung, etwa durch die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA), privaten Institutionen (z. B. Lernen statt Lärmen e.V.; UfU e.V. etc.), Unfallkassen oder Berufsgenossenschaften. Zugang zu Informationen und Material gibt es auch über INQA, Initiative für Neue Qualität der Arbeit, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Anregungen finden sich bei interessanten Modellprojekten, etwa der „Schule des Hörens“, „Zuhören lernen“, „Ganz Ohr sein“ bis hin zu Hörclubs einiger Radiosender.

Die organisatorischen und persönlichen Beiträge zu einer Lärminderung in der Schule sind somit unverzichtbar. Auch optimale ergonomische Bedingungen liefern nur einen Rahmen für die pädagogischen Aktivitäten im Schulalltag. Dieser ist allerdings – hier ergab die Untersuchung ein außerordentlich deutliches Bild – ebenso notwendig für das Gelingen pädagogischer Bemühungen. Beide Aspekte lassen sich nicht durch den jeweils anderen ersetzen und gegeneinander ausspielen – sie bedingen sich gegenseitig und müssen zusammenspielen, damit Unterricht, insbesondere im Kontext einer veränderten Kommunikation, funktionieren kann.

Erneut stellt sich die Frage nach der Verantwortung. Anders ausgedrückt: Bei wem liegt die Sorgfaltspflicht, Lehrer und Schulkinder (!) mit den erforderlichen ergonomischen Arbeitsbedingungen auszustatten? Im gewerblichen Bereich ist diese Frage schnell beantwortet: Der Arbeitgeber ist hier erster Ansprechpartner. Es gibt keinen nachvollziehbaren Grund, warum dies im Schulleben nicht ebenfalls gelten sollte. Aber auch der Schulträger, der Eigentümer der Arbeitsstätte, des Schulhauses ist gefragt. Wenn tatsächlich der Klassenraum erstes und vielleicht wichtigstes Werkzeug ist, das dem Lehrer zur Verfügung gestellt wird, muss dieses Werkzeug dann nicht auf die Arbeitsaufgabe angepasst sein? Zumindest bei anderen ergonomischen Bedingungen (z. B. Beleuchtung) wird diese Verantwortung in der Regel ja vom Bauträger akzeptiert. Damit ist letztlich auch der Architekt gefragt. Bereits beim Entwurf eines Gebäudes bzw. der Konzeption einer Sanierung hat dieser einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Arbeitsbelastung der Lehrer und – folgt man den Ergebnissen von KLATTE – auf die Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler.

Die Realität ist dabei ernüchternd. Die raumakustischen Eigenschaften eines Schulgebäudes sind längst noch nicht bei allen Planern und Bauträgern ein ernst genommenes Kriterium für dessen bauliche Qualität – obwohl die Erfahrung zeigt, dass die Sensibilität in den letzten Jahren hier stark zugenommen hat. Notwendige Voraussetzung ist allerdings die Kenntnis der Zusammenhänge, aber auch die Kenntnis über die vorgesehene Nutzung der Räume. GOYDKE (2003) zeigt deutliche Defizite im Bereich der Ausbildung von Architekten bezüglich bau- und raumakustischer Anteile auf, gleichzeitig aber auch Möglichkeiten, dem wirksam entgegenzuwirken.

Gerade in Zeiten knapper Kassen sind letztlich jedoch vor allem klare und verpflichtende Vorgaben der Schlüssel zu einer tatsächlichen Umsetzung besserer Raum-

akustik (wobei raumakustisch hochwertige bauliche Lösungen in der Praxis nicht zwangsläufig mehr Geld kosten als raumakustisch schlechte Lösungen). Die Planung von Schulgebäuden bewegt sich dabei auch heute keineswegs im luftleeren Raum. In der DIN 18041 ist der derzeitige Stand der Technik definiert. Unfallkassen und Gemeindliche Unfallversicherungsverbände verweisen auf die Raumakustik als unverzichtbares Planungsziel. Eine bauaufsichtliche Einführung raumakustischer Anforderungen für Schulbauten fehlt allerdings bislang.

Der grundlegende Gedanke eines „TOP-Modells“, dass nämlich für einen gelingenden Unterricht pädagogische Bemühungen und ergonomische Rahmenbedingungen zusammenspielen müssen, ist keineswegs eine neue Erkenntnis unserer Zeit. Bereits 1898 haben BURGERSTEIN UND NETOLITZKY, damals unter dem Begriff der „Schulhygiene“, diesen Ansatz formuliert – er hat in den vergangenen 100 Jahren nichts an Aktualität verloren. Auch deshalb, weil er im Lauf dieser Zeit kaum konsequent verfolgt, weiterentwickelt oder umgesetzt wurde. Zu nennen wären allenfalls Bestrebungen des Bundesministeriums für Bildung und Wissenschaft, im Rahmen der Schulstressdiskussion dieses Thema mittels einer Expertenrunde neu aufleben zu lassen – im Jahre 1977. Die damals geforderte interdisziplinäre Forschung zur Beanspruchung von Schülerinnen und Schülern wurde in den darauf folgenden fast 30 Jahren allerdings niemals in dem angestrebten Umfang realisiert. Einzige Ausnahme war das BAS-Projekt von BERNDT ET AL. (1982). Dabei gibt es für weitere interdisziplinäre Forschung im Arbeitsfeld Schule nach wie vor einen hohen Bedarf. So konnte beispielsweise in der vorliegenden Untersuchung die Frage nach den Einflüssen der Arbeitsplatzergonomie auf Ermüdungsprozesse nur unzureichend beantwortet werden. Wichtige Ansatzpunkte wären darüber hinaus weitergehende Forschungen über die Bedeutung der Länge einer Unterrichtsstunde (Einfach- oder Doppelstunde), des Pausenrhythmus, der Tageszeit oder anderer Periodizitäten für die Ermüdung bzw. Erholung.

BURGERSTEIN UND NETOLITZKY sind dabei vor allem deshalb bis heute richtungweisend geblieben, weil ihnen erstmals – und bis heute nicht wiederholt – ein umfassender, „synoptischer“ Überblick über eine Vielzahl ergonomischer Rahmenbedingungen für die Schule gelungen ist. Darum muss es letztlich aber gehen: Eine Neubeschreibung dieser interdisziplinären Zusammenführung aus dem 19. Jh. mittels der erweiterten technischen und methodischen Fähigkeiten des 20. könnte einen wichtigen Beitrag leisten, die Schule – wie immer wieder gefordert – auch für das 21. Jahrhundert „fit zu machen“.

8 Literaturverzeichnis

Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), Bundesministerium für Arbeit, 4.12.1996, BGBl I.S. 1841

Beermann, B., et al.: Stress im Betrieb? Handlungshilfen für die Praxis. 2. Aufl. Gesundheitsschutz 20. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Dortmund: NW-Verlag 2000

Berg, S.: Impact of reduced reverberation time on sound-induced arousals during sleep. *Sleep*, Vol. 24 No. 3, 2001

Bergmann, R.; Pauly, P.; Schlaefer, M.: Einführung in die deutsche Sprachwissenschaft. 2. Aufl. Heidelberg: Universitätsverlag C. Winter 1991

Berndt, J.: Projekt Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz Schule, Colloquiumsvortrag, Universität Bremen 1976

Berndt, J.; Ströver, F.; Tiesler, G.: Psychophysische Beanspruchung von Grundschulern während des Unterrichts. In: Berndt, J.; Busch, D. W.; Schönwälder, H.-G. (Hrsg.): Schul-Schüler-Eltern-Stress. Bremen: Universität Bremen – Publikations-Service 1988

Berndt, J.; Busch, D. W.; Schönwälder, H.-G. (Hrsg.): Schul-Arbeit. Braunschweig: Westermann 1982

Berndt, J.; Busch, D. W.; Schönwälder, H.-G.; Schiff, B.: Arbeitsplatz Schule, *Schulmanagement* 8, 1977, 270-272

Berndt, J.; Busch, D. W.; Schönwälder, H.-G. (Hrsg.): Projekt Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz Schule. Forschungsbericht Nr. 1. Universität Bremen 1979

Boman, E.; Enmarker, I.: Noise in the school environment – an annoyance model. *Inter.Noise* 2004

Bormann, V.; Fuder, R.; Heinecke-Schmitt, R.: Hörminderung und Sprachverständlichkeit bei Schülern in unterrichtstypischen Situationen. In: Schick, A.; Klatt, M.; Meis, M.; Nocke, Ch.: Hören in Schule. 9. Oldenburger Symposium zur Psychologischen Akustik. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg 2003

Bradley, J. S.; Bistafa, S. R.: Predicting reverberation times in a simulated classroom. *Journal Acoust. Soc. Amer.* (2000), 108, 1721-1731

Bradley, J. S.: Speech intelligibility studies in classrooms. *Journal Acoust. Soc. Amer.* (1986), 80, 846-854

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hrsg.): Lärm am Arbeitsplatz und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Tagungsbericht Nr. 12, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1996

Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft (Hrsg.): Beanspruchung von Schülern. Bericht über eine Expertentagung und Empfehlungen für ein Forschungsprogramm. Bonn 1977

Burgerstein, L.; Netolitzky, A. (Hrsg.): Handbuch der Schulhygiene. Jena: Gustav Fischer 1898

Burisch, M.: Das Burnout-Syndrom. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 1994

Christ, E.: Schall. In: Luczak, H.; Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch der Arbeitswissenschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997

DIN EN 12354-6: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 6: Schallabsorption in Räumen. Berlin: Beuth Verlag 2002

DIN EN ISO 3382: Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter. Berlin: Beuth Verlag 2000

DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Berlin: Beuth Verlag 2004

DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Berlin: Beuth Verlag 1968

DIN 18041: Neufassung, Vorabdruck einiger quantitativer Angaben. Lübeck: Saint-Gobain/Ecophon 2004

Enmarker, I.; Boman, E.: Improvements of the sound environment in Schools. Inter.Noise 2004

Eßmann, H.: Untersuchungen raumakustischer Verhältnisse in Klassenräumen und ihr Einfluss auf den Leistungserfolg bei Schülern. Dissertation, TU Dresden 1970

Eßmann, H.: Der Einfluß raumakustischer Verhältnisse in Unterrichtsräumen auf den Leistungserfolg bei Schülern. Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden 22 (1973) Heft 1, S. 201-209

Eyring, C. F.: Reverberation time in dead rooms. Journal Acoust. Soc. Amer. (1930), 1, 217

Fasold, W.; Veres, E.: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis. Planungsbeispiele und konstruktive Lösungen. Berlin: Verlag für Bauwesen 1998

Fasold, W.; Sonntag, E.; Winkler, H.: Bau- und Raumakustik. Berlin: Verlag für Bauwesen 1987

Fröhlich, W. D.: dtv-Wörterbuch zur Psychologie. 20. Aufl. München: dtv 1994

Goydke, H.: Die Einbindung der Raumakustik in die Architektur. In: Schick, A.; Klatte, M.; Meis, M.; Nocke, Ch.: Hören in Schulen. 9. Oldenburger Symposium zur Psychologischen Akustik. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg 2003

Gudjons, H.: „Da lernt man wenigstens was“ – Merkmale effektiven Unterrichts. In: Institut für Bildungsmedien e.V. (Hrsg.): Bildung und Ausbildung in Deutschland. Bildungspolitik, Lernforschung Schulorganisation: Stand der aktuellen Diskussion. Dokumentation zum „forum bildung“/didacta 2004. Frankfurt: Inst. f. Bildungsmedien 2004

Gudjons, H.: Frontalunterricht – Ein Comeback des Beybringens? In: Institut für Bildungsmedien e.V. (Hrsg.): Bildung und Ausbildung fürs neue Jahrtausend. Konzepte, Probleme und Trends der aktuellen (bildungs-)politischen Diskussion. Dokumentation zum „forum bildung“/didacta 2000. Frankfurt: Inst. f. Bildungsmedien 2000

Guski, R.: Muss sich die Lärmwirkungsforschung auf Medizin zurückziehen? Editorial. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 47, S. 81. 2000

Hahn, H.: Nacht- und Schichtarbeit. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Fa 2. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1992

Hartung, P.: Technische Maßnahmen. In: Luczak, H.; Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch der Arbeitswissenschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997

Hellbrügge, Th., Rutenfranz, J.; Graf, O.: Gesundheit und Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter. Arbeit und Gesundheit, Heft 71. Stuttgart: Thieme 1960

Hoffmann, H.; v. Lüpke, A.; Maue, J. H. (Verf.): Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA (Hrsg.): 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel. Einführung in die Grundbegriffe und die quantitative Erfassung des Lärms. 7. Aufl. Berlin: Erich Schmidt Verlag 1999

Houtgast, T.; Steenecken, H. J. M.: A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria. Journal Acoust. Soc. Amer. (1985), 77, 1069-1077

Huber, L.; Kahlert, J.; Klatte, M.: Ganz Ohr sein können – Vorüberlegungen zur akustischen Gestaltung von Schulen. In: Huber, L.; Kahlert, J.; Klatte, M. (Hrsg.): Die akustisch gestaltete Schule. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 2003

Ising, H.; Sust, Ch. A.; Rebentisch, E.: Auswirkungen von Lärm auf Gesundheit, Leistung und Kommunikation. Arbeitswissenschaftliche Erkenntnis Nr. 98. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Dortmund 1996

Ising, H.; Kruppa, B. (Hrsg.): Lärm und Krankheit – Noise and Disease. Stuttgart/New York: Gustav Fischer 1993

ISO 9921: Ergonomie – Beurteilung der Sprachkommunikation. Berlin: Beuth Verlag 2003

Joachim: Lärmschutz in Klassenräumen. Lärm Report 1. Januar 2004

Klatte, M.; Meis, M.; Nocke, Ch.; Schick, A.: Könnt Ihr denn nicht zuhören?! Akustische Bedingungen in Schulen und ihre Auswirkungen auf Lernende und Lehrende. In: Schick, A.; Klatte, M.; Meis, M.; Nocke, Ch.: Hören in Schulen. 9. Oldenburger Symposium zur Psychologischen Akustik. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg 2003

Klein, W.: Articulation loss of consonants as a basis for the design and judgement of sound reinforcement systems. Journal Audio Engineering Soc. (1971), 11, 920

Klemm, G.: Kinder heute in einer „Schule der Stille“. In: Schule heute, Heft 3 (1993)

Klippert, H.: Systematische Unterrichtsentwicklung – Strategien zur Förderung einer neuen Lernkultur. In: Institut für Bildungsmedien e.V. (Hrsg.): „PISA“ und die Folgen: Deutsche Bildungspolitik in der Schräglage. Zum Stand der Diskussion über die Ziele von Bildung und Erziehung nach den ernüchternden Ergebnissen der internationalen Schülervergleichsstudie. Dokumentation zum „forum bildung“/didacta 2002. Frankfurt: Inst. f. Bildungsmedien 2002

Kohlmann, C.-W.: Stressbewältigung und Persönlichkeit. Bern: Hans Huber 1990

Kretschmann, R.: Zur Vorbeugung beruflicher Überbeanspruchung. In: Buchen, S.; Carle, U.; Döbrich, P.; Hoyer, H.-D.; Schönwälder, H.-G.(Hrsg.): Jahrbuch für Lehrerforschung Bd.1. Weinheim: Juventa 1997

Lazarus, S.; Launier, R.: Transaktionales Stressmodell. In: Nitsch, J. R.: Stress. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber 1981

Leicht, H.: Gehörschaden wirkt sich auf Lernen und Verhalten aus. Office of Higher Education, Queensland Government, Australien. Informationsdienst Wissenschaft 14.7.2004

Lexikon der Psychologie in 5 Bd. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verlag 2001

Lienert, G. A.: Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Bd. II. 2. Aufl. Meisenheim am Glan: Anton Hain 1978

Luczak, H.: Pausen, in Rohmert, W., Rutenfranz, J. (Hrsg.): Praktische Arbeitsphysiologie, 3. Aufl., Stuttgart/New York: Georg Thieme 1983

Masuhr, Ch.; Werner, G.: Nachhallzeitmessungen in Unterrichtsräumen. Kreis Herzogtum Lauenburg: Fachdienst Gesundheit 2003-2004

McKenzie, D.; Airey, Sh.: Classroom Acoustics. A Research Project. Summary Report, Heriot-Watt-University Edinburgh 1999

Mommertz, E.: Akustische Planung von Schulneubauten an ausgewählten Beiträgen. In: DEGA e.V. (Hrsg.): Fortschritte der Akustik. Tagungsband zur DAGA 05. München 2005

Mommertz, E.: Muss es im Unterricht immer so laut sein? In: Huber, L.; Kahlert, J.; Klatte, M.: Die akustisch gestaltete Schule. Göttingen: Vandenhoeck & Rupprecht 2002

Mommertz, E.; Drescher, K.; Engel, G.: Untersuchung zur Anordnung schallabsorbierender Oberflächen in Klassenräumen. In: DEGA e.V. (Hrsg.): Fortschritte der Akustik. Tagungsband zur DAGA 01. Bochum 2001

Mommertz, E.; Greiner, A.: „Lärm in der Schule“. Messung raumakustischer Eigenschaften von Klassenräumen. Verfahrensanweisung Nr. 47 979/2. Planegg: Müller BBM 2001

Myrtek, M.: Heart and Emotion, Ambulatory Monitoring, Studies in Everyday Life. Göttingen: Hogrefe & Huber 2004

Neumann, A. C.; Hochberg, I.: Children's perception of speech in reverberation. Journal Acoust. Soc. Am. (1983), 72

Nilsson, E.; Hammer, P.: Subjective evaluation of speech intelligibility for normal hearing persons and for persons with simulated hearing loss. Lund Institute of Technology 1995

Norpoth, K. H.: Einführung in die Arbeitsmedizin. Landsberg: ecomed 1991

Oberdörster, M.; Tiesler, G.: Akustische Maßnahmen in Klassenräumen – Grundlagen für effizienten Unterricht. In: Der Gehörte Raum – Aktuelle Forschungsergebnisse aus Akustik und Schallschutz. Tagungsband zum 2. Akustik-Forum Raum und Bau. Stuttgart 2004

Ortscheid, J.; Wende, H.: Sind 3 dB wahrnehmbar? Eine Richtigstellung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 51 (2004) Nr. 3, S. 80-85

Pekkarinnen, E.; Viljanen, V.: Effect of Sound-Absorbing Treatment on Speech Discrimination Rooms. Scand. Audiol. (1990), 29, 219-227

Pekkarinnen, E.; Viljanen, V.: Acoustic Conditions for Speech Communication in Classrooms. Scand. Audiol. (1991), 20, 257-263

Peutz, V.: Articulation loss of consonants as a criterion for speech transmission in room. Journal Audio Engineering Soc. (1971), 11, 915

Probst, W.: Beurteilung und Minderung des Lärms an Bildschirmarbeitsplätzen im Büro und in der Produktion. Arbeitswiss. Erkenntnis Nr. 123. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Dortmund 2003

Quaas, W.: Ermüdung und Erholung. In: Luczak, H.; Volpert, W. (Hrsg.): Handbuch der Arbeitswissenschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997

Ritterstaedt, U.; Paulsen, R.; Kaska, J.: Geräuschsituation in und um Schulen unter Berücksichtigung der Belastung der Lehrer durch Lärm. Opladen: Westdeutscher Verlag 1980

Rohmert, W., Rutenfranz, J.: Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung. Bonn 1975

Rohmert, W., Rutenfranz, J. (Hrsg.): Praktische Arbeitsphysiologie. 3. Aufl.. Stuttgart/New York: Georg Thieme, 1983

Ruhe, C.: Barrierefreies Planen und Bauen. Klassenraumgestaltung für die integrative Beschulung hörgeschädigter Kinder. WKSB (2003a), 51, 9-19

Ruhe, C.: Schulraumakustik aus der Sicht der Beratungspraxis. In: Schick, A. (Hrsg.); Klatt, M.; Meis, M.; Nocke, Ch.: Hören in Schulen. Oldenburg: Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg 2003b (Beiträge zur psychologischen Akustik, Band 9)

Ruhe, C.; Deutscher Schwerhörigenbund e.V.: Kommunikationsräume – auch für Hörgeschädigte. DSB-Report (2000) 1

Rutenfranz, J.: Beanspruchung von Schülern. Arbeitsphysiologische Aspekte. BMBW Werkstattberichte. Bonn 1977

Richter, P., Hacker, W.: Belastung und Beanspruchung. Heidelberg: Asanger, 1998

Sabine, W. C.: Collected Papers on Acoustics. M. A., Harvard U. P. Cambridge 1927

Schaarschmidt, U.; Fischer, A. W.: Bewältigungsmuster im Beruf. Persönlichkeitsunterschiede in der Auseinandersetzung mit der Arbeitsbelastung. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 2001

Schandry, R.: Biologische Psychologie. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz 2003

Schmid, Ch.: Stress. Burnout und Coping. München: Julius Klinkhardt 2003

Schneider, M.: Do School Facilities Affect Academic Outcomes?, National Clearinghouse for Educational Facilities, Washington D.C., 2002

Schmidtke, H.: Ergonomie 2. München, Wien: Carl Hanser 1974

Schönwälder, H.-G.: Rationalität im Lehrerberuf. In: Strittmatter, P. (Hrsg.): Zur Lernforschung: Befunde – Analysen – Perspektiven. Weinheim: Dt. Studienverlag 1990

Schönwälder, H.-G.: Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz Schule, Vortrag auf der Tagung der AEPF. Universität Bremen, 25.3.1977

Schönwälder, H.-G.; Berndt, J.; Ströver, F.; Tiesler, G.: Lärm in Bildungsstätten – Ursachen und Minderung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Fb 1030. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 2004

Schönwälder, H.-G.; Berndt, J.; Ströver, F.; Tiesler, G.: Belastung und Beanspruchung von Lehrerinnen und Lehrern. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Fb 989. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 2003

Schroeder, M. R.: Modulation Transfer Functions: definition and measurement. *Acustica* (1981), 49, 179-182

Selye, H.: Biologisches Stresskonzept. In: Nitsch, J. R.: *Stress*. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber 1981

Silbernagel, S.; Despopoulos, A.: Taschenatlas der Physiologie. 4. Aufl. Stuttgart: Thieme 1991

Spreng, M.: Die Wirkung von Lärm und unerwünschten Geräuschen auf die Sprachentwicklung von Kindern. In: Schick, A.; Klatte, M.; Meis, M.; Nocke, Ch.: *Hören in Schulen*. 9. Oldenburger Symposium zur Psychologischen Akustik. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg 2003

Stölzel, K.: Zusammenhang zwischen Umweltlärmbelästigung und Lärmempfindlichkeit – epidemiologische Untersuchung im Rahmen der Berliner Lärmstudie. Diss. Humboldt Universität. Berlin 2004

Struck, P.: Von der Belehrungsschule zur Lernwerkstatt – Wie Kinder lernen. In: Institut für Bildungsmedien e.V. (Hrsg.): „Mega-Thema“ Bildung: Konturen neuer Wege und Modelle. Aktuelle Themen und Thesen zu Bildungsauftrag und Zukunft von Schule und Unterricht. Dokumentation zum „forum bildung“/didacta 2001. Frankfurt: Inst. f. Bildungsmedien 2001

Sust, Ch. A., Lazarus, H.: Auswirkungen von Geräuschen mittlerer Intensität in Schule, Aus- und Weiterbildung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.); *Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse* 103. Dortmund: NW-Verlag 1997

Sust, Ch. A., Lazarus, H.: Bildschirmarbeit und Geräusche. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Fb 974. Dortmund 2002

Tennhardt, H. P.: Ein Beitrag zum Wissensstand und der Normung im Bereich der Klassenraumakustik. In: Schick, A. (Hrsg.); Klatte, M.; Meis, M.; Nocke, Ch.: *Hören in Schulen*. Oldenburg: Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg 2003 (Beiträge zur psychologischen Akustik, Band 9)

Tiesler, G.; Berndt, J.; Ströver, F.; Schönwälder, H.-G.: Herzklopfen? Psychophysische Beanspruchung von Lehrerinnen und Lehrern durch Schul-Arbeit. In: Beetz-Rahm, S.; Denner, L.; Riecke-Baulecke, Th.(Hrsg.): *Jahrbuch für Lehrerforschung und Bildungsarbeit*. Bd. 3. Weinheim: Juventa 2002

Ullrich, K.: Eine statistische Analyse des Schülerverhaltens. In: Berndt, J.; Busch, D. W.; Schönwälder, H.-G. (Hrsg.): Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz Schule. Forschungsbericht Nr. 3. Universität Bremen 1981

Valentin, H.; Klosterkötter, W.; Lehnert, G.; Petry, H.; Rutenfranz, J.; Weber, G.; Wenzel, H. G.; Wittgens, H.: Arbeitsmedizin in 2 Bd. 2. Aufl. Stuttgart: Thieme 1979

VDI 2058, Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten. Düsseldorf: VDI-Verlag 1999

VDI 2569: Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990

Weinert, F. E.: Lernkultur im Wandel. In: Beck, E. (Hrsg.); Guldemann, T. (Hrsg.); Zutavern, M. (Hrsg.): Lernkultur im Wandel. St. Gallen 1977

Winter, F.: Zusammenarbeit an der Leistung – eine neue Lernkultur verändert die Rolle der Lehrerinnen und Lehrer bei der Leistungsbewertung. In: Beetz-Rahm, S. (Hrsg.); Denner, L. (Hrsg.); Rieke-Baulecke, Th. (Hrsg.): Jahrbuch zur Lehrerforschung und Bildungsarbeit. Weinheim: Juventa-Verlag 2002

Zenner, H. P. et al.: Gehörschäden durch Freizeitlärm. In: Informationsbrief des UfU e.V., Nr. 45. Berlin 2000

Zimmer, K. und W. Ellermeier: Konstruktion und Evaluation eines Fragebogens zur Erfassung der individuellen Lärmempfindlichkeit (LEF). Regensburg: Inst. der Psychologie der Universität Regensburg 1997

9	Verzeichnis der Abbildungen	Seite
Abb. 1.1	Belastungs-Beanspruchungs-Modell nach BERNDT ET AL. (1976)	10
Abb. 1.2	Arbeitssystem „Schule“, modifiziert nach ROHMERT UND RUTENFRANZ (1983)	10
Abb. 1.3	Auftrags-Auseinandersetzungskonzept nach RICHTER UND HACKER	12
Abb. 1.4	Veränderte Grundbedingungen von Schule nach KLIPPERT (2002)	14
Abb. 2.1	Zulässiger Störgeräuschpegel (nach ISO 9921-1)	24
Abb. 2.2	Beispiel einer Raumimpulsantwort	28
Abb. 2.3	Schematische Darstellung des Nachhallvorgangs	29
Abb. 2.4	Schematisierte Raumimpulsantwort	31
Abb. 2.5	HF-Tagesprofil einer Person an zwei identischen Wochentagen	38
Abb. 2.6	Tagesprofil der Herzfrequenz (Unterrichtsstunden-Mittelwerte)	39
Abb. 2.7	Tagesgang der Leistungsdisposition	40
Abb. 2.8	Stressmodell nach LAZARUS UND LAUNIER (1981)	43
Abb. 2.9	Stresserzeugende Wirkungen von Lärm	45
Abb. 2.10	Aurale und extraaurale Lärmwirkungen im Überblick	46
Abb. 4.1	Darstellung der EKG-Aufnehmer und Herzfrequenz-Speicher	55
Abb. 4.2	Nachhallzeiten der Klassenräume (leer) in der Schule Stichnathstraße	58
Abb. 4.3	Nachhallzeit (leer) des Klassenraums in der Baumberge-Schule	58
Abb. 4.4	Sprachverständlichkeitsindex [STI] der Klassenräume in der Schule Stichnathstraße	58
Abb. 4.5	STI vor und nach der Sanierung des Klassenraumes in der BaumbergeSchule	58
Abb. 4.6	Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile des Frontalunterrichts	60
Abb. 4.7	Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile des Frontalunterrichts	60
Abb. 4.8	Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile des Frontalunterrichts	61
Abb. 4.9	Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile des Frontalunterrichts	61
Abb. 4.10	Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile des Frontalunterrichts	61
Abb. 4.11	Häufigkeitsverteilung der zeitlichen Anteile des Frontalunterrichts	62
Abb. 4.12	Vergleich der Kategorien EA (1), PA (2), GA (3) und diffAF (4)	63
Abb. 4.13	Vergleich der Kategorien EA (1), PA (2), GA (3) und diffAF (4)	63
Abb. 5.1	Raumakustische Bilanz der Schule Stichnathstraße	69
Abb. 5.2	Raumakustische Bilanz der Baumberge-Schule	70

Abb. 5.3	Frequenzabhängige Nachhallzeit der Klassenräume in der Grundschule Stichnetstraße im leeren Zustand	70
Abb. 5.4	Frequenzabhängige Nachhallzeit der Klassenräume in der Grundschule Stichnetstraße im voll besetzten Zustand	71
Abb. 5.5	Frequenzabhängige Nachhallzeit des Klassenraums in der Baumberge-Schule vor und nach der Sanierung	71
Abb. 5.6	Veränderung der Nachhallzeit durch volle Besetzung der Klassenräume mit Schülern im Vergleich zum leeren Zustand	72
Abb. 5.7	Veränderung der Nachhallzeit durch halbe Besetzung der Klassenräume mit Schülern im Vergleich zum leeren Zustand	73
Abb. 5.8	Veränderung der Nachhallzeit durch volle Besetzung der Klassenräume mit Schülern im Vergleich zum halb besetzten Zustand	73
Abb. 5.9	Äquivalente Absorptionsfläche durch Schüler pro Klasse bei voller und halber Besetzung	74
Abb. 5.10	Äquivalente Absorptionsfläche pro Schüler bei unterschiedlich dichter Besetzung	74
Abb. 5.11	Relative Absorptionsfläche durch Schüler pro Klasse – im Vergleich: volle und halbe Besetzung	75
Abb. 5.12	Sprachverständlichkeitsindex STI in den Klassenräumen der Grundschule Stichnetstraße, gemessen im leeren, halb und voll besetzten Raum	76
Abb. 5.13	Sprachverständlichkeitsindex STI im Klassenraum der Baumberge-Schule vor und nach der Sanierung, gemessen im leeren, halb und voll besetzten Raum	76
Abb. 5.14	Sprachverständlichkeit STI in Abhängigkeit von der Nachhallzeit RT für alle Besetzungszustände in allen Klassenräumen	77
Abb. 5.15	Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF Einzelarbeit	78
Abb. 5.16	Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF Partnerarbeit	78
Abb. 5.17	Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF Gruppenarbeit	78
Abb. 5.18	Übersicht der Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF EA, PA, GA und diffAF	79
Abb. 5.19	Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF Frontalunterricht	80
Abb. 5.20	Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF Organisation	80
Abb. 5.21	Häufigkeit der Zeitabschnitte mit AF Sonstige	80
Abb. 5.22	Arbeitsformen im Schulvergleich, FU und diffAF	80
Abb. 5.23	Unterrichts-Grid für die Häufigkeit der Arbeitsformen FU, diffAF, Org und Sonst. Schulvergleich	81
Abb. 5.24	Unterrichts-Grid für die Häufigkeit der Arbeitsformen FU und diffAF und Redeanteile SR und LR. Schulvergleich	82

Abb. 5.25	Klassenraum der Klasse 3c in der Grundschule Stichnetstraße	82
Abb. 5.26	Klassenraum der Klasse 2b in der Baumberge-Schule	82
Abb. 5.27	Unterrichts-Grid für die Häufigkeit der Arbeitsformen FU und diffAF und Redeanteile SR und LR. Klassenvergleich	83
Abb. 5.28	zeitlicher Anteil der Lehrerrede an die ganze Klasse in Abhängigkeit von der Arbeitsform FU	83
Abb. 5.29	zeitlicher Anteil der Lehrerrede an die ganze Klasse in Abhängigkeit von der Arbeitsform FU	83
Abb. 5.30	zeitlicher Anteil der Lehrerrede an die ganze Klasse in Abhängigkeit von der Arbeitsform diffAF	84
Abb. 5.31	zeitlicher Anteil der Lehrerrede an die ganze Klasse in Abhängigkeit von der Arbeitsform diffAF	84
Abb. 5.32	zeitlicher Anteil der Schülerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform FU	84
Abb. 5.33	zeitlicher Anteil der Schülerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform FU	84
Abb. 5.34	zeitlicher Anteil der Gesamt-Lehrerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform FU	85
Abb. 5.35	zeitlicher Anteil der Gesamt-Lehrerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform FU	85
Abb. 5.36	zeitlicher Anteil der Gesamt-Lehrerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform diffAF	85
Abb. 5.37	zeitlicher Anteil der Gesamt-Lehrerrede in Abhängigkeit von der Arbeitsform diffAF	85
Abb. 5.38	Vergleich der Arbeitsformen im Unterricht FU und diffAF zwischen den Klassen der 2. Jahrgangsstufe	86
Abb. 5.39	Vergleich der Arbeitsformen im Unterricht FU und diffAF zwischen allen Klassen der Grundschule Stichnetstraße	86
Abb. 5.40	Vergleich der Redeanteile im Unterricht sortiert nach LR und SR in der Baumberge-Schule	87
Abb. 5.41	Vergleich der Redeanteile im Unterricht sortiert nach LR und SR in der Grundschule Stichnetstraße	87
Abb. 5.42	Verteilung der Lehrerrede und Schülerrede in der Grundschule Stichnetstraße; sortiert nach Jahrgangsstufen	87
Abb. 5.43	Verteilung der Redeanteile im Unterricht: Lehrerrede in der Grundschule Stichnetstraße	88
Abb. 5.44	Verteilung der Redeanteile im Unterricht Schülerrede in der Grundschule Stichnetstraße	88
Abb. 5.45	Verteilung der Lehrerrede und Schülerrede in der Grundschule Stichnetstraße im Tagesverlauf (alle Klassen)	88
Abb. 5.46	Verteilung der Lehrerrede und Schülerrede in der Baumbergeschule im Tagesverlauf	89

Abb. 5.47	Verteilung der Arbeitsformen FU und diffAF in der Grundschule Stichnathstraße im Tagesverlauf	90
Abb. 5.48	Verteilung der Arbeitsformen FU und diffAF in der Baumberge-Schule im Tagesverlauf	90
Abb. 5.49	Arbeitsformen und Redeanteile in der Baumberge-Schule vor und nach der Sanierung.	91
Abb. 5.50	Arbeitsformen Frontalunterricht und diffAF in der Baumberge-Schule vor und nach der Sanierung	91
Abb. 5.51	Redeanteile Lehrerrede und Schülerrede in der Baumberge-Schule vor und nach der Sanierung	91
Abb. 5.52	Arbeitsformen und Redeanteile in der Grundschule Stichnathstraße mit $RT > 0,5 \text{ sec}$ und $RT < 0,5 \text{ sec}$.	92
Abb. 5.53	Arbeitsformen und Redeanteile, $RT > 0.5$ und $RT < 0.5$ Stichnathstraße; Vergleich der Klassen 2c und 2d	93
Abb. 5.54	Arbeitsformen und Redeanteile, $RT > 0.5$ und $RT < 0.5$ Stichnathstraße; Vergleich der Klassen 3c und 3d	93
Abb. 5.55	Arbeitsformen Frontalunterricht und diffAF in der Grundschule Stichnathstraße mit $RT > 0,5 \text{ sec}$ und $RT < 0,5 \text{ sec}$	93
Abb. 5.56	Redeanteile Lehrerrede und Schülerrede in der Grundschule Stichnathstraße mit $RT > 0,5 \text{ sec}$ und $RT < 0,5 \text{ sec}$	93
Abb. 5.57	Häufigkeitsverteilung des Arbeitsgeräuschpegels $L_{Aeq,5min}$ vor und nach der Sanierung (Baumberge-Schule; alle U.-Std.)	94
Abb. 5.58	Häufigkeitsverteilung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5min}$ vor und nach der Sanierung (Baumberge-Schule; alle U.-Std.)	95
Abb. 5.59	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ vor und nach der Sanierung für zwei identische Unterrichtsstunden (Do 1. und 2. Std.)	95
Abb. 5.60	Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ vor und nach der Sanierung für zwei identische Unterrichtsstunden (Do 1. und 2. Std.)	96
Abb. 5.61	Veränderung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5min}$ durch die Sanierung	96
Abb. 5.62	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	97
Abb. 5.63	Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	97
Abb. 5.64	Einzelwerte und Regression zu Abb. 5.62	97
Abb. 5.65	Einzelwerte und Regression zu Abb. 5.63	97
Abb. 5.66	Mittlerer Grundgeräuschpegel aus $L_{A95,45min}$ vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	98
Abb. 5.67	Häufigkeitsverteilung des Arbeitsgeräuschpegels $L_{Aeq,5min}$ im EG und im OG, Schule Stichnathstraße	99
Abb. 5.68	Häufigkeitsverteilung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5min}$ im EG und im OG, Schule Stichnathstraße	100

Abb. 5.69	Häufigkeitsverteilung des Arbeitsgeräuschpegels $L_{Aeq,5min}$ im EG und im OG, Schule Stichnetstraße	100
Abb. 5.70	Häufigkeitsverteilung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5min}$ im EG und im OG, Schule Stichnetstraße	100
Abb. 5.71	Häufigkeitsverteilung des Arbeitsgeräuschpegels $L_{Aeq,5min}$ im EG und im OG, Schule Stichnetstraße	101
Abb. 5.72	Häufigkeitsverteilung des Grundgeräuschpegels $L_{A95,5min}$ im EG und im OG, Schule Stichnetstraße	101
Abb. 5.73	Grundgeräuschpegel L_{A95} in Abhängigkeit von der Nachhallzeit der Klassenräume für die Schule Stichnetstraße	101
Abb. 5.74	Grundgeräuschpegel L_{A95} in Abhängigkeit vom STI der Klassenräume für die Schule Stichnetstraße	102
Abb. 5.75	Regression zu Abb. 5.74	102
Abb. 5.76	Grundgeräuschpegel L_{A95} in Abhängigkeit vom STI für die Grundschule Stichnetstraße und Baumberge-Schule	102
Abb. 5.77	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil FU, Baumberge-Schule und Schule Stichnetstraße	103
Abb. 5.78	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil diffAF, Baumberge-Schule und Schule Stichnetstraße	103
Abb. 5.79	Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil FU, Baumberge-Schule und Schule Stichnetstraße	104
Abb. 5.80	Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil diffAF, Baumberge-Schule und Schule Stichnetstraße	105
Abb. 5.81	Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil FU	105
Abb. 5.82	Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil diffAF	105
Abb. 5.83	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil des Lehrers über die U.-Std., Grundschule Stichnetstraße und Baumberge-Schule	106
Abb. 5.84	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil des Lehrers über die U.-Std., Baumberge-Schule	106
Abb. 5.85	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil des Lehrers über die U.-Std., Grundschule Stichnetstraße	106
Abb. 5.86	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil der Schüler über die U.-Std., Grundschule Stichnetstraße und Baumberge-Schule	107
Abb. 5.87	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil der Schüler, Baumberge-Schule	107

Abb. 5.88	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom Redeanteil der Schüler, Grundschule Stichnetstraße	107
Abb. 5.89	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil LR, Baumbergeschule und Schule Stichnetstraße	108
Abb. 5.90	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil SR, Baumbergeschule und Schule Stichnetstraße	108
Abb. 5.91	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil LR	109
Abb. 5.92	Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95,5min}$ für Zeitabschnitte mit hohem und niedrigem Anteil LR	109
Abb. 5.93	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	109
Abb. 5.94	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU im EG und OG, Grundschule Stichnetstraße	109
Abb. 5.95	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	110
Abb. 5.96	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF im EG und OG, Grundschule Stichnetstraße	110
Abb. 5.97	Grundgeräuschpegel $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	111
Abb. 5.98	Grundgeräuschpegel $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil FU im EG und OG, Grundschule Stichnetstraße	111
Abb. 5.99	Grundgeräuschpegel $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	111
Abb. 5.100	Grundgeräuschpegel $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF im EG und OG, Grundschule Stichnetstraße	111
Abb. 5.101	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	112
Abb. 5.102	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR im EG und OG, Grundschule Stichnetstraße	112
Abb. 5.103	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil SR vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	112
Abb. 5.104	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil SR im EG und OG, Grundschule Stichnetstraße	112
Abb. 5.105	Grundgeräuschpegel $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	113
Abb. 5.106	Grundgeräuschpegel $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil LR im EG und OG, Grundschule Stichnetstraße	113
Abb. 5.107	Grundgeräuschpegel $L_{A95,45min}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil SR vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	113

Abb. 5.108	Grundgeräuschpegel $L_{A95,45\text{min}}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil SR im EG und OG, Grundschule Stichnetstraße	113
Abb. 5.109	Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5\text{min}}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	114
Abb. 5.110	Grundgeräuschpegel $L_{A95,5\text{min}}$ in Abhängigkeit vom zeitlichen Anteil diffAF vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	114
Abb. 5.111	Mittlere Beanspruchung und Basisaktivierung im Unterricht über alle Lehrerinnen, Grundschule Stichnetstraße	116
Abb. 5.112	Mittlere Beanspruchung für eine Person, Grundschule Stichnetstraße	117
Abb. 5.113	Mittlere Beanspruchung einzelner Lehrerinnen und Lehrer, gruppiert nach den Klassenräumen	117
Abb. 5.114	Basisaktivierung im Unterricht einzelner Lehrerinnen und Lehrer, gruppiert nach den Klassenräumen	118
Abb. 5.115	Mittlere Beanspruchung und Basisaktivierung im Unterricht, gruppiert nach der Raumakustik, Baumberge-Schule	118
Abb. 5.116	Verteilung der mittleren Beanspruchung aller Lehrerinnen und Lehrer im Unterricht, Grundschule Stichnetstraße	119
Abb. 5.117	Verteilung der mittleren Beanspruchung im Unterricht, Baumberge-Schule	119
Abb. 5.118	Verteilung der Basisaktivierung im Unterricht, Grundschule Stichnetstraße	120
Abb. 5.119	Verteilung der Basisaktivierung im Unterricht, Baumberge-Schule	120
Abb. 5.120	Beanspruchung im Unterricht im Verlauf des Unterrichtstages, Grundschule Stichnetstraße	121
Abb. 5.121	Basisaktivierung im Unterricht im Verlauf des Unterrichtstages, Grundschule Stichnetstraße	121
Abb. 5.122	Beanspruchung im Unterricht im Verlauf des Unterrichtstages, Baumberge-Schule	122
Abb. 5.123	Basisaktivierung im Unterricht im Verlauf des Unterrichtstages, Baumberge-Schule	122
Abb. 5.124	Häufigkeitsverteilung positiver und negativer HF-Trends unter unterschiedlichen akustischen Bedingungen, Grundschule Stichnetstraße	123
Abb. 5.125	Häufigkeitsverteilung positiver und negativer HF-Trends unter unterschiedlichen akustischen Bedingungen, Baumberge-Schule	123
Abb. 5.126	Häufigkeitsverteilung der HF-Trend-Werte über alle Lehrerinnen und Lehrer, Grundschule Stichnetstraße	123
Abb. 5.127	Häufigkeitsverteilung der HF-Trend-Werte über alle U.-Std., Baumberge-Schule	124
Abb. 5.128	Anteile von Ermüdung und Aktivierung im Tagesverlauf im EG der Schule Stichnetstraße ($RT > 0.5$)	125

Abb. 5.129	Anteile von Ermüdung und Aktivierung im Tagesverlauf im OG der Schule Stichnethstraße (RT < 0.5)	125
Abb. 5.130	Anteile von Ermüdung und Aktivierung im Tagesverlauf vor der Sanierung (RT > 0.5); Baumberge-Schule	125
Abb. 5.131	Anteile von Ermüdung und Aktivierung im Tagesverlauf nach der Sanierung (RT < 0.5); Baumberge-Schule	125
Abb. 5.132	Mittlere Beanspruchung im Unterricht, Anteil Unterrichtsform/Rede, Schule Stichnethstraße	126
Abb. 5.133	Mittlere Beanspruchung im Unterricht, Anteil Unterrichtsform/Rede, Baumberge-Schule	127
Abb. 5.134	Mittlere Basisaktivierung im Unterricht, Anteil Unterrichtsform/Rede, Grundschule Stichnethstraße	127
Abb. 5.135	Mittlere Basisaktivierung im Unterricht, Anteil Unterrichtsform/Rede, Baumberge-Schule	127
Abb. 5.136	Häufigkeitsverteilung der HF-MW _{5min} , sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil FU, Grundschule Stichnethstraße	128
Abb. 5.137	Häufigkeitsverteilung der HF-MW _{5min} , sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil FU, Baumberge-Schule	128
Abb. 5.138	Häufigkeitsverteilung der HF-MW _{5min} , sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil diffAF, Schule Stichnethstraße	129
Abb. 5.139	Häufigkeitsverteilung der HF-MW _{5min} , sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil diffAF, Baumberge-Schule	130
Abb. 5.140	Häufigkeitsverteilung der Basisaktivierung HF-min _{5min} , sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil diffAF, Grundschule Stichnethstraße	131
Abb. 5.141	Häufigkeitsverteilung der Basisaktivierung HF-min _{5min} , sortiert nach Phasen mit höherem oder niedrigerem Anteil diffAF, Baumberge-Schule	131
Abb. 5.142	Häufigkeitsverteilung des HF-Trend _{5min} , sortiert nach Phasen mit überwiegendem Anteil FU bzw. diffAF, Schule Stichnethstraße	132
Abb. 5.143	Häufigkeitsverteilung des HF-Trend _{5min} , sortiert nach Phasen mit überwiegendem Anteil FU bzw. diffAF, Baumberge-Schule	132
Abb. 5.144	Verlauf von Anteil LR und mittlerer Beanspruchung über zwei U.-Std. (Beispiel aus der Baumberge-Schule)	133
Abb. 5.145	Mittlere Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile Lehrer und Schüler, links Schule Stichnethstraße, rechts Baumberge-Schule	134
Abb. 5.146	Häufigkeitsverteilung der Mittleren Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile des Lehrers, links Schule Stichnethstraße, rechts Baumberge-Schule	134
Abb. 5.147	Häufigkeitsverteilung der Mittleren Beanspruchung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile der Schüler, links Schule Stichnethstraße, rechts Baumberge-Schule	135

Abb. 5.148	Mittlere Basisaktivierung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile Lehrer und Schüler, links Schule Stichnathstraße und rechts Baumberge-Schule	135
Abb. 5.149	Häufigkeitsverteilung der Basisaktivierung im Unterricht in Abhängigkeit der Redeanteile des Lehrers, links Schule Stichnathstraße und rechts Baumberge-Schule	136
Abb. 5.150	Häufigkeit von Ermüdung und Aktivierung im Unterricht in Abhängigkeit vom Redeanteil des Lehrers, links Schule Stichnathstraße, rechts Baumberge-Schule	136
Abb. 5.151	Häufigkeit von Ermüdung und Aktivierung im Unterricht in Abhängigkeit vom Redeanteil der Schüler, links Schule Stichnathstraße, rechts Baumberge-Schule	137
Abb. 5.152	Baumberge-Schule, synchrone Darstellung von HF_{MW} und LR für $RT > 0.5$ und $RT < 0.5$	138
Abb. 5.153	Beanspruchung im Unterricht, Klassenräume mit $RT > 0.5s$ im EG und $RT < 0.5s$ im OG, Regressionsgerade EG und OG, Grundschule Stichnathstraße	138
Abb. 5.154	Beanspruchung im Unterricht, vor und nach der Sanierung, Regressionsgerade vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	139
Abb. 5.155	Basisaktivierung im Unterricht, Klassenräume mit $RT > 0.5s$ im EG und $RT < 0.5s$ im OG, Regressionsgerade EG und OG, Grundschule Stichnathstraße	140
Abb. 5.156	Basisaktivierung im Unterricht, vor und nach der Sanierung, Regressionsgerade vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	140
Abb. 5.157	Beanspruchung im Unterricht, Klassenräume mit $RT > 0.5s$ im EG und $RT < 0.5s$ im OG, Regressionsgerade EG und OG, Grundschule Stichnathstraße	141
Abb. 5.158	Beanspruchung im Unterricht, vor und nach der Sanierung, Regressionsgerade vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	141
Abb. 5.159	Beanspruchung im Unterricht, Klassenräume mit $RT > 0.5s$ im EG und $RT < 0.5s$ im OG, Regressionsgerade EG und OG, Grundschule Stichnathstraße	142
Abb. 5.160	Beanspruchung im Unterricht, vor und nach der Sanierung, Regressionsgerade vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	142
Abb. 5.161	Verteilung der Basisaktivierung in Phasen mit $FU > 50\%$, Grundschule Stichnathstraße	143
Abb. 5.162	Verteilung der Basisaktivierung in Phasen mit $FU > 50\%$, Baumberge-Schule	143
Abb. 5.163	Verteilung der Basisaktivierung in Phasen mit $diffAF > 50\%$, Grundschule Stichnathstraße	144
Abb. 5.164	Verteilung der Basisaktivierung in Phasen mit $diffAF > 50\%$, Baumberge-Schule	144

Abb. 5.165	Verteilung des HF-Trends in Phasen mit FU > 50 %, Grundschule Stichnathstraße	145
Abb. 5.166	Verteilung des HF-Trends in Phasen mit FU > 50 %, sortiert vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	145
Abb. 5.167	Verteilung des HF-Trends in Phasen mit diffAF > 50 %, sortiert vor und nach der Sanierung, Baumberge-Schule	146
Abb. 5.168	Verteilung des HF-Trends in Phasen mit diffAF > 50 %, sortiert nach EG und OG, Grundschule Stichnathstraße	146
Abb. 5.169	Arbeitsgeräuschpegel im Unterricht (Di, 1.–4. U.-Std.) vor und nach der Sanierung; Baumberge-Schule	147
Abb. 5.170	Mittlere Beanspruchung im Tagesverlauf (Di, 1.–4. U.-Std.) vor und nach der Sanierung	148
Abb. 5.171	Arbeitsgeräuschpegel im Unterricht (Do, 1.–4. U.-Std.) vor und nach der Sanierung	149
Abb. 5.172	Mittlere Beanspruchung im Tagesverlauf (Do, 1.–4. U.-Std.) vor und nach der Sanierung	149
Abb. 5.173	Mittlere Beanspruchung und Schallpegel im Tagesverlauf (Di, 1.–4. U.-Std.) vor der Sanierung	150
Abb. 5.174	Mittlere Beanspruchung und Schallpegel im Tagesverlauf (Di, 1.–4. U.-Std.) nach der Sanierung	150
Abb. 5.175	Mittlere Beanspruchung und Schallpegel im Tagesverlauf (Do, 1.–4. U.-Std.) vor der Sanierung	151
Abb. 5.176	Mittlere Beanspruchung und Schallpegel im Tagesverlauf (Do, 1.–4. U.-Std.) nach der Sanierung	151
Abb. 5.177a	Donnerstag, vor San., 1. Std.	152
Abb. 5.177b	Donnerstag, nach San., 1. Std.	152
Abb. 5.178a	Donnerstag, vor San., 2. Std.	152
Abb. 5.178b	Donnerstag, nach San., 2. Std.	152
Abb. 5.179a	Donnerstag, vor San., 4. Std.	152
Abb. 5.179b	Donnerstag, nach San., 4. Std.	152
Abb. 5.180	Mittlere Beanspruchung in Abhängigkeit von dem Arbeitsgeräuschpegel, 1., 2., 4. U.-Std., Do vor der Sanierung	153
Abb. 5.181	Do 1. Std. „Sprache“, vor und nach der Sanierung	154
Abb. 5.182	Do 2. Std. „Mathematik“, vor und nach der Sanierung	154
Abb. 5.183	Do 4. Std. „Sachkunde/Religion“, vor und nach der Sanierung	155
Abb. 5.184a	Dienstag, vor San., 1. Std.	155
Abb. 5.184b	Dienstag, nach San., 1. Std.	155
Abb. 5.185a	Dienstag, vor San., 2. Std.	156
Abb. 5.185b	Dienstag, nach San., 2. Std.	156

Abb. 5.186	Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Arbeitsgeräuschpegel am Di vor und nach der Sanierung, 1. und 2. U.-Std.	156
Abb. 5.187	Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Arbeitsgeräuschpegel am Di vor und nach der Sanierung, 1. und 2. U.-Std. mit Regressionsgeraden	157
Abb. 5.188	Verteilung des Arbeitsgeräuschpegels in Phasen mit FU > 50 % vor und nach der Sanierung	158
Abb. 5.189	Verteilung der mittleren Beanspruchung in Phasen mit FU > 50 % vor und nach der Sanierung	158
Abb. 5.190	Verteilung des Arbeitsgeräuschpegels in Phasen mit diffAF > 50 % vor und nach der Sanierung	159
Abb. 5.191	Verteilung der mittleren Beanspruchung in Phasen mit diffAF > 50 % vor und nach der Sanierung	160
Abb. 5.192	Antworthäufigkeit der subjektiven Bewertung von „Lautheit“	162
Abb. 5.193	Subjektive Bewertung der „Lautheit“ in Abhängigkeit vom Beurteilungspegel $L_{Aeq,45min}$	163
Abb. 7.1	TOP-Modell aus der Arbeitswissenschaft (HARTUNG)	167

10	Verzeichnis der Tabellen	Seite
Tab. 1.1	Schalltechnische Qualifizierung von Bildschirmarbeitsplätzen nach PROBST (2003)	20
Tab. 2.1	Zuordnung der Qualitätsskala zu Sprachverständlichkeitsmassen (STI) und Signal-Geräusch-Verhältnissen (SNR)	23
Tab. 2.2	Raumakustische Kriterien für verschiedene Höreindrücke	27
Tab. 2.3	Bewertung des Sprachverständlichkeitsindex STI	32
Tab. 2.4	Silbenverständlichkeit in Abhängigkeit von der Nachhallzeit und dem Signal-Rausch-Abstand	34
Tab. 4.1	Parameter zu Grund- und Arbeitsgeräuschpegel	65
Tab. 5.1	Einzeldaten zu Abb. 5.23	81
Tab. 5.2	Übersicht über Anzahl der Versuchspersonen und analysierten Zeitabschnitte	116
Tab. 5.3	Medianwerte von Beanspruchung und Basisaktivierung der Grundschule Stichnathstrasse und Baumberge-Schule	121

11 Anhang

Frequenzabhängige Nachhallzeiten, Raumvolumina und Anzahl der Schülerplätze aller beteiligten Räume

	Nachhallzeit s										V m ³	Schüler
KI 1a	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI		225	26
leer	0,84	0,84	0,79	0,68	0,64	0,58	0,5	0,7	0,7			
halb	0,79	0,7	0,68	0,58	0,56	0,51	0,42	0,6	0,72			
voll	0,72	0,68	0,65	0,54	0,51	0,46	0,39	0,56	0,73			
KI 1b	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI		230,2	26
leer	1	0,81	0,73	0,65	0,63	0,57	0,46	0,69	0,71			
halb				0,61		0,61	0,67	0,63	0,71			
voll				0,61	0,53	0,59	0,84	0,64	0,71			
KI 2c	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI		182,4	28
leer	1,09	0,97	0,8	0,68	0,64	0,58	0,45	0,74	0,7			
halb	0,92	0,78	0,67	0,56	0,56	0,48	0,4	0,62	0,72			
voll	0,91	0,72	0,63	0,53	0,52	0,46	0,38	0,59	0,73			
KI 2d	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI		132,8	26
leer	0,47	0,45	0,44	0,51	0,48	0,45	0,38	0,45	0,79			
halb	0,49	0,39	0,35	0,44	0,4	0,38	0,33	0,4	0,8			
voll	0,5	0,41	0,33	0,41	0,38	0,34	0,32	0,39	0,81			
KI 3c	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI		206,9	30
leer	0,83	0,71	0,67	0,6	0,59	0,64	0,39	0,63	0,74			
halb	0,75	0,68	0,62	0,53	0,52	0,52	0,38	0,57	0,75			
voll	0,7	0,66	0,59	0,52	0,5	0,45	0,32	0,53	0,77			
KI 3d	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI		221,6	24
leer	0,5	0,44	0,44	0,44	0,43	0,41	0,4	0,44	0,78			

halb	0,46	0,39	0,4	0,41	0,4	0,37	0,37	0,4	0,8
voll	0,45	0,37	0,37	0,39	0,37	0,35	0,37	0,38	0,81

KI 4c	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI	233,4	28
leer	0,5	0,46	0,48	0,49	0,49	0,45	0,41	0,47	0,76		
halb	0,44	0,43	0,41	0,45	0,43	0,41	0,39	0,42	0,79		
voll	0,45	0,43	0,38	0,41	0,41	0,38	0,36	0,4	0,8		

KI 4d	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI	182	26
leer	0,39	0,39	0,41	0,46	0,48	0,44	0,4	0,42	0,8		
halb	0,37	0,37	0,36	0,4	0,43	0,4	0,37	0,38	0,81		
voll	0,36	0,35	0,34	0,4	0,4	0,57	0,36	0,4	0,81		

KI 2b	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI	225,9	24
leer	0,88	0,93	0,87	0,83	0,74	0,58	0,44	0,75	0,68		
halb	0,74	0,85	0,82	0,71	0,62	0,52	0,44	0,67	0,71		
voll	0,71	0,81	0,78	0,68	0,59	0,49	0,42	0,64	0,71		

KI 2bs	125	250	500	1k	2k	4k	8k	MW	STI	225,9	24
leer	0,34	0,3	0,3	0,32	0,35	0,37	0,35	0,33	0,86		
halb	0,31	0,26	0,28	0,28	0,31	0,34	0,31	0,3	0,86		
voll	0,28	0,25	0,25	0,28	0,31	0,34	0,3	0,29	0,87		

12 Nachwort

An dieser Stelle bedanken wir uns bei allen, die uns bei dieser Arbeit auf so vielfältige Weise unterstützt haben und jeder auf seine Art zum Gelingen beigetragen hat, vor allem den Betreuerinnen und Betreuern unserer Arbeit, die uns immer für Diskussionen zur Verfügung standen, insbesondere Prof. Dr. Hans-Georg Schönwälder (Bremen), der den Fortschritt vor Ort begleitete, aber auch Prof. Dr.-Ing. Hans Goydke (Braunschweig), Prof. Dr. Petra Hampel (Bremen) und Prof. Dr. Joachim Kahlert (München).

Ganz besonderer Dank gilt dem Vater dieser Projektidee, Prof. Dr. med. Jörg Berndt, der auch diese Arbeit betreuen wollte, leider aber die Vollendung durch seinen unerwarteten Tod nicht mehr erleben konnte. Er ist von Anfang an ein Verfechter des Gedankens der interdisziplinären Schulforschung gewesen, was sich auch an der Historie des Instituts für interdisziplinäre Schulforschung (ISF) der Universität Bremen ablesen lässt.

Eine Ausführung dieser Arbeit wäre ohne die Grundlagen des Forschungsprojektes „Lärm in Bildungsstätten“ des ISF, gefördert durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Dortmund, und aller daran Beteiligten nicht möglich gewesen, daher gilt unser Dank allen an der Datenerhebung beteiligten Personen: Ines Borchert, Peter Einig, Ulf Groth, Katayoon Hamzavi-Abedi, Felicitas Kubis, Hanka Nawrocka und Frauke Ströver.

Ohne den Verein „Lernen statt Lärmen e. V.“, der die akustische Sanierung des Klassenraumes in der Baumberge-Schule ermöglicht hat, wäre dieser Teil der Vergleichsstudie so nicht durchführbar gewesen. Dem wissenschaftlichen Beirat des Vereins sei an dieser Stelle gedankt für zahlreiche Anregungen während der Datenauswertung. In diesem Zusammenhang gilt unser Dank auch dem internationalen „EDUCATIONnetwork“ (EDUnet) der Saint-Gobain Ecophon Gruppe, welches durch einen intensiven und kreativen Austausch von Ideen die vorliegende Arbeit begleitet und immer wieder auch beflügelt hat.

Erwähnenswert ist abschließend das kollektive Zusammenspiel zwischen den Autoren. Die Stärken des gemeinsamen Arbeitens an diesem Thema zeigten sich nicht nur in der gegenseitigen Motivation und der dadurch erreichten Effizienz. Letztlich war es vor allem die neugierige Offenheit gegenüber den ganz verschiedenen Ausgangslagen des Anderen, die den angestrebten Blick über die jeweiligen Tellerränder hinaus ermöglichten. So ist auch der Rückblick auf diese Zusammenarbeit nicht zuletzt von einem Gefühl der Dankbarkeit geprägt.

Zum Schluss ein besonderer Dank für die mühevollen und geduldigen Arbeit des Korrektur Lesens an Marion Kroh.

Bremen/Lübeck im November 2005
Gerhart Tiesler und Markus Oberdörster