

# Gesundheitsfördernde Einflüsse auf das Leistungsvermögen im schulischen Unterricht

Gerhart Tiesler, Hans-Georg Schönwälder, Frauke Ströver



Wb 30

Werkstattberichte  
aus Wissenschaft  
und Technik

Gerhart Tiesler  
Hans-Georg Schönwälder  
Frauke Ströver

# **Gesundheitsfördernde Einflüsse auf das Leistungsvermögen im schulischen Unterricht**

## **Ein Beitrag zur Ergonomie der Schule**

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Bremerhaven 2009

Forschungsvorhaben im Auftrage von:

Gemeinde-Unfallversicherungsverband Hannover - Landesunfallkasse Niedersachsen  
und der Unfallkasse Hessen - Partner für Sicherheit

Das Titelbild wurde mit freundlicher Genehmigung zur Verfügung gestellt von:  
www.fraktale-schule.de, Herforder Modellprojekt, Umbau Grundschule Landsberger Strasse

Autoren: Gerhart Tiesler, Hans-Georg Schönwälder, Frauke Ströver  
Institut für interdisziplinäre Schulforschung (ISF)  
der Universität Bremen

unter Mitwirkung von:  
Anika Bilek, Mary Koch, Mirco Penshorn,  
Jessica Pöhler, Juliana Wiechert

Verlag/Druck: Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Bürgermeister-Smidt-Str. 74 - 76, 27568 Bremerhaven  
Postfach 10 11 10, 27511 Bremerhaven  
Telefon: (0471) 9 45 44 - 0  
Telefax: (0471) 9 45 44 - 77  
Email: info@nw-verlag.de  
Internet: www.nw-verlag.de

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

ISBN 978-3.86509-916-7

	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	5
<b>2</b>	<b>Theoretischer Hintergrund</b>	9
2.1	Schulhygiene und Ergonomie der Schule	9
2.1.1	Schulhygiene	9
2.1.2	Ermüdung im Unterricht – ein ignoriertes Aspekt	10
2.2	Aktuelle Diskussion zur CO <sub>2</sub> -Konzentration in Schulen	13
2.3	Schulergonomie als Arbeitswissenschaft der Schule	14
2.3.1	Das Modell von Belastung und Beanspruchung	15
2.3.2	Arbeitsbelastung in der Schule	16
2.3.3	Belastung und Beanspruchung in der Schule	17
2.3.4	Psychische Belastung als objektive Größe	18
2.4	Belastung durch Arbeitsbedingungen	19
2.4.1	Arbeitsgeräusche und Lärm im Unterricht	20
2.4.2	Belastung durch schlechte Atemluft	20
2.5	ISF Befunde als Basis des Ermüdungsprojekts	21
<b>3</b>	<b>Fragestellung und Grundhypothesen</b>	23
<b>4</b>	<b>Methodendiskussion und Operationalisierung</b>	24
4.1	Beschreibung der Datenerhebung	24
4.1.1	Untersuchungsdesign	25
4.1.2	Raumakustik	25
4.1.3	Luftqualität im Unterricht	26
4.1.4	Messung des Schallpegels im Unterricht	27
4.1.5	Beanspruchungsmessung-Aufzeichnung der Herzfrequenz	27
4.1.6	Unterrichtsbeobachtung – Kommunikation und Aktivität	28
4.1.7	Erfassung der Aufmerksamkeit	30

4.1.8	Messung der Reaktionsfähigkeit	33
4.1.9	Befragung der Schülerinnen und Schüler	33
4.2	Datensatzdefinition	35
4.2.1	Differenzierungsgrößen	36
4.2.2	Reaktionsgrößen	38
4.3	Methodik: Differenzieren – Gruppieren – Analysieren	44
4.3.1	Differenzierung	45
4.3.2	Gruppierung	46
4.3.3	Analyse	47
<b>5</b>	<b>Datendarstellung und Analyse</b>	<b>48</b>
5.1	Beteiligte Schulen	48
5.2	Lüftungsverhalten	55
5.3	Klima	58
5.3.1	Raumklima in den Schulen – erste Übersicht	58
5.3.2	Interventionsabhängige Veränderung des Raumklimas	61
5.4	Folgen der Belastungsänderung	80
5.4.1	Herzfrequenz	80
5.4.2	Aufmerksamkeitsleistung	87
5.4.3	Reaktionsverhalten	93
5.4.4	Geräuschpegel im Unterricht	98
5.4.5	Pädagogischer Prozess	105
5.4.5.1	Kommunikationsprotokoll	105
5.4.5.2	Aktionsprotokoll	108
5.4.6	Befindlichkeitsbefragung	118
5.5	Wirkung der CO <sub>2</sub> -Belastung	130
5.5.1	Beanspruchungsindikator Herzfrequenz	130
5.5.2	Aufmerksamkeit	132

5.5.3	Reaktionsfähigkeit	134
5.5.4	Geräuschpegel im Unterricht	135
5.5.5	Pädagogischer Prozess	138
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>145</b>
<b>7</b>	<b>Folgerungen für eine Ergonomie der Schule</b>	<b>148</b>
7.1	Beobachtungen zum Status Quo realisierter Schulergonomie	149
7.2	Eckpunkte einer effektiven Schulergonomie	151
7.3	Effekte durch und mit einfacher schulergonomischer Veränderung	154
7.4	Einige schulergonomische Grundregeln	156
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>158</b>
<b>9</b>	<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	<b>161</b>
<b>10</b>	<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	<b>169</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>170</b>
<b>12</b>	<b>Nachwort</b>	<b>181</b>



# 1. Einleitung

„Geh in die Schul’ und lerne was!“, ist eine alte Elternmaxime für ihre Kinder. Schon Kaiser Karl dem Großen, der nie lesen und schreiben gelernt hat, soll in diese Richtung für die Kinder seiner Untertanen etwas vorgeschwebt haben. Es hat viele Jahrhunderte gedauert, bis mehr oder weniger weise Landesherren die allgemeine Schulpflicht eingeführt haben – finanziell zu Lasten der Eltern und zuvörderst für die Jungen. Auch damals schien klar auf der Hand zu liegen, je länger der Schulbesuch, desto mehr würde gelernt werden bzw. gelernt werden können. Ein eigener Wissenschaftszweig, die Pädagogik, bildete sich in der Neuzeit heraus. Große Philosophen wie z.B. Comenius und manch andere machten es sich zur Aufgabe, Vorstellungen von guter Schule und richtigem Lehren bzw. Unterrichten zu entwickeln – Comenius nebenbei durchaus auch für Mädchen. Ein Recht auf Bildung und zwar nach jedermanns bzw. –kinds Fähigkeiten – ist in Europa und auch anderswo erst in jüngster Neuzeit durchgesetzt worden. Schul- und Bildungsministerien wurden gegründet, Regeln über Inhalte und Vorgehen erlassen, das Lernen durch Lehren in (Alters-) Gruppen regelhaft organisiert. Die Strukturen davon stehen uns allen in Deutschland und Österreich im dreigliedrigen Schulwesen und der Halbtagsschule vor Augen. In anderen Ländern organisierte man Schule auf andere Weise. Doch der Notwendigkeit folgend mussten allgemeine Regeln für den Ablauf der Schultage, Schulferien, Feiertage aufgestellt werden. Was lag näher als dem Herkommen – einem Argument im preußischen Schulrecht - zu folgen und die üblichen christlichen Feiertage sowie die Zeiten, an denen die Kinder auf dem Lande für Hilfsdienste benötigt wurden, zu berücksichtigen. So ergaben sich, ‘naturwüchsig’ in den deutschen Ländern bzw. Fürstentümern auf einer bäuerlich agrarwirtschaftlichen Grundlage eine mehr oder weniger dem Arbeitsleben genügende Schulorganisation, deren Struktur sowohl im Stundenbetrieb der Halbtagsschule als auch den Ferienregelungen die wesentlichen Veränderungen der Wirtschaftsstruktur mit und nach der industriellen Revolution überdauert haben. Mit anderen Worten, das „Herkommen“ schlägt bis auf den heutigen Tag durch. Eine mehr oder weniger zu Recht so genannte Volkspartei hält eisern daran fest. Auch das ist Konservatismus – freilich einer der besonderen Art, der sich selbst gegenüber der Möglichkeit einer Forderung nach Überprüfung taub zu stellen scheint.

Relevante Gründe für eine Überprüfung des ‚Herkommens‘ wurden spätestens zum Ende des 19ten. Jahrhunderts bzw. zu Beginn des 20ten mit der Schulhygiene von BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) und Jahrzehnte davor mit deren Vorgängern gelten gemacht . Mindestens in deren Folge wurden an verschiedenen Universitäten Lehrstühle für Schulhygiene eingerichtet, deren letzter in der BRD um 1974/75 eingestellt wurde. Doch mehr oder weniger vergessen heißt keineswegs überholt! Wer das 1000 Seiten knapp unterschreitende Werk von BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) liest, wird zu Recht staunen. Vielleicht aber erschließt sich die Grundsubstanz der dort dargestellten Überlegungen erst besonders leicht mit dem Bezug zu den erst viel später entstandenen Arbeitswissenschaften. Wir vom ISF meinen allerdings, Pädagogik hätte sich explizit und auf Dauer der Faktenlage der Schulhygiene vergewissern sollen. Interessant bleibt, wie der seinerzeit erreichte Stand dieses Wissens in der Erziehungswissenschaft weitgehend in Vergessenheit geraten konnte. Der zurück liegende Zeitraum mag manches erklären. (Zeit „heilt“ auch Erkenntnis.) Schon die beiden oben genannten beklagen – hoffnungsvoll – „noch zu geringe Verbreitung

schulhygienischer Kenntnisse“ (BURGERSTEIN UND NETOLITZKY, 1902). Das wäre heute zu ergänzen durch: „immer noch“ zu geringe Verbreitung oder auch „wieder“ zu geringe Kenntnis. Zwar sind bautechnisch mögliche Hygienebedingungen u.a. für Schulen zum Standard erhoben worden, doch bereits bei der Möblierung der Klassenräume kann gegenüber den seinerzeit z. T. befolgten Vorschlägen des erwähnten Handbuchs nur ein allgemeiner Rückschritt konstatiert werden. Ganz wenige Ausnahmen, wie in der Expo-Schule in Hannover, werden zu Recht als Besonderheit herausgestellt. Sie sind so häufig wie ein weißer Rabe. Ähnliches gilt für die leicht anzuerkennenden Vorschläge zur Geräuschdämmung in Schulräumen und die Isolierung gegen den Eintrag von Außenlärm ebenso wie für die Sicherstellung ausreichender Lüftung für den und im Unterricht. Die tatsächlich in diese Richtung weisenden – in der Regel leider immer noch unzulänglichen - Bestimmungen z. B. für Schall absorbierende Decken von Klassen- und Schulräumen legen Zeugnis für anscheinend offiziell akzeptierte Missstände ab.

Inhaltlich kann die heutige Aufgabenstellung für die Gemeinde-Unfallverbände daran anknüpfen. Sie würde dann auf schulhygienische Forschungen und Erkenntnisse nicht zuletzt aus dem ausgehenden 19ten Jahrhundert und deren Aktualisierung an verschiedenen Lehrstühlen für Schulhygiene an deutschen Universitäten fußen. Die Aufgabe der Schulhygiene selbst ist ohne diesen Rückbezug weitgehend an die Unfallverbände übergegangen, die mit Regelwerken, Vorschlägen und u.a. der Förderung des hier zu berichtenden Forschungsprojekts, eine Bresche auszufüllen haben. Nicht zuletzt dieser Aufgabenkreis wurde den Gemeinde-Unfallkassen tatsächlich jedoch in Analogie zur Arbeitsschutzgesetzgebung für den gewerblichen Bereich übertragen. Es geht hier zum Einen um die Anerkennung von Versicherungsfällen und deren Regulierung z. B. bei Unfällen von Schülern im Schulzusammenhang. Darüber hinaus sehen sich die Unfallverbände zu weit ausdifferenzierter Prävention verpflichtet (UNFALLKASSE HESSEN, 2007). Ausdrücklich genannt sind in diesem Zusammenhang „Verbesserung der Lernsituation durch ergonomische Gestaltung des Lernumfeldes und des Lernablaufs.“ Damit steht an erster Stelle die Schülerschaft. Dem folgt aber unmittelbar das Thema „Reduzierung der Belastung des pädagogischen Personals durch sichere ergonomische Gestaltung von Arbeitsabläufen und Arbeitsbedingungen.“(UNFALLKASSE HESSEN, 2007)

Der zitierten Programmatik folgend haben der GUV Hannover und die Unfallkasse Hessen sich entschlossen, Feldforschung zu relevant aktualisierter schulergonomischer Themenstellung zu fördern. Erkundet werden soll der Einfluss von Belastung durch Aufgabenstellung, Art und Struktur der Zeitkomponente des Unterricht, CO<sub>2</sub> Konzentration, Schalleinwirkung und Luftfeuchte auf Ermüdung und letztlich Gesundheit der Schüler – zumindest mittelbar auch der Lehrer. Mindestens ein anderer GUV lehnte ein Beteiligungsangebot ab. Neugier der Forscher stieß dort auf vermeintlich sicheres Vorwissen, das besagte, schließlich benötige man keine Forschung, um zu bemerken, dass sowohl effektorisch-motorische Aktivität als auch informatorisch-mentale zu Ermüdung führe. Doch auch begründbares Vorurteil kann banal und tückisch sein.

Soviel ist richtig: menschliche Arbeit als Verhaltensleistung führt zu Ermüdung, Erschöpfung gar. Einschlägig Vorgebildeten in zuständigen Gremien dürfte neben diesem allgemeinen Grundstock an Fachüberzeugung auch die Existenz empirischer Untersuchungen dazu mehr oder weniger präzise bekannt sein. Doch die heute –

u.a. durch das ISF – ermöglichte differenzierte Überprüfung der einschlägigen Hypothesen und der sich dadurch eröffnenden erweiterten organisatorischen Handlungsmöglichkeiten werden allem Anschein nach nicht gezielt verfolgt oder auch nur diskutiert. Es ist müßig, den Gründen dafür nachzugehen. Wichtig allein ist hier die Frage, ob im Unterrichtsverlauf eines Schultages an üblichen Halbtagschulen in Deutschland ein vermeidbarer Ermüdungsgrad zu messen ist, und ob der durch geeignete Maßnahmen gemindert oder vermieden werden kann? Die Extrapolation auf Ganztagschulen bleibt dabei nicht nur unbenommen, sondern ist vielmehr anzuraten. (VGL. STRÜBMANN, 2007)

Das im Folgenden skizzierte Projekt zur empirischen Datenerfassung der als gesetzmäßig anzunehmenden Auswirkungen von Arbeitsleistung auf die Leistungsvoraussetzungen enthält Fragestellung und generelle Hypothesen der Datenerfassung zur Ermüdung im Schulunterricht unter – scheinbar geringfügig – variierten Arbeitsbedingungen. Obwohl das Konzept auf Wissen und Überlegungen heutiger Arbeitswissenschaften gründet, darf die ‚alte‘ für die Schulorganisation anscheinend niemals voll adaptierte Schulhygiene als „Mutter einer Ergonomie der Schule“ nicht einfach in den Schatten des Vergessens gestellt werden. Deshalb wird dem anschließenden Aufriss von Fragestellung Hypothesen und der komplexen Datenerhebung im schulergonomischen Forschungsprojekt des ISF zur Ermüdung im Unterricht die Erinnerung an weitgehendes Wissen zu physiologisch beeinträchtigenden Effekten wieder aufgerufen. Zitate aus alter Zeit gewinnen zuweilen wegen ihres Alters Überzeugungskraft. Andererseits könnte aber auch der Satz gelten, nichts sei so alt wie die empirischen Befunde von gestern. Mit Ersterem spielen wir nicht; das Zweitgenannte gilt es hier zu prüfen.

Es sei, wie man es sehen will: die hier zu berichtenden Befunde sind aufgrund der darzustellenden Fragestellungen und Hypothesen neu gewonnen worden. Wirklich innovativ gegenüber bruchstückhaft erinnertem Vorwissen ist die hier erfasste Vielfalt der Variablen, die Präzision der Messmethoden der Leistungsbedingungen und vor allem der Messung der Variablen auf parallelen Zeitstrahlen. Der an sich nur platte Satz: ‚Steigerung des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atemluft führt zu Ermüdung‘ entspricht alltäglichem Augenschein nach oft sogar bloßem Geruchsempfinden. Doch die Antworten auf die Frage, wie und in welchem Ausmaß es dazu in sozialem Kontext z.B. der Schule kommt, welche Auswirkungen das hat und welche Schlussfolgerungen daraus gezogen werden sollten, dürfen nicht in der Selbstzufriedenheit passiv hingegenommenen Wissens versinken. Weil wichtige psycho/physiologische Bedingungen des Schule Haltens jahrzehntelang ignoriert worden sind, erscheint es angebracht, mehr zu tun als mit taktvollem Hüsteln an vormaligen Kenntnisstand zu erinnern. Immerhin ist 1915 in einer Reihe: Der Bücherschatz des Lehrers über die wichtigen schulhygienischen Erkenntnisse ausführlich berichtet worden. Real ist es heute möglich, weiter zu gehen, als vor über 100 Jahren.

Statt wie zuvor Messwerte in zufälligen oder zu konstanten geplanten Zeitpunkten in laufenden Prozessen aufzuzeichnen (komparativ statischer Vergleich) wurden im Ermüdungsprojekt des ISF zeitgleich, also parallel, auf mehreren Registrierspuren Messwerte aufgezeichnet. Begleitet wurden die Messungen durch fortlaufende Beobachtung von Unterrichtsaktivitäten, Veränderungen der Unterrichtsbedingungen ergänzt durch Befindlichkeitsbefragungen sowie Aufmerksamkeits- und Reaktionstests. Das soll eine Prozesskorrelation ermöglichen, die es unseres Wissens bisher nicht

gegeben hat. Insgesamt wurde dadurch ein komplexer Datensatz erstellt, was ohne die Möglichkeiten moderner elektronischer Datenverarbeitung und -erfassung kaum zu verwirklichen gewesen wäre. Doch auch ihre Nutzung ergab sich nicht von selbst, denn kommerzielle Programme dafür – außer den unseren - existieren nicht – oder noch nicht.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Schulhygiene und Ergonomie der Schule

Unter der Überschrift 'Schulhygiene' wurde im 19ten und beginnenden 20ten Jahrhundert, vorwiegend aus medizinischer Sicht die vernünftige Einrichtung und Gestaltung der Schule bedacht und diskutiert. Dazu konnte auf zahlreiche empirische Untersuchungen nicht zuletzt zur Zumutbarkeit der Anforderungen in den Schulen der Länder des Deutschen Reiches zurückgegriffen werden. Man könnte darin auch so etwas wie eine Sozialmedizin der Schule ausmachen. Die Namen mögen altmodisch klingen, die Probleme oder doch ein sehr großer Teil davon sind keineswegs als überholt anzusehen. Sie können vielmehr unter arbeitswissenschaftlichem Aspekt und unter Nutzung des gegenwärtigen Diskussionsstandes in Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie und Arbeitspsychologie differenzierter und auch Pädagogik betreffend angegangen werden. Eine Ergonomie der Schule wäre als logische Fortführung der Schulhygiene anzusehen. Da jedoch schon Schulhygiene auf berichtetes Unverständnis stieß, wird eine logische Fortführung dieser Gedankenlinie sich kaum von selbst ergeben. Auch die Begründung für das ISF kristallisierte sich erst allmählich aus der Diskussion der Schulhygiene im Lichte der Arbeitswissenschaften und der damaligen (1980 ff) Überbürdungsdiskussion heraus. Zum Stichwort einer „Ergonomie der Schule“ war es dann allerdings nicht mehr weit. Für diese begriffliche Fixierung bildete die Dissertation von TIESLER & OBERDÖRSTER (2006) einen entscheidend bestätigenden Schritt. Mit der hier veröffentlichten Schrift fordern wir erstmals explizit die Fachöffentlichkeit dazu auf, sich in eine noch anzustoßende Diskussion um die Ergonomie der Schule einzubringen!

#### 2.1.1 Schulhygiene

BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) haben vor über 100 Jahren vielfach und schlüssig begründet das Handbuch zur vernünftigen Schulgestaltung bis hin zu pädagogischen Stellungnahmen verfasst. Im Grundsatz kann es in den meisten Teilen keineswegs als überholt gelten. Im Gegenteil, im so genannt normalen Schulbetrieb käme die Beachtung damals aufgestellter Regel Schülern wie Lehrern durchaus heute noch als Verbesserung zu gute. U.a. auf die beiden Verfasser geht z.B. die Anregung zur Einführung der 45 Min-Unterrichtsstunde zurück. Die Organisation Schule brauchte Jahrzehnte, um dem nachzukommen. Unfreiwillig ironisch mutet die neuerliche Praxis der 90 Min. Unterrichtseinheit heute selbst in der Grundschule an. In einer aktuellen Programmankündigung eines Workshops von Schulleitern lautet eines der Themen sogar: „Schule im 60 Minuten-Takt“. Als wesentliches Argument galt die leichtere Handhabbarkeit in den Stundenplanprogrammen und vereinfachte Berücksichtigung der Zeitvorgaben für die einzelnen Fächer. Weder das Pausenproblem noch die Folgen langer ununterbrochener Unterrichtszeiten spielten in den Erörterungen eine wesentliche Rolle.

Hier ist nicht der Ort zum ausführlichen Referieren des umfänglichen Werkes von (BURGERSTEIN UND NETOLITZKY, 1902). Der Reichtum der herangezogenen Literatur aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erstaunt – und beschämt zugleich. Denn was alles scheint total in Vergessenheit geraten zu sein? Wie allein das Inhaltsver-

zeichnung ausweist, reicht die Erörterung von der Betrachtung des Schulgebäudes über die hygienischen Vorkehrungen, die Organisation des Schultages bis hin zu den damals auftretenden Krankheiten nicht zuletzt bei Schulkindern. Bescheiden oder unbescheiden bescheiden schreiben die Verfasser im Vorwort zur zweiten Auflage, „Es liegt in der Natur der Sache, dass ein Handbuch nur verhältnismäßig wenig bieten kann, was nicht überhaupt schon vorgebracht worden wäre:...“ (BURGERSTEIN UND NETOLITZKY, 1902, S. IV).

### **2.1.2 Ermüdung im Unterricht – ein ignoriertes Aspekt**

Zur Definition: Ermüdung ist gekennzeichnet durch eine reversible Abnahme der Leistungsfähigkeit infolge einer Belastung die die individuelle Dauerleistungsgrenze überschreitet. Durch Erholung im Sinne eines Abbaues von Ermüdung stellt sich ein definierter individueller Leistungsgrad wieder her. Die Ermüdung die sich im Erleben, Verhalten und durch physiologische Merkmale äußert, steigt exponentiell mit Belastungsintensität und Belastungsdauer an. Die Einteilung des Ermüdungsgrades reicht von Stufe 0: optimale Leistungsfähigkeit, Stufe 1: volle Kompensation, Stufe 2: labile Kompensation, Stufe 3: anhaltend verminderte Effektivität bis Stufe 4: funktionelle Störungen. Die Erholung, die nur durch das vollständige Lösen von der Belastung erfolgt, lässt sich im zeitlichen Verlauf als Exponentialfunktion abbilden, so dass im ersten Pausen-Viertel der größte Erholungseffekt zu beobachten ist (vgl. QUAAAS, 1997).

Ausführlich beschäftigten sich die beiden Autoren unter der Überschrift „Hygiene des Unterrichts“ mit Ermüdung und den Schwierigkeiten, sie objektiv messend zu erfassen (BURGERSTEIN & NETOLITZKY, 1902). Wegen zu erwartender geringer Reliabilität der Messergebnisse sowohl nach der ergographischen (BURGERSTEIN & NETOLITZKY, 1902) Methode (Messung nachlassender Muskelleistung nach geistiger und/oder körperlicher Anstrengung) als auch der aesthesiometrischen (Messung nachlassender Empfindlichkeit der Haut für taktile Reizungen) (BURGERSTEIN & NETOLITZKY, 1902) von Griesbach, die insbesondere vielfach auch von KRAEPELIN angewandt wurde, meinen BURGERSTEIN & NETOLITZKY (1902), die Ergebnisse derartiger Messungen sollten „nur mit großer Vorsicht“ aufgenommen werden. Andererseits ist ihnen eine Möglichkeit wichtig, instrumentelle Methoden zur Ermittlung der Ermüdung einzusetzen, die unabhängig sind von Begabung, Beschränktheit, Fleiß oder Trägheit, Interesse oder Langweile. (BURGERSTEIN & NETOLITZKY, 1902) Sie stützen ihre Darstellung daher auf Versuche zur Ermittlung von Leistungsveränderungen im Ablauf von Schultagen, auf die sie aus Rechenleistungen von 9jährigen Volksschülerinnen, aus Aufmerksamkeit und aus dem „Im Gedächtnis Halten“ bzw. „Sich Erinnern“ von Mitteilungen zurück schließen (BURGERSTEIN & NETOLITZKY, 1902). Dabei zeigt sich ein merkbarer positiver Effekt aus der großen Pause nach zwei je 55 min Unterrichtsstunden unterbrochen durch 5 min Pause. (BURGERSTEIN & NETOLITZKY, 1902) Aus der Darstellung der Ergebnisse von fortgesetzten einfachen Additionen dreier Personen aus einer anderen Untersuchungen gewinnen sie dann den Hinweis auf die Abhängigkeit der Rechenleistung in zwei Fällen von der Aktivitätszeit – allerdings auch einen eindeutig davon abweichenden dritten Fall im Zeitablauf höherer Rechenleistung (BURGERSTEIN & NETOLITZKY, 1902). Damit begründen sie ihre Skepsis gegenüber den oben genannten unabhängigen Methoden zur Messungen der Ermüdung. Zugleich aber richten sie damit den Blick auf die Bedeutung der Aktivitätszeit für kognitive Leistung. Sie setzen daher auf eine „Methode, bei deren Anwendung die

geistige Arbeit selbst als Prüfungsmittel dient.“ (BURGERSTEIN UND NETOLITZKY, 1902, S. 461) Die beiden Autoren zitieren u.a. eine Untersuchung (BURGERSTEIN UND NETOLITZKY, 1902) aus dem Jahre 1898. Hier werden Leistungen von 51 durchschnittlich 10 jährigen Volksschülern im Rechnen und Diktat aufgrund von als gleichwertig bezeichneten Aufgaben vorgestellt, die ein Absinken der Leistungen sowohl vom Vormittag zum Nachmittag als auch in Abhängigkeit von Pausen sowohl am Vormittag als auch am Nachmittag ausweisen; nach Pausen höhere Leistungen als ohne Pausen zwischen den Unterrichtsstunden von 55 min. Damit stellen BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) zwei Komponenten heraus:

- Leistungsabfall in Abhängigkeit einfach von Tagesablauf und/oder...
- Leistungsabfall in Abhängigkeit von der Struktur der Arbeitszeit in der Schule

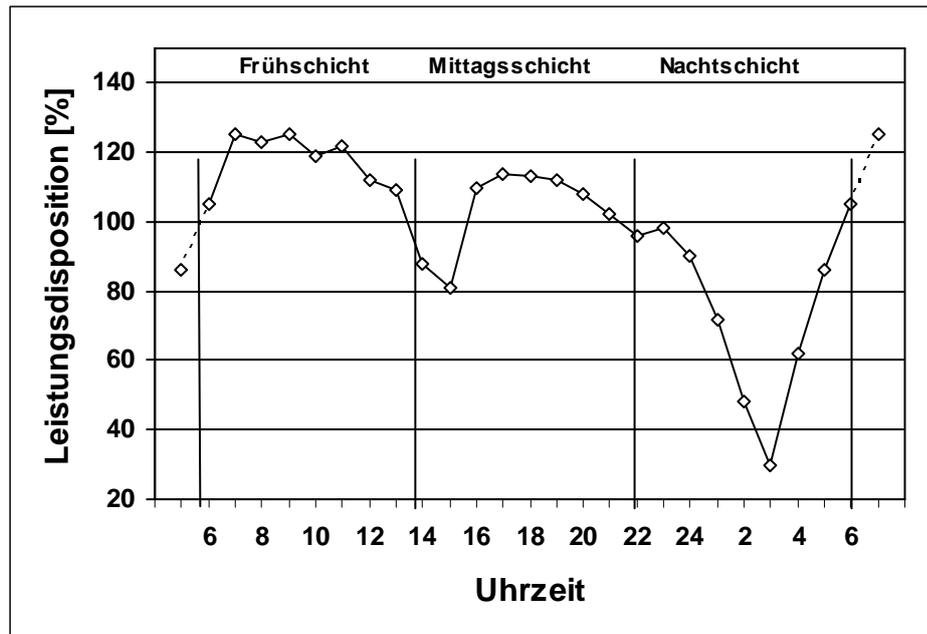
Beide Aspekte werden wegen ihrer Plausibilität als Erklärung von Ermüdung gewertet.

Zum ersten Punkt, dem Tagesablauf sei an dieser Stelle noch ein Exkurs zur sogenannten „Biologischen Leistungskurve“ eingefügt, der Zirkadianen Rhythmik.

Der Schlaf- und Wachrhythmus des Menschen unterliegt rhythmischen Schwankungen. Diese phasischen Veränderungen haben auch Einfluss auf unsere tägliche Aktivität (SCHANDRY, 2003). Der bekannteste Rhythmus beim Menschen ist der sogenannte „Zirkadiane Rhythmus“, der etwa 24 Stunden umfasst. Während dieser Periode treten Veränderungen im Organismus auf (PINEL, 1997), wie z.B. Schwankungen in den Aufmerksamkeitsleistungen, der psychomotorischen Performanz, der muskulären Leistung, des sexuellen Antriebs und der Körpertemperatur.

Es gibt unterschiedliche Theorien über Ursachen. Von verschiedenen Wissenschaftlern wird der Wechsel der Sonneneinstrahlung als Grund betrachtet, welcher durch die Umdrehung der Erde um ihre eigene Achse hervorgerufen wird (BIRBAUMER & SCHMIDT, 1996). Somit ist der wichtigste Schlüssel der Hell-Dunkel-Rhythmus. Es wurde herausgefunden, dass der zirkadiane Rhythmus bereits angeboren ist und sich bis etwa 15 Wochen nach der Geburt ausgebildet hat (BIRBAUMER & SCHMIDT, 1996). Die Periodik wird nicht erlernt. Experimente haben gezeigt, dass sich in den meisten Fällen eine mittlere Schlaf-Wach-Zeit von 25 Stunden einstellt. Außerdem ist die so genannte „innere Uhr“ des Menschen unabhängig von Umweltreizen (SCHANDRY, 2003). Unter der „Zirkadianen Uhr“ versteht PINEL (1997, S. 337) „einen inneren Zeitgebermechanismus, der die täglichen Zyklen der physiologischen Veränderungen aufrecht erhält, auch wenn es keine Zeitgeber aus der Umwelt gibt.“ Demnach muss die Periodik durch einen inneren Vorgang reguliert werden.

Diese Schwankungen der Leistungsbereitschaft im Tagesverlauf äußern sich z.B. in Ermüdungserscheinungen bzw. Veränderungen der Aufmerksamkeit. Schwedische Wissenschaftler haben herausgefunden, dass „schlechte Leistungsdisposition in tagesrhythmisch ungünstigen Stunden [...] zu Versagen und Fehlleistungen führen kann“ (KNAUTH, 1983). Die Forscher haben aus ihren Untersuchungen eine Kurve der Leistungsdisposition im Tagesgang abgeleitet.



**Abb. 2.1:** Tagesgang der Leistungsdisposition, nach BJERNER, B. et.al. (1948)

Nach den Schweden BJERNER ET AL. besitzt der Mensch morgens 8.00 Uhr eine etwa 125%-ige Leistungsdisposition, während die Leistung zwischen 11.00 und 13.00 Uhr auf 120%, 115% und 110% zurückgeht (vgl. Abb. 2.1). Dies sind genau die Zeiten vor und nach dem Unterricht, in denen die Aufmerksamkeitsleistung der Schüler gemessen werden soll.

Leistungsabfall, interpretierbar als Ermüdungseffekt, wurde im ausgehenden 19.Jhdt. bereits vermerkt und im Übrigen verdienstvoll diskutiert. Auch in der damaligen Pädagogik fanden BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) und weitere Autoren zur Schulhygiene zunächst ausführliche Beachtung. In der Reihe 'Bücherschatz des Lehrers' ist der Schulhygiene fast ein ganzer Band gewidmet (RUDE, 1915). Umso unverständlicher bleibt das Ignorieren der damaligen Erkenntnisse trotz universitärer Vertretung von Schulhygiene z.T. noch in der BRD und nicht zuletzt der DDR. Fortschritt der Wissenschaft geht anscheinend eben doch nicht so stringent von statten, wie allgemeinen angenommen.

Mediziner, Schulmediziner wie BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) und ihre Vorläufer haben Erkenntnisse und sowohl einleuchtende als auch praktikable Konzeptgrundsätze erarbeitet, die sogar in ihrer ursprünglichen Ausdrucksform zu Beginn des 20ten Jhdts. gegenüber heutiger Sichtweise reicher und empirisch besser begründet erscheinen als aktuelle Schulpraxis. Das Motto muss deshalb nicht gleich heißen, zurück ins 19. Jhdt., doch zurück zum Wissensstand der zweiten Hälfte des vorvorletzten Jhdts wäre – leider - auch schon ein Fortschritt. Unverständlich ist, wie nach wie vor gültige wesentliche Erkenntnisse im zitierten Handbuch der Schulhygiene im Orkus der Vergesslichkeit des Zeitgeistes versinken konnten.

## 2.2 Aktuelle Diskussion zur CO<sub>2</sub>-Konzentration in Schulen

Auch in neuester Zeit wurden Messungen zur CO<sub>2</sub> Konzentration in Innenräumen und insbesondere bei laufendem Unterricht in Schulräumen vorgenommen. Dabei wurden verschiedene Arten (Stoß- Quer-, Kipplüftung) der Lüftung insbesondere in den Schulpausen erörtert. Ausgewiesen wurden nicht nur Bestandsgrößen der CO<sub>2</sub> Konzentration zu Schulbeginn und –ende differenziert nach Sommer und Winter sowie Alt- wie Neubauten. Als illustrierende Einzelfälle wurden kontinuierliche Veränderung des Kohlendioxidgehalts der Atemluft in den Unterrichtsräumen im Zeitablauf grafisch dargestellt. „V. Pettenkofer hat nun die Luft für hygienisch gut, d.h. den längeren Aufenthalt in derselben für behaglich erklärt, wenn der Kohlendioxidgehalt 0,7 0/00 [700ppm] für zulässig, wenn er 1 0/00 [1000 ppm] nicht übersteigt, vorausgesetzt, dass der Mensch die einzige Quelle für den Kohlendioxidzuwachs der Luft ist; bei diesem Gehalt wird die gesamte Luftverunreinigung noch nicht nachteilig empfunden.“ (BURGERSTEIN & NETOLITZKY, S. 258) Die Befunde wurden stets im Licht der Pettenkofer-Zahl von 1000 ppm CO<sub>2</sub> als Grenzwert sowie die neueren vermutlich als Kompromiss gemeinten 1500 ppm vorgestellt und bewertet. Was darüber liegt gilt – sicherlich zu Recht – als von Übel. Regelmäßig und meist sehr ähnlich wird erläutert auf die auch bei BURGERSTEIN & NETOLITZKY (1902) schon zitierten Folgen höherer CO<sub>2</sub> Konzentrationen verwiesen: Abgeschlagenheit, beginnende Kopfschmerzen, nachlassende Konzentration bei ca. 20% der jeweils Anwesenden mit einer zunehmenden Zahl bei steigendem CO<sub>2</sub> Gehalt. Die meisten der Autoren gehen darauf nicht näher ein, stützen sich damit nach wie vor anscheinend auf Pettenkofers Beschreibung, die er nur aus Befragungen gewonnen haben kann oder wie von RUDE (1915) erwähnt aus Selbstbeobachtung. Ergänzend wird aus der Schweiz über eine Befragung von Anwesenden in einem Hörsaal der ETH berichtet, deren Urteile Pettenkofers Aussagen untermauern und in gleichem Sinne über weitere Dissertationen aus der ETH zum Thema. Auch eine experimentelle Studie zu den Auswirkungen eines VOC Gemisches (**V**olatile **O**rganic **C**ompounds), für das die CO<sub>2</sub> Konzentration ein Indikator sein könnte, wird erwähnt. Danach sind bereits nach 60minütiger Exposition Konzentrationsstörungen zu verzeichnen.

Diese neuere Diskussion der Qualität der Atemluft in Innenräumen – insbesondere von Schulen – ist gekennzeichnet durch Normorientierung, zumal es auch offizielle Normvorgaben neuen Datums dazu gibt, die DIN 1946. Wozu nachmessen, wenn doch für das alles die rechte Norm aufgestellt ist? Damit scheint alles in Ordnung zu sein. Doch dem ist nicht so.

Obwohl die Wiederentdeckung einer Schulhygiene wie geschildert sinnvoll wäre, sollte nicht nur eine anzunehmende Kenntniserweiterung mit bedacht werden, sondern auch eine wesentliche Variation der heute vernünftig scheinenden Sichtweise. In der Schulhygiene ging es vornehmlich um die „Erforschung der Wechselwirkung zwischen der Umwelt im weiteren Sinn und dem Organismus des Schülers“ (KARSDORF, MARCUSSON, MARCUSSON, NEUBERT, 1969, S. 15) Drei der Autoren waren Mediziner, einer, der Erstgenannte Pädagoge. Ihre Sicht impliziert die Meinung, Schule bilde eine organisatorische Konstante an sich, in der es für den Schüler (und ihre Lehrer) lt. BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) aus hygienischer Sicht mehr oder weniger günstig beeinflussbare psycho/physikalische Lebensbedingungen gibt. Eine möglichst nicht schädigende Umwelt in allen Ehren; aber der für die Organisation Schule (und Hochschule) gesetzlich in Anspruch genommene Lebensabschnitt nachwach-

sender Generationen erfordert auch eine bewusste Gestaltung unter Berücksichtigung der mehr oder weniger natürlichen Verhaltensgrundlagen von Schülern, Lehrern und weiteren einzubeziehenden Personengruppen. Davon ausgehend müsste versucht werden, Schulhygiene in ein umfassenderes Konzept zu integrieren. Die Blaupause dafür liegt mit dem Arbeitsauftrag der Gemeindeunfallverbände vor und ist insbesondere aus der Geschichte ihrer Auftragszuschreibung leicht zu erschließen. Nicht nur Unfälle durch akute Gefahren, sondern auch Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Fehl- und Überlastung von Schülern und Lehrern sollen möglichst vermieden werden. Schule ist demzufolge nach dem Grundsatz von Arbeitsschutz zu gestalten und soll nicht nur dennoch, sondern gerade durch die Beachtung von Regeln zum Gesundheitsschutz ihre optimale Leistungsfähigkeit entfalten.

Einem wesentlichen Aspekt dieses Auftrags ist das zu beschreibende Projekt zur Ermüdung von Lehrern und ihren Schülern in der Schule und deren möglichen Folgen gewidmet. Es wird durch Messungen belegt zu ermitteln gesucht, ob und wie durch eine bewusste Gestaltung der Arbeitsbedingungen für den und im Unterricht Beeinträchtigungen von Leistungsfähigkeit und Gesundheitsempfinden minimiert werden können. Dazu wurden in Vorher und Nachermessungen sowohl die Verbesserung der Atemluftqualität als auch deren Effekte auf mehreren Ebenen gemessen. Es wird also im Einzelnen ein ausgewiesener Ursache-Wirkungszusammenhang erfasst und analysiert. Das ist mehr, als einen eruierten Zusammenhang aus einer Normvorschrift zu postulieren.

Auf der Grundlage der gewonnenen Messergebnisse ist eine nicht nur plausible, sondern eine empirisch abgesicherte und somit wissenschaftlich begründete Empfehlung zum Lüftungsverhalten zu erstellen. Zu prüfen ist, ob die Beachtung vorgeschlagener Maßnahmen nachzuweisende begünstigende Wirkungen für das Lernen und Lehren in der Schule entfaltet.

### **2.3 Schulergonomie als Arbeitswissenschaft der Schule**

Ohne langes Überlegen lässt sich Schule zumindest als Arbeitsplatz der Lehrer bezeichnen. Dass das, was in der Schule geschieht, als Schularbeit definiert werden kann, hat unter Pädagogen durchaus Tradition und gilt dort sowohl für den Gesamtprozess als auch im alltäglichen Sprachgebrauch (BERNDT, 1982). Man erinnere nur die Aufzählung, die J. Berndt mit leichter Hand vornehmen kann: Klassenarbeiten, Hausarbeiten, Hausaufgaben, Arbeitshaltung von Schülern, Arbeitstempo, Arbeitsergebnisse, Stillarbeit, Einzelarbeit, Gruppenarbeit. Doch es braucht nicht pädagogische Tradition bemüht zu werden, um auf die Affinität von Arbeitsleben und Schule bzw. Einzelschule selbst zu stoßen. Das trifft sowohl für Schüler als auch Lehrer – z. Zt. immerhin über 717.000 in der BRD - und übriges notwendiges Personal zu. Deshalb stellte sich der Anschluss an moderne und aktuelle Entwicklungen der Arbeitswissenschaften im Prinzip ohne gedankliche Schwierigkeiten ein. Dem Startteam des ISF (Institut für Interdisziplinäre Schul-Forschung), Mediziner, Soziologe, Medizingenieure und Wirtschaftspädagoge, lag diese Sicht auf der Hand.

In der Nachfolge von Taylor in den USA und der Rationalisierungswelle in der Industrie im Deutschland nach dem 1. Weltkrieg bemühte man sich auch hierzulande um die Erforschung wissenschaftlicher Betriebsführung. Schule, Fachhochschule und

Universität als Objekt derartiger Bemühungen blieben dabei jedoch weitgehend ausgeblendet, obwohl für sie erhebliche Teile des Sozialprodukts aufgewendet werden. Das darf erstaunen. Schließlich bleibt damit die wesentliche Frage nach der Rationalität der Verwendung realer gesellschaftlicher Ressourcen für Lehren und Lernen unbeachtet.

Neue Handbücher z.B. das der Allgemeinen Arbeitspsychologie von HACKER (2005) oder des Lehrbuchs der Ergonomie von H. SCHMIDTKE (1993) spiegeln den deutlichen Fortschritt der (Arbeits-)Wissenschaften wider. Doch auch hier werden weder staatliche Verwaltung – noch gar Schule – als eigenständiges Thema (an)erkannt. Nicht erst neuerdings, sondern schon lange, ist es wegen des zu erhoffenden Gewinns an gesellschaftlicher Rationalität an der Zeit zumindest das Schul- und Bildungswesen zum Objekt arbeitswissenschaftlicher Betrachtung zu erklären.

Schulergonomie ist zu verstehen, als Wissenschaft von der sinnvollen bzw. richtigen Gestaltung der Arbeitsbedingungen und Arbeitsverhältnisse für Schüler und Lehrer in der Schule und für die Schule. Ziel muss eine wissenschaftlich begründete arbeitsphysiologisch, arbeitspsychologisch und pädagogisch umfassend optimierte Organisation des Schullebens sein. Schulhygiene ist dagegen vor allem auf die Vermeidung von schädlichen Einwirkungen primär auf Schüler durch den Lehr-Lernprozess in der Schule gerichtet. Mit dem Begriff Schulergonomie soll die Gestaltungsabsicht im Hinblick auf eine Optimierung der Schularbeit aller Beteiligten betont werden. Beide Sichtweisen überschneiden einander, wobei Schulergonomie sachlogisch Schulhygiene impliziert. Jeder schädigende Einfluss durch die Schule steht definitionsgemäß der Optimierungsintention der Schulergonomie diametral entgegen. Darauf interdisziplinär konzeptionell einzugehen und empirisch forschend hinzuwirken ist Zweck des ISF. Die hier vorzustellende Studie zur Entwicklung der CO<sub>2</sub> Konzentration im Unterricht und deren Folgen gehört nach den Forschungen zur Arbeitsbelastung von Lehrerinnen und Lehrern, Lärm in Bildungsstätten und der international Aufsehen erregenden Studie zur Akustischen Ergonomie der Schule in diesen Kontext. Mit der Wiederentdeckung des weitgehend in Vergessenheit geratenen Wissens der Schulhygiene kann von einem durchaus beachtenswerten Niveau aus damit begonnen werden, aktuelle Forschung zu psycho-/physiologisch richtiger Arbeitsgestaltung - u.a. in der Schule – einzubringen.

### **2.3.1 Das Modell von Belastung und Beanspruchung**

Wissenschaftlicher Fortschritt dokumentiert sich nicht nur quantitativ durch Kenntniserweiterung, sondern auch und nicht zuletzt durch gedankliche Neustrukturierung, fruchtbare Theorieansätze also. ROHMERT/RUTENFRANZ, zwei Arbeitswissenschaftler, kreierten mit dem Konzept von Belastung und Beanspruchung (im Folgenden: Belastungs-Beanspruchungs-Konzept) eine richtungweisende Sichtweise für die Arbeitswissenschaften, die sich für Analyse und Handeln im Arbeitszusammenhang Schule ausgesprochen nützlich verwenden ließe. Dass diese Auffassung noch keineswegs weit verbreitet anzutreffen ist, spricht nicht gegen das Konzept aber vielleicht für die bedauerliche Wirksamkeit von Fachschränken – in diesem Fall denen von Erziehungswissenschaftlern.

ROHMERT/RUTENFRANZ unterscheiden zwischen zunächst leicht als synonym zu verstehenden bzw. falsch zu verstehenden Begriffen 'Belastung' und 'Beanspruchung'.

Als Belastung bestimmen sie - in der Literatur weitgehend anerkannt – die objektive Last, die den jeweils Arbeit Leistenden aus konkreten Arbeitsaufgaben bzw. Arbeitsaufträgen erwächst. Es handelt sich um die Vorstellung einer objektiv für jeden gleiche Größe, der die gleichen Aufgaben zu erfüllen hat. Es ist aus diesem Blickwinkel gleichgültig, welche individuellen Leistungsvoraussetzungen der jeweils Betreffende ins Spiel bringen kann. Die geforderte Aufgabenanforderung zählt und dient als Maß.

Arbeits-Belastung soll zu Arbeitsergebnissen führen; gemeinhin vorgestellt als gegenständliche Produkte gültig aber auch für Dienstleistungen. Wenn nun, wie hier beabsichtigt, das Konzept auf die Schule übertragen werden soll, wird die Frage kaum zu vermeiden sein, worin denn die Arbeitsergebnisse der Schule bestehen sollen? Marktfähige Produkte können es nicht sein, denn die werden an Schulen in aller Regel nicht produziert. Dienstleistungen der Lehrer könnten jedoch eingeordnet werden. Gleiches gilt für das weitere Personal von der Raumpflegerin bis zum obersten Beamten der Bildungsbehörde(?) Übrig bleiben die Schüler! Wie sie ohne begriffliche Verrenkungen in das Konzept passen, wird noch zu klären sein.

Arbeitsbelastung hat bei den Arbeit Leistenden Beanspruchungsreaktionen zur Folge, die sowohl objektiv gemessen als nicht zuletzt subjektiv empfunden werden. Als Indikatoren dafür stehen: Herzfrequenz, Schwitzen, Hormonausschüttung und andere Körperreaktionen oder auch ´nur´ Aufregung, eben das, was man landläufig als ´Stress´ bzw. milder als Lampenfieber bezeichnet. (Bei teilnehmenden Beobachtungen von mehreren Lehrern während diverser ganzer Schultage fiel auf, dass sie während des Vormittags nie die Toilette aufsuchten. Erst nach der Frage danach wurde das kleine Bedürfnis plötzlich akut. Andere Lehrer bestätigten diese Beobachtung aus ihren ureigenen Erfahrung, sie hätten es auch immer mit nach Hause genommen. Gesundheitsgefährdend ist das nicht, lediglich ein Indiz für Stress.)

### **2.3.2 Arbeitsbelastung in der Schule**

Jede objektive Belastung stellt Anforderungen an jeden Arbeitenden – im Fall der Schule also sowohl an die Schüler und darüber hinaus auch an die einzelnen Lehrer. Diese Anforderung muss von jedem einzelnen verstanden, wahrgenommen und begriffen sowie auf die eigenen Leistungsvoraussetzungen gespiegelt und in das Arbeitshandeln integriert werden. Beides kann sowohl stattfinden (meistens), als auch mehr oder weniger verweigert werden. Dieser Vorgang der Einstellung zum Geforderten, der oft oder meist blitzschnell abläuft, ist unter der Überschrift „Redefinition des Arbeitsauftrags unter gegebenen Bedingungen“ anzusprechen. Damit ist das Verständnis der verlangten bzw. erwarteten Arbeitsleistung durch die Arbeit Leistenden selbst gemeint. Je nach Qualifikation, Befindlichkeit, Motivation etc. folgt daraus das reale Arbeitshandeln – im Unterricht seitens der Schüler u.a. in Form intellektueller Teilnahme an den Anforderungen des Unterrichts. Hinzu kommt Weiteres, wie das Ertragen der Arbeitsbedingungen. Gleiches gilt für die Lehrkräfte - allerdings für Anforderungen, die aus ihrem Lehrauftrag folgen und sich deshalb von denen ihrer Schüler unterscheiden.

Die aus den Anforderungen folgende Arbeitsleistung in der Schule soll zu Arbeitsergebnissen bzw. -effekten führen. Die als ´Dienstleister´ klassifizierbaren Berufsgrup-

pen sorgen für einen im großen Ganzen gesteuerten und möglichst gefahrlosen Verlauf der Lehr-/Lern-Prozesse. Es sind dies die Bildungsverwalter, Schulleitungen und ganz konkret die Lehrer sowie weiteres Personal wie Sekretärin, Hausmeister, Reinigungskräfte. Sie haben dafür zu sorgen, dass die Schüler, die die Schulen besuchen, wie es das Gesetz befiehlt, förderliche und (schul)hygienisch einwandfreie Arbeitsbedingungen und einen permanenten Satz von zielgerichteten Arbeitsaufgaben vorfinden. Im Rahmen dieser organisatorischen Voraussetzungen und der an sie gestellten Arbeitsanforderungen – Belastungen im arbeitswissenschaftlichen Sinn – sollen die Schüler vorgestellte Lernziele erreichen. Ziel sind in Schulgesetzen definierte Schülerleistungen und bei deren Vorliegen bescheinigte Schulabschlüsse mit Berechtigungscharakter. Aus mehreren miteinander vermaschten Arbeitsprozessen entsteht für die Schüler die Arbeitssituation Unterricht, in der sie durch ihre eigene Arbeitsleistung bestimmbare Wissensstände und überdauernde Handlungsdispositionen erwerben bzw. aufbauen sollen. Ganz konkret gesagt, Schüler lernen durch die Beschäftigung mit ihnen seitens der Lehrer gestellten Aufgaben. Das findet statt in den einzelnen Schulen, in denen die Lehrer die letzte und konkreteste Instanz der Definition des schulischen Arbeitsprozesses der Schüler bilden.

Lehrer sind als Arbeitsvorbereiter ihrer Schüler zu verstehen. Lehren, Unterrichten meint also, Schüler zu einer zu Lernergebnissen führenden Aktivität zu veranlassen, denn Lehrer können - wie Klein Erna's Mutter noch meinte - ihre Schüler nichts lernen. In sachgerechter und didaktisch optimierter Planung der Schülertätigkeiten besteht die erste Stufe der pädagogischen Arbeit der Lehrer. Die zweite entsteht aus dem Unterricht selbst; eine dritte aus der Aus- und Bewertung des eigenen Verhaltens und vor allem dem der Schüler. Zusätzliche Aufgabenfelder wie interne Schulorganisation, Elternarbeit, Beratung und Weiteres vervollständigen das Aufgabenspektrum der Lehrer.

Unterricht ist somit zu beschreiben als ein wesentlich durch vorgetane Lehrerarbeit vorbereiteter Handlungskomplex, der als aktive Lehre zusammen mit den Schülern stattfindet. Er ist zu betrachten als eine wesentlich vom Lehrer bestimmte komplexe Verknüpfung von Arbeitsleistungen unter definierten Arbeitsbedingungen. Seine Basis bildete eine Auseinandersetzung mit vorgegebenen Inhalten durch informativ-mentale Leistung gekoppelt mit effektorisch-motorischen Anteilen seitens der Lehrer aber auch der Schüler.

### **2.3.3 Belastung und Beanspruchung in der Schule**

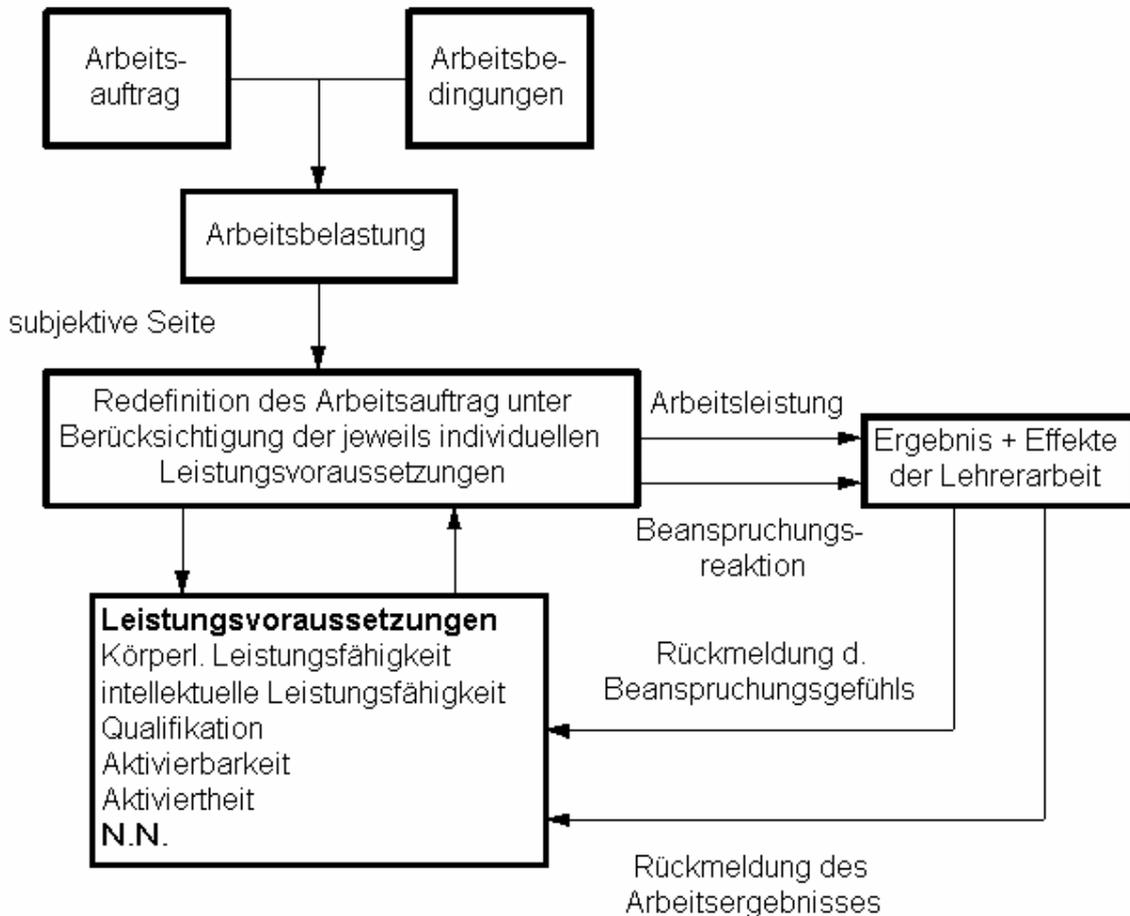
Idealtypisch können zunächst zwei Belastungsarten unterschieden werden:

1. effektorisch-motorische Belastung (umgangssprachlich: Belastung aus 'körperlicher' Arbeit) und
2. informativ-mentale Belastung (umgangssprachlich: Belastung aus 'geistiger' Arbeit)

Beide Belastungsarten treten im Lehrer- und Schülerberuf – wie in jedem anderen auch – gemeinsam auf allerdings mit jeweils unterschiedlichen Anteilen. (Ein Steinsetzer legt eben nicht nur Gehwegplatten, sondern hat die jeweiligen Gegebenheiten

seines Arbeitsfeldes planend und vorausschauend zu beachten. Er leistet damit auch informatorisch-mentale Arbeit. Ein Lehrer dagegen hat sein und der Schüler Verhalten stets im Hinblick auf deren Lernpotentiale zu reflektieren, leistet damit also vornehmlich informatorisch-mentale Arbeit. Dennoch hat er - meist stehend - Haltearbeit zu verrichten, ist also effektorisch-motorischer Belastung ausgesetzt.)

objektive Seite



**Abb. 2.2:** Belastungszusammenhang der (Lehrer-) Arbeit

Die beiden oben angesprochenen Arbeitsprozesse, die Lehrern und Schülern aus ihren unterschiedlichen pädagogischen Arbeitsaufträgen erwachsen, haben unvermeidbar mit der Belastung verknüpft interne Reaktionen zur Folge. Im Schema werden sie als Beanspruchung geführt, die sowohl physiologisch wie psychologisch recht gut zu messen sind. Beide Belastungsarten führen zudem aufgrund des sozialen Arbeitsumfelds als auch aus psychischer Verfasstheit zu einer dritten Belastungsart, die nur schwer ins Belastungs-Beanspruchungs-Modell zu passen scheint, zu „psychischer Belastung“!

### 2.3.4 Psychische Belastung als objektive Größe

Beanspruchung als Folge objektiver Belastung wird im Sinne eines Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs gedacht, der durch die Anforderungen aus Arbeitsaufga-

be bzw. Arbeitsauftrag und Arbeitsbedingungen erwächst. Da beide unausweichlich vom Arbeit leistenden Individuum wahrgenommen, interpretiert und in aktives Handeln unter gegebenen Bedingungen umgesetzt und eingepasst werden müssen, sind sie nicht ohne das Zutun der aktiv in Arbeitsprozessen Handelnden vorzustellen. Der Verarbeitungsprozess der objektiven Belastungen, verortet in der Redefinition der Aufgabe bzw. des Arbeitsauftrags, eröffnet eine darüber hinaus gehende neue Dimension der Vorstellung von Arbeitsbelastung, die ROHMERT/RUTENFRANZ zwar durchaus mit gesehen, aber nicht in ihr Konzept integriert haben.

Aus der Reaktion des Arbeit leistenden Individuums auf die Anforderungen seines Arbeitsauftrags, der physischen und sozialpsychologischen Umgebungsvariablen und seiner eigenen psycho-/physiologischen Verfasstheit, was die ethisch-pädagogische Orientierung einschließt, entsteht als neuer Belastungsfaktor psychische Belastung. Sie entwickelt sich aus dem Prozess der Redefinition der Arbeitsaufgabe, des Arbeitsauftrags und je Individuum durchaus verschieden. Einem erfolgreichen Schüler z.B. stellt sich schulische Umwelt eben anders dar als einem weniger erfolgreichen. Deshalb kann psychische Belastung nur schwer als allgemeine Größe kalkuliert werden. Doch gleichgerichtete Wirkungen etwa von psychischem Druck in der Schule können dennoch unterstellt werden. Psychische Belastung muss in jeder Arbeitssituation angenommen werden. Sie kann jedoch nicht als objektive Größe vorgestellt werden, weil sie mit Zutun des arbeitenden Individuums entstehen muss, also individuell verschieden. Psychische Belastung entsteht mehr oder weniger unwillkürlich aus der Integration des Objektiven und Subjektiven in einer Arbeitssituation.

## **2.4 Belastung durch Arbeitsbedingungen**

Das oben wiedergegebene Schema 1 enthält zwei Quellbereiche für Arbeitsbelastung: Belastung aus Arbeitsaufgabe oder Arbeitsauftrag sowie Belastung, die aus den Arbeitsbedingungen folgt. Es ist leicht nachzuvollziehen, Umgebungsvariablen wie Hitze, Nässe oder pausenlose Aufmerksamkeitsanforderung wirken als Belastung und haben Beanspruchungsreaktionen zur Folge. Und auch hier kommen Situationen vor, die als psychische Belastung z.B. durch ein unangenehmes Betriebsklima aufzufassen sind. Für die Schule ließe sich hier auf Angst erzeugende oder Selbstwert verletzende Lehrer und/oder auch Schüler verweisen. Ganz allgemein gehört auch Mobbing dazu. Mit dem Ermüdungsprojekt werden mehrere Variablen der Arbeitsbedingungen normalen Unterrichts kombiniert mit Klassenraumakustik thematisiert:

Entwicklung der CO<sub>2</sub> Belastung im Unterricht  
 geforderte Arbeitsformen,  
 Dauer der Leistungsanforderungen – von Schülern und Lehrern,  
 Pausenregime

Mit dem Bezug zu den schulischen Arbeitsbedingungen lässt sich der Unterschied zwischen Schulhygiene und Schulergonomie besonders gut erläutern. Während sich Schulhygiene damit begnügen kann, Gesundheitsgefährdungen zu ermitteln und zu vermeiden, kommt es in der Schulergonomie darauf an, innerhalb von Unschädlichkeitsgrenzen eine möglichst leistungsoptimale Gestaltung von Arbeitsprozessen vor-

zunehmen. So ist es z.B. unergiebig Übungsphasen über 20 min. hinaus auszudehnen. Es wird also gefragt, ob und ggf. wie Leistungsverluste durch eine ungünstige Arbeitsorganisation vermieden oder doch minimiert werden können.

#### **2.4.1 Arbeitsgeräusche und Lärm im Unterricht**

KARSDORF ET. AL. (1969) trennen zu Recht vom Schallschutz zwischen Lärmbelästigung von außen und innen. Auch sie verweisen auf die Bedeutung des Nachhalls auf die Verständlichkeit des gesprochenen Wortes und die Folgen für Ermüdung, wenn Nachhallzeiten von 0,8 bis 1 sek. überschritten werden (für Musik empfehlen sie 1,2 bis 1,5 sec Nachhallzeit) (SCHÖNWÄLDER ET AL, 2004). Die aktuell gültige DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen Räumen“ von 2005 gibt deutlich kürzere Nachhallzeiten vor, für einen Standard Klassenraum  $RT=0,5$  sec. Am ISF wurden zwei Untersuchungen zum Lärm in Bildungsinstitutionen durchgeführt. Insbesondere die Arbeit von TIESLER & OBERDÖRSTER (2006) erbrachte den Beleg für verbessertes Arbeitsverhalten der Schüler nach der Richtigstellung der Raumakustik – gemessen in Klassenräumen vor und nach einer akustischen Sanierung. Angesichts dieser Effekte schien es sinnvoll, neben der vornehmlich interessierenden Variablen  $CO_2$  Konzentration auch die Schallmessung in die Datenerhebung einzubeziehen. Schließlich liegen zu Letzterer Vergleichsangaben vor.

Doch der Akzent der hier zu berichtenden Forschung liegt auf der Ermüdung im und durch den Unterricht. Dafür wird neben der Dauer dieser Arbeitsform insbesondere der Einfluss wachsender  $CO_2$  Emission als Ursache angenommen.

#### **2.4.2 Belastung durch schlechte Atemluft**

Gemeinhin wird schlechte – schlecht riechende – Atemluft als lästig oder beeinträchtigend empfunden. Sie wird zudem auch als Ursache durch Frischluft reversibler Ermüdung angesehen. In Arbeits- wie Unterrichtsprozessen werden umso deutlichere Ermüdungseffekte zu erwarten sein, je mehr Ermüdung beschleunigende Gase - wie nicht zuletzt  $CO_2$  - in die atmosphärische Arbeitsumgebung abgegeben werden.

Schon BURGERSTEIN & NETOLITZKY und vor ihnen andere haben aufgrund der Schwierigkeiten, monokausal die Ermüdungswirkungen von  $CO_2$  festzustellen, den  $CO_2$ -Gehalt der Atemluft als Signalgröße für Ermüdung begünstigende Gase in der Atemluft deklariert. Sie haben damit zwar keineswegs die ursächliche Wirkung von  $CO_2$  auf Ermüdung leugnen wollen, wohl aber  $CO_2$  als alleinigen Grund für Ermüdung relativiert. Doch wie auch immer gewendet; zwischen  $CO_2$ -Konzentration und Ermüdung besteht mehr als eine nur aus Zahlen sich ergebende Korrelation.  $CO_2$  Gehalt der Atemluft kann damit sowohl ein Marker für andere Ermüdung begünstigende Komponenten sein als auch eine eigene Ursache. Dem nachzugehen obläge vor oder nach einer Feldforschung experimentellen Ansätzen, die hier nicht zu realisieren sind. Dennoch, ob als Marker oder primäre Ursache, signalisiert  $CO_2$ -Konzentration genügenden Anlass, darin einen Grund erster Ordnung für Ermüdung anzunehmen. Beschreibungen von U-Boot-Fahrern können dafür ebenso als Beleg gelten wie nicht weniger die Messergebnisse der NASA an und mit Astronauten.

Schüler und ihre Lehrer sind zwar keine U-Boot-Fahrer oder Astronauten; doch ihre Physiologie ist im Prinzip gleich. Deshalb kann aus der Verallgemeinerung auch auf Effekte von Arbeitsprozessen in Schulen zurück geschlossen werden:

Ermüdung und damit – u. U. vermeidbare – Leistungsminderung folgt aus der Belastungsvariablen CO<sub>2</sub> Konzentration im und durch Unterricht,

Leistungsabfall aus Ermüdung kann durch verbesserte Atemluft und des Zugangs dazu durch wirksame Pausenregelungen im positiven Sinn beeinflusst werden.

## 2.5 ISF Befunde als Basis des Ermüdungsprojekts

Die erste schulergonomisch bzw. arbeitswissenschaftlich orientierte Veröffentlichung des späteren ISF – eine Aufsatzsammlung - war unter dem Titel „Schul-Arbeit“ noch auf Belastung und Beanspruchung von Schülern begrenzt. (BERNDT ET AL, 1982) Damals schon konnte nachgewiesen werden, dass Grund für die Annahme besteht, wonach elterliche Erwartungshaltungen messbaren Einfluss auf Beanspruchungsreaktionen bereits von Grundschulern haben. Durchweg die höchsten Niveaus der Beanspruchungsreaktionen (Herzfrequenz) waren bei Kindern aufstiegsorientierter Eltern zu verzeichnen; die niedrigsten bei Kindern aus der oberen Mittelschicht und – ja den Elternhäusern, deren Kinder nur einfach in die Schule geschickt worden waren, unreflektierten Unterschichtfamilien und bei schlechten Schülern, die sich allem Anschein nach schon in der Grundschule aufgegeben hatten (BERNDT ET AL, 1982). Schelsky's Bild vom Marschallstab, den Eltern ihren Kindern schon in den Schulranzen packten, erwies sich hier glänzend bestätigt.

Die o. e. Veröffentlichung fußte auf einer Reihe von Vorüberlegungen im interdisziplinären Projekt der Universität Bremen: „B A S: Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz Schule“ als Forschungsberichte 1 bis 3 im Manuskriptdruck erschienen 1979 bis 1981. Hier sind sowohl die Konzeption des späteren ISF, die Verbindung von psychologischen Erhebungsmethoden mit physiologischen Messungen als auch schon einzelne empirische Forschungsergebnisse ausformuliert worden. Nach wie vor sowohl bedeutsam als auch wenig beachtet wurde damals schon die kontinuierliche Messung und Beobachtung auf einem Zeitstrahl in hoch auflösenden Zeitintervallen nicht nur propagiert, sondern auch mit Hilfe von Speichergeräten – entwickelt von den Medizingenieuren Gerhart Tiesler und Frauke Ströver – angewandt. Die Ermittlung der Arbeitsleistung von Schülern wurde damals auch schon ergänzt um die Frage nach der Arbeitsbelastung im Lehrerberuf, beides Komponenten auch im Ermüdungsprojekt.

Fast ein regelrechter Fragenkatalog ergab sich aus der systematischen Bearbeitung der Belastungs-Beanspruchungs-Situation im Lehrerberuf (SCHÖNWÄLDER ET AL, 2004) Neben vielem Anderem fiel im den Prozess begleitenden Beobachtungen die pausenlose Angespanntheit insbesondere der Lehrkräfte auf. Damit wurde die Pausenregelung im Schulbetrieb zum Problem und die Aktualität von BURGERSTEIN UND NETOLITZKY'S (1902) Ausführungen und Befunden traten erneut in Erscheinung. Darüber hinaus war - sozusagen bei bestem Willen - die Belastung in den Schulen durch

Lärm aufgrund der Lehreraussagen nicht zu übersehen. Daraus entstanden das von der BAUA geförderte Projekt zum Lärm in Bildungsinstitutionen und die Dissertation von TIESLER UND OBERDÖRSTER (2006), „Akustische Ergonomie der Schule“, die mittlerweile international Aufmerksamkeit erregt hat.

Der kurze Rückblick auf einige Stationen des Forschungsinteresses im ISF, wesentlich angeregt von kreativen Ideen von Jörg Berndt (†2004), macht die Kontinuität des Fragens nach der Arbeitswirklichkeit am 'Arbeitsplatz Schule', dem Arbeitsplatz von Schülern und Lehrern sichtbar. „Ermüdung“, das wesentliche Stichwort des Projekts, über das hier Rechenschaft abzulegen und zu berichten ist, ergibt sich generell aus dem Kräfteverschleiß bei Arbeitsleistungen von Schülern und Lehrer in der Schule. Wir gehen im Ermüdungsprojekt den Spuren nach, die sich im Feld als Ursachen oder deren Indikatoren für Ermüdung dingfest machen lassen.

### 3 Fragestellung und Grundhypothesen

Aus dem theoretischen Hintergrund des Projekts, dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept von ROHMERT & RUTENFRANZ folgen aus objektiver Belastung (Arbeitsaufgabe, Arbeitsauftrag und Arbeitsbedingungen u.a. CO<sub>2</sub>-Konzentration) in Abhängigkeit von den aktuellen Leistungsvoraussetzungen Beanspruchungsreaktionen (Herzfrequenz, Schwitzen, Hormonausschüttungen etc. und u. a. auch Ermüdung) der Arbeit Leistenden. Objektiv gleiche Belastung durch Arbeitsaufgabe oder Arbeitsauftrag sollte bei sonst gleicher Aufgabestellung aber Variation der Arbeitsbedingungen, wie veränderte CO<sub>2</sub> Konzentration, unterschiedliche Beanspruchungsreaktionen zur Folge haben. Ermüdungsanstieg in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atemluft gilt als gesichert. Ermüdung wird dabei als eine durch Erholung ausgleichbare temporäre Beeinträchtigung der vollen Leistungsfähigkeit der Beteiligten - im Fall der Schule also der Schüler und Lehrer - aufgefasst. Dem entsprechend lautet die mehrfach gegliederte Fragestellung für die hier zu verfolgende Schularbeit:

**Kann durch eine einmalige Unterrichtsunterbrechung durch nachhaltiges Lüften von ca. 3 min nach 20 min. Unterricht in einer 45 min Schulstunde eine noch wesentliche Verbesserung der Qualität der Atemluft – Senkung des CO<sub>2</sub> Pegels unter 1500 ppm – erreicht werden?**

**Kann nach der Einführung einer ca. 3-minütigen Durchlüftung des Klassenraums am Ende der Unterrichtszeit in der Regel eine messbar höhere Aufmerksamkeitsleistung bzw. kürzere Reaktionszeit gemessen werden?**

**Weisen die gemessenen Verläufe der Herzfrequenzreaktionen und andere Indizien nach Durchlüftung der Klassenräume auf niedrigere Ermüdungsgrade der Schüler und Lehrer hin als ohne Lüftungspause nach ca. 20 min. Unterricht?**

Diesen Fragen ist in einem realitätsnahen Feldexperiment nachgegangen worden. Um der ceteris paribus Klausel möglichst nahe zu kommen, wurden zunächst an zwei Schultagen die entsprechenden Messungen im ungestörten Feld vorgenommen. Anschließend wurden die gleichen Variablen nach einer definierten Verbesserung der Umgebungsvariablen 'Atemluft' durch eine ca. 3-minütige Lüftungspause nach 20 min Unterricht - möglichst - an gleichen Unterrichtstagen erneut gemessen. Um die hypostasierten Bedingungseffekte vor und nach der Veränderung vergleichen zu können, sollten die äußeren Bedingungen möglichst gleich gehalten werden. Kontinuierlich und zeitgleich gemessen wurden CO<sub>2</sub>-Gehalt, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Geräuschpegel. Mit Hilfe standardisierter Beobachtung wurden zeitgleich kontinuierlich von zwei Beobachtern sowohl die Interaktion Schüler/LehrerIn, die Arbeitsformen und die autonome motorische Aktivität während und nach dem Unterricht registriert.

## 4 Methodendiskussion und Operationalisierung

Ausgelöst durch eine Lehrerbefragung zur Berufsbelastung konnte vom ISF eine Ermittlung der Schall- bzw. Lärmbelastung im Lehrerberuf angeschlossen und weiter verfolgt werden. Davon ausgehend wurde mit ingenieurwissenschaftlichen Methoden ergänzt um sozialwissenschaftlich begründete Beobachtungskategorien während des normalen Unterrichts in synchronen Zeitaufzeichnungen von physiologischen Variablen und zu beobachtenden Verhaltensdaten parallele Datenreihen im Unterricht aufgezeichnet. Methodisch wurde damit der ansonsten übliche Querschnittsvergleich zu Gunsten eines kontinuierlichen und dazu mehrdimensionalen Längsschnitts überschritten. Querschnittsvergleiche haben ihre verständliche Aussagekraft, wie u.a. BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902), bezeugen, doch eine zeitsynchrone Parallelisierung verschiedener Variablen ergibt sich daraus noch nicht.

### 4.1 Beschreibung der Datenerhebung

Die Basis für den vorliegenden Untersuchungsbericht bilden die im Rahmen des Projektes „Ermüdung in der Schule“ an zwei Bremer Grundschulen und einer Kooperativen Gesamtschule in Niedersachsen erhobenen Daten. Der so entstandene Datensatz ist zwar – bedingt durch die allgemeine Problematik „lebensnaher“ Feldforschung – nicht repräsentativ im streng methodischen Sinne und besitzt lediglich eine eingeschränkte Vergleichbarkeit, jedoch wurde bei der Auswahl der aufgezeichneten Unterrichtseinheiten auf eine möglichst breite Streuung bezüglich Schulform und Altersstufen Wert gelegt. Damit kann man vorliegendem Datensatz in jedem Fall einen „verlässlichen, deskriptiven Charakter“ bescheinigen, und wohl zu Recht von exemplarischen Befunden sprechen.

*Schule 1:* Eine Grundschule im Bremer Osten mit der pädagogischen Besonderheit der jahrgangsübergreifenden Klassenstruktur in den Jahrgängen 1 bis 3, lediglich der 4. Jahrgang wird separat unterrichtet. Es beteiligten sich drei Klassen, die eine sogenannte „Familie“ bilden, d.h. einige Unterrichtseinheiten werden nach Jahrgängen getrennt gegeben, die anderen gemeinsam. Dabei wurden Unterrichtseinheiten sowohl nach Jahrgängen getrennt als auch in gemeinsamer Form aufgezeichnet. Das Schulgebäude wurde in den 70er Jahren errichtet und ist ein für diese Zeit typischer Beton-Skelett-Bau.

*Schule 2:* Eine Grundschule in der Bremer Neustadt mit der klassischen Form der Klassenaufteilung streng nach Jahrgängen. Hier beteiligten sich von jedem Jahrgang eine Klasse. Das Schulgebäude ist Ende des 19. Jahrhunderts errichtet worden und ist ein für diese Zeit typischer Backstein-Bau mit sehr hohen, akustisch kaum gedämmten Räumen und halligen Fluren.

*Schule 3:* Eine Kooperative Gesamtschule in einer Randgemeinde Bremens mit einem „gut bürgerlichen“ sozialen Umfeld. In der Schule wird in allen drei Schularten, Haupt- und Realschule, sowie Gymnasium unterrichtet. Wie an den beiden anderen

Schulen erfolgte die Auswahl der Klassen nach dem Prinzip der Freiwilligkeit. Wegen der stark eingeschränkten Kapazität des Projektes konnten nicht alle Wünsche berücksichtigt werden, sodass auch nicht alle Jahrgangsstufen und Schularten beteiligt wurden. Das Schulgebäude ist erst vor zwei Jahren in Massivbauweise errichtet worden.

#### **4.1.1 Untersuchungsdesign**

Die gesamte Untersuchung wurde als Interventionsstudie angelegt, um die Frage nach der Wirkung der Lüftungsvorgabe überprüfen zu können. Das ursprüngliche Ziel war es, in jeder beteiligten Klasse zwei Unterrichtstage vor und zwei nach der Intervention aufzuzeichnen, um mögliche Störeffekte durch die im Unterricht anwesenden Beobachter zu reduzieren und gleichzeitig die Zahl der zu vergleichenden Unterrichtsstunden zu erhöhen. Wie aus vorhergegangenen Untersuchungen in der Schule (vgl. z.B. „Belastung und Beanspruchung von Lehrern“, SCHÖNWÄLDER ET.AL., 2003 oder „Lärm in Bildungsstätten“, SCHÖNWÄLDER ET.AL., 2004) bekannt war, ist die Ausdehnung auf eine gesamte Woche nur notwendig, wenn es z.B. um die Frage von Periodizitäten im Wochenverlauf geht. Die einzige Forderung bestand hier lediglich in der „Gleichheit“ der zu beobachtenden Unterrichtstage in der jeweiligen Klasse. Praktisch bedeutet dies gleicher Wochentag mit identischem Stundenplan.

In den beiden Grundschulen (Schule 1 und 2) wurde diese Struktur des Untersuchungsplanes soweit eingehalten, dass auch der Abstand zwischen der Vor- und der Nach-Untersuchung immer zwei Wochen betrug. Bezüglich der Gleichheit der Untersuchungstage gibt es lediglich eine Abweichung in der Schule 1 in der Klasse K01, bei der ein U-Tag der Nachuntersuchung abweicht.

In der Schule 3 wurde von dem Untersuchungsplan in soweit abgewichen, als in jeder beteiligten Klasse nur ein Tag vor und nach der Intervention aufgezeichnet wurde. Dafür konnte die doppelte Anzahl von Klassen erfasst werden. Im Rahmen der Studie „Lärm in Bildungsstätten“ (SCHÖNWÄLDER ET.AL., 2004) hatte sich gezeigt, dass im Bereich der Sekundarstufe I die „Störung“ des Unterrichtes durch die anwesenden Beobachterinnen noch geringer ist als im Grundschulbereich, zumindest bezogen auf die Schülerinnen und Schüler. Die Auswirkung auf das Verhalten der Lehrerinnen und Lehrer kann so nicht geprüft werden. Die Aussagen der Beteiligten weisen aber alle in die Richtung „stört eher nicht“.

#### **4.1.2 Raumakustik**

Da die Raumakustik eine wesentliche ergonomische Randbedingung des „Arbeitsplatzes Schule“ bildet (vgl. OBERDÖRSTER&TIESLER, 2006), wurde sie in den Datensatz des Projektes mit aufgenommen. Aus allen ergonomischen Randbedingungen des „Arbeitsplatzes Schule“ wird hierzu lediglich die Raumakustik berücksichtigt, da sie einen entscheidenden Einfluss auf die Geräuschentwicklung im Unterricht hat (vgl. OBERDÖRSTER&TIESLER, 2006 und SCHÖNWÄLDER ET.AL., 2004. Die Beurteilung der Raumakustik erfolgt anhand der beiden Parameter Nachhallzeit RT (in den Oktavbändern 125 Hz bis 8 kHz) und Sprachverständlichkeitsindex STI (Speech Transmission Index).

Die Messungen erfolgten gemäß den in der DIN 3382 festgelegten Vorgaben mittels eines von dem Ing.-Büro Müller-BBM entwickelten Messverfahrens. Die Besonderheit dieses Verfahrens (Generierung des Messsignals, Aufnahme der im Raum reflektierten Schallsignale [Raumimpulsantwort], Berechnung der Messergebnisse RT und STI) liegt in der Realisierung als Softwarelösung installiert auf einem Laptop vor, um die kompakte Ausrüstung leicht in den untersuchten Schulen einsetzen zu können.

Im Einzelnen erzeugte das Rechnerprogramm als Messsignal einen Sweep von 125 Hz bis 8 kHz und 1 s Dauer, der über einen Oktaeder in 1,7 m Höhe, mindestens 1,5 m von der nächsten Wandfläche entfernt ungerichtet abgestrahlt wurde. Die Aufnahme erfolgte über ein ungerichtetes Mikrofon, aufgestellt in 1,1 m Höhe (Ohrhöhe sitzender Kinder) an 6 unterschiedlichen Positionen im Raum. Die Positionen sind in einem entsprechenden Messprotokoll enthalten. Als Ergänzung dieser Messdaten wurde ein exaktes Raumprotokoll angefertigt, in dem neben dem Grundriss auch Angaben über Wand, Boden- und Deckeneigenschaften und die Möblierung enthalten sind.

### 4.1.3 Luftqualität im Unterricht

Die kontinuierliche Erfassung der Raumluftqualität erfolgte durch die Messung von Temperatur, relative Feuchte und Volumenanteil von CO<sub>2</sub> im Abstand von 5 sec mittels entsprechender Messfühler. Hierfür wurde das Messgerät Almemo 6290 7B der Fa. Ahlborn eingesetzt, das über eine direkte Verbindung mit einem Laptop unter Verwendung einer zugehörigen Software das entsprechende Monitoring der Messdaten und gleichzeitiger Speicherung ermöglichte.

Datenlogger mit Echtzeituhr	
CO <sub>2</sub> Sensor:	Typ FYA600CO2H
Messbereich	0...5000 [ppm]
Auflösung	50 [ppm]
Kapazitiver Temp./Feuchtefühler Typ FHA646KxC	
Messbereich	0...100 [% r.H.]
	0...70 [°C]

Da die Luftqualität, insbesondere der CO<sub>2</sub>-Anteil, als Ursache für Ermüdungsprozesse verantwortlich gemacht wird, wurden die Messfühler in Kopfhöhe der Schüler platziert, in der Regel zwischen den Schülertischen und der Fensterwand in der Mitte der Klasse. Eine unmittelbare Einwirkung durch die Heizung sollte ausgeschlossen werden ebenso wie Zugluft.

Parallel zu diesen Raumklimadaten liegen zusammengefasste Tages-Daten über das allgemeine Wetter vor.

#### 4.1.4 Messung des Schallpegels im Unterricht

Für die kontinuierliche Erfassung des Geräuschpegels im Unterricht wurde der Schallpegelmesser AL 1 der Fa. NTI mit folgenden eingestellten Messparametern eingesetzt:

Genauigkeit:	Klasse 1
Messbereich:	30-130 dBA
Auflösung:	0,1 dB
Frequenzbewertung:	A
Zeitbewertung:	fast
Frequenzauflösung:	Terzband
Zeitl. Auflösung:	1 s

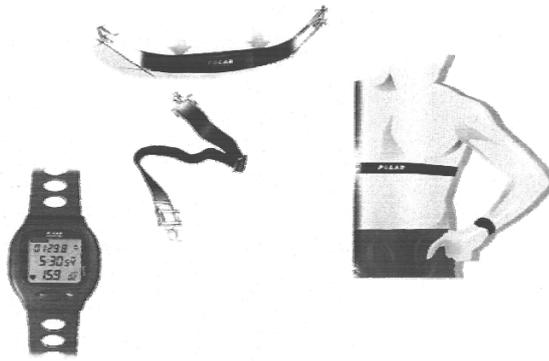
Die Messdaten incl. Uhrzeit wurden kontinuierlich, d.h. im 1 s Takt, mittels zugehöriger Software auf einem Laptop gespeichert. Mit Hilfe spezieller Software konnten aus diesen Monitoring-Daten in einem ersten Verarbeitungsschritt die für die weitere Bearbeitung notwendigen Daten berechnet werden, dazu gehören vor allem der Grundgeräuschpegel LA95, LAeq und LA1, jeweils berechnet für Zeitabschnitte von 5 min (vgl. SCHÖNWÄLDER ET.AL., 2004, S.22ff).

Die Erhebung des Schallpegels fand unter der Zielstellung Schülerbelastung zu erheben aber auch als Indikator für Unruhe als Folge von Ermüdung der Schüler statt. Die Platzierung des Messmikrofons wurde ähnlich der Klimamessung etwa in der Mitte der Fensterwand vorgenommen, mit einem Abstand von ca. 1,5 m zur Wand, zwecks Vermeidung von Reflexionen.

#### 4.1.5 Beanspruchungsmessung - Aufzeichnung der Herzfrequenz

Vor der Frage nach Ermüdungsprozessen bei Schülern war es notwendig einen möglichst objektiven Parameter als Indikator für Beanspruchung parallel zu den anderen Messgrößen zur Verfügung zu haben. Wie in den meisten arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen (ROHMERT & RUTENFRANZ, 1983; MYRTEK, 2004) bieten sich hier die Herzfrequenz, sowie daraus ableitbare Parameter, an. Ziel war es, über den gesamten Schulvormittag hinweg die Herzfrequenz von möglichst vielen Schülerinnen und Schülern zu registrieren, parallel dazu aber auch die Herzfrequenz der jeweiligen Klassenlehrerin oder des Klassenlehrers zu erfassen.

Die Aufzeichnung der Herzfrequenz erfolgte mit Messsystemen der Fa. Polar (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 Beendigung der Aufzeichnung von einem PC übernommen und ausgewertet. Die Speicherung erfolgt je nach Gerätetyp in einem Takt von 15 bzw. 5 Sekunden (4/min bzw. 12/min).



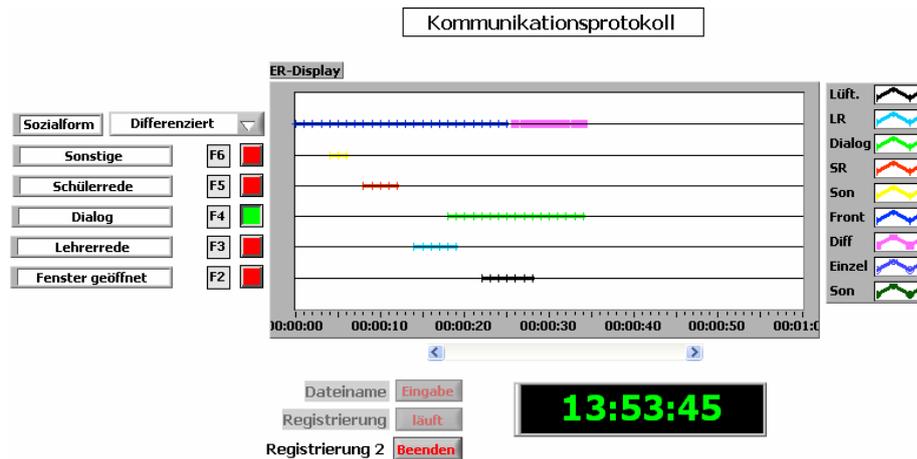
**Abb. 4.1:** Darstellung der EKG-Aufnehmer und Herzfrequenz-Speicher, System POLAR ®

Die aus dem Bereich des Sport-Trainings stammenden Systeme versprachen eine ausreichende Robustheit, wie sie sich auch in anderen Untersuchungen bewiesen haben. Dennoch konnten die Geräte aber nicht hinreichend gegen den Spieltrieb der Schüler gesichert werden. So ist ein großer Teil der Datenverluste auf Fehlbedienung durch Schüler (Spieltrieb) zurückzuführen. Meist wurde ein Ausfall der Geräte erst bei der Rückgabe nach dem Unterricht entdeckt.

#### 4.1.6 Unterrichtsbeobachtung – Kommunikation und Aktivität

Parallel zu den physikalischen Messgrößen wie Klima und Schallpegel, sowie der physiologischen Reaktionen, wurde der Unterrichtsverlauf von zwei im Unterricht anwesenden BeobachterInnen erfasst. Sie waren zuvor an Video Aufzeichnungen von Unterrichtsstunden geschult worden. Dies erfolgte über alle Unterrichtsstunden des jeweiligen Untersuchungstages hinweg. 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 der Ermüdung sowie des Geräuschpegels zu Protokoll (vgl. Kap. 4.1.9). Auf die Problematik der „Befragung“ in diesem Zusammenhang sei auf die Ausführungen von SCHÖNWÄLDER ET.AL.(2004) hingewiesen. Der Fragebogen ist im Anhang enthalten.

Alle Aufzeichnungen wurden auf einem Rechner zeitgetreu erfasst, um sie später zu den anderen, synchron registrierten Parametern Klimadaten, Schallpegel und Herzfrequenz in Beziehung setzen 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 in der Kommunikation, dokumentiert im „Kommunikationsprotokoll“. Darüber hinaus wurden der Unterrichtsorganisation dienende Aktivitäten vermerkt.



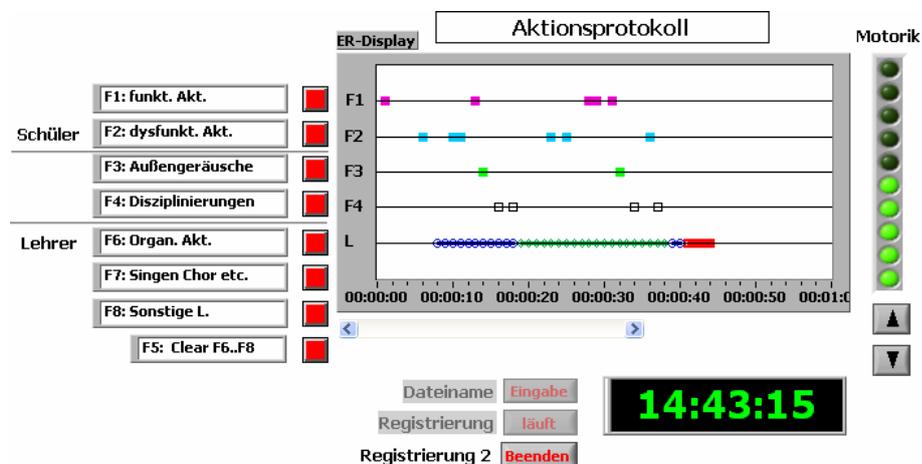
**Abb. 4.2:** Bedienoberfläche des „Kommunikationsprotokolls“

Die erhobenen Parameter im Einzelnen:

Sozialform:	Frontalunterricht	Lehrerzentrierter Unterricht
	Differenzierter U.	Schülerzentrierter Unterricht
	Einzelarbeit	
	Sonstiges	
Redeanteile:	Schülerrede	
	Dialog	
	Lehrerrede	
Sonstiges		
Fenster geöffnet	(nein/ja)	

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.

Der/die zweite Beobachter(in) hatte die Aufgabe, andere von Geräuschen begleitete Ereignisse, Aktionen oder besondere Maßnahmen der Lehrkraft mittels eines zweiten Ereignisrecorders, das sogenannte „Aktionsprotokoll“, aufzuzeichnen (s. Abb. 4.3).



**Abb. 4.3:** Bedienoberfläche des „Aktionsprotokolls“

Die erhobenen Parameter im Einzelnen:

Schüler:	funktionale Aktivität dysfunktionale Aktivität
	Außengeräusche Disziplinierungen
Lehrer:	Organisierte Aktivität Gemeinsames Sprechen/Singen Sonstiges

Während die Lehrer-Aktivitäten als zeitlich andauerndes Ereignis aufgezeichnet wurden, sind alle anderen Ereignisse lediglich als momentanes Geschehen registriert, ohne zeitliche Dauer.

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 lehrerzentriert oder differenziert? usw.). Darin kann eine Unschärfe liegen. Eine überlegte Zusammenfassung der einzelnen differenzierten Arbeitsformen zu einer Gesamtgröße (vgl. OBERDÖRSTER & TIESLER, 2006) erscheint auch aus diesem Grund sinnvoll. Ähnliches gilt für die Unterteilung der Redeanteile im Unterricht, hier wurde die Redeform „Dialog“ neu eingeführt (vgl. SCHÖNWÄLDER ET.AL., 2004). Die Kriterien (Vorgaben an die Beobachter) waren hierdurch deutlich klarer als bei den vorangegangenen Untersuchungen in diesem Beobachtungssegment.

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

#### **4.1.7 Erfassung der Aufmerksamkeit**

Zur Erfassung der Aufmerksamkeit wurde in jeder Klasse vor sowie nach dem Unterricht ein Zahlen-Symbol-Test (ZST) durchgeführt. Dieser Pencil-Paper-Test zur Messung der Konzentration, wurde in dieser Untersuchung als Gruppentest verwendet, d.h. an jedem Testtag mit allen Schülern in der jeweiligen Klasse gemeinsam.

In diesem Test sind den Zahlen Eins bis Neun feste Symbole zugeordnet, und der Proband hat die Aufgabe nach diesem vorgegebenen Schema vorgegebenen Zahlen die richtigen Symbole zuzuordnen. Wie in Abb. 4.4 zu sehen, gibt es vier Reihen von wahllos aufeinanderfolgenden Zahlen unter denen jeweils eine Zeile zur Verfügung steht, in die das passende Symbol einzutragen ist.

Test B1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
÷	)	+	┌	└	√	(	÷	└

2	1	4	6	3	5	2	1	3	4	2	1	3	1	2	3	1	4	2	6	3	1	2	5	1	

3	1	5	4	2	7	4	6	9	2	5	8	4	7	6	1	8	7	5	4	8	6	9	4	3	

1	8	2	9	7	6	2	5	4	7	3	6	8	5	9	4	1	6	8	9	3	7	5	1	4	

9	1	5	8	7	6	9	7	8	2	4	8	3	5	6	7	1	9	4	3	6	2	7	9	3	

**Abb. 4.4:** Zahlen-Symbol-Test (ZST), Version B1 für Schüler ab 8 Jahre

Die korrekte Zahlen-Symbol-Zuordnung von Eins bis Neun ist über den vier Reihen abgebildet und somit immer präsent. Ziel ist es, für so viele Zahlen wie möglich das passende Symbol zu finden, wobei in der ersten Reihe begonnen wird und jede Zahl nacheinander bearbeitet werden soll. Für das Ergebnis ist Geschwindigkeit und Sorgfalt entscheidend, da neben der Anzahl der bearbeitenden Ziffern auch die Fehlerzahl (falsche Zuordnung eines Symbols zu einer Zahl) berücksichtigt wird. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe einer Schablone.

Neben dieser B-Version für Schüler ab 8 Jahre, wurde eine A-Version für die jüngeren Schüler verwendet, siehe Abb. 4.5. Für die Verwendung der Tests vor und nach dem Unterricht wurde zur Reduzierung von Übungseffekten jeweils eine A1- und A2- bzw. eine B1- und B2-Version entwickelt. Jeder Testung ist ein Übungsbeispiel vorgeschaltet, bei dem der Proband ohne Zeitdruck zu acht Zahlen das entsprechende Symbol zuzuordnen hatte.

Test A1

☆   ⊖   △   ⊕   ▭

○	☆	□	+	△	☆	○	□	△	+
□	+	☆	△	+	○	☆	△	□	○
☆	○	□	☆	□	+	△	○	+	☆
+	□	△	○	+	□	☆	□	○	△
□	☆	+	△	☆	△	○	☆	△	□

**Abb. 4.5:** Zeichen-Symbol-Test (ZST), Version A1 für Schüler 6 – 7 Jahre

Die Testdurchführung in der Klasse wurde direkt zum Beginn der ersten Stunde (Version A1 bzw. B1, je nach Alter), nachdem der Testleiter die Zahlen-Symbol-Zuordnung an die Tafel angeschrieben hatte, mit folgenden Instruktionen eingeleitet:

„Wir machen jetzt einen Test mit euch, um herauszufinden wie wach ihr seid. Dazu bekommt jeder von euch ein Blatt, auf dem ihr diese Kästchenreihen seht (auf die Tafel weisen, Blätter austeilen). Dieses Blatt dürft ihr erst umdrehen, wenn ich es euch sage. Jetzt bleibt es erst einmal so liegen, wie es vor euch hingelegt wurde. Schreibt bitte erst einmal euren Vor- und Nachnamen oben auf dieses Seite. Schaut zuerst auf die Reihe ganz oben (zeigen.) Beachtet, dass hier die oberen Kästchen eine Zahl haben und die unteren ein Zeichen. Jede Zahl hat also ein anderes Zeichen. Zum Beispiel gehört zur 1 eine Querlinie mit einem Punkt darüber, zur 2 ein Bogen der sich nach rechts wölbt, zur 3 ein Pluszeichen usw. . Nun seht auf die untere Reihe (auf Reihe zeigen), in der die oberen Kästchen Zahlen haben, aber die Felder darunter ohne Zeichen sind. Wir wollen nun in jedes dieser Kästchen (auf die acht Felder zeigen) dasjenige Zeichen einsetzen, das hineingehören müsste.“

Der Testleiter erklärt, indem er auf die Beispiele und die untere Reihe deutet und dabei sagt:

„Hier ist eine drei, darum setzen wir dieses Zeichen ein (Zeichen eintragen), hier ist eine 4, also setzen wir dieses Zeichen ein (eintragen), dies ist eine 2, deshalb müssen wir dieses Zeichen einsetzen (eintragen).“

Nachdem der Testleiter die ersten drei Beispiele ausgefüllt hat, sagt er: „Jetzt füllt ihr die restlichen Felder allein auf eurem Blatt aus“

Zum Vergleich füllt der Testleiter etwas verzögert die Beispielfelder an der Tafel aus. Nachdem alle Probefelder ausgefüllt sind, sagt der Testleiter:

„Wenn ihr fertig seid, müssen eure Kästchen so ausgefüllt sein, wie diese hier vorn (zeigen und vergewissern dass es alle richtig/verstanden haben). Auf der Rückseite eures Blattes befinden sich weitere leere Kästchen, in die ihr die fehlenden Zeichen ergänzen sollt und auch hier habt ihr ganz oben eine Reihe mit allen Zahlen und den dazugehörigen Zeichen. Danach richtet ihr euch beim Ausfüllen, so wie wir es eben geübt haben. Wenn ich „jetzt“ sage, dreht ihr euer Blatt um und füllt bis ich Stopp sage alle Kästchen der Reihe nach aus, so schnell ihr könnt. Jetzt!“

Für den gesamten Test hatten die Kinder 90 Sekunden Zeit, danach wurden die Bögen eingesammelt und der reguläre Unterricht begann. Kurz vor dem Ende der letzten Schulstunde wurde der Test wiederholt jedoch mit der Version A2 bzw. B2 auf die in der Instruktion auch hingewiesen wurde. Nach diesem Prinzip wurde die Aufmerksamkeit in Schule 1 und 2 an vier Testtagen und an Schule 3 an zwei Testtagen jeweils vor und nach dem Unterricht erhoben. Es wird erwartet, auf diesem Wege eine Veränderung der Aufmerksamkeit von morgens zu mittags zu dokumentieren und vermutete Ermüdungseffekte aufzudecken. Da in der Schule 1 in der Klasse 01 der größte Teil der jüngeren Kinder den A-Test in weniger als der vorgegebenen Zeit bearbeitete, wurde in allen weiteren Klassen nur noch der B-Test verwendet.

#### **4.1.8 Messung der Reaktionsfähigkeit**

Im Fokus der Untersuchung steht die Ermüdung der Schüler. Der Grad der Ermüdung spiegelt sich in der Aufmerksamkeit wider. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Konzept der Aufmerksamkeit sehr weit gefasst ist und sich in verschiedene Unterarten von Aufmerksamkeit aufgliedert. Hier ist eine Form von Aufmerksamkeit von Interesse, die mit einem allgemeinen Wachheitszustand zu vergleichen ist. Dieser Wachheitszustand zeigt sich am besten im Konzept der Alertness (ZIMMERMANN&FIMM, 1992). Von POSNER&RAFAL(1987) (zit. nach ZIMMERMANN&FIMM, 1993) wird Alertness als generelle Reaktionsbereitschaft für externe Stimuli definiert. Der Grad dieser Alertness variiert stark mit der Wachheit einer Person. Die längerfristige Aufrechterhaltung dieser Wachheit wird als tonische Alertness benannt. Diese ist von der phasischen Alertness abzugrenzen, die eine Zunahme der Aufmerksamkeit in Folge eines Warnreizes beschreibt.

Zur Messung der tonischen Alertness werden einfache Reaktionstests eingesetzt (ZIMMERMANN&FIMM, 1992). Je höher dabei die Reaktionszeiten ausfallen, desto geringer muss die tonische Alertness eingeschätzt werden. Durch mehrmalige Messungen an einem Tag, kann somit ein Absinken der Wachheit erhoben werden. Dieses mögliche Absinken ist für die Untersuchung von großer Bedeutung. Anhand der tonischen Alertness kann erfasst werden, unter welchen Bedingungen eine stärkere Ermüdung einsetzt. In diesem Fall ist die Bedingung die Qualität der Atemluft.

Zur Messung der Wachheit bzw. der tonischen Alertness wurde ein einfacher Reizreaktionstest eingesetzt. Die Tests wurden mit einem speziell dafür entwickelten Programm auf einem PC durchgeführt.

Der Test war so gestaltet, dass auf einer weißen Bildschirmoberfläche in unregelmäßigen Zeitabständen ein schwarzes Kreuz bzw. X in der Mitte des Bildschirms erscheint. Aufgabe der Versuchsperson war es mit der linken Maustaste bei Erscheinen des Kreuzes so schnell wie möglich eine virtuelle Taste zu drücken. Der Mauszeiger konnte während des gesamten Versuches auf dieser „Taste“ ruhen. Nach dem Mausklick verschwand das Kreuz. Die Dauer des Tests lag bei 90 Sekunden. Die teilnehmenden Schüler und Lehrer wurden über einen standardisierten Text instruiert.

Der Test wurde morgens vor dem Unterricht und mittags nach dem Unterricht mit denselben Schülern durchgeführt. Am Morgen gab es vor dem Test noch eine kurze Übungsphase, um zu kontrollieren, dass das Verfahren wirklich verstanden worden ist. Auf diese Anweisung wurde am Mittag verzichtet. Für die Auswertung wurde der Test in zwei Hälften geteilt. Dadurch konnte der Abfall der Alertness während des Tests bestimmt werden.

#### **4.1.9 Befragung der Schülerinnen und Schüler**

Neben den Beobachtungskomponenten wurde ebenso die subjektive Perspektive des einzelnen Schülers und der Lehrer erhoben. Wie in HILDEBRANDT beispielsweise (1976, S. 64) zu lesen ist, hat Schlaf eine dominierende Wirkung auf die Gestaltung des normalen Tagesablaufs der Leistungsfähigkeit. HILDEBRANDT (1976) schreibt wei-

terhin, dass Schlafentzug die Leistungsfähigkeit beeinflusst. Aus diesem Grund muss die subjektive Einschätzung eines Menschen in Bezug auf seine Wachheit in die Betrachtung mit einbezogen werden. Dazu wurde morgens vor dem Unterricht und nachmittags nach dem Unterricht ein Befindlichkeitsfragebogen an die Schüler gereicht. Die Lehrer erhielten nach jeder Stunde einen Fragebogen und mussten einmalig zusätzlich den Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit (LEF) von ZIMMER & ELLERMEIER (1997) ausfüllen.

#### *Schülerbefragung:*

Den Schülern der einzelnen Klassenstufen wurde jeden Morgen vor dem Unterricht und nach jedem Schultag ein Fragebogen vorgelegt, der das subjektive Wachheits- und Ermüdungsempfinden einschätzen sollte. Die Befragung sollte eine objektivere Größe darstellen, wobei Unehrlichkeit bzw. Soziale Erwünschtheit in der direkten Befragung der SchülerInnen berücksichtigt werden muss. Vor und nach der Intervention wurden jeweils entsprechend die gleichen Fragebögen verwendet.

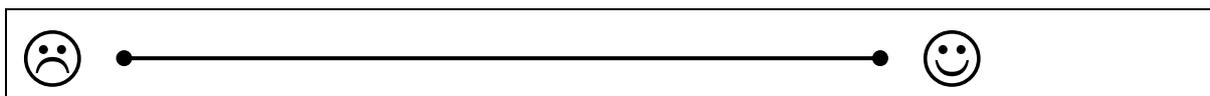
Dazu wurden morgens folgende Fragen gestellt:

1. Wie hast Du heute geschlafen?
2. Wie fühlst Du Dich heute Morgen?

In der 2. und der 3. Schule wurde dieser Fragebogen um die Frage „Wann hast du gestern Abend zum Schlafen das Licht ausgemacht“ ergänzt? Die errechenbare Schlafzeit kann gegebenenfalls zusätzliche Informationen über die Wachheit des Kindes bringen.

Nach der letzten Unterrichtsstunde wurden die Schüler gefragt:

1. Wie fühlst Du Dich nach diesem Schultag?
2. Konntest Du Dich heute gut konzentrieren?
3. Wie laut fandest Du es heute in Deiner Klasse?



Die Antwortmöglichkeiten stellt für alle Fragen ein Befindlichkeits-Strahl zwischen zwei Polungen dar. Diese sind kindgerecht mit jeweils negativen und positiven Gesichtern markiert. Der Versuchsleiter ordnet als Hilfestellung beim Ausfüllen den Symbolen verbal Bedeutungen zu. Die Antwort des Probanden kann sich somit irgendwo auf dem Strahl, direkt an den Polen, mit einer bestimmten Tendenz oder in der Mitte befinden. Vorteil dieser Methode soll sein, polarisierte Antworten zu verhindern und Zwischenstufen zuzulassen, was bei verbal gestuften Antwortmöglichkeiten nicht der Fall ist. Der Strahl ist 10cm lang und kann in beliebigen Schritten ausgewertet oder geclustert werden.

Allen Schülern wurde der Fragebogen an den zwei Messzeitpunkten, morgens und mittags, vorgelegt. Die Versuchsleiter haben dabei jeweils die Fragen einzeln vorgelesen und die Symbolik der beiden Pole zusätzlich verbal formuliert. Beispiel: „Wie

fühlst du dich heute Morgen? ... Eher gut oder eher nicht so gut?“ Bei den Schülern wurde dabei auf eine altersgemäße Wortwahl geachtet.

*Lehrerbefragung:*

Jedem Lehrer und ggf. zusätzlicher Betreuungsperson wurde nach jeder Unterrichtsstunde ein Fragebogen mit folgenden Fragen vorgelegt:

1. Wie empfanden Sie den Unterricht?
2. Wie gut haben Sie die Mitarbeit der Schüler im Unterricht erlebt?
3. Wie fanden Sie den Geräuschpegel in dieser Unterrichtsstunde?

Bitte nach der letzten Unterrichtsstunde beantworten

4. Wie fühlen Sie sich nach diesem Unterrichtstag?

Nicht so gut	●—————●	sehr gut
--------------	---------	----------

Hierbei wurden die Pole der Antworten, den Fragen angepasst, verbal formuliert. Auch die Lehrer konnten ihre Befindlichkeit frei auf dem Antwort-Stahl markieren.

Die erhobenen Informationen stellen subjektive Ergänzungen zu der Unterrichtsbeobachtung und der Lärmmessung dar. Außerdem soll die subjektive Befindlichkeit des Lehrers damit erfasst werden.

Einmalig sollte jeder Lehrer einen allgemeinen Fragebogen zur Lärmbewertung ausfüllen. Dabei wurde seine persönliche Bewertung von Lärm berücksichtigt, was beispielsweise wichtig ist, um die Befindlichkeitseinschätzung bei einer bestimmten Lautstärke in einer Schulklasse zu verstehen.

1. Bevor ich mit der Arbeit beginne, versuche ich, alle Geräuschquellen auszuschalten.
2. Wo es ruhig ist, bin ich entspannter.
3. Es ist unangenehm, sich bei Lärm zu unterhalten.
4. Ich kann auch in lauter Umgebung schnell und konzentriert arbeiten.
5. Es ist klar, dass man bei Lärm nicht arbeiten kann.

Diese Fragen sind dem LEF von ZIMMER&ELLERMEIER (1997) entnommen und sollen Auskunft über die individuelle Einstellung zu „Lärm am Arbeitsplatz“ geben.

## 4.2 Datensatzdefinition

Für die Beantwortung der gestellten Leitfragen stehen damit acht sehr unterschiedliche Datensätze zur Verfügung:

1. akustisch-ergonomische Rahmendaten des Klassenraumes
2. Raumluftdaten während des Unterrichts

3. Geräuschpegel während des Unterrichts
4. Pädagogischer Ablauf des Unterrichts, unterteilt nach Kommunikation und Arbeitsformen sowie Aktionen
5. Physiologische Beanspruchungsreaktion der Schülerinnen und Schüler, erfasst mittels Herzfrequenz
6. Aufmerksamkeitsleistung aller Schüler(innen) einer Klasse zu Beginn und Ende des Unterrichtstages
7. Motorische Reaktionsleistung einer ausgewählten Gruppe von Schüler(inne)n
8. Selbsteinschätzung von Wachheit und Ermüdung durch eine ausgewählte Gruppe von Schüler(inne)n

Ergänzt werden die Datensätze 5 bis 8 durch die entsprechenden Daten der Lehrkräfte, die sich für die Aufzeichnung des Heiserkeitsdiagramms zur Verfügung gestellt haben.

Die Raumakustik stellt eine Konstante in Bezug auf die Untersuchung dar, sie wird nicht verändert, wie z.B. bei SCHÖNWÄLDER ET.AL. (2004). Sie gehört im Sinne der Arbeitswissenschaft zu den äußeren (ergonomischen) Arbeitsbedingungen. Ebenso gehört die Arbeitsform im Unterricht als konkrete Umsetzung des Arbeitsauftrages durch die Lehrkraft – zumindest für die Schüler – zu den gesetzten Randgrößen. Möglicherweise ist eine Veränderung der Arbeitsform durch den Lehrer aber auch eine Reaktion auf das aktuelle Geschehen im Unterricht, insofern also keine Konstante im strengen Sinne.

Die Qualität der Raumluft zählt in der Arbeitswissenschaft zu den Randbedingungen des Arbeitsplatzes, damit aber auch zu den ergonomischen Arbeitsbedingungen. Da sie in dieser Studie eine gezielt zu steuernde Einflussgröße darstellt, kommt ihr bei der Auswertung eine besondere Bedeutung zu, und zwar sowohl als Reaktionsgröße auf eine Interventionsmaßnahme als auch als Einflussgröße für die Frage nach Ermüdungsprozessen. Der Geräuschpegel im Unterricht und die physiologische Beanspruchung der SchülerInnen dagegen sind Reaktionsgrößen auf die Unterrichtssituation und Arbeitsbedingungen (vgl. OBERDÖRSTER&TIESLER, 2006).

Die nicht als Zeitreihe erhobenen Messdaten wie Aufmerksamkeits- und Reaktionsleistung sowie die Selbsteinschätzung dienen dem Vergleich der „Wachheit“ vor und nach dem Unterricht, wobei die Veränderung der Belastung auf den Unterrichtstag zurückgeführt wird. Eine Unterteilung aller Datensätze erfolgt zunächst in erster Linie streng nach der Vorgabe des Untersuchungsdesigns in „vor“ und „nach“ der Intervention, ohne eine Überprüfung der Qualität der Ausführung der Intervention. Dieser „Lüftungsvorschlag“ als Intervention ist der einzige gezielte Eingriff in den Unterrichtsablauf, ansonsten sollte der pädagogische Prozess hingegen bewusst nicht beeinflusst werden.

#### **4.2.1 Differenzierungsgrößen**

##### *Raumluftqualität*

Die Qualität der Raumluft als Differenzierungsgröße zu benutzen, wirft eine Reihe von Fragen auf, wie nach einem absoluten Grenzwert für erfolgreiches Arbeiten, wo-

für es bisher noch kein zufriedenstellendes Messverfahren gibt. Hier kann aber auf zwei vorgeschlagene Grenzwerte zur Beurteilung der Qualität zurückgegriffen werden. Zu nennen ist sowohl die „Pettenkofer-Zahl“ mit 1000 ppm CO<sub>2</sub> in der Raumluft, als auch der in der Arbeitsstättenverordnung vorgegebenen Richtwert von 1500 ppm CO<sub>2</sub>. Beide Werte werden im Folgenden als Filtergröße verwendet werden, wobei jeweils die Zeit als Parameter dient, die der jeweilige Grenzwert während des Unterrichts überschritten wurde.

Eine weitere Filtergröße wird Umfang und Qualität der Lüftung sein, d.h. sowohl die zeitliche Dauer von Kipp Lüftung als auch die Durchführung des Interventionsvorschlages einer Stoßlüftung. Die Auswirkungen auf die Raumluftqualität werden in der Literatur sehr unterschiedlich beschrieben und können hier mittels der vorliegenden Zeitreihen exakt überprüft werden. Gleichzeitig dienen sie als Differenzierung für die Untersuchung der Auswirkung auf die anderen Reaktionsgrößen, z.B. den Unterrichtsverlauf oder Ermüdungsprozesse.

### *Aktivitätsmuster im Unterricht*

Der Ablauf eines Unterrichtstages hat selbstredend einen Einfluss auf Ermüdungsprozesse aller Beteiligten, d.h. nicht nur der Schüler, sondern auch der Lehrkräfte. Inwieweit Ermüdungsprozesse andererseits den Unterrichtsverlauf beeinflussen, bleibt zu prüfen. Als Differenzierungsgrößen stehen hier die organisatorischen Vorgaben im Vordergrund. Dazu gehören die Länge eines Unterrichtstages und die Frage nach der Pausendauer. Bereits BURGERSTEIN & NETOLITZKY (1902) weisen auf die Bedeutung der Strukturierung des Schultages durch die Länge der Schulstunden und der Pausenregelungen hin. In den vorliegenden Datensätzen gibt es dazu eine Belastungsgröße, der in der aktuellen Diskussion über „Schularbeit“ eine besondere Bedeutung zukommt, die Unterrichtsstundenlänge.

In beiden Grundschulen wird das Prinzip der Doppelstunden, d.h. Unterrichtsstunden von 90 min Dauer, angewandt. Hier bekommt die vorgeschlagene „Lüftungspause“ von etwa 2 min je 45 min Stunde Dauer eine besondere Bedeutung. Bei der Differenzierung der Datensätze muss also unterschieden werden, ob die vorgesehene „Lüftungsunterbrechung“ nur zum Lüften oder auch gleichzeitig als kurze Unterrichtsunterbrechung genutzt wurde. Für die Struktur der einfachen Unterrichtsstunde bedeutet dies eine einmalige Unterbrechung etwa zur Hälfte der Zeit, bei einer Doppelstunde aber sind dies drei Unterbrechungen, die diese 90 min gliedern.

Die Bedeutung der Pausen für Arbeitsprozesse wird in der gesamten Arbeitswissenschaft diskutiert und immer wieder auf deren Wirkungen hingewiesen. Insofern kommt der vorgegebenen Interventionsmaßnahme eine doppelte Bedeutung zu, Verbesserung der Luftqualität und Erholungspause.

### *Kombinierte Differenzierungen*

Da davon auszugehen ist, dass die Lüftungsanweisung nicht von allen Lehrkräften in gleicher Form durchgeführt wird, sind hier mehrere Faktoren miteinander in Beziehung zu setzen:

- Wie wird die Lüftungsanweisung interpretiert und umgesetzt?
- Welche Auswirkung hat die Lüftung auf das Raumklima?
- Welchen Einfluss hat die Luftqualität auf Ermüdungsprozesse?

In jedem Fall aber wird eine Verknüpfung der beiden Differenzierungsgrößen Luftqualität einerseits und der Tagesstruktur - Zahl der Unterrichtsstunden und Umfang der Pausen - andererseits vorgenommen.

#### 4.2.2 Reaktionsgrößen

Das Ziel arbeitswissenschaftlicher Untersuchungen ist es in der Regel, durch gezielte Veränderung einer Belastungsgröße deren Auswirkung zu überprüfen. Dazu bedarf es einer oder mehrerer Reaktionsgrößen, an deren Veränderung die Auswirkungen des Eingriffs gemessen und auch beurteilt werden können. So kann beispielsweise die Veränderung der Beleuchtung einerseits an der Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz gemessen werden, andererseits aber auch an der zu erbringenden Arbeitsleistung oder die Veränderung der Beanspruchungsreaktion des arbeitenden Menschen anhand physiologischer Messgrößen oder subjektiver Aussagen dazu. Bei der vorliegenden Fragestellung stehen neun Parameter im Vordergrund, deren Zusammenhang durch das Belastungs-Beanspruchungs-Modell aufgezeigt wurde, und die hier als Kriterien für die Bedeutung der Interventionsmaßnahme dienen.

Wie bereits zuvor dargestellt, zählt die Raumlufqualität mehr zu den statischen Rahmenbedingungen eines Arbeitsplatzes im Sinne der Ergonomie. Da es sich bei einem „Klassenzimmer“ um einen Arbeitsplatz mit einer extremen Besetzungsdichte handelt, d.h. „X“ Menschen je  $m^3$  Raum, kommt dieser Größe eine doppelte Bedeutung zu: als Ursache für Ermüdung im Sinne der Ergonomie, aber auch Reaktionsgröße auf die vorgegebene Interventionsmaßnahme. Zu fragen ist also: Welche Auswirkungen hat die Veränderung dieser ergonomischen Randbedingung auf den Arbeitsprozess, den Unterrichtsablauf und die darin arbeitenden Menschen?

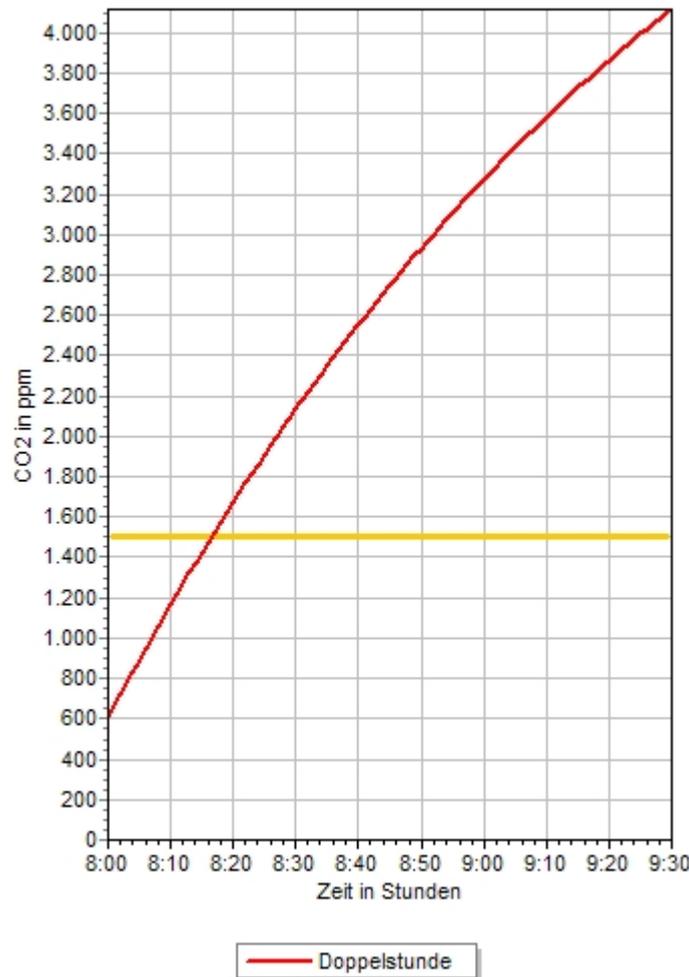
##### *Raumlufqualität*

Wie bereits unter 4.1.3 dargestellt, ist die Raumlufqualität, hier gemessen am  $CO_2$ -Anteil, abhängig vom  $O_2$ -Verbrauch durch die im Raum anwesenden Menschen und die Zufuhr von Frischluft. Die dafür notwendigen Daten werden in der Unterrichtsbeobachtung ermittelt durch Fensteröffnung im Zeitverlauf, sowie Schülerzahl. Mittels einer Modell-Software kann dieser Zusammenhang nachgebildet werden, immer unter der Annahme definierter Bedingungen, z.B. Raumgröße, Luftqualität zu Beginn, Energieumsatz der Schüler, Luftwechselrate usw. Das Beispiel in Abb. 4.6 geht aus von einem Standard-Klassenraum mit  $64 m^2$  Grundfläche, 3 m Raumhöhe, 25 Schülern im Grundschulalter (7-9 Jahre) und leichter Arbeit bei geschlossenen Fenstern mit einfacher Verglasung. Bezogen auf die bei den Untersuchungen in den beiden Grundschulen vorgefundene Arbeitssituation mit Doppelstunden ergibt sich so ein theoretischer Verlauf des  $CO_2$ -Pegels in der Klassenraumluf bis zu etwa 4000 ppm, und liegt damit deutlich über den Richtwerten.

Ausgehend von der Annahme, dass eine Überschreitung des Richtwertes von 1000 bzw. 1500 ppm  $CO_2$ -Anteil in der Raumluf zu Beeinträchtigungen der Wahrnehmung

führt (DIN 1946; PARKER&WEST, 1973), sollen hier drei Parameter für die Beurteilung der Lüftungswirkung herangezogen werden:

- $CO_{2max}$ : Maximalwert der  $CO_2$ -Konzentration in der Raumluft während des Unterrichts
- $CO_{2,1000}$ : Zeitanteil der Unterrichtsstunde, während der die  $CO_2$ -Konzentration den Richtwert von 1000 ppm überschritten hat
- $CO_{2,1500}$ : Zeitanteil der Unterrichtsstunde, während der die  $CO_2$ -Konzentration den Richtwert von 1500 ppm überschritten hat



**Abb. 4.6:** Modellrechnung des  $CO_2$ -Anteils in der Klassenraumluft während einer Doppelstunde,  $198\text{ m}^3$ , 25 Grundschüler, ohne Lüftung (QUIRL/CO<sub>2</sub> Vers.1.4)

In dem Beispiel aus Abb. 4.6 ergibt sich z.B. ein Wert für  $CO_{2,1500} = 75\text{ min}$  bis zu einem  $CO_{2max} = 4100\text{ ppm}$ . Dieses Beispiel wurde berechnet mit der Software QUIRL/CO<sub>2</sub> in der Version 1.4 (2005), zur Verfügung gestellt vom Niedersächsischen Landesgesundheitsamt in Hannover.

Eine weitere Kenngröße der Raumluftqualität wird der Startwert sein:

- $CO_{2start}$ :  $CO_2$ -Anteil zu Beginn einer Unterrichtsstunde,

der im Wesentlichen auf das Lüftungsverhalten in der vorhergehenden Pause zurückzuführen ist, bzw. auf die Belüftung der gesamten Schule während der unterrichtsfreien Zeit am Nachmittag und in der Nacht.

### Schallpegel

Der Schallpegel im Klassenraum ist in erster Linie ein Indikator für das Unterrichtsgeschehen, die darin stattfindende Kommunikation und Aktion, zentral beeinflusst durch die Raumakustik (vgl. Oberdörster&Tiesler, 2006). Der Geräuschpegel wird aber auch durch „Unterrichtsdysfunktionale“ Aktivitäten der Schüler beeinflusst, wie z.B. Störungen durch Reden und Tuscheln, das nicht zum Unterricht gehört, durch motorische Aktionen, Unaufmerksamkeit usw. Inwieweit solche Störungen auch Ausdruck von Unaufmerksamkeit bzw. Ermüdung sind, soll hier im weiteren geprüft werden. 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, dem 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).

**Tab. 4.1** Parameter zu Grund- und Arbeitsgeräuschpegel (SPL = Sound Pressure Level)

<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

Doppelstunden zu je 90 min werden hier grundsätzlich als zwei Einzelstunden ohne Pause dazwischen behandelt. Die beiden zuvor dargestellten Variablen beschreiben sowohl für die kleine als auch die große Zeiteinheit die Arbeitssituation von ihrer Geräuscentwicklung. Beide Parameter werden aus dem kontinuierlich erhobenen Pegel  $L_{Aeq,1s}$  errechnet. Die Verwendung dieser Parameter kann darüber hinaus auch über frei definierbare Zeitabschnitte erfolgen.

### *Herzfrequenz*

Veränderungen der ergonomischen Arbeitsbedingungen zielen in der Regel darauf ab, die Belastung für die unter diesen Bedingungen arbeitenden Menschen zu reduzieren, um bei möglichst gleicher oder gesteigerter Arbeitsleistung deren Beanspruchung zu mindern. Neben der Möglichkeit der Befragung zur Befindlichkeit oder zum Erleben der Veränderung wird die Herzfrequenz als Indikator für die Beanspruchung verwendet. Da eine willentliche Beeinflussung der Herzfrequenz, wie sie z.B. bei Autogenem Training möglich ist, in einem Arbeitsprozess weitgehend ausgeschlossen werden kann, steht hiermit ein objektives Maß für 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, 2003).

- *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 alle 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.
- *Aktivierung und Ermüdung*: Bezogen auf einen kürzeren Zeitabschnitt, z.B. die hier verwendeten 5 min – Abschnitte, kann die Tendenz der Herzfrequenz ermittelt werden, allgemein gilt:

Steigung → Aktivierung  
Fallen → Ermüdung

Somit kann das Verhältnis zwischen Aktivierungs- und Ermüdungsanteilen für jeden größeren Zeitabschnitt dargestellt werden.

Die mit Hilfe dieser Parameter zu beschreibenden Zeitabschnitte werden an späterer Stelle noch zu diskutieren sein.

### *Unterrichtsablauf*

Zu den Reaktionsgrößen gehört auch der Unterrichtsverlauf, wie er in den beiden Beobachtungsprotokollen für *Kommunikation* und *Aktion* aufgezeichnet wurde. Es ist von der Tatsache auszugehen, dass das pädagogische Geschehen ein kontinuierlicher Prozess ist, der zwar von der Lehrkraft gesteuert wird, aber auch Reaktion auf Schülerverhalten impliziert. Deutlichste Reaktionen auf Schülerverhalten sind, nicht nur für den pädagogischen Laien, z.B. Disziplinierungsmaßnahmen. So sollen aus den Protokollen der Unterrichtsbeobachtung die im Folgenden dargestellten Parameter als Reaktionsgrößen näher analysiert werden.

### *Kommunikationsprotokoll*

Die im Kommunikationsprotokoll enthaltenen Beobachtungskategorien beziehen sich einerseits auf die Form des Unterrichts:

- *Frontalunterricht*: diese bisherige Bezeichnung wird durch den Begriff des „lehrerzentrierten Unterrichts“ beschrieben, der sich mehr an der Art als an der Positionierung im Raum orientiert und die Aufmerksamkeit der Schüler auf die Lehrkraft bezeichnet
- *Differenziertes Arbeiten*: auch dieser Begriff wird ersetzt durch „schülerzentrierten Unterricht“ und beschreibt das Arbeiten in kleinen oder größeren Gruppen
- *Einzelarbeit*: dies bezeichnet in der Regel Phasen strenger Einzelarbeit, wie sie z.B. in der Situation von Klassenarbeiten oder Tests vorkommt

und andererseits auf das reine Kommunikationsszenario im Klassenraum, wer spricht mit wem:

- *Lehrerrede*: reine Redeanteile der Lehrkraft, z.B. Vorlesen, Anweisungen usw.
- *Schülerrede*: Redeanteile der Schüler bei Vortrag oder in Gruppen
- *Dialog*: der intensive Austausch zwischen Lehrkraft und Schülern, sowohl im lehrerzentrierten als auch im schülerzentrierten Unterricht

Die mit einer Auflösung von 1 sec aufgezeichneten Zeitverläufe des Unterrichtsgeschehens werden für die weitere Auswertung in einem ersten Schritt zu 5 min Zeiteinheiten zusammengefasst, danach zu vollen Unterrichtsstunden. Auswirkungen von Interventionen auf den Unterricht können auf diesem Wege verdeutlicht werden, sei es innerhalb eines Parameters, oder auch in der Verknüpfung untereinander, in der man Verschiebungen besser erkennen kann.

### *Aktionsprotokoll*

Das Aktionsprotokoll enthält im Wesentlichen einzelne Ereignisse, die durch besondere motorische Aktivität oder durch herausragende Geräuschpegel zu kennzeichnen sind. Hier wird unterschieden nach Aktionen, die zum Unterricht gehören:

- *Funktionale Schüleraktivität*: gekennzeichnet durch den höheren Geräuschpegel gegenüber der allgemeinen Arbeitssituation, verursacht durch einzelne Schüler
- *Organisierte Aktivität* (Lehrer): meint in erster Linie Aktionen, wie z.B. Hervorholen von Arbeitsmaterialien, usw.
- *Chor/Sprechen*: gemeinsame verbale Aktionen, die den Geräuschpegel deutlich anheben oder aber auch senken wie eine Stillephase

Die vom Lehrer ausgehenden Aktivitäten werden in der zeitlichen Dauer aufgezeichnet und auch ausgewertet, im Gegensatz zu den Schüleraktivitäten, die lediglich als Häufigkeit pro Zeiteinheit registriert werden.

Des Weiteren enthält das Aktionsprotokoll Ereignisse, die in der Regel nicht beabsichtigter Bestandteil des Lehr-Lern-Prozesses sind:

- *Dysfunktionale Schüleraktivität*: jede Art von Störung des Unterrichtsablaufes durch einzelne Schüler, die Hinweis auf mangelnde Aufmerksamkeit sein können.
- *Disziplinierungen*: Reaktionen der Lehrkraft auf Ereignisse und Verhaltensweisen, die nicht zum aktuellen Unterrichtsablauf gehören.
- *Außengeräusche*: Geräusche, die zu einer Störung des Unterrichts beitragen, aber außerhalb des Klassenraumes ihren Ursprung haben, hierzu gehören sowohl Verkehrsgeräusche als auch Geräusche innerhalb des Schulgebäudes.

Alle drei Kategorien werden als Anzahl pro Zeiteinheit ausgewertet und geben so einen Überblick über die Häufigkeit von Störungen des pädagogischen Prozesses, wobei eine Unterscheidung nach der Quelle vorgenommen werden kann. Während die Außengeräusche nicht unmittelbar zu beeinflussen sind, fallen die beiden anderen in den Kontrollbereich der Lehrkraft.

Neben diesen Reaktionsgrößen, die eine Beschreibung des Unterrichtsprozesses in mehreren Dimensionen zulassen, stellt sich aber auch die Frage nach der individuellen Wirkung der Interventionsmaßnahme auf die einzelnen Schüler. Wie bereits zuvor dargestellt, können hierzu Aussagen aus den Aufzeichnungen der Herzfrequenz gewonnen werden. Doch diese Reaktionen sind sehr unspezifisch. Hier bedarf es einer genaueren Überprüfung mittels der beiden Parameter „Aktivierung“ und „Ermüdung“, die im Untersuchungsdesign bereits dargestellt wurden.

### *Ermüdung - Aktivierung*

Die Frage nach der individuellen Ermüdung bzw. Aktivierung soll durch zwei Datensätze geprüft werden, die – wie im Design dargestellt – bei einer Teilgruppe und der gesamten Klasse erhoben wurden:

### *Reaktionstest*

Wie in vielen Labortests der Psychophysiologie erprobt, wurde in dieser Untersuchung ein Reiz-Reaktions-Test eingesetzt, der gleichzeitig einen motorischen Reaktionsanteil und einen kognitiven Verarbeitungsanteil besitzt, letzteren aber auf einer

sehr einfachen Ebene, ein Reiz und eine Reaktion. Die für die einzelnen Schritte gemessenen Reaktionszeiten werden in folgenden Parametern zusammengefasst:

- Mittelwert und Standardabweichung für die Reaktionszeiten der 1. Testhälfte
- Mittelwert und Standardabweichung für die Reaktionszeiten der 2. Testhälfte

Es liegen zwei entsprechende Datensätze für den Test vor Beginn und nach Ende des Unterrichts vor, worin sich die individuellen Veränderungen über den Unterrichtstag niederschlagen, welche es zu überprüfen gilt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass eine Veränderung der Belastung durch die „Arbeitssituation“ während des Schultages sich in einer Veränderung der individuellen Reaktionsleistung als Veränderung der Leistungsvoraussetzungen bzw. der Aktiviertheit niederschlägt.

### *Aufmerksamkeitsleistung*

Die Daten des Aufmerksamkeits-Tests, der sowohl zu Beginn als auch zu Ende des Unterrichts mit allen Schüler(inne)n durchgeführt wurde, liegen für die gesamte Klasse vor. Ähnlich wie bei dem Reaktionstest sind hier zwei Messgrößen vorhanden:

- Gesamtleistung: Anzahl aller bearbeiteten Zeichen
- Fehleranteil: Anzahl falsch bearbeiteter Zeichen

Es liegen zwei Datensätze vor, jeweils zu Beginn und Ende des Unterrichtstages, woraus die individuelle Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung zu berechnen ist. Sowohl Reaktionsleistung als auch Aufmerksamkeitsleistung sind als individuelle Veränderungsmaße zu behandeln, nicht als Veränderungen von z.B. Gruppen-Mittelwerten vor und nach dem Unterricht. Hieraus können aber die Veränderungen in der gesamten Gruppe, d.h. aller Schüler einer Klasse eines Unterrichtstages beschrieben werden und in Zusammenhang mit der für alle gleichen Tages-Belastung in Beziehung gesetzt werden.

## **4.3 Methodik: Differenzieren - Gruppieren - Analysieren**

Der vorliegende Datensatz stellt ein Abbild der realen Arbeitssituation am „Arbeitsplatz Schule“ dar, und entspricht damit keinesfalls einer nach strengem Untersuchungsplan angelegten Laboruntersuchung. Eine strikte Kontrolle aller Randbedingungen ist in einer Feldstudie nicht möglich. Hier galt es, so viele Bedingungen wie möglich konstant zu halten. Bezogen auf die „Belastungsvorgabe“, definiert durch den Wochentag und Stundenplan, sowie das Untersuchungsintervall ist dies eingehalten worden. Die Einwirkung anderer Störvariablen konnte dagegen nicht ausgeschlossen werden, wie z.B. die jahreszeitliche Veränderung des Außenklimas, das sich allein durch die etwa 5-wöchigen Untersuchungsintervalle in den beteiligten Schulen, zuzüglich organisatorischer Zwischenphasen, auf die Zeit vom 15.Jan. bis 25.Mai 2007 verteilte. In dieser Interventionsstudie sollte genau ein Parameter verändert werden, nämlich die Einführung einer bisher nicht vorhandenen Lüftungspause, ungeachtet der Frage nach dem bisherigen Lüftungsverhalten. Um diesem Mangel an Kontrollierbarkeit zu entgehen, werden in der Praxis zwei Vorgehensweisen

bei der Datenanalyse benutzt, zum einen der Vergleich zweier möglichst großer Stichproben, zum anderen der Vergleich zweier Situationen mit möglichst großer Übereinstimmung. Die vorliegenden Datensätze lassen sowohl die erste als auch die zweite Form des Vergleichs zu. Es gibt eine genügend große Zahl von Unterrichtsstunden bzw. Tagen über alle Schulen mit vollständigen Datensätzen, die – bezogen auf die Interventionsmaßnahme – einen Vergleich von „vorher“ und „nachher“ zulassen, wobei eine Unterteilung nach Schulen und sogar Klassen möglich ist. Der zweite Vergleich von Bedingungen möglichst großer Übereinstimmung ist in 15 von den 16 beteiligten Klassen möglich, lediglich in einer Klasse hat die Schülersauswahl für die beiden Untersuchungsbedingungen vollständig gewechselt, was auf ein Missverständnis bei der Planung zurückzuführen ist.

Für alle Schulen und beteiligten Klassen stehen die folgenden Datensätze zur Verfügung:

- |   |                   |
|---|-------------------|
| • Raumklimadaten                                  | 5 sec Takt        |
| • Schallpegel                                     | 1 sec Takt        |
| • Kommunikationsprotokoll, 9 Parameter            | 1 sec Takt        |
| • Aktionsprotokoll, 7 Parameter                   | 1 sec Takt        |
| • Herzfrequenz, bis zu 10 Schüler+1 Lehrer        | 15 sec/5 sec Takt |
| • Reaktionstest, 10 Schüler + 1 Lehrer            | 2x je Tag         |
|   |                   |
| • Aufmerksamkeitstest, alle Schüler einer Klasse, | 2x je Tag         |
| • Fragebogendaten der Schüler und Lehrer          |                   |
| Befragung nach Befindlichkeit                     |                   |

Dies ermöglicht eine zeitliche Auflösung: Zeitreihen von Schallpegel und Unterrichtsverlauf bis zu 1 s genau, Klimadaten bis zu 5 s und Herzfrequenz bis zu 15 s. Eine höhere Auflösung der Herzfrequenz zu Zwecken der Beanspruchungsanalyse ist in derartigen Feldstudien wegen der ohnehin geringen Kontrollierbarkeit nicht gebräuchlich (vgl. SCHÖNWÄLDER ET.AL., 2001).

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

#### **4.3.1 Differenzierung**

Wie bereits in Kapitel 4.2.1 dargestellt, werden die Datensätze sowohl nach raumklimatischen als auch nach pädagogischen Merkmalen sortiert, um sie miteinander vergleichen zu können. Im Gegensatz zu den meisten derart untersuchten Arbeitsplätzen im gewerblichen Bereich finden wir am „Arbeitsplatz Schule“ keine streng wiederkehrenden Arbeitsabläufe, dennoch lassen sich Gemeinsamkeiten von Arbeitsabläufen auch im Unterricht finden. Ausgehend von der Fragestellung ist die Qualität der Raumluft das primäre Differenzierungsmerkmal. Hier bietet sich eine Teilung des vorhandenen Datensatzes in zwei Teile an: vor und nach Einführung der

Lüftungsintervention. Da die Anweisungen nicht immer so umgesetzt wurden wie vorgegeben, wird die tatsächliche CO<sub>2</sub>-Belastung bei der Differenzierung eine bedeutende Rolle spielen. Aber ebenso die Frage nach der Wirkung der Pause selbst war zu stellen. Wurde sie als Unterrichtsunterbrechung genutzt oder wurde weiter unterrichtet. Hinzu kommt die Struktur des Unterrichtstages mit seinem Unterrichtsstunden-Pausen-Raster als weitere Differenzierungsgröße. Eine Doppelstunde hat eine andere Belastungsstruktur als zwei Einzelstunden mit einer kurzen Pause.

Bei einzelnen Analyseschritten wird ferner die Auswahl der individuellen Datensätze soweit eingeschränkt, dass nur solche verwendet werden, die entsprechend dem Untersuchungsdesign vollständig vorhanden sind. Dies ist nicht immer gegeben, da bedingt durch technische Fehler einzelne Datensätze nicht verwertbar sind.

### 4.3.2 Gruppierung

Die sehr unterschiedliche Zeitstruktur der Datensätze erfordert für die weitere Betrachtung eine möglichst einheitliche zeitliche Gruppierung, innerhalb derer die jeweiligen Daten aufeinander bezogen werden können. In erster Linie orientiert sich die Bildung solcher Zeitabschnitte an der Organisationsstruktur der Schule, d.h. am Stunden-Raster des Schultages. Um einen Vergleich der beteiligten Schulen gewährleisten zu können, werden die beobachteten Doppelstunden in den beiden Grundschulen in zwei Unterrichtsstunden zu je 45 min ohne Pause geteilt. Die Teilung wird unabhängig von einer pädagogischen Struktur vorgenommen, hier ist nur der Zeitabschnitt von Bedeutung. Um Unterrichtsprozesse analysieren zu können, muss die Unterrichtsstunde aber weiter in feinere Zeitabschnitte unterteilt werden. Im Nachfolgenden wird ein Zeitabschnitt von 5 min verwendet, der die Unterrichtsstunde in neun gleiche Abschnitte unterteilt. Eine Begründung für dieses Zeitfenster lässt sich 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 5 min-Zeitfenster ebenfalls bewährt (vgl. SCHÖNWÄLDER ET AL., 2003, TIESLER ET AL., 2002).

Diese hohe zeitliche Auflösung der Datenanalyse bildet aber nur die Grundlage für die Beschreibung des Unterrichtstages, dessen Gesamtwirkung als Belastung für die Schüler bzw. Lehrkräfte im Hinblick auf mögliche Ermüdungswirkung untersucht werden soll. Der Vergleich von Reaktionsfähigkeit und Aufmerksamkeit vor und nach dem Unterricht wird durch den so skizzierten „Arbeits-Prozess“ bedingt.

Somit wird deutlich, weshalb die einzelnen Datensätze mit dieser hohen zeitlichen Auflösung erfasst wurden. Damit werden aber gleichzeitig neue Möglichkeiten sehr viel differenzierter Analysen pädagogischer Prozesse ermöglicht.

### 4.3.3 Analyse

Die mittels der bisher beschriebenen Schritte der Differenzierung und Gruppierung der Daten für die eigentliche Analyse erzeugten Datensätze lassen sich praktisch nur deskriptiv bearbeiten. Selbst für Stichprobenvergleiche sind sie nur sehr eingeschränkt geeignet. Dies ist einerseits durch die sehr unterschiedlichen Parameter bedingt, andererseits aber auch durch sehr große Unterschiede in der Gruppengröße. Für den Vergleich zweier Gruppen werden daher neben Mittelwert-Vergleichen vor allem Häufigkeitsverteilungen gegenüber gestellt oder diese reduziert auf Vergleiche der Mediane. Jene sind im gegebenen Kontext nicht selten aussagekräftiger, vor allem wenn es sich um nicht normal verteilte Daten handelt, wie z.B. die der Herzfrequenz oder dem Schallpegel. Letzterer stellt zusätzlich durch seine logarithmische Struktur eine Besonderheit dar, was aber bei der Mittelung für die 5 min Abschnitte bzw. die Unterrichtsstunde berücksichtigt wurde. Diese „energetische Mittelung“ zu einem „Beurteilungspegel“ (vgl. OBERDÖRSTER&TIESLER, 2006) ist Standard in der Lärmforschung. Erst bei weiteren Zusammenfassungen wird die arithmetische Mittelung verwendet.

Von einer Signifikanzprüfung im Sinne gängiger statistischer Praxis wird im weiteren Vorgehen der Datenanalyse abgesehen. Die Besonderheit dieses Vorgehens liegt in der Möglichkeit, den zeitlichen Prozess des Unterrichtstages mit hoher Präzision unter unterschiedlichen Bedingungen darstellen und auch vergleichen zu können. Die Nachteile des „Feldexperimentes“ mit seinen nur bedingt kontrollierbaren Untersuchungsbedingungen werden dadurch wieder aufgehoben. Dargestellt werden gemessene und beobachtete Tatsachen, deren Bedeutung nicht in ihrer statistisch zu sichernden Relevanz liegt, sondern in ihrer mehr oder weniger wiederkehrenden Faktizität.

## 5 Datenauswertung

### 5.1 Beteiligte Schulen

An dem Projekt „Ermüdung im Schulalltag“ haben sich zwei Grundschulen im Land Bremen, sowie eine Kooperative Gesamtschule in der Gemeinde Stuhr, Landkreis Diepholz (Niedersachsen) beteiligt, die hier kurz charakterisiert werden sollen. Die Auswahl der Schulen erfolgte auf Grund des Kollegiumsinteresses an der Fragestellung. Diese Bereitschaft zur Kooperation war notwendig, da die einzelnen Untersuchungsabschnitte doch einen nicht zu vermeidenden Eingriff in den Schulalltag darstellten. Eine geringstmögliche Störung des Unterrichtsablaufes wurde der Forschungsgruppe nach Abschluss der Untersuchungen von allen Schulen bestätigt.

**Tab. 5.1:** Schule 1

Schulstufe	Primarstufe
Lage der Schule	Großes Gelände zwischen Wohnbebauung
Gebäude, Baujahr	4 Gebäude, Hauptgebäude 1969, Neubau 2002
Unterrichtsräume	Klassenräume 26, Fachräume 9
Lehrer – Personal Anzahl	21 Lehrer, 18 andere
Schülerinnen und Schüler	360 in 16 Klassen
Davon integrierte Sonderschüler	20
Fremdsprachlicher und – kultureller familiärer Hintergrund	ca. 60%
Sozialhilfe – Empfänger	ca. 25%
Besonderheiten	Jahrgangsübergreifend Stufe 1-3
Beteiligte Klassen	3 jahrgangsübergreifende Klassen Stufe 1-3 1 Klasse Stufe 4
Beteiligte Lehrer	15
Beteiligte Schüler	88
Untersuchungsumfang	je Klasse 2 Tage vor und 2 Tage nach der Intervention (Einführung der Lüftungspause)

Die Tabellen enthalten neben den Angaben zur Schule selbst auch den Umfang der Beteiligung am Forschungsprojekt, d.h. die Zahl der Klassen, die Klassenstufen und die Anzahl der beteiligten Personen, jeweils Lehrer und Schüler. Da durch die Untersuchungsmethoden und den damit verbundenen Zeit- und Geräteaufwand nicht immer alle Schüler an den Untersuchungen beteiligt werden konnten, werden bei der Darstellung der Ergebnisse die jeweiligen Fallzahlen gesondert angeführt. Bei eini-

gen Methoden sind die tatsächlichen Fallzahlen auch größer als die Zahl der Beteiligten, da es gezielt auch Wiederholungsuntersuchungen gegeben hat, um z.B. Reproduzierbarkeit von Ergebnisse bzw. Übungseffekte untersuchen zu können.

**Tab. 5.2:** Schule 2

<b>Schulstufe</b>	Primarstufe
<b>Lage der Schule</b>	Nebenstraße
<b>Gebäude, Baujahr</b>	1 Gebäude, 1892, Sanierungen 1970/1980
<b>Unterrichtsräume</b>	Klassenräume 15, Fachräume 2
<b>Lehrer – Personal Anzahl</b>	16 Lehrer, 8 Betreuer
<b>Schülerinnen und Schüler</b>	229 in 11 Klassen
<b>Davon integrierte Sonderschüler</b>	13 Schüler
<b>Fremdsprachlicher und – kultureller familiärer Hintergrund</b>	42 Schüler
<b>Sozialhilfe – Empfänger</b>	unbekannt
<b>Besonderheiten</b>	keine
<b>Beteiligte Klassen</b>	Je 1 Klasse der Stufen 1 - 4
<b>Beteiligte Lehrer</b>	4
<b>Beteiligte Schüler</b>	87
<b>Untersuchungsumfang</b>	je Klasse 2 Tage vor und 2 Tage nach der Intervention (Einführung der Lüftungspause)

Um die Eingriffe in den Schulalltag für die einzelnen Schulen möglichst kurz zu gestalten, wurde der Untersuchungsplan derart gestaltet, dass in jeder Woche jeweils 4 Tage dafür vorgesehen wurden und damit die Wiederholungsuntersuchung unter möglichst gleichen Stundenplanbedingungen erfolgen konnte. Zusätzlich wurde der Abstand zwischen zwei Untersuchungsabschnitten für jede Klasse auf zwei Wochen festgelegt, der für das „Einüben“ der Interventionsmaßnahme diente. Bedingt durch Krankheitsausfälle bei den beteiligten Lehrern kam es in der Schule 2 zu einer kleinen Verschiebung dieses Zeitrasters.

Das Interesse an der Fragestellung des Projektes war in der Schule 3 so groß, dass wir alle acht gemeldeten Klassen in das Untersuchungsprogramm aufgenommen haben, dafür aber in jeder Klasse nur einen Tag vor und einen Tag nach der Intervention Messdaten erhoben haben. Dadurch wurde es möglich eine nahezu gleich große Zahl der älteren Schüler mit zu untersuchen, wie bereits in den beiden Grundschulen. Eine Gleichverteilung über alle Jahrgangsstufen und Schularten war nicht möglich. Die Abweichung von der Regel 2 Tage vor und 2 Tage nach Intervention zu messen, ist zu vertreten, da in den vorangegangenen Messtagen der anderen Schu-

len keine wesentlichen Variationen von Tag 1 zu Tag 2 der gleichen Messphase zu beobachten waren.

**Tab. 5.3:** Schule 3

<b>Schulstufe</b>	Haupt-/Realschule/Gymnasium bis KI 10
<b>Lage der Schule</b>	1 Teil an Hauptverkehrsstraße, 3 Teile an Nebenstraße.
<b>Gebäude, Baujahr</b>	Hauptgebäude 2001-2003, Nebengebäude 1968/1973
<b>Unterrichtsräume</b>	30 Klassenräume, 14 Fachräume
<b>Lehrer – Personal Anzahl</b>	50 Lehrer, 10 Sonstige
<b>Schülerinnen und Schüler</b>	700 in 30 Klassen
<b>Fremdsprachlicher und – kultureller familiärer Hintergrund</b>	keine
<b>Sozialhilfe – Empfänger</b>	keine
<b>Besonderheiten</b>	Kooperative Gesamtschule
<b>Beteiligte Klassen</b>	1 x H5, 2 x G5, 1 x G6, 1 x R7, 1 x G7, 2 x G9
<b>Beteiligte Lehrer</b>	8
<b>Beteiligte Schüler</b>	175
<b>Untersuchungsumfang</b>	je Klasse 1 Tag vor und 1 Tag nach der Intervention (Einführung der Lüftungspause)

Zu der Beurteilung eines Arbeitsplatzes gehört in erster Linie die physikalische Beschreibung des Raumes bzw. der Umgebung, in der sich der Arbeitsplatz befindet, im Falle der Schulen der Klassenraum. Wie ältere Untersuchungen bereits gezeigt haben, spielt die Raumakustik in der Schule eine besondere Rolle. Hierzu dienen zwei Parameter, die reine Nachhallzeit und der Sprachverständlichkeitsindex (STI). Die in den nachfolgenden Tabellen gemachten Angaben beziehen sich grundsätzlich auf die leeren Klassenräume, eine Messung mit Schülern im besetzten Zustand war nicht vorgesehen.

Die im Rahmen dieser Studie untersuchten Klassenräume der Schule 1 (vgl. Tab. 5.4) erfüllen bezogen auf die Raumakustik die Vorgaben der DIN 18041 (1968), die zur Bauzeit gültig war, aber auch der Neufassung von 2004. Der STI liegt für alle Räume im Bereich „sehr gut“ ( $0,75 < \text{STI} < 1,0$ ). Für jeden Schüler steht im Mittel ein Raumvolumen von  $9,57 \text{ m}^3$  zur Verfügung.

**Tab. 5.4:** Raumbeschreibung Schule 1

Klasse	Raum	Grundfläche(m <sup>2</sup> )	Raumvolumen (m <sup>3</sup> )	Fußboden	Decke	Wände	Fensterwand	Schränke	Regale	Schülerplätze	Nachhallzeit leer (s)	STI leer	Volumen/Schüler
K01	R201	77,4	232,3	T	GKL	MW/P	P/VH	1	4	24	0,47	0,79	9,68
K02	R202	76,6	229,7	T	GKL	MW/P	P/VH	1	4	24	0,49	0,78	9,57
K03	R205	75,7	227,1	T	GKL	MW/P	P/VH	1	3	24	0,52	0,77	9,46
K04	R209	76,6	229,7	T	GKL	MW/P	P/VH	1	4	24	0,48	0,78	9,57

T=Teppichboden; GKL=Gipskarton gelocht; MW=Mauerwerk; P=Putz; VH=Vorhang

**Tab. 5.5:** Raumbeschreibung Schule 2

Klasse	Raum	Grundfläche(m <sup>2</sup> )	Raumvolumen (m <sup>3</sup> )	Fußboden	Decke	Wände	Fensterwand	Schränke	Regale	Schülerplätze	Nachhallzeit leer (s)	STI leer	Volumen/Schüler
K05	R15	54,4	228,5	T	GKL.k	P	P	1	1	23	0,75	0,71	9,93
K06	R26	61,6	258,7	T	GKL.k	P	P	3	1	27	0,75	0,68	9,58
K07	R11	63,2	265,4	T	GKL.k	P	P	3	1	23	0,69	0,72	11,54
K08	R13	53,8	231,2	T	GKL.k	P	P	1	1	21	0,89	0,68	11,01

GKL.k=Gipskarton gelocht direkt aufgeklebt

Aus der Sicht der Raumakustik sind die Klassenräume der Schule 2 (vgl. Tab. 5.5) deutlich schlechter, d.h. die Nachhallzeiten entsprechen zwar den Anforderungen der DIN 18041 von 1968, nicht aber der Neufassung. Bezogen auf den STI liegen alle Räume nur im Beurteilungsbereich „gut“ ( $0,6 < \text{STI} < 0,75$ ). Die bei Sanierungsarbeiten eingebauten Schall absorbierenden Deckenelemente sind durch das unmittelbare Aufkleben auf die Deckenkonstruktion nur von sehr geringer Wirkung. Die durch den Baustil geprägten sehr hohen Klassenräume ergeben dafür ein höheres Raumvolumen, es stehen jedem Schüler im Mittel  $10,52 \text{ m}^3$  zur Verfügung und damit  $1 \text{ m}^3$  mehr als an der Schule 1.

Die Klassenräume der Schule 3 (vgl. Tab. 5.6) sind von ihren Eigenschaften sehr unterschiedlich, entsprechend unterschiedlichen Bauabschnitten. So genügen die Räume in den Gebäuden A, B und E den Anforderungen für die Raumakustik der

DIN 18041 (1968), nicht aber der Neufassung von 2004, die übrigen Räume erfüllen die neuen Anforderungen. Entsprechend ist die Beurteilung der Sprachverständlichkeit (STI) in den einzelnen Räumen. Bezogen auf das zur Verfügung stehende Raumvolumen je Schüler bietet die Schule 3 mit  $8,87 \text{ m}^3$  je Schüler deutlich schlechtere Bedingungen als die beiden anderen Schulen,  $0,7 \text{ m}^3$  je Schüler weniger als die Schule 1. Die Auswirkung der Raumvolumina je Schüler auf die Veränderung der Luftqualität bleibt zu prüfen.

**Tab. 5.6:** Raumbeschreibung Schule 3

Klasse	Raum	Grundfläche(m <sup>2</sup> )	Raumvolumen (m <sup>3</sup> )	Fußboden	Decke	Wände	Fensterwand	Schränke	Regale	Schülerplätze	Nachhallzeit leer (s)	STI leer	Volumen/Schüler
K09	B.1.2	72,4	260,6	T	GKL	P	P	0	0	26	0,84	0,72	10,02
K10	E.1.4	61,6	258,7	T	GKL	P	P	1	0	30	0,70	0,76	8,62
K11	C.1.9	63,1	195,5	T	GKL/s	P	P	1	0	20	0,57	0,78	9,78
K12	A.1.3	64,0	191,9	T	OWA	P	P	1	1	24	0,86	0,72	8,00
K13	C.1.10	63,1	195,5	T	GKL	GK	P	1	0	23	0,57	0,77	8,50
K14	A.2.1	64,0	191,9	T	OWA	P	P	1	0	16	0,80	0,71	11,99
K15	A.1.1	64,0	191,9	T	OWA	P	P	1	1	26	0,89	0,70	7,38
K16	D.1.3	64,7	194,0	T	GKL	P	P	1	0	29	0,57	0,78	6,69

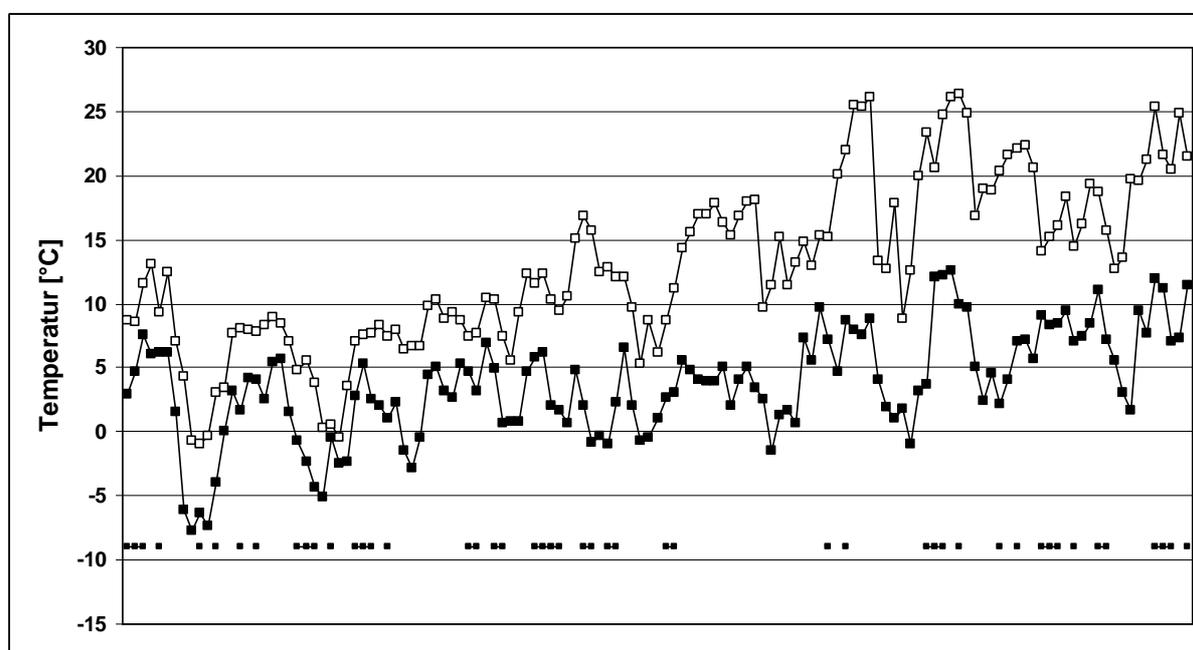
OWA=Hersteller; GKL/s=GKL Decke in Pultform

**Tab. 5.7:** Gesamtbilanz der Datenaufzeichnungen, Anzahl der Tagesprofile

Parameter/Intervention	Schule 1		Schule 2		Schule 3	
	vor	nach	vor	nach	vor	nach
<i>Schallpegel</i>	7	8	8	7	7	7
<i>Raumklima</i>	8	8	7	7	8	8
<i>Aktivitätsprotokoll ERA</i>	25	21	24	34	42	42
<i>Kommunikationsprotokoll ERK</i>	25	21	22	33	41	42
<i>Herzfrequenz</i>	112	90	81	81	78	79
<i>Reaktionszeiten (x2)</i>	141	180	164	154	148	108
<i>Aufmerksamkeitstest (x2)</i>	144	155	116	123	172	173

In der Tabelle 5.7 ist die jeweilige Anzahl der aufgezeichneten Tagesprofile für die einzelnen Parameter dargestellt. Durch technische Probleme bedingt ist es in einzelnen Fällen zu totalen oder aber auch nur zu partiellen Ausfällen gekommen. Eine Wiederholung der Aufzeichnung war aus organisatorischen Gründen nicht möglich, dies ist eines der Risiken einer Feldstudie. Der Datenverlust beträgt ca. 10 % der theoretisch möglichen Aufzeichnungen.

Die Beurteilung des Raumklimas in der Klasse bzw. der Schule sollte auch im Zusammenhang mit dem aktuellen Wetter gesehen werden. Erfahrungsgemäß ist die Bereitschaft einen Raum zu lüften sehr stark von dem umgebenden Wetter abhängig. Bei höheren Außentemperaturen besteht eine höhere Neigung, ein Fenster zu öffnen als bei frostigen Temperaturen. Für die kontinuierliche Registrierung der Wetterdaten bestand keine Möglichkeit, dafür wurde eine zusammenfassende Beschreibung des Tageswetters hinzugefügt. Die Daten wurden freundlicherweise durch die Aufzeichnungen von den „Bremer Tageszeitungen“ zur Verfügung gestellt.

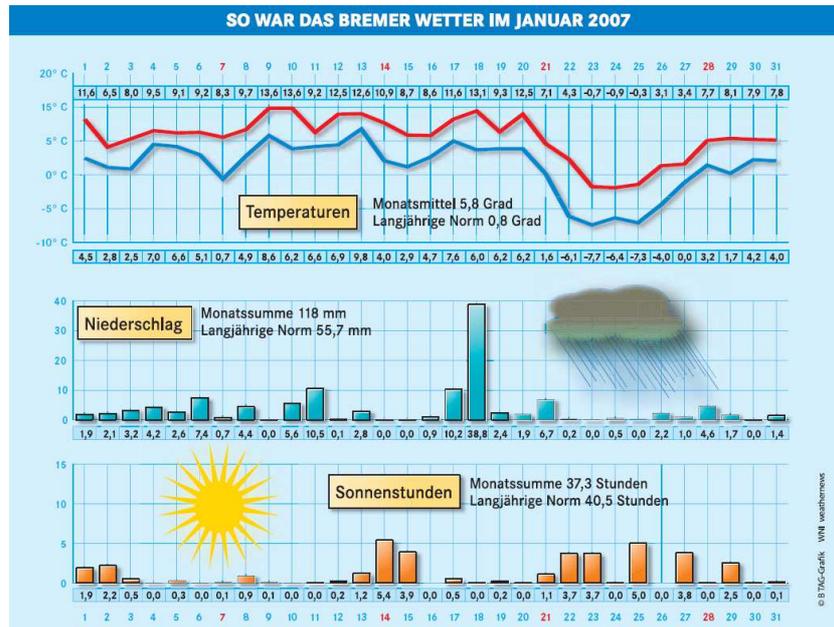


**Abb. 5.1:** Außen-Temperaturen in Bremen;  $T_{\max}$  ( $\square$ ),  $T_{\min}$  ( $\blacksquare$ ), Untersuchungstage ( $\blacksquare$ ) (Quelle: Bremer Tageszeitungen)

Da die Untersuchungen an den einzelnen Schulen nicht parallel stattfinden konnten, Ferienzeiten und andere Belange der Schulen berücksichtigt werden mussten, ergab es sich, dass sich die klimatischen Außenbedingungen im Jahresverlauf veränderten. Während die Untersuchungszeit an der Schule 1 noch in eine Kälteperiode fiel, lagen die Temperaturen bei der Schule 2 deutlich über  $0^{\circ}\text{C}$ , bei der Schule 3 dann in einer Warmphase mit Temperaturen über  $10^{\circ}\text{C}$ . (Quelle für die Wetterdaten: Bremer Tageszeitungen).

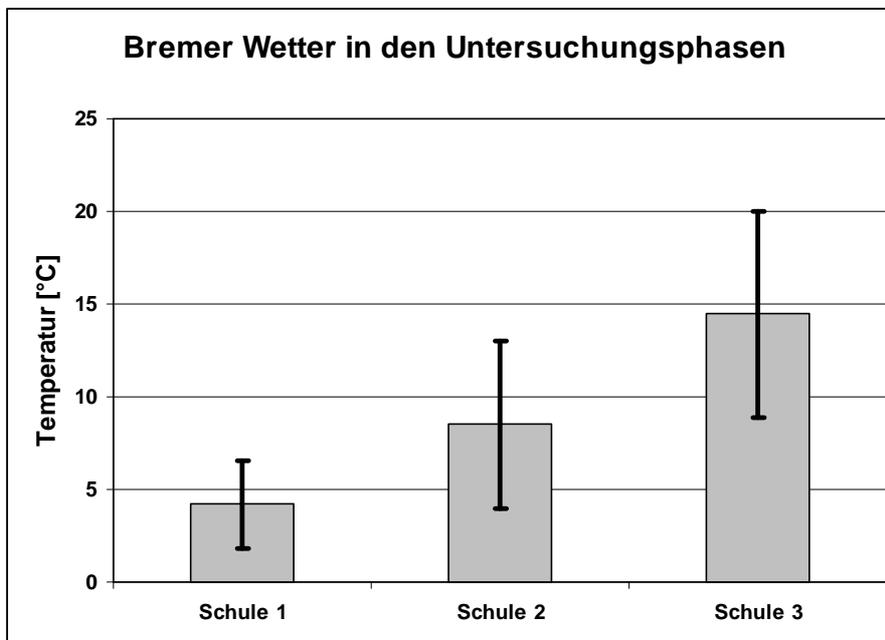
Inwieweit das Tageswetter das Lüftungsverhalten der einzelnen Lehrerinnen und Lehrer beeinflusst hat, kann so nicht geklärt werden, dafür wären Längsschnittuntersuchungen über ein ganzes Schuljahr notwendig. Hier kann lediglich das Verhalten vor und nach der Einführung der Lüftungspause betrachtet werden (vgl. dazu Kap.

5.2). Eine Originalgrafik des Tageswetters für jeweils einen Monat ist in der Abb. 5.2 dargestellt.



**Abb. 5.2:** Originalgrafik des „Bremer Wetters“ aus den „Bremer Tageszeitungen“

Zusammengefasst ergibt sich für die drei Untersuchungsabschnitte an den drei Schulen das nachfolgend in Abb. 5.3 dargestellte Bild. Die jeweiligen Tages – Minima und Maxima sind als Mittelwerte für die Untersuchungstage dargestellt, die Einzeldaten sind der Abb. 5.1 zu entnehmen.



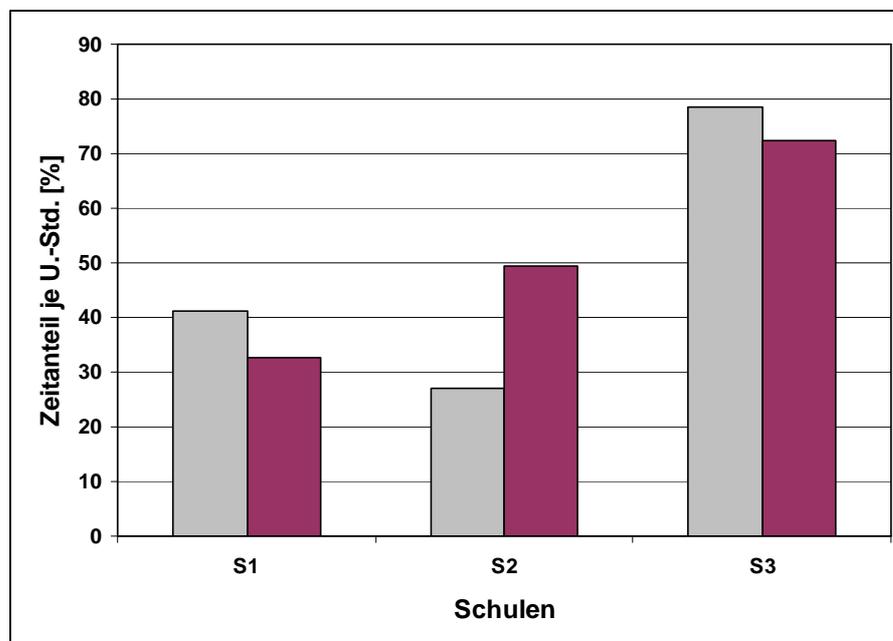
**Abb. 5.3:** Mittlere Tagestemperatur während der Untersuchungstage, sowie Mittelwerte der Tages – Minima und Maxima, sortiert nach Schulen

## 5.2 Lüftungsverhalten

Das aktuelle Klima in Unterrichtsräumen ist nicht konstant, sondern hängt von mehreren Variablen ab: Raumvolumen, Anfangswert, Besetzung mit agierenden Personen, Art der Aktionen, Dichtigkeit gegenüber der Umgebung, Dauer und Intensität der unfreiwilligen (Dichtigkeit) und gewollten Lüftung. Das Raumklima ändert sich bei Raumnutzung in der Regel zum Schlechteren, ist aber durch geeignete Maßnahmen günstig zu beeinflussen. Die theoretisch ermittelte Entwicklung der Qualität der Atemluft u.a. in Unterrichtsräumen zeigt eine zu prognostizierende Minderung dieser Qualität. Daraus ergeben sich mehr oder weniger lange Zeiträume mehr oder weniger günstiger Arbeitsbedingungen je Unterrichtsstunde bzw. –einheit (sowohl bei 45 als vor allem bei 90 Min. z.B.).

Die zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen vorgesehene Interventionsmaßnahme bestand aus der einfachen Anweisung jede 45-min-Unterrichtsstunde durch eine ca. 2 minütige Lüftungspause mit Stoßlüftung zu unterbrechen, bei Doppelstunden zusätzlich zwischen beiden Hälften. Alle anderen Lüftungsgewohnheiten während des Unterrichts sollten davon nicht beeinflusst werden.

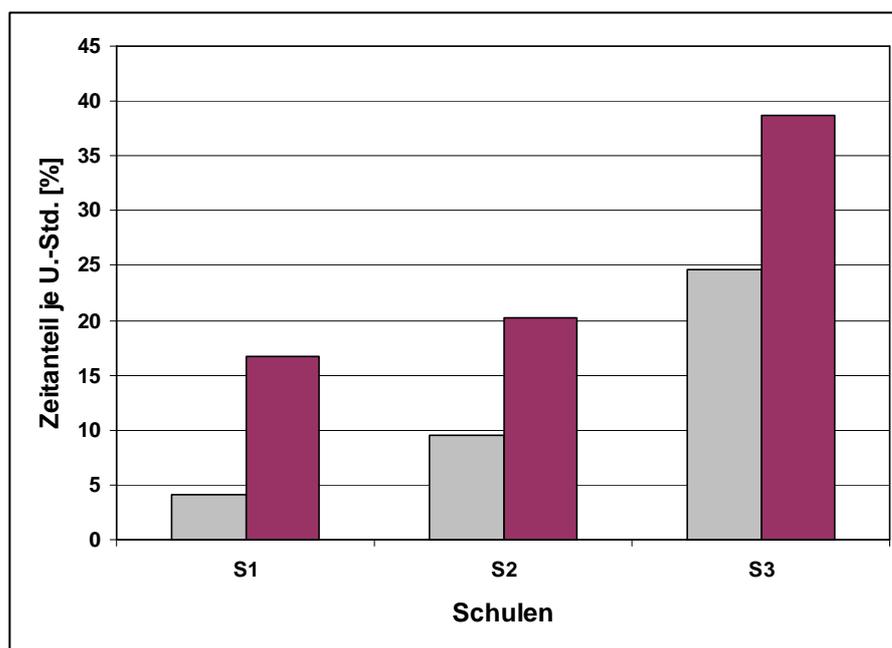
Eine Übersicht über das Kipplüftungsverhalten an den drei Schulen ist in der nachfolgenden Abb. 5.4 dargestellt. Die Mittelwerte der Zeitanteile je Unterrichtsstunde unterscheiden sich deutlich. Während an den beiden Schulen 1 und 2 der Anteil deutlich unter 50% lag, betrug er bei der Schule 3 mehr als 75%. Hier spielt sehr wahrscheinlich das Wetter eine deutliche Rolle. Während der Untersuchungsphase an der Schule 1 lagen die Außentemperaturen teilweise noch im Frostbereich und an der Schule 3 bis zu 20°C und höher. Dadurch dürfte die Bereitschaft aller Personen gestiegen sein, das Fenster zu öffnen.



**Abb. 5.4:** Kipplüftungsverhalten an den Schulen, Mittlerer Zeitanteil je Unterrichtsstunde, vor (■) und nach (■) Intervention

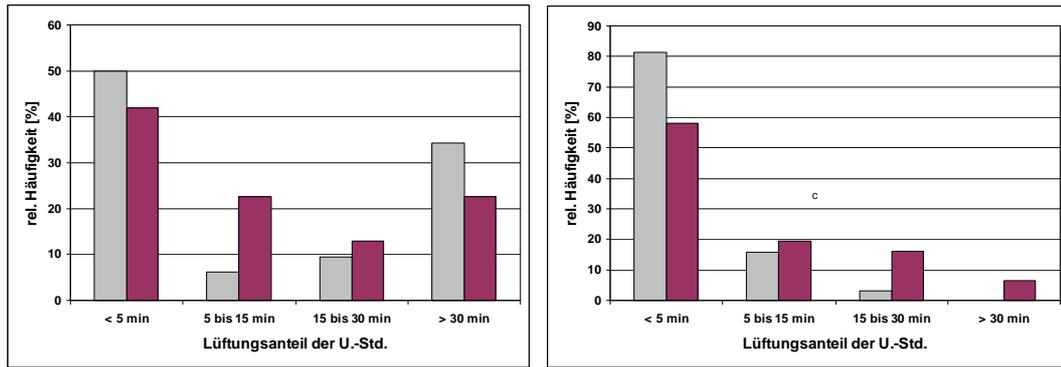
Auffällig ist einerseits der Rückgang der Kipplüftungsanteile bei den Schulen 1 und 3 und im Gegensatz dazu die nahezu Verdopplung des Anteils bei der Schule 2. Eine Erklärung für diesen Unterschied können wir nicht geben.

Die zweite Form des Lüftens ist die Stoßlüftung, auf welche im Rahmen der Lüftungsempfehlungen das Hauptaugenmerk gerichtet war. Auch diese Form des Lüftens wurde selbstverständlich vor der Intervention bereits praktiziert, allerdings sehr unterschiedlich, wie es die Abb. 5.5 zeigt. Die im Rahmen der Untersuchungen ausgesprochenen Lüftungsempfehlungen sahen aber genau diese Lüftungsform mit einer großen Regelmäßigkeit vor, was sich auch in der Veränderung der Mittelwerte zeigt. So ist der Zeitanteil in allen beteiligten Schulen absolut um ca. 15 Prozentpunkte gestiegen, relativ betrachtet ist der Anteil an den Schulen wesentlich gewachsen.



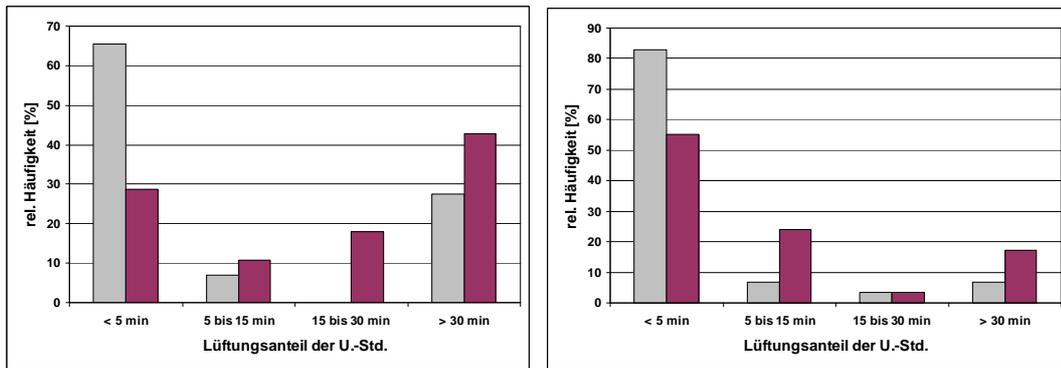
**Abb. 5.5:** Stoßlüftungsverhalten an den Schulen, Mittlerer Zeitanteil je Unterrichtsstunde, vor (■) und nach (■) Intervention

Zusammengefasst kann gesagt werden, die Empfehlungen wurden im wesentlichen umgesetzt. Hier ist die Gesamtwirkung wichtig. Die nachfolgende Grafik zeigt die Veränderungen differenzierter. In dieser Übersicht wird das Lüftungsverhalten vor und nach Einführung der „Lüftungspause“ dargestellt, unterschieden nach reiner Kipplüftung und Stoßlüftung.



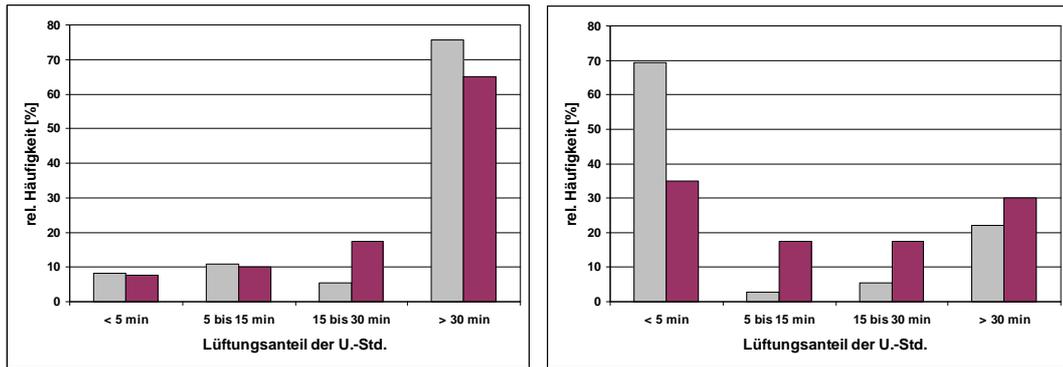
**Abb. 5.6:** Verteilung von Kipplüftung (li) und Stoßlüftung (re) in Schule 1, vor (■) und nach (■) Intervention

In der Schule 1 nimmt die Zahl der Unterrichtsstunden mit sehr kurzen (< 5 min) und sehr langen (> 30 min) Kipplüftungsphasen deutlich zugunsten mittlerer Dauer ab. Bei der Stoßlüftung finden sich nach der Intervention mehr Stunden mit längeren Stoßlüftungsanteilen als vorher, ganz im Sinne der Lüftungsempfehlungen.



**Abb. 5.7:** Verteilung von Kipplüftung (li) und Stoßlüftung (re) in Schule 2, vor (■) und nach (■) Intervention

In der Schule 2 nimmt die Zahl der Unterrichtsstunden mit kurzen Lüftungsphasen (<5min) ebenso ab wie in Schule 1, dafür steigt für beide Lüftungsformen die Zahl mit langen (>30min) deutlich an. Für die Schule 3 sieht das Verhältnis der Lüftungsanteile ganz anders aus, hier gibt es bereits vor der Intervention überwiegend Unterrichtsstunden mit langen (>30min) Phasen mit Kipplüftung. Die Verschiebung in der Verteilung der Stoßlüftung entspricht den beiden ersten Schulen, allerdings mit dem Unterschied, dass auch vorher schon in ca. 20% der Unterrichtsstunden in langen Phasen gelüftet wurde.



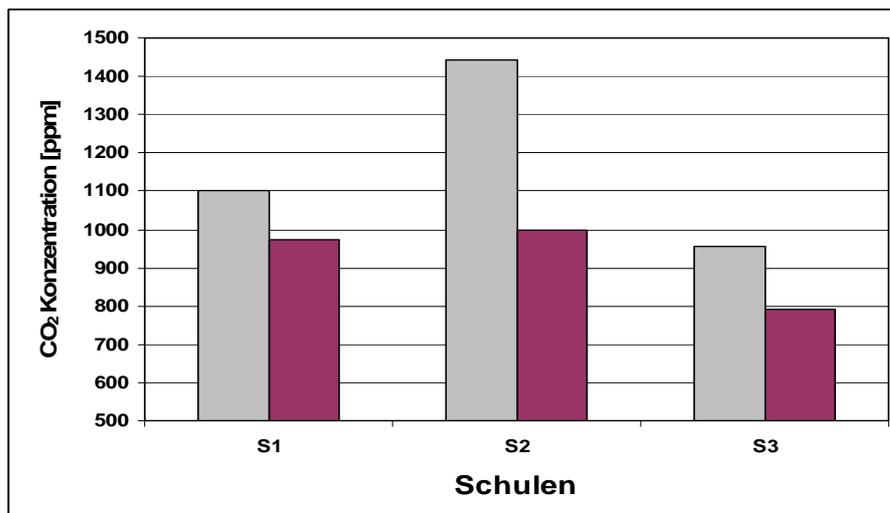
**Abb. 5.8:** Verteilung von Kipplüftung (li) und Stoßlüftung (re) in Schule 3, vor (■) und nach (■) Intervention

Diese Darstellung belegt: die Lüftungsempfehlungen haben zu einem veränderten Lüftungsverhalten im Sinne der Verbesserung der Raumluftqualität geführt. Der Effekt: verbesserte Raumluftqualität wird im folgenden Kapitel im Einzelnen beschrieben.

## 5.3 Klima

### 5.3.1 Raumklima in den einzelnen Schulen – erste Übersicht

Als zentrale Ursache für Ermüdungsprozesse wird die schlechte Luft im Klassenraum angesehen. Daher richtet sich das Augenmerk vornehmlich auf die Veränderung der Raumluftqualität durch Einführung der „Lüftungspause“. Wie stringent die Vorgaben durchgeführt wurden, ist bereits im Kapitel 5.2 ausführlicher beschrieben worden. Das Gesamtergebnis der Intervention, bezogen auf den CO<sub>2</sub>-Anteil in der Klassenraumluft, über alle beobachteten Unterrichtsstunden, ist in der Abb. 5.9 dargestellt.



**Abb. 5.9:** Mittlere CO<sub>2</sub> Konzentration im Unterricht, sortiert nach den Schulen; vor (■) und nach (■) der Intervention

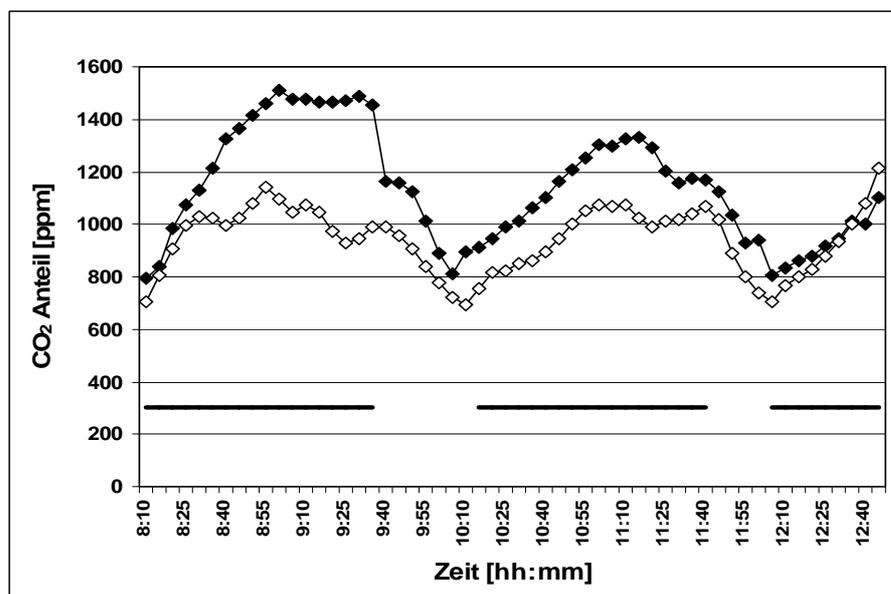
Hier wird deutlich, die Intervention zeigt in doppelter Weise unübersehbar Wirkung:

- In allen beteiligten Schulen konnte der CO<sub>2</sub>-Anteil deutlich gesenkt werden.
- In allen Schulen ist der Mittelwert kleiner bzw. gleich der „Pettenkofer-Zahl“.

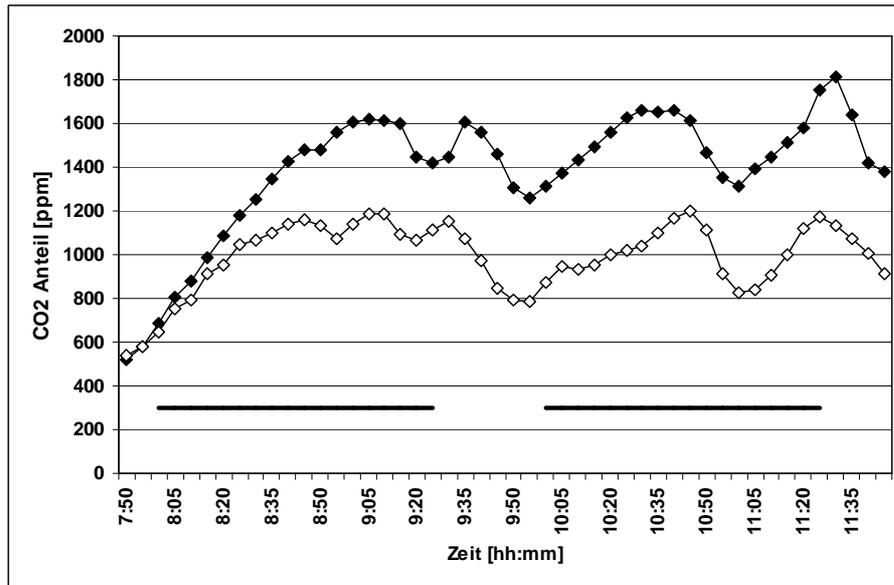
Der Grad der Auswirkung fällt aber sehr unterschiedlich aus, was durch die sehr unterschiedlichen Ausgangswerte vor der Intervention bedingt ist. Mögliche Ursachen dafür sind an späterer Stelle zu diskutieren.

Eine Darstellung aller einzelnen Verläufe der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Unterricht ist aus Platzgründen nicht möglich. Stellvertretend dafür sollen die Verhältnisse an den einzelnen Schulen als Zeitreihen, gemittelt aus allen Unterrichtsstunden der jeweiligen Schule aufgeführt werden. So kann vermittelt werden, an welchen Stellen im Zeitverlauf die entscheidenden Veränderungen stattgefunden haben. Die schwarzen Symbole beziehen sich auf die Unterrichtsstunden vor der Intervention, die weißen auf die Stunden danach. Zur Ergänzung sind die Zeiten für die Unterrichtsabschnitte durch eine schwarze Linie im unteren Bereich des Diagramms ausgewiesen.

Für die Schule 1 (s. Abb. 5.10) zeigt sich eine deutliche Senkung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Verlauf des Unterrichts. Der ausgesprochen hohe Pegel an CO<sub>2</sub> vor der Einführung der Lüftungspause ist im Wesentlichen auf die 90-minütige Unterrichtsstunde ohne Pause zurückzuführen. Die hier sich zeigende Tendenz wird an späterer Stelle noch ausführlich erörtert.

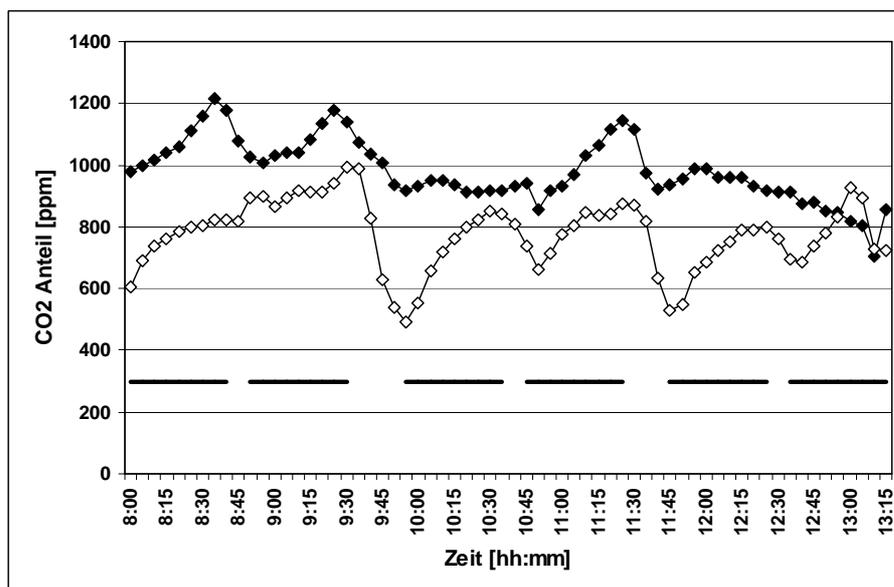


**Abb. 5.10:** CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Tagesverlauf für Schule 1, vor (◆) und nach (◇) der Intervention, Unterrichtszeit (—)



**Abb. 5.11:** CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Tagesverlauf für Schule 2, vor (◆) und nach (◇) der Intervention, Unterrichtszeit (—)

In der Schule 2 (s. Abb. 5.11) sind ebenfalls deutliche Senkungen der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu beobachten, hier aber im Gegensatz zur Schule 1 auf einem insgesamt höheren Niveau.



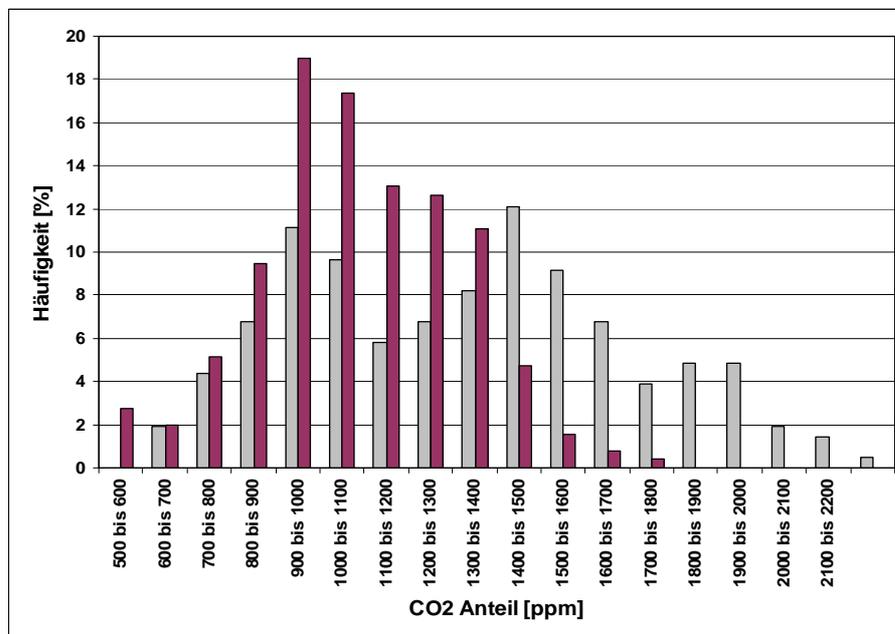
**Abb. 5.12:** CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Tagesverlauf für Schule 3, vor (◆) und nach (◇) der Intervention, Unterrichtszeit (—)

Genau wie in den beiden ersten Schulen findet sich auch in der dritten Schule (s. Abb. 5.12) eine deutliche Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Anteils in der Klassenraumluft. Insgesamt aber sind auffällig niedrigere Werte zu verzeichnen. Beim Vergleich sind hier die unterschiedlichen Skalierungen sowohl bezüglich der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen als auch der Zeitachse zu beachten.

### 5.3.2 Interventionsabhängige Veränderung des Raumklimas

Um eine genauere Betrachtung der Belastung durch CO<sub>2</sub> in der Raumluft vornehmen zu können, werden alle aufgezeichneten Unterrichtsstunden in Zeitsegmente von 5 min unterteilt und darin die Intensität der Belastung ermittelt. Unabhängig von der Unterrichtsart oder Klasse kann nun die Belastung in Form einer Häufigkeitsverteilung des CO<sub>2</sub>-Anteils im Unterricht vor und nach der Intervention – getrennt nach Schulen – abgebildet werden. Die Tabellen zu den jeweiligen Grafiken illustrieren einerseits unterschiedliche aber andererseits in jedem Fall nur als wesentlich zu bezeichnende Erweiterungen der Zeitanteile des Unterrichts um und unter der über 150 Jahre alten gesetzten Pettenkofer-Grenze von 1000 ppm. Das gilt natürlich erst recht für die Unterschreitung der Höchstgrenze nach DIN 1946, also 1500 ppm.

Bei der Schule 1 (s. Abb. 5.13) wird vor Einführung der Lüftungspause der Pettenkofer-Wert (1000ppm) in 1/3 der Zeit eingehalten, die Empfehlung der DIN 1946 (1500ppm) noch in 2/3 der Zeit (vgl. Tab. 5.8).



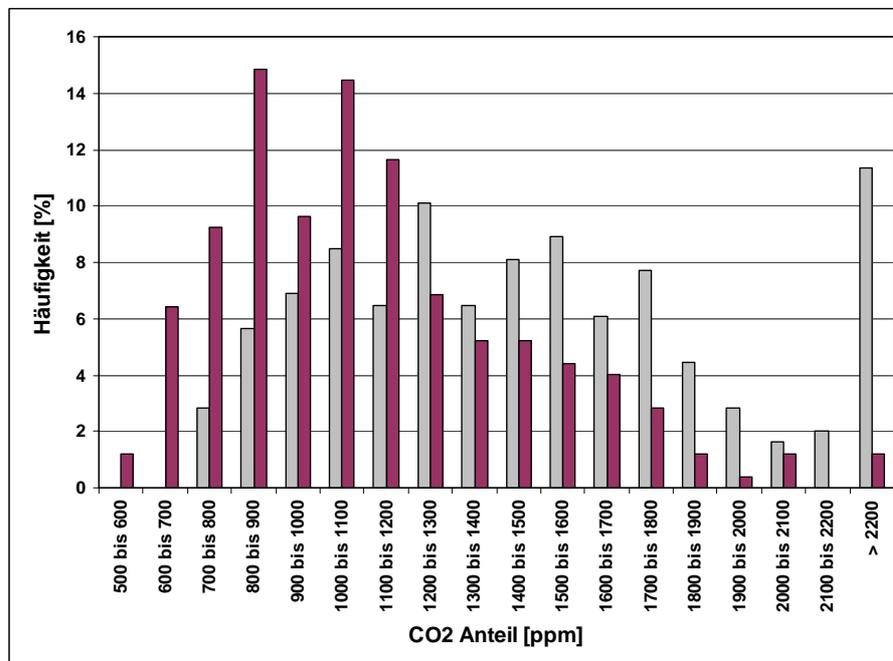
**Abb. 5.13:** Verteilung der CO<sub>2</sub>-Anteile im Unterricht Schule 1 (vor (■) und nach (■) der Intervention)

**Tab. 5.8:** Zeitanteil im Unterricht, in dem der jeweilige CO<sub>2</sub>-Grenzwert noch unterschritten ist für Schule 1

	< 1000 ppm	< 1500 ppm
<b>Vor I.</b>	33,82 %	66,67%
<b>Nach I.</b>	55,73 %	97,23

Nach der Intervention ist sowohl der Zeitanteil des Unterrichts, dessen CO<sub>2</sub>-Konzentration im Bereich des von Pettenkofer empfohlenen Wertes liegt, deutlich

gestiegen, von 33% auf über 55 %. Die allenfalls noch tolerierbare Obergrenze von 1500 ppm – unter Einschluss der Zeit bis 1000 ppm - wird vor der Intervention in insgesamt gut 2/3 der Unterrichtszeit eingehalten. Nach der Intervention jedoch liegt fast die gesamte Unterrichtszeit innerhalb des noch hinnehmbaren Toleranzbereichs. Das wiederholt sich in der Tendenz an den beiden anderen Schulen.



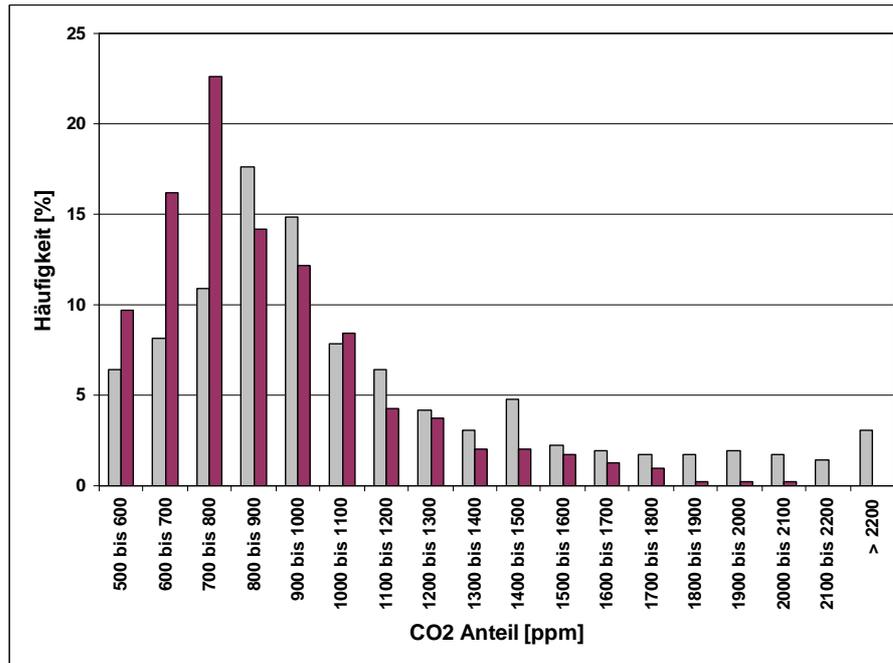
**Abb. 5.14:** Verteilung der CO<sub>2</sub>-Anteile im Unterricht Schule 2 (vor (■) und nach (■) der Intervention)

Bei der Schule 2 (s. Abb. 5.14) wird vor Einführung der Lüftungspause der Pettenkofer-Wert (1000ppm) in 1/8 der Zeit eingehalten, die Empfehlung der DIN 1946 (1500ppm) noch in gut der Hälfte der Zeit (vgl. Tab. 5.9).

**Tab. 5.9:** Zeitanteil im Unterricht, in dem der jeweilige CO<sub>2</sub>-Grenzwert noch unterschritten ist für Schule 2

	< 1000 ppm	< 1500 ppm
<b>Vor I.</b>	15,38 %	55,82 %
<b>Nach I.</b>	41,37 %	84,74 %

In Schule 2 wachsen nach der Intervention ebenfalls die Zeitanteile des Unterrichts innerhalb der Grenzen von 1000 ppm bzw. 1500 ppm, allerdings nicht bis zu dem für Schule 1 gemessenen Umfang. Im Schulvergleich ergaben sich für Schule 2 generell ungünstigere Werte als für Schule 1. Sie konnten durch das neue Lüftungsverhalten nicht ganz ausgeglichen werden. Allein die Lüftung kann also nicht für alle Unterschiede verantwortlich gemacht werden.



**Abb. 5.15:** Verteilung der CO<sub>2</sub>-Anteile im Unterricht Schule 3 (vor (■) und nach (■) der Intervention)

Bei der Schule 3 (s. Abb. 5.15) wird vor Einführung der Lüftungspause der Pettenkofer-Wert (1000ppm) in gut der Hälfte der Zeit eingehalten, die Empfehlung der DIN 1946 (1500ppm) noch in 4/5 der Zeit (vgl. Tab. 5.10). Schule 3 bietet noch einmal ein ganz eigenes Bild. Schon vor der Intervention werden hohe Anteile für den Unterricht gute CO<sub>2</sub>-Konzentration eingehalten bzw. noch für erträglich gehaltene von insgesamt fast 85% einschließlich der Werte bis 1000 ppm. Doch selbst hier zeigt das veränderte Lüftungsverhalten noch eine unübersehbare Verbesserung der Luftqualität über längere Unterrichtszeit.

**Tab. 5.10:** Zeitanteil im Unterricht, in dem der jeweilige CO<sub>2</sub>-Grenzwert noch unterschritten ist für Schule 3

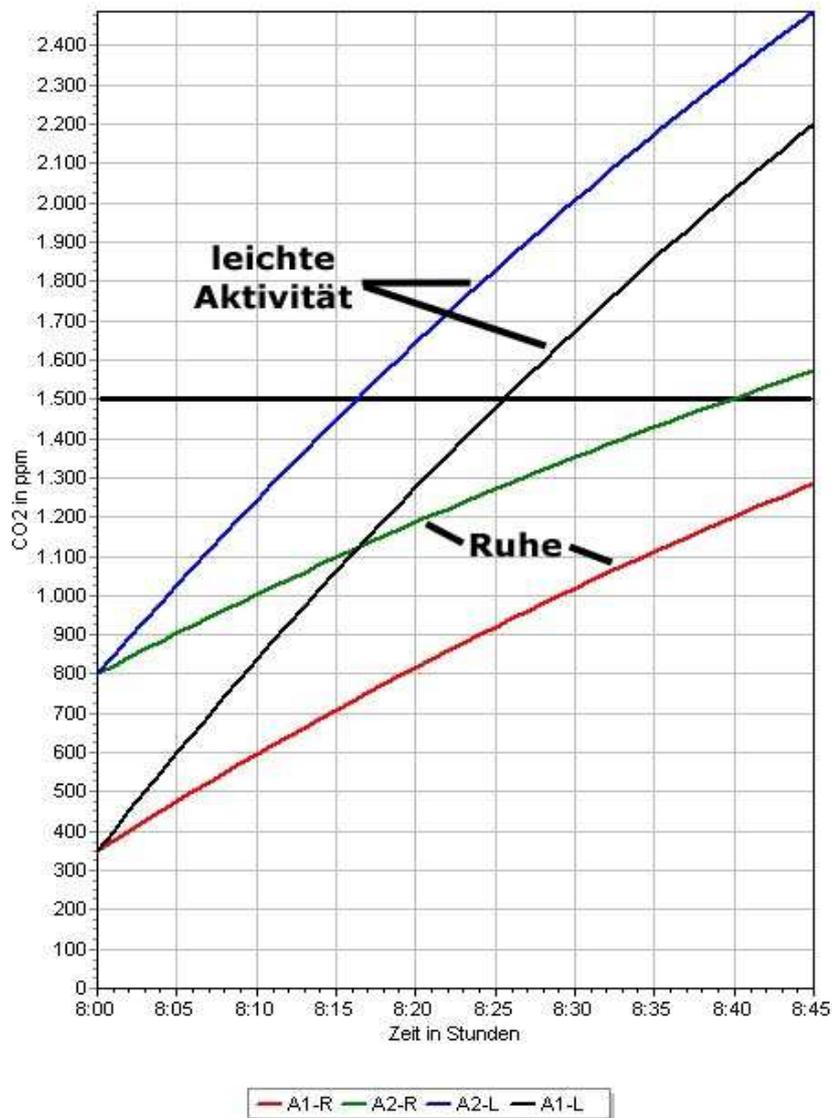
	< 1000 ppm	< 1500 ppm
<b>Vor I.</b>	57,98 %	84,31 %
<b>Nach I.</b>	74,88 %	95,27 %

Die Folgen veränderten Lüftungsverhaltens zeigen in allen drei beteiligten Schulen verblüffend günstige Effekte. Offensichtlich genügen die kurzen Lüftungspausen nach 20 min. Unterricht, um eine wesentliche Verbesserung der Arbeitsbedingungen im Klassenraum für eine Unterrichtsstunde zu erreichen. An den gesetzten Normen orientiert braucht man sich nicht länger über deren Überschreitung entsetzen. Einfachste Maßnahmen genügen, um sich in Richtung auf ein Optimum zu bewegen. So weit so gut. Doch sollte nicht übersehen werden, das realistisch – also nicht nur im Prinzip – erreichbare Maximum an Güte der Atemluft im Unterricht liegt bei 100% Unterrichtszeit mit höchstens 1000 ppm CO<sub>2</sub>-Konzentration. Gäbe man sich mit den oben dokumentierten Verbesserungen zufrieden, was nahe zu liegen scheint, bestä-

tigte man dennoch den Satz, dass das Bessere ein Feind des Guten sei. Erst eine Einordnung der berichteten Messergebnisse in eine Skala des Guten verhilft dazu, den wahren Wert der mit Herkommen erklärten Bewertung von CO<sub>2</sub> Belastungsgrößen einzuschätzen.

### *Raumklima – Entstehung und Entwicklung*

Ein Raumklima kann nicht als eine natürliche Konstante angesehen werden. Es besteht einerseits aufgrund sich ändernder Umweltbedingungen und wird durch Baustoffe, Ausstattung und Nutzung geschaffen, ist somit nicht konstant. Die Entwicklung des Raumklimas im Klassenraum wird im Wesentlichen durch den Arbeitsprozess im Raum, die daran beteiligten Personen und die Luftwechselrate bestimmt. Eine besondere Bedeutung kommt der Anfangssituation zu Beginn des Unterrichts zu – je schlechter die Anfangsbedingungen sind, umso früher werden „Grenzwerte“, z.B. für die CO<sub>2</sub>-Konzentration, erreicht.



**Abb. 5.16:** Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration bei unterschiedlichem Ausgangswert für eine Grundschulklasse mit 25 Schülern bei Ruhe bzw. leichter Aktivität

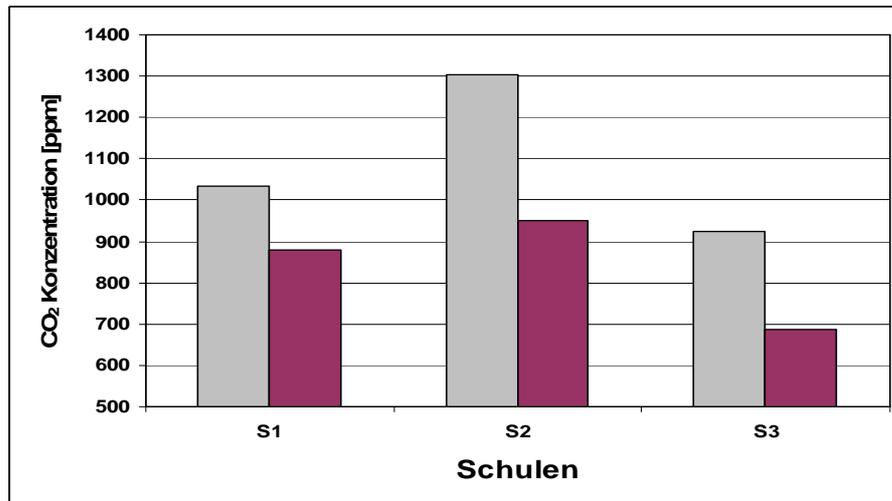
Gesetzt den Fall, der Unterricht begänne mit der Qualität der Außenluft, also mit ca. 350 ppm CO<sub>2</sub>, würde die CO<sub>2</sub> Konzentration im besetzten Unterrichtsraum bei definiertem Außenluftkontakt bereits nach ca. 11 min den Wert von 1500 ppm (in der DIN 1946 empfohlener Grenzwert) erreicht sein. Bei einem Anfangswert von 800 ppm wäre diese Grenze bereits nach 7 min (vgl. Abb. 5.16) erreicht. Dieses Beispiel entspricht einer Hochrechnung für einen Standard Klassenraum mit 25 Schülern im Grundschulalter bei mittlerer Aktivität. In die Modellbildung wurde eine Luftwechselrate von 0,6 je Stunde eingerechnet, für die Ruhesituation eine CO<sub>2</sub>-Abgabe von 14,3 Liter/h/Person bzw. für leichte Aktivität von 28,3 Liter/h/Person.

Aufgrund dieser Annahmen für eine idealtypische Hochrechnung wurde nach Maßgabe (QUIRL/CO<sub>2</sub>) ein Modell der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Unterricht errechnet und über einer Zeitachse in die grafische Darstellung Abb. 5.16 (auf der vorhergehenden Seite) überführt.

### *Reale Bedingungen der Entwicklung des Raumklimas in Schulen*

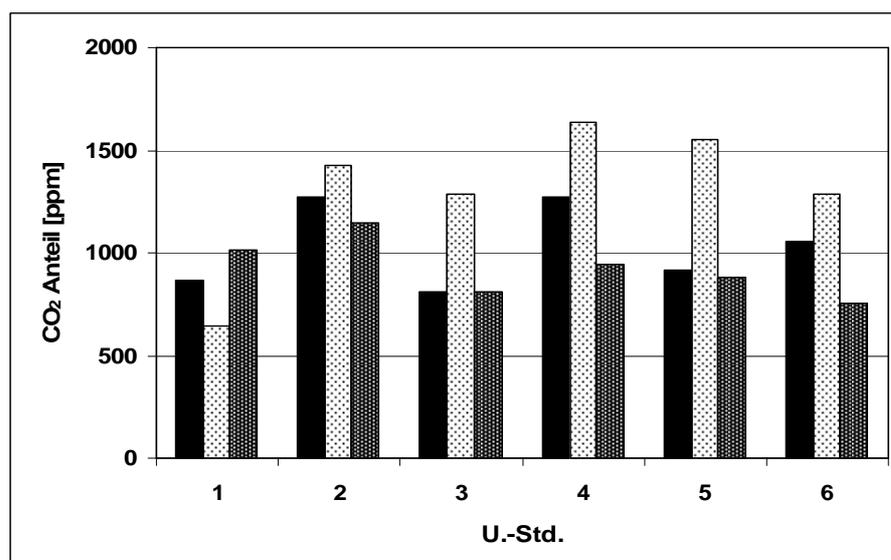
Der Anfangswert der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu Beginn einer Unterrichtsstunde ist in der Regel auf das Lüftungsverhalten vor der Stunde bzw. während der Pausen zurückzuführen. Die Bedingungen dafür sind in den Schulen sehr unterschiedlich. In den beiden Grundschulen wird nur in Doppelstunden von 90 min Dauer unterrichtet, d.h. es findet keine vom Stundenplan vorgegebene 5 minütige Pause statt, es liegen immer die so genannten großen Pausen oder Hofpausen zwischen den Stunden. Da in dieser Zeit keine Person im Klassenraum ist, findet eine Lüftung oft auch nur kurz zu Beginn und Ende statt, nicht aber die ganze Pause über. In der Schule 3 dagegen wird in der Regel nur in 45 min Einheiten unterrichtet. Somit gibt es neben den großen Pausen auch die kleinen Pausen von 5 min Dauer, während derer die Schüler im Klassenraum bleiben und die Gelegenheit zur Lüftung gegeben ist. Bestandteil der Lüftungsvorgaben im Rahmen der Intervention war auch der Hinweis auf diese Lüftungsphasen.

Wie auch bei der globalen Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Unterricht, wird hier eine Zusammenfassung aller Unterrichtsstunden an den jeweiligen Schulen an den Anfang gestellt. Als Anfangswert für eine Unterrichtsstunde wird die CO<sub>2</sub>-Konzentration unmittelbar nach dem Unterrichtsbeginn (erster 5 sec Wert nach dem Klingelzeichen) gewertet. Ein verspäteter Beginn einer Unterrichtsstunde konnte aus formalen Gründen nicht berücksichtigt werden. In Abb. 5.17 sind die Mittelwerte dieser CO<sub>2</sub>-Startwerte für jeweils alle Unterrichtsstunden der drei Schulen vor und nach der Intervention ausgewiesen. Auffällig sind in dieser Darstellung die drei sehr unterschiedlichen Anfangswerte vor der Interventionsmaßnahme, die nicht nur auf die unterschiedlichen Wetterbedingungen zurückzuführen sind, wie sie in Kapitel 5.1 beschrieben sind, vielmehr auf das allgemeine Lüftungsverhalten in der Schule, sicher aber auch auf das Schulgebäude selbst. Die Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Startwerte nach Einführung der Lüftungsempfehlungen fällt, zumindest bezogen auf die Mittelwerte, sehr unterschiedlich aus. Die größte Veränderung von 350 ppm finden wir in der Schule 2, möglicherweise ein Hinweis darauf, dass das allgemeine Lüftungsverhalten einen sehr großen Einfluss hat.



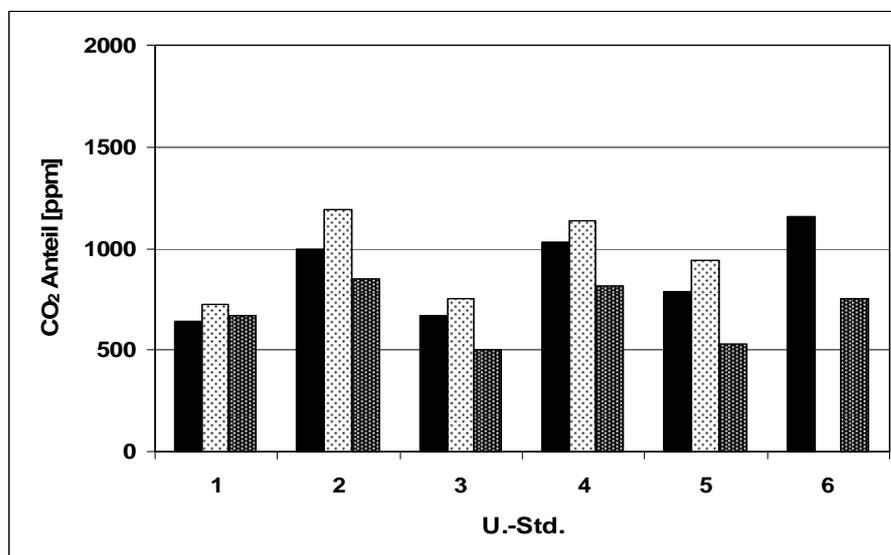
**Abb. 5.17:** Mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration zu Beginn der Unterrichtsstunden für die drei Schulen; vor (■) und nach (■) der Intervention

Mittelwerte verdecken oftmals besondere Effekte, die entweder nur mit den Originalwerten oder mittels anderer Gruppierungen gezeigt werden können. Was z.B. ergibt sich aus den vorliegenden Startbedingungen für die Unterrichtsstunden im Tagesablauf? In der Abb. 5.18 sind die Anfangswerte der Unterrichtsstunden im Tagesverlauf dargestellt, sortiert nach den drei Schulen. Auffällig sind die hohen Anfangswerte bei allen Schulen. Sie deuten auf ungenügende Lüftung schon zu Unterrichtsbeginn hin. Bei den Schulen S1 und S2 führt das Unterrichten in Doppelstunden zu einer deutlichen Erhöhung zu Beginn der 2. und 4. Stunde, da der Messwert exakt an die Zeit, nicht aber an eine mögliche Lüftungsunterbrechung gebunden ist. Aber auch an der Schule S3, in der überwiegend in Einzelstunden unterrichtet wird, hat eine kleine Pause von 5 min zwischen den Stunden nicht den notwendigen Lüftungseffekt. Zielvorstellung bleibt auch hier, den Luftaustausch soweit zu erhöhen, dass in etwa Qualität der Außenluft erreicht wird, d.h. eine CO<sub>2</sub>-Konzentration < 400 ppm.



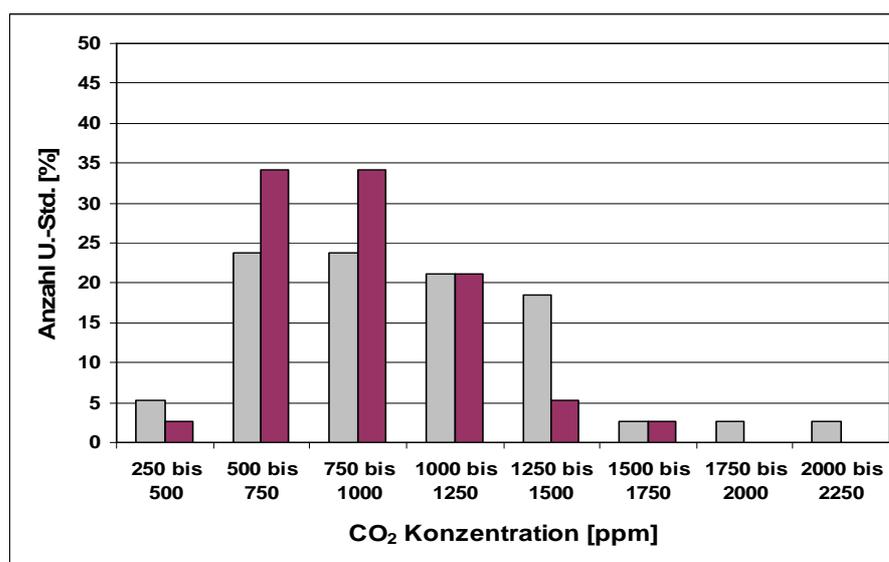
**Abb. 5.18:** CO<sub>2</sub>-Startwerte der einzelnen Unterrichtsstunden im Tagesverlauf vor Einführung der Lüftungspause, Schule 1 (■), 2 (●), 3 (■)

Vor Einführung der „Lüftungsempfehlungen“ lagen die Startwerte in keinem Fall unter 600 ppm, und damit bei nahezu dem doppelten Wert der Außenluft. Nach der Intervention konnten die Werte deutlich gesenkt werden (vgl. Abb. 5.20), aber auch hier ist der Effekt der Doppelstunden in den Schulen S1 und S2 noch sichtbar. Es werden immer noch Werte über der von Pettenkofer empfohlenen Obergrenze von 1000 ppm gemessen.



**Abb. 5.19:** CO<sub>2</sub>-Startwerte der einzelnen Unterrichtsstunden im Tagesverlauf nach Einführung der Lüftungspause, Schule 1 (■), 2 (●), 3 (▨)

An den wiedergegebenen Mittelwerten lässt sich sowohl die Veränderung über den Tag hinweg gut ablesen und ebenso die Beeinflussung durch die Lüftungsempfehlung. Doch wie wirkt sich dies auf die Anfangswerte im Einzelnen aus? Die Darstellung der Verteilung der Startwerte kann darüber Auskunft geben (vgl. Abb. 5.20 – 5.22, Tab. 5.11 – 5.13).

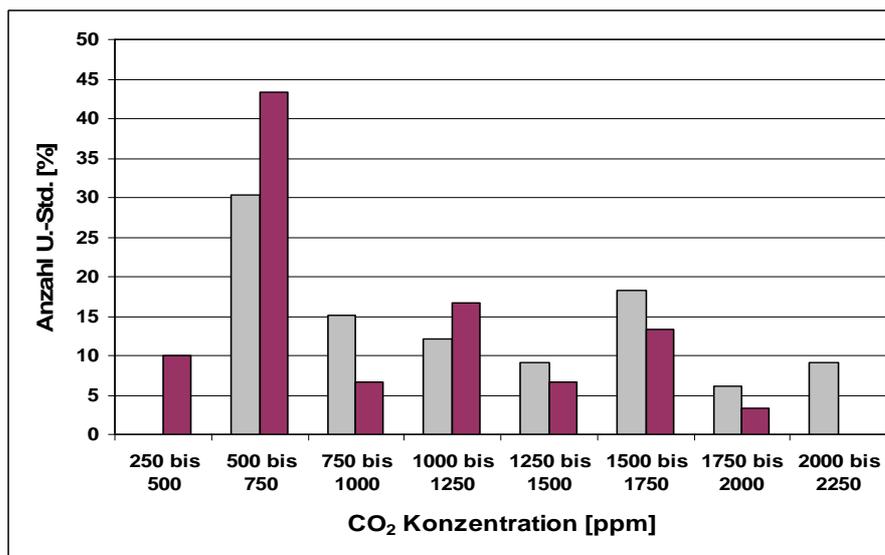


**Abb. 5.20:** CO<sub>2</sub>-Konzentration zu Beginn der Unterrichtsstunden S1; vor (■) und nach (■) Intervention

**Tab. 5.11** Anteil der Unterrichtsstunden, in denen der CO<sub>2</sub>-Startwert <750ppm bzw. >1500ppm für Schule 1 beträgt.

	< 750 ppm	> 1500 ppm
<b>Vor I.</b>	28,9 %	7,9 %
<b>Nach I.</b>	36,8 %	2,6 %

Für die Schule 2 ergibt sich das folgende Bild in Abb. 5.21 und Tab. 5.12.



**Abb. 5.21:** CO<sub>2</sub>-Konzentration zu Beginn der Unterrichtsstunden S2; vor (■) und nach (■) Intervention

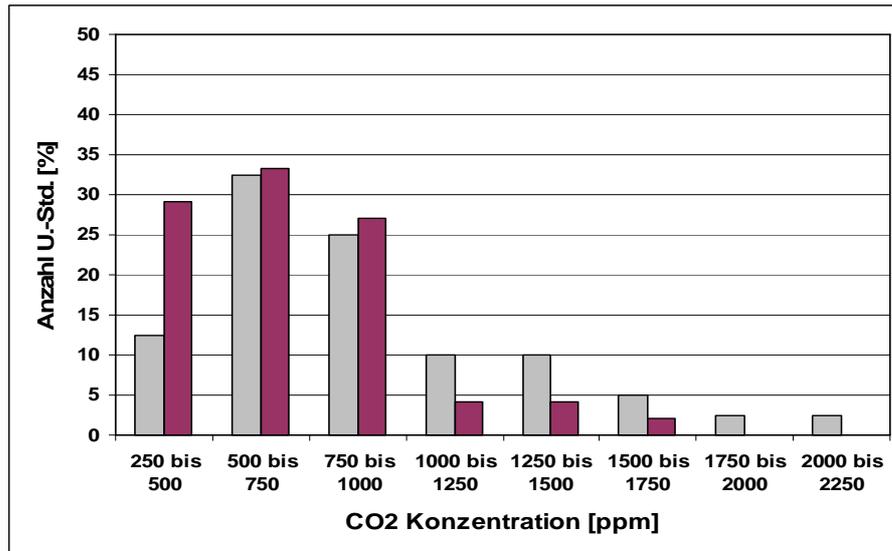
**Tab. 5.12** Anteil der Unterrichtsstunden, in denen der CO<sub>2</sub>-Startwert <750ppm bzw. >1500ppm für Schule 2 beträgt.

	< 750 ppm	> 1500 ppm
<b>Vor I.</b>	30,3 %	33,3 %
<b>Nach I.</b>	53,3 %	16,6 %

Für Schule 3 ergibt sich das folgende Bild in Abb. 5.22 und Tab. 5.13.

**Tab. 5.13:** Anteil der Unterrichtsstunden, in denen der CO<sub>2</sub>-Startwert <750ppm bzw. >1500ppm für Schule 3 beträgt.

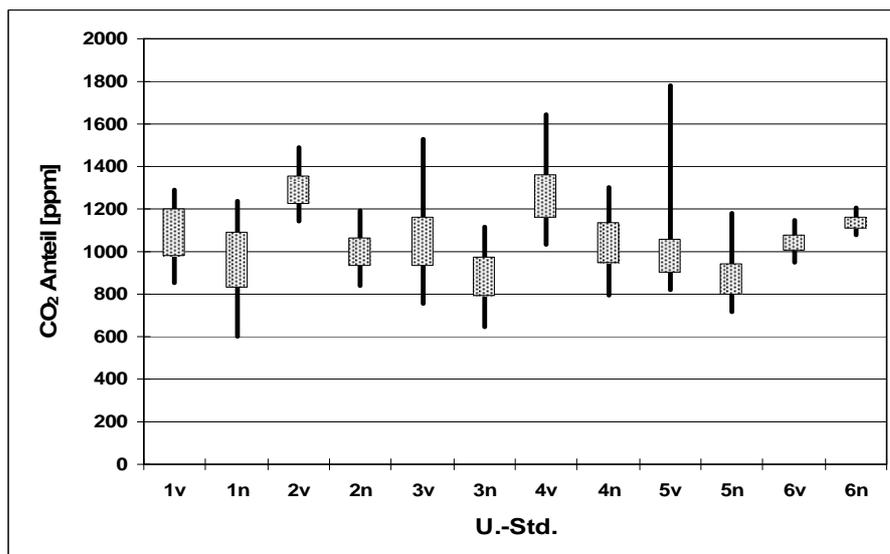
	< 750 ppm	> 1500 ppm
<b>Vor I.</b>	45,0 %	10,0 %
<b>Nach I.</b>	62,5 %	2,1 %



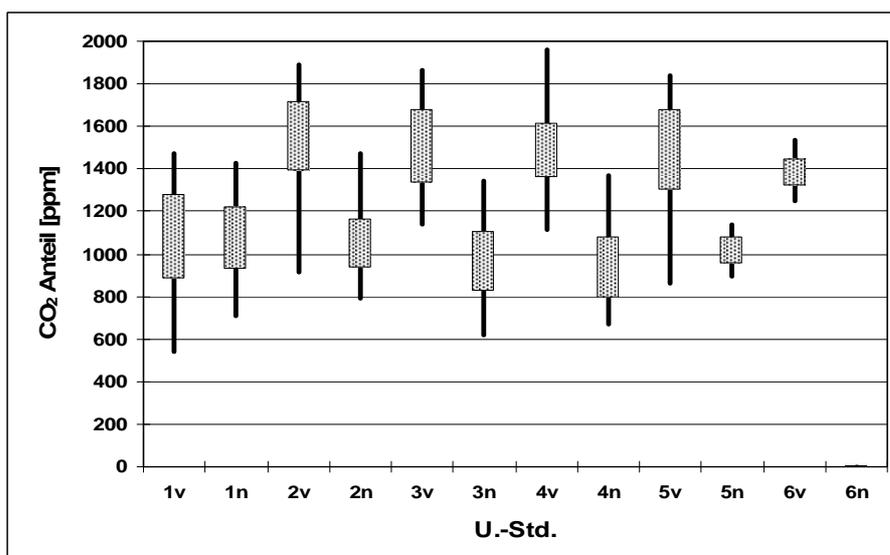
**Abb. 5.22:** CO<sub>2</sub>-Konzentration zu Beginn der Unterrichtsstunden S3; vor (■) und nach (■) Intervention

In allen drei Schulen hat eine Linksverschiebung, also ein Anwachsen der Häufigkeiten niedrigerer Anfangswerte stattgefunden. Nach Einführung der Lüftungsempfehlung beginnen zumindest in zwei Schulen mehr als 50% der Unterrichtsstunden mit Werten < 750 ppm. Dennoch gibt es an allen Schulen nach wie vor Startwerte oberhalb von 1500 ppm.

Eine Übersicht über die gesamte CO<sub>2</sub>-Belastung im Unterricht geben die nachfolgenden Grafiken je Schule in den Abb. 5.23 – 5.25 wieder. Ausgewertet wurden die Zeitreihen des CO<sub>2</sub> während der Unterrichtsstunden, sortiert nach vor (V) und nach (N) der Intervention in Bezug auf die zeitliche Dauer. Die Daten beziehen sich auf das zeitliche Auftreten der entsprechenden CO<sub>2</sub>-Konzentration. In den Grafiken stellen die Rechtecke den Bereich der CO<sub>2</sub>-Konzentration dar, der in 50% der Unterrichtszeit gemessen wurde, bezogen auf die entsprechenden 45 min. Bei stattfindenden Doppelstunden beziehen sich die Daten, sinngemäß auf die erste bzw. zweite Hälfte der U.-Std. Zum Vergleich sind in den Grafiken die Daten aus den Abschnitten vor und nach Intervention nebeneinander dargestellt (z.B. 1v und 1n).

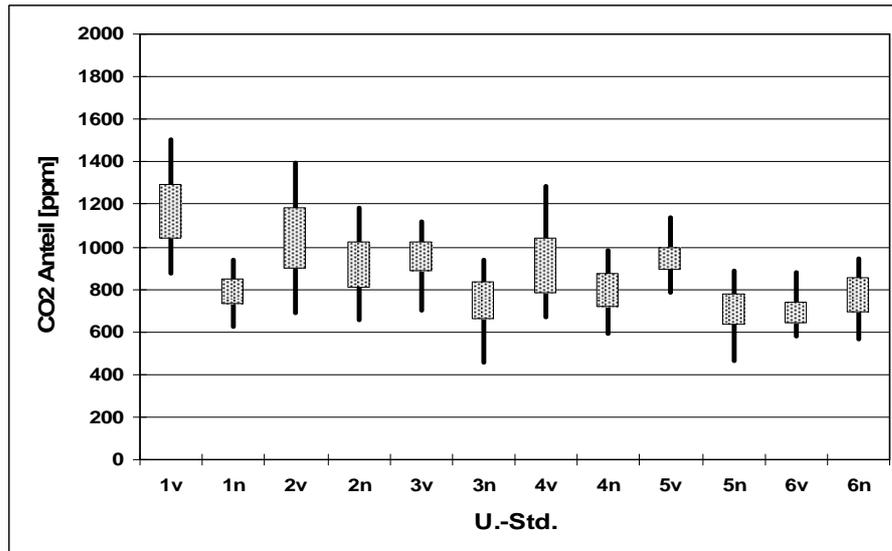


**Abb. 5.23:** CO<sub>2</sub>-Anteile in den Unterrichtsstunden der Schule 1, vor (v) und nach (n) der Intervention, dargestellt sind CO<sub>2</sub>min, CO<sub>2</sub>max, Bereich CO<sub>2</sub>-Konzentration in 50% der Unterrichtszeit (☉)



**Abb. 5.24:** CO<sub>2</sub>-Anteile in den Unterrichtsstunden der Schule 2, vor (v) und nach (n) der Intervention, dargestellt sind CO<sub>2</sub>min, CO<sub>2</sub>max, Bereich CO<sub>2</sub>-Konzentration in 50% der Unterrichtszeit (☉)

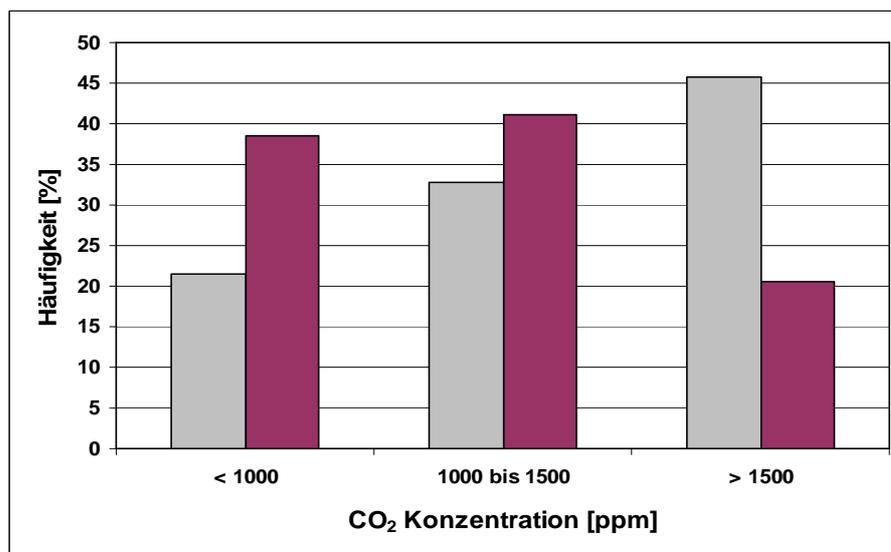
In allen drei Schulen zeigt sich nach Einführung der Intervention „Lüften“ ein deutliches Absinken der CO<sub>2</sub>-Konzentration, ohne dabei den Grad des Lüftens zu berücksichtigen. In den Schulen 1 und 2 mit Unterricht in Doppelstunden fehlt darüber hinaus das Ansteigen von der 1. zur 2. Hälfte. Den Angaben für die 5. und 6. Stunde dieser beiden Schulen muss Repräsentativität abgesprochen werden, da jeweils nicht mehr als 3 Stunden erfasst werden konnten. In den Grundschulen endet der Unterricht in der Regel nach der 4. Stunde.



**Abb. 5.25:** CO<sub>2</sub>-Anteile in den Unterrichtsstunden der Schule 3, vor (v) und nach (n) der Intervention, dargestellt sind CO<sub>2</sub>min, CO<sub>2</sub>max, Bereich CO<sub>2</sub>-Konzentration in 50% der Unterrichtszeit (hatched box)

#### *Senkung der Maximalpegel von CO<sub>2</sub> durch Lüftungsregel*

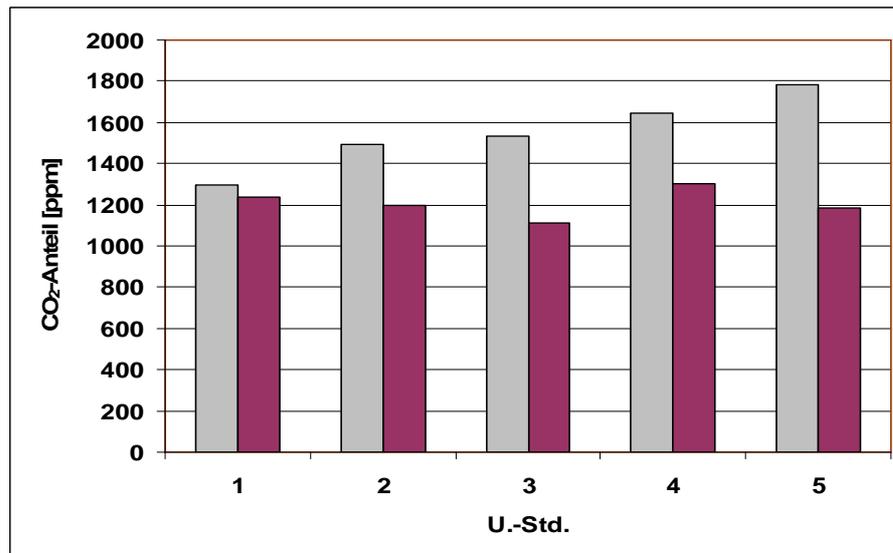
Zwei „Grenzwerte“ der CO<sub>2</sub>-Konzentration sind für die weiteren Betrachtungen von Interesse, der Pettenkofer-Wert von 1000 ppm sowie der Grenzwert der DIN 1946 von 1500 ppm. Eine Analyse der einzelnen Unterrichtsstunden ergibt ein klareres Bild, bezogen auf die tatsächlich gemessenen Maximalpegel. In der Abb. 5.26 sind alle beobachteten Unterrichtsstunden an allen drei Schulen enthalten. Hier wird die Verbesserung des Klimas deutlich.



**Abb. 5.26:** Verteilung der CO<sub>2</sub>-Maxima im Unterricht über alle Unterrichtsstunden an allen Schulen; vor (grey) und nach (maroon) Intervention

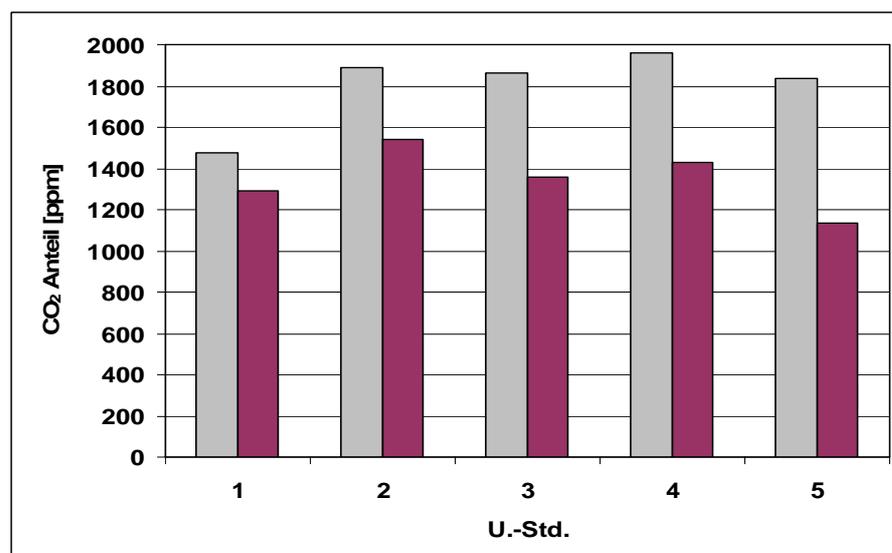
Während vor der Einführung einer Lüftungsmaßnahme noch in 45,7 % der Unterrichtsstunden Pegel über 1500 ppm gemessen wurden, sind es nachher nur noch 20,5 %. Betrachtet man den von Pettenkofer vorgeschlagenen Wert von 1000 ppm als Grenze der Behaglichkeit, so liegt das Maximum vor der Interventionsmaßnahme nur in 21,5 % der U.-Std. (gemeint ist: Unterrichtsstunde), danach jedoch in 38,5 % unterhalb dieses Wertes. In der DIN 1946 wird dieser Wert ebenfalls als Beginn von „Befindlichkeitsbeeinträchtigung“ bezeichnet.

Die Maximalwerte der CO<sub>2</sub>-Belastung in Schule 1 zeigt die folgende Abb. 5.27.



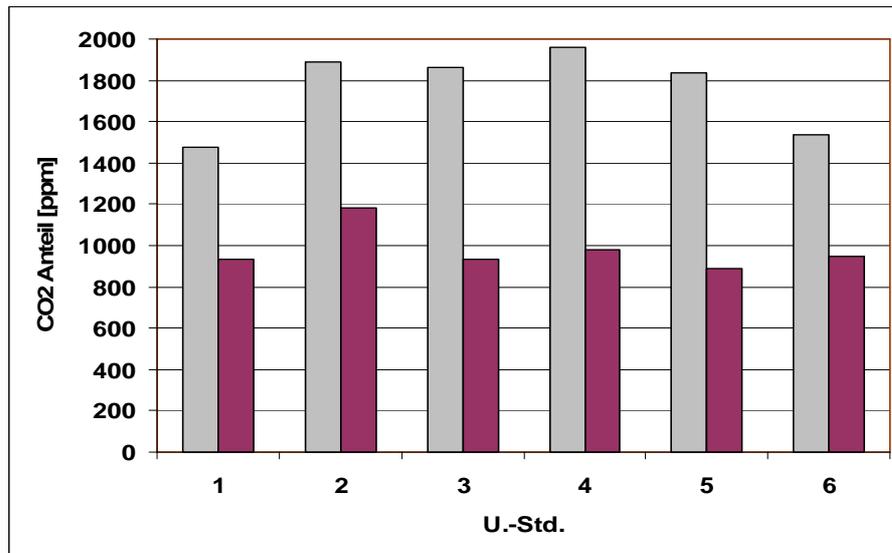
**Abb. 5.27:** CO<sub>2</sub>-Maximalwerte über den Unterrichtstag für Schule 1, vor (■) und nach (■) Intervention

Die Maximalwerte der CO<sub>2</sub>-Belastung in Schule 2 zeigen ein anderes Bild als für Schule 1.



**Abb. 5.28:** CO<sub>2</sub>-Maximalwerte über den Unterrichtstag für Schule 2, vor (■) und nach (■) Intervention

Die Veränderung der Maximalwerte der CO<sub>2</sub>-Belastung in Schule 3 fällt auf.



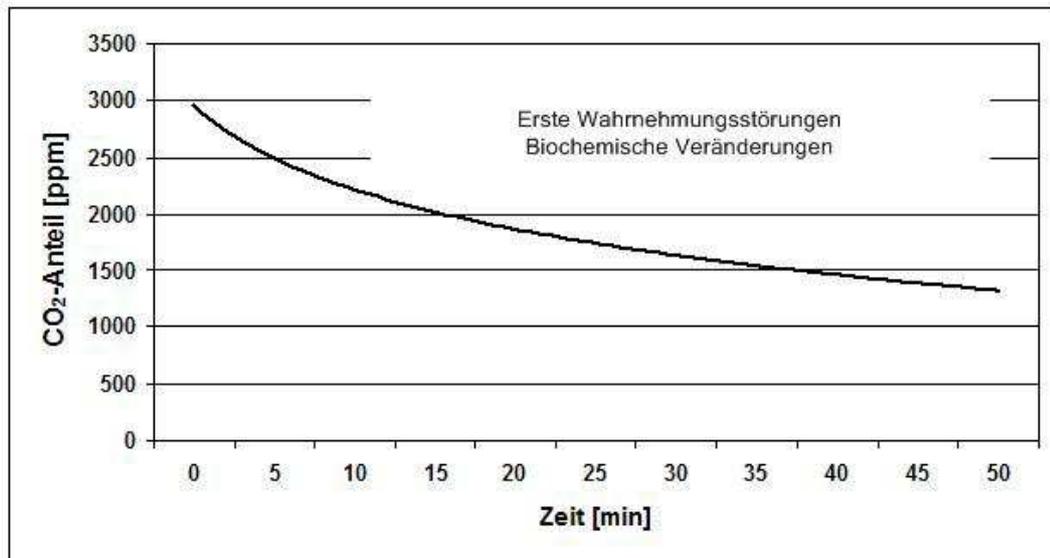
**Abb. 5.29:** CO<sub>2</sub>-Maximalwerte über den Unterrichtstag für Schule 3, vor (■) und nach (■) Intervention

Für die Maximalwerte gilt – bezogen auf die Doppelstunden - prinzipiell das Gleiche, wie für alle bisherigen Betrachtungen. Für die Schule 1 ist auffällig, dass der Wert von der 1. bis zur 5. U.-Std. kontinuierlich ansteigt, aber in keinem Fall die Amplitude der Schule 2 erreicht. In der Schule 3 liegen die Maximalwerte dagegen, mit Ausnahme der 1. U.-Std., immer deutlich niedriger als in den beiden anderen Schulen. Möglicherweise wird hier der Unterschied durch die Bausubstanz deutlich. Die Bedingungen in der 1. U.-Std. werden sicher sehr viel stärker durch das Lüftungsverhalten vor Beginn des Unterrichtstages bestimmt (vgl. Startbedingungen).

Der Effekt der Interventionsmaßnahmen zeigt sich neben der Verringerung der Zeitanteile hoher CO<sub>2</sub>-Belastung auch in einer deutlichen Reduzierung der Maximalwerte, die zumindest in den Mittelwerten in allen Schulen unter 1500 ppm liegen.

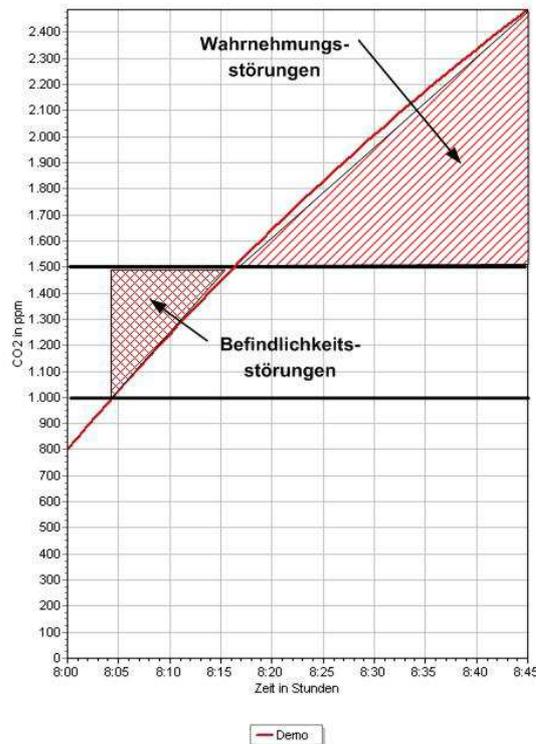
#### *Konsequenzen der CO<sub>2</sub> Konzentration für den Unterricht*

Nicht nur der absolute Wert die Intensität einer Belastung ist von Bedeutung, vielmehr auch die zeitliche Dauer der Belastung, also ihre Intensität. In der Abb. 5.30 ist der Zusammenhang zwischen Zeit und Ausmaß der Intensität der CO<sub>2</sub>-Belastung dargestellt, nach „Bioastronautics Data Book“ (NASA SP-3008, 1973) wiedergegeben. Oberhalb der dargestellten Grenzkurve kommt es zu ersten Wahrnehmungsstörungen, die auf biochemischer Ebene nachweisbar sind. Auf die 45 min Unterrichtsstunde bezogen bedeutet dies in jedem Fall, dass der Wert nach DIN 1946 zu hoch angesetzt ist.



**Abb. 5.30:** CO<sub>2</sub>-Belastungsgrenze abhängig von der Dauer der Belastung (NASA SP-3008)

Überträgt man die Wirkung der beiden Referenzwerte auf den in Abb. 5.16 dargestellten Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum unter der für die Bedingung „leichter Aktivität“, so ergeben sich drei Zeitbereiche im Unterricht, die durch unterschiedliche Konzentrationsfähigkeit bzw. Aufmerksamkeit aller Beteiligten gekennzeichnet sind (vgl. Abb. 5.31). Jeden Pädagogen muss dieses Bild sehr nachdenklich stimmen.

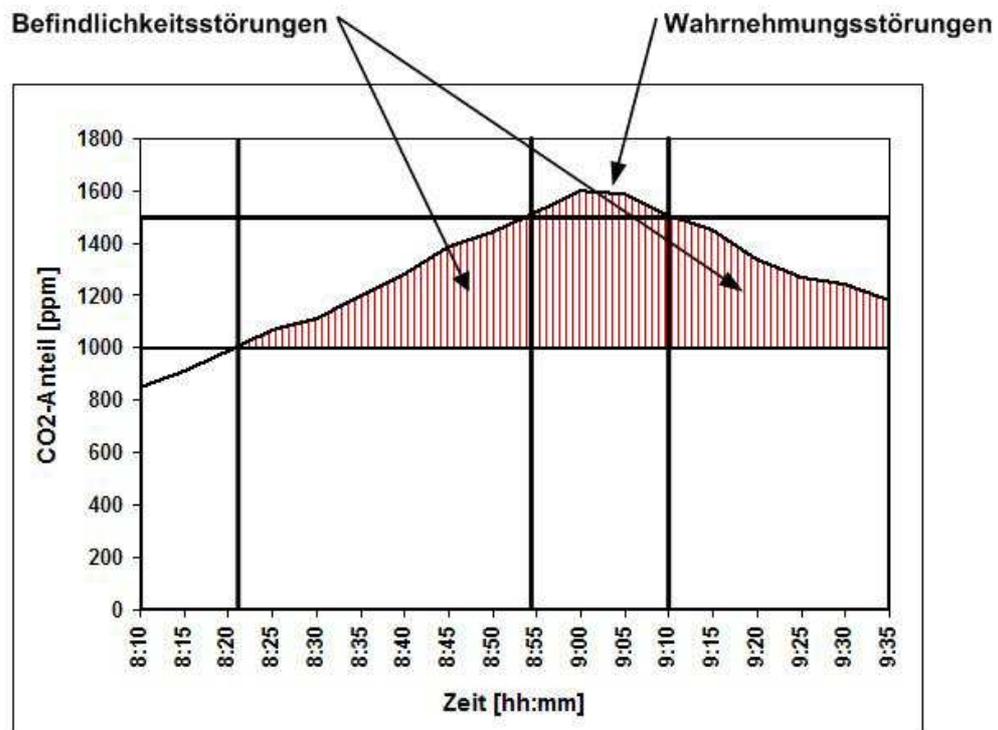


**Abb. 5.31:** Modellrechnung der CO<sub>2</sub>-Entwicklung im Klassenraum für 25 Schüler im Grundschulalter ohne körperliche Aktivität (QUIRL/CO<sub>2</sub>)

In der Konsequenz besagt diese Übertragung dass:

- nur in den ersten 5 min ungestörtes Arbeiten mit voller Aufmerksamkeit möglich ist
- in den folgenden 10 min (muss) mit geringer Beeinträchtigung der Aufmerksamkeit gerechnet werden muss,
- in den letzten 30 min erste Wahrnehmungsstörungen mit allen daraus entstehenden Folgen auftreten werden. D. h. in mehr als 60% der Unterrichtszeit ist bei den Schülern mit mehr oder weniger deutlichen Wahrnehmungsstörungen zu rechnen.

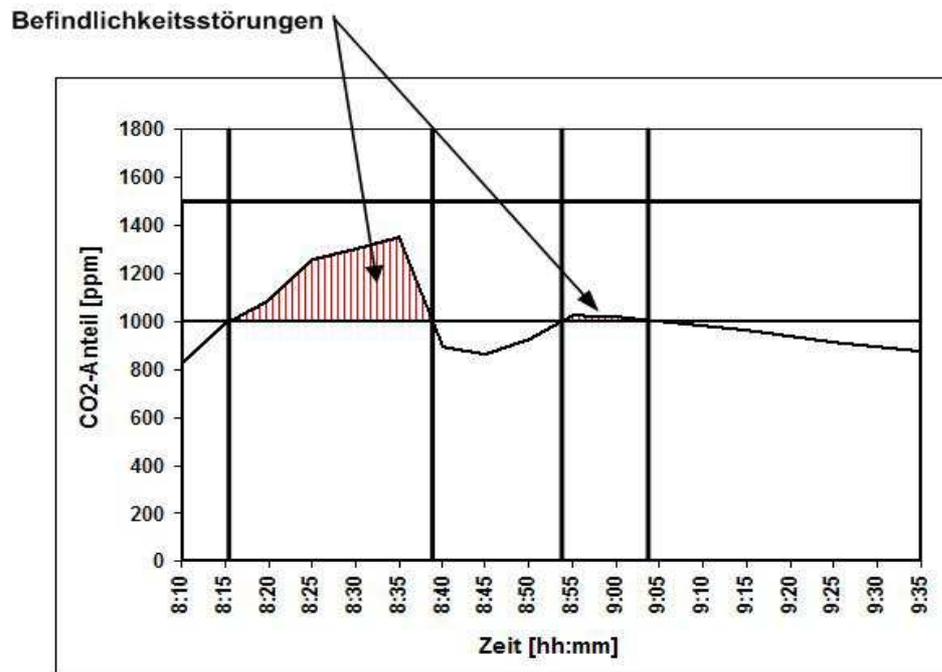
In der Realität sehen die von uns ermittelten Verläufe der CO<sub>2</sub>-Konzentration nicht ganz so dramatisch aus. Schließlich sind in allen Unterrichtsstunden auch vor Einführung der Lüftungsempfehlung kleinere Lüftungsunterbrechungen vorgenommen worden, und sei es nur durch Kipplüftung.



**Abb. 5.32:** CO<sub>2</sub>-Belastung im Unterricht, Beispiel einer Doppelstunde vor Intervention

Am Beispiel zweier Unterrichtsstunden wird dieser Bereich in den Abb. 5.32 und 5.33 dargestellt. Vor Einführung der Lüftungspause bedeutet dies für die 90-minütige Unterrichtsstunde:

- 17% der Zeit unter optimalen Bedingungen
- 61% der Zeit mit leichten Beeinträchtigungen
- 22% der Zeit mit Störungen der Wahrnehmung

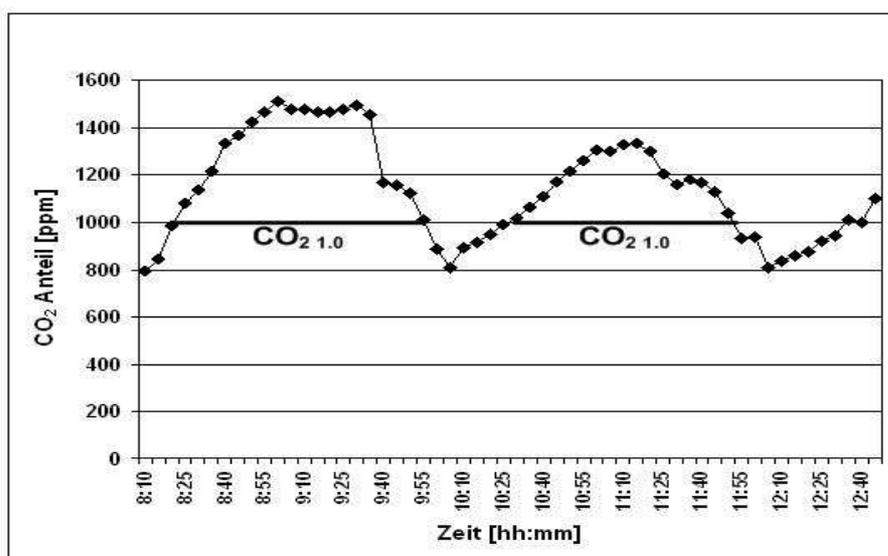


**Abb. 5.33:** CO<sub>2</sub>-Belastung im Unterricht, Beispiel einer Doppelstunde nach Intervention

Nach Einführung der Lüftungspausen sind die Arbeitsbedingungen für die gleiche Klasse deutlich verbessert:

61% der Zeit unter optimalen Bedingungen  
39% der Zeit mit leichten Beeinträchtigungen

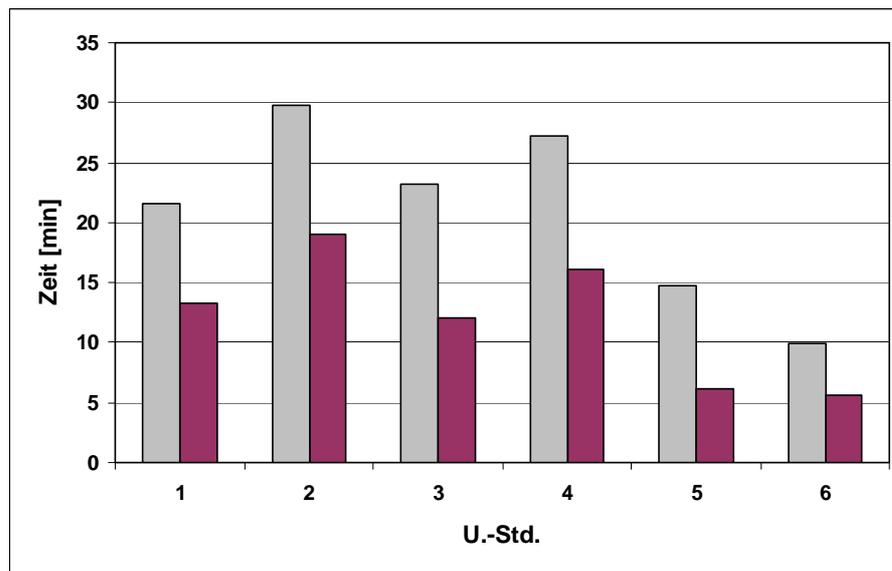
Ausgehend von den bisher benutzten Grenzwerten – Pettenkofer 1000 ppm und DIN 1946 1500 ppm CO<sub>2</sub> – wurden die Zeiten im Unterricht ermittelt, in denen diese Grenzwerte überschritten wurden.



**Abb. 5.34:** Ermittlung des Zeitanteils mit einer CO<sub>2</sub>-Konzentration > 1000 ppm

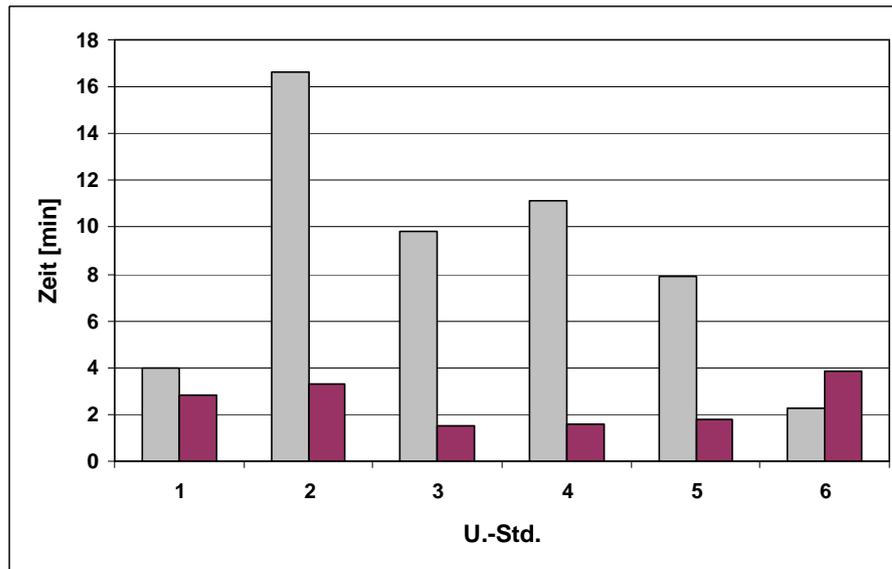
Eine Mittelung dieser Werte über die jeweiligen Unterrichtsstunden nach Schulen sortiert, ist in den nachfolgenden Abbildungen zu sehen. Die beiden Grafiken zeigen die Unterrichtszeiten, in denen die beiden Grenzwerte überschritten wurden, wobei dies Mittelwerte über alle entsprechenden Unterrichtsstunden aller Schulen sind, hier ist keine Differenzierung nach Jahrgangsstufe bzw. Schulgebäude vorgenommen worden.

Auch wenn eine Mittelwertdarstellung über alle beteiligten Schulen nur begrenzten Aussagewert besitzt, so spiegelt diese den gesamten Effekt der „Lüftungsempfehlung“ wider. In der Abb. 5.35 sind die Zeitanteile der Unterrichtsstunden dargestellt, in denen der CO<sub>2</sub>-Anteil über 1000 ppm lag, in der Abb. 5.36 die Zeitanteile über 1500 ppm.



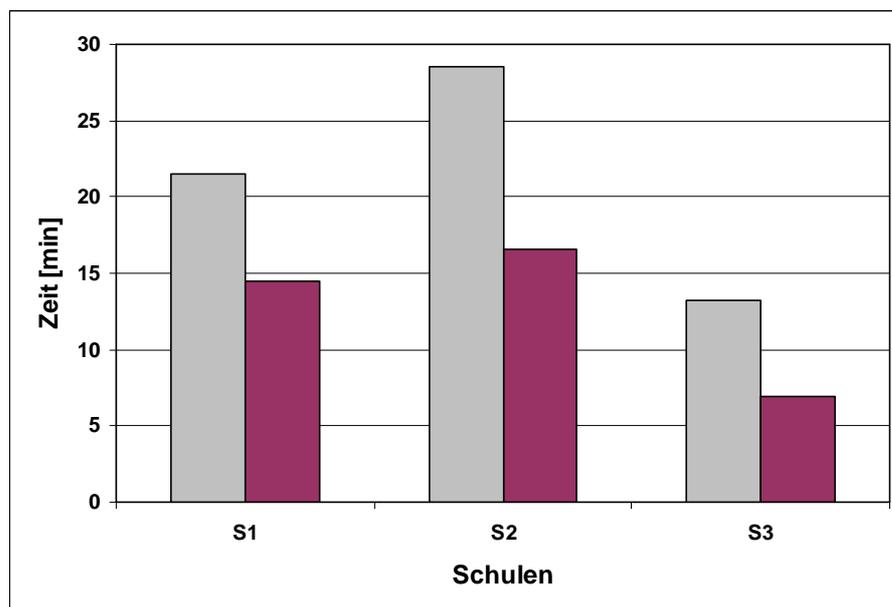
**Abb. 5.35:** Zeitanteile im Unterricht mit CO<sub>2</sub> > 1000 ppm, alle Schulen nach Unterrichtsstunden, vor (■) und nach (■) Intervention

Bei dem von Pettenkofer als Grenze angegebenen Wert finden wir z.B. für die 2. Unterrichtsstunde eine Verringerung von 30 min auf 18 min, damit eine Reduzierung von 2/3 der Unterrichtszeit auf gut 1/3. Hier ist aber auf Grund der sehr unterschiedlichen Gebäudestrukturen noch eine weitere Differenzierung nach den jeweiligen Schulen notwendig.



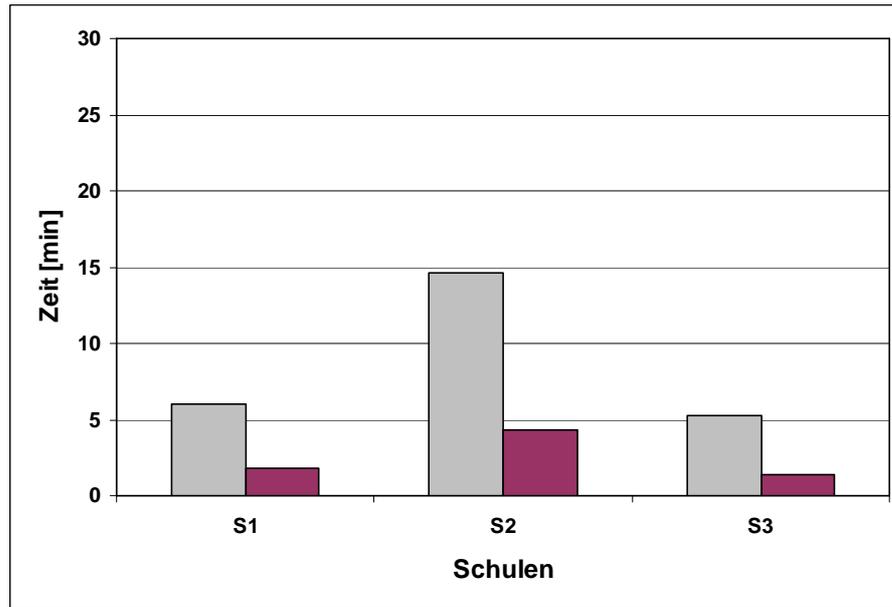
**Abb. 5.36:** Zeitanteile im Unterricht mit  $\text{CO}_2 > 1500$  ppm, alle Schulen nach Unterrichtsstunden, vor (■) und nach (■) Intervention

Der Richtwert der ArbStV wird vor Einführung der „Lüftungspause“ insbesondere in der 2. U.-Std. im Mittel in 16 min überschritten, nach der Intervention nur noch 3 min, eine deutliche Verbesserung. Die unverkennbar günstigere Situation der Belastung im Mittelwert über alle Schulen kann auch für jede einzelne Schule gezeigt werden.



**Abb. 5.37:** Zeitanteile im Unterricht mit  $\text{CO}_2 > 1000$  ppm, nach Schulen, vor (■) und nach (■) Intervention

Auch in dieser Betrachtung der zeitlichen Belastung durch höhere  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen ist die deutliche Verbesserung der Arbeitssituation zu erkennen, auch wenn sich für die drei Schulen die absolute Belastung sehr unterscheidet. Gleiches gilt für die Überschreitung der Grenze von 1500 ppm, wie der folgenden Grafik zu entnehmen ist.



**Abb. 5.38:** Zeitanteile im Unterricht mit CO<sub>2</sub> > 1500 ppm, nach Schulen, vor (■) und nach (■) Intervention

In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 5.14) sind die Zeiten zur Veranschaulichung als relative Anteile der Unterrichtszeit ausgewiesen. Auch hier werden die Schulunterschiede wieder sehr deutlich. Sie sind einerseits auf den Unterricht in Doppelstunden bei den beiden Grundschulen zurückzuführen, andererseits aber auch auf die unterschiedlichen Rahmenbedingungen durch das Wetter.

**Tab. 5.14:** Zeitanteile in % der Unterrichtszeit mit höherer CO<sub>2</sub>-Belastung

Zeitanteil	> 1000 ppm			> 1500 ppm		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
<b>Vor I.</b>	47,79%	63,47%	29,33%	13,40%	32,50%	11,63%
<b>Nach I.</b>	36,16%	36,93%	15,35%	3,89%	9,69%	3,07%

Geht man vom oberen Richtwert der DIN 1946 von 1500 ppm aus, zeigt sich ein erheblicher Gewinn an ergiebigerer Unterrichtszeit. Bei einem typischen Unterrichtstag in der Grundschule mit 4 Unterrichtsstunden bedeutet dies einen Nutzen von ca. 17 min in der Schule 1. Man mag das nicht unbedingt als besonders eindrucksvoll empfinden, aber es bleibt ein Gewinn. In der Schule 2 dagegen werden die Arbeitsbedingungen von Schülern und Lehrern mit 41 min fast im Umfang einer ganzen Unterrichtsstunde pro Tag wesentlich verbessert. In der Schule 3 mit typisch 6 Unterrichtsstunden je Tag beläuft sich der Gewinn an ertragreicherer Unterrichtszeit – im Mittel – immerhin auf 23 min. Als Gegenrechnung dazu muss hier zwar die Lüftungspause von 2 min je Unterrichtsstunde subtrahiert werden. Es bleibt für alle Fälle ein deutlich positiver Effekt der einfachen Maßnahme: Lüftung nach 20 min Unterricht! Es bleibt aber für alle Beobachtungen ein positives Ergebnis.

Die Rechnung fiel nominal noch günstiger aus, bezöge man die Grenze von 1000 ppm in die Erörterung mit ein. Doch beide Grenzwerte bilden zunächst nur Fixpunkte für eine Deduktion von Erwartungen für höhere kognitive Leistung unter günstigeren raumklimatischen Bedingungen. Sie sind natürlich erst relevant, wenn aus Verbesserungen der raumklimatischen Bedingungen im Unterricht auch tatsächlich Leistungssteigerung folgen oder damit einleuchtend in Verbindung zu bringen sind. Dieser Frage ist im Weiteren nachzugehen.

Welche Auswirkungen diese Verbesserung der Raumluft nun auf den Arbeitsprozess und die darin eingebundenen Menschen hat, soll im Folgenden dargestellt werden.

## **5.4. Folgen der Belastungsänderung**

Belastung hat generell messbare Beanspruchung zur Folge. Das ist oben genauer erklärt worden. Das beste Maß dafür ist die Herzfrequenz, die in diesem Projekt kontinuierlich aufgezeichnet worden ist. Eine von anderen Beanspruchungsformen ist Leistungsminderung durch Ermüdung. Sie kann jedoch nicht wie die Herzfrequenz unmittelbar gemessen werden. Auf Ermüdung kann sowohl aus einer Analyse der Herzfrequenz(en) als auch aus Leistungsminderung z.B. in der Aufmerksamkeit zurück geschlossen werden. Auch im Verhalten der beteiligten Schüler könnten Ermüdungsfolgen sichtbar werden, z.B. in zunehmender Neigung zu Störungen. Darüber hinaus können die Beteiligten nach ihren Müdigkeitsempfindungen gefragt werden, denn schließlich ist Müdigkeit vor allem eine subjektive Empfindung. Über diese Parameter und ihre vermutete Veränderung in der Zeit unter verabredeter Belastungsveränderung: Minderung des CO<sub>2</sub> Gehalts der Atemluft im Unterricht – und damit unvermeidbar Einführung einer zusätzlichen Kurzpause ist zunächst zu berichten.

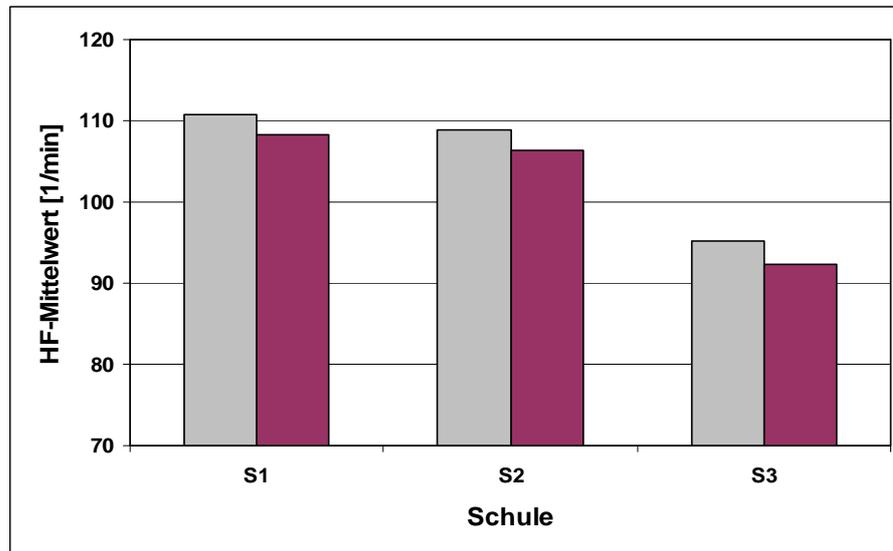
Doch Mess- und Befragungsergebnisse sowie auch Verhaltensbeobachtungen der Schüler können nicht nur, sondern sollen vor allem mit der Veränderung der Belastungsvariablen CO<sub>2</sub> Gehalt der Atemluft sowie der Arbeitsformen im Unterricht parallelisiert werden und darauf geprüft werden, ob sich die in den Hypothesen formulierten Effekte zeigen. Dazu sind zunächst die Verläufe der einzelnen Messungen und Beobachtungen vorzustellen, die dann anschließend in die durch das Design ermöglichte zeitliche Beziehung zueinander gesetzt werden.

### **5.4.1 Herzfrequenz**

Das Ermüdungsprojekt folgt in Entwicklung und Messung der Parameter dem Belastungs-Beanspruchungskonzept. Aus Belastung durch Arbeitsaufgabe bzw. Arbeitsauftrag und den Belastungsvariablen Arbeitsbedingungen wie CO<sub>2</sub>-Konzentration folgt Beanspruchung. Die kann insbesondere in Form der Herzfrequenz gemessen werden. Es gibt weitere Indikatoren, wie Hormonausschüttungen, die aber im Rahmen des Projekts nicht erfasst werden konnten. Zudem handelt es sich bei der Herzfrequenz um einen sehr guten Indikator für Beanspruchung, der zudem einer kontinuierlichen Messung sehr gut zugänglich ist.

Wie unter Kap. 4.1.5 bereits ausgeführt, bedient sich die Arbeitswissenschaft sehr oft der Herzfrequenz als Beanspruchungsindikator in Arbeitsprozessen. So wird auch

hier die Herzfrequenz der Schüler als Maß für die Intensität der Beanspruchung eingesetzt. Der Nachteil dieses Parameters liegt in der großen Individualität, d.h. das mittlere Niveau hängt stark ab von der rein physiologischen Leistungsfähigkeit, dem Trainingszustand. Hinzu kommt die Reaktivität in unterschiedlichen Belastungssituationen, d.h. wie verändert sich die Herzfrequenz bei einer bestimmten Art der Belastung. Damit gibt die Herzfrequenz auch Auskunft über Aktivierungs- und Ermüdungsprozesse.



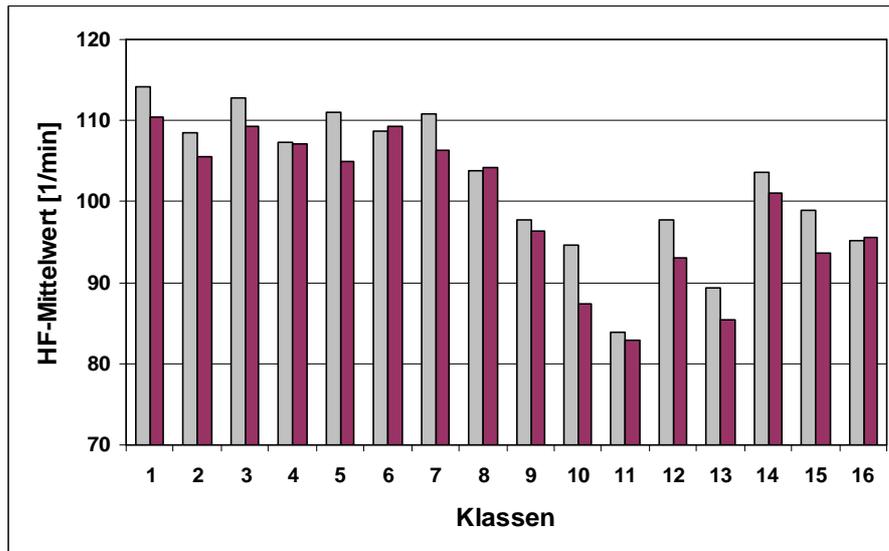
**Abb. 5.39:** Mittlere Beanspruchung im Unterricht, dargestellt als Mittelwert der Herzfrequenz (HF) über alle Unterrichtsstunden der Schulen, vor (■) und nach (■) der Intervention

In der Abb. 5.39 sind die Mittelwerte aller Schüler über alle Klassen der einzelnen Schulen vor und nach Einführung der „Lüftungspause“ dargestellt. Die Veränderungen scheinen vermutlich aber auf die großen individuellen Unterschiede bei den Schülern zurück zu führen zu sein. In der Tab. 5.15 sind die Werte noch einmal numerisch dargestellt.

**Tab. 5.15:** Mittelwerte der HF für alle Schüler vor und nach der Intervention

	S1	S2	S3
vor I.	111,76	109,82	95,34
nach I.	108,92	104,83	93,34

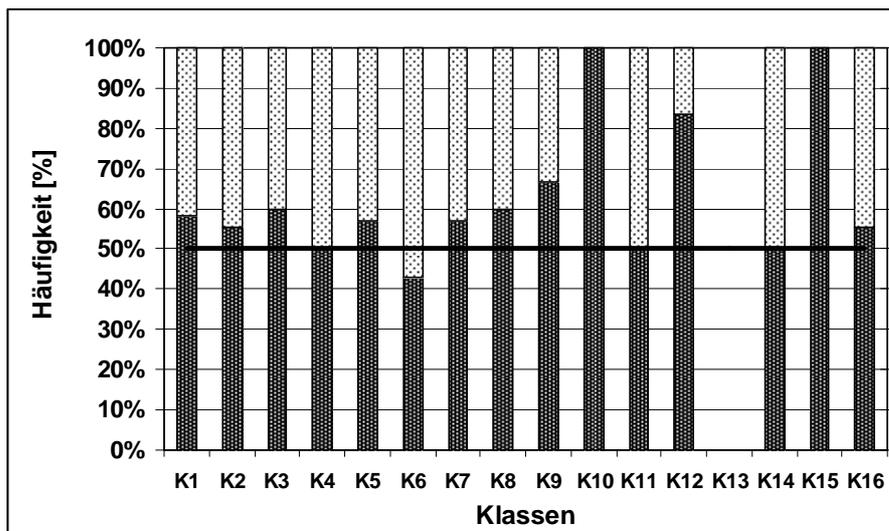
Eine Aufteilung nach den einzelnen Klassen, wie in Abb. 5.40 gezeigt, gibt die Wirkung auf klarer umrissene Personengruppen wieder.



**Abb. 5.40:** Mittlere Beanspruchung im Unterricht, dargestellt als Mittelwert der Herzfrequenz (HF) über alle Unterrichtsstunden der Klassen, vor (■) und nach (■) der Intervention

Die Verwendung von Mittelwerten der Herzfrequenz, siehe Abb. 5.40, scheint auf Grund der teilweise großen individuellen Unterschiede generell nur bedingt aussagekräftig zu sein. So können z.B. einzelne sehr hohe Werte den Mittelwert deutlich verschieben und damit Veränderungen vortäuschen, die möglicherweise völlig andere Ursachen haben als die hier vorgenommene Intervention. Es gilt jedoch die Regel höherer Herzfrequenz bei jüngeren Schülern im Vergleich mit älteren.

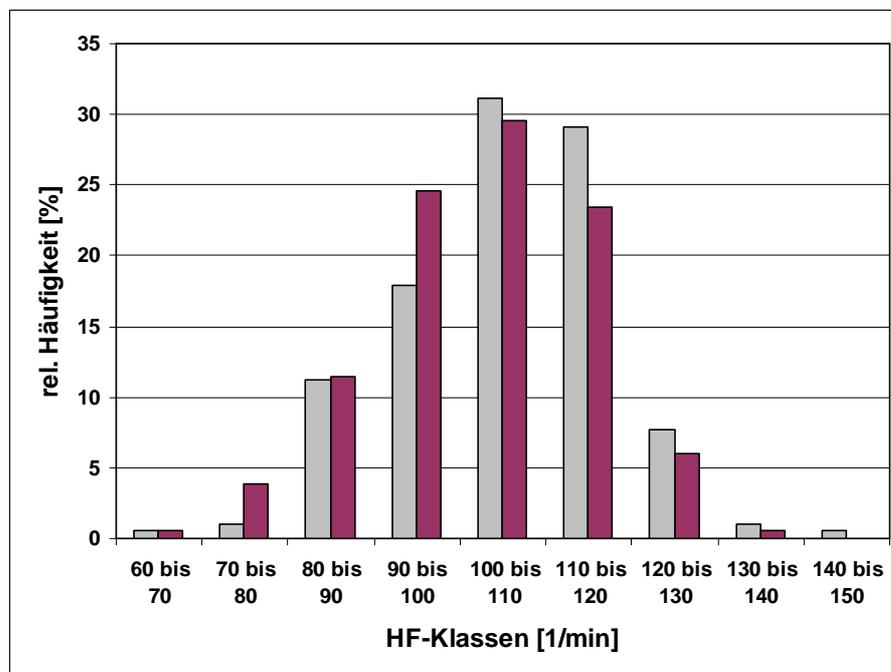
Betrachtet man nur die Schüler, die in den Klassen jeweils vor und nach der Intervention teilgenommen haben, so kann für diese die Veränderung der Beanspruchung durch Differenzbildung der jeweiligen HF-Mittelwerte berechnet werden.



**Abb. 5.41:** Anzahl der Schüler mit geringerer (■) und größerer (■) individueller Beanspruchung im Vergleich vor und nach der Lüftungsintervention

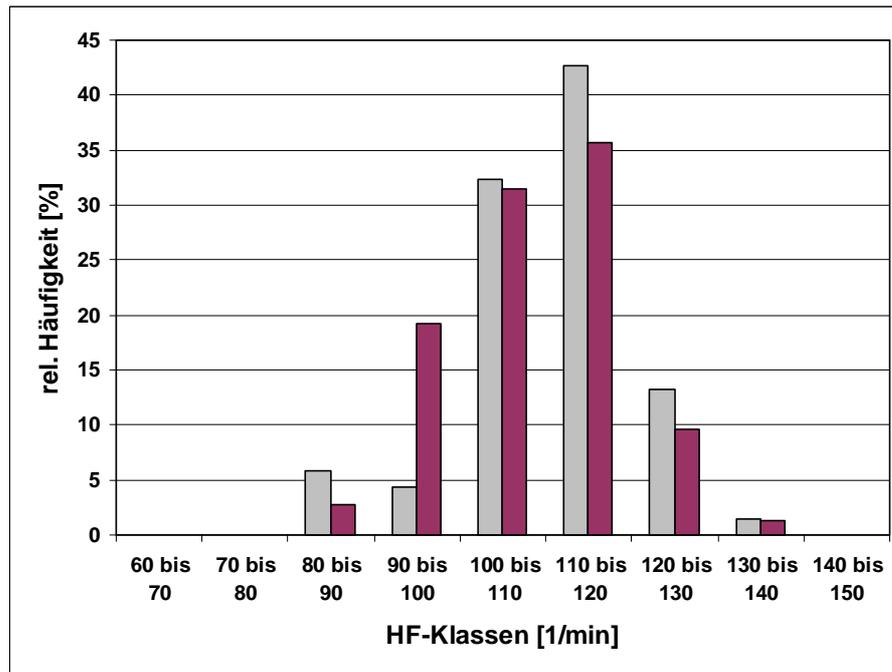
Die Anteile von Schülern, bei denen eine Reduzierung der Beanspruchung stattfand, bzw. eine Erhöhung, sind in Abb. 5.41 aufgezeigt. Lediglich in der Klasse 13 fehlen diese Daten, da vor und nach der Intervention jeweils andere Schüler an der HF-Aufzeichnung teilgenommen haben. In elf der insgesamt 15 auswertbaren Klassen ist bei mehr als der Hälfte der Schüler nach der Intervention eine Reduzierung der Beanspruchung zu finden, in zwei Klassen sogar bei allen Schülern.

Um ein differenzierteres Bild der Veränderung der Beanspruchung zu bekommen, wird mit der Verteilung der gesamten HF-Daten, die als 5 min Mittelwerte vorliegen, eine vergleichende Betrachtung der beiden Situationen vorgenommen. Dies ist in der Abb. 5.41 für alle beteiligten Schüler, in den Abb. 5.42 bis 5.48 für jede einzelne Schule erfolgt. Die Verschiebung der Verteilungen zu niedrigeren Werten der HF ist nicht immer sofort zu erkennen, was auf die recht grobe Klassenbildung mit einer Schrittweite von 10 1/min zurück zu führen ist. Kleinere Klassen würden ein größeres N an Probanden erfordern, als es hier vorliegt. Immerhin zeigt sich in der Gesamtverteilung über alle Schulen und Altersstufen eine Verschiebung um etwa eine Klassenbreite von 10 Schlägen/min.

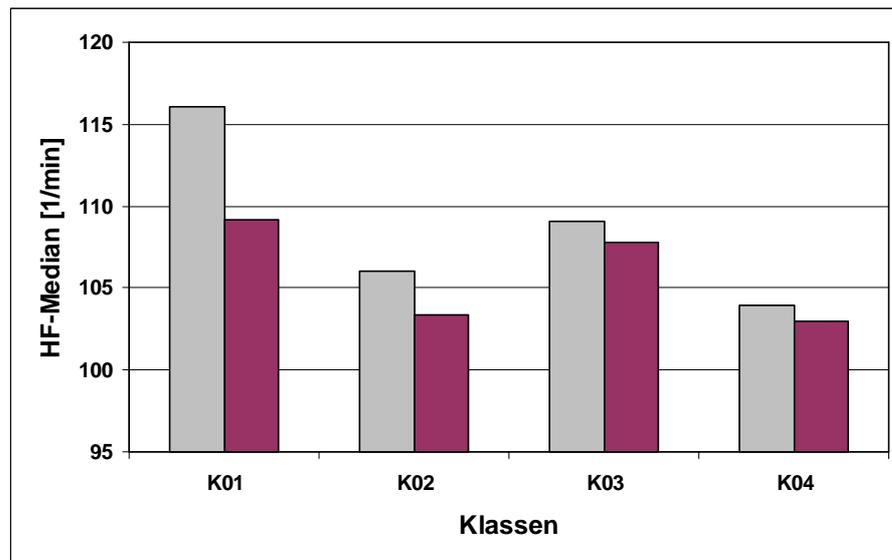


**Abb. 5.42:** Verteilung der HF-Daten über alle beobachteten Unterrichtsstunden an allen Schulen, vor (■) und nach (■) der Intervention

In der Verteilung der HF-Daten aller Schüler wird die Verschiebung zu niedrigerer Beanspruchung deutlich. Während das Maximum nach wie vor in der Klasse 100 bis 110 Schläge/min liegt, hat sich der Anteil in der nächst höheren Klasse zu Gunsten der niedrigeren reduziert. Immerhin eine Verschiebung um 20 Schläge/min. Damit wird die Verschiebung der Beanspruchung, wie sie zuvor in Abb. 5.41 dargestellt ist, bestätigt.

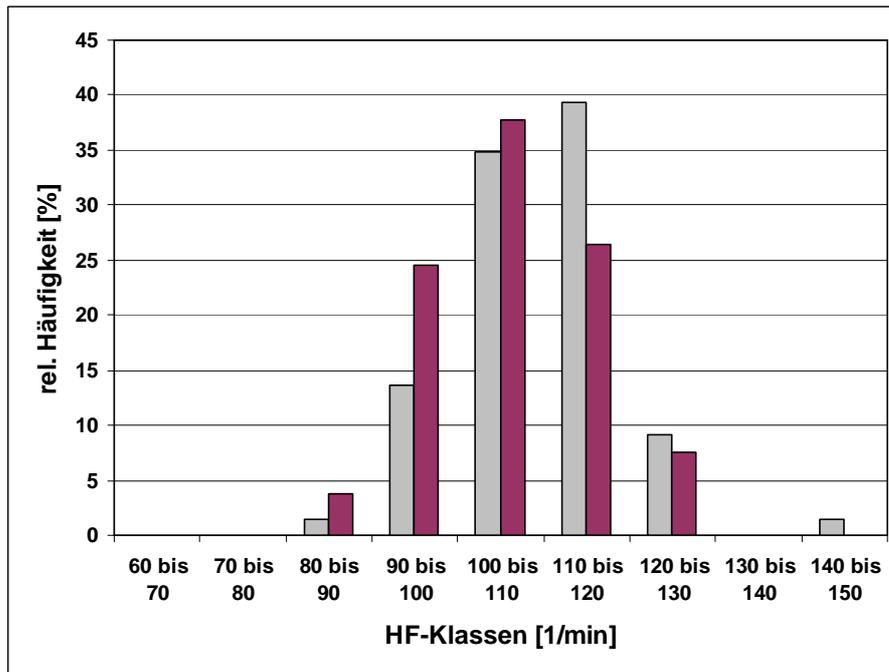


**Abb. 5.43:** Verteilung der HF-Daten über alle beobachteten Unterrichtsstunden an Schule 1, vor (■) und nach (■) der Intervention

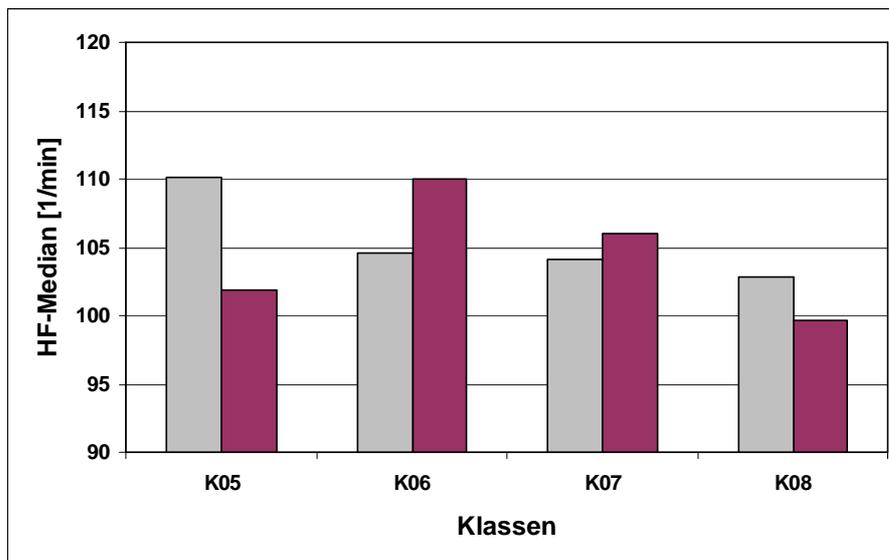


**Abb. 5.44:** HF-Medianwerte der Schule 1, nach Klassen sortiert, vor (■) und nach (■) der Intervention

Zwischen den Schulen bestehen durchaus Unterschiede in der Ausprägung der Beanspruchungsminderung. In der Schule 1 ergibt sich ein der Gesamtverteilung ähnliches Bild, aber um 10 Schläge/min höher. Die Reduzierung der Beanspruchung weist in den Klassen deutliche Unterschiede auf, in der Klasse 01 die größten, in den anderen geringere.

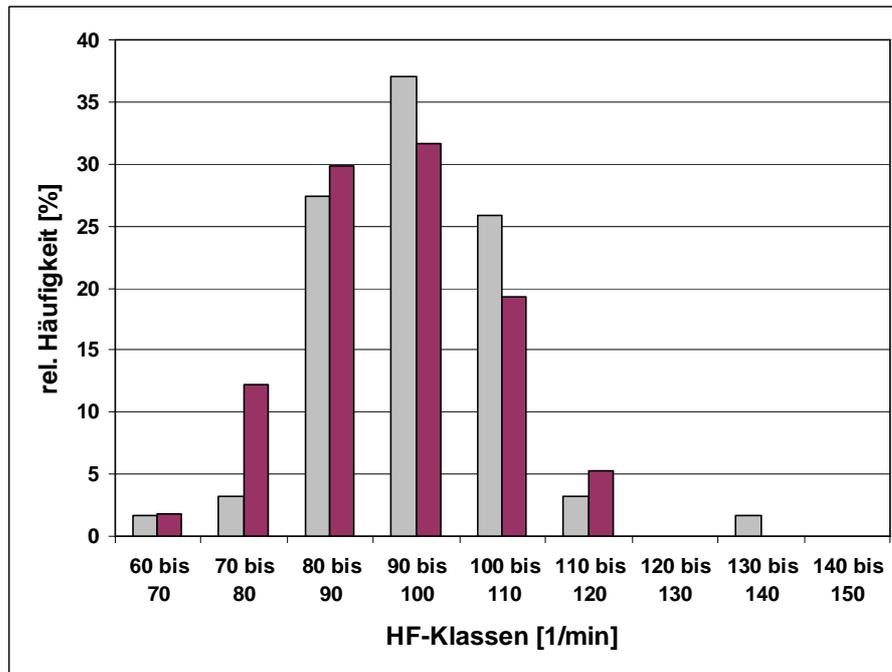


**Abb. 5.45:** Verteilung der HF-Daten über alle beobachteten Unterrichtsstunden an Schule 2, vor (■) und nach (■) der Intervention

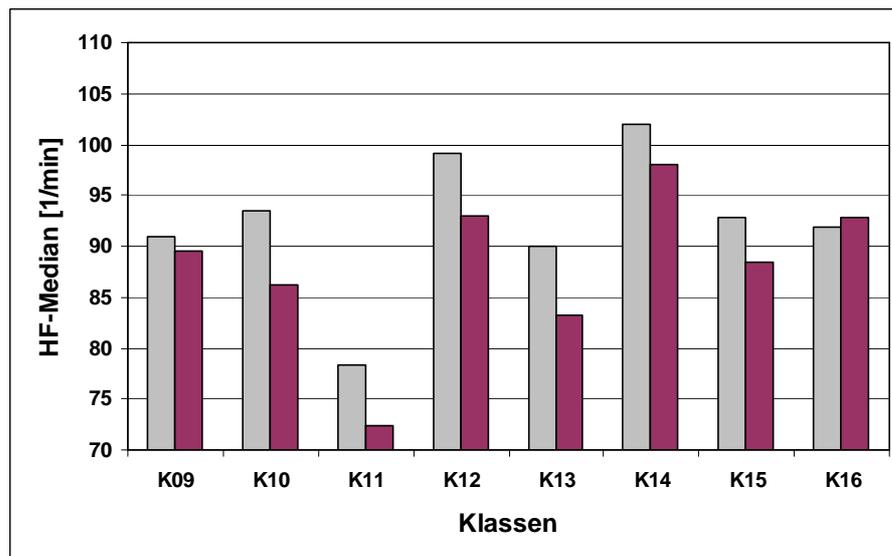


**Abb. 5.46:** HF-Medianwerte der Schule 2, nach Klassen sortiert, vor (■) und nach (■) der Intervention

Die Verteilung der Daten für die Schule 2 zeigen sogar eine Verringerung des Maximums um 10 Schläge/min, Die Daten der einzelnen Klassen lassen dagegen sehr auffällige Unterschiede erkennen. Während in den Klassen 05 und 08 eine Verringerung der Beanspruchung zu beobachten ist, nimmt sie in den beiden anderen Klassen sogar zu. Dieses Phänomen wird weiter unten noch zu klären sein.



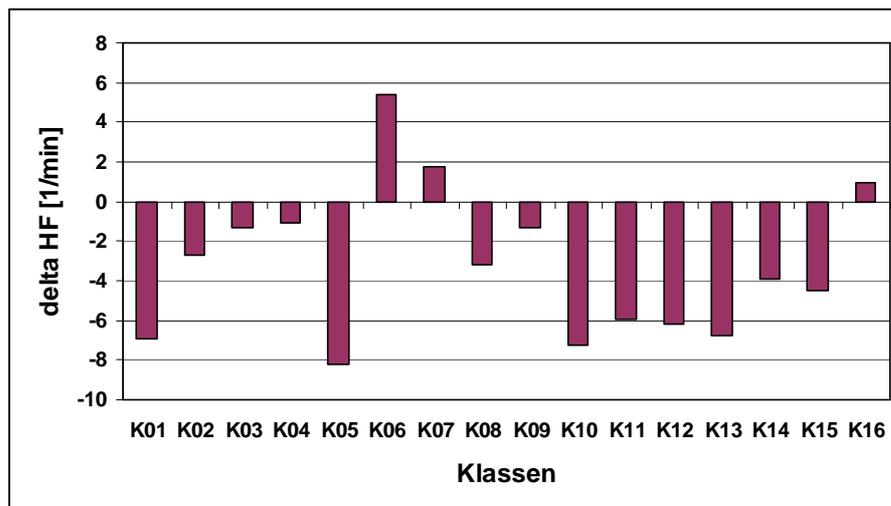
**Abb. 5.47:** Verteilung der HF-Daten über alle beobachteten Unterrichtsstunden an Schule 3, vor (■) und nach (■) der Intervention



**Abb. 5.48:** HF-Medianwerte der Schule 3, nach Klassen sortiert, vor (■) und nach (■) der Intervention

Die Verteilung der Beanspruchung in der Schule 3 entspricht von der Form her der Gesamtverteilung, liegt aber insgesamt um 10 Schläge/min niedriger. Die Klassen einzeln betrachtet ergeben ein sehr unterschiedliches Bild, bezogen auf das absolute Niveau, aber auch die Größe der Veränderung. Lediglich in der Klasse 16 wird eine sehr geringe Zunahme der Beanspruchung beobachtet, in allen anderen sinkt sie.

In der nachfolgenden Abb. 5.49 wird nochmals die Veränderung des Median-Wertes der HF für alle erfolgten Aufzeichnungen dargestellt.



**Abb. 5.49:** Veränderung der Beanspruchung im Unterricht, gemessen am Median aller Schüler jeder Klasse

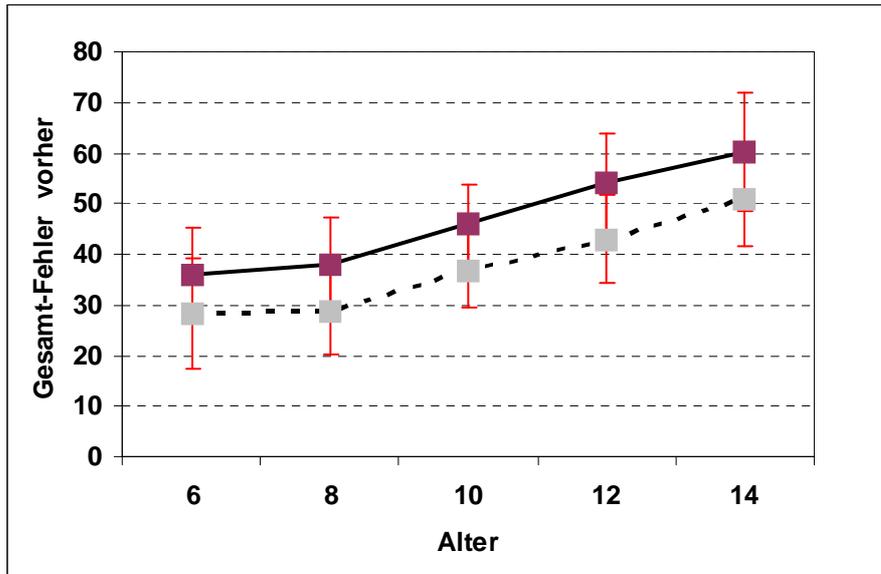
In der Gesamtbilanz heißt dies, dass sich in 10 von den 16 Klassen, bezogen auf den Median der Klasse, die Beanspruchung um mehr als 2 Schläge/min reduziert hat. In einer Klasse ist die Beanspruchung dagegen um mehr als 5 Schläge/min gestiegen. Bei den restlichen 5 Klassen liegt die Veränderung im sehr kleinen Bereich von  $\pm 2$  Schläge/min.

Bei dieser summarischen Betrachtung der Beanspruchung mittels der Herzfrequenz zeigt sich bei 2/3 der beteiligten Klassen eine Reduzierung nach der Intervention, bei den restlichen ist sie unverändert. Ausgehend von gleicher Belastungsstruktur durch den Unterricht und Tagesablauf, lässt dies den Schluss zu, dass durch Einführung der Lüftungspause eine „Erholungswirkung“ zu beobachten ist, wobei aber nicht zu unterscheiden ist, ob die Ursache in der Verbesserung der Luftqualität oder der Pausenwirkung liegt. In jedem Fall bleibt aber eine Verringerung der Beanspruchung festzustellen.

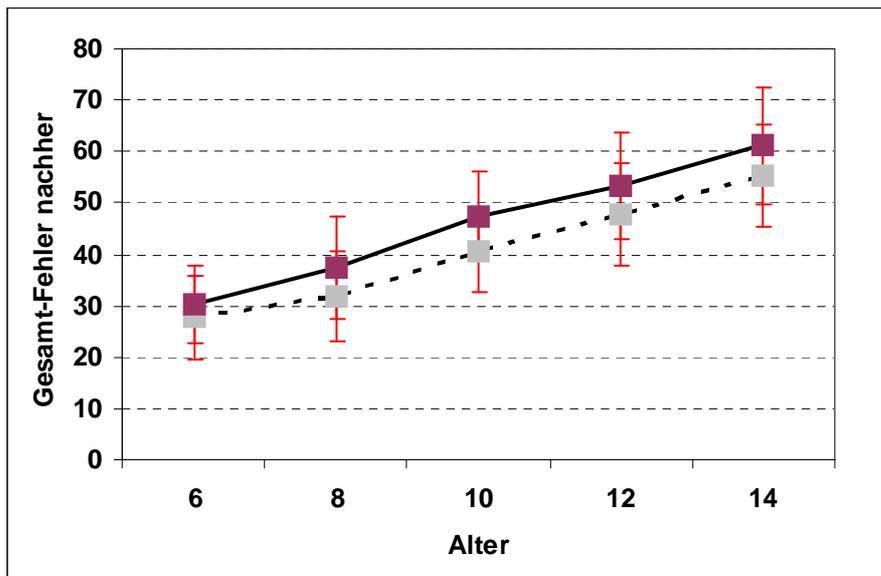
#### 5.4.2 Aufmerksamkeitsleistung

Eine erste Analyse der Daten des Zahlensymboltests vor und nach dem Unterricht ergab eine steigende Aufmerksamkeitsleistung von Test zu Test. Da diese Art von Test in der Regel für eine einmalige Anwendung vorgesehen ist und über Wiederholungen in der Literatur keine Angaben zu finden waren, war von vorneherein eine A- und B-Version vorgesehen (vgl. Kapitel 4.1.7), um Lerneffekten vorzubeugen.

Da die Aufmerksamkeitsleistung stark abhängig ist vom Alter der Schüler, werden die Testergebnisse für einzelne Jahrgangsguppen getrennt dargestellt und zusätzlich unterschieden nach dem Zeitpunkt der Durchführung, vor und nach dem Unterricht. Die Hypothese erwartete nach dem Unterricht eine geringere Aufmerksamkeitsleistung gegenüber dem Test vor Beginn des Unterrichts.



**Abb. 5.50:** Aufmerksamkeitsleistung aller Schüler vor der Intervention, vor (■) und nach (■) dem Unterricht

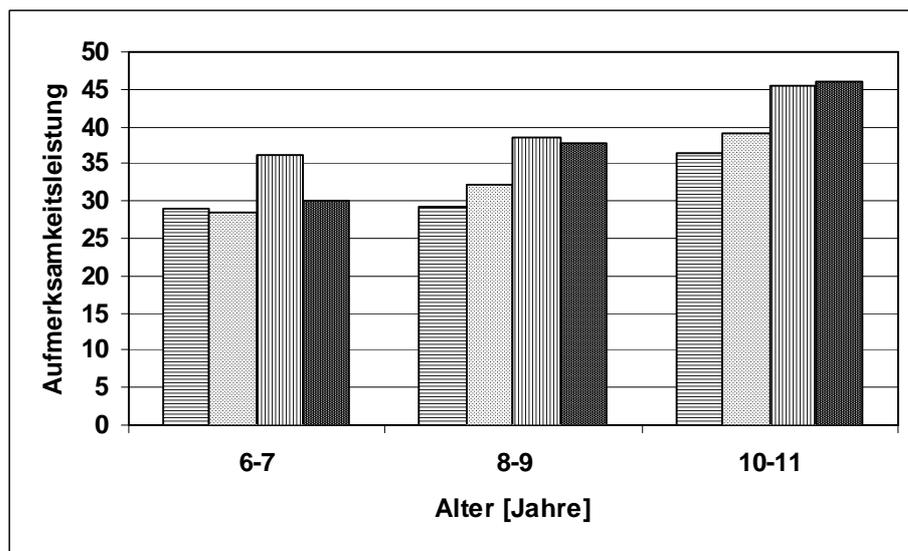


**Abb. 5.51:** Aufmerksamkeitsleistung aller Schüler nach der Intervention, vor (■) und nach (■) dem Unterricht

Die gemittelten Ergebnisse, immer um die Fehlerzahl korrigiert, widersprechen aber der Hypothese, d.h. die Aufmerksamkeit nach dem Unterricht scheint höher zu sein (siehe Abb. 5.50). Nach Einführung der Lüftungsintervention ergibt sich ein ähnliches Bild für die Testergebnisse, lediglich der Unterschied zwischen den beiden Testergebnissen ist etwas geringer (vgl. Abb. 5.51). Während der Anstieg der Aufmerksamkeitsleistung vor der Intervention ca. 8 Pkt. betrug, lag er nach der Intervention nur noch bei ca. 5 Pkt. Eine Interpretation im Sinne des Zahlensymboltests würde dem Unterricht ohne Lüftungspause eine stärkere Aufmerksamkeitssteigernde Wirkung zuschreiben als dem Unterricht mit Unterbrechung. Dies widerspricht aber allen bisher bekannten Ergebnissen aus arbeitswissenschaftlicher Forschung. Daher bleibt

die Frage nach möglichen anderen Effekten, die das Testergebnis sehr viel stärker beeinflussen als der normale Ermüdungsprozess durch Arbeit.

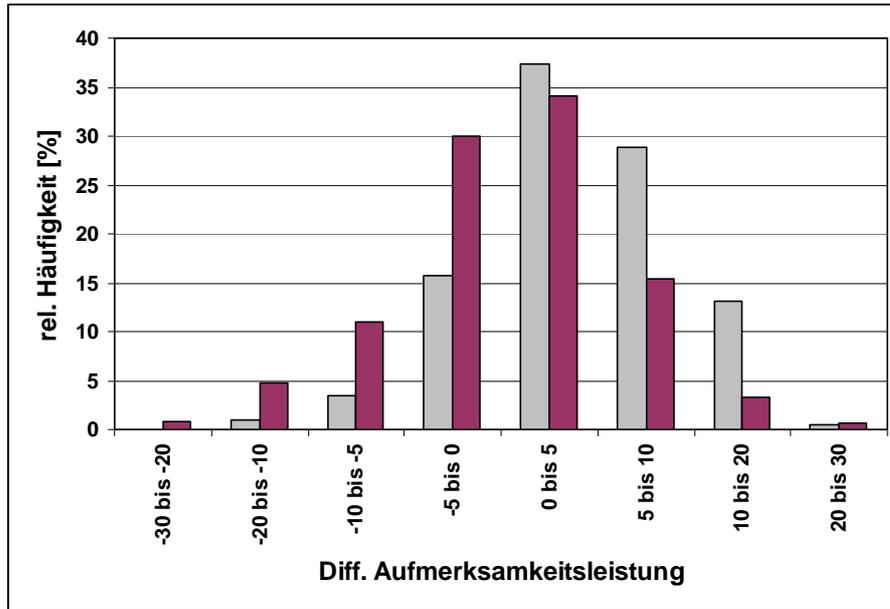
Eine Darstellung der Testergebnisse in der Reihenfolge der Durchführung ergab ein neues Bild. Wie aus der folgenden Grafik zu ersehen ist, ergibt sich ein klarer Lerneffekt mit deutlicher Altersabhängigkeit, zumindest im Grundschulalter. Da die Untersuchungen an der Schule 3 nur jeweils an zwei Tagen durchgeführt wurden, wurde hier der Reihenfolge Effekt nicht mehr geprüft. Die in dieser Darstellung enthaltenen Daten stammen ausschließlich von Kindern, die den Test an insgesamt vier Tagen gemacht haben, jeweils zwei Tage vor und zwei Tage nach Einführung der Lüftungspause.



**Abb. 5.52:** Mittlere Aufmerksamkeitsleistung in Abhängigkeit vom Alter und dem Zeitpunkt der Erhebung, vor Unterricht (vor I. (≡), nach I. (||)), nach Unterricht (vor I. (•••), nach I. (⊞))

Da der Lerneffekt mit fortschreitender Wiederholung immer kleiner wird, könnte daraus der Schluss gezogen werden, die Aufmerksamkeitsleistung nach Einführung der Lüftungspause sei schlechter als vorher, was der Hypothese geringerer Ermüdung bei besserer Luft widerspräche.

Eine Betrachtung der individuellen Veränderungen der Aufmerksamkeitsleistung, d.h. die Differenz der Leistung nach dem Unterricht zu der vor dem Unterricht, ist notwendig, um die Wirkung der Unterrichtsbelastung auf den einzelnen Schüler zu analysieren. Eine positive Differenz weist auf eine Verbesserung der Aufmerksamkeitsleistung hin, eine negative auf Verschlechterung. Die Verteilung dieser Differenzen für alle beteiligten Schüler aller Schulen ist in der nachfolgenden Grafik dargestellt.

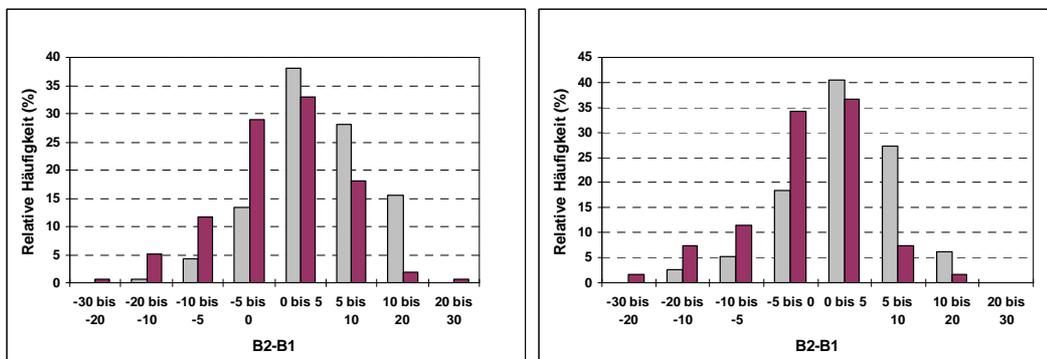


**Abb. 5.53:** Verteilung der Aufmerksamkeitsdifferenz (B2 – B1) für alle Schüler, differenziert nach vor (■) und nach (■) Intervention

**Tab. 5.16:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag für alle Schulen, vor und nach der Intervention

	vor I.	nach I.
<0	20,19%	46,55%
>0	79,81%	53,45%

Während vor der Intervention bei über 79 % der Schüler eine Verbesserung der Aufmerksamkeit über den Schultag ermittelt wurde, sind es nach der Intervention nur noch gut 53 %. Für alle Schüler ist eine Verschlechterung der Aufmerksamkeitsleistung zu beobachten, dies bestätigt sich auch in der Aufteilung der Daten nach Schulen.

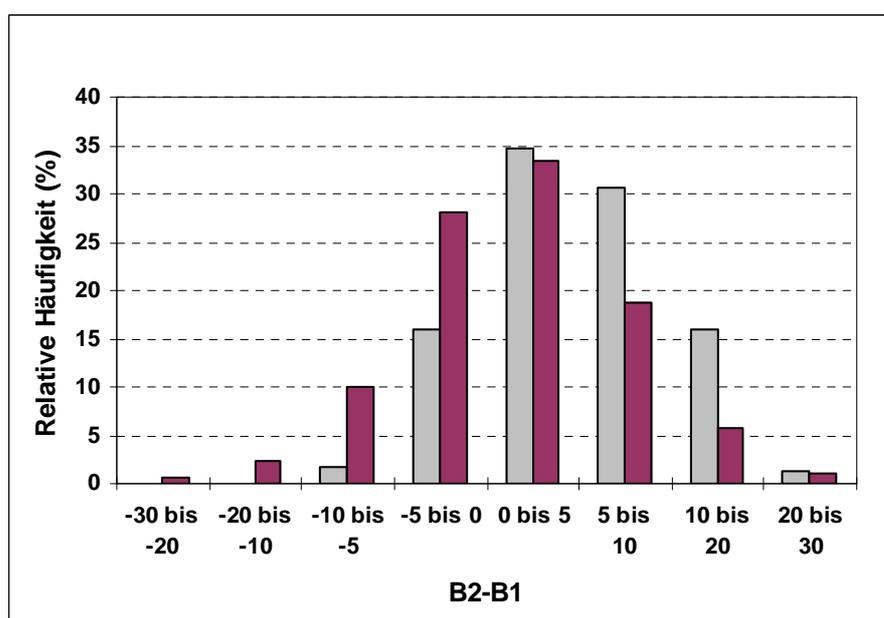


**Abb. 5.54:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag, vor und nach der Intervention, Schule 1 (links) und Schule 2 (rechts)

**Tab. 5.17:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag, vor und nach der Intervention für Schule 1 und Schule 2

	vor I.		nach I.	
	S1	S2	S1	S2
<0	18,31%	26,32%	46,45%	54,47%
>0	81,69%	73,68%	53,55%	45,53%

Während in der Schule 1 ein sehr deutlicher Lerneffekt zu beobachten ist, fällt dieser an der Schule 2 wesentlich geringer aus, lediglich 53,55% der Schüler verbessern sich nach dem Unterricht im Gegensatz zu 81,69% an der Schule 1. Der Unterschied kann nicht mit dem Alter begründet werden, es sind beides Grundschulen.



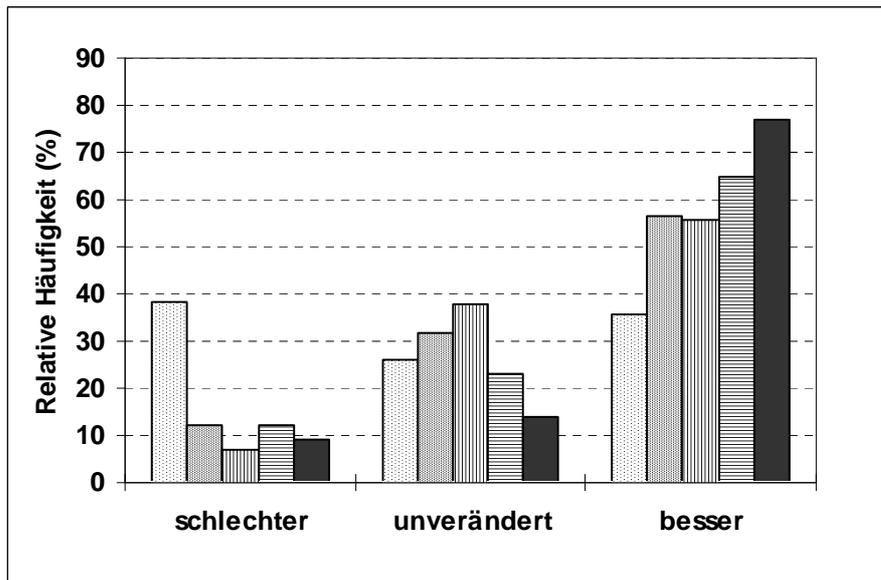
**Abb. 5.55:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag, vor und nach der Intervention Schule 3

**Tab. 5.18:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag für Schule 3, vor und nach der Intervention

	vor I.	nach I.
<0	17,65%	40,94%
>0	82,35%	59,06%

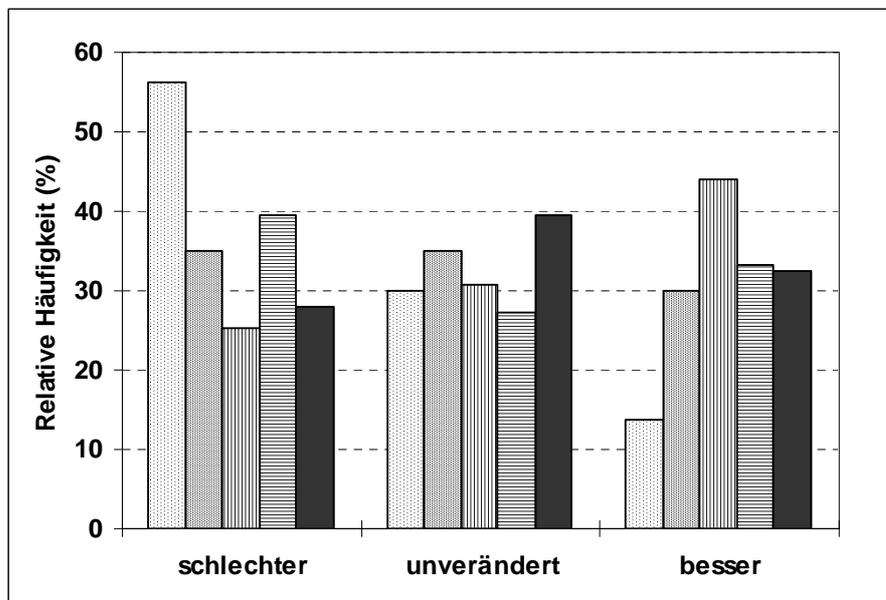
Wegen der breiten Altersstreuung von 6 bis 15 Jahren soll auch hier eine Betrachtung in Abhängigkeit vom Alter erfolgen. Zur Übersichtlichkeit werden die Daten so zusammengefasst, dass immer zwei Altersgruppen zusammengefasst werden, d.h. 6-7 Jahre, 8-9 Jahre, usw. Die Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung wird zusätzlich derart klassifiziert, dass eine Veränderung um  $\pm 2$  Punkte als „unverändert“ eingestuft wird, Werte  $< -2$  als „schlechter“ und  $> 2$  als „besser“. Für die Testergebnisse

se vor Einführung der Lüftungspause sind die Veränderungen der Aufmerksamkeitsleistung in der nachfolgenden Abb. 5.56 und 5.57 dargestellt.



**Abb. 5.56:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung nach Alter getrennt, vor der Intervention, 6 Jahre (◐), 8 Jahre (◑), 10 Jahre (▨), 12 Jahre (▩), 14 Jahre (■)

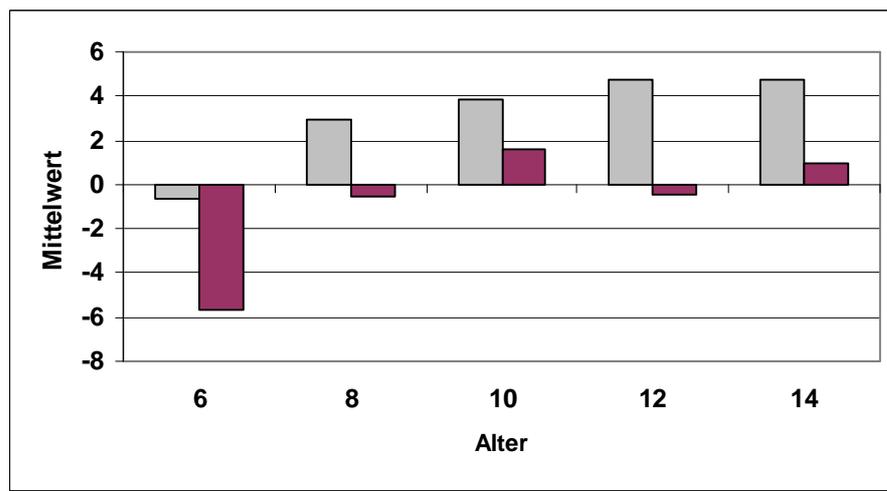
Auch hier zeigt sich eine deutliche Altersabhängigkeit, mit zunehmendem Alter wird der Anteil der Verbesserung immer größer. In allen Klassen, mit Ausnahme der 6-7-Jährigen, beträgt der Anteil der Verbesserungen mehr als 50%.



**Abb. 5.57:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung nach Alter getrennt, nach der Intervention, 6 Jahre (◐), 8 Jahre (◑), 10 Jahre (▨), 12 Jahre (▩), 14 Jahre (■)

Während vor der Intervention eine deutliche Verbesserung der Aufmerksamkeitsleistung über den Schultag zu beobachten war, fällt dies nach Einführung der Lüftungspause wesentlich schlechter aus, insbesondere bei den 6-7-Jährigen. Auch diese Betrachtung widerspricht vom Ergebnis her der Erwartung. Da sich außer der Qualität der Raumluft die Arbeitsbedingungen nicht verändert haben – Arbeitsumgebung, Stundenplan, usw. – kann diese Veränderung nur auf die Veränderung von Lernfortschritten zurückgeführt werden: mit zunehmender Anzahl von Wiederholungen wird der Übungsgewinn immer kleiner.

In der nachfolgenden Abb. 5.58 sind noch einmal die Mittelwerte der Veränderungen der Aufmerksamkeitsleistung für jede Altersgruppe dargestellt.

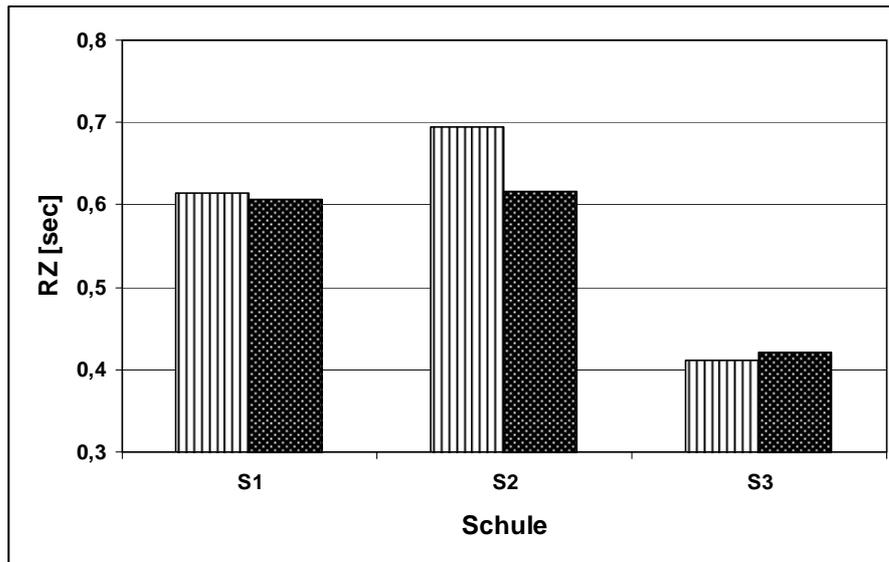


**Abb. 5.58:** Mittlere Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung in Abhängigkeit vom Alter, vor (grau) und nach (maroon) der Intervention

Bleibt nur im Weiteren zu klären, ob es einen direkten Zusammenhang zur unmittelbaren Wirkung des CO<sub>2</sub>-Anteils als Belastungsgröße gibt. Die Prüfung dieses Zusammenhanges erfolgt im Kapitel 5.5.

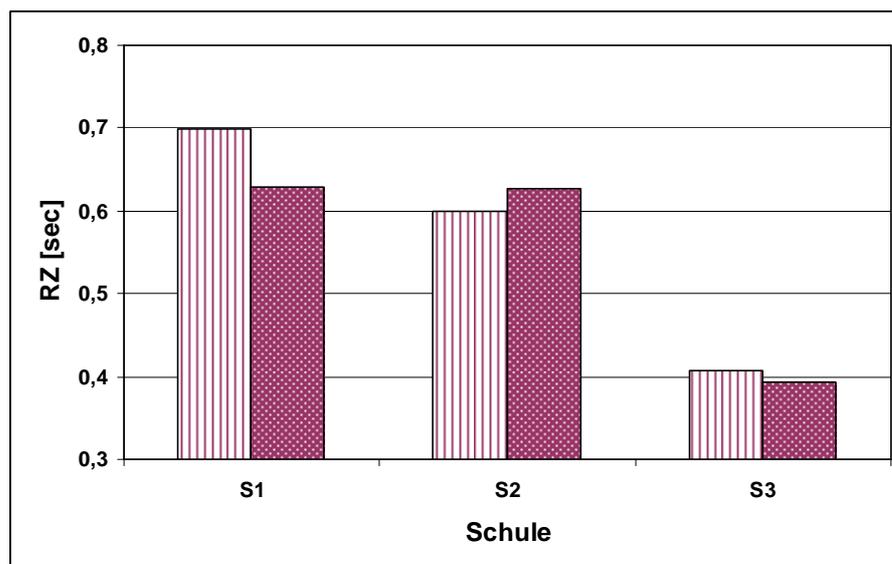
### 5.4.3 Reaktionsverhalten

Motorische Leistungsbereitschaft wird gerne als Indikator für Wachheit genutzt (vgl. Kap. 4.1.8) Deshalb lag es nahe, die Reaktionschnelligkeit vor und nach dem Unterricht miteinander zu vergleichen. Der Reaktionstest wurde jeweils vor und nach dem Unterricht mit einer Teilgruppe der jeweiligen Klasse durchgeführt. Schon die erste Übersicht der Mittelwerte der jeweiligen Schülergruppen für jede Schule vor und nach Einführung der Lüftungsanweisung in Abb. 5.59. fördert interessante Unterschiede zu Tage (n=411 vor Unterricht, n=418 nach Unterricht).



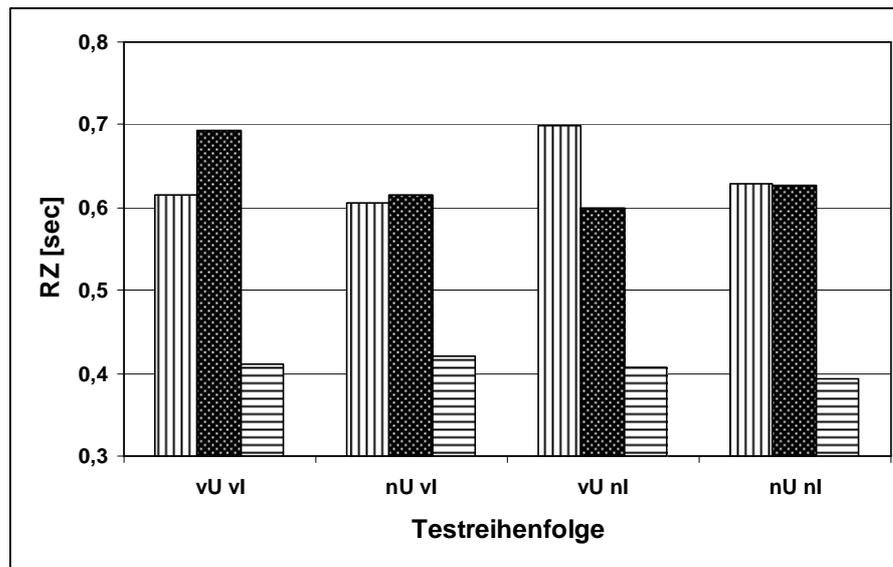
**Abb. 5.59:** Mittlere Reaktionszeiten aller am Test beteiligten Schüler jeder Schule vor der Intervention, vor (||) und nach (⦿) dem Unterricht

Das Bemerkenswerte der Darstellung besteht in der Falsifizierung einer der Hypothesen der Untersuchung. Zumindest im Mittel ist vor der Intervention kein Ermüdungssignal in Form einer verlängerten Reaktionszeit auszumachen. In der Schule 2 müsste man eher vom Gegenteil sprechen. Dennoch fallen eklatante Differenzen zwischen den Schulen einerseits die sowie Ähnlichkeit der Mittelwerte der Grundschulen ins Auge, d.h. und ihre im Wesentlichen gemeinsame Differenz zur Gesamtschule mit den höheren Klassenstufen ab fünfter Klasse. Nach der Intervention wiederholt sich im Groben der Unterschied zwischen Grundschulen und Gesamtschule. Doch nun ergibt sich in Schule 1 vor Unterrichtsbeginn eine höhere mittlere Reaktionszeit als in Schule 2, für die man eine leichte Steigerung der Reaktionszeiten nach dem Unterricht als Ermüdungsanzeichen annehmen könnte.



**Abb. 5.60:** Mittlere Reaktionszeiten aller Schüler jeder Schule nach der Intervention, vor (||) und nach (⦿) dem Unterricht

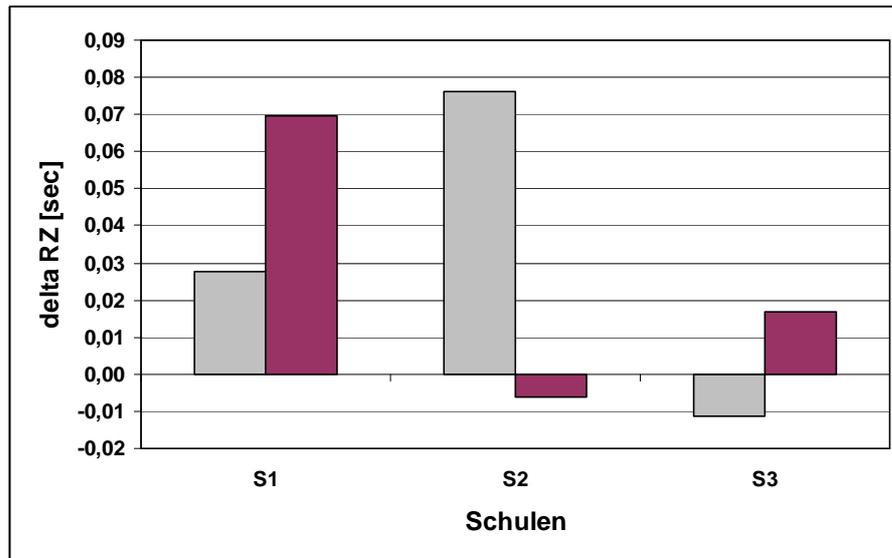
In diesem Sinne könnte man auch die Werte der Schule 3 interpretieren. Doch als deutliches Zeichen können beide zudem in sich widersprüchlichen Ergebnisse nicht gelten. Gründe für die Verschiebung der Mittelwerte liegen möglicherweise in veränderten motorischen Anforderungen durch die Unterrichtssituation oder das Verhalten in den Pausen, da erhöhte motorische Aktivität stark aktivierende Funktion hat. Für das Feldexperiment handelte es sich damit insofern um externe Wirkungen, als eine Annäherung an die *ceteris paribus* Klausel zwar gewünscht war, aber unter den Bedingungen des Feldes vermutlich nicht eingehalten worden ist. Um den Übungseffekt zu prüfen, werden die mittleren Reaktionszeiten in der Abb. 5.61 für die drei Schulen in der Reihenfolge der Durchführung gezeigt, es sind die gleichen Daten wie in den beiden vorhergehenden Darstellungen.



**Abb. 5.61:** Mittlere Reaktionszeiten aller Schüler jeder Schule in der Reihenfolge der Testdurchführung vor (v) und nach (n) Unterricht (U) bzw. Intervention (I), Schule 1 (||), Schule 2 (■), Schule 3 (≡)

Logisch zwingend hält sich hier die Differenz zwischen Grundschulen und Gesamtschule. Aber auch u. U. im Einzelnen zu diskutierende Differenzen zwischen den Mittelwerten der Grundschulen sind festzustellen.

Die Mittelwerte der jeweiligen Testgruppen dienen der allgemeinen Situationsbeschreibung. Eine Gruppierung nach den Schulen ist wegen der unterschiedlichen Bedingungen sinnvoll. In der Abb. 5.62 sind die mittleren Veränderungen der Reaktionszeit vor dem Unterricht gegenüber nachher gezeigt, im Vergleich vor und nach der Interventionsmaßnahme. Positive Differenzen bedeuten eine Verkürzung der Reaktionszeit (besser), negative eine Verlängerung (schlechter).

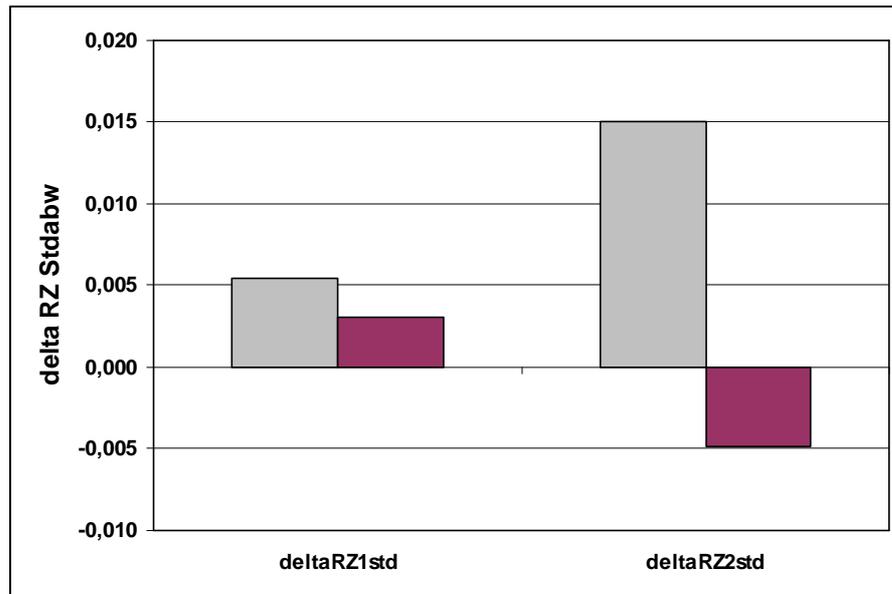


**Abb. 5.62:** Mittlere Veränderung der Reaktionszeit über den Unterrichtstag  $\Delta RZ = RZ_{\text{vorU}} - RZ_{\text{nachU}}$ , vor (grey) und nach (maroon) der Intervention

Die Daten der Schulen S1 und S3 könnten insofern als Bestätigung der Hypothese der geringeren Ermüdung bei geringerer CO<sub>2</sub>-Belastung gewertet werden, als die Verbesserung der Reaktionsgeschwindigkeit nach Einführung der Lüftungspause größer ist als zuvor. Bei der Schule 2 trifft dies allerdings nicht zu.

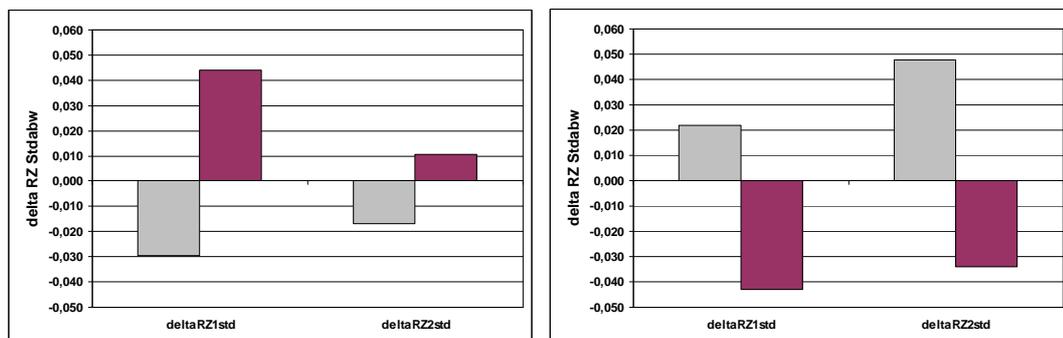
Für die Auswertung dieses Alertness-Tests sind auch die Standardabweichungen der Reaktionszeiten je Einzeltest von Bedeutung. Ist die Standardabweichung innerhalb eines Tests sehr groß, heißt das, dass es starke Unterschiede in der Reaktionszeit gab. Dies spricht für eine geringere Aufmerksamkeit. Kleinere Unterschiede weisen auf eine höhere Konzentration hin. Eine Unterscheidung zwischen Konzentration und Aufmerksamkeit ist bei diesem Test nicht möglich. Genau wie bei der Analyse der Reaktionszeiten ist auch hier nicht der absolute Wert, sondern vielmehr die individuelle Veränderung über den Unterrichtstag von Interesse. Diese Veränderung wird in der gleichen Form wie bei den Reaktionszeiten als Differenz für den Test vor und nach dem Unterricht für jeden Schüler berechnet. Darüber hinaus wurden die Daten des Alertness-Tests, Gesamtdauer 90 sec, in zwei Teilen von je 45 sec ausgewertet, um den Verlauf der Konzentrationsfähigkeit prüfen zu können. Hier können sich sowohl Übungseffekte während des Tests zeigen als auch schnelles Nachlassen der Leistung. Eine positive Differenz weist auf eine größere Konzentrationsleistung nach dem Unterricht als vorher hin, eine negative auf eine Abnahme.

In der folgenden Abb. 5.63 sind die Mittelwerte der Änderungen der Streuung der Reaktionszeiten aus dem Alertness Test für alle beteiligten Schüler dargestellt. Die Grafik bezeugt: die Konzentrationsleistung, insbesondere in der zweiten Testhälfte liegt nach dem Unterricht deutlich höher als vorher. Auch hier wird die Hypothese wieder desavouiert. Genau wie bei den Reaktionszeiten ist eine Unterscheidung nach den einzelnen Schulen erforderlich. Damit ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei den Reaktionszeiten.



**Abb. 5.63:** Mittlere Veränderung der Streuung von RZ über den Unterrichtstag  $\text{deltaRZstd} = \text{RZstd}_{\text{vorU}} - \text{RZstd}_{\text{nachU}}$ , vor (grau) und nach (rot) der Intervention für beide Testhälften

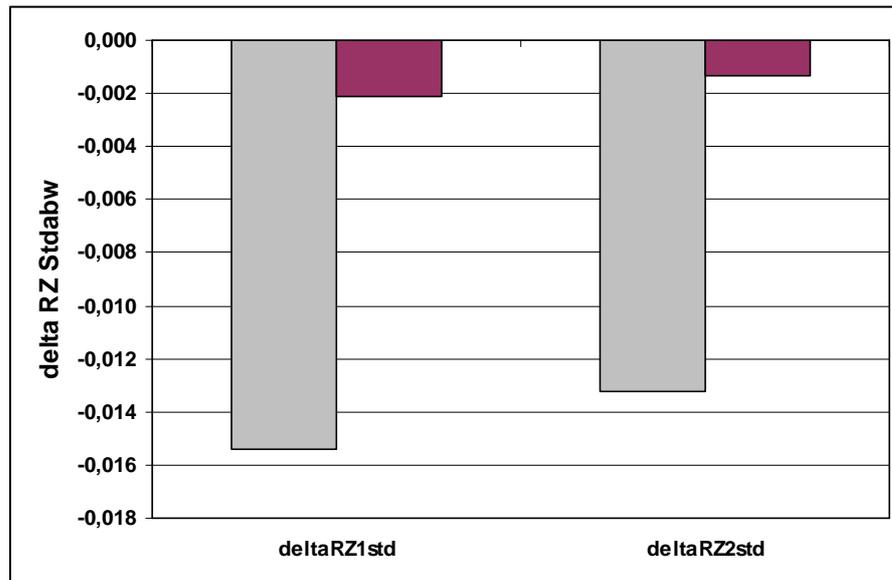
Für die Schulen 1 und 2 haben die Werte der Streuung die gleiche Größenordnung, fallen aber genau entgegengesetzt aus, während vor der Intervention in der Schule 1 fast eine Abnahme der Konzentration zu beobachten ist, nimmt diese in der Schule 2 deutlich zu (s. Abb. 5.64). Nach der Intervention ist dies genau umgekehrt. D.h. an der Schule 1 könnte sich ein positiver Effekt bezogen auf die erwartete Wirkung der Lüftungsintervention zeigen. Dies entspricht den Ergebnissen der Veränderung der Reaktionszeiten (s.o.)



**Abb. 5.64:** Mittlere Veränderung der Streuung von RZ über den Unterrichtstag  $\text{deltaRZstd} = \text{RZstd}_{\text{vorU}} - \text{RZstd}_{\text{nachU}}$ , vor (grau) und nach (rot) der Intervention für beide Testhälften, Schule 1 links, Schule 2 rechts

Für die Schule 3 ist die Streuung der Reaktionszeiten deutlich kleiner als für alle anderen (vgl. Abb. 5.65), möglicherweise ein Effekt des Alters, d.h. bessere Konzentration bei der Versuchsdurchführung. Während bei den ersten beiden Schulen vor und nach der Intervention gegensätzliches Verhalten zu beobachten ist, ist hier für beide Untersuchungssituationen eine Abnahme der Konzentration vorhanden, vor der Intervention aber wesentlich größer als nachher. In der Summe würde dies, genau wie

für die Schule 1 eine positive Wirkung der Einführung der Lüftungspause auf die Konzentrationsleistung bedeuten.



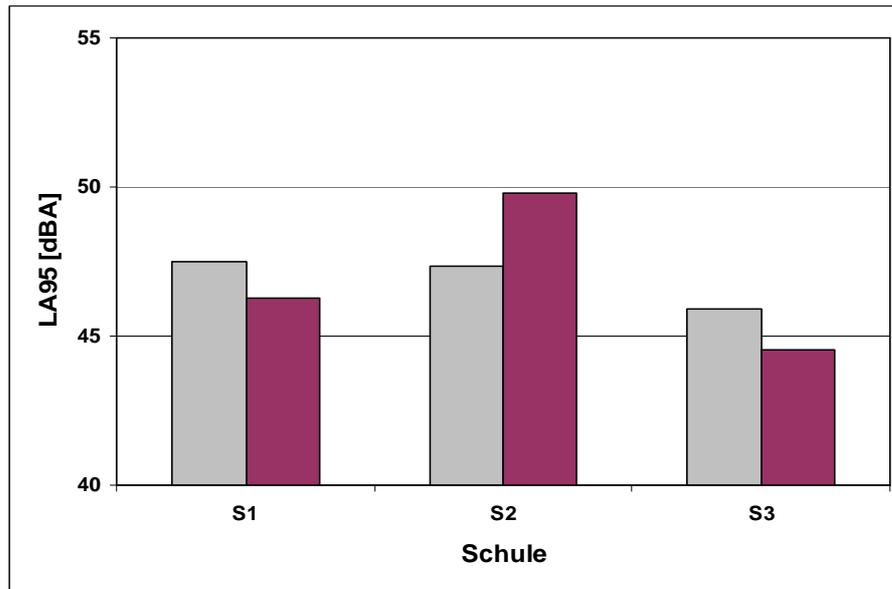
**Abb. 5.65:** Mittlere Veränderung der Streuung der RZ über den Unterrichtstag  $\text{deltaRZstd} = \text{RZstd}_{\text{vorU}} - \text{RZstd}_{\text{nachU}}$ , vor (grau) und nach (rot) der Intervention für beide Testhälften für Schule 3

Abschließend kann gesagt werden, dass die Einführung einer Lüftungsintervention an den Schulen 1 und 3 eine positive Auswirkung auf die phasische Alertness bei den Schülern hat, sowohl die Reaktionsschnelligkeit als auch die Konzentrationsleistung wird besser. An der Schule 2 stellte sich dieser Effekt jedoch eher nicht ein.

#### 5.4.4 Geräuschpegel im Unterricht

Bei der Suche nach Ermüdungsindikatoren wurde auch die Frage nach der „motorischen Unruhe“ gestellt, d.h. wird es möglicherweise unruhiger im Klassenraum, wenn die Aufmerksamkeit nachlässt? Wie frühere Untersuchungen von SCHÖNWÄLDER ET. AL. (2004) bereits gezeigt haben, ist der Geräuschpegel im Klassenraum von sehr viel mehr Faktoren abhängig als nur vom Grad der Aufmerksamkeit der Schüler. Hier spielen das Verhalten der Schüler allgemein, das pädagogische Konzept der Schule und im Unterricht, das Alter der Schüler, insbesondere aber auch die akustischen Bedingungen im Klassenraum eine Rolle, wie von OBERDÖRSTER&TIESLER (2006) ausführlich dargestellt wurde.

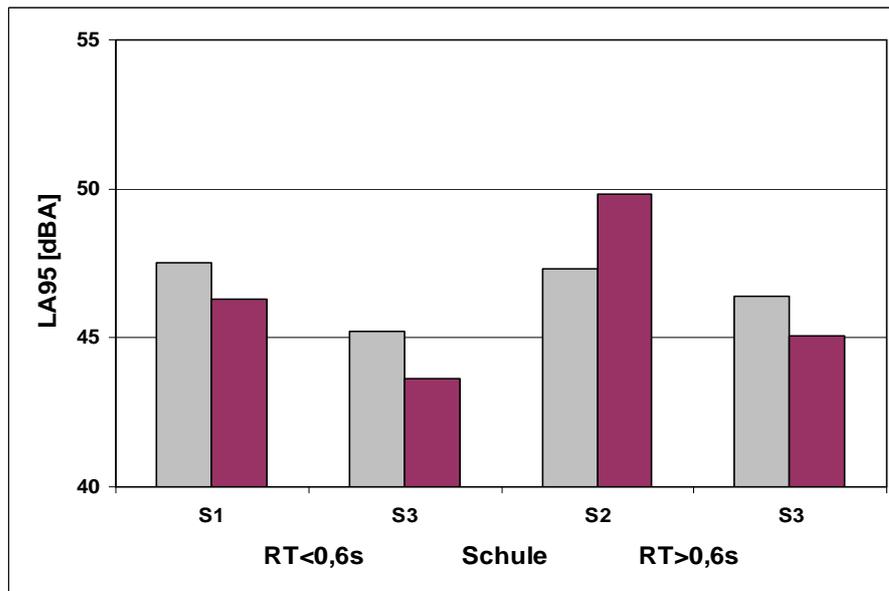
Wie in Kapitel 5.1 vorgestellt worden ist, sind die raumakustischen Bedingungen in den beteiligten Schulen sehr unterschiedlich. Daher ist wegen der großen Bedeutung für den entstehenden Geräuschpegel von vornherein eine Unterscheidung anhand der baulichen Bedingungen notwendig.



**Abb. 5.66:** Mittlerer Grundgeräuschpegel  $L_{A95}$  über alle Unterrichtsstunden, sortiert nach den Schulen, vor (■) und nach (■) der Intervention

Die in der Abb. 5.66 dargestellten mittleren Grundgeräuschpegel während des Unterrichts unterscheiden sich sowohl in ihrem absoluten Wert, als auch in der Veränderung mit Einführung der Lüftungsintervention. Für die beiden Grundschulen S1 und S2 sind die Grundgeräuschpegel vor der Intervention gleich, während der Pegel in der dritten Schule niedriger liegt, was früheren Untersuchungsergebnissen entspricht und sicherlich mit dem Alter der Schüler zusammenhängt, S3 ist eine Sekundarschule. Die Veränderung des Grundgeräuschpegels im Zusammenhang mit der Lüftungsintervention fällt aber sehr unterschiedlich aus. Während in den Schulen 1 und 3 der Pegel sinkt - vielleicht entsprechend der Erwartung verringerter Unruhe - was später noch zu prüfen ist, steigt der Pegel in der Schule 2 unerwartet an. Das kann u.a. an veränderten Arbeitsformen während der zweiten Untersuchungsphase liegen.

Wegen der sehr unterschiedlichen raumakustischen Gegebenheiten in den Klassenzimmern, werden die Grundgeräuschpegel in der Abb. 5.67 innerhalb der Schule 3 zusätzlich nach dem Faktor Nachhallzeit ( $RT = \text{Reverbaration Time}$ ) unterteilt. Als Grenze für eine Klassenbildung dient hier der obere Grenzwert der DIN 18041 von  $RT = 0,5 \text{ sec}$ . Da die Klassenzimmer im leeren Zustand vermessen wurden, wird die Grenze auf  $RT = 0,6 \text{ sec}$  gelegt. Danach liegen alle Klassenzimmer der Schule 1 und 3 Klassenzimmer der Schule 3 unterhalb dieses Wertes und erfüllen damit die Vorgaben der DIN. Alle Klassenzimmer der Schule 2 und 5 Räume der Schule 3 erfüllen diese Forderungen dagegen nicht. Gliedert man nun die gemessenen Grundgeräuschpegel nach diesen Vorgaben, so ergeben sich die Verhältnisse, die in Abb. 5.67 dargestellt sind.



**Abb. 5.67:** Mittlerer Grundgeräuschpegel LA95 über alle Unterrichtsstunden, sortiert nach den Schulen und der Nachhallzeit RT der Klassenräume, vor (■) und nach (■) der Intervention

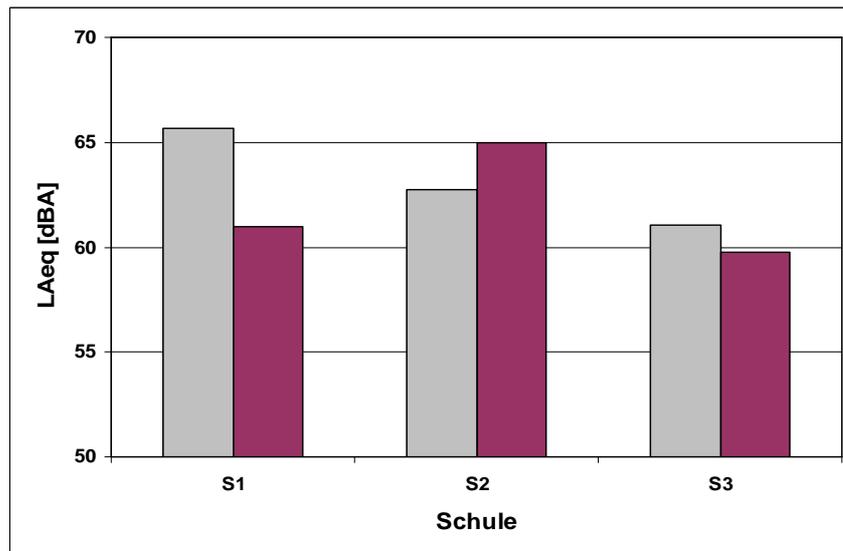
Eine Aufteilung der Klassen aus der Schule 3 nach der Güte der Raumakustik, beurteilt über RT, verdeutlicht die Bedeutung dieser ergonomischen Rahmenbedingung. Unter den schlechteren Bedingungen bleibt es lauter, auch wenn die Interventionsmaßnahme in beiden Fällen Auswirkung auf den Grundgeräuschpegel zeigt.

Aufmerksames Verhalten der Schüler wirkt sich nicht nur auf den Grundgeräuschpegel aus, sondern auch auf den Arbeitsgeräuschpegel. An späterer Stelle wird eine Unterscheidung im Arbeitsverhalten der Schüler geprüft werden, um unterschiedliche Geräuschsituationen zu erklären. Doch hier wird zunächst eine Übersicht über die mittleren Arbeitsgeräuschpegel in den drei Schulen, in Abb. 5.68 vorgelegt.

Die Verhältnisse der Arbeitsgeräuschpegel sind ähnlich wie die der Grundgeräuschpegel an den Schulen, aber unterschiedlich in der Ausprägung, wie die Gegenüberstellung in Tab. 5.19 zeigt. Negative Werte stellen eine Reduzierung des Geräuschpegels dar, positive eine Erhöhung. Für die Schule 3 sind die Ergebnisse einmal als Gesamtmittelwert ausgewiesen, und im Folgenden zusätzlich unterteilt anhand der Raumakustik, wie zuvor bereits erläutert.

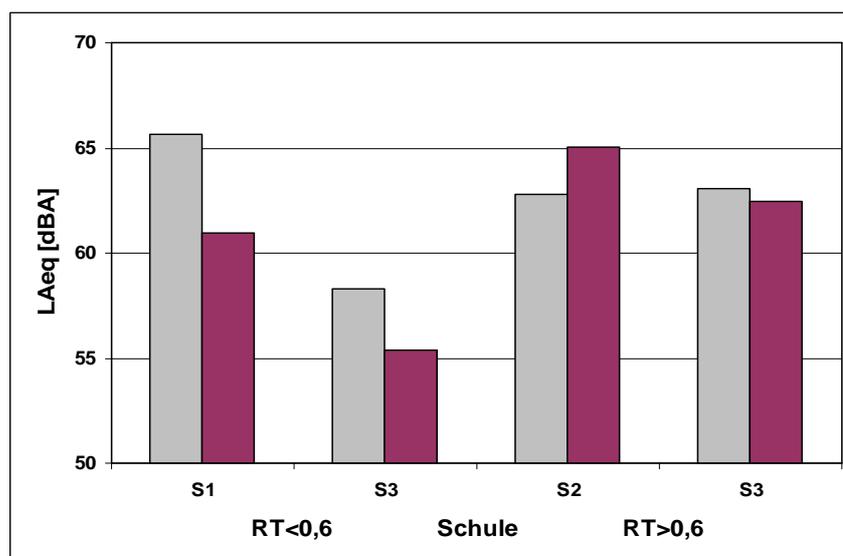
**Tab. 5.19:** Veränderung der mittleren Schallpegel im Unterricht nach der Lüftungsintervention, Grundgeräuschpegel  $L_{A95}$  und Arbeitsgeräuschpegel  $L_{Aeq}$

	$L_{A95}$	$L_{Aeq}$
Schule 1, RT < 0,6s	- 1,2 dB	- 4,7 dB
Schule 2, RT > 0,6s	+ 2,5 dB	+ 2,3 dB
Schule 3, gesamt	- 1,4 dB	- 1,2 dB
Schule 3, RT > 0,6s	- 1,3 dB	- 0,6 dB
Schule 3, RT < 0,6s	- 1,6 dB	- 2,9 dB



**Abb. 5.68:** Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel  $L_{Aeq,5min}$  über alle Unterrichtsstunden, sortiert nach den Schulen, vor (■) und nach (■) der Intervention

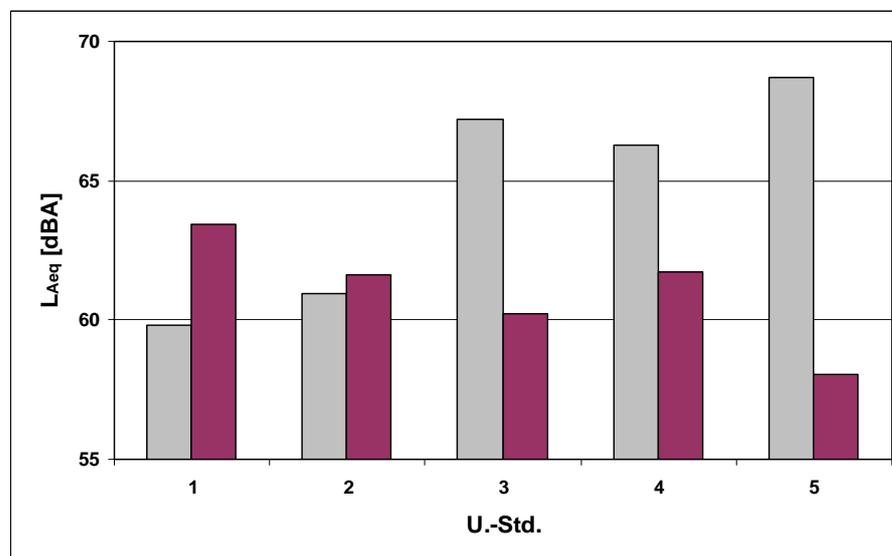
Die Annahme eines unmittelbaren Zusammenhangs zwischen Luftqualität und Schallemission, klinge absurd. Die verbesserte Luftqualität ist jedoch eindeutig als Folge einer Intervention anzusehen. Die Pause nach ca. 20 Minuten Unterricht bildet zwar einerseits die Ursache dafür, sie unterbricht darüber hinaus aber einen sonst kontinuierlichen Sozialzusammenhang, den Unterricht von 45 oder gar 90 min eben. Somit könnte der unvermeidliche Wechsel nach 20 oder 2 mal 20 min in Verbindung mit der akustischen Qualität der Klassenräume sowohl die Senkung der Schallemission nach der Intervention als auch ihre unterschiedliche Ausprägung – vielleicht sogar ursächlich – erklären. Nicht die Luftqualität, sondern die sozialen Rahmenbedingungen des jeweiligen Unterrichts würden dann den Abfall der Schallemission erklären.



**Abb. 5.69:** Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel  $L_{Aeq,5min}$  über alle Unterrichtsstunden, sortiert nach den Schulen und der Nachhallzeit RT der Klassenräume, vor (■) und nach (■) der Intervention

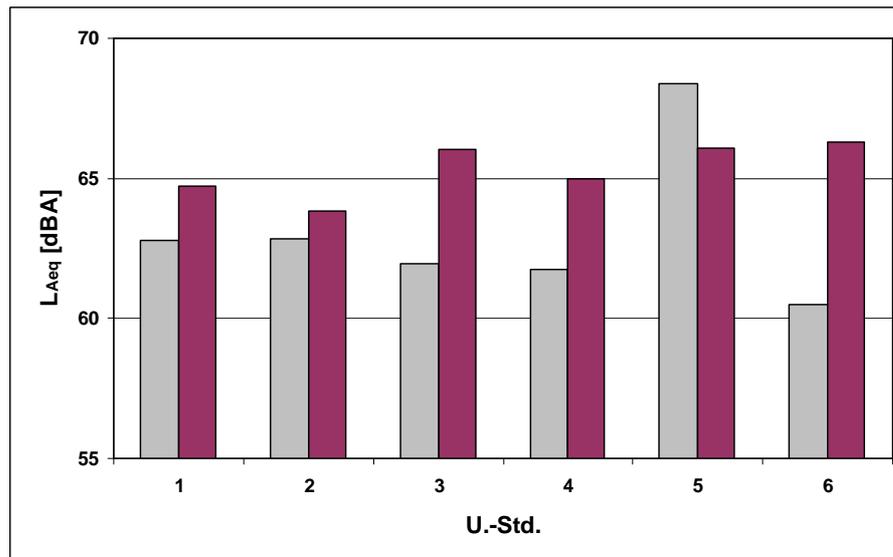
Bezogen auf den Arbeitsgeräuschpegel kann auch hier wieder am Beispiel der Schule 3 der Einfluss der Raumakustik gezeigt werden: die Reduzierung des Pegels ist in den akustisch „besseren“ Klassenräumen größer als in den „schlechteren“. Die Raumakustik hat hier eine verstärkende Wirkung bezogen auf den Effekt. In der Abb. 5.69 ist die Veränderung des Arbeitsgeräuschpegels noch einmal nach der Qualität der Raumakustik in der Schule 3 differenziert aufgezeichnet.

Ausgehend von dem Ansatz, dass die Ermüdung der Schüler ein fortlaufender Prozess über den Schulvormittag ist, ist die hier folgende Betrachtung des Arbeitsgeräuschpegels über die Unterrichtsstunden des Schulvormittags hinweg sinnvoll und wichtig. Für die Schulen 1 und 2 sollte beachtet werden, dass die Unterrichtsstunden 5 und 6 nicht in allen Klassen vorkommen, sondern in der Regel nur für die 4. Jahrgangsstufe. Insofern ist das für die Auswertung zur Verfügung stehende 'n' sehr klein. In den Abb. 5.70 bis 5.72 sind die Verläufe der Mittelwerte, errechnet aus den Werten aller beteiligten Klassen, dargestellt.



**Abb. 5.70:** Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel während des Schultages S1, vor (■) und nach (■) der Intervention

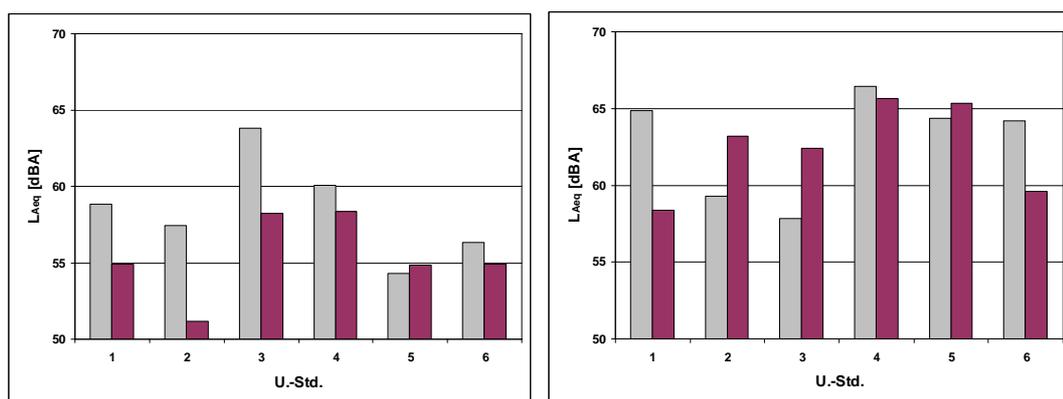
Im Tagesverlauf der Schule 1 ist der Unterschied sehr auffällig. Während der Geräuschpegel vor der Intervention im Laufe des Vormittags ansteigt, bleibt er nachher etwa konstant. Ein ähnlicher Effekt wird von OBERDÖRSTER&TIESLER (2006) als Folge der Verbesserung der Raumakustik berichtet. Die Ähnlichkeit der Veränderung fällt ins Auge.



**Abb. 5.71:** Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel während des Schultages S2, vor (■) und nach (■) der Intervention

Im Gegensatz dazu ist in der Schule 2 sogar ein leichter Anstieg des Arbeitsgeräuschpegels zu beobachten, in jedem Fall aber ein deutlich höherer Stand als vor der Interventionsmaßnahme. Eine Erklärung hierfür liegt neben veränderten Arbeitsformen möglicherweise in der sehr schlechten Raumakustik der Schule. Ein Vergleich mit den tatsächlich herrschenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Klassenraumluft, wird an späterer Stelle zu diskutieren sein.

Die mittleren Schallpegel im Unterricht werden für die Schule 3 auch hier getrennt nach der Güte der Raumakustik untersucht. Während in den, bezogen auf die Raumakustik, besseren Klassenräumen der Arbeitsgeräuschpegel nach der Intervention deutlich gesunken ist, wenn auch nicht so regelhaft wie in der Schule 1, entsteht in den übrigen Räumen ein uneinheitliches Bild von ausbleibender Senkung bis zu Steigerung.



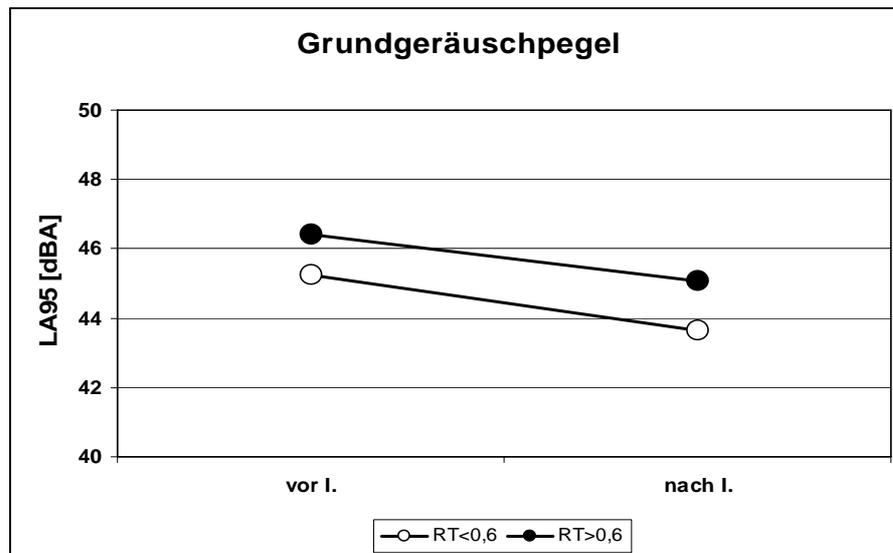
**Abb. 5.72:** Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel während des Schultages S3, RT < 0,6s (links) und RT > 0,6s (rechts), vor (■) und nach (■) der Intervention

Dieser auf den ersten Blick eher unsystematische Effekt an der Schule 3 entsteht vermutlich durch die sehr unterschiedlichen Klassenstufen bzw. Schularten. In den Räumen mit der besseren Raumakustik sind nur Gymnasialklassen untergebracht,

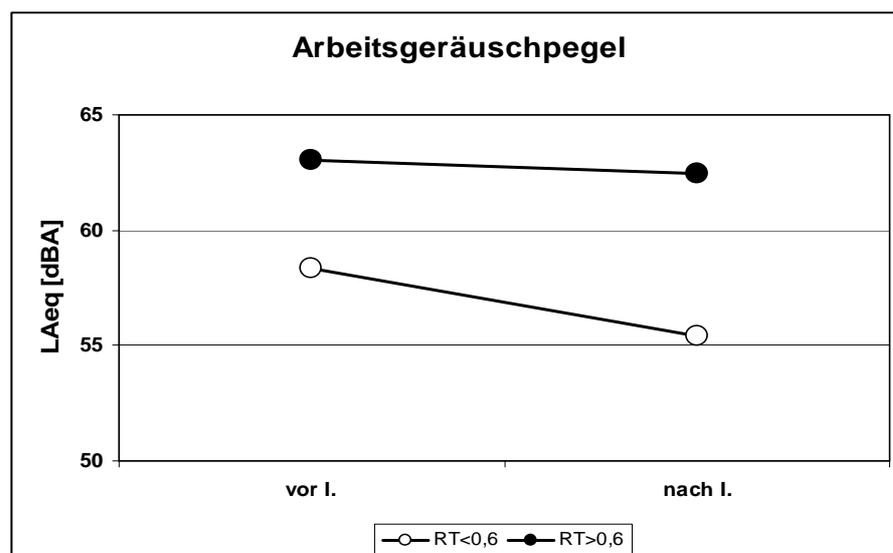
zweimal Jahrgang 9 und einmal Jahrgang 8, in den anderen Räumen sind nur die Jahrgänge 5 bis 7 untergebracht.

Durch diese sehr unterschiedliche Struktur der beiden Gruppen ist es wenig sinnvoll die Tagesverläufe miteinander zu vergleichen. Hier geben die jeweiligen Gesamtmittelwerte die Veränderungen wesentlich besser wieder. Sie sind in Abb. 5.73 enthalten.

Mit der Lüftungsintervention tritt in allen Klassen der Schule 3 eine leichte Senkung des Grundgeräuschpegels auf. Im Mittel sind es um 1,2 dB, allerdings auf etwas unterschiedlichem Niveau. In den Klassenräumen mit der längeren Nachhallzeit ( $RT > 0,6s$ ) liegt der Pegel um 1,2 dB höher als in den übrigen Räumen.



**Abb. 5.73:** Veränderung der Mittelwerte des Grundgeräuschpegels LA95 in der Schule 3, sortiert nach der Raumakustik ( $RT < 0,6s$  (○) und  $RT > 0,6s$  (●))



**Abb. 5.74:** Veränderung der Mittelwerte des Arbeitsgeräuschpegels LAeq in der Schule 3, sortiert nach der Raumakustik ( $RT < 0,6s$  (○) und  $RT > 0,6s$  (●))

Bei der Auswirkung der Lüftungsintervention auf den Arbeitsgeräuschpegel schlägt die bessere Raumakustik deutlich stärker zu Buche. Hier reduziert sich der Pegel um 2,9 dB, in den schlechteren Räumen dagegen nur um 0,6 dB (s. Abb. 5.74).

Als Fazit daraus lässt sich ableiten: mit der Lüftungsintervention ist eine umso deutlichere Wirkung auf den Geräuschpegel verbunden, je besser die Raumakustik des Klassenraumes einzustufen ist. Doch so begrüßenswert auch die – im Mittel z.T. relativ geringe Verbesserung – ist, bleibt zu fragen, wie sie erklärt werden kann. Was verändert die Lüftungsintervention an den Entstehungsbedingungen des Schallpegels im Unterricht? Allein die Verbesserung der Atemluft als Ursache anzunehmen, erscheint etwas weit hergeholt oder schlicht mechanisch argumentiert. Doch vielleicht stellen sich mit der Intervention weitere Verbesserungen der Arbeitsbedingungen des Unterrichts ein. Darauf wird zu achten sein.

### 5.4.5 Pädagogischer Prozess

Eine Analyse des pädagogischen Prozesses soll hier in zwei Richtungen vorgenommen werden, zum Einen bezüglich der Arbeitsform und Kommunikationsstruktur, zum Anderen bezüglich funktionaler und dysfunktionaler Unterrichtsaktivitäten. Die beiden im Unterricht aufgezeichneten Protokolle – Kommunikations- und Aktivitätsprotokoll – bilden die Grundlage dafür.

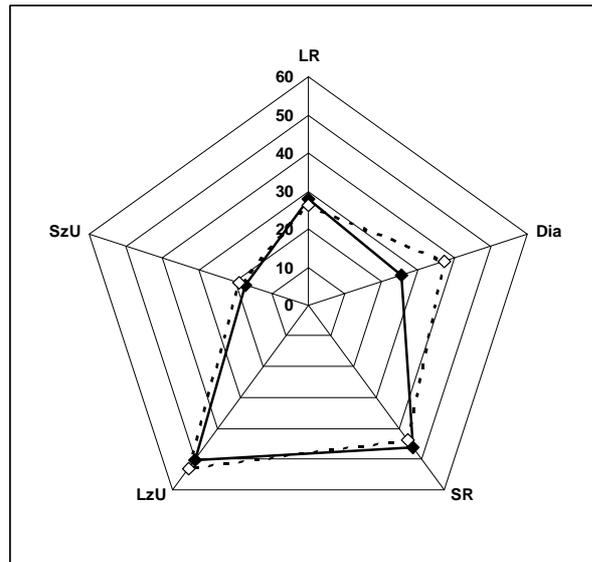
#### 5.4.5.1 Kommunikationsprotokoll

Welche Auswirkungen hat eine Verbesserung der „Ergonomie des Arbeitsplatzes“ auf den Arbeitsprozess? Diese Frage stellt sich insbesondere bei denjenigen Personen, die das Ergebnis des pädagogischen Prozesses beurteilen, möglicherweise auch über „Effizienz“ von Schule sprechen. Wie Untersuchungen aus der Arbeitswissenschaft schon früh gezeigt haben (vgl. Kap. 2), wirken sich oftmals auch viele kurze Pausen positiv auf das Arbeitsergebnis aus. Da sich im Rahmen einer so kurzen Beobachtung, maximal zwei mal zwei Tage mit zwei Wochen Zwischenzeit, nur sehr schwer Veränderungen in der Schulleistung bei Schülern messen lassen, müssen hier andere Faktoren zur Beurteilung herangezogen werden.

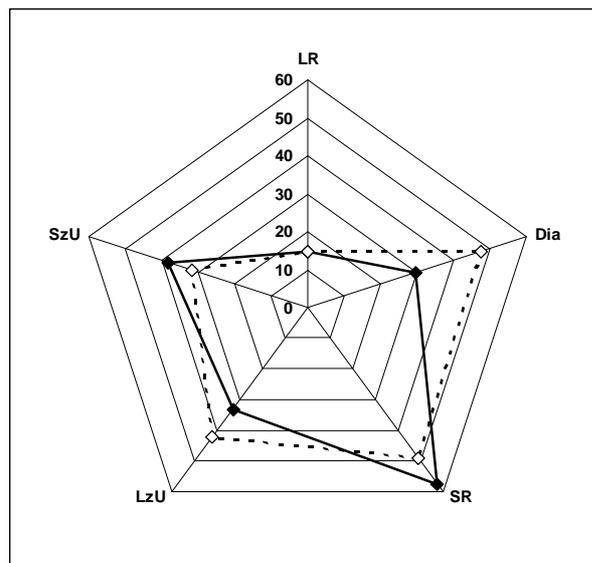
Aus den Darstellungen zur Methode der Unterrichtsbeobachtung (vgl. Kap. 4.16) geht hervor, welche Faktoren den Unterrichtsprozess beschreiben, woraus Veränderungen im Prozess abzuleiten sind. Das Kommunikationsprotokoll des Unterrichts dokumentiert die Form, in der Lehrer und Schüler miteinander in Kontakt treten. Das Verhältnis der einzelnen Parameter beschreibt diese Form der Zusammenarbeit. Im Einzelnen werden dafür folgende Parameter verwendet:

LR	Lehrerrede
Dia	Dialog
SR	Schülerrede
LzU	lehererzentrierter Unterricht
SzU	schülerzentrierter Unterricht

In einem „Unterrichts-Grid“ aus insgesamt 105 Unterrichtsstunden vor und 106 nach der Intervention wurden die mittleren Zeitanteile am Unterricht gebildet und in Abb. 5.75 dargestellt. Die Mittelung über alle drei Schulen verwischt natürlich die Unterschiede zwischen den, teilweise sehr unterschiedlichen Unterrichtsverläufen in Grundschulen und weiterführenden Schulen. Auffällig in dem Gesamt-Grid aller Schulen ist der nahezu unveränderte Anteil der einzelnen Parameter, mit Ausnahme des Dialog-Anteils, der deutlich zunimmt, von 25,6 % auf 37,5 %. Dies kann als verbessertes Unterrichtsgespräch interpretiert werden, unabhängig von der übrigen Form des Unterrichtens, ob z.B. mehr lehrer- oder schüler-zentriert. Es bleibt zu prüfen, in welcher Intensität dies für die einzelnen Schulen zutrifft.



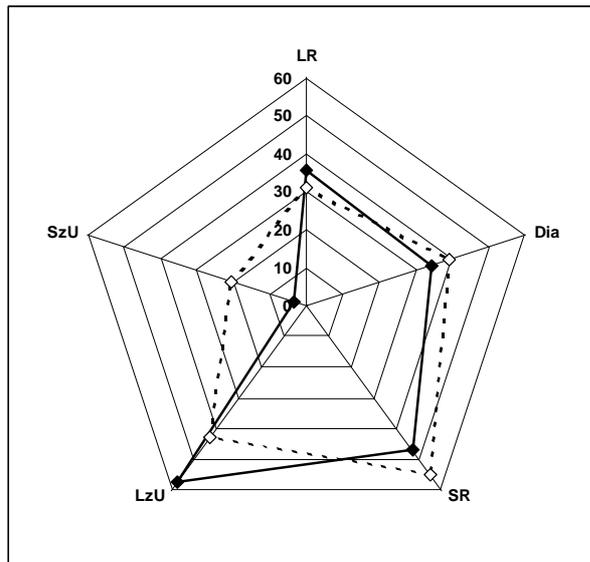
**Abb. 5.75:** Kommunikationsprotokoll, Mittelwerte für alle Schulen in % der Unterrichtszeit, vor (—◆) und nach (- - -◇) der Intervention



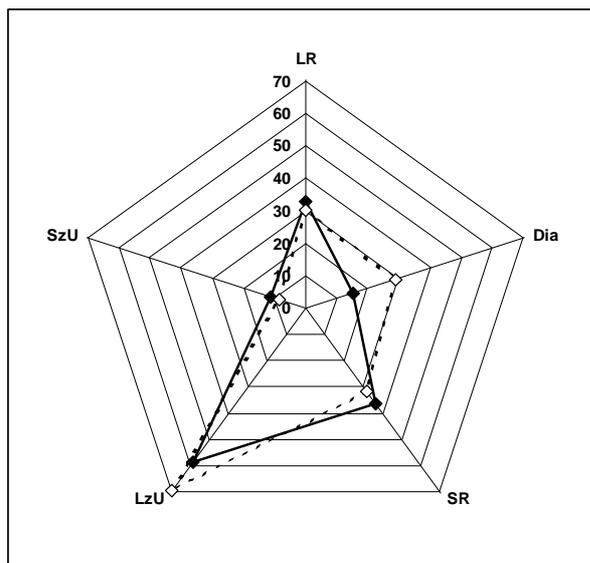
**Abb. 5.76:** Kommunikationsprotokoll, Mittelwerte für Schule 1 in % der Unterrichtszeit, vor (—◆) und nach (- - -◇) der Intervention

In Abb. 5.76 sind die Daten des Kommunikationsprotokolls für die Schule 1 eingetragen. Die auffälligen Veränderungen im Unterrichtsprozess werden hier noch deutlicher als in der Mittelung über alle Schulen. Während der Anteil der „Lehrerrede“ unverändert ist, verschiebt sich der Anteil reiner „Schülerrede“ hin zum „Dialog“ unter gleichzeitiger Zunahme des Anteils „lehrerzentrierter“ Unterricht. Pädagogen interpretieren dies als „frontales Unterrichtsgespräch“.

Für die Schule 2 ist das Ergebnis etwas anders verteilt (s. Abb. 5.77), hier verändert sich die Unterrichtsform hin zu „schülerzentrierter“ Form, aber auch mit einer Verstärkung des „Dialogs“ bei den Redeanteilen. Eine Erklärung für die gegensätzliche Verschiebung der Anteile bei der Arbeitsform kann nicht gegeben werden.



**Abb. 5.77:** Kommunikationsprotokoll, Mittelwerte für Schule 2 in % der Unterrichtszeit, vor (—◆) und nach (- - ◆) der Intervention



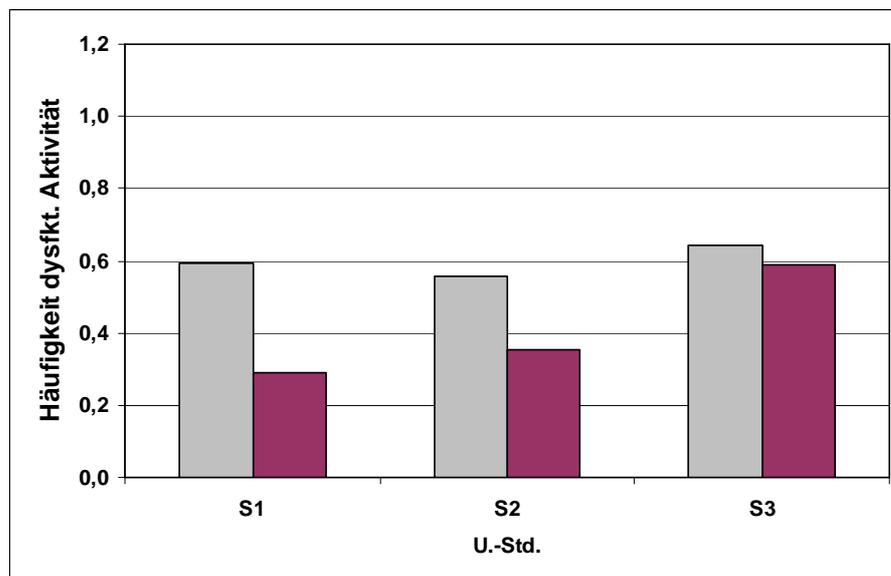
**Abb. 5.78:** Kommunikationsprotokoll, Mittelwerte für Schule 3 in % der Unterrichtszeit, vor (—◆) und nach (- - ◆) der Intervention

Für die Schule 3 (s. Abb. 5.78) gelten ähnliche Veränderungen wie für die Schule 1. Auffällig auch hier die Erhöhung des „Dialogs“ bei gleichzeitiger Verschiebung zu mehr „lehrerzentrierter“ Arbeitsform. Der Dialog im Unterricht wird immer dann gewählt, wenn ein besonders intensiver Austausch zwischen Lehrer und Schülern möglich ist, wenn die „Mitarbeit von Schülern“ besonders gut ist, so die Auskunft einiger beteiligter Pädagogen.

In der Summe wird an allen drei beteiligten Schulen eine deutlich Zunahme des „Dialogs“ beobachtet, sowie eine Veränderung der Arbeitsform. Die Veränderung in der Schule 2 zugunsten von „schülerzentriertem“ Unterricht im Gegensatz zu den beiden anderen Schulen ist möglicherweise auf Gewohnheiten der beteiligten Kollegien zurückzuführen. Dies entzieht sich unserer Beobachtung.

#### 5.4.5.2 Aktionsprotokoll

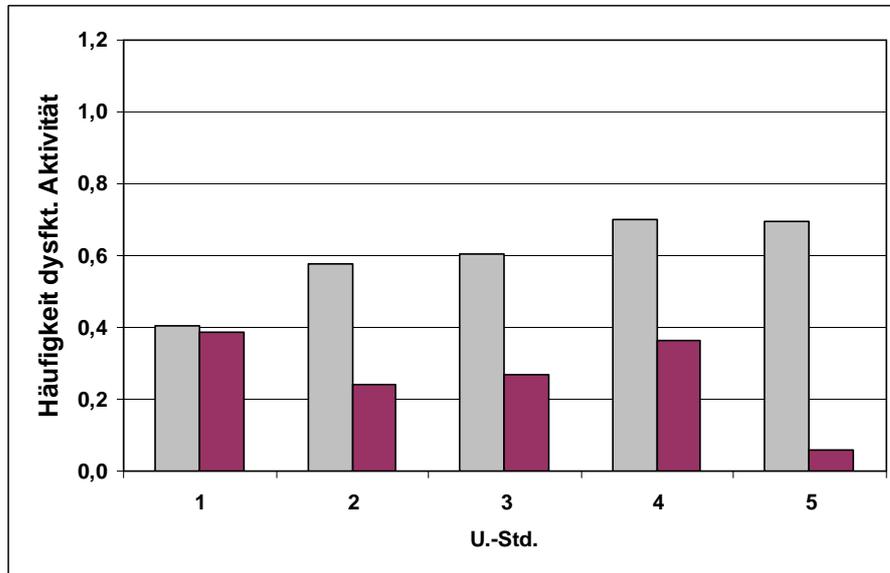
Ausgehend von der Beobachtung, dass Ermüdung zu Unaufmerksamkeit, verbunden mit Unruhe, beiträgt, stellt sich hier die Frage nach einer Veränderung aller Aktivitäten, die im Unterricht beobachtet wurden, die aber nicht Bestandteil des Unterrichts sind. Diese wurden im Aktionsprotokoll als „dysfunktionale“ Aktivitäten registriert. Da dieses Verhalten neben dem Alter auch durch allgemeine Verhaltensgewohnheiten der einzelnen Schule geprägt wird, sollen die Beobachtungen nach den jeweiligen Schulen getrennt dargestellt werden.



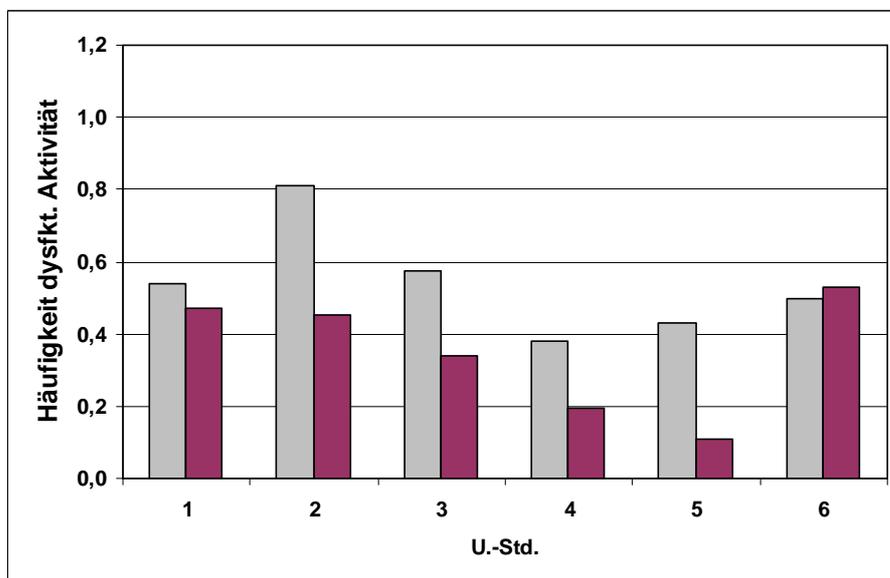
**Abb. 5.79:** Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an den Schulen, vor (■) und nach (■) der Intervention, S1 (n=34/26), S2 (n=32/35), S3 (n=40/42)

In der Gesamtdarstellung aller „dysfunktionaler Aktivitäten“ für die einzelnen Schulen (s. Abb. 5.79) ist für die Situation vor der Intervention zwar nur ein sehr geringer Unterschied festzustellen, nach der Intervention aber ein deutlicher. Während in den beiden Grundschulen der Anteil sehr viel kleiner wird, in der Schule 1 sogar um 50%, sinkt der Anteil in der Schule 3 nur gering, von 0,64 auf 0,58 Aktivitäten/min.

Wenn der Ermüdungsprozess im Laufe des Unterrichtstages fortschreitet, so sollte eine Veränderung über den Tag hin zu beobachten sein. Für die Schule 1 ist dies in Abb. 5.80 dargestellt. Während vor der Intervention die Häufigkeit dieser „Störungen“ von der ersten zur letzten Stunde hin zunimmt, ist dies nach der Intervention nicht mehr zu beobachten. Die 5. Stunde bildet eine Ausnahme, hier liegen nur noch drei beobachtete Stunden vor.



**Abb. 5.80:** Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 1, vor (■) und nach (■) der Intervention

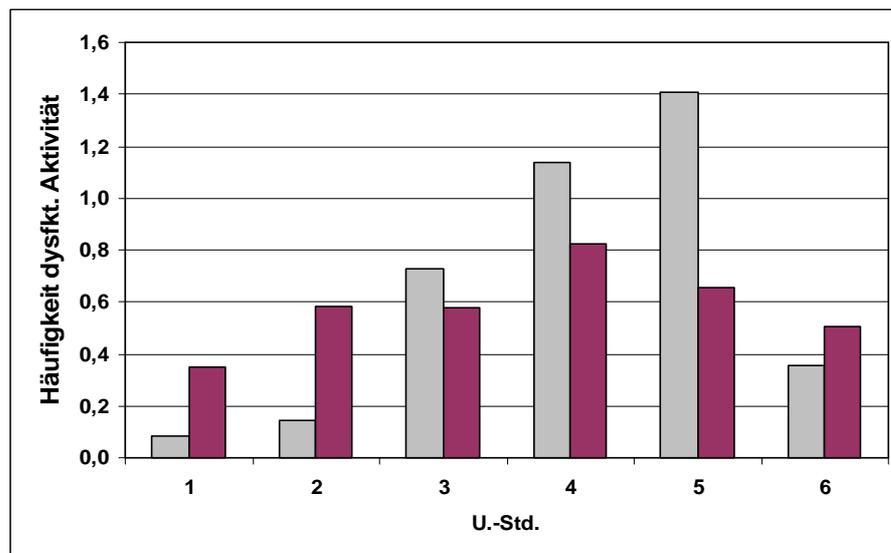


**Abb. 5.81:** Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 2, vor (■) und nach (■) der Intervention

In der Schule 2, siehe Abb. 5.81, ist ein systematischer Anstieg der Häufigkeit nicht zu beobachten, dafür aber die Reduzierung nach der Intervention, wobei auch hier

die 5. und 6. Std. wegen der geringen Zahl von drei bzw. 2 Stunden nicht mehr als repräsentativ eingestuft werden darf.

Bei den Daten der Schule 3, siehe Abb. 5.82, ist vor der Einführung der Lüftungspause ein sehr viel stärkerer Anstieg „dysfunktionaler Aktivitäten“ zu beobachten als in der Schule 1, ohne dass dieser Unterschied aus den vorhandenen Daten begründet werden kann. Hier bleibt die Frage nach der besonderen Bedeutung des Pubertätsalters zu stellen. Allein von der 3. zur 5. Unterrichtsstunde findet eine Verdopplung der Aktivitäten statt. Nach der Intervention tritt dieses Verhalten allerdings sehr viel seltener auf als vorher, auch wenn in den beiden ersten Stunden eine Erhöhung zu beobachten ist.



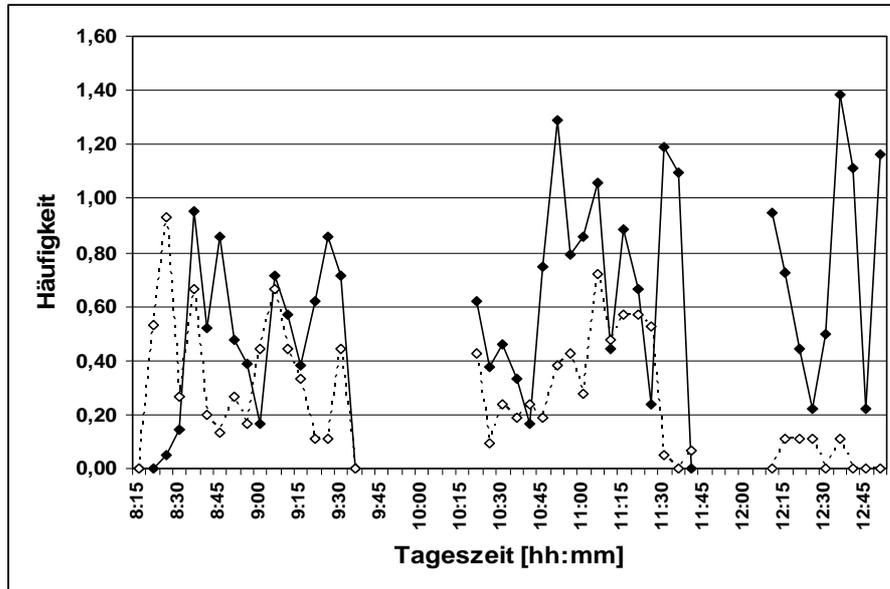
**Abb. 5.82:** Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 3, vor (■) und nach (■) der Intervention

Auch wenn ein „Ermüdungsanstieg“ abgebildet in den dysfunktionalen Aktivitäten nicht an allen Schulen zu beobachten ist, so zeigt sich aber in fast allen Fällen eine deutliche Reduzierung. Dies ist vom Verhalten her als Aufmerksamkeitssteigerung zu interpretieren.

Aus dieser für die Unterrichtsstunden am Tag gemittelten Häufigkeiten lässt sich zwar ein gewisser Trend über den Unterrichtstag beobachten, doch wie sieht der zeitliche Verlauf während des Unterrichts aus? Die als Zeitreihe vorhandenen Daten der Unterrichtsbeobachtung wurden zu 5 min-Zeiteinheiten zusammengefasst und anschließend als Zeitreihen über jeweils acht Unterrichtstage vor und nach der Intervention nach Schulen getrennt gemittelt, so wie es bereits bei den Verläufen der CO<sub>2</sub>-Konzentration erfolgte.

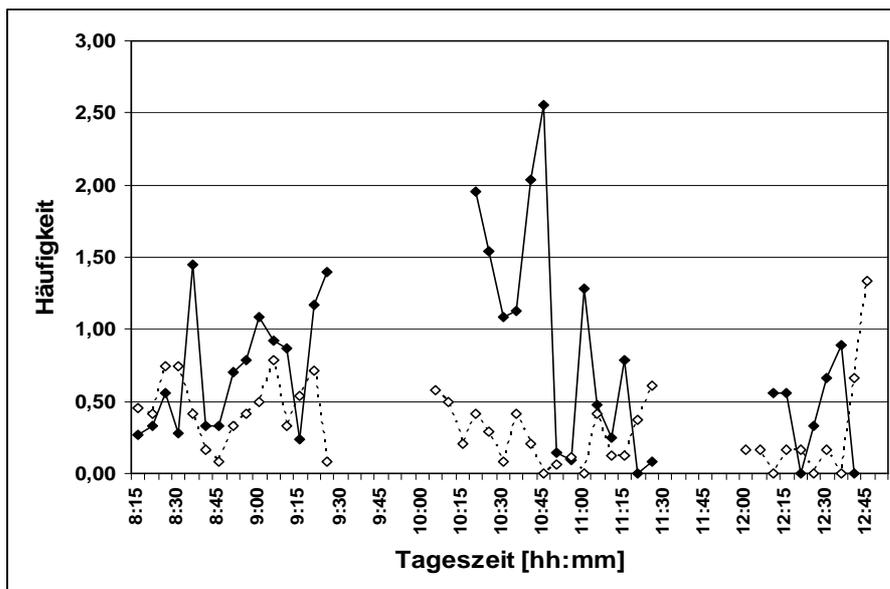
Für die beiden Grundschulen sind jeweils vier Klassen mit je zwei Tagen in den Datensätzen enthalten, für die Schule 3 sind es entsprechend acht Klassen mit je einem Tag. Für die Schule 1 sind die mittleren Häufigkeiten der „dysfunktionalen Aktivität“ der Schüler in Abb. 5.83 über der Zeit aufgetragen. Die Daten der fünften Unterrichtsstunde beziehen sich nur auf jeweils zwei Tage, da die anderen Klassen je Tag nur bis zur 4. Stunde Unterricht hatten. Zu beachten ist hier außerdem, dass es sich

bei den ersten Unterrichtsstunden um Doppelstunden von 90 min handelt. Hier wird deutlich, dass in der zweiten Doppelstunde die Häufigkeit der Störungen nach der Intervention nicht höher ist als in der ersten Stunde, im Gegensatz zum Zeitpunkt vor Einführung der Lüftungspause. Während vor der Intervention die Häufigkeit der Störungen im Verlauf der Doppelstunde größer wurde, ist dieser Effekt nachher nicht mehr vorhanden.



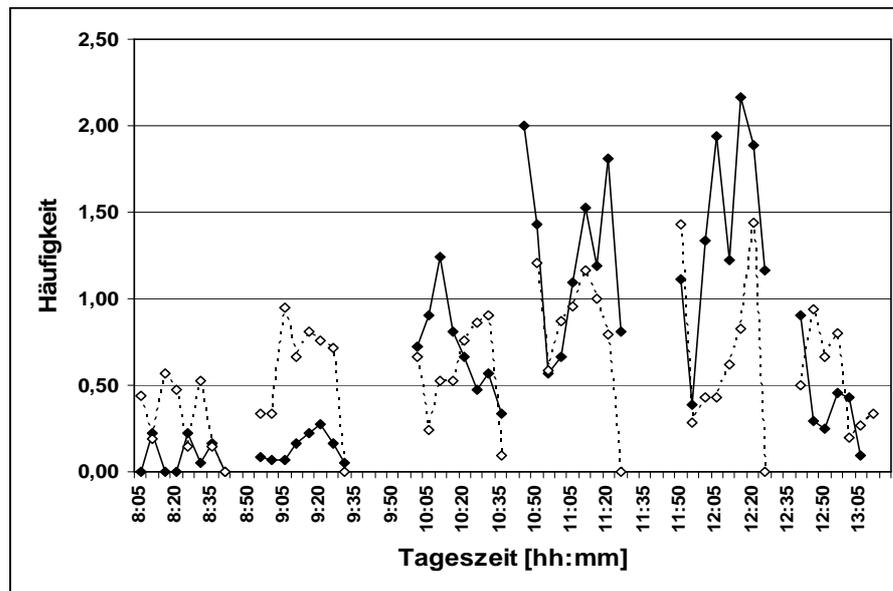
**Abb. 5.83:** Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 1, vor (—◆) und nach (- - ◇) der Intervention

Für die Schule 2 ergibt sich ein anderes Bild als für die Schule 1, siehe Abb. 5.84. Aber auch hier gilt der fehlende Anstieg der Störungen nach Einführung der Lüftungspause.



**Abb. 5.84:** Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 2, vor (—◆) und nach (- - ◇) der Intervention

Für die Schule 3 sind die Daten in der Abb. 5.85 über der Zeit aufgetragen. Der Unterschied zu den beiden ersten Schulen liegt in dem anderen Zeitraster des Unterrichts, es wird grundsätzlich nur in Einzelstunden, d.h. 45 min, unterrichtet. Trotz dieser planmäßigen Pausen von je 5 min ist hier eine stete Zunahme der Störungen über den Vormittag zu beobachten. Nach Einführung der Lüftungspause nimmt die Häufigkeit zwar auch noch über den Vormittag zu, aber deutlich geringer als vorher. Zu bedenken bleibt hier, dass es sich bei diesen Darstellungen um gemittelte Zeitreihen handelt, nicht um einzelne Tagesprofile. Für eine detaillierte Ursachenanalyse dürfen nur die korrespondierenden Zeitreihen, d.h. aus einer Klasse zu zwei verschiedenen Zeitpunkten bei identischem Tagesverlauf miteinander verglichen werden.

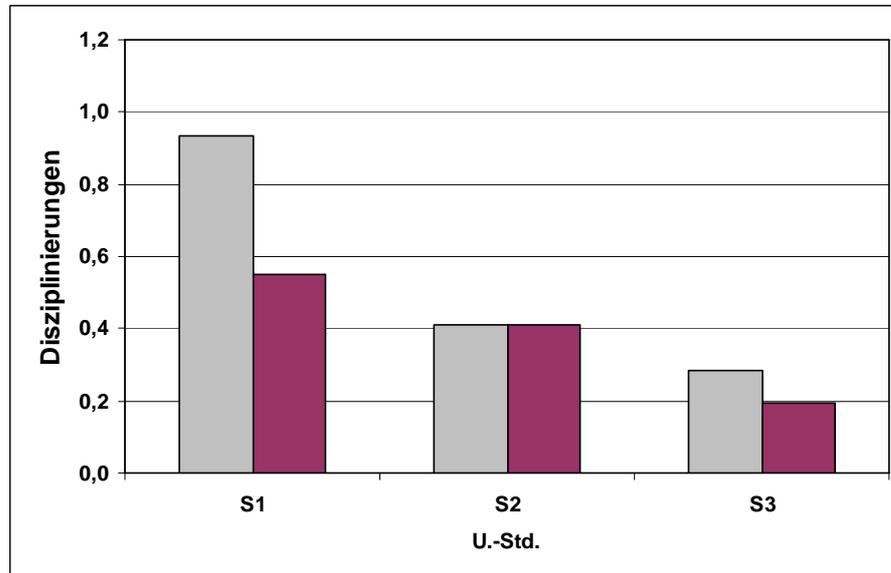


**Abb. 5.85:** Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 3, vor (—◆) und nach (- - -◇) der Intervention

Eine Auswirkung der Lüftungsintervention auf die „dysfunktionalen Aktivitäten“ der Schüler, so wie sie hier aufgezeigt wurden, ist an allen Schulen zu beobachten, die Häufigkeit wird an allen Schulen geringer und der mit zunehmender Unterrichtszeit beobachtete Anstieg bleibt weitgehend aus. Wenn diese Störungen als Ausdruck von Ermüdtungsprozessen zu betrachten sind, so ist die Ermüdung mit der hier angewandten Intervention zumindest erheblich zu reduzieren.

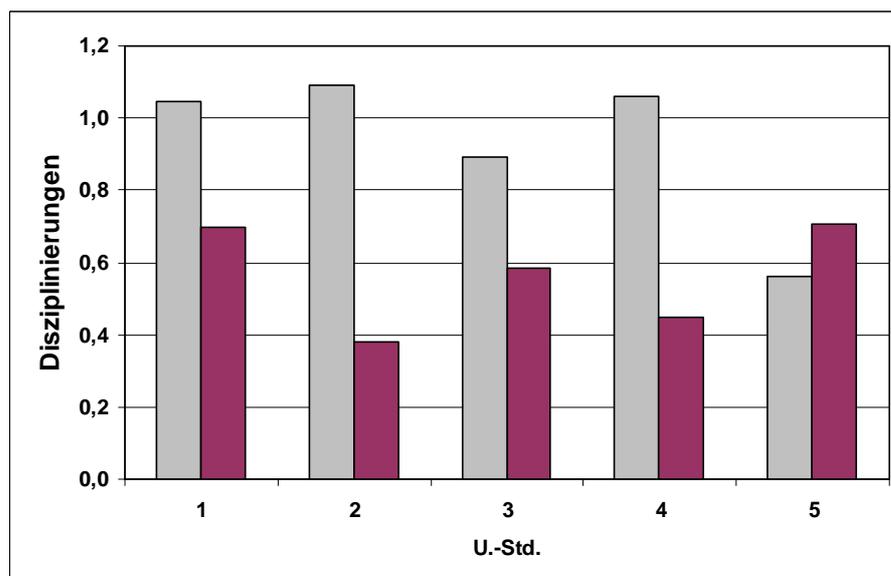
Ein zweiter Parameter, der in diesem Zusammenhang registriert wurde, sind „Disziplinierungen“, praktisch die Reaktion des Lehrers auf dysfunktionale Aktivitäten im Unterricht. Die mittlere Häufigkeit für jede Schule ist in der Abb. 5.86 gezeigt. Auffällig ist hier der sehr deutliche Unterschied in der Anzahl von Disziplinierungen zwischen den drei beteiligten Schulen, sicher nicht durch das Alter zu erklären, da die beiden ersten Schulen die gleiche Altersstufe unterrichten. Eine mögliche Erklärung wäre eine unterschiedliche Erwartungshaltung an Disziplin bzw. verschiedene Toleranzgrenzen bei den beteiligten Lehrern. Betrachtet man „dysfunktionale Aktivitäten“ als Ursache für Disziplinierungsmaßnahmen, so gibt es in der Beobachtung zwischen den beiden Grundschulen keinen Unterschied. Während an den Schulen 1

und 2 eine Abnahme der Disziplinierungen nach der Intervention erfolgt, ist dies an der Schule 2 nicht der Fall, obwohl die dysfunktionalen Aktivitäten auch dort abgenommen haben (s. o.). Auch hier besteht die Möglichkeit, dass nicht alle Anlässe für Disziplinierungen von den Beobachtern im Unterricht erfasst wurden oder es sind solche Ereignisse, die von einem unabhängigen Beobachter nicht unbedingt als Anlass zu erkennen sind.



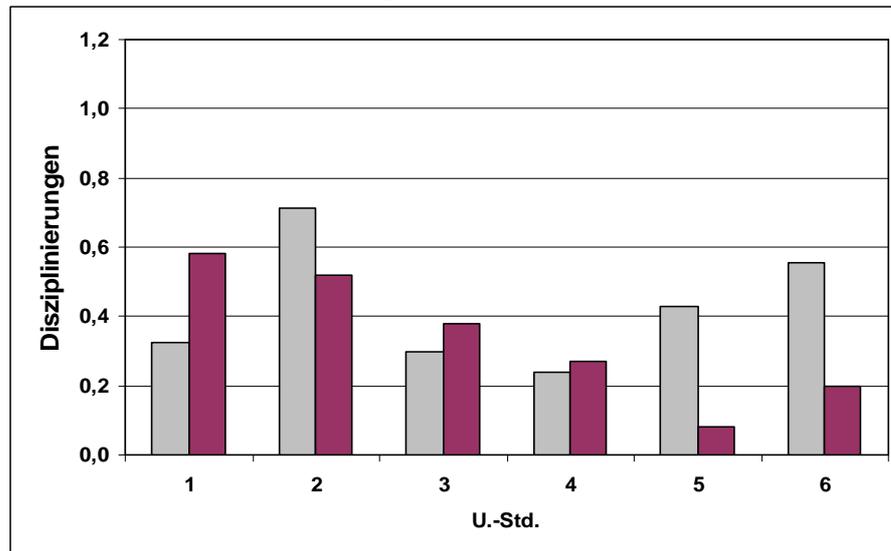
**Abb. 5.86:** Häufigkeit „Disziplinierungen“ über den Unterrichtstag an den Schulen, vor (■) und nach (■) der Intervention, S1 (n=34/26), S2 (n=32/35), S3 (n=40/42)

Genau wie bei der Darstellung der „dysfunktionalen Aktivitäten“ soll dies bei den „Disziplinierungen“ auch in Abhängigkeit von der Unterrichtsstunde erfolgen.



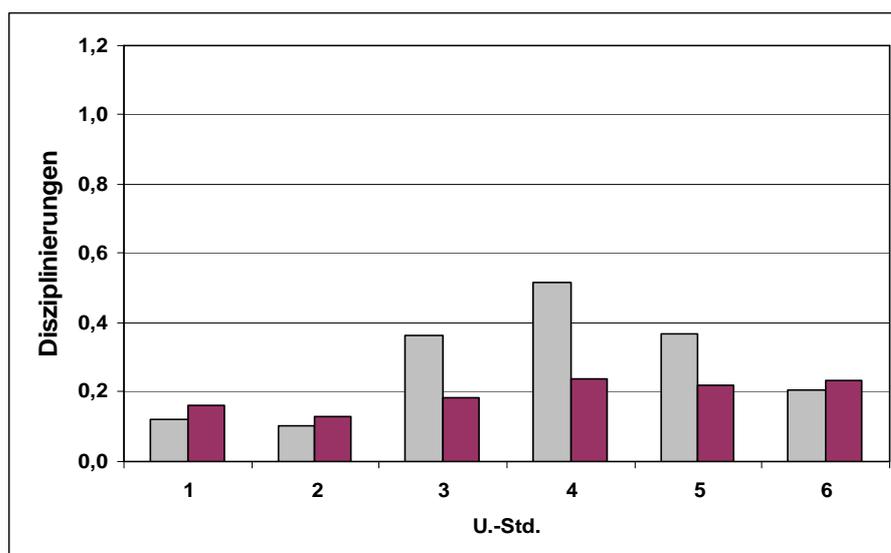
**Abb. 5.87:** Häufigkeit „Disziplinierungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 1, vor (■) und nach (■) der Intervention

Für die Schule 1 (Abb. 5.87) bestätigt sich das Bild aus der Summendarstellung zuvor, mindestens für die ersten vier Unterrichtsstunden, wobei eine Abhängigkeit von der Tageszeit nicht zu erkennen ist. Berücksichtigt man die Tatsache, dass jeweils 1. und 2. bzw. 3. und 4. Stunde als Doppelstunden unterrichtet werden, so finden wir vor der Intervention eine Zunahme der Disziplinierungen innerhalb der Stunden, nachher aber eine Abnahme. Hier zeigt sich ein deutlicher Einfluss auf das Unterrichtsgeschehen durch die kurzen Lüftungspausen.



**Abb. 5.88:** Häufigkeit „Disziplinierungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 2, vor (■) und nach (■) der Intervention

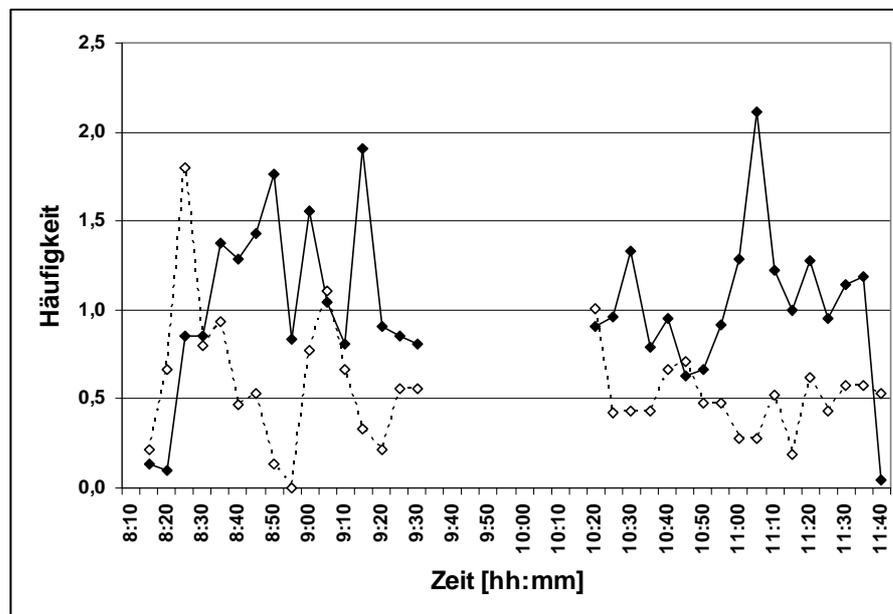
Die Daten der Schule 2 in Abb. 5.88 bestätigen diese Beobachtungen aus der Schule 1 nicht, obgleich auch hier in Doppelstunden unterrichtet wird, ganz im Gegenteil, hier ist vermehrt ein Anstieg der Disziplinierungen zu beobachten, im Mittel bleibt es aber gleich (s.o.).



**Abb. 5.89:** Häufigkeit „Disziplinierungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 3, vor (■) und nach (■) der Intervention

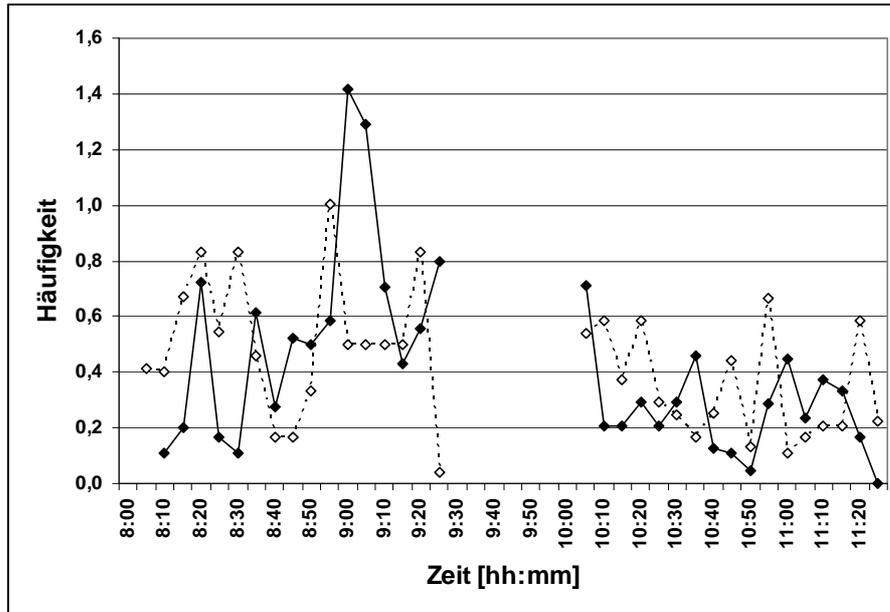
Disziplinierungen in der Schule 3 (s. Abb. 5.89) sind sehr viel seltener als in den beiden Grundschulen, obgleich die Anzahl von Störungen (s.o.) deutlich größer ist. Im Gegensatz zu den beiden anderen Schulen finden wir hier aber einen klar erkennbaren Zusammenhang zwischen der Zahl der Disziplinierungen und den Störungen. Der beobachtete Zusammenhang zwischen den Störungen und den Disziplinierungen ist zumindest an der Schule 3 sehr deutlich, zeigt aber auch die Veränderung in der Reaktion durch den Lehrer. Nach der Intervention sinkt nicht nur die absolute Anzahl von Störungen, sondern auch die Empfindlichkeit darauf zu reagieren. Dies weist zumindest in die Richtung einer Entspannung der Situation hin.

Genau wie bei der Analyse der „dysfunktionalen Aktivitäten“ werden im Folgenden die Reaktionen der Lehrer in Form der „Disziplinierungen“ als Zeitreihe dargestellt. Sind hier eventuell ähnliche Verläufe zu finden? Für die Schule 1 sind die gemittelten Zeitreihen der Häufigkeit von Disziplinierungen in Abb. 5.90 dargestellt. Auch hier ist ein Anstieg der Häufigkeit im Verlauf der Unterrichtsstunden zu beobachten, der nach Einführung der Lüftungspause deutlich geringer ist und in der 4. Unterrichtsstunde sogar konstant bleibt.



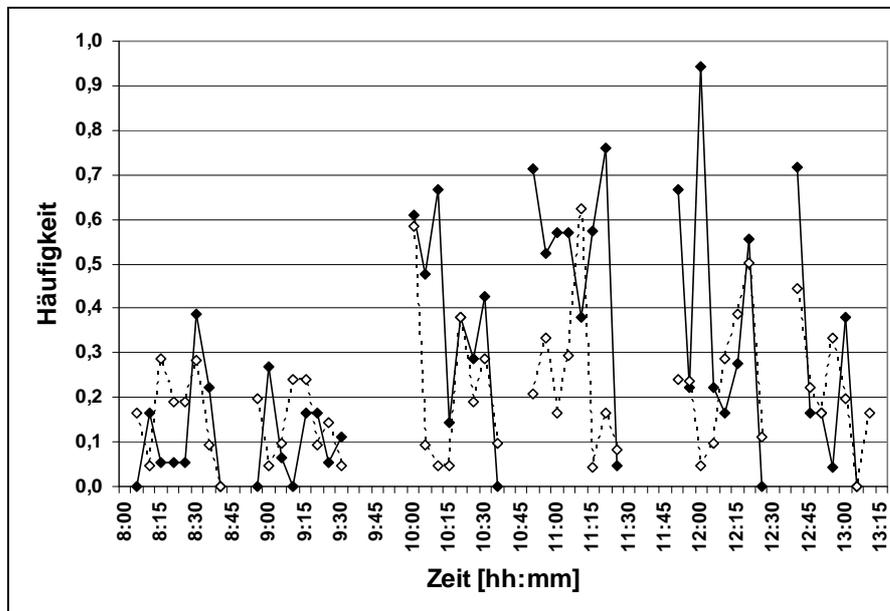
**Abb. 5.90:** Mittlere Häufigkeit „Disziplinierungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 1, vor (—◆) und nach (- - ◆) der Intervention

Die Daten der Schule 2 in Abb. 5.91 zeigen für die ersten beiden Unterrichtsstunden des Tages ein sehr ähnliches Bild, wobei die Veränderung durch die Intervention aber sehr viel geringer ausfällt. Bei dem Vergleich dieser gemittelten Zeitreihen bleibt immer zu bedenken, dass es sich dabei um die mittleren Verläufe von acht Unterrichtstagen in vier verschiedenen Klassen handelt. Da es hier aber mehr um generelle Veränderungen geht, bleibt die Betrachtung einzelner Unterrichtsverläufe unberücksichtigt.



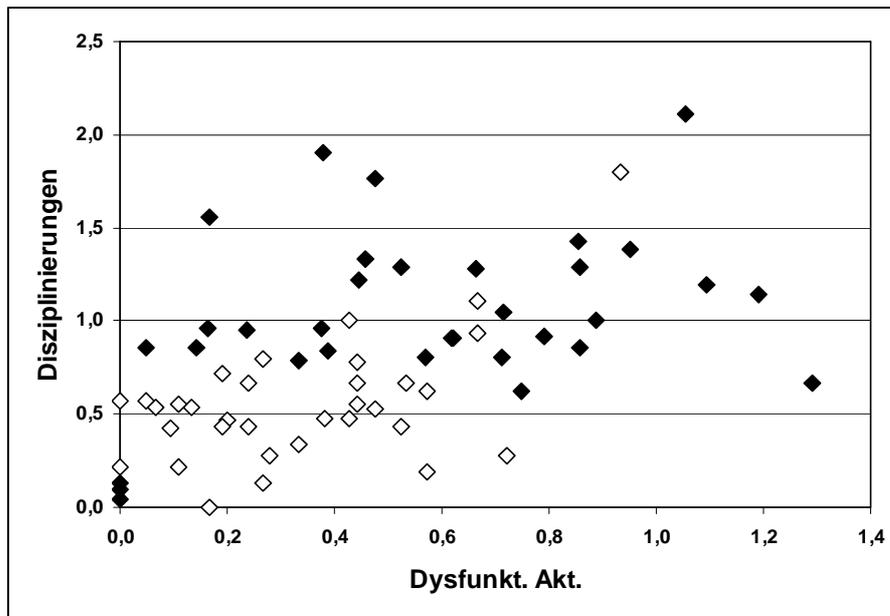
**Abb. 5.91:** Mittlere Häufigkeit „Disziplinierungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 2, vor (—◆) und nach (- - ◆) der Intervention

Die Zeitverläufe der Schule 3, dargestellt in Abb. 5.92, weisen den zuvor bereits diskutierten Anstieg über den Tag etwas detaillierter aus. Zu beachten bleibt aber, dass die Häufigkeit insgesamt deutlich niedriger bleibt als in den beiden Grundschulen. Nach Einführung der Lüftungspause ändert sich in den beiden ersten Stunden praktisch nichts, wohingegen große Unterschiede in der 4. und 5. Stunde zu beobachten sind.

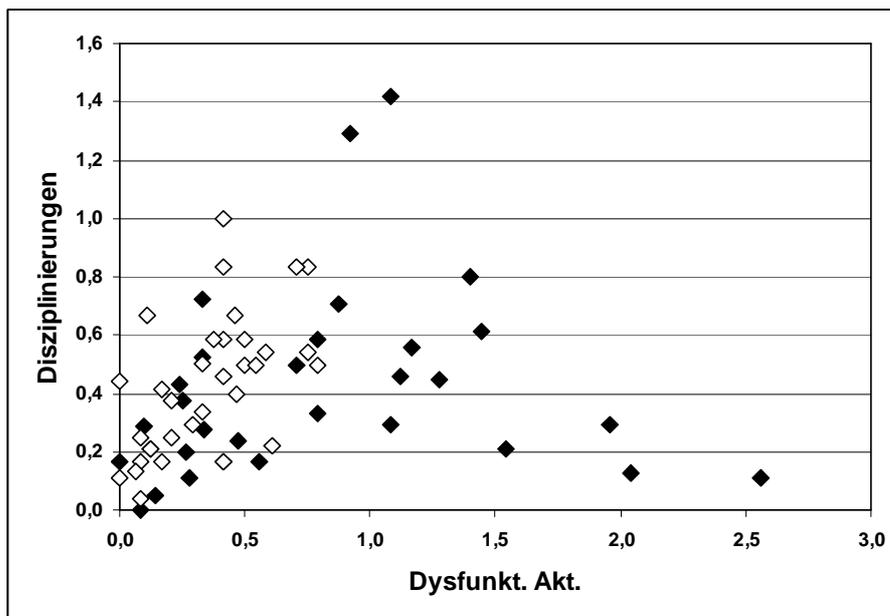


**Abb. 5.92:** Mittlere Häufigkeit „Disziplinierungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 3, vor (—◆) und nach (- - ◆) der Intervention

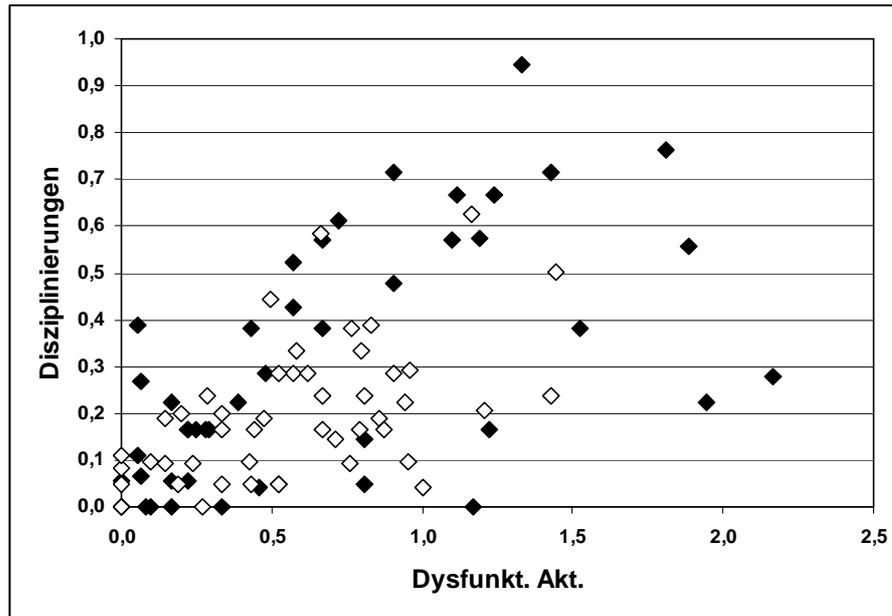
Da „Disziplinierungen“ in der Regel eine Ursache in Form von Aktivitäten haben, die nicht unmittelbar zum aktuellen Unterricht gehören, bleibt zu prüfen, ob ein Zusammenhang mit den hier bereits diskutierten „dysfunktionalen Aktivitäten“ der Schüler besteht. Jedem einzelnen Zeitpunkt der beiden Zeitreihen entspricht ein Wert für „Disziplinierung“ bzw. „dysfunktionale Akt.“. Diese korrespondierenden Werte sind als Streudiagramm im Nachfolgenden für die Schulen einzeln dargestellt (siehe Abb. 5.93 bis 5.95). Da von Experten, wie z.B. LIENERT (1978), vor Korrelation derartiger Zeitreihen gewarnt wird, bietet sich die Betrachtung im Streudiagramm an.



**Abb. 5.93:** Zusammenhang zwischen „Disziplinierungen“ und „dysfunktionalen Aktivitäten“ für Schule 1, vor (♦)( $r=0,38$ ) und nach (◇)( $r=0,53$ ) Intervention



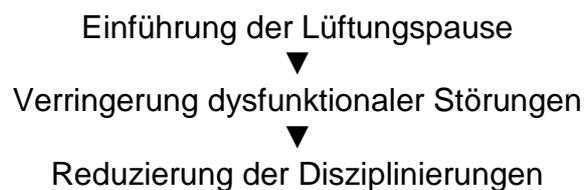
**Abb. 5.94:** Zusammenhang zwischen „Disziplinierungen“ und „dysfunktionalen Aktivitäten“ für Schule 2, vor (♦)( $r=0,12$ ) und nach (◇)( $r=0,56$ ) Intervention



**Abb. 5.95:** Zusammenhang zwischen „Disziplinierungen“ und „dysfunktionalen Aktivitäten“ für Schule 3, vor (◆)( $r=0,60$ ) und nach (◇)( $r=0,52$ ) Intervention

Innerhalb dieser Streudiagramme lassen sich durchaus Zusammenhänge erkennen die Ursachen – Wirkung – Zusammenhanges interpretiert werden können. Die Güte des Zusammenhangs, in Form eines Korrelationskoeffizienten dargestellt, erreicht immerhin Werte von  $r > 0,5$  nach Einführung der Lüftungspause, vorher teilweise geringere Werte. Eine Betrachtung in dieser Form stößt von der Aussagekraft her jedoch sehr schnell an die Grenzen, da es sich bei den Zeitreihen, wie zuvor erläutert, um gemittelte Verläufe handelt.

Dennoch drängt die Beobachtung zu dem Schluss, dass es hier eine deutlich erkennbare Wirkungskette gibt:



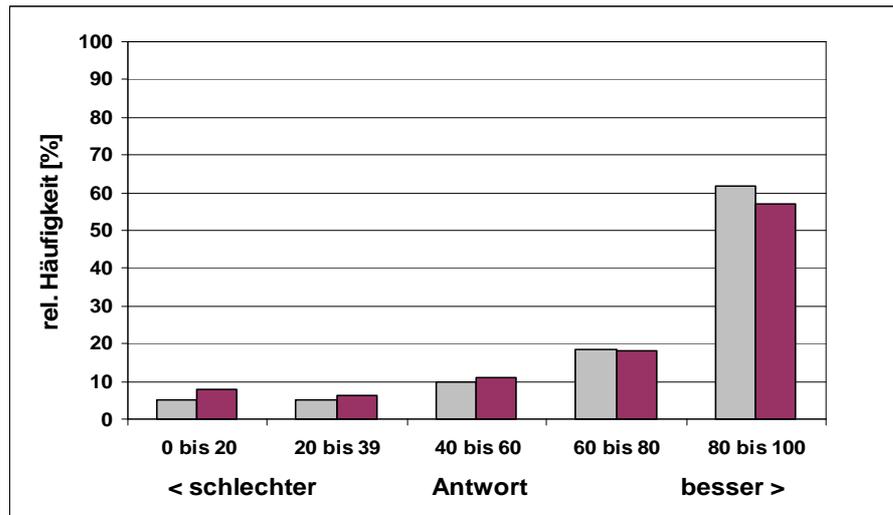
Eine Einordnung dieser beobachteten Veränderungen in die Gesamtwirkung der Interventionsmaßnahme ist im Abschluss noch zu leisten.

#### 5.4.6 Befindlichkeitsbefragung

Vor und nach dem Unterricht wurde den Schülern ein Fragebogen zur eigenen Befindlichkeits-Einschätzung vorgelegt, wie in Kapitel 4. bereits dargestellt . Hier noch einmal die gestellten Fragen:

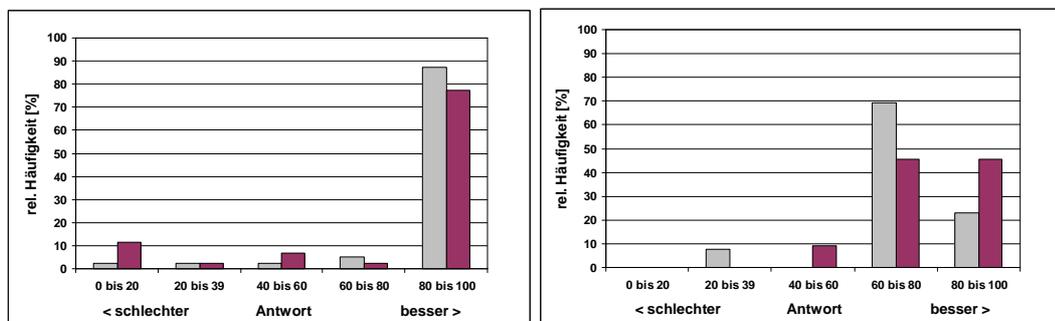
<b>Frage 1</b>	<b>Wie hast Du heute geschlafen?</b>	<b>sehr gut 100 %</b>
<b>Frage 2</b>	<b>Wie fühlst Du Dich heute Morgen?</b>	<b>sehr gut 100%</b>
<b>Frage 3</b>	<b>Wie fühlst Du Dich nach diesem Schultag?</b>	<b>sehr gut 100%</b>
<b>Frage 4</b>	<b>Konntest Du Dich heute gut konzentrieren</b>	<b>sehr gut 100%</b>
<b>Frage 5</b>	<b>Wie laut fandest Du es heute in Deiner Klasse?</b>	<b>sehr laut 0%</b>

Eine Verteilung der Antworten auf die Frage 1 ist für alle Schüler in Abb. 5.96 dargestellt. Hieraus kann der Eindruck entstehen, dass der überwiegende Teil der Schüler „sehr gut“ geschlafen hat. Bei einer Aufteilung nach dem Alter entsteht jedoch ein sehr viel differenzierteres Bild.



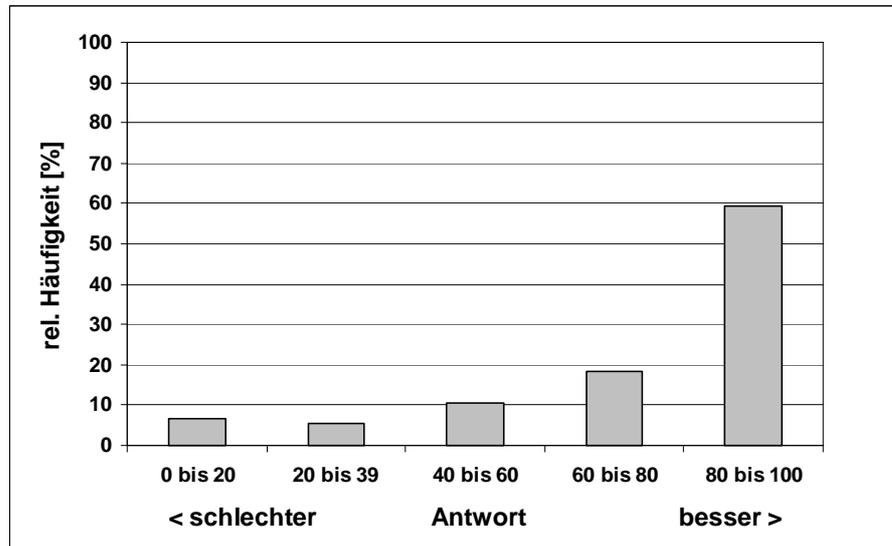
**Abb. 5.96:** Antworten zu Frage 1 für alle Schüler, vor (■) und nach (■) der Intervention

Für Schüler der Jahrgänge 6 bis 9 gibt es eine sehr einseitige Verteilung, ähnlich wie es für die 7-Jährigen in Abb. 5.97 links gezeigt ist. Erst ab etwa 10 Jahre beginnt eine deutlich differenziertere Beantwortung der Frage wie z.B. bei den 12-Jährigen in der Abb. 5.97 rechts. Haben alle diese Schüler so gut geschlafen oder ist dies ein Phänomen der Altersstufe, können Schüler dieses Alters möglicherweise dies nicht so differenziert einschätzen? Oder ist gar die Art der Antworttechnik mit der offenen Skala zwischen 0 und 100 nicht für die jüngeren Schüler geeignet?



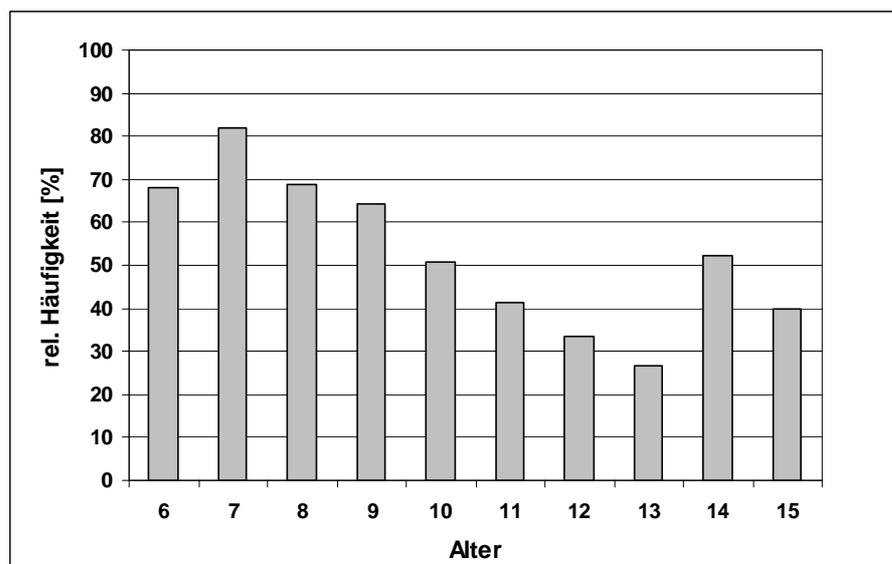
**Abb. 5.97:** Antworten zu Frage 1 für Schüler 7 Jahre (links) und 12 Jahre (rechts), vor (■) und nach (■) der Intervention

Da die Interventionsmaßnahme eigentlich keinen Einfluss auf den Schlaf der Schüler haben sollte, können die Daten zusammengefasst werden, wie in der Abb. 5.98 gezeigt. Hieraus ergibt sich, dass ca. 75 % der Schüler mindestens „gut ausgeschlafen“ in die Schule kommen, so ihre eigene Einschätzung.



**Abb. 5.98:** Antworten zu Frage 1 für alle Schüler

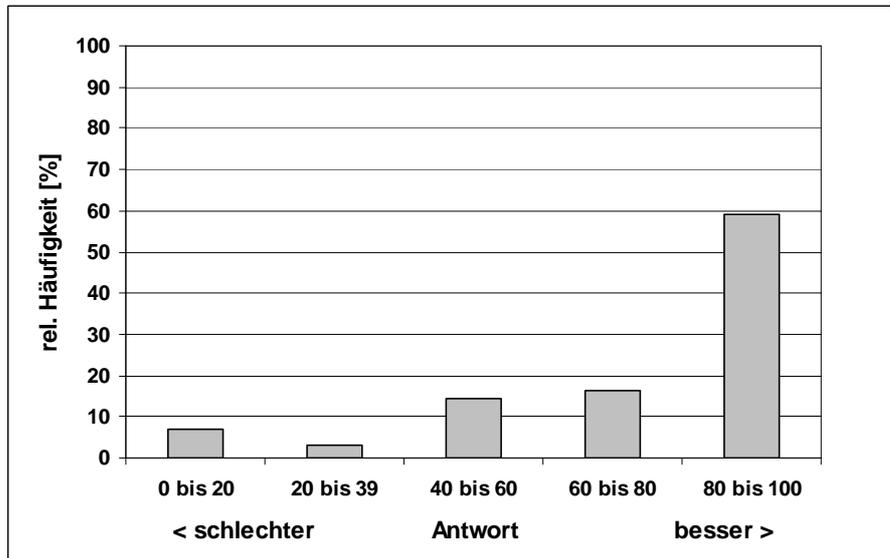
Eine Aufteilung nach dem Alter der Schüler ist in Abb. 5.99 vorgenommen worden, allerdings nur für die Antwort „sehr gut“. Hier entsteht der Eindruck, dass die Schüler im Grundschulalter überwiegend „sehr gut“ schlafen, immer mehr als 50 %. Danach nimmt die Einschätzung der Schlafqualität deutlich ab. Eine Ausnahme bilden hier nur die 14-Jährigen, der Grund dafür ist nicht bekannt.



**Abb. 5.99:** Antworthäufigkeit zu Frage 1 „sehr gut“ in Abhängigkeit vom Alter

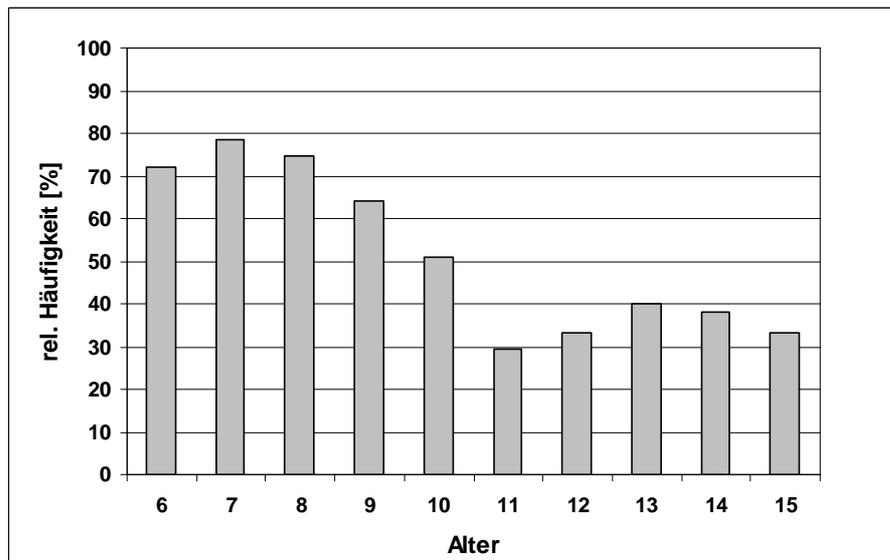
Die Antworten zu Frage 2, siehe Abb. 5.100, ergeben nahezu die gleiche Verteilung wie zur Frage 1. Der Grund liegt hier eventuell in einer für die Schüler großen Ähnlichkeit der Fragen. Möglicherweise ist das „Wohlfühlen“ am Morgen für die Schüler sehr eng an den vorausgegangenen Schlaf gekoppelt.

**Frage 2**      **Wie fühlst Du Dich heute Morgen?**      **sehr gut 100%**



**Abb. 5.100:** Antworten zu Frage 2 für alle Schüler

Die altersabhängige Aufteilung der Antworten (siehe Abb. 5.101) ergibt für die 6- bis 10-Jährigen nahezu die gleiche Verteilung wie bei der Frage 1, für die älteren liegt der Anteil derjenigen, die sich „sehr gut“ fühlen immer unter 40 %.

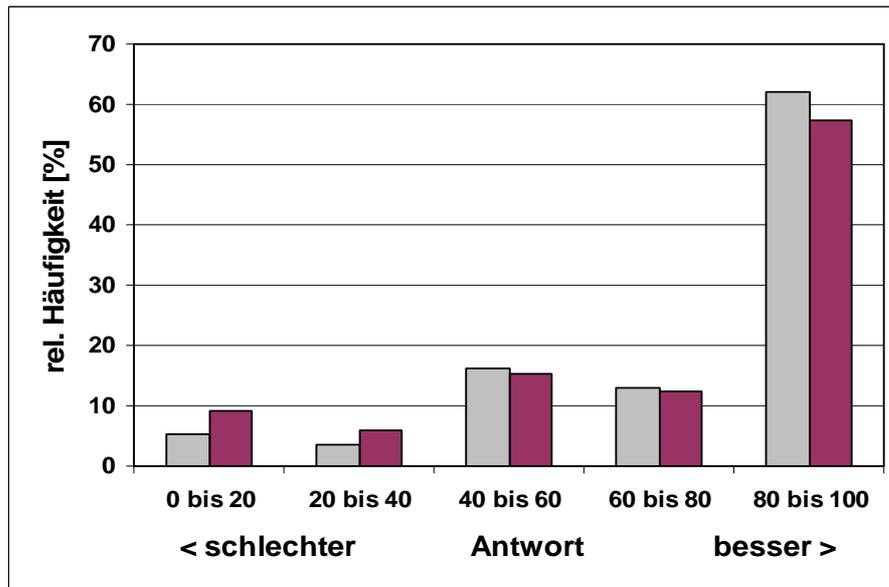


**Abb. 5.101:** Antworthäufigkeit zu Frage 2 „sehr gut“ in Abhängigkeit vom Alter

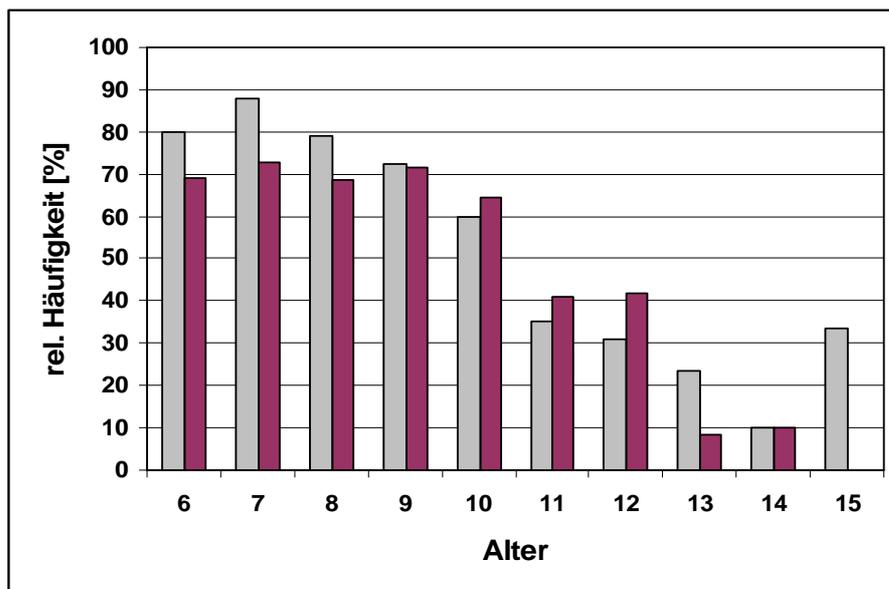
Während sich die Fragen 1 und 2 auf die Befindlichkeit vor dem Unterricht beziehen und die Basis für den Tag darstellen, geht es bei der Frage 3 um die Auswirkung des Unterrichtstages.

**Frage 3**      *Wie fühlst Du Dich nach diesem Schultag?*      **sehr gut 100%**

In der Abb. 5.102 ist die Verteilung der Antworten für alle Schüler dargestellt, unterschieden nach dem Zeitpunkt der Erhebung, d.h. vor bzw. nach der Einführung der Lüftungspause.



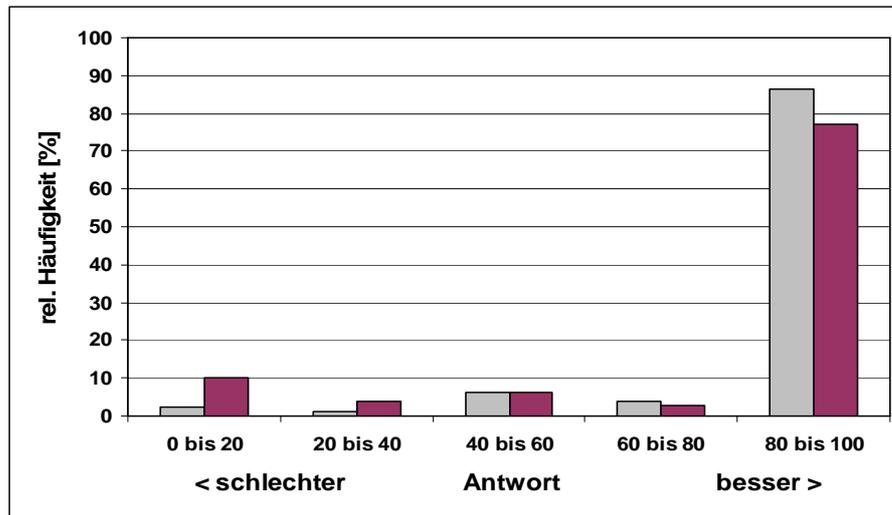
**Abb. 5.102:** Antworten zu Frage 3 für alle Schüler, vor (grau) und nach (rot) der Intervention



**Abb. 5.103:** Antworthäufigkeit zu Frage 3 „sehr gut“ in Abhängigkeit vom Alter, vor (grau) und nach (rot) der Intervention

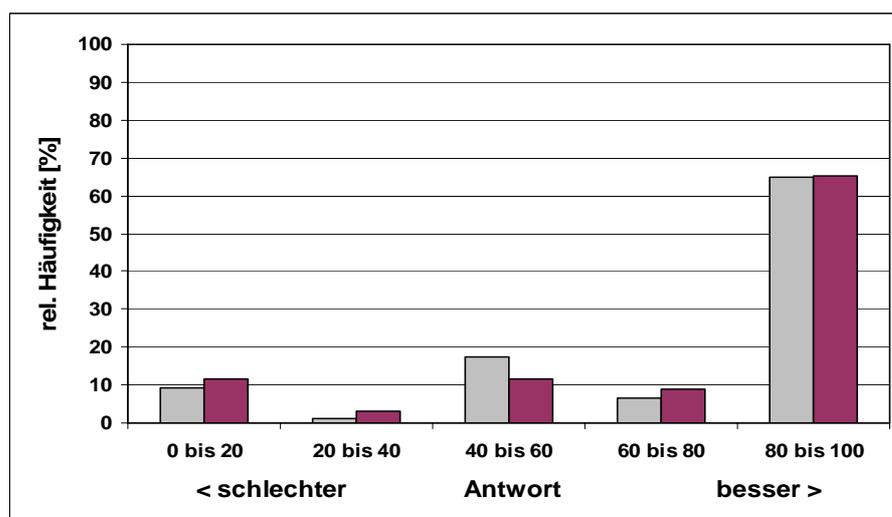
Nach der Intervention nimmt die Anzahl der Antwort „sehr gut“ um ca. 5 % ab, was der Hypothese widersprechen könnte (siehe Abb. 5.103). Bei einer Betrachtung der Altersabhängigkeit fällt aber auf, dass diese Veränderung im Wesentlichen in der Gruppe der jüngeren Schüler zu finden ist, bei den 10- bis 12-Jährigen aber eine Verbesserung im Sinne der Hypothese beobachtet werden kann.

Im Nachfolgenden wird geprüft, ob es Unterschiede zwischen den Schülern der beteiligten Schulen gibt.



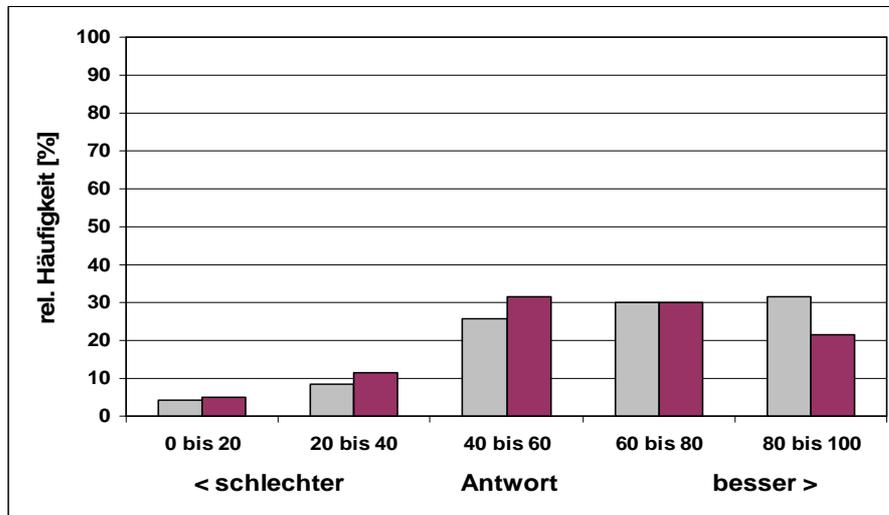
**Abb. 5.104:** Antworten zu Frage 3, Schule 1, vor (■) und nach (■) der Intervention

Für die Schule 1 sind die Antworten in Abb. 5.104 dargestellt, für die Schule 2 in Abb. 5.105. Für beide Gruppen ist das Antwortverhalten fast identisch, lediglich die Antwort „sehr gut“ liegt für die Schule 1 um ca. 10 % höher. Auch hier muss die Frage wiederholt werden, ob Schüler im Grundschulalter bereits eine differenziertere Aussage zu ihrem eigenen Befinden machen können.



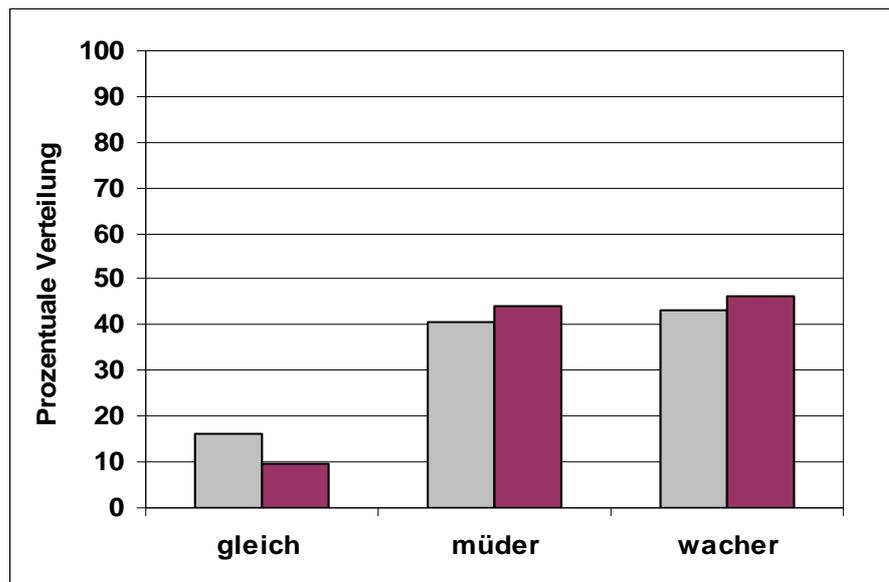
**Abb. 5.105:** Antworten zu Frage 3, Schule 2, vor (■) und nach (■) der Intervention

Auffällig ist die deutlich andere Verteilung der Antworten für die Schule 3, siehe dazu Abb. 5.106. Hier sind die Antworten fast gleich auf die drei höheren Antworten verteilt.



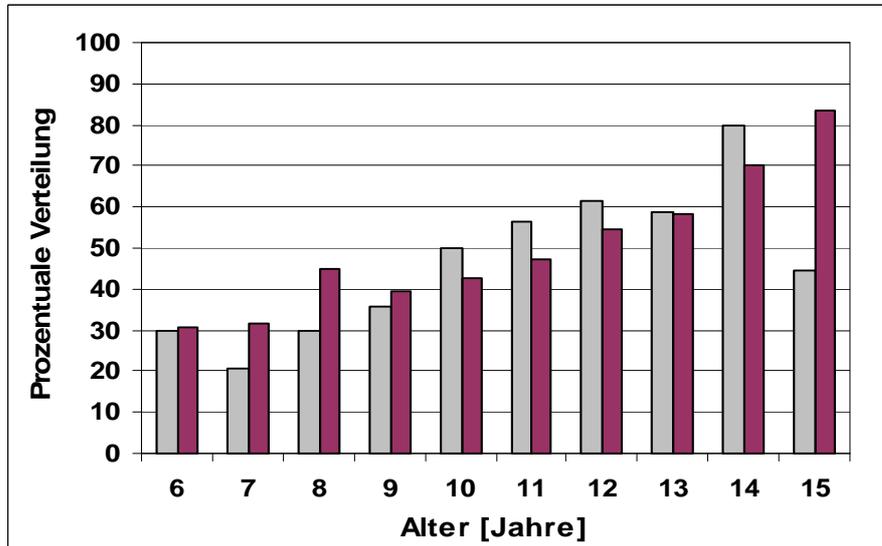
**Abb. 5.106:** Antworten zu Frage 3, Schule 3, vor (■) und nach (■) der Intervention

Für alle drei Schulen gilt aber bezogen auf den Zeitpunkt der Befragung, dass keine Veränderung im Sinne der Hypothese in Richtung eines verbesserten Arbeitsklimas stattgefunden hat. Dies bezieht sich auf Betrachtung aller Antworten zu den Fragen zu den beiden Messzeitpunkten. Da die Antworten für jeden beteiligten Schüler vorliegen, sollen im Folgenden die Unterschiede zwischen den beiden Zeitpunkten individuell betrachtet werden, wie hat sich die Befindlichkeit für jeden einzelnen Schüler verändert? So kann aus der Differenz der Antworten zu Frage 2 und 3 ein Veränderungsmaß berechnet werden, das als „müder“, „unverändert“ und „wacher“ klassifiziert dargestellt wird.



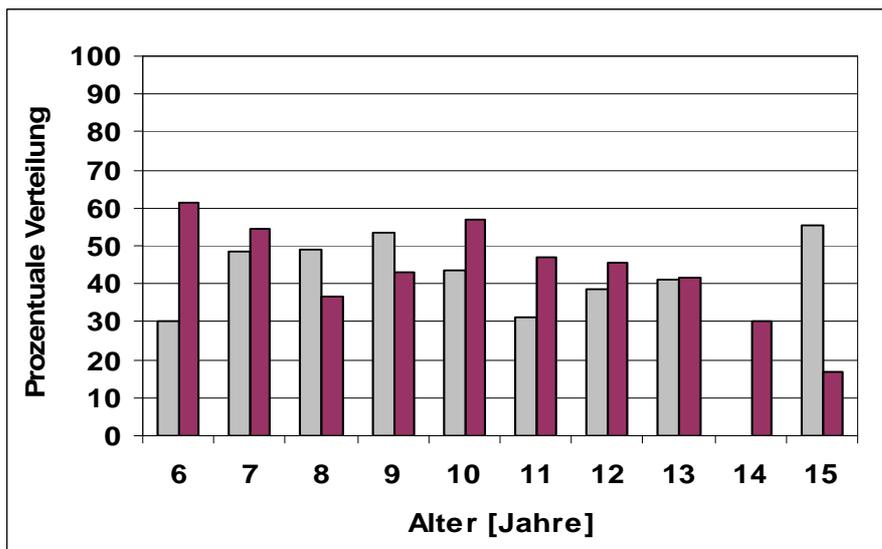
**Abb. 5.107:** Individuelle Veränderung durch Vergleich der Fragen 2 und 3, alle Schüler, vor (■) und nach (■) der Intervention

In der Abb. 5.107 sind die Antworten aller Schüler dargestellt, aus der zu erkennen ist, dass sowohl der Anteil „müder“ als auch „wacher“ nach Einführung der Lüftungspause geringfügig gestiegen ist. Eine Sortierung nach dem Alter soll hier weitere Aufklärung geben. In Abb. 5.108 sind die Anteile der Antwort „müder“ für die einzelnen Altersstufen aufgezeigt.



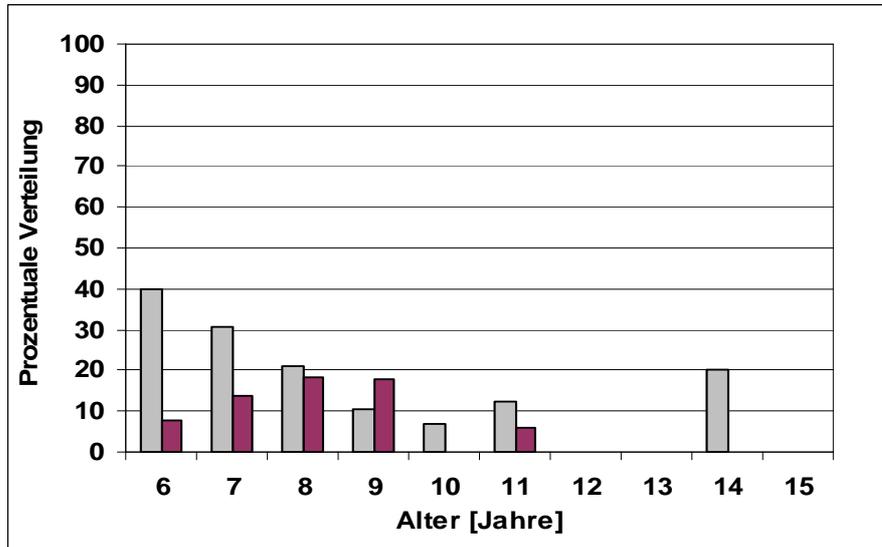
**Abb. 5.108:** Subjektive Ermüdungsbeurteilung ´nach´ gegenüber ´vor´ dem Unterricht (müder geworden), vor(■) und nach(■) der Intervention

Für die 10- bis 14-Jährigen ergibt sich dabei eine Verringerung der Antworten „müder“, ganz im Sinne der Hypothese, nicht so bei den jüngeren Schülern sowie den 15-Jährigen. Unterstützt wird dieses Bild durch die Verteilung der Antwort „wacher“ in Abb. 5.109, fast eine spiegelbildliche Darstellung gegenüber der vorigen.



**Abb. 5.109:** Subjektive Ermüdungsbeurteilung nach gegenüber vor dem Unterricht (wacher geworden), vor(■) und nach(■) der Intervention

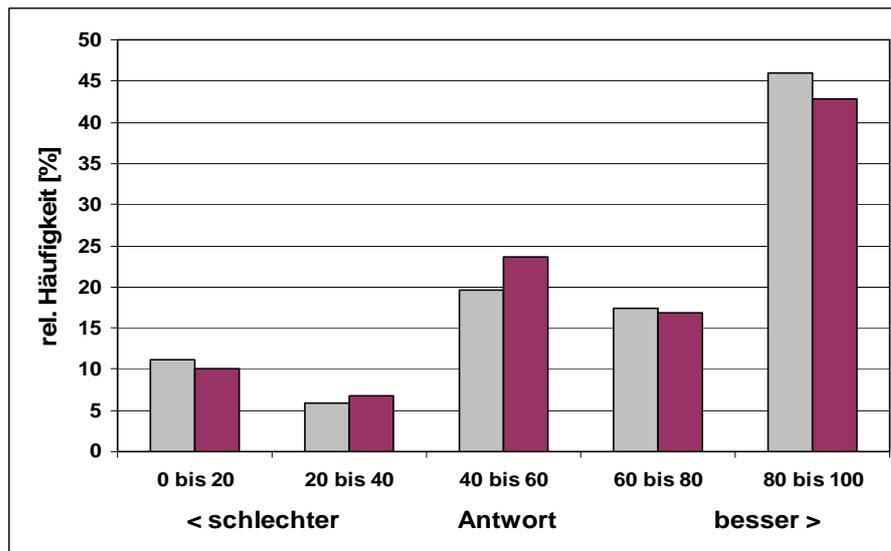
Die Antwortverteilung zu „unverändert“ ist in Abb. 5.110 dargestellt. Grundsätzlich zeigt sich hier, dass mit zunehmendem Alter eine höhere Bereitschaft zu differenzierter Entscheidung zu erkennen ist.



**Abb. 5.110:** Subjektive Ermüdungsbeurteilung nach gegenüber vor dem Unterricht (unverändert), vor(■) und nach(■) der Intervention

Die Frage 4 war gezielt auf die eigene Einschätzung der Konzentrationsfähigkeit gerichtet, wobei aber auch Faktoren, die nicht unmittelbar mit dem Unterricht zu tun haben, in diese Angabe hineinwirken, so z.B. familiäre Probleme, eigene Unzufriedenheit mit der augenblicklichen Schulleistung, eine Klassenarbeit oder Test, usw.

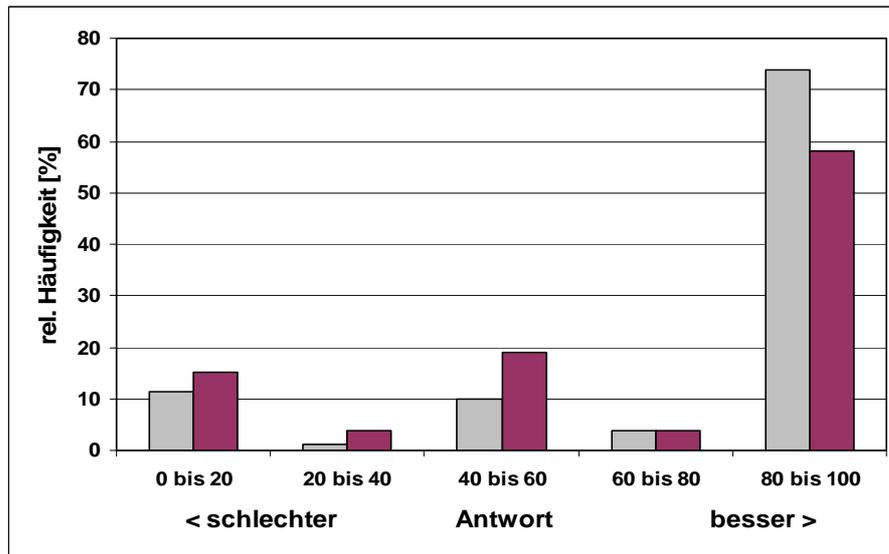
**Frage 4** *Konntest Du Dich heute gut Konzentrieren* *sehr gut 100%*



**Abb. 5.111:** Antworten zu Frage 4 alle Schüler, vor(■) und nach(■) der Intervention

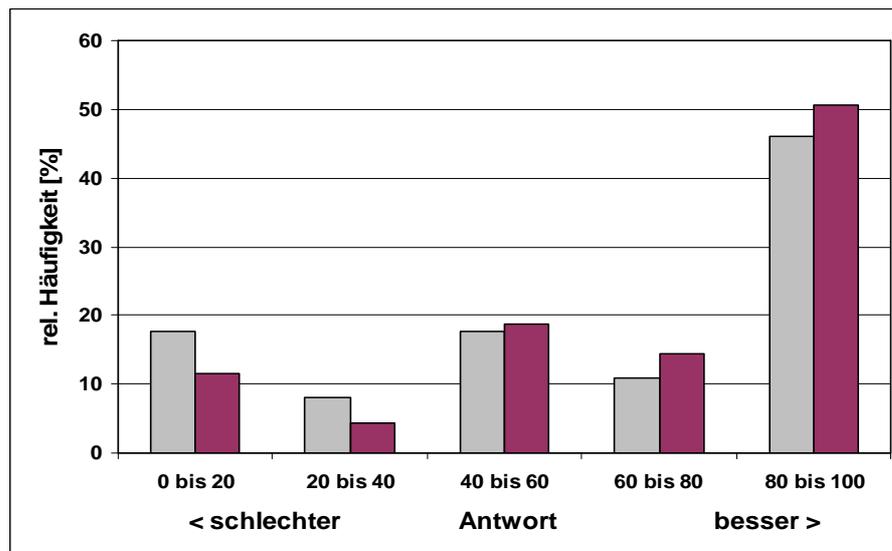
In der Abb. 5.111 ist die Verteilung der Antworten für alle Schüler dargestellt. Gegenüber den ersten drei Fragen fällt hier auf, dass bereits die mittlere Antwortkategorie mit über 20 % besetzt ist und die beste nur etwas über 40 % liegt.

Für die Schule 1, siehe Abb. 5.112, finden wir wieder ein den ersten Fragen vergleichbares Antwortverhalten. Auffällig ist hier, dass nach der Intervention die Konzentrationsfähigkeit häufiger als schlechter eingeschätzt wird als zuvor.



**Abb. 5.112:** Antworten zu Frage 4, Schule 1, vor(■) und nach(■) der Intervention

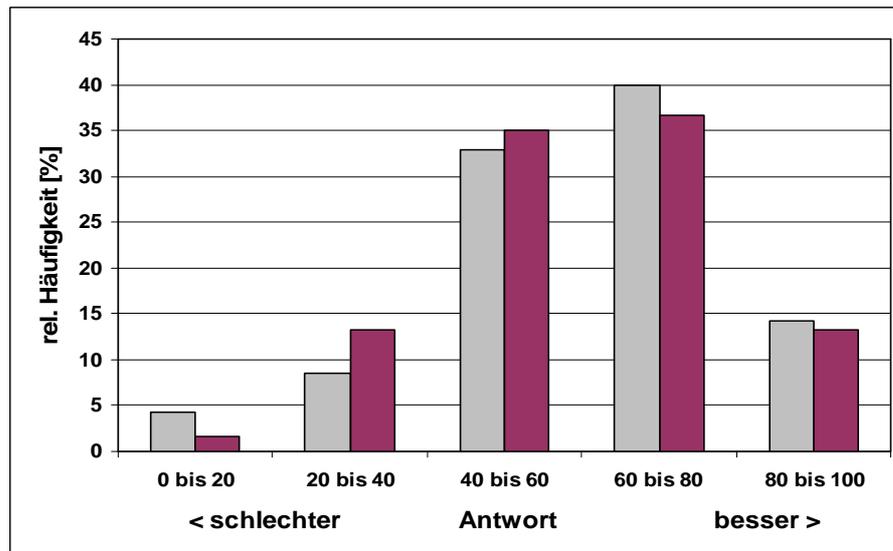
Das Antwortverhalten der Schüler aus der Schule 2 (s. Abb. 5.113) unterscheidet sich von dem der Schule 1 insofern, als die Einschätzung „sehr gut“ vor der Intervention ca. 25 % und nachher ca. 10 % niedriger liegt, dafür die anderen Klassen höher besetzt sind.



**Abb. 5.113:** Antworten zu Frage 4, Schule 2, vor(■) und nach(■) der Intervention

Angesichts der zweifelhaften Validität der Antworten von Grundschulern erscheint es unangebracht einen Unterschied zwischen den beiden Schulen hinsichtlich der Bedingungen für gute Konzentration konstruieren zu wollen.

Die subjektive Einschätzung der Konzentrationsfähigkeit an der Schule 3, siehe Abb. 5.114, hat ihre höchste Bewertung im Bereich „mittel“ bis „gut“, auch nach der Einführung der Lüftungspause ändert sich dies nur geringfügig, teilweise sogar schlechter.



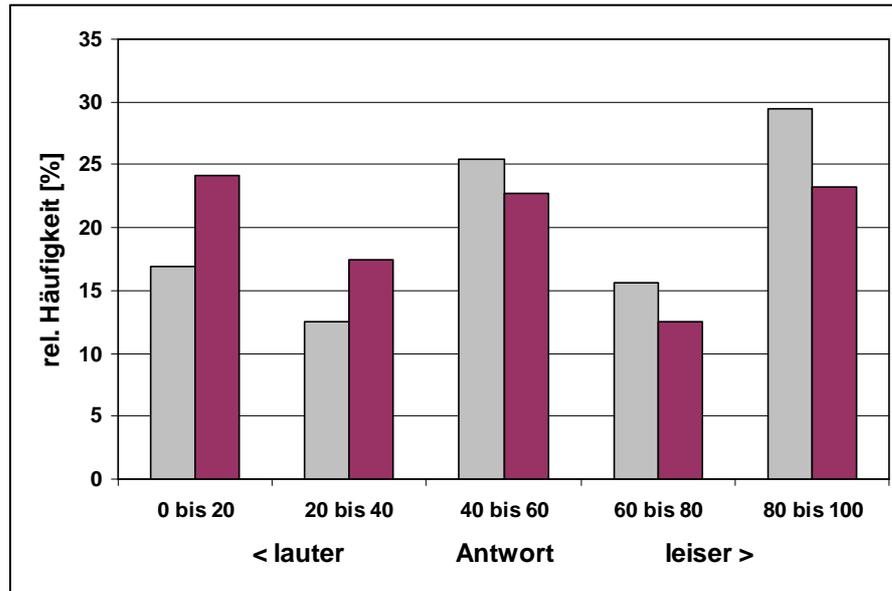
**Abb. 5.114:** Antworten zu Frage 4, Schule 3, vor (■) und nach (■) der Intervention

Bleibt noch, den Zusammenhang zwischen der Einschätzung der Konzentrationsfähigkeit und der tatsächlichen  $\text{CO}_2$   $1.0_{\text{tag}}$  Belastung zu prüfen. Wird ein Verlust an Konzentrationsvermögen durch  $\text{CO}_2$  in der Raumluft selbst wahrgenommen oder wirkt sich dies nur unbewusst auf physiologische Funktionen aus, wie z.B. Wahrnehmung?

Die letzte Frage an die Schüler zur Einschätzung des Geräuschpegels sollte zur Klärung der Frage beitragen, ob eine erhöhte Belastung durch  $\text{CO}_2$  möglicherweise die Lärmempfindlichkeit verändert und indirekt damit auch auf veränderte Wahrnehmungsprozesse Aufschluss geben könnte.

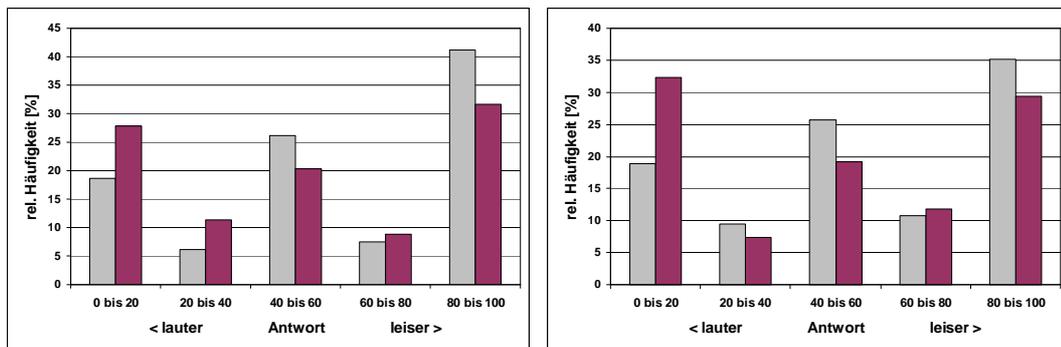
**Frage 5** *Wie laut fandest Du es heute in Deiner Klasse?* *sehr laut 0%*

Die Klassifizierung der Antworten entspricht sinngemäß den vorhergehenden, nur bleibt zu bedenken, dass je kleiner die Antwortgewichtung desto höher ist die Lärmempfindung. Die Gesamtverteilung der Antworten zu Frage 5 ergibt ein völlig anderes Bild - siehe Abb. 5.115 - als bei den vorhergehenden Fragen. Keine Kategorie wird in mehr als 30 % der Fragebögen gewählt. Hinzu kommt die deutliche Verschiebung zu einer lauterem Einschätzung nach der Intervention. Wie die Darstellung der Unterrichtsschallpegel, sowohl Grundgeräuschpegel als auch Arbeitsgeräuschpegel, gezeigt hat, stimmt dies nicht mit den Messdaten überein, allenfalls, mit Ausnahme der Schule 2. Falls ein erhöhter  $\text{CO}_2$ -Anteil in der Raumluft wirklich zu einer Beeinträchtigung der Wahrnehmung führen sollte, könnte dies hier bedeuten, dass ein gleich lauter Geräuschpegel als lauter eingestuft wird.



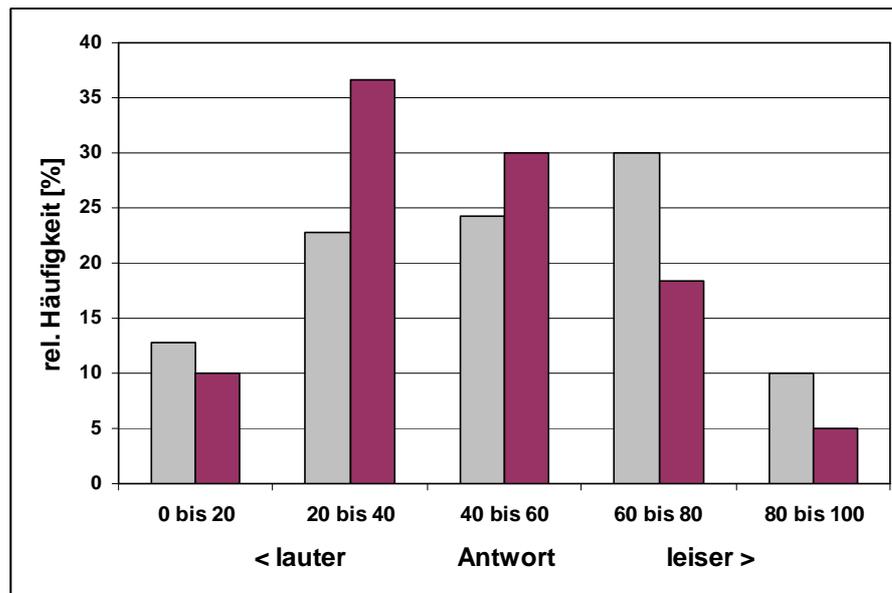
**Abb. 5.115:** Antworten zu Frage 5 für alle Schüler, vor (■) und nach (■) der Intervention

Die Verteilung der Antworten für die Schule 1 und Schule 2 (siehe Abb. 5.116) sind nahezu identisch, die mittlere bis leise Kategorie betreffend. Bei der sehr lauten Kategorie (0 bis 20) wird die Schule 2 auch als lauter eingeschätzt, was sich in den gemessenen Schallpegeln bestätigt (vergl. Kapitel 5.4.4), auch den Unterschied vor und nach der Intervention betreffend. Dennoch ist die allgemeine Zunahme der Antworten in der Kategorie „sehr laut“ (0 bis 20) mit dem Schallpegel nicht erklärbar, hier könnte eine erhöhte Lärmempfindlichkeit zu unterstellen sein.



**Abb. 5.116:** Antworten zu Frage 5 für Schule 1 (links) und Schule 2 (rechts), vor (■) und nach (■) der Intervention

Die Verteilung der Antworten in der Schule 3 (siehe Abb. 5.117) ergibt auch bei dieser Frage ein deutlich anderes Bild als an den beiden Grundschulen. Auffällig ist hier die geringere Besetzung der beiden Randkategorien, sowie die Verschiebung der Häufigkeiten nach der Intervention in den mittleren Kategorien zur lautereren Einschätzung, obgleich hier eine Reduzierung der Schallpegel gemessen wurde.



**Abb. 5.117:** Antworten zu Frage 5 für Schule 3, vor(■) und nach(■) der Intervention

Prinzipiell zeigt sich aber auch bei der Schule 3 die Zunahme der Antworten in Richtung „lauter“. Da auch für diese Schule eine Reduzierung des Schallpegels nach der Intervention gemessen wurde, könnte das Antwortverhalten mit einer veränderten Wahrnehmung zu erklären sein.

## 5.5 Verknüpfung

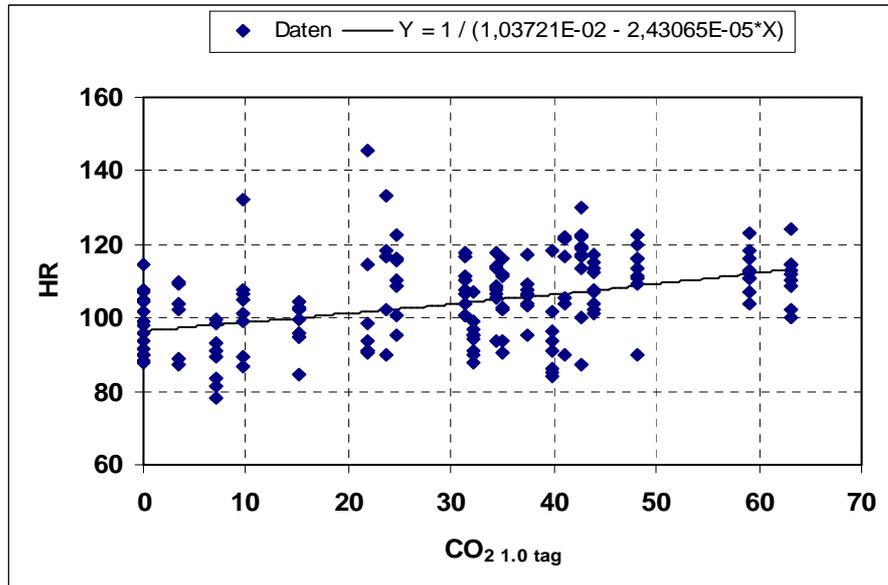
Nachdem bisher alle erhobenen Daten differenziert nach dem Zeitpunkt der Erhebung, d.h. vor bzw. nach der Intervention (Einführung der Lüftungspause), analysiert worden sind, soll hier nun ein Zusammenhang hergestellt werden zwischen der Ursache ( $\text{CO}_2$ -Anteil in der Raumluft) und der Auswirkung auf die erhobenen Parameter. Die Unterscheidung in Bezug auf die Intervention gibt keine Auskunft über die Intensität der Belastung durch die Qualität der Raumluft.

Wie in Kapitel 5.3 bereits dargestellt, wird als Maß für die Intensität der  $\text{CO}_2$ -Belastung der Zeitwert verwendet, den die  $\text{CO}_2$ -Konzentration über 1000 ppm lag, bezeichnet mit  $\text{CO}_{2\ 1.0}$  [min]. Für Unterrichtstage, an denen die Raumklimadaten unvollständig sind, z.B. durch Ausfall des Messgerätes, wurden die Daten auf die Gesamtzahl der Unterrichtsstunden extrapoliert, gekennzeichnet als  $\text{CO}_{2\ 1.0\text{tag}}$ .[min].

### 5.5.1 Beanspruchungsindikator Herzfrequenz

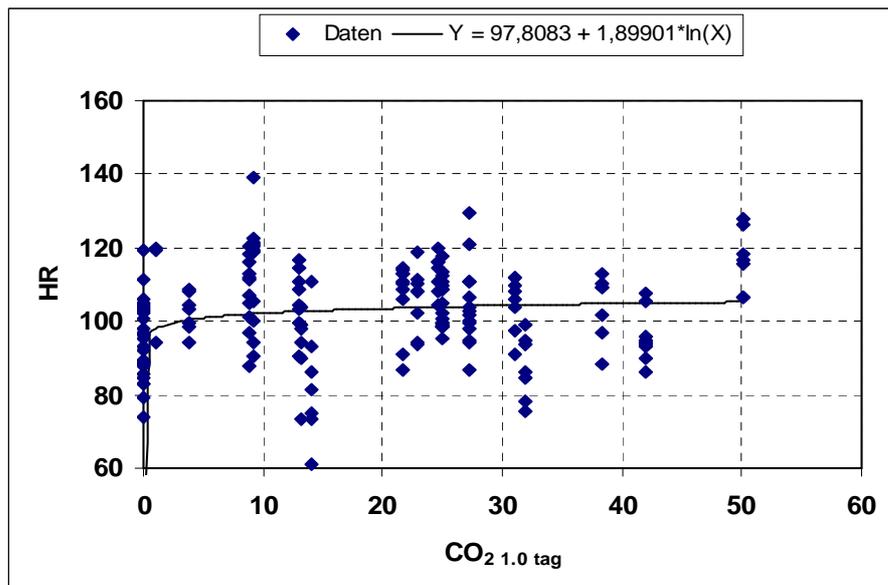
Die Reduzierung der Beanspruchung durch die Einführung der Lüftungspause konnte bereits gezeigt werden, es blieb aber zu klären, ob dies lediglich eine Folge der Unterbrechung des Unterrichts ist oder auf die verringerte  $\text{CO}_2$ -Belastung zurückzuführen ist. In der folgenden Abb. 5.118 ist die Beanspruchungsreaktion (Mittelwert der HF jedes Schülers für den Tag) in Abhängigkeit von der tatsächlichen  $\text{CO}_{2\ 1.0}$  Belastung für den Tag gezeigt. Die Daten berücksichtigen nur Tage vor Einführung

der Lüftungspause. Nimmt man die Regressionskurve und vergleicht die Beanspruchung für einen  $\text{CO}_2$  1.0 Wert von 60 min mit dem Wert 0 min, so ergibt sich eine Steigerung der HF um nahezu 20 Schläge/min.



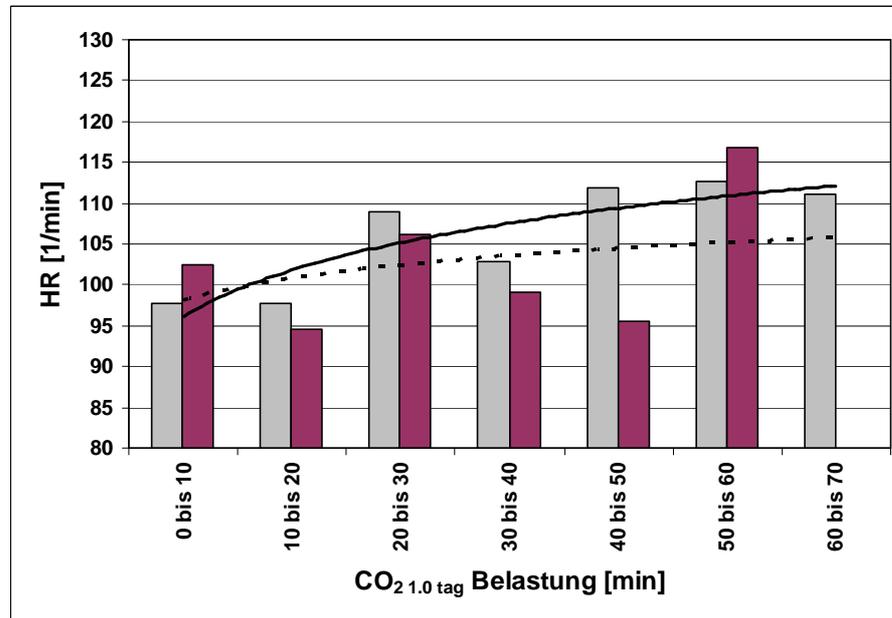
**Abb. 5.118:** Beanspruchung in Abhängigkeit von der  $\text{CO}_2$  1.0 Tagesbelastung für alle Schüler vor der Intervention ( $r=0,4$ )

Nach Einführung der Lüftungspause (vgl. Abb. 5.119) sieht das Bild etwas anders aus, auch hier findet sich eine Steigerung der Beanspruchung gegenüber dem in etwa gleichen Anfangswert jedoch nur noch um 10 Schläge/min. Ob der nunmehr reduzierte Anstieg auf eine zusätzliche Wirkung der Pause als Erholungsfaktor zurückzuführen ist, kann hier nicht beantwortet werden, da eine entsprechende Vergleichssituation fehlt.



**Abb. 5.119:** Beanspruchung in Abhängigkeit von der  $\text{CO}_2$  1.0 Tagesbelastung für alle Schüler nach der Intervention ( $r=0,2$ )

Um die teilweise sehr starke Streuung der HF-Daten, individuell abhängig von der körperlichen Leistungsfähigkeit und dem Alter, etwas zu reduzieren, wurden für die jeweiligen Belastungsklassen, bezogen auf den  $\text{CO}_2_{1.0}$  Tageswert, die einzelnen HF-Werte gemittelt, siehe dazu Abb. 5.120.



**Abb. 5.120:** Mittlere Beanspruchung aller Schüler in Abhängigkeit von der  $\text{CO}_2_{1.0}$  Tagesbelastung für alle Schüler vor (■) ( $r=0,86$ ) und nach (■) ( $r=0,32$ ) der Intervention

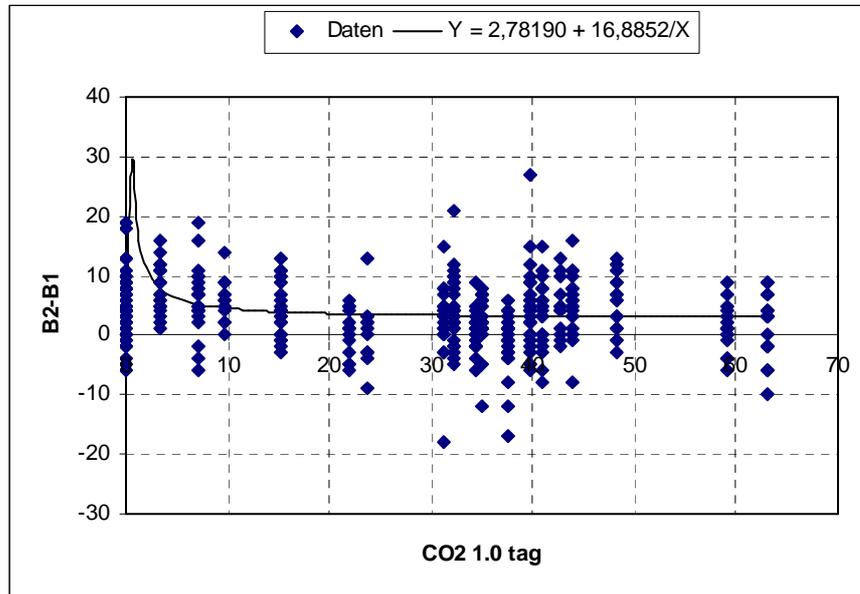
Für diese zusammengefasste Darstellung der Beanspruchungsreaktion (Mittelwert der HF) in Abhängigkeit von der klassifizierten Beanspruchung  $\text{CO}_2_{1.0}$  Tageswert ergibt sich prinzipiell der gleiche Zusammenhang wie für die Einzeldaten, die Anstiege sind aber etwas geringer, ca. 17 Schläge/min vor der Intervention und 8 Schläge/min nachher. Der Unterschied beläuft sich aber auf eine Halbierung der Beanspruchungssteigerung, genau wie zuvor gezeigt.

Die aus arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen bekannte Wirkung von Pausen – auch von 2 min Pausen – durch ihre Erholungsfunktion auf die Arbeitsleistung kann hier zur Erklärung der reduzierten Beanspruchungssteigerung nach der Intervention herangezogen werden. Eine differenzierte Betrachtung einzelner Unterrichtssequenzen auf ihre Erholungswirkung, wie sie immer wieder von Pädagogen als normaler Unterrichtsbestandteil angeführt wird, kann in diesem Zusammenhang nicht geprüft werden, dies bleibt Einzelfall Analysen vorbehalten.

### 5.5.2 Aufmerksamkeit

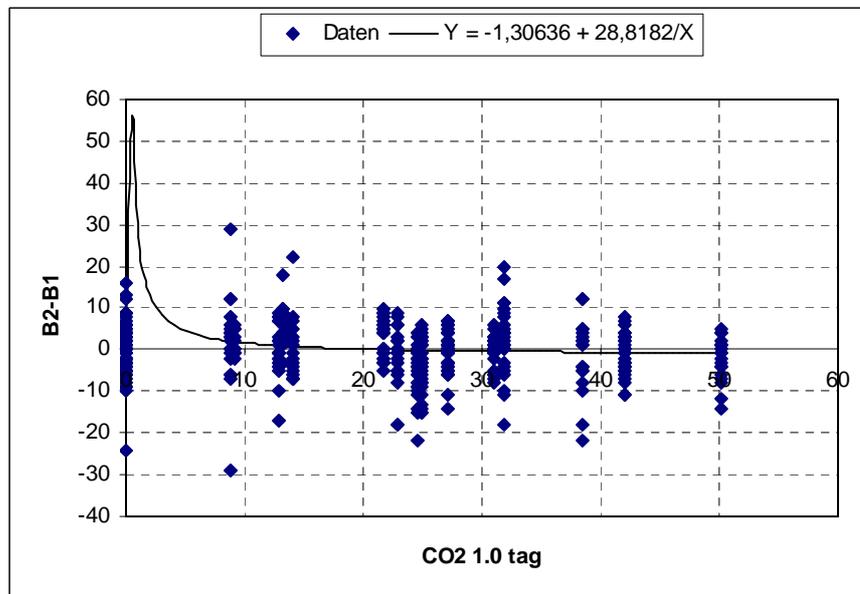
Wie verändert sich die Konzentrationsänderung in Abhängigkeit von der  $\text{CO}_2_{1.0\text{tag}}$  Tagesbelastung, unterteilt nach „vor/nach Intervention“? Sieht man von den 2-tägigen Untersuchungen an den beiden Grundschulen ab, entspricht dies auch einer Aufteilung grob in ohne/mit Übungseffekt. In diesem Datensatz sind die Testergebnisse von allen Schülern enthalten, von denen jeweils beide Tests (vor und nach

dem Unterricht) vorliegen. Eine entsprechende Regressionskurve ist in die Diagramme mit eingetragen, um die Qualität des Zusammenhangs zu prüfen (siehe Abb. 5.121 und Abb. 5.122)



**Abb. 5.121:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung über den Unterrichtstag, alle Schüler vor der Intervention;  $r = 0,20$

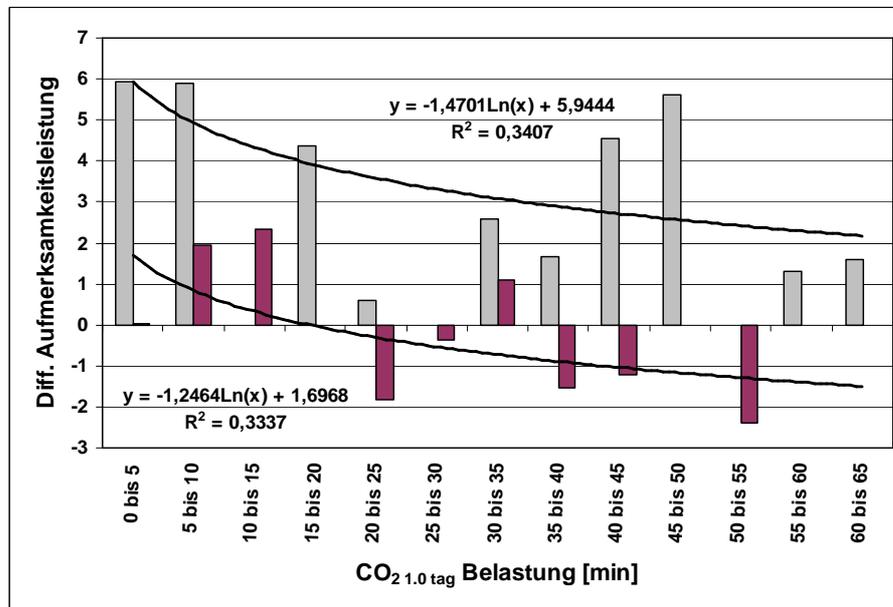
Die Verläufe der Regressionskurven sind nahezu gleich, aber auf unterschiedlichem Niveau, ohne Übung höher, mit Übung niedriger. Zur Erinnerung: es handelt sich hier um die Veränderungswerte über den Schultag.



**Abb. 5.122:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung über den Unterrichtstag, alle Schüler nach der Intervention;  $r = 0,13$

Die in Kapitel 5.6 gemachten Ausführungen über die altersabhängigen Lerneffekte überlagern die hier geprüften Abhängigkeiten, auf eine Trennung wurde aber wegen

der so reduzierten Fallzahlen verzichtet. Für beide Erhebungszeitpunkte besteht ein Zusammenhang zwischen der Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung und der vorausgegangenen Belastung durch den  $\text{CO}_2$  1.0tag -Anteil in der Raumluft. Der Unterschied im Verlauf der beiden Regressionskurven (s. Abb. 5.123) liegt lediglich im Niveau, vor der Intervention beträgt die Differenz bei  $\text{CO}_2$  1.0tag > 20 min ca. 4 Pkt., nach der Intervention nur noch 0 Pkt.



**Abb. 5.123:** Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung in Abhängigkeit von der  $\text{CO}_2$  1.0tag -Belastung, vor (■) ( $r=0,58$ ) und nach (■) ( $r=0,58$ ) der Intervention

So lag es nahe, unterteilt nach der  $\text{CO}_2$  1.0tag -Belastung, die mittlere Veränderung B2-B1 zu berechnen. Wir bekommen ein den beiden vorigen Grafiken sehr ähnliches Bild. Eine Regressionsrechnung für die Mittelwerte ergibt die logarithmischen Näherungen, wie sie unten eingetragen sind. Beide Regressionskoeffizienten liegen mit  $r > 0,5$  recht hoch. Der Niveau-Unterschied der beiden Regressionskurven beträgt hier ebenfalls 4 Pkt.

Für die Praxis heißt dies:

*je kleiner die  $\text{CO}_2$  1.0tag -Belastung, desto höher der Übungsgewinn im ZST, desto kleiner der Ermüdungseffekt*

Damit ist die Hypothese bestätigt, dass  $\text{CO}_2$ -Anteile in der Raumluft über 1000 ppm, dem von Pettenkofer bereits 1858 vorgegebenen Grenzwert, den Ermüdungsprozess fördern.

### 5.5.3 Reaktionsfähigkeit

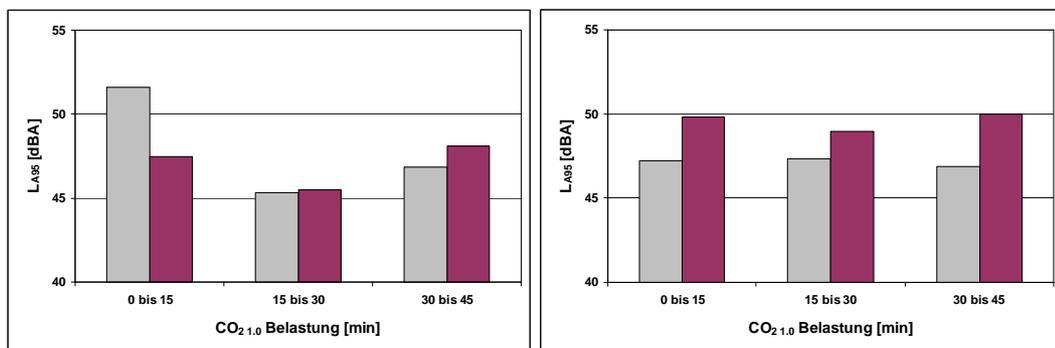
Eine über die in Kap. 5.4.3 dargestellten Veränderungen der Reaktionsfähigkeit im Vergleich vor und nach Einführung der Lüftungspause hinaus gehende Beeinflussung durch die  $\text{CO}_2$  1.0tag -Belastung konnte nicht gefunden werden. Die phasische

Alertness wird von sehr vielen Faktoren beeinflusst, insbesondere von motorischer Aktivierung, wie sie z.B. in den großen Pausen auf dem Schulhof vorkommt. Dieser Faktor entzieht sich aber unserer Beobachtungsmöglichkeit im Rahmen der Untersuchungen. Allein der Weg vom Klassenraum zu den Untersuchungsräumen in der Schule könnte solch eine Aktivierung bewirkt haben. Eine Aufteilung der Messergebnisse nach weiteren Kriterien als dem Zeitpunkt der Untersuchung ergab keine klaren Zusammenhänge.

#### 5.5.4 Geräuschpegel im Unterricht

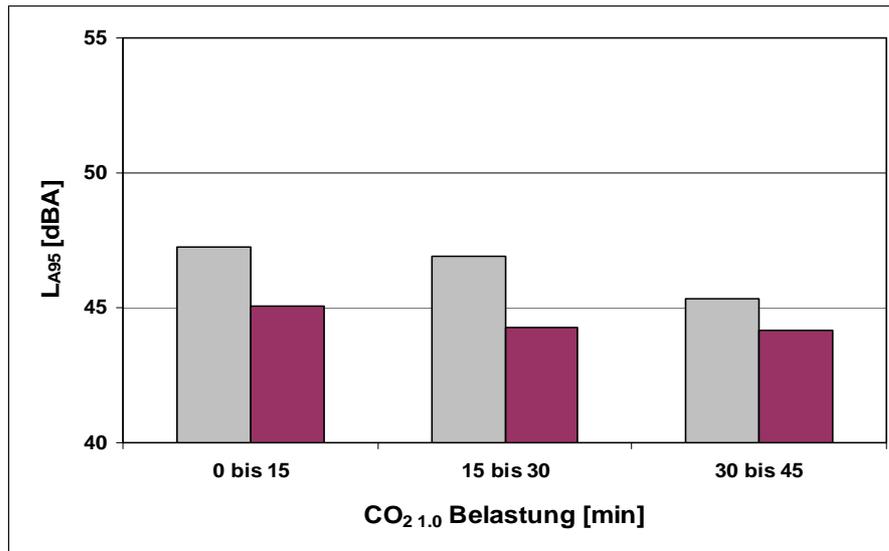
Im Gegensatz zu den bisherigen Verknüpfungen zwischen einzelnen Reaktionsgrößen und der Gesamt-Tagesbelastung durch  $\text{CO}_2$  soll der Geräuschpegel im Unterricht als mögliche Folge schlechterer Raumluft im Verlauf des Unterrichtstages analysiert werden. Zuvor konnte bereits gezeigt werden, dass sich in zwei der drei beteiligten Schulen eine Reduzierung des Geräuschpegels im Unterricht zusammen mit der Einführung der Lüftungspause ergeben hat. Welchen Einfluss dabei die Verbesserung der Luftqualität hat, gemessen über den  $\text{CO}_2$  1,0 Anteil an der Unterrichtsstunde in min, soll im Folgenden geprüft werden.

Auch hier wird unterschieden zwischen dem Grundgeräuschpegel im Unterricht, gemessen über den  $L_{A95}$  und dem Arbeitsgeräuschpegel  $L_{Aeq}$ . In den folgenden Abb. 5.124 bis 5.125 sind die Grundgeräuschpegel jeweils in Abhängigkeit von der gemessenen  $\text{CO}_2$  Belastung dargestellt, zusätzlich unterschieden durch den Zeitpunkt der Messung, da der Lüftungspause ja auch eine gewisse Pausenfunktion im Sinne von Erholung zugeschrieben werden muss. Die Belastungsintensität ist in drei Stufen unterteilt, entsprechend einer Drittelung der Zeit.



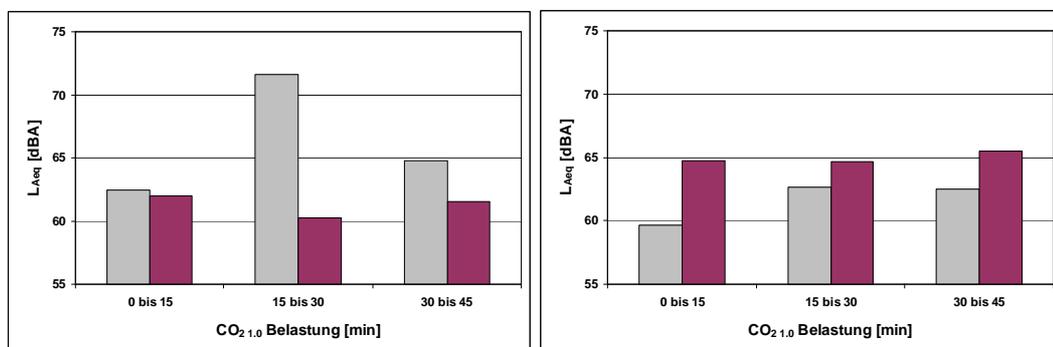
**Abb. 5.124:** Grundgeräuschpegel in Abhängigkeit von der  $\text{CO}_2$  1,0 Belastung im Unterricht an der Schule 1 (li) und Schule 2 (re), vor (■) und nach (■) der Intervention

Der Unterschied zwischen den beiden Grundschulen fällt auf, da insbesondere an der Schule 2 der Grundgeräuschpegel nach der Intervention immer ca. 3 dB höher ist als vorher, während an der Schule 1 in den Unterrichtsstunden mit geringer  $\text{CO}_2$ -Belastung der Pegel sehr viel niedriger liegt.

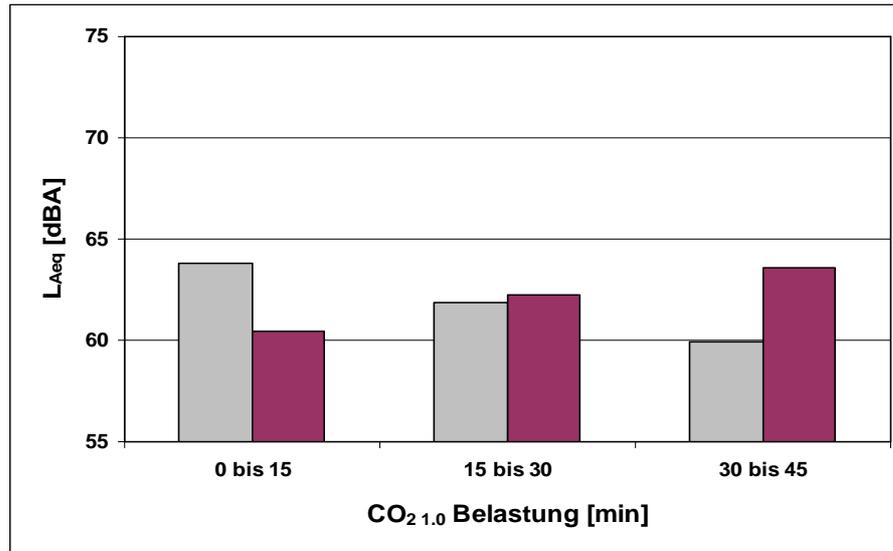


**Abb. 5.125:** Grundgeräuschpegel in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub> 1.0 Belastung im Unterricht an der Schule 3, vor (■) und nach (■) der Intervention

Falls der Grundgeräuschpegel im Unterricht als Indikator für motorische Aktivität brauchbar ist, heißt dies, dass zumindest an der Schule 1 in den wenig belasteten Unterrichtsstunden die motorische Aktivität, in der ja auch „motorische Unruhe“ enthalten ist, geringer ist. An der Schule 3 ist dieses Phänomen unabhängig von der Intensität der CO<sub>2</sub>-Belastung zu finden. Hier könnte dies dann auch eine Folge der Lüftungspause in der Pausenfunktion sein. Welchen Einfluss hat die Raumluftqualität nun aber auf das eigentliche Arbeitsgeräusch, d.h. die Lautstärke im Unterricht? Hier zeigt sich ein anderes Bild als beim Grundgeräuschpegel, zumindest für die Schulen 1 und 3 (siehe Abb. 5.126 (li) und 5.127). Bei der Schule 1 liegt nach Einführung auch in den Unterrichtsstunden mit höherer CO<sub>2</sub>-Belastung der Arbeitsgeräuschpegel niedriger als vor der Intervention. Bei der Schule 2 (Abb. 126 (re)) liegt auch der Arbeitsgeräuschpegel in allen Stunden höher als vor der Intervention, was möglicherweise auf eine stärker motorisch orientierte Arbeitsweise zurückzuführen ist. Für die Schule 3 (siehe Abb. 5.127) gilt die Reduzierung des Arbeitsgeräuschpegels nur für die geringer belasteten Unterrichtsstunden, in den anderen bleibt der Pegel etwa gleich oder steigt sogar an.



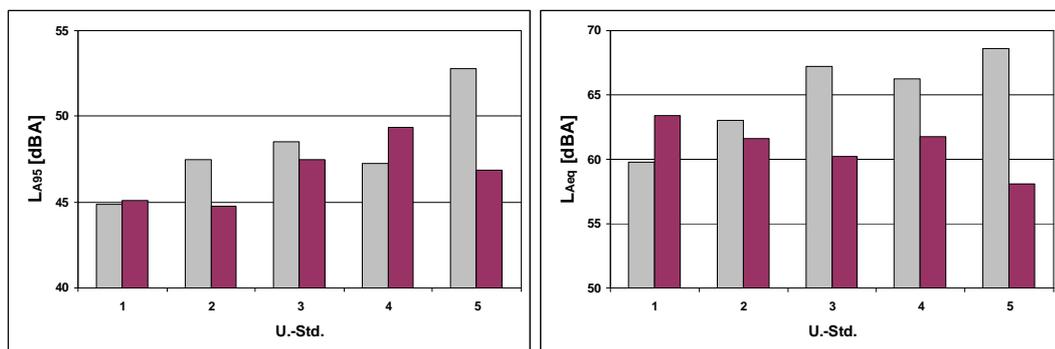
**Abb. 5.126:** Arbeitsgeräuschpegel in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub> 1.0 Belastung im Unterricht an der Schule 1(li) und Schule 2(re), vor (■) und nach (■) der Intervention



**Abb. 5.127:** Arbeitsgeräuschpegel in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub> 1.0 Belastung im Unterricht an der Schule 3, vor (■) und nach (■) der Intervention

Eine systematische Beeinflussung des Geräuschpegels durch die CO<sub>2</sub>-Belastung ist nicht zu erkennen, hier gibt es eine deutliche Überlagerung durch den Pauseneffekt einerseits und durch die Art der Tätigkeit andererseits. Eine feinere Unterteilung der Unterrichtsstunden nach diesen Kriterien würde auf eine hier nicht zu erstellende Einzelfall-Analyse hinauslaufen.

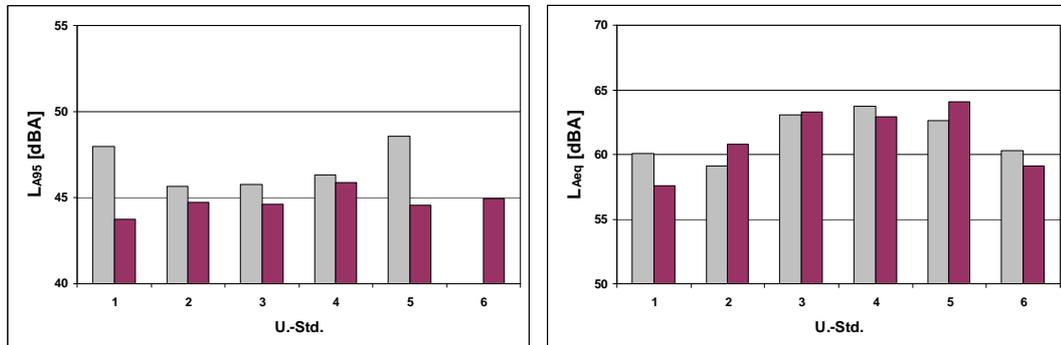
Wie im Rahmen des Forschungsprojektes „Lärm in Bildungsstätten“ beobachtet wurde, stieg der Arbeitsgeräuschpegel im Unterricht in den Schulen im Laufe eines Vormittags regelmäßig an, was auf Ermüdungsprozesse zurückgeführt wurde. Hier soll nun geprüft werden ob es im Geräuschpegelverlauf über den Vormittag Unterschiede gibt, die möglicherweise auf die ermüdende Wirkung von CO<sub>2</sub> zurückzuführen sind.



**Abb. 5.128:** Grundgeräuschpegel (li) und Arbeitsgeräuschpegel (re) für Schule 1, vor (■) und nach (■) der Intervention

In der Abb. 5.128 sind beide Pegelverläufe für den Unterrichtsvormittag in der Schule 1 dargestellt, wobei zumindest im Arbeitsgeräusch dieser Anstieg nach der Intervention nicht mehr vorhanden ist. Für die Schule 2 ist sowohl der Grund- als auch

der Arbeitsgeräuschpegel nach der Intervention immer deutlich höher als vorher, was so nicht zu erklären ist. Für die Schule 3 gilt der fehlende Anstieg zumindest für den Grundgeräuschpegel, während der Arbeitsgeräuschpegel ein unverändertes Verhalten zeigt (s. Abb. 5.129).



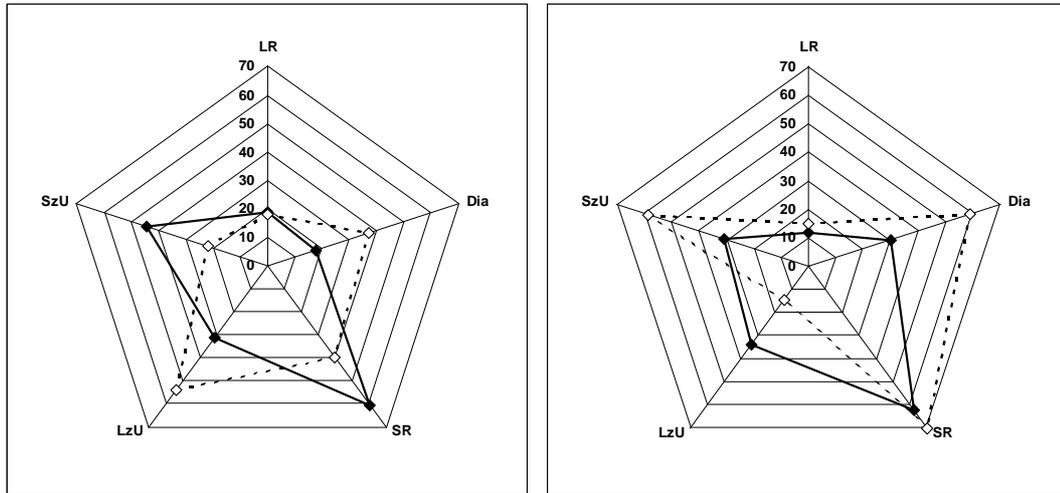
**Abb. 5.129:** Grundgeräuschpegel (li) und Arbeitsgeräuschpegel (re) für Schule 3, vor (■) und nach (■) der Intervention

Wenn es hier einen Zusammenhang zwischen  $\text{CO}_2$ -Belastung und Geräuschpegel in einzelnen Bereichen gibt, so wird dieser Effekt durch sehr viel stärker wirkende Faktoren, wie z.B. die Raumakustik überlagert. So hat z.B. die Schule 2 die schlechtesten raumakustischen Bedingungen, wie weiter vorn bereits erläutert. Auch wenn der Effekt der Schallpegel-Reduzierung nur sehr gering ist, so trägt er jedoch genau wie andere Parameter zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen bei. Die sich hier abzeichnende Verstärkung durch den Einfluss der Raumakustik weist nochmals auf deren Bedeutung hin.

### 5.5.5 Pädagogischer Prozess

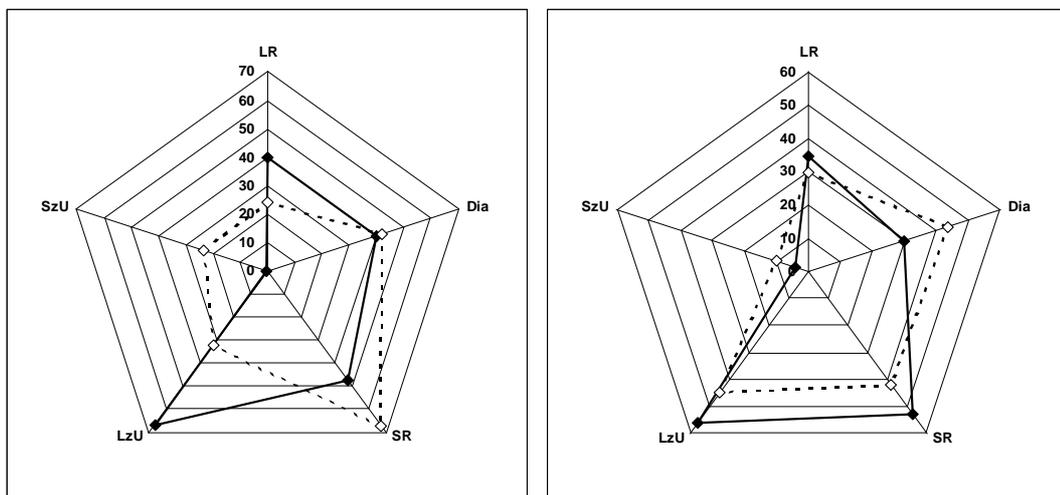
Nach einer Analyse der Beobachtungsdaten aus dem Unterricht in Kap. 5.4.5, ausschließlich differenziert nach dem Zeitpunkt der Datenerhebung, soll hier ein möglicher Zusammenhang mit der Raumluftqualität untersucht werden. Da die pädagogischen Arbeitsweisen zum einen abhängig sind von der Schulstufe, zum anderen aber auch von besonderen Arbeitsweisen einzelner Kollegien, wird hier bewusst auf eine Zusammenfassung für alle Schulen verzichtet. Die Darstellung erfolgt nur für die einzelnen Schulen getrennt.

Auch hier werden die Parameter der Unterrichtsbeobachtung, die die Kommunikationsstruktur in der Klasse beschreiben, im Vergleich vor und nach der Intervention ausgewiesen. Für Schule 1 sind die Ergebnisse in Abb. 5.130 wiedergegeben.



**Abb. 5.130:** Mittlere Anteile der Kommunikationsparameter in der Schule 1 in Stunden mit geringer  $\text{CO}_2$  1,0-Belastung (0 bis 15 min) links und hoher (30 bis 45 min) rechts, jeweils vor (—) und nach (- - -) der Intervention

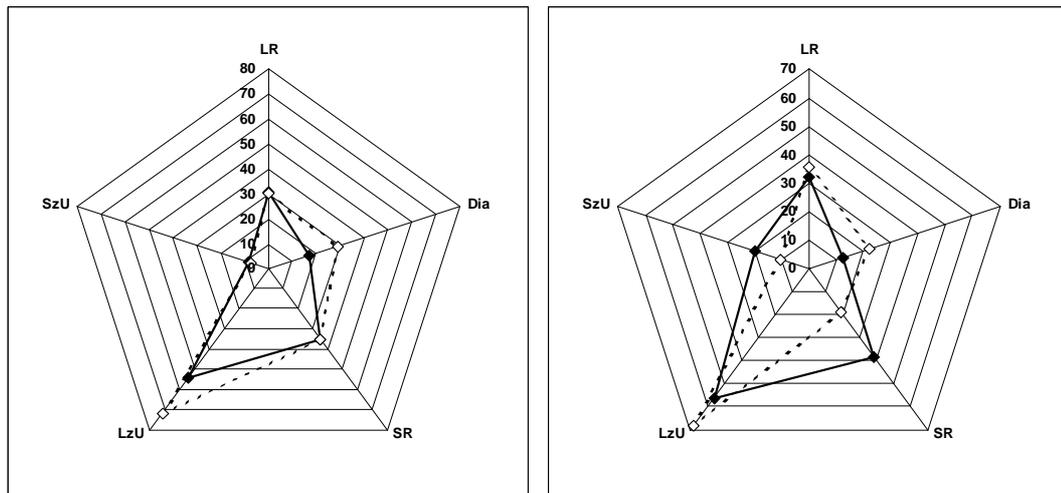
Unabhängig von der Intensität der  $\text{CO}_2$ -Belastung erhöht sich in beiden Unterrichtsstunden der Anteil „Dialog“ sehr deutlich, wohingegen sich das Verhältnis zwischen den Anteilen „schülerzentrierter“ und „lehrerzentrierter“ Unterrichtsform genau entgegengesetzt verhält. Bei geringer  $\text{CO}_2$ -Belastung erhöht sich der Anteil „LzU“ und bei hoher verringert er sich, während sich der Anteil „SzU“ gegensätzlich verhält. Der „Dialog“ wird offensichtlich durch den Pauseneffekt in beiden Fällen gleichermaßen verstärkt, die Unterrichtsform dagegen durch die  $\text{CO}_2$ -Belastung beeinflusst, je höher die Belastung, desto mehr „SzU“.



**Abb. 5.131:** Mittlere Anteile der Kommunikationsparameter in der Schule 2 in Stunden mit geringer  $\text{CO}_2$  1,0-Belastung (0 bis 15 min) links und hoher (30 bis 45 min) rechts, jeweils vor (—) und nach (- - -) der Intervention

Das Verhältnis der einzelnen Parameter aus dem Kommunikationsprotokoll der Schule 2 (Abb. 5.131) ergibt ein etwas anderes Bild als das der Schule 1. Hier wird aber der Anteil „Dialog“ nur in Unterrichtsstunden mit hoher  $\text{CO}_2$ -Belastung durch die Pause erhöht, wohingegen der Anteil des „lehrerzentrierten“ Unterrichtens in beiden

Situationen nach der Intervention geringer wird und der des „schülerzentrierten“ zunimmt. Eine Änderung der Aufgabenstellung kann angenommen werden.



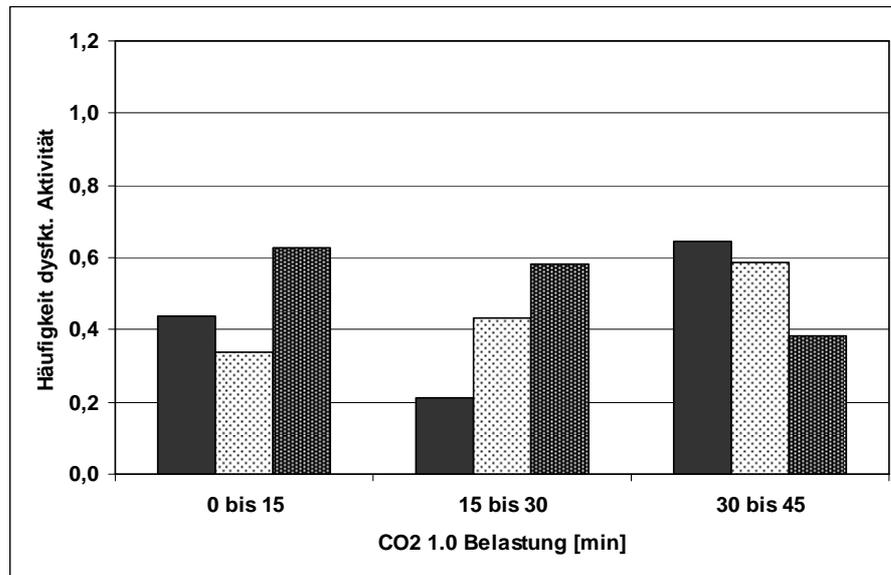
**Abb. 5.132:** Mittlere Anteile der Kommunikationsparameter in der Schule 3 in Stunden mit geringer  $\text{CO}_2$  1.0-Belastung (0 bis 15 min) links und hoher (30 bis 45 min) rechts, jeweils vor (—) und nach (- - -) der Intervention

Die Beobachtungen in der Schule 3 (Abb. 5.132) zeigen wieder die deutliche Zunahme des „Dialog“ Anteils nach Einführung der Lüftungsintervention, sie erfolgt aber auch hier unabhängig von der Intensität der  $\text{CO}_2$ -Belastung, eine Auswirkung der „Pause“. Ebenso ist für beide Gruppen von Unterrichtsstunden – niedrige und hohe  $\text{CO}_2$ -Belastung – eine Zunahme des Anteils „lehrerzentrierten“ Unterrichts festzustellen. Während bei niedriger  $\text{CO}_2$ -Belastung die Lüftungspause keinen Einfluss auf den Anteil der „Schülerrede“ hat, so wird dieser Anteil nach der Intervention in Stunden mit hoher  $\text{CO}_2$ -Belastung deutlich geringer. Ein Grund hierfür könnte in dem „besseren Zuhören“ nach Einführung der Pause liegen, ein Hinweis auf größere Aufmerksamkeit, was noch zu prüfen ist.

Bezogen auf die Kommunikationsstruktur im Unterricht kann hier zusammenfassend gesagt werden, dass sowohl die Verbesserung der Raumluftqualität in Form der Reduzierung der  $\text{CO}_2$ -Belastung als auch die kurze Unterbrechung des Unterrichtsprozesses als Lüftungspause Veränderungen bewirken. Die Bereitschaft von der Form einzelner Redebeiträge zu einem Gruppen-Dialog zu wechseln ist in allen Fällen zu beobachten. Aber auch die Form des Unterrichts selbst ändert sich, „lehrerzentriertes“ Unterrichten rückt in den Vordergrund, während der Anteil „schülerzentrierten“ Arbeitens geringer wird.

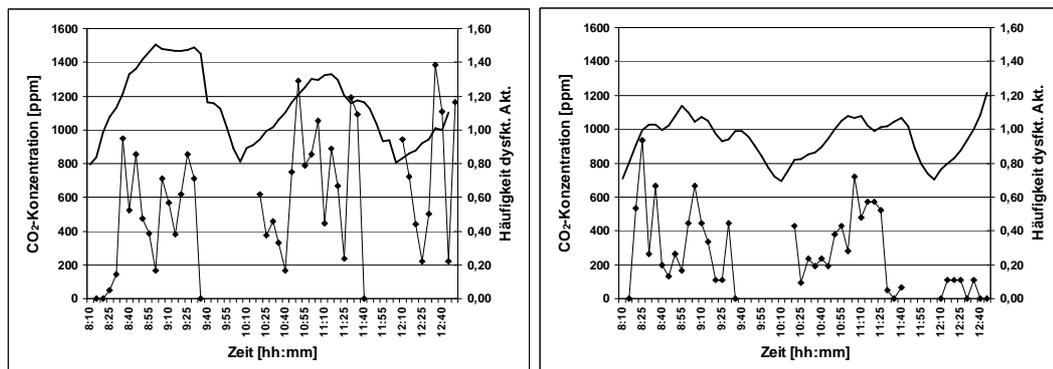
Neben der Kommunikationsstruktur im Unterricht wurden ja auch Aktionen von Schülern und Lehrer, unter dem besonderen Aspekt der Dysfunktionalität aufgezeichnet, d.h. nicht zum eigentlichen Unterricht gehörig. Inwieweit hat Ermüdung einen Einfluss auf diese Aktivitäten auf Schülerseite und wie reagiert der Lehrer darauf? In einem ersten Schritt werden die Unterrichtsstunden auch hier nach der Intensität der  $\text{CO}_2$ -Belastung unterteilt. Der mittlere „Störanteil“ der Schüler, erfasst als „dysfunktionale Aktivität“ ist in der Abb. 5.133 für die drei Schulen getrennt dargestellt. Für beide Grundschulen ergibt sich im Mittel eine Zunahme dieser Aktivitäten mit steigender  $\text{CO}_2$ -Belastung, erklärbar als steigende Unruhe in Folge sinkender Aufmerksamkeit.

Bei der Schule 3 finden wir ein entgegen gesetztes Verhalten, d.h. mit steigender CO<sub>2</sub>-Belastung sinkende Unruhe, möglicherweise als „Einschlafen“ zu interpretieren.



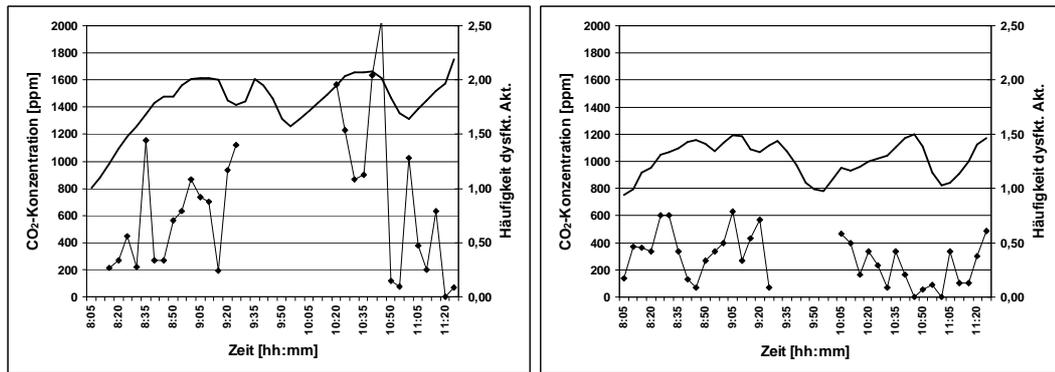
**Abb. 5.133:** Häufigkeit „dysfunktionale Aktivität“ im Unterricht, abhängig von der Raumluftqualität, Schule 1 (■), Schule 2 (◻), Schule 3 (▣)

Neben dieser sehr zusammenfassenden Darstellung der Störungen in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub>-Belastung, die Unterrichtsstunden werden nur in der Summe von niedrig bis hoch belastend klassifiziert, stellt sich die Frage nach dem zeitlichen Zusammenhang. Wie zuvor im Kap. 5.4.5 dargestellt, gibt es auch innerhalb der Unterrichtsstunde eine gewisse Dynamik, in der Regel eine Zunahme dieser Aktivitäten. In der nachfolgenden Abb. 5.134 sind diese Zeitreihen für die Schule 1 noch einmal dargestellt, diesmal aber parallel dazu der Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration, aber auch nur als gemittelte Zeitreihe für die Schule. Der Vergleich der beiden Grafiken, links vor und rechts nach der Einführung der Lüftungspause, zeigt noch einmal die Unterschiede, sowohl der CO<sub>2</sub>-Belastung als auch die geringere Häufigkeit der Störungen.



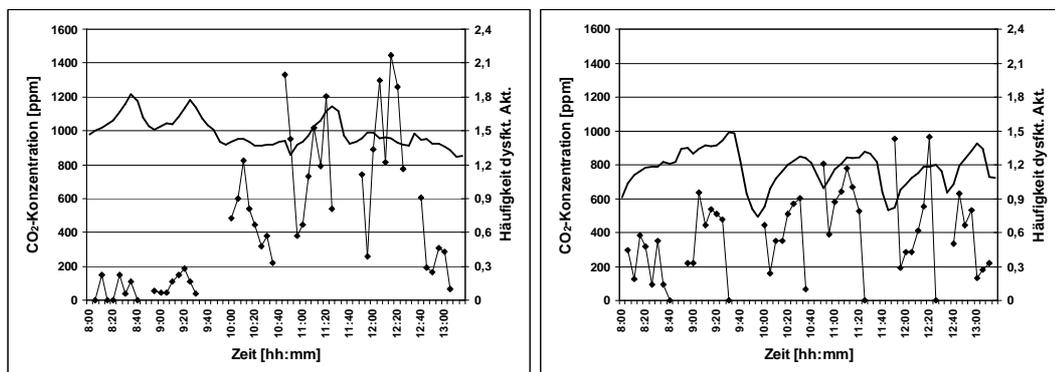
**Abb. 5.134:** Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ (—◆) über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO<sub>2</sub>-Konzentration (—) an der Schule 1, vor (li) und nach (re) der Intervention

Die Zeitreihen für die Schule 2 sind in der Abb.5.135 dargestellt. Auch hier zeigt sich ein erheblicher Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten.



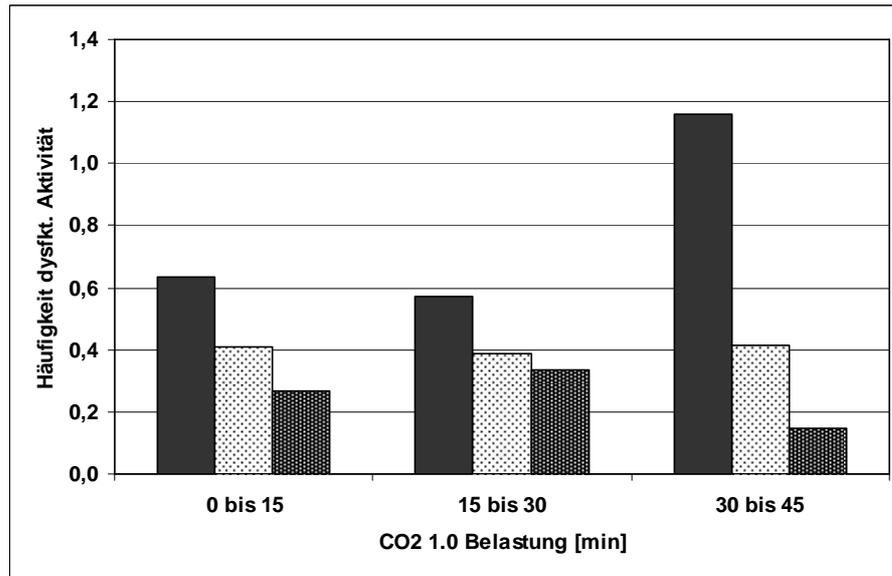
**Abb. 5.135:** Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ (—◆) über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO<sub>2</sub>-Konzentration (—) an der Schule 2, vor (li) und nach (re) der Intervention

Die Abb. 5.136 zeigt die entsprechenden Daten der Schule 3, hier fällt auf, dass vor der Intervention trotz leicht fallender CO<sub>2</sub>-Belastung über den Tag die Häufigkeit der Störungen zu nimmt, was aber nach der Intervention erheblich reduziert ist. Alle nebeneinander liegenden Grafiken haben jeweils die gleiche Skalierung, um einen direkten Vergleich anstellen zu können.



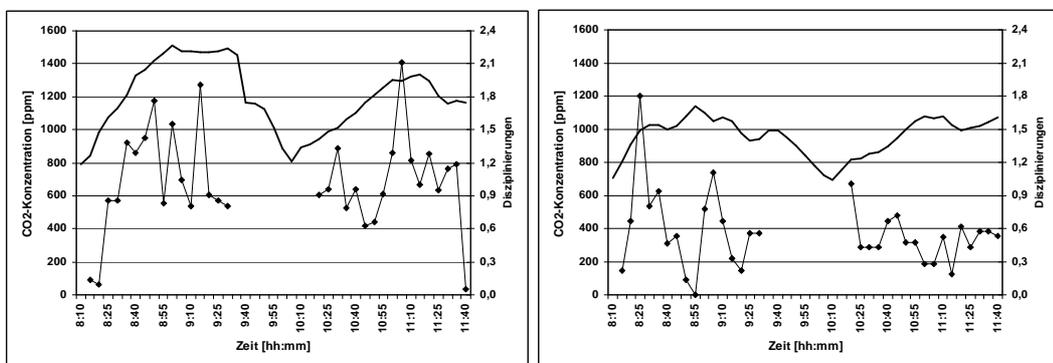
**Abb. 5.136:** Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ (—◆) über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO<sub>2</sub>-Konzentration (—) an der Schule 3, vor (li) und nach (re) der Intervention

Wie sieht nun die Reaktion der Lehrer auf diese Aktivitäten aus? Unterstellt wird, dass sich dies in der Kategorie „Disziplinierung“ widerspiegelt, dargestellt in Abb. 5.137 in Abhängigkeit von der Intensität der CO<sub>2</sub>-Belastung, wie zuvor. Während an der Schule 1 die Disziplinierungsmaßnahmen eine unmittelbare Antwort auf die Störungen darstellen, steter Anstieg, bleibt die Häufigkeit in der Schule 2 konstant. Bedeutet dies eventuell eine steigende Toleranz bei Verschlechterung der Arbeitsbedingung? In der Schule 3 ist die Reaktion auf die Störungen etwa proportional, ähnlich wie bei der Schule 1. In dieser zusammenfassenden Darstellung werden die Unterrichtsstunden lediglich nach der gesamten CO<sub>2</sub>-Belastung klassifiziert – gering, mittel, hoch – ohne Berücksichtigung der Interventionsmaßnahme und des zeitlichen Verlaufs.



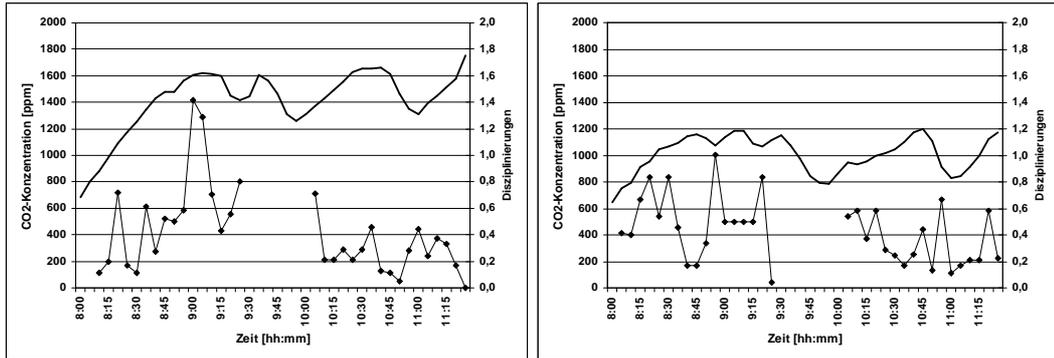
**Abb. 5.137:** Häufigkeit „Disziplinierung“ im Unterricht, abhängig von der Raumluftqualität, Schule 1 (■), Schule 2 (◻), Schule 3 (◻)

Wie bei den „dysfunktionalen Aktivitäten“ werden in den nachfolgenden Abb. 5.138 – 5.140 die mittleren Zeitverläufe der Reaktionen der Lehrer in Form der „Disziplinierungen“ parallel zu den CO<sub>2</sub>-Konzentrationen dargestellt. Die Verwendung gleicher Skalierung in den nebeneinander liegenden Diagrammen macht noch einmal die Veränderungen sowohl die Belastung als auch die Reaktion betreffend deutlich.

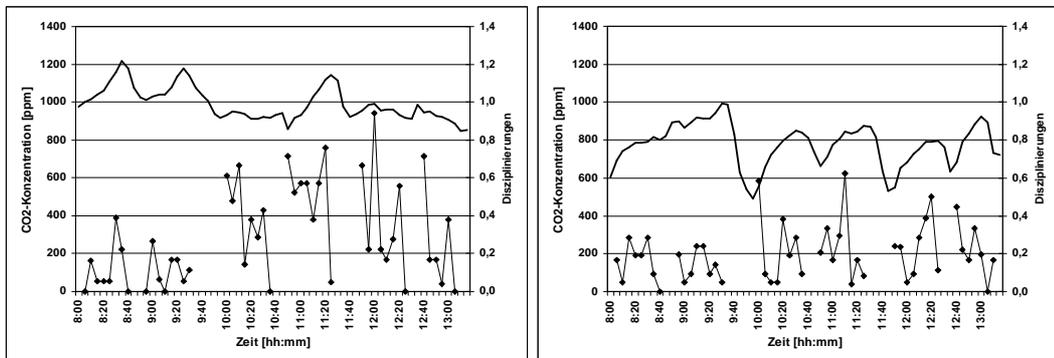


**Abb. 5.138:** Mittlere Häufigkeit „Disziplinierung“ (—◆) über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO<sub>2</sub>-Konzentration (—) an der Schule 1, vor (li) und nach (re) der Intervention

Sowohl für die Schule 1 (Abb. 5.138) als auch die Schule 2 (Abb. 5.139) bleibt die Zweigipfligkeit in den Doppelstunden bestehen, wenn auch in reduzierter Form. Die kurze Lüftungsintervention hat damit aber dennoch einen Erfolg. Lediglich in der Schule 3 (Abb. 5.140) ist die Häufigkeit von Disziplinierungen in den beiden ersten Unterrichtsstunden sehr viel geringer als in den übrigen Stunden. Der Zusammenhang mit der CO<sub>2</sub>-Belastung wird hier ebenfalls deutlich, wobei nicht genau zu unterscheiden ist, ob dies ein direkter Zusammenhang ist oder ob er auf dem Umweg über die sich häufenden Zahl von Störungen zustande kommt.



**Abb. 5.139:** Mittlere Häufigkeit „Disziplinierung“ (—◆) über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO<sub>2</sub>-Konzentration (—) an der Schule 2, vor (li) und nach (re) der Intervention



**Abb. 5.140:** Mittlere Häufigkeit „Disziplinierung“ (—◆) über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO<sub>2</sub>-Konzentration (—) an der Schule 3, vor (li) und nach (re) der Intervention

Auch hier muss noch einmal betont werden, dass es sich um gemittelte Zeitverläufe handelt, in den Grundschulen aus jeweils vier Klassen und in der Schule 3 sogar aus acht Klassen unterschiedlicher Schularten und Schulstufen. Von der generellen Tendenz her bleibt jedoch die Annahme gültig, dass eine steigende CO<sub>2</sub>-Belastung auch eine Zunahme von „dysfunktionalen Aktivitäten“ zur Folge hat, die wiederum durch eine steigende Zahl von „Disziplinierungen“ beeinflusst werden sollen.

## 6 Zusammenfassung

1) Die Arbeitsbedingungen an den drei Schulen sind für Schüler und Lehrer sehr unterschiedlich, von der Gebäudesubstanz über die Ausstattung, die soziale Struktur des Schulbezirkes bis hin zum pädagogischen Konzept. Die Vermessung der Raumakustik in den Schulklassen ergab eine breite Streubreite der Nachhallzeiten und der damit verbundenen Sprachverständlichkeit zwischen den Schulen aber auch bei der Schule 3 innerhalb der Schule. Damit finden sich günstigere und auch ungünstigere Bedingungen für Unterricht in einer Schule.

2) Die zeitlich gestaffelte Durchführung der Untersuchungen ergab einen deutlichen Wechsel der äußeren klimatischen Bedingungen von winterlicher Umgebung bis hin zum Frühling, was sich auf die Lüftungsbereitschaft der Lehrer und Schüler auswirkte. Diese Rahmenbedingungen des „Feld“-Experimentes verschafften damit der Realität vor Ort ihr Recht. Es kam primär nicht auf eine Vergleichbarkeit der Schulen untereinander – etwa im Sinn von Exemplarität oder gar Repräsentativität an - sondern auf die Prüfung der Relevanz insbesondere der CO<sub>2</sub>-Konzentration für Beanspruchungsreaktionen unter wechselnden Arbeitsbedingungen in der Schule.

3) In allen drei Schulen hat sich das Lüftungsverhalten während des Unterrichts im Sinne der Vorgaben zum Besseren gewandelt. Mindestens über kurze Zeiträume also lässt sich so etwas verabreden. Man hätte sich vielleicht deutlichere Änderungen wünschen können. Dem standen jedoch zwei Faktoren entgegen: die zu akzeptierenden Gewohnheiten zum jeweiligen Zeitpunkt  $t_1$  und das jeweils herrschende Wetter. Verhaltensweisen, wie z.B. das Unterrichten bei Kipplüftung, kann hier nur eine Absage erteilt werden, da sie keinen nennenswerten Beitrag zur Verbesserung des Raumklimas leisten, vielmehr aber den Eintrag störender Außengeräusche erleichtern und damit zur Verschlechterung der Kommunikation beitragen. Zu erinnern ist an dieser Stelle wieder einmal an BURGERSTEIN&NETOLITZKY (1902), die ihrerzeit die schleppende Übernahme ihrer Einsichten in den Schulen Deutschlands beklagen mussten. Auch der schon erwähnte RUDE (S. 73) zitierte einen preußischen Ministerialerlass aus dem Jahre 1889, in dem auf die Pflicht zur Lüftung der Fürsorge der Schulleiter streng unter Strafdrohung anempfohlen wird, wörtlich *„Es ist wichtig, dass die Anstaltleiter angehalten werden, in den Zeiten sommerlicher Hitze ihre ernsteste Fürsorge der Lüftung der Klassenräume widmen. ... Schuldienern, welche sich der Wahrnehmung der hierdurch zeitweise für sie vermehrten Mühewaltung unzuverlässig oder säumig zeigen, sind strenge disziplinarische Maßregeln in Aussicht zu stellen.“* KARS DORF ET AL. (1969, S.127) beklagen ebenfalls, dass in vielen Schulen Kinder leider im ungelüfteten Raum sitzen müssen (allerdings: *weil geöffnete Fenster Unfallquellen darstellen. Erst der zur folgenden Stunde in die Klasse kommende Lehrer darf die Fenster öffnen*).“ Damit ist ein sowohl damals wie heute ungelöstes Problem angesprochen, das heute von den Gemeinde Unfallverbänden – zumindest den beiden für dieses Projekt Auftrag Gebenden – erkannt ist und ernsthaft diskutiert wird. Einmal mehr ist hier Anlass zu Verwunderung über Vergesslichkeit gegenüber vernünftiger Regelung u. a. in der Erziehungswissenschaft geliefert.

4) Die Messergebnisse des CO<sub>2</sub> Gehalts der Atemluft während des Unterrichts zeigen regelmäßig:

die CO<sub>2</sub>-Konzentration sinkt nach der Lüftungsintervention;  
 die Pettenkofer Zahl wird seltener und/oder geringfügiger überschritten;  
 diese Effekte fallen je Schule jedoch unterschiedlich deutlich aus.

Offensichtlich reichen kurze Lüftungspausen (2 min) nach ca. 20 min Unterricht, um eine wesentliche Verbesserung der klimatischen Arbeitsbedingungen im Klassenraum für eine Unterrichtsstunde zu erreichen. Einfachste Maßnahmen genügen also, um sich deutlich in Richtung auf ein Optimum zu bewegen. Je Schule stellen sich in den Messungen der tatsächlichen CO<sub>2</sub> Werte zwar unterschiedliche Minderungsraten ein. Doch damit ist selbst in den nivellierenden Berechnungen der Mittelwerte eine Norm entsprechende Verbesserung der Luftqualität in allen drei Schulen nachzuweisen.

Die Spiegelung realer Messwerte über dem Zeitstrahl einer Unterrichtsstunde im Sinne der vorgestellten Modellrechnung illustriert den niedrigen Zeitanteil optimaler Arbeitsbedingungen in einer Unterrichtsstunde. In mehr als 60% der Unterrichtszeit ist bei den Schülern mit mehr oder weniger deutlichen bzw. mehr oder weniger häufigen Befindlichkeits- und Wahrnehmungsstörungen zu rechnen. Bezieht man dazu die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen von KLATTE ET.AL. (2003) zur Abhängigkeit der Wahrnehmungs- und Behaltensleistungen von Grundschulkindern u. a. von der Arbeitsbedingung „Störung durch Beschallung“ mit ein, erweist sich die Bedeutsamkeit der Arbeitsbedingung als Belastungsvariable und ihrer Folgen, der Veränderung der Leistungsvoraussetzungen in der Zeit.

Der Zeitanteil mehr oder weniger belastender Umgebungsbedingungen – hier durch höhere CO<sub>2</sub> Konzentration - ist nicht konstant, sondern variabel und er kann durch bewusste und begründet beeinflussbare Maßnahmen optimiert werden. Dazu gehört, den Unterricht bei niedrigem CO<sub>2</sub> Gehalt zu beginnen, also möglichst mit dem Wert der Außenluft oder in dessen Nähe. Wie zu zeigen war, ist ein derartiger Regelwert nicht festzustellen gewesen. Ihn zu definieren wäre auch ohne begründende Messung möglich.

5) Einen Ursache Wirkungszusammenhang zwischen CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atemluft während des Unterrichts und der Schallemission im Unterricht anzunehmen dürfte als einigermaßen abwegig anzusehen sein. Immerhin ist jedoch in zwei Schulen eine Parallelität zwischen Verbesserung der Atemluft durch Lüftungsintervention und einem - wenn z. T. auch leichten - Absinken des Schallpegels während des Unterrichts zu messen. In Schule 2 trat jedoch ein genau gegenteiliger Effekt ein. Nach der Intervention war der Schallpegel angestiegen. Andererseits konnte in der Schule 3 in Klassenräumen mit unterschiedlichen Nachhallzeiten von < 0,6 sec und > 0,6 sec eine teilweise damit variierende Minderung der Schallpegel gemessen werden. Auch Schule 1 zeichnete sich – bei gleichem Effekt - durch relativ geringe Nachhallzeiten aus. Als vorläufige Regel lässt sich daraus folgern: der Schallpegel im Unterricht kann sich im Zusammenhang mit der Lüftungsintervention von 2-3 min nach 20 min mindern, und zwar um so mehr, je günstigere Nachhallzeiten im Unterrichtsraum gegeben sind.

6) Die über alle Herzfrequenzmessungen an den Schülern festgestellten Mittelwerte zeigen in allen drei Schulen eine Absenkung nach der Phase der Lüftungsintervention! Insgesamt ist eine Häufigkeitsverschiebung von höheren Herzfrequenzen zu

niedrigeren zu beobachten. Damit ist im Allgemeinen eine geringere Beanspruchung der Schüler im Verlauf des Schultages in allen drei Schulen zu verzeichnen. Die Mittelwerte in den zwei Grundschulen liegen deutlich höher als in der Gesamtschule. Doch das ist mit dem niedrigeren Schüleralter problemlos zu erklären. Abweichungen der Messwerte werden von oben berichteter Tendenz jedoch nicht eindeutig dominiert. Trotzdem begründen die Mittelwerte der Herzfrequenzmessungen im Vergleich die Feststellung eines Absinkens der Beanspruchung nach der Lüftungsintervention.

7) Ermüdung müsste sich, so die Hypothese, in einer Verminderung der der Aufmerksamkeitsleistung eindeutig zeigen. Die Messungen ergaben das genaue Gegenteil! Ist damit eine Falsifizierung der Hypothese zu konstatieren? Dieses Verdienst, Rechenschaft über eine falsifizierte Hypothese nicht nur ablegen zu müssen, sondern es auch zu tun, kann hier leider nicht beansprucht werden. Da die Testwiederholung mit einem starken Lerneffekt verbunden ist, kann die veränderte Aufmerksamkeit nur über einen veränderten Übungsgewinn gemessen werden, was in der Tat auch der Fall ist. Geringere CO<sub>2</sub>-Belastung zeigt einen höheren Übungsgewinn bei dem Aufmerksamkeitstest. Damit ist die Hypothese der geringeren Ermüdung unter besserer Luftqualität im Klassenraum bestätigt.

8) Veränderungen der phasischen Alertness, gemessen über das Reaktionsverhalten, lassen sich nicht eindeutig auf eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Belastung zurückführen. Hier dürften eine ganze Reihe anderer Aktivierungsfaktoren eine Rolle spielen, die im Detail nicht erfasst werden konnten. Vermutlich führt lediglich die Unterbrechung des Unterrichts in Form der kurzen Lüftungspause zu einer Verbesserung der Reaktionsfähigkeit.

9) Die Auswirkungen der Intervention auf den pädagogischen Prozess ist nicht zu übersehen, und dies in mehrfacher Hinsicht. Bezogen auf das Kommunikationsverhalten zeigt sich eine übereinstimmende Verschiebung zu Gunsten des „frontalen Unterrichtsgespräches“, d.h. eines verbesserten Dialogs zwischen dem/der Lehrer/In und Schülern, einer Arbeitsform, die von den beteiligten Lehrern als besonders fruchtbar eingestuft wird, die aber nur mit einer besonders aufmerksamen Klasse angewandt werden kann. Dieses Ergebnis wird durch das veränderte Verhalten der Schüler zusätzlich unterstützt, indem weniger „dysfunktionale Aktivitäten“ zu beobachten sind, die dementsprechend weniger „Disziplinierungen“ zur Folge haben. Welche Auswirkungen dieser derart positiv veränderte Unterrichtsprozess auf Lernerfolge der Schüler hat, entzieht sich der Beobachtung, kaum der Erwartung.

10) Die Befragungen der Schüler zur eigenen Befindlichkeit zeigen ein Problem auf, das diese Methode mit sich bringt. Die Reflexion der eigenen Befindlichkeit in einer differenzierten Form fällt insbesondere den jüngeren Schülern im Grundschulalter schwer. Eine dichotome Unterscheidung zwischen „gut“ und „schlecht“ gibt es fast nur in dieser Gruppe. Bei Schülern aus dem Sekundar-Bereich wird die Einschätzung des eigenen Befindens differenzierter, aber auch mit einer deutlichen Tendenz zu „gut“ vorgenommen. Lediglich die Frage nach der Lautstärke im Unterricht führt zu wesentlich breiter gestreuten Antworten, aber ein Bezug zu der tatsächlich gemessenen Lautstärke ist nicht herzustellen.

## 7 Folgerungen für eine Ergonomie der Schule

Ergonomie der Schule meint die Entwicklung und Ermittlung möglichst günstiger Arbeitsverhältnisse für Schüler und Lehrer in der Schule. Mit dieser Sichtweise unterscheidet sie sich im Schwerpunkt von Schulhygiene, die, folgt man ihrer Darstellung in der Literatur, vornehmlich auf die Vermeidung von Gesundheitsschädigungen im Schulbetrieb ausgerichtet ist. Das hindert(e) die in diesem Wissenschaftssegment tätigen Forscher und Autoren keineswegs daran, sich mehr oder weniger implizit auch mit der günstigsten Gestaltung der Arbeitssituation von Schülern aber auch Lehrern (in Zukunft immer für beide Gruppen gemeint) in der Schule zu äußern. „Belastung“ von Schülern ist keineswegs auf die Quelle Arbeitsaufgabe bzw. Arbeitsauftrag einzuschränken, sondern umfasst selbstverständlich auch die äußeren Bedingungen, unter denen ihnen entsprochen werden soll und das vor dem Hintergrund des individuell jeweils Leistbaren. Darum geht es hier...

Nicht zuletzt angestoßen durch die Diskussion um die Humanisierung der Arbeit, der auch für die Unfallkassen bedeutsamen Grundlegung ihres Arbeitsauftrags, haben sich die Autoren der hier vorgelegten Studie mit Fragen der Optimierung schulischer Arbeitsbelastung und damit auch den dortigen Arbeitsbedingungen befasst. Thematisiert wurde Ermüdung im Lehr- Lernprozess in der Schule bzw. durch die Schule. Als wesentliche Operationalisierung ursächlicher Bedingungen für Ermüdung wurden die Konzentration des Gases CO<sub>2</sub> in der Atemluft im Unterricht angenommen, ergänzt durch die Arbeitsformen im Unterricht als allgemeine Belastungsbeschreibung. Realisiert wurde die Untersuchung in einem Feldexperiment, in dem, im Wesentlichen erfolgreich, eine Variation der Arbeitsbedingungen in der Schule durch eine kurze (2-3 min) Lüftungspause zur Hälfte der Unterrichtsstunde verabredet worden war. Die Mess- und Beobachtungsdaten von Unterrichtsphasen ohne verabredete Lüftungspausen (vorher) und mit (nachher) waren auszuweisen. Zur Kontrolle wurden während beider Phasen kontinuierlich neben den Klimadaten auch der pädagogische Prozess, sowie der Geräuschpegel und die Herzfrequenz von Schülern als wichtigster Beanspruchungsindikator gemessen. Da sich Ermüdung in einem Absinken u. a. kognitiver Leistungsfähigkeit über die Unterrichtszeit zeigen müsste, waren dazu mehrere Variablen vor Beginn und nach Ende des Unterrichts zu messen wie Aufmerksamkeit und Reaktionsschnelligkeit. Parallel dazu wurden die individuellen Einschätzungen der jeweils eigenen Leistungsfähigkeit für den Unterricht durch Befragung vorher und nachher dokumentiert.

Die Ergebnisse fielen insgesamt überraschend und noch differenzierter aus, als von der Forschergruppe vorher angenommen worden war. Das Feld setzte ´sein´ Recht durch und nahm triftige Korrekturen vor. Eine davon betrifft die Akzeptanz der seit ca. 150 Jahren gezogenen Schlussfolgerungen aus dem seit damals für gültig angenommenen Vorwissen insbesondere zur CO<sub>2</sub> Konzentration der Atemluft im Unterricht aus der Schulhygiene.

Die Folgerungen aus den obigen Berichten weisen drei(vier) Themenschwerpunkte (Themenstufen) auf.

Zunächst ist die überkommene Norm Status der vermutlich ungünstig sich auswirkenden CO<sub>2</sub>-Konzentration von über 1000 ppm – die tradierte Pettenkofer Zahl - anhand der kontinuierlichen Messergebnisse zu erörtern. Durch die Darstellung der Messergebnisse von CO<sub>2</sub>-Konzentration und ihrer Variation durch Lüftungsregeln kann eine Beschreibung des Status quo vorgenommen werden. Das ist der Stand des Vorwissens, das z. T. mehr oder weniger unterschwellig sogar gegen das Ermüdungsprojekt der zwei Unfallkassen gelten gemacht worden ist.

Der Ergebnisbericht über die Messungen der Effekte der Veränderung des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atemluft im Unterricht und seiner Veränderung im Zeitablauf in Abhängigkeit von verschiedenen Umgebungsbedingungen der Schulen ist geeignet, gängiges Vorwissen um relevante (belangvolle) Informationen über festgestellte Folgen der Veränderungen von CO<sub>2</sub>-Konzentrationen nachhaltig zu ergänzen. Andererseits treten neben Messproblemen Schwierigkeiten bei der stringenten Verknüpfung der Messreihen auf. Sie sind in weiteren Untersuchungen zu klären.

Die Auswertung der kontinuierlichen Datenerfassungen führt trotz einiger - methodisch erklärbarer - Unschärfen im Einzelnen zu einer unverkennbaren Bestätigung der Hypothesen des Projekts. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Unterricht hat messbare Auswirkungen auf Leistungsfähigkeit und die allgemeinen Leistungen der Schülerschaft.

## **7.1 Beobachtungen zum Status Quo realisierter Schulergonomie**

Wer sich in unseren Schulen nur ein wenig umsieht, wird sich beim Blick auf die Schulmöbel z.B. häufig, sehr häufig, kaum des Eindrucks von wenig gepflegt, abgenutzt, grobschlächtig, nicht funktionsgerecht erwehren können. Doch solange das Mobiliar z.B. ohne Beeinträchtigungen der Schülerschaft seinen Zweck erfüllt, wird es angesichts angespannter Finanzlage der Schulträger schwer fallen Abhilfe zu schaffen. Bei Möbeln etc. kann man wenigstens sehen, woran es hapert. In vielen Schulen jedoch gibt es andere Auffälligkeiten, die unkundigen Eltern, Lehrern, Kommunalpolitikern bis hin zu Schulbauarchitekten nur selten, wenn überhaupt ins Auge fallen oder zu Ohren kommen. Anlässlich des Ermüdungsprojekts haben wir in zwei Grundschulen und einem Sek. I Zentrum verschiedene Messungen zu den räumlichen Bedingungen des Unterrichtens vorgenommen. In keiner dieser Schulen waren auch nur die Standards der seit über 100 Jahren propagierten Schulhygiene in den wichtigsten anzusprechenden Dimensionen eingehalten. Nun kann man fragen, was sind schon drei Schulen? Doch jeder kann hingehen und sich umsehen und dabei in aller Regel sein blaues Wunder erleben.

Im Mittelpunkt des Ermüdungsprojekts stand das Interesse an der Entwicklung der CO<sub>2</sub> -Konzentration während des Unterrichts - und ihre Folgen. Die Fachleute wussten und wissen um die Bedeutung der Pettenkofer Zahl von 1000 ppm CO<sub>2</sub> u. a. im Unterricht. Einige wussten es so genau, dass sie bereit waren ein Forschungsprojekt dazu als überflüssig abzuqualifizieren. Doch wenn bei Messungen im Feld regelmäßig während der normalen Unterrichtszeit von max. 45 min die magische Pettenkofer Zahl überschritten wurde und das erst recht bei Unterrichtsabschnitten von 90 min,

dann ist nach dem Verbleib der Sachkenntnis der Experten zu fragen. Das hätte nicht auftreten dürfen. Man könnte zwar behaupten, für die Verwendung bekannten Wissens, in diesem Fall der Schulhygiene, seien sie nicht zuständig. Verwunderung ob des Übersehens der Konsequenzen der Missachtung des Fachwissens zu Leistung begünstigenden Bedingungen der Arbeitsumwelt in der Schule wird man trotzdem nicht unterdrücken müssen. Wo z. B. sind die mehr oder weniger dringenden Hinweise oder auch nur Ratschläge der Experten für Arbeitssicherheit und die akzeptable Arbeitsumgebung im öffentlichen Raum (gelandet)? Spätestens seit BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) oder für Pädagogen seit RUDE (1915) hätte jeder Schulverwalter und Lehrer und später jeder Beauftragte für Arbeitssicherheit im öffentlichen Raum nicht nur das Richtige guter Schulverhältnisse wissen können, sondern eigentlich wissen müssen.

Folgt man den aus BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902) ableitbaren Regeln, dann lautet der Rat zumindest regelmäßig ´gut zu lüften´. Auch wenn man nicht nachmessen kann, sagt die Beachtung der Geruchsempfindung eine Menge. In einer Gemeinde hart am Rande Bremens äußerten Eltern, Lehrer und Schüler einer Hauptschule ihre Besorgnis über die Raumluft im Unterricht an ihrer Schule. Ein Vertreter des Gemeinde Unfall Verbandes vermisst die Luftqualität und schlägt eine einfache Maßnahme vor: Durchzuglüftung nach 20 min Unterricht!

Dieser höchst vernünftige Rat eines Fachmanns wäre seit über 100 Jahren zu erteilen gewesen und jeder Professional des schulischen Verwaltungspersonals, des Gemeinderats und nicht zuletzt die Pädagogen vor Ort hätten selber drauf kommen sollen wenn nicht gar müssen.

Die Geschichte ist damit leider nicht zu Ende. Ein Lehrer im Fachausschuss wandte ein, um vernünftiges Lüften zu ermöglichen, müssten in seiner Klasse erst Tische und Bänke umgerückt werden. Ungewollt wird damit ein arbeitshygienisch durchaus interessanter Einzelfall aus einer Hauptschule bekannt gemacht: ´Es ist nur unter besonderer Mühe möglich, anzustrebende günstigere raumklimatische Arbeitsbedingungen in dieser Hauptschule in dieser Klasse herzustellen.´ Die Zeugenaussage diskreditiert sowohl die Arbeitsbedingungen der betreffenden Schule als auch den Lehrer bzw. die Schule, in der zu unterrichten er sich verpflichtet sieht. Anscheinend gilt es als (quasi) natürlich, gegebene Arbeitsbedingungen hinzunehmen.

Ein anderer Lehrer unter den Zuschauern wandte gegen den Expertenvorschlag ein, die Auswirkungen dieser ständigen Lüftungsunterbrechungen nach 20 min sei un-schwer vorstellbar<sup>1</sup>.

Auch die letzte Lehreräußerung dürfte sich als Beleg von beträchtlichem Wert erweisen. Besagt sie doch – appellativ – das Empfinden vom Richtigen verstehe sich von selbst – sei jedem vernünftig Fühlenden nachvollziehbar. Schon die durch einen reichen Literatur-Hintergrund unterlegten Berichte von 1902 - und also davor – belegten: objektiv Festzustellendes entspricht keineswegs subjektiv Empfundene. Schulhygiene von mindestens 100 Jahren und in ihrer Nachfolge zu entwickelnde Schulergonomie decken sich somit keineswegs mit dem zeitgemäßen Empfinden der Akteure. Obwohl BURGERSTEIN & NETOLITZKY (1902) bereits relevante Messergebnis-

---

<sup>1</sup> Michel, R.: Schlechte Luft in Klassenräumen. In: Achimer Kurier v. 17.01.2008

se ins Feld führten, berufen sich Lehrkräfte, studierte Leute, 2008 auf ihr subjektives Gefühl.

Es ist möglich, das anscheinend Selbstverständliche mit Tatsachen zu konfrontieren. Das ist in den Punkten 5 und 6 geschehen.

Man kann den Stand der Diskussion im hier interessierenden Zusammenhang ganz kurz auf den nach 100 Jahren Kenntnis benennbaren Punkt bringen:

- die CO<sub>2</sub> Konzentration der Atemluft im Unterricht sollte den Wert von 1000 ppm nicht überschreiten,
- Lüften vor dem Unterricht – und während – ist geeignet, dem im Unterrichts-Prozess ansteigenden Ermüdungsfaktor der schlechten Atemluft zu senken oder gar zu minimieren.

Das ist immerhin schon erheblich mehr, als aktuell gängige Schulpraxis erkennen lässt.

## 7.2 Eckpunkte einer effektiven Schulergonomie

Oberster Grundsatz des Bemühens um eine ergonomisch vernünftig organisierte Schule muss selbstverständlich die Gesundheit der in der Schule Arbeitenden sein, also die der Schüler, Lehrer und des übrigen Personals. Das ist der Hintergrund vor dem das Forschungsprojekt Einhaltung möglichst gesundheitsfördernder Arbeitsbedingungen und damit der Vermeidung von Ermüdungsreaktionen ansetzte. Zwar bildeten nicht einzelne Gesundheit gefährdende Ereignisbedingungen den Ausgangspunkt. Doch der Aspekt der Verbesserung psycho-physiologischer Leistungsvoraussetzung durch Schonung der Leistungsfähigkeit aller am Unterrichts-Prozess Beteiligten – Lehrer und Schüler - spielt in dieser Hinsicht durchaus eine Rolle. Autofahrern wird bei langen Fahrzeiten angeraten sich möglichst stündlich in Bewegungspausen aufzufrischen, und dies möglichst im Freien. Zu nichts anderem dienen in der Schule im Prinzip von der Intention her die kurzen und langen Schulpausen. Diesen Gedanken fortschreibend lässt er mit hoher Wahrscheinlichkeit erwarten, hohes Aufmerksamkeitspotential der Schüler und allgemein hohe Reaktionsfähigkeit müssten u. a. auch eine Minderung der Anfälligkeit für Unfälle in der Schule und auf dem Schulweg bewirken. Das exakt zu messen dürfte zwar ziemlich schwierig sein; bei genügend großem Aufwand wäre es mit Vorher/Nachher - Messungen jedoch durchaus leistbar. Doch was soll der absehbare Messerfolg an Verbesserung in der Sache bringen? Es könnte sich allenfalls um eine Steigerung der Gewissheit handeln ohne zur Ausweitung erfolgreich Leistungsfähigkeit steigernden Verhaltens der Organisation Schule beigetragen zu haben. (Auch wiederholtes Wiegen macht die Sau eben nicht fett.)

Wie bereits E.V.KRAEPELIN (1894) feststellte: „In einer halben Stunde scharfer Arbeit auf der Höhe der geistigen Leistungsfähigkeit wird mehr und vor allem Besseres geschafft als in der doppelten Zeit bei fortgeschrittener Ermüdung.“ Ein hohes und stabiles Niveau an Leistungsfähigkeit setzt den gezielten Einsatz von Pausen voraus,

die keinen Zeitverlust sondern einen Arbeitsgewinn darstellen. Bei der Pausenregelung sind jedoch einige Aspekte zu beachten:

- Pausen müssen rechtzeitig eingelegt werden, denn wenn ein Ermüdungszustand erst einmal eintritt, steigt er sprunghaft an. Z.B. reicht bei einer doppelten Arbeitszeit keine doppelte Pause. Um das ursprüngliche Leistungsniveau herzustellen, müsste eine drei- bis viermal so lange Pause eingelegt werden.
- Viele kurze Pausen sind sinnvoller als wenige lange, denn die größte Erholung hat man am Anfang einer Pause.
- Vorher festgelegte Pausen dienen der Erholung mehr als willkürlich eingesetzte Pausen. Kurz vor Beginn einer geplanten Pause mobilisiert der Mensch seine Arbeitskraft noch einmal, mit der Aussicht auf eine kurz bevorstehende Erholung, so wirkt eine geplante Pause schon vor Eintritt leistungsfördernd.

Im Schulalltag wird nach jeder 45-Minuten-Stunde eine Pause eingeplant, wobei mindestens zwei der tägliche Pausen lang genug sein müssen, um den Kindern Bewegung und frische Luft auf dem Schulhof zu bieten. Es ist jedoch umstritten, ob Kinder ihre Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit überhaupt für 45 min aufrecht halten können. Bulgarische Wissenschaftler fanden beispielsweise heraus, dass lediglich für 25 min ein optimales Leistungsniveau erhalten bleibt und die Leistungsfähigkeit danach kontinuierlich abfällt. (Vgl. HELLBRÜGGE, 1975) Die Länge der effektiven Arbeitszeit ist insbesondere vom Alter abhängig, so haben Untersuchungen gezeigt, dass fünf- bis siebenjährige Kinder lediglich 15 min und acht- bis zehnjährige 20 min konzentriert arbeiten können. Pausen sind in dieser Altersgruppe besonders wichtig, da nach langem Sitzen die unterdrückten Bewegungsimpulse entladen werden müssen. Ältere Kinder, denen oftmals 90-minütiger Blockunterricht zugemutet wird, können sich nach 40-50 min nicht mehr ausreichend konzentrieren. (Vgl. HELLBRÜGGE, 1975)

Die Forschung für diesen Bericht bewegte sich in einem Leistungsbereich möglichst vor der Gefährdung der Gesundheit von Schülern – und auch Lehrern. Ziel war es, Grundbedingungen für eine Optimierung der Arbeitsprozesse von Schülern und ihren LehrerInnen herauszufinden. Den Ausgang bildet die allgemeine Hypothese, durch einfache Lüftungsregeln kann die Arbeitsbedingung 'Qualität der Atemluft im Unterricht' so weit verbessert werden, dass eine messbare Steigerung der Leistungsfähigkeit der Schüler eintritt. Man kann das auch umgekehrt formulieren. Die Minderung der Qualität der Atemluft durch und im Unterricht und seinem Verlauf schmälert im Allgemeinen die Leistungsfähigkeit sowohl der Schüler – als auch ihrer LehrerInnen. In diesem Sinne wird die allseits als Norm geführte Pettenkofer Zahl benutzt sowie der Wert von 1500 ppm aus der DIN 1946 als oberster gerade noch zu tolerierender Wert.

Die Hochrechnungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem mit 25 Schülern besetzten Klassenraum, wie in der Abb. 5.31 grafisch dargestellt, zeigt, wie schnell im Verlauf einer Unterrichtsstunde sowohl der Grenzwert der Pettenkofer Zahl als sogar auch der nach DIN 1941 erreicht und überschritten wird. Je nach Anfangswert (350 bis 800 ppm) im Klassenraum wird überdies die Grenze von 1500 ppm zwischen 7 min und 11 min erreicht, der Wert von 1000 ppm natürlich deutlich früher. Nach dieser Modellrechnung bedeutet das: die für die Unterrichtsarbeit von der Atemluft her optimal geeigneten Zeiträume je 45 min U-Stunde und erst recht die maximal günstigen

sind nur in geringem bis sehr geringem Umfang gegeben. Danach beginnt eine Phase, in der bei alle Beteiligten bereits Befindlichkeitsstörungen beginnen aufzutreten und deutlich vor Ablauf der 45 min Unterrichtszeit treten Wahrnehmungsstörungen auf. Das folgt aus der Übertragung der Angaben in einem Bericht der NASA zu den Folgen der CO<sub>2</sub>-Konzentration bei Astronauten. Danach wäre in mehr als 60% der Unterrichtszeit bei den Schülern mit mehr oder weniger deutlichen Wahrnehmungsstörungen zu rechnen. In der vom Forschungsteam vorgefundenen Schulrealität sah es nicht ganz so dramatisch aus. Zwei Beispiele (Abb. 5.32 und 5.34) zeigen das. Doch zu nachhaltiger Selbstberuhigung taugen diese Fälle überhaupt nicht. Sie sind weder als repräsentativ anzusehen noch auch nur exemplarisch zu nehmen. Viel wichtiger sind die ebenfalls im Kapitel 5.3 vorgestellten Zusammenfassungen der Werte der CO<sub>2</sub>-Messungen vor und nach der Lüftungsintervention!

Selbst in den jeweils ersten Unterrichtsstunden lagen die Anfangswerte deutlich über den oben für die Modellrechnung angenommenen 350 ppm. Damit lagen im Regelfall relativ ungünstige Startbedingungen vor. Die Grenze von 1500 ppm nach DIN 1946 wurde insbesondere in den 4ten und 5ten Unterrichtsstunden erreicht bzw. überschritten. Das galt für die Zeit vor der Einführung der Lüftungspause nach 20 min Unterricht. Eine drastische Verbesserung der Atemluft trat jedoch durch die Intervention ein. In allen drei Schulen erhöhte sich der Anteil der Unterrichtszeit mit <750 ppm CO<sub>2</sub>-Gehalt eklatant, während umgekehrt die Zeit mit über 1500 ppm eindeutig sank. Das ist beispielhaft an einer schon erwähnten Unterrichtseinheit von 90 min aufzuweisen. Vor der Lüftungsintervention ergab sich:

17% der Zeit unter optimalen Bedingungen  
61% der Zeit mit leichten Beeinträchtigungen  
22% der Zeit mit Störungen der Wahrnehmung.

Nach der Intervention stellte sich ein völlig anderes Bild ein:

61% der Zeit unter optimalen Bedingungen  
39% der Zeit mit leichten Beeinträchtigungen.

Mit anderen Worten, die simple Regel kurzzeitigen Lüftens nach 20min Unterricht bewirkte eine unübersehbare Verbesserung der Luftqualität und damit der Arbeitsbedingungen im Unterricht!

Es kann also festgehalten werden – z. T. sogar noch in Übereinstimmung mit BURGERSTEIN UND NETOLITZKY (1902):

- *Unterrichtseinheiten von 90 min wirken sich ausgesprochen ungünstig auf die Arbeitsbedingung Atemluft im Unterricht aus.*
- *Selbst in der Halbtagsschule weisen die Unterrichtsstunden im Tagesablauf unterschiedliche Qualität in der Atemluft aus; sie gleichen einander keineswegs.*
- *Auch innerhalb einer jeden Unterrichtsstunde gibt es Phasen optimaler und suboptimaler Arbeitsbedingungen. (Das gilt nebenbei auch für die Geräuschemission während des Unterrichts).*

- *Die Anfangswerte der CO<sub>2</sub>-Konzentration liegen in der Regel unnötig höher als der Umgebungspegel, der bei Lüftung vor Unterrichtsbeginn erreicht werden könnte.*
- *Die günstigsten Arbeitsbedingungen für den Unterricht liegen immer am Stundenbeginn bzw. nach Ende der Lüftungspause.*
- *Jede Verzögerung des Unterrichtsbeginns verschwendet fruchtbare Leistungszeit, die durch eine Verlängerung des Unterrichts in die neue Pause nicht ausgeglichen werden kann.*
- *Die Pausenzeiten am Schultag sollten ungeachtet ihrer ergonomischen Fehlkonstruktion in jedem Fall zu intensiver Lüftung genutzt werden.*

Darüber hinaus gehend sollten bei der Strukturierung des Tagesablaufs einer Ganztagschule Überlegungen zur Tagesperiodik, bezogen auf die „Biologische Leistungskurve“, mit einbezogen werden. Hier kann eine entsprechende Verteilung von mehr kognitiv und mehr motorisch ausgerichteten Unterrichtsfächern über den Tag, unterbrochen von einer notwendigen Pausenregelung, die Effektivität eines gesamten Unterrichtstages entscheidend beeinflussen.

### **7.3 Effekte durch und mit einfacher schulergonomischer Veränderung**

Die Verbesserung der Atemluft im Unterricht durch Senkung des CO<sub>2</sub>-Gehalts durch regelmäßiges entschiedenes Lüften war zu erwarten. Auf diese Ahnung dürfte auch die angesprochene Skepsis gegenüber dem Ermüdungsprojekt zurück zu führen sein. Für die Erinnerung an bereits über 100 Jahre alte Befunde und ihre Übertragung auf die Schule -ergänzt vielleicht um eine Kritik der Erhebungsmethoden und der Übernahme der Grenzwerte (1000 bzw. 1500 ppm) - hätte eine Literaturarbeit reichen können. Auch das weite Spektrum der Qualität der Unterrichtsräume sowohl zwischen den – nur – drei Schulen als in einem Fall sogar innerhalb einer Schule kann einschlägig Vorgebildete jedoch kaum wirklich überraschen. Erstaunen kann allenfalls das Langzeitignorieren sowohl deutlich suboptimaler Arbeitsbedingungen an sich als auch in den Unterrichtsräumen verschiedener Schulen eines Schulträgers. Unsere Nachfragen nährten jedoch den Verdacht, dass bei den Schulträgern nur relativ selten der Blick auf solche äußerlich scheinenden aber doch wesentlichen Bedingungen aufrechterhalten wird, sofern er denn je bestanden hat. Ein Raumkatalog für die Schulen – z. B für die raumakustische Ergonomie von Schulräumen oder das Raumklima - besteht unseres Wissens nicht. Auch daran – und an seine Einrichtung - zu erinnern ist wichtig. Das gilt erst recht für die seit mehreren Jahren zu verzeichnenden erheblichen Überschreitungen der Belegungsgrenzen von Klassen- und Fachräumen nicht zuletzt auch der neuesten Schulen. Mit der Steigerung der Klassenfrequenzen und die Vorschrift neuer Arbeitsanforderungen wie z. B. selbständige Experimente im Fach Physik oder Chemie stoßen die Schulräume an Effektivitätsgrenzen, die z-T. sogar mit gesundheitlicher Gefährdungen von Schülern und Lehrern verbunden sein können.

Das Nachmessen der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Unterricht vor jeder Intervention jedenfalls hat belegt, dass die seit Langem bekannten und/oder leicht erschließbaren Grenzwerte für ein optimales oder noch zu tolerierendes Raumklima in Unterrichtsräumen in der Regel nicht eingehalten und z. T. erheblich überschritten werden. Die

Literatur gibt gleiche Auskunft. Die Vorher-Messung enthält damit bereits dringenderen Anlass zu Maßnahmen zugunsten mindestens einer der Variablen der Arbeitsbedingungen im Unterricht als generelles Fach- und Vorwissen bisher zu aktivieren gewusst hat.

Selbst auf dieser untersten Stufe des Nachmessens unter verabredeten Variationsbedingungen, nämlich Lüftungsunterbrechung nach 20 min Unterricht ergibt sich eine deutliche Verschiebung der Qualität der Atemluft im Unterricht! Nach dieser Intervention sinkt die CO<sub>2</sub>-Konzentration, sowohl die Pettenkofer Zahl wird seltener oder nur geringfügiger überschritten als zuvor und erst recht der nach DIN 1946 gerade noch zu akzeptierende Wert. Obwohl die Effekte an jeder Schule unterschiedlich eindeutig auftreten; beträchtlich positiv unterscheiden sie sich in jedem Schulfall.

Legte man einen niedrigen Standard an die Bewährung der Forschungsabsicht des Projekts an, wäre sie damit verwirklicht. Doch Rang des Standards sagt noch nichts über seine Relevanz für die alltägliche Schule. Man führe sich nur vor Augen: eine 2 bis 3 min Pause nach 20 min Unterricht verbessert die Belastungssituation des Unterrichts für alle Beteiligten deutlich unter die andernfalls zu konstatierenden zu Ermüdung und damit Leistungsabfall führenden Werte der Arbeitsbedingung Atemluft im Unterricht. Die Messergebnisse im Projekt ergeben: konkret Fassbares an Qualität im Unterricht ist zu gewinnen! Damit erweist sich die Bedeutsamkeit der Messungen im Feldexperiment. Nicht nur plausibel scheinende Schlussfolgerungen aus zwar überkommenen, aber aus methodischen Gründen eher unsicheren Normwerten wie der Pettenkofer Zahl, sondern Vorher- Nachher Messungen beglaubigen: die verbesserte Atemluft (Minderung des CO<sub>2</sub>-Gehalts) führt zu höheren Leistungen. Die Veränderung dieser Arbeitsbedingung ist als wesentlich anzuerkennen. Zudem zeichnet sie sich durch Einfachheit der Maßnahme aus. Einwände dagegen, wie an der Hauptschule in Achim geäußert, bedürfen mindestens auf gleichem Niveau des Nachweises durch Tatsachen statt noch so fester Überzeugungen von der Richtigkeit der eigenen vorgefassten Meinung. Das ist um so mehr anzumahnen, als von mehreren positiven Effekten durch die Lüftungsintervention oder damit zusammen auftretend zu berichten ist.

*So ist der Beanspruchungsindikator Herzfrequenz im Vergleich mit der Messung vor der Lüftungsintervention insgesamt gesunken. Das bedeutet, die Belastung im und durch den Unterricht hat generell abgenommen.*

*Mit Ausnahme der Erstklässler hat sich in allen übrigen Altersklassen der Schüler eine Steigerung der Aufmerksamkeitsleistung nach der Intervention eingestellt. Gleiches gilt – mit Ausnahme der Schule 2 – für die Reaktionszeiten.*

*Etwas merkwürdig mutet die Senkung des Geräuschpegels – im Zusammenhang mit der Güte der Raumakustik - nach der Intervention in 2 Schulen an. Aus der Qualität der Atemluft im Unterricht kann das eigentlich nicht erklärt werden. Wahrscheinlicher ist eine Veränderung des pädagogischen Prozesses nach der Intervention.*

*In der Summe wurde an drei Schulen eine Zunahme des Dialogs zwischen Schülern und LehrerIn beobachtet. Ein Lehrer erklärte das mit verbesserter Möglichkeit zu intensivem Austausch zwischen Lehrer und Schülern. Damit ergab sich nach der Inter-*

*vention das genaue Gegenteil dessen, was in Achim an der Hauptschule befürchtet worden ist.*

*Deutlich abgenommen hat in allen drei Schulen die Häufigkeit dysfunktionaler Schüler-Aktivitäten. Ebenfalls abgenommen hat die Anzahl der Disziplinierungen seitens der LehrerInnen.*

*Da die Verbesserung der Luftqualität im Unterricht immer mit einer - allerdings sehr kurzen - Unterbrechung des Unterrichts gekoppelt ist, kann eine positive Folge allein der Pause nicht ganz ausgeschlossen werden.*

*Die Befragung zur Befindlichkeit vor und nach dem Unterricht in beiden Feldphasen dokumentieren die geringe Differenzierungsfähigkeit oder -neigung in den Grundschul-Jahrgängen. Die Verbesserung der Atemluftqualität und ihre positiven Folgen bzw. Begleiterscheinungen spiegeln sich nicht in den Befragungsergebnissen wider. Mit anderen Worten: Messen und systematische Beobachtung sind nicht durch Fühlen und subjektive Wahrnehmung zu ersetzen.*

Insgesamt gelingt durch das Feldexperiment trotz aller Faktorenkomplexität je Schule der Nachweis der Wirksamkeit der Verbesserung einer einzigen Belastungsvariablen im Schulalltag, der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atemluft während des Unterrichts. Überraschend stellte sich darüber hinaus ein Anstieg intensiveren Dialogs nach der Lüftungspause ein, sowie ein Absinken sowohl störender Schüleraktivitäten als auch von Disziplinierungen seitens der beteiligten Lehrkräfte.

## **7.4 Einige schulergonomische Grundregeln**

*Pünktlicher Unterrichtsbeginn nach dem Lüften in den Pausen.*

*Hohe Aufmerksamkeit und Konzentration erfordernde Aufgabenstellungen zu Beginn der Unterrichtsstunde einbringen.*

*Nach ca. 20 min Unterricht den Klassenraum 2 bis 3 min durchlüften.*

*Vermeidung von Doppelstunden (90 min Stunden oder auch 60 min Stunden)*

*Mehrstündige Klausuren nur mit entsprechender Lüftung und Pausen, nach Möglichkeit aber vermeiden.*

*Offizielle Pausen zum Ende des Schultages hin verlängern.*

*Einhalten der Regeln zur Raumakustik, nötigenfalls auf Sanierung drängen, um die Sprachverständlichkeit im Unterricht sicherzustellen.*

*Eintrag von Außenlärm verhindern u. a. durch Unterlassen an sich wirkungsloser Kipplüftung.*

*Bei der Stundenplanerstellung den Verlauf der Tageskurve der Leistungsbereitschaft beachten. Nicht in jeder Unterrichtsstunde ist ein gleich hohes Leistungspotenzial gegeben.*

*Im Unterricht die „Biologische Leistungskurve“ berücksichtigen.*

*Erholungspausen für Lehrkräfte einhalten. Sie helfen ihnen ihre Leistungsfähigkeit für den Unterricht möglichst lange zu stabilisieren.*

*Die Stundenzahlen für Schüler und Lehrer je Schultag möglichst gering halten.*

*Überbelegung von Klassenräumen durch zu hohe Klassenfrequenzen vermeiden.*

Die Einhaltung all dieser Regeln bewirkt noch keinen „bestmöglichen“ Unterricht, aber die Arbeitsumgebung, in der dieser stattfindet, wird nach dem bisherigen Kenntnisstand optimal hergerichtet. Damit wird eine humane Lehr- und Lern-Umgebung geschaffen.

## 8. Literaturverzeichnis

**Berndt, J.; Busch, D.W.; Schönwälder, H.-G.; (Hrsg.):** Schul-Arbeit; Belastung und Beanspruchung von Schülern. Braunschweig: Westermann 1982

**Birbaumer, N.; Schmidt, R.:** Biologische Psychologie. Berlin/Heidelberg/New York, Springer, 1996

**Bjerner, B. et. al.:** Statens Offentliga Utredningar, Stockholm 51 [1948] 87, zitiert in Knauth, P. (1983)

**Burgerstein, L.; Netolitzky, A.:** Handbuch der Schulhygiene. 2. Auflage. Jena: Gustav Fischer 1902

**Busch, D.W.:** Familiäre Sozialisation und schulische Beanspruchung. In: Berndt, J.; Busch, D.W.; Schönwälder, H.-G. (Hrsg.): Schul-Arbeit, Braunschweig, Westermann, 1982

**DIN 18041:** Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen. Berlin, Beuth Verlag, 2004

**DIN 1946:** Wärmetechnisches Verhalten von Bauprodukten und Bauteilen. Berlin, Beuth Verlag, 1999

**Hacker, W.:** Allgemeine Arbeitspsychologie. Bern, Hans Huber, 2. Aufl., 2005

**Hellbrügge, Th.:** Das sollten Eltern heute wissen. München, Kindler, 2. Aufl., 1975

**Hildebrandt, G.:** Biologische Rhythmen und Arbeit. Wien, New York, Spektrum-Verlag, 1976

**Karsdorf, G., Marcusson, E., Marcusson, H., Neubert, R. (Hrsg.):** Schulhygiene. Berlin: Verlag Volk und Wissen 1969

**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

**Knauth, P.:** Physiologische Arbeitskurve und biologische Rhythmik. In: Rohmert, W.; Rutenfranz, J. (Hrsg.): Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart/New York, Georg Thieme, 3. Aufl., 1983

**Kraepelin, E.:** Über geistige Arbeit, Jena 1894, zit. Nach Hellbrügge, Th.: Das sollten Eltern heute wissen. München, Kindler, 2. Aufl., 1975, S 213

**Lienert, G.A.:** Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik, Bd. II. Meisenheim am Glan, Anton Hain, 1978

**Myrtek, M.:** Heart and Emotion, Ambulatory Monitoring, Studies in Everyday Life. Göttingen, Hogrefe&Huber, 2004

**Oberdörster, M., Tiesler, G.:** Akustische Ergonomie der Schule. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Fb 1071. Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW, 2006

**Offner, M.:** Die geistige Ermüdung. Berlin: Reuther u. Reichard 1928

**Parker, J.F., West, V.R.:** Bioastronautics Data Book. NASA SP-3006, Washington D.C., 1973

**Pinel, J.P.J.:** Biopsychologie. Heidelberg/Berlin, Spektrum Akademischer Verlag, 1997

**Posner, M.I.; Rafal, R.D.:** Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. In: Meier, R.J.; Benton, A.C.; Diller, L. (eds.): Neuropsychological Rehabilitation. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1987

**Quaas, W.:** Ermüdung und Erholung. In: Luczak, H.; Volpert, W.: Handbuch Arbeitswissenschaft. Stuttgart, Schäffer-Poeschel, 1997

**QUIRL/CO2** Vers.1.4: Software des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes, Hannover, [www.nlga.niedersachsen.de](http://www.nlga.niedersachsen.de) 2005

**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. (Hrsg.):** Praktische Arbeitsphysiologie. 3. Aufl. Stuttgart/New York: Georg Thieme, 1983

**Rude, A.:** Schulpraxis Unter besonderer Berücksichtigung der neueren Bestrebungen und Einrichtungen. In der Reihe: Der Bücherschatz des Lehrers Wissenschaftliches Sammelwerk zur Vorbereitung und Weiterbildung. 3. und 4. verbesserte Auflage. Osterwieck-Harz und Leipzig: Verlag von A.W. Zickfeldt 1915

**Rutenfranz, J.:** Beanspruchung von Schülern. Arbeitsphysiologische Aspekte. BMBW Werkstattberichte. Bonn 1977

**Ruttman, W.J.:** Schulhygiene für Pädagogen. Bayreuth: Wilhelm J. 1912

**Schandry, R.:** Biologische Psychologie, Weinheim, Basel, Berlin: Beltz, 2003

**Schmidtke, H.:** Ergonomie 2. München, Wien: Carl Hanser 1974

**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

**Strußmann, M.:** Was kann die Rhythmisierung des Unterrichts in der Grundschule zur Verbesserung der Lernchancen beitragen; Examensarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an öffentlichen Schulen im Fach Erziehungswissenschaft, Universität Bremen. Bremen: 2007

**Tiesler, G.; Berndt, J.; Ströver, F.; Schönwälder, H.-G.:** Herzklopfen? Psychophysische Beanspruchung von Lehrerinnen und Lehrern durch Schularbeit. In: Beetz-Rahm, S.; Denner, L.; Riecke-Baulecke, T. (Hrsg.): Jahrbuch für Lehrerforschung und Bildungsarbeit Bd.3, Weinheim, München, Juventa, 2002

**Ulich, E.:** Arbeitspsychologie. Stuttgart, Schäffer Poeschel, 2. Aufl., 1992

**Ullrich, Kristin:** Eine statistische Analyse des Schülerverhaltens. In: Berndt, J.; Busch, D.W.; Schönwälder, H.-G.: Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz Schule (BAS), Forschungsbericht 3, Universität Bremen, 1981

**Unfallkasse Hessen (Hrsg.):** Die sichere Schule, Basisinformationen der Unfallkasse Hessen für den Bereich der Schüler-Unfallversicherung. Frankfurt am Main: 2007.

**Zimmer, K., Ellermeier, W.:** Konstruktion und Evaluation eines Fragebogens zur Erfassung der individuellen Lärmempfindlichkeit (LEF). Regensburg: Institut der Psychologie der Universität Regensburg 1997

**Zimmermann, P. und Fimm, B.:** Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP). Freiburg: Psytest, 1992.

<b>9</b>	<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	<b>Seite</b>
Abb. 2.1	Tagesgang der Leistungsdisposition, nach BJERNER, B. et.al. (1948)	12
Abb. 2.2	Belastungszusammenhang der (Lehrer)-Arbeit	18
Abb. 4.1	Darstellung der EKG-Aufnehmer und Herzfrequenz-Speicher, System POLAR ®	28
Abb. 4.2	Bedienoberfläche des „Kommunikationsprotokolls“	29
Abb. 4.3	Bedienoberfläche des „Aktionsprotokolls“	29
Abb. 4.4	Zahlen-Symbol-Test (ZST), Version B1 für Schüler ab 8 Jahre	30
Abb. 4.5	Zeichen-Symbol-Test (ZST), Version A1 für Schüler 6 – 7 Jahre	32
Abb. 4.6	Modellrechnung des CO <sub>2</sub> -Anteils in der Klassenraumlufte während einer Doppelstunde, 198 m <sup>3</sup> , 25 Grundschüler, ohne Lüftung	39
Abb. 5.1	Außen-Temperaturen in Bremen; T <sub>max</sub> , T <sub>min</sub> , Untersuchungstage (Quelle: Bremer Tageszeitungen)	53
Abb. 5.2	Originalgrafik des „Bremer Wetters“ aus den „Bremer Tageszeitungen“	54
Abb. 5.3	Mittlere Tagestemperatur während der Untersuchungstage, sowie Mittelwerte der Tages – Minima und Maxima, sortiert nach Schulen	54
Abb. 5.4	Kipplüftungsverhalten an den Schulen, Mittlerer Zeitanteil je Unterrichtsstunde, vor und nach Intervention	55
Abb. 5.5	Stoßlüftungsverhalten an den Schulen, Mittlerer Zeitanteil je Unterrichtsstunde, vor und nach Intervention	56
Abb. 5.6	Verteilung von Kipplüftung (li) und Stoßlüftung (re) in Schule 1, vor und nach Intervention	57
Abb. 5.7	Verteilung von Kipplüftung (li) und Stoßlüftung (re) in Schule 2, vor und nach Intervention	57
Abb. 5.8	Verteilung von Kipplüftung (li) und Stoßlüftung (re) in Schule 3, vor und nach Intervention	58
Abb. 5.9	Mittlere CO <sub>2</sub> Konzentration im Unterricht, sortiert nach den Schulen; vor und nach der Intervention	58
Abb. 5.10	CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Tagesverlauf für Schule 1, vor und nach der Intervention, Unterrichtszeit	59
Abb. 5.11	CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Tagesverlauf für Schule 2, vor und nach der Intervention, Unterrichtszeit	60
Abb. 5.12	CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Tagesverlauf für Schule 3, vor und nach der Intervention, Unterrichtszeit	60

Abb. 5.13	Verteilung der CO <sub>2</sub> -Anteile im Unterricht Schule 1 (vor und nach der Intervention)	61
Abb. 5.14	Verteilung der CO <sub>2</sub> -Anteile im Unterricht Schule 2 (vor und nach der Intervention)	62
Abb. 5.15	Verteilung der CO <sub>2</sub> -Anteile im Unterricht Schule 3 (vor und nach der Intervention)	63
Abb. 5.16	Verlauf der CO <sub>2</sub> -Konzentration bei unterschiedlichem Ausgangswert für eine Grundschulklasse mit 25 Schülern bei Ruhe bzw. leichter Aktivität	64
Abb. 5.17	Mittlere CO <sub>2</sub> -Konzentration zu Beginn der Unterrichtsstunden für die drei Schulen; vor und nach der Intervention	66
Abb. 5.18	CO <sub>2</sub> -Startwerte der einzelnen Unterrichtsstunden im Tagesverlauf vor Einführung der Lüftungspause, Schule 1, 2, 3	66
Abb. 5.19	CO <sub>2</sub> -Startwerte der einzelnen Unterrichtsstunden im Tagesverlauf nach Einführung der Lüftungspause, Schule 1, 2, 3	67
Abb. 5.20	CO <sub>2</sub> -Konzentration zu Beginn der Unterrichtsstunden S1; vor und nach Intervention	67
Abb. 5.21	CO <sub>2</sub> -Konzentration zu Beginn der Unterrichtsstunden S2; vor und nach Intervention	68
Abb. 5.22	CO <sub>2</sub> -Konzentration zu Beginn der Unterrichtsstunden S3; vor und nach Intervention	69
Abb. 5.23	CO <sub>2</sub> -Anteile in den Unterrichtsstunden der Schule 1, vor (v) und nach (n) der Intervention, dargestellt sind CO <sub>2min</sub> , CO <sub>2max</sub> , Bereich CO <sub>2</sub> -Konzentration in 50% der Unterrichtszeit	70
Abb. 5.24	CO <sub>2</sub> -Anteile in den Unterrichtsstunden der Schule 2, vor (v) und nach (n) der Intervention, dargestellt sind CO <sub>2min</sub> , CO <sub>2max</sub> , Bereich CO <sub>2</sub> -Konzentration in 50% der Unterrichtszeit	70
Abb. 5.25	CO <sub>2</sub> -Anteile in den Unterrichtsstunden der Schule 3, vor (v) und nach (n) der Intervention, dargestellt sind CO <sub>2min</sub> , CO <sub>2max</sub> , Bereich CO <sub>2</sub> -Konzentration in 50% der Unterrichtszeit	71
Abb. 5.26	Verteilung der CO <sub>2</sub> -Maxima im Unterricht über alle Unterrichtsstunden an allen Schulen; vor und nach Intervention	71
Abb. 5.27	CO <sub>2</sub> -Maximalwerte über den Unterrichtstag für Schule 1, vor und nach Intervention	72
Abb. 5.28	CO <sub>2</sub> -Maximalwerte über den Unterrichtstag für Schule 2, vor und nach Intervention	72
Abb. 5.29	CO <sub>2</sub> -Maximalwerte über den Unterrichtstag für Schule 3, vor und nach Intervention	73
Abb. 5.30	CO <sub>2</sub> -Belastungsgrenze abhängig von der Dauer der Belastung (NASA SP-3008)	74
Abb. 5.31	Modellrechnung der CO <sub>2</sub> -Entwicklung im Klassenraum für 25 Schüler im Grundschulalter ohne körperliche Aktivität (QUIRL/CO <sub>2</sub> )	74

Abb. 5.32	CO <sub>2</sub> -Belastung im Unterricht, Beispiel einer Doppelstunde vor Intervention	75
Abb. 5.33	CO <sub>2</sub> -Belastung im Unterricht, Beispiel einer Doppelstunde nach Intervention	76
Abb. 5.34	Ermittlung des Zeitanteils mit einer CO <sub>2</sub> -Konzentration > 1000 ppm	76
Abb. 5.35	Zeitanteile im Unterricht mit CO <sub>2</sub> > 1000 ppm, alle Schulen nach Unterrichtsstunden, vor und nach Intervention	77
Abb. 5.36	Zeitanteile im Unterricht mit CO <sub>2</sub> > 1500 ppm, alle Schulen nach Unterrichtsstunden, vor und nach Intervention	78
Abb. 5.37	Zeitanteile im Unterricht mit CO <sub>2</sub> > 1000 ppm, nach Schulen, vor und nach Intervention	78
Abb. 5.38	Zeitanteile im Unterricht mit CO <sub>2</sub> > 1500 ppm, nach Schulen, vor und nach Intervention	79
Abb. 5.39	Mittlere Beanspruchung im Unterricht, dargestellt als Mittelwert der Herzfrequenz (HF) über alle Unterrichtsstunden der Schulen, vor und nach der Intervention	81
Abb. 5.40	Mittlere Beanspruchung im Unterricht, dargestellt als Mittelwert der Herzfrequenz (HF) über alle Unterrichtsstunden der Klassen, vor und nach der Intervention	82
Abb. 5.41	Anzahl der Schüler mit geringerer und größerer individueller Beanspruchung im Vergleich vor und nach der Lüftungsintervention	82
Abb. 5.42	Verteilung der HF-Daten über alle beobachteten Unterrichtsstunden an allen Schulen, vor und nach der Intervention	83
Abb. 5.43	Verteilung der HF-Daten über alle beobachteten Unterrichtsstunden an Schule 1, vor und nach der Intervention	84
Abb. 5.44	HF-Medianwerte der Schule 1, nach Klassen sortiert, vor und nach der Intervention	84
Abb. 5.45	Verteilung der HF-Daten über alle beobachteten Unterrichtsstunden an Schule 2, vor und nach der Intervention	85
Abb. 5.46	HF-Medianwerte der Schule 2, nach Klassen sortiert, vor und nach der Intervention	85
Abb. 5.47	Verteilung der HF-Daten über alle beobachteten Unterrichtsstunden an Schule 3, vor und nach der Intervention	86
Abb. 5.48	HF-Medianwerte der Schule 3, nach Klassen sortiert, vor und nach der Intervention	86
Abb. 5.49	Veränderung der Beanspruchung im Unterricht, gemessen am Median aller Schüler jeder Klasse	87
Abb. 5.50	Aufmerksamkeitsleistung aller Schüler vor der Intervention, vor und nach dem Unterricht	88
Abb. 5.51	Aufmerksamkeitsleistung aller Schüler nach der Intervention, vor und nach dem Unterricht	88

Abb. 5.52	Mittlere Aufmerksamkeitsleistung in Abhängigkeit vom Alter und dem Zeitpunkt der Erhebung, vor Unterricht (vor I., nach I.), nach Unterricht (vor I., nach I.).	89
Abb. 5.53	Verteilung der Aufmerksamkeitsdifferenz (B2 – B1) für alle Schüler, differenziert nach vor und nach Intervention	90
Abb. 5.54	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag, vor und nach der Intervention, Schule 1 (links) und Schule 2 (rechts)	90
Abb. 5.55	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag, vor und nach der Intervention Schule 3	91
Abb. 5.56	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung nach Alter getrennt, 6 Jahre, 8 Jahre, 10 Jahre, 12 Jahre, 14 Jahre, vor der Intervention	92
Abb. 5.57	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung nach Alter getrennt, 6 Jahre, 8 Jahre, 10 Jahre, 12 Jahre, 14 Jahre, nach der Intervention	92
Abb. 5.58	Mittlere Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung in Abhängigkeit vom Alter, vor und nach der Intervention	93
Abb. 5.59	Mittlere Reaktionszeiten aller am Test beteiligten Schüler jeder Schule vor der Intervention, vor und nach dem Unterricht	94
Abb. 5.60	Mittlere Reaktionszeiten aller Schüler jeder Schule nach der Intervention, vor und nach dem Unterricht	94
Abb. 5.61	Mittlere Reaktionszeiten aller Schüler jeder Schule in der Reihenfolge der Testdurchführung vor und nach Unterricht bzw. Intervention, Schule 1, Schule 2, Schule 3	95
Abb. 5.62	Mittlere Veränderung der Reaktionszeit über den Unterrichtstag $\Delta RZ = RZ_{\text{vorU}} - RZ_{\text{nachU}}$ , vor und nach der Intervention	96
Abb. 5.63	Mittlere Veränderung der Streuung von RZ über den Unterrichtstag $\Delta RZ_{\text{std}} = RZ_{\text{std}}_{\text{vorU}} - RZ_{\text{std}}_{\text{nachU}}$ , vor und nach der Intervention für beide Testhälften	97
Abb. 5.64	Mittlere Veränderung der Streuung von RZ über den Unterrichtstag $\Delta RZ_{\text{std}} = RZ_{\text{std}}_{\text{vorU}} - RZ_{\text{std}}_{\text{nachU}}$ , vor und nach der Intervention für beide Testhälften, Schule 1 links, Schule 2 rechts	97
Abb. 5.65	Mittlere Veränderung der Streuung der RZ über den Unterrichtstag $\Delta RZ_{\text{std}} = RZ_{\text{std}}_{\text{vorU}} - RZ_{\text{std}}_{\text{nachU}}$ , vor und nach der Intervention für beide Testhälften für Schule 3	98
Abb. 5.66	Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95}$ über alle Unterrichtsstunden, sortiert nach den Schulen, vor und nach der Intervention	99
Abb. 5.67	Mittlerer Grundgeräuschpegel $L_{A95}$ über alle Unterrichtsstunden, sortiert nach den Schulen und der Nachhallzeit RT der Klassenzimmer, vor und nach der Intervention	100
Abb. 5.68	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ über alle Unterrichtsstunden, sortiert nach den Schulen, vor und nach der Intervention	101

Abb. 5.69	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel $L_{Aeq,5min}$ über alle Unterrichtsstunden, sortiert nach den Schulen und der Nachhallzeit RT der Klassenräume, vor und nach der Intervention	101
Abb. 5.70	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel während des Schultages S1, vor und nach der Intervention	102
Abb. 5.71	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel während des Schultages S2, vor und nach der Intervention	103
Abb. 5.72	Mittlerer Arbeitsgeräuschpegel während des Schultages S3, $RT < 0,6s$ (links) und $RT > 0,6s$ (rechts), vor und nach der Intervention	103
Abb. 5.73	Veränderung der Mittelwerte des Grundgeräuschpegels LA95 in der Schule 3, sortiert nach der Raumakustik ( $RT < 0,6s$ und $RT > 0,6s$ )	104
Abb. 5.74	Veränderung der Mittelwerte des Arbeitsgeräuschpegels LAeq in der Schule 3, sortiert nach der Raumakustik ( $RT < 0,6s$ und $RT > 0,6s$ )	104
Abb. 5.75	Kommunikationsprotokoll, Mittelwerte für alle Schulen in % der Unterrichtszeit, vor und nach der Intervention	106
Abb. 5.76	Kommunikationsprotokoll, Mittelwerte für Schule 1 in % der Unterrichtszeit, vor und nach der Intervention	106
Abb. 5.77	Kommunikationsprotokoll, Mittelwerte für Schule 2 in % der Unterrichtszeit, vor und nach der Intervention	107
Abb. 5.78	Kommunikationsprotokoll, Mittelwerte für Schule 3 in % der Unterrichtszeit, vor und nach der Intervention	107
Abb. 5.79	Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an den Schulen, vor und nach der Intervention, S1 (n=34/26), S2 (n=32/35), S3 (n=40/42)	108
Abb. 5.80	Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 1, vor und nach der Intervention	109
Abb. 5.81	Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 2, vor und nach der Intervention	109
Abb. 5.82	Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 3, vor und nach der Intervention	110
Abb. 5.83	Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 1, vor und nach der Intervention	111
Abb. 5.84	Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 2, vor und nach der Intervention	111
Abb. 5.85	Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag an der Schule 3, vor und nach der Intervention	112
Abb. 5.86	Häufigkeit „Disziplinierungen“ über den Unterrichtstag an den Schulen, vor und nach der Intervention, S1 (n=34/26), S2 (n=32/35), S3 (n=40/42)	113

Abb. 5.87	Häufigkeit „Disziplinerungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 1, vor und nach der Intervention	113
Abb. 5.88	Häufigkeit „Disziplinerungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 2, vor und nach der Intervention	114
Abb. 5.89	Häufigkeit „Disziplinerungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 3, vor und nach der Intervention	114
Abb. 5.90	Mittlere Häufigkeit „Disziplinerungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 1, vor und nach der Intervention	115
Abb. 5.91	Mittlere Häufigkeit „Disziplinerungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 2, vor und nach der Intervention	116
Abb. 5.92	Mittlere Häufigkeit „Disziplinerungen“ über den Unterrichtstag an der Schule 3, vor und nach der Intervention	116
Abb. 5.93	Zusammenhang zwischen „Disziplinerungen“ und „dysfunktionalen Aktivitäten“ für Schule 1, vor ( $r=0,38$ ) und nach ( $r=0,53$ ) Intervention	117
Abb. 5.94	Zusammenhang zwischen „Disziplinerungen“ und „dysfunktionalen Aktivitäten“ für Schule 2, vor ( $r=0,12$ ) und nach ( $r=0,56$ ) Intervention	117
Abb. 5.95	Zusammenhang zwischen „Disziplinerungen“ und „dysfunktionalen Aktivitäten“ für Schule 3, vor ( $r=0,60$ ) und nach ( $r=0,52$ ) Intervention	118
Abb. 5.96	Antworten zu Frage 1 für alle Schüler, vor und nach der Intervention	119
Abb. 5.97	Antworten zu Frage 1 für Schüler 7 Jahre (links) und 12 Jahre (rechts), vor und nach der Intervention	119
Abb. 5.98	Antworten zu Frage 1 für alle Schüler	120
Abb. 5.99	Antworthäufigkeit zu Frage 1 „sehr gut“ in Abhängigkeit vom Alter	120
Abb. 5.100	Antworten zu Frage 2 für alle Schüler	121
Abb. 5.101	Antworthäufigkeit zu Frage 2 „sehr gut“ in Abhängigkeit vom Alter	121
Abb. 5.102	Antworten zu Frage 3 für alle Schüler, vor und nach der Intervention	122
Abb. 5.103	Antworthäufigkeit zu Frage 3 „sehr gut“ in Abhängigkeit vom Alter, vor und nach der Intervention	122
Abb. 5.104	: Antworten zu Frage 3, Schule 1, vor und nach der Intervention	123
Abb. 5.105	Antworten zu Frage 3, Schule 2, vor und nach der Intervention	123
Abb. 5.106	Antworten zu Frage 3, Schule 3, vor und nach der Intervention	124
Abb. 5.107	Individuelle Veränderung durch Vergleich der Fragen 2 und 3, alle Schüler, vor und nach der Intervention	124
Abb. 5.108	Subjektive Ermüdungsbeurteilung nach gegenüber vor dem Unterricht (müder geworden), vor und nach der Intervention	125

Abb. 5.109	Subjektive Ermüdungsbeurteilung nach gegenüber vor dem Unterricht (wacher geworden), vor und nach der Intervention	125
Abb. 5.110	Subjektive Ermüdungsbeurteilung nach gegenüber vor dem Unterricht (unverändert), vor und nach der Intervention	126
Abb. 5.111	Antworten zu Frage 4 alle Schüler, vor und nach der Intervention	126
Abb. 5.112	Antworten zu Frage 4, Schule 1, vor und nach der Intervention	127
Abb. 5.113	Antworten zu Frage 4, Schule 2, vor und nach der Intervention	127
Abb. 5.114	Antworten zu Frage 4, Schule 3, vor und nach der Intervention	128
Abb. 5.115	Antworten zu Frage 5 für alle Schüler, vor und nach der Intervention	129
Abb. 5.116	Antworten zu Frage 5 für Schule 1 (links) und Schule 2 (rechts), vor und nach der Intervention	129
Abb. 5.117	Antworten zu Frage 5 für Schule 3, vor und nach der Intervention	130
Abb. 5.118	Beanspruchung in Abhängigkeit von der CO <sub>2 1.0</sub> Tagesbelastung für alle Schüler vor der Intervention (r=0,4)	131
Abb. 5.119	Beanspruchung in Abhängigkeit von der CO <sub>2 1.0</sub> Tagesbelastung für alle Schüler nach der Intervention (r=0,2)	131
Abb. 5.120	Mittlere Beanspruchung aller Schüler in Abhängigkeit von der CO <sub>2 1.0</sub> Tagesbelastung für alle Schüler vor (r=0,86) und nach (r=0,32) der Intervention	132
Abb. 5.121	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung über den Unterrichtstag, alle Schüler vor der Intervention; r = 0,20	133
Abb. 5.122	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung über den Unterrichtstag, alle Schüler nach der Intervention; r = 0,13	133
Abb. 5.123	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung in Abhängigkeit von der CO <sub>2 1.0 tag</sub> -Belastung, vor (r=0,58) und nach (r=0,58) der Intervention	134
Abb. 5.124	Grundgeräuschpegel in Abhängigkeit von der CO <sub>2 1.0</sub> Belastung im Unterricht an der Schule 1 (li) und Schule 2 (re), vor und nach der Intervention	135
Abb. 5.125	Grundgeräuschpegel in Abhängigkeit von der CO <sub>2 1.0</sub> Belastung im Unterricht an der Schule 3, vor und nach der Intervention	136
Abb. 5.126	Arbeitsgeräuschpegel in Abhängigkeit von der CO <sub>2 1.0</sub> Belastung im Unterricht an der Schule 1 (li) und Schule 2 (re), vor und nach der Intervention	136
Abb. 5.127	Arbeitsgeräuschpegel in Abhängigkeit von der CO <sub>2 1.0</sub> Belastung im Unterricht an der Schule 3, vor und nach der Intervention	137
Abb. 5.128	Grundgeräuschpegel (li) und Arbeitsgeräuschpegel (re) für Schule 1, vor und nach der Intervention	137
Abb. 5.129	Grundgeräuschpegel (li) und Arbeitsgeräuschpegel (re) für Schule 3, vor und nach der Intervention	138

Abb. 5.130	Mittlere Anteile der Kommunikationsparameter in der Schule 1 in Stunden mit geringer CO <sub>2</sub> 1,0-Belastung (0 bis 15 min) links und hoher (30 bis 45 min) rechts, jeweils vor und nach (- - -) der Intervention	139
Abb. 5.131	Mittlere Anteile der Kommunikationsparameter in der Schule 2 in Stunden mit geringer CO <sub>2</sub> 1,0-Belastung (0 bis 15 min) links und hoher (30 bis 45 min) rechts, jeweils vor und nach (- - -) der Intervention	139
Abb. 5.132	Mittlere Anteile der Kommunikationsparameter in der Schule 3 in Stunden mit geringer CO <sub>2</sub> 1,0-Belastung (0 bis 15 min) links und hoher (30 bis 45 min) rechts, jeweils vor und nach der Intervention	140
Abb. 5.133	Häufigkeit „dysfunktionale Aktivität“ im Unterricht, abhängig von der Raumluftqualität, Schule 1, Schule 2, Schule 3	141
Abb. 5.134	Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO <sub>2</sub> -Konzentration an der Schule 1, vor (li) und nach (re) der Intervention	141
Abb. 5.135	Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO <sub>2</sub> -Konzentration an der Schule 2, vor (li) und nach (re) der Intervention	142
Abb. 5.136	Mittlere Häufigkeit „dysfunktionaler Aktivität“ über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO <sub>2</sub> -Konzentration an der Schule 3, vor (li) und nach (re) der Intervention	142
Abb. 5.137	Häufigkeit „Disziplinierung“ im Unterricht, abhängig von der Raumluftqualität, Schule 1, Schule 2, Schule 3	143
Abb. 5.138	Mittlere Häufigkeit „Disziplinierung“ über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO <sub>2</sub> -Konzentration an der Schule 1, vor (li) und nach (re) der Intervention	143
Abb. 5.139	Mittlere Häufigkeit „Disziplinierung“ über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO <sub>2</sub> -Konzentration an der Schule 2, vor (li) und nach (re) der Intervention	144
Abb. 5.140	Mittlere Häufigkeit „Disziplinierung“ über den Unterrichtstag im Vergleich zur CO <sub>2</sub> -Konzentration an der Schule 3, vor (li) und nach (re) der Intervention	144

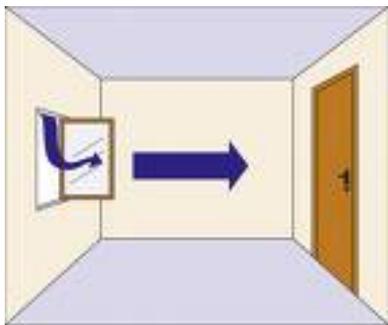
<b>10</b>	<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	<b>Seite</b>
Tab. 4.1	Parameter zu Grund- und Arbeitsgeräuschpegel (SPL = Sound Pressure Level)	39
Tab. 5.1	Schule 1	48
Tab. 5.2	Schule 2	49
Tab. 5.3	Schule 3	50
Tab. 5.4	Raumbeschreibung Schule 1	51
Tab. 5.5	Raumbeschreibung Schule 2	51
Tab. 5.6	Raumbeschreibung Schule 3	52
Tab. 5.7	Gesamtbilanz der Datenaufzeichnungen, Anzahl der Tagesprofile	52
Tab. 5.8	Zeitanteil im Unterricht, in dem der jeweilige CO <sub>2</sub> -Grenzwert noch unterschritten ist für Schule 1	61
Tab. 5.9	Zeitanteil im Unterricht, in dem der jeweilige CO <sub>2</sub> -Grenzwert noch unterschritten ist für Schule 2	62
Tab. 5.10	Zeitanteil im Unterricht, in dem der jeweilige CO <sub>2</sub> -Grenzwert noch unterschritten ist für Schule 3	63
Tab 5.11	Anteil der Unterrichtsstunden, in denen der CO <sub>2</sub> -Startwert <750ppm bzw. >1500ppm für Schule 1 beträgt.	68
Tab 5.12	Anteil der Unterrichtsstunden, in denen der CO <sub>2</sub> -Startwert <750ppm bzw. >1500ppm für Schule 2 beträgt.	68
Tab 5.13	Anteil der Unterrichtsstunden, in denen der CO <sub>2</sub> -Startwert <750ppm bzw. >1500ppm für Schule 3 beträgt.	68
Tab 5.14	Zeitanteile in % der Unterrichtszeit mit höherer CO <sub>2</sub> -Belastung	79
Tab 5.15	Mittelwerte der HF für alle Schüler vor und nach der Intervention	81
Tab 5.16	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag für alle Schulen, vor und nach der Intervention	90
Tab 5.17	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag, vor und nach der Intervention für Schule 1 und Schule 2	91
Tab 5.18	Veränderung der Aufmerksamkeitsleistung im ZST über den Schultag für Schule 3, vor und nach der Intervention	91
Tab 5.19	Veränderung der mittleren Schallpegel im Unterricht nach der Lüftungsintervention, Grundgeräuschpegel L <sub>A95</sub> und Arbeitsgeräuschpegel L <sub>Aeq</sub>	100

## 11 Anhang

- Lüftungsempfehlung
- Fragebogen für Schüler vor dem Unterricht (Grundschule)
- Fragebogen für Schüler vor dem Unterricht (Sek. I)
- Fragebogen für Schüler nach dem Unterricht
- Tagesprotokoll
- Rahmenprotokoll für die Unterrichtsbeobachtung
- Aufmerksamkeitstest A (6-7 Jahre)
- Aufmerksamkeitstest B (ab 8 Jahre)
- Kommunikationsprotokoll
- Aktionsprotokoll

# Frische Luft

## in Klassenräumen



### Stoßlüften

Luftwechselrate: 9 -15 / Stunde  
Stunde



### ~~Spalt- / Kipplüftung~~

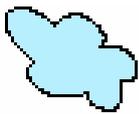
~~Luftwechselrate: 0,8 – 4 /~~



Morgens vor Beginn der ersten Unterrichtsstunde: 5 Minuten



Ca. 20 Minuten nach Beginn jeder Unterrichtsstunde: 2 -3 Minuten



Zur Mitte jeder Doppelstunde: 5 Minuten



In den großen Pausen: 5 -10 Minuten

## Fragen an die Schüler : vor dem Unterricht

Schule	KGS Moordeich (03)	
Klasse		
SchülerIn		
U.-Tag		
Datei		.xls

Wann hast Du gestern Abend zum Schlafen das Licht ausgemacht?

1. Wie hast Du heute geschlafen?



2. Wie fühlst Du Dich heute Morgen?



**Fragen an die Schüler : vor dem Unterricht**

<b>Schule</b>	
<b>Klasse</b>	
<b>SchülerIn</b>	
<b>U.-Tag</b>	
<b>Datei</b>	.xls

1. Wie hast Du heute geschlafen?

Nicht so gut



sehr gut

2. Wie fühlst Du Dich heute Morgen?

Nicht so gut



sehr gut

**Fragen an die Schüler : nach dem Unterricht**

Schule	Kantstrasse (02)	
Klasse	4c (08)	
SchülerIn		
U.-Tag		
Stundenzahl		
Datei		.xls

1. Wie fühlst Du Dich nach diesem Schultag?



2. Konntest Du Dich heute gut konzentrieren?



3. Wie laut fandest Du es heute in Deiner Klasse?



**Tagesprotokoll**

Schule	Kantstrasse (02)
Klasse	4c (08)
U.-Tag (Datum, laufende Tagesnummer)	
Unterrichtsbeobachtung Unterrichtsgeschehen	
Unterrichtsbeobachtung Aktionsprotokoll	
Reaktionstest Schüler	
Reaktionstest Lehrer	
Aufmerksamkeitstest	
Heiserkeit Klassenlehrer	
Heiserkeit freiwilliger Lehrer	

**Geräteeinsatz:**

	Gerät	Name		Gerät	Name		Gerät	Name		Gerät	Name
<input type="checkbox"/>	Rechner 1		<input type="checkbox"/>	Rechner 8		<input type="checkbox"/>	Polar 4		<input type="checkbox"/>	Polar 11	
<input type="checkbox"/>	Rechner 2		<input type="checkbox"/>	Dosimeter		<input type="checkbox"/>	Polar 5		<input type="checkbox"/>	Polar 12	
<input type="checkbox"/>	Rechner 3		<input type="checkbox"/>	Schallp		<input type="checkbox"/>	Polar 6		<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	Rechner 4		<input type="checkbox"/>	Kilma		<input type="checkbox"/>	Polar 7		<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	Rechner 5		<input type="checkbox"/>	Polar 1		<input type="checkbox"/>	Polar 8		<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	Rechner 6		<input type="checkbox"/>	Polar 2		<input type="checkbox"/>	Polar 9		<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>	Rechner 7		<input type="checkbox"/>	Polar 3		<input type="checkbox"/>	Polar 10		<input type="checkbox"/>		

**Aufgetretene Fehler/Störungen:**

--

**Anmerkungen:**

--

## Rahmenprotokoll für die Unterrichtsbeobachtung (B)

<b>Schule</b>	<b>Kantstrasse (02)</b>		
<b>Klasse</b>	<b>4c (08)</b>		
<b>U.-Tag</b>			
<b>U.-Std.</b>		<b>regulär</b>	<b>Vertret.</b>
<b>U.-Fach</b>			
<b>LehrerIn</b>			
<b>Schülerzahl</b>	<b>Mädchen:</b>	<b>Jungen:</b>	
<b>Beobachterin</b>			
<b>Datei</b>	<b>.xls</b>		

### **Sitzordnung:**

- Tischreihen   
 Tischgruppen   
 Tische in U-Form   
 Andere Anordnung   
 Änderung

### **Anmerkungen:**

<b>Personendaten</b>	
<b>Schule</b>	
<b>Klasse</b>	
<b>Datum</b>	
<b>Kennziffer</b>	

vor U.  nach U.

Test A



Beispiel

○	★	□	+	△	★	○	□	△	+
□	+	★	△	+	○	★	△	□	○
★	○	□	★	□	+	△	○	+	★
+	□	△	○	+	□	★	□	○	△
□	★	+	△	★	△	○	★	△	□

Ergebnis:


<b>Personendaten</b>	
<b>Schule</b>	
<b>Klasse</b>	
<b>Datum</b>	
<b>Kennziffer</b>	

vor U.  nach U.

Test B

1	2	3	4	5	6	7	8	9
÷	)	+	┌	└	√	(	·	−

Beispiele																								
2	1	4	6	3	5	2	1	3	4	2	1	3	1	2	3	1	4	2	6	3	1	2	5	1

3	1	5	4	2	7	4	6	9	2	5	8	4	7	6	1	8	7	5	4	8	6	9	4	3

1	8	2	9	7	6	2	5	4	7	3	6	8	5	9	4	1	6	8	9	3	7	5	1	4

9	1	5	8	7	6	9	7	8	2	4	8	3	5	6	7	1	9	4	3	6	2	7	9	3

Ergebnis:

GZ	F		

## Kommunikationsprotokoll

Kommunikationsprotokoll

**Sozialform** Lehrerzentriert

**Sonstige** F6 ■

**Schülerrede** F5 ■

**Dialog** F4 ■

**Lehrerrede** F3 ■

**Fenster geöffnet** F2 ■

**ER-Display**

00:00:00 00:00:10 00:00:20 00:00:30 00:00:40 00:00:50 00:01:00

Lüft.

LR

Dialog

SR

Son

Front

Diff

Einzel

Son

Dateiname Eingabe

Registrierung Start

Registrierung 2 Beenden

00:00:00

### Kategorien:

<i>Sozialform:</i>	Lehrerzentriert Differenziert Einzelarbeit	Lehrer wendet sich an die ganze Klasse Schüler arbeiten in Gruppen ausdrückliche Einzelarbeit (z.B. Klassenarbeit)
	Sonstige	nicht einzuordnen

<i>F6: Sonstige</i>	nicht zum Unterricht gehörende Schülerrede
<i>F5: Schülerrede</i>	zum Unterricht gehörende Schülerrede
<i>F4: Dialog</i>	Gespräch zwischen Lehrer und Schüler(-gruppe)
<i>F3: Lehrerrede</i>	an die Klasse gerichtet
<i>F2: Fenster geöffnet</i>	wenn Fenster geöffnet (gekippt oder ganz)

## Aktionsprotokoll

The screenshot shows the 'Aktionsprotokoll' software interface. It features a central grid for recording actions, categorized by 'Schüler' (F1-F4) and 'Lehrer' (F6-F8). A digital display shows the current time as 00:00:00. The interface includes various control buttons for input, registration, and ending the recording process.

Kategorien:

<i>F1: Funktionale Akt.</i>	unterrichtsbezogene motorische Aktionen einzelner Schüler
<i>F2: Dysfunkt. Akt.</i>	An die Tafel, Eckenrechnen, etc. nicht unterrichtsbezogene motorische Aktionen Herumlaufen, Toben, Rangeln
<i>F3: Außengeräusche</i> hen	alle Geräusche, die nicht im Klassenraum entstehen
<i>F4: Disziplinierungen</i>	Straßengeräusche, Schulgeräusche jede Art Disziplinierung vom „Finger vor dem Mund“ bis zu „Rrruuuuuuhe!!!“
<i>F6: Organ. Akt.</i>	vom Lehrer organisierte motorische Aktion Stuhlkreis, Bücher raus, Entspannungsübung, etc.
<i>F7: Singen, Chor, etc.</i>	gemeinsame verbale Aktionen der Schüler Vom Lehrer initiiert
<i>F8: Sonstige L.</i>	

## 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. Ohne die Bereitstellung der Forschungsmittel durch den GUV Hannover und die Unfallkasse Hessen wäre dieses Projekt nicht denkbar gewesen. Hier gilt der Dank besonders den Herren Wolf und Naujokat, die sich persönlich dafür stark gemacht haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt aber dem Vater dieser interdisziplinären Schulforschung in Bremen, Prof. Dr. med. Jörg Berndt, der die Vollendung dieser Projektidee durch seinen viel zu frühen Tod leider nicht mehr miterleben konnte. Er ist bereits Ende der 70er Jahre Initiator einer interdisziplinären Schulforschung gewesen und hat dies bis zu seinem Tod konsequent weiter verfolgt.

Die Durchführung des Projektes wäre ohne die unermüdliche Mitarbeit bei der Erhebung der Daten vor Ort in der Schule und Teile der anschließenden Auswertung durch unsere studentischen MitarbeiterInnen Anika Bilek, Mary Koch, Regine Meyer, Mirco Penshorn, Jessica Pöhler, Karen Warner und Juliana Wiechert nicht möglich gewesen.

Schließlich möchten wir den Beteiligten in unserem Untersuchungsfeld danken, denn ohne sie wäre solch eine Studie unter realen Bedingungen nicht möglich gewesen. Den drei beteiligten Schulen: Grundschule im Ellenerfeld und Grundschule an der Kantstraße in Bremen, sowie Lise-Meitner-Schule in Stuhr/Moordeich mit ihren sehr engagierten Kollegien und den über 400 beteiligten Schülerinnen und Schülern gilt deshalb besonderer Dank. Sie alle haben unsere Beobachter mit ihren Messgeräten im Unterricht geduldig ertragen und sich an den Tests beteiligt.

Bremen im Januar 2008

ISBN 978-3-86509-916-7