



DGUV Report 2/2013

## **Das ergonomische Klassenzimmer als Beitrag zur guten, gesunden Schule**

**DGUV Report 2/2013**  
**Das ergonomische Klassenzimmer**  
**als Beitrag zur**  
**guten, gesunden Schule**

Autoren:	<p>Susan Freiberg, Renate Hanßen-Pannhausen,  Anna Maria Hessenmöller, Hanna Zieschang,  Institut für Arbeit und Gesundheit der  Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IAG)</p> <p>Thomas von der Heyden, Jürgen Maue, Simone Peters,  Institut für Arbeitsschutz der  Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)</p>
Bildnachweis:	<p>IAG: Abbildungen 3, 7 (linke Abbildung),  13 (linke Abbildung), 24  IAG/Floß: Titelbild, Abbildungen 4, 7 (rechte Abbildung),  8, 9, 10, 11, 12, 13 (rechte Abbildung)  IAG/Oberthür: Abbildung 5  IFA: Abbildungen 16, 17, 20, 25 (linke Abbildung), 26  DGUV/Bräuniger: Abbildungen 14, 23 (linke Abbildung),  25 (rechte Abbildung)  Unfallkasse Nordrhein-Westfalen/Glaubitt:  Abbildungen 18, 22, 23 (rechte Abbildung)</p>
Broschürenversand:	<a href="mailto:bestellung@dguv.de">bestellung@dguv.de</a>
Publikationsdatenbank:	<a href="http://www.dguv.de/publikationen">www.dguv.de/publikationen</a>
Umschlagfoto:	IAG/Floß
Herausgeber:	<p>Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)  Mittelstraße 51, D – 10117 Berlin  Telefon: 030 288763800  Telefax: 030 288763808  Internet: <a href="http://www.dguv.de">www.dguv.de</a>  E-Mail: <a href="mailto:info@dguv.de">info@dguv.de</a>  – Juli 2013 –</p>
Satz und Layout:	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)
Druck:	Esser Konzept & Druck, Vettweiß
ISBN (print):	978-3-86423-088-2
ISBN (online):	978-3-86423-089-9

# Kurzfassung

## Das ergonomische Klassenzimmer als Beitrag zur guten, gesunden Schule

Die Gestaltung und Ausstattung von Klassenzimmern sind wichtige Faktoren für erfolgreiches Lernen und Lehren und damit für die Gesundheit der Schülerinnen und Schüler und der Lehrkräfte. Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) und ihre Mitglieder unterstützen das Konzept der „Guten und gesunden Schule“. Daher wurde in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Unfallkassen in zwei Schulen, einer Hauptschule in Nordrhein-Westfalen und einer Grundschule in Sachsen, jeweils ein Klassenzimmer beispielhaft unter den ergonomischen Gesichtspunkten Raumklima und Raumluftqualität, Akustik, Beleuchtung und Farbe, Möblierung und Fußboden optimiert.

Es wurde eine umfangreiche Evaluation durchgeführt, die Messungen vor und nach der Umgestaltung und Befragungen der Schüler und Schülerinnen sowie der Lehrerinnen umfasste. Sie hat gezeigt, dass die Arbeits- und Lernbedingungen mit der ergonomischen Gestaltung der Klassenzimmer verbessert werden konnten. Die ergonomische Gestaltung ist also ein wesentlicher Baustein für ein lern- und gesundheitsförderliches Klassenzimmer, der bei der Planung und Realisierung von Schulneubauten und/oder Sanierungen auf jeden Fall so umfassend wie möglich berücksichtigt werden sollte.

# Abstract

The ergonomic classroom: helping to make a good and healthy school

The design and furnishing of classrooms are important factors for successful learning and teaching and therefore also for the safety and health of schoolchildren and teaching staff. The German Social Accident Insurance (DGUV) and its member institutions support the concept of the „good and healthy school“. In close co-operation with the responsible German Social Accident Insurance Institutions for the public sector, two model classrooms, one in a secondary school in North Rhine-Westphalia, the other in a primary school in Saxony, were therefore each optimized with regard to the ergonomic aspects of room climate and room air quality, acoustics, lighting and colour, furniture and flooring.

A detailed evaluation was performed, comprising measurements prior to and following implementation of the redesign measures and surveys of the schoolchildren and the teachers. The evaluation showed that the ergonomic design of the classrooms was able to improve the working and learning conditions. Ergonomic design therefore constitutes an essential element of a classroom that is conducive to learning and to good health. This element should be given the greatest possible consideration during the planning and construction of new school buildings and the redevelopment of older buildings.

# Résumé

## La salle de classe ergonomique pour un enseignement de qualité et sain

L'aménagement et l'équipement des salles de classe sont des facteurs importants non seulement pour bien apprendre et enseigner mais aussi pour la santé des élèves et des enseignants. L'Assurance sociale allemande des accidents du travail et maladies professionnelles (DGUV) et ses membres apportent leur soutien au concept « Un enseignement de qualité et sain ». C'est pourquoi, en étroite collaboration avec les organismes d'assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles du secteur public compétents, une salle de classe a été optimisée, à titre d'exemple, selon des critères ergonomiques (climat ambiant et qualité de l'air ambiant, acoustique, éclairage et couleur, mobilier et plancher) dans deux établissements scolaires, une école secondaire élémentaire en Rhénanie-du-Nord-Westphalie et une école primaire en Saxe.

Une évaluation détaillée comprenant des mesures avant et après la transformation des salles de classe ainsi que des sondages réalisés auprès des élèves et des enseignants a été effectuée. Elle a montré que l'aménagement ergonomique des salles de classe a permis d'améliorer les conditions de travail et d'étude. L'ergonomie est, par conséquent, la pierre angulaire d'une salle de classe qui favorise les études et la santé, et doit, autant que faire se peut, être prise en considération lors de la conception et de la réalisation de nouveaux bâtiments scolaires et / ou de la rénovation de bâtiments scolaires existants.

# Resumen

## El aula ergonómica como contribución a una escuela buena y sana

El diseño y el equipamiento de las aulas son factores muy importantes para enseñar y aprender con éxito y, por lo tanto, para la salud de los alumnos y de los profesores. El Seguro Social Alemán de Accidentes de Trabajo (DGUV, por sus siglas en alemán) y sus miembros respaldan el concepto de una «escuela buena y sana». Por eso, en estrecha colaboración con las compañías de seguros de accidentes responsables se ha optimizado un aula en dos escuelas respectivamente, un instituto de secundaria en Renania del Norte-Westfalia y una escuela primaria en Sajonia, a modo de ejemplo teniendo en cuenta puntos de vista de la ergonomía, como por ejemplo el ambiente en el aula y la calidad del aire, la acústica, la iluminación y la pintura, el mobiliario y el suelo.

Se realizó una amplia evaluación que incluía ensayos previos y posteriores a la reforma, así como encuestas a los alumnos y profesores. La evaluación demostró que las condiciones de trabajo y aprendizaje pudieron mejorarse gracias al diseño ergonómico de las aulas. Por lo tanto, el diseño ergonómico de las aulas también es un componente fundamental para conseguir un aula favorable para el aprendizaje y la salud que debería tenerse absolutamente en cuenta en la medida de lo posible durante la planificación y construcción de nuevas escuelas y/o en las reformas.

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1</b> <b>Vorwort – die Projektidee</b> .....	9
<b>2</b> <b>Die vier ergonomischen Faktoren</b> .....	11
<b>2.1</b> <b>Raumklima und Raumluftqualität</b> .....	11
<b>2.2</b> <b>Akustik</b> .....	12
2.2.1    Allgemeine Grundlagen der Klassenraumakustik.....	13
2.2.2    Maßnahmen.....	14
<b>2.3</b> <b>Beleuchtung und Farbe</b> .....	15
2.3.1    Natürliche Beleuchtung.....	16
2.3.2    Künstliche Beleuchtung.....	16
2.3.3    Farbe.....	16
<b>2.4</b> <b>Möbliering und Fußboden</b> .....	17
2.4.1    Geeignete Möbel.....	17
2.4.2    Gestaltung des Fußbodens .....	18
<b>3</b> <b>Umsetzung in einer Grundschule in Sachsen</b> .....	19
<b>3.1</b> <b>Situation im Klassenzimmer vor der Umgestaltung</b> .....	19
3.1.1    Raumklima und Raumluftqualität.....	19
3.1.2    Akustik.....	20
3.1.3    Beleuchtung und Farbe.....	21
3.1.4    Möbliering und Fußboden .....	22
<b>3.2</b> <b>Situation im Klassenzimmer nach der Umgestaltung</b> .....	23
3.2.1    Raumklima und Raumluftqualität.....	23
3.2.2    Akustik.....	25
3.2.3    Beleuchtung.....	26
3.2.4    Möbliering und Fußboden .....	28
<b>3.3</b> <b>Parallelklasse</b> .....	31

<b>4</b>	<b>Umsetzung in einer Hauptschule in Nordrhein-Westfalen</b> .....	33
<b>4.1</b>	<b>Situation im Klassenzimmer vor der Umgestaltung</b> .....	34
4.1.1	Raumklima und Raumluftqualität.....	34
4.1.2	Akustik.....	35
4.1.3	Beleuchtung und Farbe.....	35
4.1.4	Möblierung und Fußboden .....	36
<b>4.2</b>	<b>Situation im Klassenzimmer nach dem Umbau</b> .....	37
4.2.1	Raumklima und Raumluftqualität.....	37
4.2.2	Akustik.....	39
4.2.3	Beleuchtung und Farbe.....	39
4.2.4	Möblierung und Fußboden .....	41
<b>4.3</b>	<b>Parallelklasse</b> .....	43
<b>5</b>	<b>Evaluation</b> .....	45
<b>5.1</b>	<b>Wirkungsmodell</b> .....	45
<b>5.2</b>	<b>Vorgehensweise</b> .....	46
5.2.1	Grundschule in Sachsen.....	47
5.2.2	Hauptschule in Nordrhein-Westfalen .....	47
<b>5.3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	48
5.3.1	Ergebnisse, die direkt auf das ergonomische Klassenzimmer zurückzuführen sind .....	49
5.3.2	Ergebnisse, die nicht direkt auf das ergonomische Klassenzimmer zurückzuführen sind .....	51
<b>5.4</b>	<b>Diskussion</b> .....	51
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b> .....	53
	<b>Literatur</b> .....	55

# 1 Vorwort – die Projektidee

Die Sensibilisierung für ein Sicherheits- und Gesundheitsbewusstsein kann nicht früh genug anfangen. Deshalb führt die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) mehrere Projekte unter dem Dachthema „Gute und gesunde Schule“ durch. Diese bieten Anknüpfungspunkte, um Sicherheits- und Gesundheitsthemen in Schulen zu integrieren und damit gleichzeitig einen Beitrag zu einer besseren Schulqualität zu leisten.

Ein Klassenraum wird als gesundheitsfördernd bezeichnet, wenn er sowohl Schülerinnen und Schüler als auch Lehrerinnen und Lehrer dazu befähigt, ihre eigene Kompetenz bezüglich ihrer Gesundheit sowie die Kontrolle darüber zu verbessern. Lernförderlich ist ein Klassenzimmer, wenn es bei der Aneignung von Wissen und Fähigkeiten unterstützt und den Lernprozess somit positiv beeinflusst. Die bei der Optimierung des Klassenraums zu berücksichtigenden Komponenten sollen zum einen den flexiblen Einsatz verschiedener Lehr- und Lernmethoden, zum anderen das Lernen in einer gesundheitsförderlichen Arbeitsumgebung sowie in gesunder Körperhaltung und mit gesundem Verhalten ermöglichen. Insgesamt kann sich so die Raumgestaltung positiv auf die Konzentrations- und Aufmerksamkeitsleistung, das Klassen- und Lernklima, das körperliche Wohlbefinden, die Lernmotivation sowie auf die Ausdauer beim Lernen auswirken.

In einer gut gestalteten Umgebung wird effektiver unterrichtet und gelernt, genauso wie an gut gestalteten Arbeitsplätzen mehr geleistet werden kann. Wie an anderen Arbeitsplätzen sollten also auch an Lernorten, insbesondere in Klassenräumen, die bekannten grundlegenden ergonomischen Gestaltungsprinzipien Anwendung finden. Aus diesem Grunde wurde in zwei Schulen, einer Grundschule in Sachsen und einer Hauptschule in Nordrhein-Westfalen (NRW), je ein Klassenraum unter ergonomischen Gesichtspunkten optimiert und umgebaut. Dies betraf die Gestaltung von

- Raumklima und Raumluftqualität,
- Akustik,
- Beleuchtung und Farbe,
- Möblierung und Fußboden.

Bei der Auswahl der Schulen wurde auf eine für die jeweilige Region typische Baustanz des Gebäudes und eine ähnliche Klassenzimmergröße und -ausstattung geachtet.



## 2 Die vier ergonomischen Faktoren

### 2.1 Raumklima und Raumluftqualität

Sowohl Schüler und Schülerinnen als auch Lehrer und Lehrerinnen verbringen einen großen Teil des Tages im Klassenzimmer. Daher sind ein gutes Raumklima und eine gute Luftqualität sehr wichtig. Durch das Lüften wird der Klassenraum mit Frischluft versorgt, Ausdünstungen von Menschen und aus Materialien sowie Wärme- und Feuchte-lasten werden abgeführt. Da Gebäude heutzutage immer luftdichter gebaut werden, ist eine gezielte Lüftung – sei es über Fenster oder über eine technische Lüftung – unabdingbar.

Für ein angenehmes Raumklima sollte die Lufttemperatur mindestens 20 und maximal 26 °C betragen [1]. Zugluft kann zu Unbehaglichkeitsempfinden führen. Um Zugluft zu vermeiden, werden Luftgeschwindigkeiten bis zu 0,15 m/s (bei 20 °C Lufttemperatur) empfohlen [2].

Als Indikator für eine gute Luftqualität wird häufig die CO<sub>2</sub>-Konzentration (CO<sub>2</sub>: Kohlendioxid) in Innenräumen verwendet, da dort die Atemluft des Menschen die Hauptquelle für CO<sub>2</sub> ist. Insbesondere in Klassenzimmern, in denen sich viele Personen aufhalten, hat die CO<sub>2</sub>-Konzentration einen wesentlichen Einfluss auf die Luftqualität. Gleichzeitig wird dort häufig zu wenig gelüftet, wodurch sich CO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 2000 ppm ergeben können [3 bis 5]. Untersuchungen haben gezeigt, dass so hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Raumluft zu Müdigkeit und Konzentrationschwierigkeiten führen können. Das Umweltbundesamt hat im „Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden“ [6] Leitwerte für die CO<sub>2</sub>-Konzentration festgelegt (Tabelle 1).

Diese Werte sind auch in der ASR A3.6 „Lüftung“ aufgeführt. In DIN EN 15251 [7] werden für Innenräume der Kategorie III CO<sub>2</sub>-Konzentrationen empfohlen, die höchstens

Tabelle 1:  
Richtwerte des Umweltbundesamtes für CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Klassenzimmern

CO <sub>2</sub> -Konzentration in ppm	Hygienische Bewertung	Empfehlung
< 1 000	hygienisch unbedenklich	keine weiteren Maßnahmen
1 000 bis 2 000	hygienisch auffällig	Lüftungsmaßnahmen intensivieren (Außenluftvolumenstrom bzw. Luftwechsel erhöhen) Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern
> 2 000	hygienisch inakzeptabel	Möglichkeiten zur Belüftung des Raumes prüfen ggf. weitergehende Maßnahmen prüfen

## 2 Die vier ergonomischen Faktoren

800 ppm höher als die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Außenluft (ca. 400 ppm) liegen sollten. Die Kategorie III wird für ein moderates Maß an Erwartungen bei bestehenden Gebäuden angewandt. Eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1500 ppm gilt in Klassenräumen allgemein als akzeptabel; Ziel sollte jedoch immer eine CO<sub>2</sub>-Konzentration unter 1000 ppm sein.

Die Lüftung eines Klassenzimmers kann über Fenster oder über eine mechanische Lüftung erfolgen. Bei der Fensterlüftung ist die Stoßlüftung mit weit geöffneten Fenstern und am besten auch mit offenen Türen am effektivsten. Hierbei genügen bereits wenige Minuten für einen ausreichenden Luftaustausch. Die Lüftung sollte vor und nach jeder Unterrichtsstunde und nach Möglichkeit auch in deren Mitte erfolgen. Ein kurzzeitiges Lüften über gekippte Fenster ist wenig effektiv, eine Dauerlüftung führt insbesondere in den Wintermonaten zu hohen Wärme- und somit Energieverlusten. Eine Hilfestellung können hier Luftgüteeampeln bieten, die dem Nutzer anzeigen, wann die CO<sub>2</sub>-Konzentration zu hoch und Lüften notwendig ist.

Je nach Lage der Schule können Lärm und Luftbelastung im Außenbereich ein Problem sein, sodass die Fenster in den Klassenzimmern nicht geöffnet werden. Häufig sind die Fenster zur Vermeidung von Unfällen abschließbar ausgeführt, wodurch sie nicht vollständig geöffnet oder nur gekippt werden können. Dadurch ergibt sich für das Lehrpersonal ein erhöhter organisatorischer Aufwand, um für eine ausreichende Lüftung zu sorgen, was wiederum oft dazu führt, dass nicht genügend gelüftet wird. Eine Alternative bieten mechanische Lüftungssysteme, die einen ausreichenden Luftaustausch im Klassenzimmer gewährleisten

können. Unterschieden wird zwischen zentralen und dezentralen Lüftungssystemen.

Zentrale Lüftungssysteme bieten sich bei Neubau oder umfassender Sanierung einer Schule an. Hier werden mehrere Räume oder das gesamte Gebäude über eine zentrale Lüftungsanlage mit aufbereiteter Außenluft versorgt. Die Zu- und Abluft wird dabei über ein Luftleitungssystem zu den Räumen geführt; in den Räumen selbst sind nur Zu- und Abluftöffnungen vorhanden.

Für Klassenzimmer im Bestand sind hingegen dezentrale Lüftungssysteme besser geeignet. Hier wird das Lüftungsgerät als eine komplette Einheit im Klassenraum aufgestellt. Je nach Leistung des Lüftungsgeräts und Klassengröße sind ein oder mehrere Lüftungsgeräte notwendig. Es gibt – entsprechend den jeweiligen Anforderungen – verschiedene Bauformen wie Wandgeräte, Brüstungsgeräte oder Deckengeräte zur Auswahl.

Als Regelungsgröße für den Frischluftvolumenstrom kann die CO<sub>2</sub>-Konzentration gewählt werden. Aus energetischer Sicht ist eine Wärmerückgewinnung empfehlenswert. Des Weiteren sollte die Lüftungsanlage bedarfsgerecht (Unterrichtszeiten, Ferien usw.) zu regeln sein. Eine regelmäßige jährliche Wartung der Lüftungsanlage ist, unabhängig vom System, vorzunehmen.

### 2.2 Akustik

In Unterrichtsräumen kommt es vielfach zu hohen Geräuschpegeln, die alle Anwesenden in starkem Maße als störend und belästigend empfinden. Insbesondere in halligen

Räumen haben die Schülerinnen und Schüler Probleme mit der Sprachverständlichkeit, sodass sie dem Unterricht nur unter großen Anstrengungen folgen können. Das führt zu schneller Ermüdung und Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit. Verschiedene Studien zeigen, dass sich dabei Gedächtnisleistungen um mehr als 20 % verschlechtern können [8; 9].

Für das Lehrpersonal können sich bei hohen Geräuschbelastungen im Unterricht Stressreaktionen ergeben, die sich z. B. anhand der Herzschlagfrequenz nachweisen lassen [10]. Ein akustisch ungünstiges Klassenzimmer bedeutet für den Lehrer aber auch eine deutlich stärkere Belastung seiner Stimme, möglicherweise mit der Folge von gesundheitlichen Problemen.

### 2.2.1 Allgemeine Grundlagen der Klassenraumakustik

Die Geräuschbelastung in Klassenzimmern entsteht vor allem durch die Sprache. Dabei ist die Sprache in der Regel das Nutzsignal, das nach Möglichkeit an allen Plätzen gut verständlich ankommen soll. Überlagert wird die Sprache vielfach durch ein schwankendes Störsignal, zum Beispiel verursacht durch Flüstern, Stühlerücken oder von außen eindringende Geräusche.

Um Sprache gut verstehen zu können, verlangt man im Allgemeinen ein Nutzsignal, das um mindestens 10 dB(A) über dem Störsignal liegt (Signal-Rausch-Abstand 10 dB). Erwachsene können dabei die störenden Hintergrundgeräusche relativ gut ausblenden und unvollständige akustische Informationen im Geiste ergänzen. Kinder sind dazu jedoch weniger in der Lage und die Stör-

geräusche beeinträchtigen sie viel stärker als Erwachsene [8; 11; 12]. Deshalb benötigen Kinder für eine fehlerfreie Verständigung einen Nutzsignalpegel, der rund 15 dB(A) über dem Störgeräusch liegt. Das gilt insbesondere für Nicht-Muttersprachler sowie beim Erlernen einer Fremdsprache.

Für die Sprachverständlichkeit ist neben dem Störgeräusch bzw. Hintergrundgeräusch vor allem die Nachhallzeit von Bedeutung [11; 13]. Dabei können sogenannte frühe Schallreflexionen, die innerhalb von 50 ms nach dem Direktschall auf den Empfänger treffen, durchaus zum guten Verstehen der Sprache beitragen [10; 14; 15]. Unter Berücksichtigung der Schallgeschwindigkeit in der Luft von ca. 340 m/s kann man ausrechnen, dass der geometrische Umweg des reflektierten Schalls über die Decke oder Wände im Vergleich zum direkten Weg des Schalls nicht mehr als 17 m betragen darf. Die darauf folgenden mehrfach reflektierten Schallwellen (Nachhall) tragen dazu bei, dass die in der Sprache enthaltenen Informationen verschliffen werden und die Verständlichkeit leidet. Deshalb ist es ganz entscheidend für die akustische Qualität von Klassenzimmern, Mehrfachreflexionen des Schalls an den Raumbegrenzungsflächen zu vermeiden und Nachhallzeiten zu begrenzen. In größeren Räumen kann der Schall zwischen zwei parallelen Wandflächen mehrfach periodisch reflektieren, sodass ein „schnarrender“ Klangeindruck entsteht. Man spricht dann von Flatterechos.

Die Halligkeit führt im Klassenzimmer dazu, dass die Lehrperson lauter spricht, um die Klasse besser zu erreichen. Aber auch die Kinder verhalten sich in halligen Räumen lauter. Insbesondere bei Gruppenarbeiten

## 2 Die vier ergonomischen Faktoren

wird lauter gesprochen, um sich verständlich zu machen. Die daraus resultierende Unruhe und der höhere Grundgeräuschpegel führen wiederum dazu, dass noch lauter gesprochen wird und sich die Geräuschbelastung weiter erhöht (Lombard-Effekt). Der Schalldruckpegel schraubt sich dadurch immer weiter in die Höhe und führt letztlich zu einer für alle betroffenen Personen extrem unangenehmen Geräuschbelastungssituation.

Durch geeignete akustische Maßnahmen lässt sich die Situation wesentlich entschärfen. So kann eine schallabsorbierende Gestaltung von Raumbegrenzungsflächen die pegelerhöhenden Schallreflexionen deutlich verringern, wodurch zugleich eine wesentliche Verbesserung der Sprachverständlichkeit erreicht wird. Es kann wieder leiser gesprochen werden und das oben beschriebene gegenseitige Aufschaukeln der verschiedenen Geräusche wird vermieden.

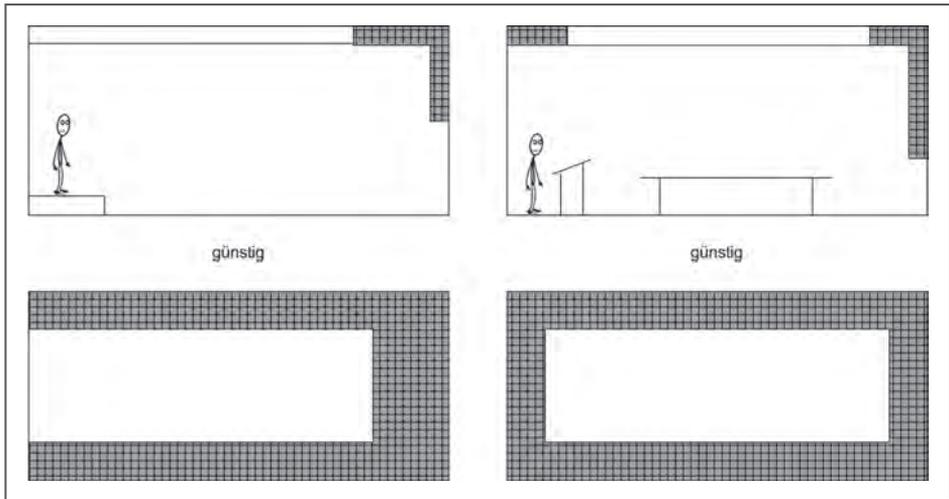
### 2.2.2 Maßnahmen

Eine wesentliche Grundlage für die akustische Gestaltung von Klassenzimmern ist die Norm DIN 18041 [16]. Danach sollten Klassenräume in der üblichen Größe von ca. 250 m<sup>3</sup> Nachhallzeiten im Bereich von 0,4 bis 0,6 s aufweisen. Für Personen mit eingeschränktem Hörvermögen, die ganz besonders auf eine gute Raumakustik angewiesen sind, fordert die Norm bis 20 % kleinere Nachhallzeiten (für Oktavbänder von 250 bis 2 000 Hz). Das gilt ebenso für Personen mit Migrationshintergrund sowie solche, die eine Fremdsprache lernen. Verschiedene Studien empfehlen auch für Grundschulen und Vorschulen relativ geringe Nachhallzeiten von ca. 0,3 s [17].

In der Regel lassen sich die genannten Zielvorgaben allein durch eine schallabsorbierende Gestaltung der Deckenfläche mit einem zu 50 bis 60 % schallabsorbierenden Material erreichen [11; 13; 18]. Dazu eignen sich z. B. ca. 20 mm dicke schallabsorbierende Mineralfaserplatten, wenn sie in mindestens 10 cm Abstand zur Decke abgehängt werden, z. B. mithilfe eines Schienenrasters. Verwendet man ein Material, das bei mittleren und hohen Frequenzen eine hohe Schallabsorption aufweist, sollte dieses entsprechend Abbildung 1 nur an den Rändern der Decke angeordnet werden, um die für die Sprachverständlichkeit bedeutenden hochfrequenten Schallanteile (Konsonanten) auch in den hinteren Teil der Klasse zu übertragen. Der mittlere Teil der Decke sollte dabei die mittleren und hohen Frequenzen ausreichend reflektieren. Zur Absorption tiefer Frequenzen kann dieser Deckenbereich als Resonanzabsorber, bestehend aus einer schwingenden Platte mit einem dahinter eingeschlossenen Luftpolster (Plattenabsorber) ausgeführt werden [14]. Um eine optisch einheitliche Deckenansicht zu erreichen, kann man z. B. eine gelochte oder geschlitzte Abdeckung des absorbierenden Materials wählen und im mittleren Bereich des Raumes reflektierende Platten hinterlegen.

Ergänzend zur schallabsorbierenden Decke kann es sinnvoll sein, den oberen Teil der Raumrückwand mit einer schallabsorbierenden Belegung zu versehen [15; 16], da der über die Decke und die Rückwand reflektierte Schall in den vorderen Reihen möglicherweise mit einer zu großen Verzögerung gegenüber dem direkten Schall eintrifft (mehr als 17 m Weg) und die Verständlichkeit für Sprache dadurch verschlechtert. Darüber hinaus gibt es Empfehlungen zur

Abbildung 1:  
Verteilung von Schallabsorptionsflächen (schraffierte Flächen) in Unterrichts- und Sitzungsräumen, jeweils im Aufriss und als Deckenuntersicht (aus [16])



Realisierung von Plattenabsorbieren oder von Breitband-Kompaktabsorbieren, die an den Wandflächen oder in den Raumkanten angeordnet werden sollten und insbesondere die tiefen Frequenzen absorbieren [18; 19].

Die Wand hinter dem Lehrer sollte dagegen reflektierend sein, um den Direktschall unterstützende frühe Reflexionen zu gewährleisten und damit die Sprachverständlichkeit zu erhöhen.

Zur Überprüfung der Raumakustik in Klassenzimmern und als Grundlage zur Planung von raumakustischen Maßnahmen kann der vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)

im Internet angebotene Raumakustik-Rechner verwendet werden ([www.dguv.de](http://www.dguv.de), Webcode d130076, siehe auch [20]).

### 2.3 Beleuchtung und Farbe

Eine gute Beleuchtung ist Voraussetzung dafür, Unterrichtsmaterialien gut lesen und bearbeiten zu können. Sie wirkt sich positiv auf die visuelle Wahrnehmung aus, fördert das Konzentrationsvermögen und damit den Lernerfolg. Durch gute Beleuchtung ist zudem die Mimik der Personen besser erkennbar, die die Kommunikation unterstützt.

## 2 Die vier ergonomischen Faktoren

### 2.3.1 Natürliche Beleuchtung

Tageslicht besitzt Qualitäten, die von künstlicher Beleuchtung kaum zu erreichen sind. Für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen ist die natürliche Beleuchtung deshalb ganz besonders wichtig. Tageslicht gelangt in Schulen in der Regel durch die Fenster ins Gebäude. Fenster ermöglichen zusätzlich die wichtige Sichtverbindung nach außen.

Eine ausreichende natürliche Beleuchtung wird erreicht, wenn das Verhältnis von lichtdurchlässiger Fensterfläche zur Raumgrundfläche mindestens 1 zu 10 beträgt und an allen Arbeitsplätzen ein Tageslichtquotient von mehr als 2 % gemessen wird. Dabei gibt der Tageslichtquotient das Verhältnis der Beleuchtungsstärke im Raum zur Beleuchtungsstärke draußen bei bedecktem Himmel an. Blendung und übermäßige Erwärmung durch Sonneneinstrahlung müssen durch geeignete Sonnenschutzvorrichtungen vermieden werden. Die Materialien der Verglasung und des Sonnenschutzes sollten die Farbe des einfallenden Tageslichts möglichst wenig verändern [21 bis 24].

### 2.3.2 Künstliche Beleuchtung

Da Tageslicht nicht zu jeder Zeit in ausreichendem Maß zur Verfügung steht, muss es durch künstliche Beleuchtung ergänzt werden. Die Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 [23] fordert im gesamten Klassenraum eine mittlere horizontale Beleuchtungsstärke in einer Höhe von 0,75 m über dem Boden (etwa Tischhöhe) von mindestens 300 lx. Die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke muss in einer Höhe von 1,20 m über dem Boden mindestens 100 lx betragen

und die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke auf der Wandtafel mindestens 500 lx. Die Beleuchtung soll gleichmäßig sein; sie darf an keiner Stelle im Lernbereich 60 % der mittleren Beleuchtungsstärke unterschreiten. Um Blendung und Reflexionen zu vermeiden, ist auf eine gute Abschirmung der Lichtquellen zu achten. Der Farbwiedergabeindex der Lampen muss mindestens 80 betragen.

Wird ein Schulgebäude neu gebaut oder renoviert, wird für alle Unterrichtsräume eine höhere Beleuchtungsstärke empfohlen: horizontal 500 lx und vertikal 175 lx [24]. Diese Werte werden für Fachunterrichtsräume und Büroräume gefordert [23; 25], in denen die Sehanforderungen durchaus ähnlich denen im Klassenraum sind.

### 2.3.3 Farbe

Es ist wichtig, dass die Helligkeitsverteilung im Raum möglichst ausgewogen ist. Starke Hell-Dunkel-Unterschiede führen zu einer Ermüdung der Augen, da diese sich beim Umherblicken im Raum ständig den Helligkeitsunterschieden durch Adaptation anpassen müssen. Neben einer möglichst gleichmäßigen künstlichen Beleuchtung kann die Ausgewogenheit der Helligkeit auch durch eine harmonische Farbgestaltung des Raumes erzielt werden. Es gibt Empfehlungen für die Reflexionsgrade großer Flächen im Raum, aus denen sich geeignete Farben und Helligkeitsstufen ableiten lassen [25]. Die Decke sollte einen Reflexionsgrad von 0,7 bis 0,9 aufweisen, das entspricht der Farbe Weiß. Für die Wände werden Reflexionsgrade von 0,5 bis 0,8 empfohlen, hier sind helle Pastelltöne geeignet. Um zu große Helligkeitsunterschiede zu vermeiden, sollte

die Wand, an der sich eine dunkle Wandtafel befindet, nicht zu hell gestaltet sein und die Wand hinter einem Whiteboard nicht zu dunkel. Für den Fußboden sind Reflexionsgrade von 0,2 bis 0,4 geeignet, das heißt, er sollte am dunkelsten sein. Für Tischflächen und Möbel liegen die empfohlenen Reflexionsgrade im Bereich von 0,2 bis 0,7. Hier können die Farbtöne folglich am stärksten variiert werden.

### 2.4 Möblierung und Fußboden

Die Auswahl geeigneter Schulmöbel und eine zielgerichtete Nutzung spielen eine große Rolle, um Bewegungsmangel und ungesunder Sitzhaltung vorzubeugen. Denn bereits im Kindesalter wird der Grundstein für gesundheitsgerechte Verhaltensweisen gelegt.

An Arbeitsplätzen, z. B. im Büro, ist es inzwischen selbstverständlich, dass sich Tisch und Stuhl an die Körpergröße des Nutzers anpassen lassen. Dies wird in Verordnungen, Regeln und Normen gefordert, um die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter zu erhalten (siehe z. B. [26]). In Klassenzimmern wird dies bisher aus Kostengründen oder Unkenntnis oft vernachlässigt. Dabei ist das Klassenzimmer der Arbeitsplatz für Kinder und Lehrkräfte, an dem von beiden Seiten möglichst hohe Leistungen verlangt werden. Dazu kommen auch heute noch immer wieder Ermahnungen wie „sitz still!“, „sitz gerade!“, „nicht kippen!“, obwohl gerade das disziplinierte Stillsitzen dem natürlichen Bewegungsdrang von Kindern entgegenwirkt. Unkonzentriertheit und Aufmerksamkeitsverluste können die Folgen solcher erzwungener Unbeweglichkeit sein [27].

#### 2.4.1 Geeignete Möbel

Bei der Auswahl der Tische und Stühle sind die für die Nutzergruppe passenden Maße zu beachten. Die Norm DIN EN 1729-1 [28] enthält Funktionsmaße und Größenklassen mit Farbkennzeichnungen für fest eingestellte und verstellbare Tische und Stühle in Bildungseinrichtungen. Auch eine Informationsschrift der DGUV [29] gibt Größenklassen und Farbkennzeichnungen basierend auf dieser Norm an.

Das Wachstum erfordert ein regelmäßiges – empfohlen wird halbjährliches – Messen der Körpergröße der einzelnen Kinder und Anpassen der Möbel. In der Regel sind Klassenräume jedoch mit nicht höhenverstellbaren Doppeltischen und nicht einstellbaren Kufenstühlen ausgestattet. In einzelnen Fällen sind je nach Klassenstufe zwei verschiedene Größenklassen an Tischen und Stühlen in den Räumen vorhanden. Bei den zum Teil erheblichen Größenunterschieden der Jungen und Mädchen reicht das aber meist nicht aus.

Individuell einstellbare Möbel sind in jedem Fall zu bevorzugen. Dazu gehören Stühle, die höhenverstellbar und drehbar sein sollten. Außerdem sollten sie dynamisches Sitzen ermöglichen. Dynamisches Sitzen heißt, die Sitzhaltung immer wieder zu verändern: mal vorgeneigt sitzen, mal aufrecht, mal zurückgelehnt.

Tische und Stühle sind als Einheit zu betrachten. Daher sollte man Einzeltische, die entsprechend der Körpergröße stufenlos einstellbar sind, einsetzen. Mitunter sind die Tische in der Höhe so weit verstellbar, dass daran sowohl im Sitzen als auch im

## 2 Die vier ergonomischen Faktoren

Stehen gearbeitet werden kann. Der Wechsel zwischen Sitzen und Stehen entlastet die Wirbelsäule, beugt Haltungsschäden vor und trägt zu körperlicher und geistiger Mobilität bei. Ist die Tischplatte zusätzlich neigbar, erlaubt dies eine günstigere Kopfhaltung und beugt dadurch Verspannungen der Nackenmuskulatur vor. Tische auf Rollen ermöglichen eine flexible und auch für Kinder handhabbare Aufstellung im Raum.

Die Klassen müssen mit der Bedeutung einer richtigen Sitzhaltung und der Handhabung der Stühle und Tische vertraut gemacht werden, sodass sie eigenständig individuelle Einstellungen vornehmen können. Diese Eigenverantwortung kann die Kinder neben dem richtigen Sitzen bereits frühzeitig an ein gesundheitsgerechtes Verhalten gewöhnen. Schulranzen und Arbeitsmaterialien sollten so untergebracht werden, dass sie den Freiraum nicht einschränken und auch keine Stolperstellen darstellen. Es gibt rollbare Regale, die gleichzeitig als Raumteiler genutzt werden können. Verschiedene Tafel-elemente, die per Schienensystem an mehreren Wänden angebracht werden können sowie leicht verschieb- und umsetzbar sind, runden die Gestaltung eines flexiblen Klassenraums ab. Bewegung im Raum und wechselnde Unterrichtsformen werden ermöglicht und unterstützt.

Ergonomisch gestaltete Schulmöbel, wechselnde Körperhaltungen und Bewegung im Klassenraum sind nicht als Komfortmaßnahmen zu verstehen, sondern vielmehr als Basis für eine gute Gesundheit und Leistungsfähigkeit.

### 2.4.2 Gestaltung des Fußbodens

Bei der Gestaltung des Fußbodens und der Auswahl des Belags sind neben der Vermeidung von Stolper-, Rutsch- und Sturzgefährdungen weitere Kriterien zu berücksichtigen. Dabei ist zu klären, wie der Raum genutzt wird: Ist mit einer starken Oberflächenbelastung zu rechnen? Wird auf dem Fußboden gearbeitet? Welcher Untergrund ist vorhanden? Tragen die Kinder Hausschuhe in den Räumen? Kommt es zu stärkeren Schmutz- und/oder Feuchtigkeitsansammlungen? Wie sind die Reinigungsgewohnheiten? Welche Brandschutzklasse wird gefordert?

Der Fußbodenbelag gilt als sicher, wenn die Anforderungen des Merkblatts „Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr“ [30] berücksichtigt werden und die Bewertungsgruppe des Bodenbelags im Klassenraum mindestens R9 beträgt. Nachweise dazu lassen sich vom Hersteller des Fußbodenbelags anfordern. Außerdem ist eine Überprüfung des Fußbodenbelags auf Inhaltsstoffe empfehlenswert. Das Belastungsniveau sollte dem von Kinderspielzeug entsprechen.

## 3 Umsetzung in einer Grundschule in Sachsen

In Sachsen wurde für das Projekt eine Grundschule des für die Gegend typischen Bautyps in Plattenbauweise ausgewählt. Die Klassenzimmer in diesem Schultyp haben einen einheitlichen Grundriss von 7,0 m x 7,2 m = 50,4 m<sup>2</sup>. Die Höhe beträgt 3,0 m.

Für das Projekt wurden Klassenräume zweier Parallelklassen der dritten Klassenstufe einbezogen. Während der Sommerferien wurde der Raum der Versuchsklasse hinsichtlich der vier ergonomischen Faktoren umgestaltet, sodass die Klasse im vierten Schuljahr im veränderten Klassenraum unterrichtet wurde. Vor der Umgestaltung des Raums erfolgten Messungen, um den Ist-Zustand hinsichtlich der vier Faktoren zu erfassen. Anschließend an den Umbau wurden die Faktoren in der geänderten Situation gemessen.

Der Raum der Parallelklasse diente als Kontrollraum. Er wurde lediglich farblich neu gestaltet und mit neuen Lampen ausgestattet.

Sowohl vor der Umgestaltung als auch zu drei Zeitpunkten nach der Umgestaltung des Klassenzimmers wurden mit der Versuchsklasse und der Kontrollklasse Befragungen und Tests zur Evaluation der Maßnahmen durchgeführt (siehe Kapitel 5).

Im Vorfeld des Projekts, aber auch während seiner Durchführung, erfolgten – begleitet von der zuständigen Unfallkasse Sachsen und dem Schulverwaltungsamt – immer wieder Gespräche mit den Lehrerinnen beider Klassen, dem Schulleiter und dem Hausmeister. Dabei wurden für die Planungen der Umgestaltung Gewohnheiten und Wünsche insbesondere der Lehrerinnen aufgenommen und mögliche Maßnahmen diskutiert. Um den Lehrerinnen den Umgang mit den Neuerungen im Klassenraum nach der Umgestaltung zu erleichtern, erhielten sie zur Unterstützung ein mit Abbildungen ausgestattetes Heft mit Erläuterungen und Bedienungshinweisen.

### 3.1 Situation im Klassenzimmer vor der Umgestaltung

Vor der Umgestaltung wurden im Klassenraum 18 Kinder der dritten Klassenstufe unterrichtet. Die Lehrerin bevorzugte eine Mischung aus Frontal- und Werkstattunterricht.

#### 3.1.1 Raumklima und Raumluftqualität

Das Klassenzimmer besitzt eine Fensterfront mit sechs Fenstern, die geöffnet werden können. Bei der Messung vor der Umgestaltung waren 21 Personen im Klassenzimmer und es fand regulärer Unterricht statt. Vor und während der Messung wurde nicht über die Fenster gelüftet.

### 3 Umsetzung in einer Grundschule in Sachsen

Die Lufttemperatur lag im Klassenraum während des gesamten Messzeitraums im Mittel bei ca. 23 °C. Die relative Luftfeuchte stieg im Messzeitraum von 35 auf 45 % leicht an. Lufttemperatur und relative Luftfeuchte liegen damit in einem für Innenräume typischen Bereich. Die Werte für die Luftgeschwindigkeit lagen fast ausschließlich im niedrigen Bereich von unter 0,1 m/s.

Bereits zu Anfang der Unterrichtsstunde lag die CO<sub>2</sub>-Konzentration mit ungefähr 2200 ppm im hygienisch inakzeptablen Bereich. Im Laufe der Messung stieg sie auf 3500 ppm an. Dies zeigt, dass eine ungenügende Lüftung zu einer schlechten Luftqualität im Klassenzimmer führt. Der Verlauf der Lufttemperatur und der CO<sub>2</sub>-Konzentration ist in Abbildung 2 dargestellt.

#### 3.1.2 Akustik

Die Decke des Klassenraums besteht aus Beton und ist entsprechend schallhart. Die Vorgaben der Norm DIN 18041 [16] ergeben für einen Unterrichtsraum mit einem Volumen von etwa 152 m<sup>3</sup> eine Soll-Nachhallzeit von 0,53 s (bei Frequenzen von 100 bis 5000 Hz). Berücksichtigt wurde dabei eine äquivalente Absorptionsfläche  $A_{\text{Soll}}$  von ca. 47 m<sup>2</sup>. Dies entspricht dem genutzten Raum. Der Toleranzbereich, den die Norm für mittlere Frequenzen angibt, liegt bei ± 20 %. Die gemessenen Nachhallzeiten fielen bei mittleren Frequenzen um 500 Hz etwa doppelt so hoch aus wie die Vorgabe der DIN 18041. Noch ungünstiger waren sie bei tiefen Frequenzen (Tabelle 2).

Abbildung 2:  
Verlauf der Lufttemperatur (blau) und der CO<sub>2</sub>-Konzentration (grün) vor dem Umbau.

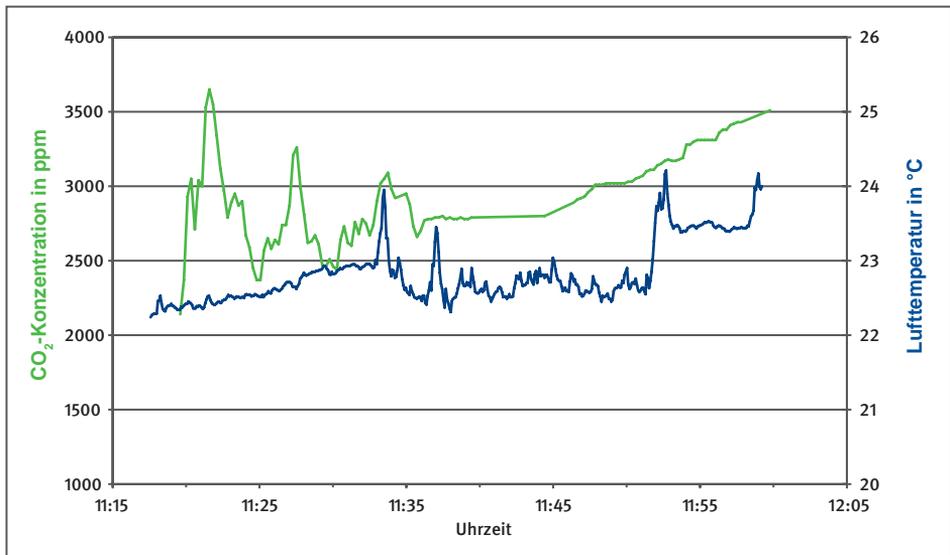


Tabelle 2:  
Nachhallzeiten vor der Umgestaltung

Frequenz in Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Nachhallzeit in s	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7

#### 3.1.3 Beleuchtung und Farbe

##### *Natürliche Beleuchtung*

Die natürliche Beleuchtung erfolgt durch eine Fensterfront in der Fassade nach Westen. Die Fenster haben eine Zwei-Scheiben-

Isolierverglasung und erstrecken sich über die gesamte Raumbreite ab einer Brüstungshöhe von 0,90 m bis zur Decke (Abbildung 3). Das Verhältnis der lichtdurchlässigen Fensterfläche zur Raumgrundfläche betrug 1 zu 6 und entsprach damit dem geforderten Wert. Der Tageslichtquotient lag in Fensternähe

Abbildung 3:  
Natürliche und künstliche Beleuchtung vor der Umgestaltung



### 3 Umsetzung in einer Grundschule in Sachsen

bei etwa 15 %, in der Raummitte bei 3 % und an der den Fenstern gegenüberliegenden Wand bei 1,5 %. Damit wurde dort der geforderte Wert von 2 % nicht erreicht. Als Sonnenschutz standen Außenjalousien mit horizontalen Lamellen zur Verfügung. Da sich die Räume im Sommer nachmittags bei Sonnenschein stark aufheizen und die manuelle Bedienung der Jalousien anstrengend ist, blieben diese im Sommer ständig unten. Dadurch fiel trotz waagerechter Stellung der Lamellen zu wenig Tageslicht in den Klassenraum.

#### *Künstliche Beleuchtung*

Die Beleuchtungsanlage war mindestens 20 Jahre alt und wurde kaum gewartet. Die künstliche Beleuchtung erfolgte durch sechs frei strahlende, an der Decke montierte Lichtleisten mit vorgehängten Blechlamellenrastern. Jede Leuchte war mit zwei Lampen à 36 W bestückt. Die Tafelbeleuchtung bestand aus zwei frei strahlenden Lichtleisten mit Abschirmblechen, bestückt mit je einer Lampe à 36 W. Alle Leuchten wurden mit konventionellen Vorschaltgeräten betrieben. Die Lichtfarbe der Lampen war neutralweiß, der Farbwiedergabeindex betrug 70. Die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke lag bei 300 lx. Die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke lag im Raum bei 175 lx und auf der Wandtafel bei 200 lx. Die Mindestanforderungen an die Beleuchtungsstärke im Raum waren erfüllt, unzureichend waren jedoch die Beleuchtung der Wandtafel und der zu geringe Farbwiedergabeindex der Lampen.

#### *Farbe*

Das Klassenzimmer zeigte typische Farben und Reflexionsgrade: Die Decke war weiß und hatte einen Reflexionsgrad von etwa 0,8; die Wände waren beige mit einem Reflexionsgrad von etwa 0,6 bis 0,8; der Boden war blau mit einem Reflexionsgrad von etwa 0,3 bis 0,4. Die Möbel waren überwiegend hellbraun mit einem Reflexionsgrad von 0,3 bis 0,6. Damit lagen die Reflexionsgrade der großen Flächen im Raum zwar im empfohlenen Bereich, ein ansprechendes Farbkonzept lag der Raumgestaltung jedoch nicht zugrunde.

#### **3.1.4 Möblierung und Fußboden**

Die Stühle und Doppeltische in dem Klassenraum waren nicht höhenverstellbar. Für die unterschiedlichen Körpergrößen standen zwei Stuhl- und Tischhöhen zur Verfügung. Teilweise nutzten Kinder unterschiedlicher Körpergrößen gemeinsam einen Doppeltisch (Abbildung 4).

Die fest angebrachte, höhenverschiebbare Klapptafel lenkte das Unterrichtsgeschehen vorrangig frontal auf einen Punkt. Aufgrund der Raumgröße, der großen Anzahl von Kindern und der starren Doppeltische war eine flexible Anordnung der Möbel kaum möglich. Die Schulranzen standen oder lagen meist an den Tischen und waren damit potenzielle Stolperstellen. Unterrichtsmaterialien wurden in Schränken unterschiedlicher Art untergebracht. Die Garderobe befand sich in einem separaten Raum.

Abbildung 4:  
Nicht höhenverstellbarer Doppeltisch



#### *Fußboden*

Der Fußboden wird auch als Arbeitsebene genutzt. Der Untergrund besteht aus Beton, eine Fußbodenheizung gibt es nicht. Feuchtigkeit unter dem Fußbodenbelag ist nicht zu erwarten, aber beim Werken oder Zeichenunterricht können kleine Pfützen entstehen, die nicht aufgesaugt werden. Eine starke Punktbelastung des Bodens erfolgte unter der Schrankwand. Das Verschieben von Stühlen und Tischen verursachte eine starke Oberflächenbelastung. Eine feuchte Reinigung des Fußbodens erfolgt täglich, eine intensive Grundreinigung einmal im Jahr. Die Kinder tragen ganzjährig Hausschuhe.

#### **3.2 Situation im Klassenzimmer nach der Umgestaltung**

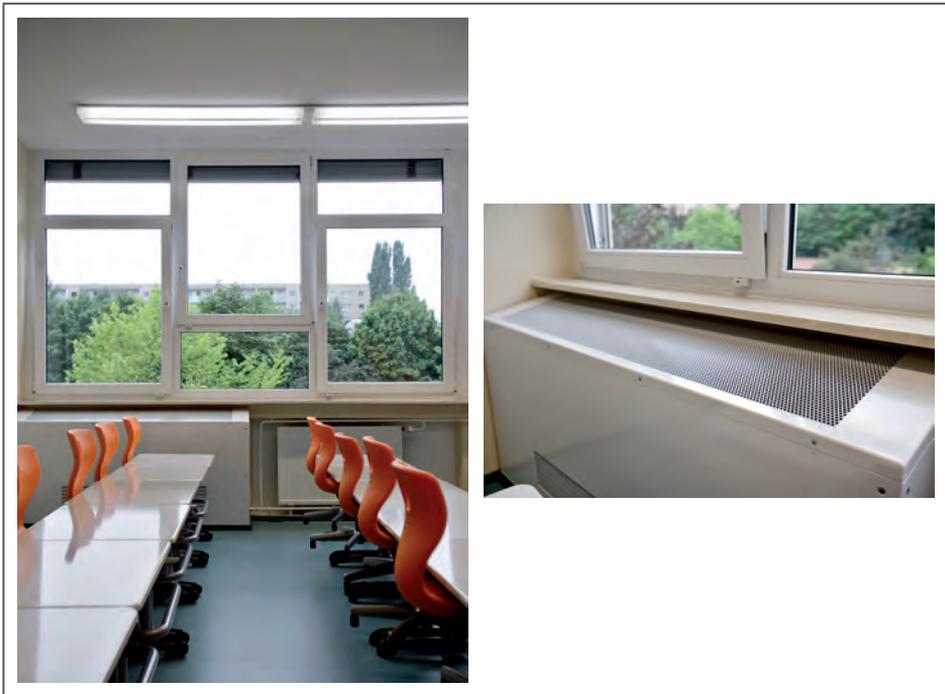
Nach der Umgestaltung wurden im Klassenzimmer 26 Kinder der vierten Klassenstufe unterrichtet.

##### **3.2.1 Raumklima und Raumluftqualität**

Dezentrale Lüftungsgeräte zur Unterstützung der Fensterlüftung ersetzen zwei der vier Heizkörper im Klassenraum (Abbildung 5, siehe Seite 24). Diese Geräte regeln den Volumenstrom stufenweise (150, 200 und 250 m<sup>3</sup>/h) über einen CO<sub>2</sub>-Sensor. Zusätzlich wurde ein Plan vereinbart, anhand dessen die längeren Pausen zum Lüften

### 3 Umsetzung in einer Grundschule in Sachsen

Abbildung 5:  
Dezentrales Lüftungsgerät unter dem Fenster



durch weites Öffnen der Fenster genutzt werden. Zur Unterstützung kann man an den Lüftungsgeräten von Hand für 15 min einen Boost-Modus (320 m<sup>3</sup>/h) einschalten. Die Lüftungsgeräte sind an den Warmwasserkreislauf der Heizung angeschlossen, sodass das Klassenzimmer insbesondere im Winter über die Zuluft mit beheizt werden kann.

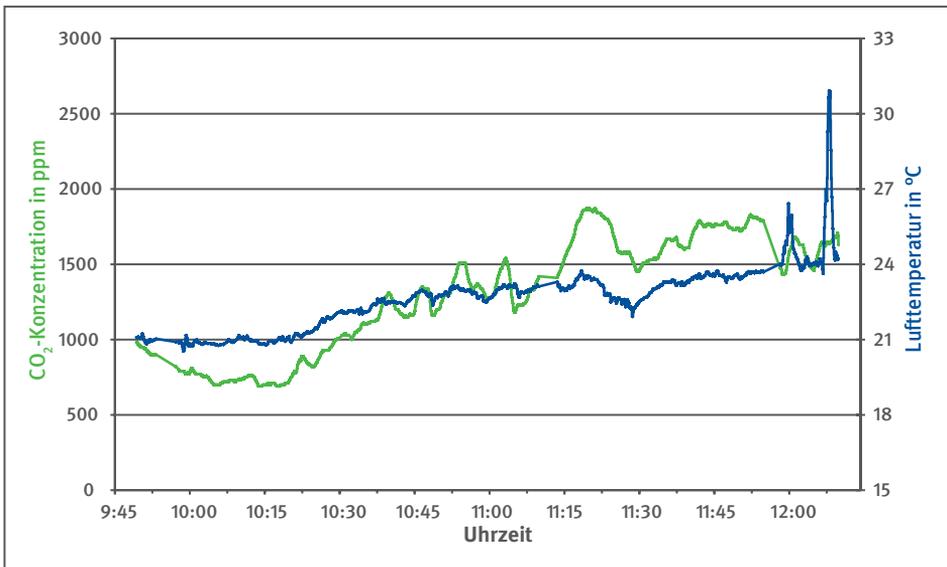
Nach der Umgestaltung wurden wiederum die Klimaparameter Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und CO<sub>2</sub>-Gehalt im Klassenraum gemessen. Vor der Messung erfolgte keine Lüftung über die Fenster. Während der Messung wurde um 11:25 Uhr für

die Dauer von 5 min ein Fenster gekippt, es befanden sich 29 Personen im Raum.

Die Lufttemperatur stieg im Laufe der Messung von ca. 21 auf ca. 24 °C an. Die relative Luftfeuchte lag im Mittel bei ca. 39 %. Die Luftgeschwindigkeiten lagen bei eher niedrigen Werten.

Im Laufe des Unterrichts nahm die CO<sub>2</sub>-Konzentration von ca. 700 auf ca. 1600 ppm zu und hielt sich auf diesem Niveau (Abbildung 6). Mit dem Einbau der Lüftungsgeräte kann auch bei geschlossenen Fenstern eine gute bis akzeptable Luftqualität in dem Klas-

Abbildung 6:  
Verlauf der Lufttemperatur (blau) und der CO<sub>2</sub>-Konzentration (grün) nach dem Umbau



senzimmer erreicht werden. Zusätzlich wurde eine CO<sub>2</sub>-Ampel im Klassenraum angebracht, die über das Ampelprinzip (grün – gelb – rot) die Luftqualität im Klassenzimmer anzeigt.

#### 3.2.2 Akustik

Die zum Einhalten der Normwerte notwendige Schallabsorption ließ sich durch eine um etwa 150 mm abgehängte Decke aus Akustik-Deckenplatten, die speziell für Klas-

senräume angeboten werden, erreichen (Tabelle 3, siehe Seite 26). Um die Schallabsorption bei tiefen Frequenzen zu verbessern, kann zwischen die abgehängte und die ursprüngliche Decke auf beiden Längsseiten des Klassenraums und der Rückseite zusätzlich jeweils ein 1 m breiter Streifen aus Mineralwolle aufgelegt werden. Dies war allerdings im Klassenraum der Grundschule in Sachsen nicht notwendig, um Nachhallzeiten zu erreichen, die der DIN 18041 entsprechen.

### 3 Umsetzung in einer Grundschule in Sachsen

Tabelle 3:  
Nachhallzeiten nach der Umgestaltung

Frequenz in Hz	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Nachhallzeit T in s	--	0,36	0,32	0,39	0,48	0,5
berechnete Nachhallzeit T in s bei Belegung der Klasse mit 20 Kindern	--	0,34	0,29	0,33	0,38	0,38

#### 3.2.3 Beleuchtung

##### *Natürliche Beleuchtung*

Zur Verbesserung der natürlichen Beleuchtung wurden die Gardinen entfernt. Dadurch stieg der Tageslichtquotient in der Raummitte von 3 auf 4 %. Außerdem wurden die Außenjalousien durch Leichtmetall-Raffstores ersetzt. Sie werden über einen im Freien angebrachten Beleuchtungsstärke-sensor automatisch gesteuert, lassen sich aber über einen elektrischen Taster auch manuell regeln. Durch die leichtere Handhabung werden die Jalousien nur noch bei Bedarf genutzt, insbesondere zum Schutz vor übermäßiger Sonneneinstrahlung und

Aufheizung des Raums im Sommer. Dadurch gelangt während des Unterrichts wesentlich mehr Tageslicht in den Raum als vorher (Abbildung 7).

##### *Künstliche Beleuchtung*

Die künstliche Beleuchtung wurde grundlegend umgestaltet (Abbildung 8). Ein Lichtsteuerungssystem ermöglicht es, zwischen drei Lichtstimmungen zu wählen. Das Konzept basiert auf neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Wirkung des Lichts auf den Menschen [31 bis 33]. Diese weisen darauf hin, dass Licht mit hoher Beleuchtungsstärke und großem Blauanteil helfen kann, Ermüdungserscheinungen entgegen-

Abbildung 7:  
Sonnenschutz vor und nach der Umgestaltung



Abbildung 8:  
Künstliche Beleuchtung nach der Umgestaltung



zuwirken. Im Gegensatz dazu kann Licht mit geringeren Beleuchtungsstärken und geringerem Blauanteil zur Entspannung und Beruhigung beitragen.

Die neue Raumbeleuchtung besteht aus drei Lichtbändern, bestückt mit je drei Anbauleuchten und elektronischen Vorschaltgeräten. Die Leuchten sind mit je drei parallel zueinander eingebauten Leuchtstofflampen à 49 W ausgestattet, davon jeweils eine mit warmweißer und zwei mit tageslichtweißer Lichtfarbe. Durch Mischen dieser Lichtfarben wurden daraus für die Raumbeleuchtung drei Lichtszenen programmiert, die je nach Unterrichtssituation mittels Taster abrufbar sind. Als Grundbeleuchtung ist eine Szene mit neutralweißer Lichtfarbe und einer Beleuchtungsstärke von 500 lx

realisiert. Für konzentriertes Arbeiten kann die zweite Szene mit tageslichtweißer Lichtfarbe und einer Beleuchtungsstärke von 1000 lx genutzt werden. Als dritte Szene steht warmweißes Licht mit einer Beleuchtungsstärke von 300 lx zur Verfügung. Diese dritte Szene ist eher zur Beruhigung geeignet, z. B. in Gesprächsrunden.

Die separat schaltbare Tafelbeleuchtung besteht aus einem Lichtband mit zwei asymmetrisch strahlenden Leuchten, bestückt mit elektronischen Vorschaltgeräten und je einer Leuchtstofflampe à 49 W. Die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke im Bereich der Wandtafel beträgt 500 lx. Die Lichtfarbe ist neutralweiß. Der Farbwiedergabeindex aller Lampen im Raum beträgt 80.

### 3 Umsetzung in einer Grundschule in Sachsen

Neben der Verbesserung in der Qualität der Beleuchtung besteht ein weiterer Vorteil darin, dass sich der Energieverbrauch im Vergleich zur herkömmlichen Beleuchtung in den anderen Klassenzimmern um ca. 60 % reduzierte.

#### *Farbe*

Das Konzept für die neue Farbgestaltung wurde in Zusammenarbeit mit einem Farbdesignbüro erarbeitet. Das Ergebnis waren drei Gestaltungsvarianten, zwischen denen die Klasse wählen durfte. Alle Farben im Raum wurden aufeinander abgestimmt. Die Hauptwände sind in einem warmen Beige gehalten, die Tür ist walnussbraun. Die Wand, an der sich die grüne Wandtafel befindet, ist hellblau-grau und etwas dunkler

als die anderen Wände, damit der Kontrast zur Tafel nicht zu stark ist. Der Waschbereich, die Decke, die Heizkörper und die Heizkörpernischen sind weiß. Der Bodenbelag ist blau, die Tische und Regale grau. Als Kontrast dazu sind die Stühle gelborange. Der Raum wirkt farbig, aber nicht bunt.

#### 3.2.4 Möblierung und Fußboden

Die für das Musterklassenzimmer ausgewählten Stühle sind höhenverstellbar und drehbar. Sie ermöglichen ein dynamisches Sitzen sowie zusätzlich eine Seitwärtsneigung. Die Einzeltische sind mit einer Kurbel stufenlos in der Höhe verstellbar, wodurch Stühle und Tische an die variierenden Körpergrößen angepasst werden können (Abbildung 9).

Abbildung 9:  
Unterschiedliche Körpergrößen benötigen entsprechende Stuhl- und Tischhöhen



Die Einzeltische können so weit in der Höhe eingestellt werden, dass die Kinder auch im Stehen an ihnen arbeiten können (Abbildung 10 – links). Rollen an den Tischgestellen ermöglichen ein unkompliziert Verschieben und eine variable Aufstellung im Klassenraum. Die Kinder können die Tische selbst einfach und ohne Anstrengung im Raum bewegen (Abbildung 10 – rechts). Da die Raumgrundfläche für die gestiegene Klassenstärke zu gering ist, konnten nur Tische mit kleinerer Arbeitsfläche ausgeschrieben werden. Auch eine Tischplattenneigung konnte dadurch nicht realisiert werden.

Die Stühle können unter der Tischplatte eingehängt werden (Abbildung 11 – links, Seite 30). Dies bietet Erleichterung bei der Fußbodenreinigung. Der Stuhl für die Lehrerin ist dem Schülermodell angepasst, jedoch größer in der Ausführung. Er ist ebenso höhenverstellbar, drehbar und gewährleistet ein dynamisches Sitzen mit Seitwärtsneigung. Der Lehrertisch ist ellipsenförmig, höhenverstellbar und hat Rollen. An diesem Tisch können kleinere Gruppen auch stehend gemeinsam arbeiten (Abbildung 11 – rechts, Seite 30).

Abbildung 10:  
Tisch im Stehen nutzbar (links) und mittels Rollen bewegbar (rechts)



### 3 Umsetzung in einer Grundschule in Sachsen

Abbildung 11:  
Stuhl einhängen (links) und Arbeiten am Lehrtisch im Stehen (rechts)



Die Schulranzen sind in Regalen untergebracht. Zum einen sind damit Stolperstellen im Klassenraum beseitigt, zum anderen steht durch das Einräumen im Regal mehr Platz im Raum zur Verfügung. Die Regale sind fahrbar, sodass sie als Raumteiler eine variable Aufstellung für unterschiedliche Unterrichtskonzepte unterstützen. In den Regalen befinden sich neben den Fächern für die Schulranzen Ablageplätze für Aufbewahrungskästen, in denen sich Arbeitsmaterialien unterbringen lassen (Abbildung 12).

Die Variabilität der Raumgestaltung durch leicht zu verschiebende Tische, Stühle und Regale unterstützt neben dem Frontalunterricht und der Stillarbeit auch andere Unterrichtsformen wie Gruppen- und Werkstattarbeit. Damit kommt Bewegung in den Unterricht.

Der Lehrerin steht als Stauraum ein fahrbares Sideboard zur Verfügung. Schränke für weitere Arbeitsmaterialien sowie die Garderobenschränke wurden aus Platzgründen im Gang vor dem Klassenzimmer aufgestellt (Abbildung 12).

Abbildung 12:  
Regale für Schulranzen und Garderobenschränke im Gang



An drei Wänden des Klassenzimmers befindet sich ein Schienensystem mit unterschiedlichen Tafелеlementen: eine Pylonen-Tafel, eine Projektionsfläche, mehrere Weißwandtafeln und Pinnwände. Die Tafелеlemente sind verschieb- und umsetzbar, sodass sie flexibel in das Unterrichtsgeschehen integriert werden können und wechselnde Unterrichtsformen unterstützen. Die Klasse wurde nach der Umgestaltung des Klassenzimmers mit den neuen Möbeln vertraut gemacht. Die Lehrerin erläuterte die Notwendigkeit und die Handhabung zur richtigen Einstellung der Stühle und Tische.

#### *Gestaltung des Fußbodens*

Für den Fußboden wurde ein für Klassenzimmer geeigneter, hochwertiger, oberflächenvergüteter PVC-Belag ausgewählt. Er ist strapazierfähig und weist sehr gute Pflege- und Reinigungseigenschaften sowie ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis auf. Der Fußbodenbelag erfüllt alle gestellten Anforderungen sowie gesetzlichen Vorschriften und Europäischen Normen. Eine Unterlage unter dem Belag dämmt merklich den Trittschall.

### 3.3 Parallelklasse

Der Raum der Parallelklasse diente als Kontrollraum. Er wurde lediglich farblich neu gestaltet und mit neuen Lampen ausgestattet, damit auch hier der Eindruck einer Verbesserung des Klassenzimmers entstand. Dabei wurde die Klasse an der Farbauswahl beteiligt. Die Hauptwände wurden hellblau gestrichelt, die Wand, an der sich die Tafel befindet, hellgrün, die Tür hellgrau sowie die Decke, Heizkörper und Heizkörpermischen weiß (Abbildung 13, siehe Seite 32). Durch den Einsatz neuer Lampen erhöhte sich die horizontale Beleuchtungsstärke im Raum von 300 auf 500 lx und die vertikale Tafelbeleuchtung von 200 auf 400 lx, gleichzeitig reduzierte sich der Energieverbrauch für die Beleuchtung im Klassenzimmer um ca. 15 %.

### 3 Umsetzung in einer Grundschule in Sachsen

Abbildung 13:  
Kontrollraum vor und nach der Umgestaltung



## 4 Umsetzung in einer Hauptschule in Nordrhein-Westfalen

Für die Umsetzung des Projekts in Nordrhein-Westfalen (NRW) wurde eine Hauptschule ausgewählt. In Abstimmung mit der Schulleitung und der Klassenlehrerin wurde eine fünfte Klasse mit 18 Kindern gewählt. Der Unterricht findet vorwiegend in dem 56 m<sup>2</sup> großen Klassenzimmer statt, das im Erdgeschoss eines zweigeschossigen Gebäudes liegt. Vor der Fensterfront befindet sich eine leicht ansteigende, bepflanzte Böschung, die den Einfall des Tageslichts reduziert.

Bei der Erstellung des Konzepts zum Umbau des Klassenzimmers sollten die Kinder und die Klassenlehrerin einbezogen werden. Aus diesem Grund wurde mit einer Innenarchi-

tektin zusammengearbeitet, die einen Vormittag lang einen Workshop mit der Klasse durchführte. Im Rahmen dieses Workshops konnten die Mädchen und Jungen äußern, was ihnen an ihrem Klassenzimmer nicht gefällt und welche Wünsche sie bezüglich des neuen Klassenzimmers haben. Auch bei der farblichen Gestaltung konnte die Klasse ihre Vorstellungen einbringen.

Mit dem optimierten Klassenzimmer wurden einige Neuerungen eingeführt. Um den Umgang damit zu erleichtern, wurde ein kleines Nachschlagewerk für die Lehrkraft (Abbildung 14) erstellt.



Abbildung 14: Nachschlagewerk für die Handhabung neuer Elemente im optimierten Klassenzimmer

## 4 Umsetzung in einer Hauptschule in NRW

### 4.1 Situation im Klassenzimmer vor der Umgestaltung

#### 4.1.1 Raumklima und Raumluftqualität

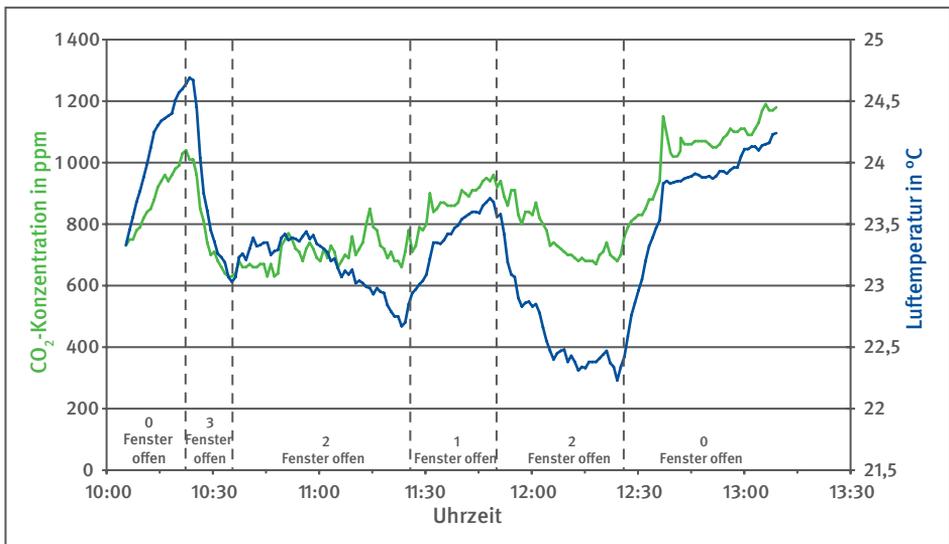
Das Klassenzimmer besitzt eine große Fensterfront mit vier kippbaren Fenstern im oberen Bereich sowie vier großen und zwei schmalen Fenstern, die vollständig zu öffnen sind. Der Sonnenschutz erfolgt durch eine außen liegende, elektrisch fahrbare Markisolette. Um das Raumklima und die Luftqualität zu beurteilen, wurden die Klimafaktoren Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit sowie die  $\text{CO}_2$ -Konzentration über einen Zeitraum von drei Stunden gemessen.

Vor dem Umbau erfolgte die Belüftung ausschließlich über die Fenster. Während der

Messung befanden sich 18 Kinder und vier Erwachsene im Raum. Der Unterricht war als Workshop gestaltet, bei dem sich Phasen, in denen die Schülerinnen und Schüler am Platz saßen, mit Phasen, in denen sie sich im Klassenraum bewegten, abwechselten. In dieser Zeit waren drei der vier oberen Fenster ständig gekippt und zwei große und ein schmales Fenster im hinteren Bereich des Klassenraumes je nach Bedarf geöffnet oder geschlossen.

Die Lufttemperatur und relative Luftfeuchte lagen in einem für Innenräume typischen Bereich mit ca. 22 °C und ca. 51 % im Mittel. Die Werte für die Luftgeschwindigkeit waren trotz der geöffneten Fenster eher niedrig. Der Verlauf der Lufttemperatur und der  $\text{CO}_2$ -Konzentration ist in Abbildung 15 dargestellt. Bei zwei bis drei geöffneten Fenstern lag die

Abbildung 15:  
Verlauf der Lufttemperatur (blau) und der  $\text{CO}_2$ -Konzentration vor dem Umbau (grün)



CO<sub>2</sub>-Konzentration unter 1000 ppm, während sie stetig zunahm, wenn kein oder nur ein Fenster geöffnet war. Dies ist insbesondere in dem Zeitraum von 12:25 Uhr bis 13:05 Uhr zu erkennen. Aufgrund der gekippten und geöffneten Fenster war die Luftqualität im Klassenzimmer gut. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration stieg allerdings stetig an, wenn kein Fenster geöffnet war. Solch ein Anstieg kann auch ohne ein erneutes Öffnen der Fenster nicht rückgängig gemacht werden.

### 4.1.2 Akustik

Bei geschlossenen Fenstern wurde im Klassenzimmer ein relativ niedriger Grundgeräuschpegel im Bereich von 35 dB(A) gemessen, sodass keine Maßnahmen zur Verringerung der Geräuscheinstrahlung von außen notwendig waren.

Der Raum hat ein Volumen von ca. 180 m<sup>3</sup> und sollte entsprechend DIN 18041 [16] eine Nachhallzeit von ca. 0,55 s aufweisen. Da

der Raum mit einer abgehängten Decke aus 30 mm dickem Absorptionsmaterial (hinter Holzpaneelen) ausgerüstet war, wurde diese Anforderung schon in der Ausgangssituation erfüllt.

### 4.1.3 Beleuchtung und Farbe

Die Fensterfront hat eine ca. 12 m<sup>2</sup> große, lichtdurchlässige Fläche mit einem ausreichenden Verhältnis zur Raumgrundfläche von 1 zu 5 und ist nach Südosten ausgerichtet. Der Tageslichtquotient liegt in der Raummitte bei 2 %. An der Türseite befindet sich unterhalb der Raumdecke ein Fensterband zum Gang hin, durch das allerdings nur sehr wenig Licht aus dem Gang in das Klassenzimmer fällt.

Vor dem Umbau wurde das Tageslicht in dem Klassenzimmer durch den gelben Stoff der Markisolette stark beeinflusst, wenn diese herunter gefahren war (Abbildung 16, links). Die Raumbeleuchtung bestand aus

Abbildung 16:  
Der gelbe Stoff der Markisolette (links) wurde gegen einen farbneutralen hellgrauen Stoff (rechts) ausgetauscht



#### 4 Umsetzung in einer Hauptschule in NRW

zwei Lichtbändern mit insgesamt sieben Deckenrasterleuchten à zwei Lampen (58 W). Die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke in Tischhöhe lag bei 600 lx und damit oberhalb der geforderten 300 lx. Sogar der empfohlene Wert von 500 lx wurde übertroffen. Allerdings wurde die Anforderung an die Gleichmäßigkeit der horizontalen Beleuchtungsstärke nicht eingehalten. Die Tafelbeleuchtung bestand aus einem Lichtband mit zwei Deckenrasterleuchten mit jeweils einer Lampe (58 W). Die vertikale Beleuchtungsstärke an der Wandtafel betrug 300 lx und lag somit unterhalb der Anforderung von 500 lx. Die Lampen hatten einen Farb wiedergabeindex von 80 und eine neutralweiße Lichtfarbe.

Farblich dominierte das beige-braune Sichtmauerwerk an allen vier Raumseiten das Klassenzimmer. An der Fenster- und Türseite wurde das Mauerwerk jeweils durch eine

graue Betonsäule unterbrochen. Der Bodenbelag bestand aus einem grauen PVC-Boden. Aufgrund der Holzdecke und des Sichtmauerwerks sind die Reflexionsgrade der Decke und der Wände mit  $r = 0,4$  relativ niedrig und entsprechen somit nicht den Empfehlungen.

##### 4.1.4 Möblierung und Fußboden

Vor dem Umbau bestand die Möblierung aus nicht höhenverstellbaren Doppel-tischen und Stühlen. Für die Unterbringung von Materialien waren zwei graue Metallschränke und ein Holzregal vorhanden. Eine Aufbewahrungsmöglichkeit für die Schulranzen gab es nicht; sie standen neben den Tischen und bildeten so potenzielle Stolperstellen. Die grüne Kreidetafel war in der Nähe der Klassenzimmertür fest installiert und zwei-flügelig (Abbildung 17). An der Türseite war unterhalb des Fensterbandes zum Flur eine weitere einfache Kreidetafel angebracht.



Abbildung 17:  
Klassenzimmer  
vor dem Umbau

Der Fußboden bestand aus einem PVC-Belag. Durch die tägliche Nutzung wurde die Oberfläche stark belastet. Der Fußboden wird mehrmals in der Woche feucht gereinigt; einmal im Jahr findet eine intensive Grundreinigung statt.

### 4.2 Situation im Klassenzimmer nach dem Umbau

#### 4.2.1 Raumklima und Raumluftqualität

Um auch bei geschlossenen Fenstern einen übermäßigen Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Konzentration zu verhindern, wurden zwei dezentrale Lüftungsgeräte an der Außenwand unterhalb der Fenster installiert (Abbildung 18). Die Gestaltungsvariante, die Lüftungsgeräte direkt in die Fensterfront zu integrieren, hätte mehr Platz gespart. Dennoch wurde sie nicht in Betracht gezogen, da dadurch zum einen der Tageslichtanteil im Klassen-

zimmer deutlich verringert und zum anderen die Außenluft- und Fortluftöffnungen durch die häufig genutzte Markisolette verdeckt worden wären. Die automatische Regelung des Volumenstroms erfolgt stufenweise (150, 200 und 250  $\text{m}^3/\text{h}$ ) über einen  $\text{CO}_2$ -Sensor. Zusätzlich kann man von Hand für 15 min einen Boost-Modus (320  $\text{m}^3/\text{h}$ ) einschalten, um das Klassenzimmer in den Pausen verstärkt mit Frischluft zu versorgen. Außerhalb der Unterrichtszeiten sind die Lüftungsgeräte auf Standby geschaltet. Die Lüftungsgeräte besitzen eine Wärmerückgewinnung.

Während der Messung nach dem Umbau befanden sich 19 Kinder und bis zu vier Erwachsene im Raum und es fand regulärer Unterricht statt.

Die Lufttemperatur und relative Luftfeuchte lagen auch diesmal in einem für Innenräume



Abbildung 18:  
Zur Unterstützung der Fensterlüftung wurden zwei dezentrale Lüftungsgeräte unterhalb der Fensterfront eingebaut

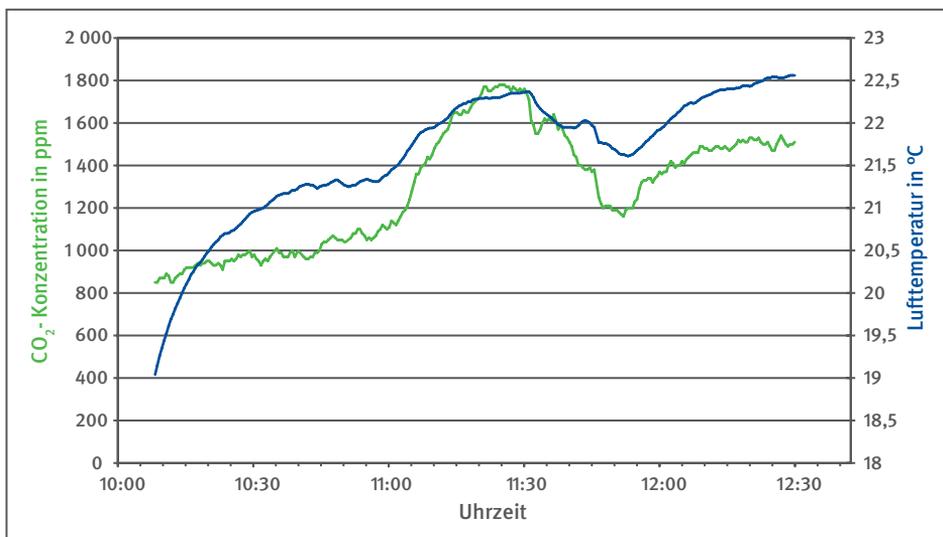
#### 4 Umsetzung in einer Hauptschule in NRW

typischen Bereich mit ca. 21 °C und ca. 39 % im Mittel. Die Luftgeschwindigkeit war eher niedrig. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration stieg anfangs aufgrund der fünf gekippten Fenster nur allmählich an (Abbildung 19). Nach Schließen der Fenster war eine deutliche Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration innerhalb von 20 min auf 1 800 ppm zu erkennen. Damit der CO<sub>2</sub>-Sensor auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenzimmer anspricht, müssen die Lüftungsgeräte bei Unterrichtsbeginn einmal aktiviert werden. Dies war an dem Morgen der Messung nicht geschehen, daher konnte die CO<sub>2</sub>-Konzentration so stark ansteigen. Zur Pause um 11:30 Uhr wurde von Hand der Boost-Modus für 15 min eingeschaltet und die CO<sub>2</sub>-Konzentration sank

auf 1200 ppm. Durch das Einschalten des Boost-Modus wurde auch nachträglich der CO<sub>2</sub>-Sensor aktiviert und die CO<sub>2</sub>-Konzentration hielt sich anschließend auf einem Niveau von 1500 ppm.

Die Messungen zeigen, dass die beiden dezentralen Lüftungsgeräte dazu beitragen, die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum bei nicht geöffneten Fenstern während des Unterrichts auf einem guten bis akzeptablen Niveau zu halten. Durch den Boost-Modus kann die CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Pausen zügig abgesenkt werden. Die Zuluft in Bodennähe hat eine niedrige Austrittsgeschwindigkeit, sodass Zugluftbelastungen unwahrscheinlich sind.

Abbildung 19:  
Verlauf der Lufttemperatur (blau) und der CO<sub>2</sub>-Konzentration (grün) nach der Umgestaltung



### 4.2.2 Akustik

Um die schon gute raumakustische Situation noch zu verbessern, wurde der obere Teil der Rückwand des Raumes auf ca. 8 m<sup>2</sup> mit einem schallabsorbierenden Material belegt (40 mm dickes Wall Panel). Abbildung 20 zeigt den Blick auf die Rückseite des neu gestalteten Raumes.

Durch die zusätzlich eingebrachte Absorptionsfläche konnten die Nachhallzeiten weiter reduziert werden, wie die Ergebnisse in Abbildung 21 (siehe Seite 40) erkennen lassen. Für mittlere Frequenzen wurde eine Reduzierung von ca. 0,55 s auf Werte von 0,4 bis 0,5 s erreicht. Für die belegte Klasse ergaben sich nahezu optimale Nachhallzeiten von ca. 0,4 s bei allen Frequenzen. Die Sprachverständlichkeit wurde vor und nach dem Umbau jeweils mit einem Sprach-

übertragungsindex STI von ca. 0,75 (gut bis ausgezeichnet) gemessen.

### 4.2.3 Beleuchtung und Farbe

Im Rahmen der Umgestaltung wurde der gelbe Stoff der Markisolette gegen einen gleichwertigen hellgrauen Stoff ausgetauscht (Abbildung 16), damit das Spektrum des natürlichen Lichts im Klassenzimmer nicht verfälscht wird. Die Raumbeleuchtung besteht jetzt aus zwei Lichtbändern mit jeweils vier Anbauleuchten mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten (Abbildung 22, siehe Seite 40). Die Leuchten sind jeweils mit drei Lampen bestückt, davon eine mit warmweißer und zwei mit tageslichtweißer Lichtfarbe. Die elektrische Leistung der Lampen beträgt 49 W. Durch Wahl der Beleuchtungsstärke und Mischen der verschiedenen Lichtfarben können



Abbildung 20:  
Schallabsorbierende  
Flächen in Form  
der Holz-Paneel-Decke  
und der Rückwand

#### 4 Umsetzung in einer Hauptschule in NRW

Abbildung 21:  
Nachhallzeiten vor und nach Einbringung der schallabsorbierenden Rückwand

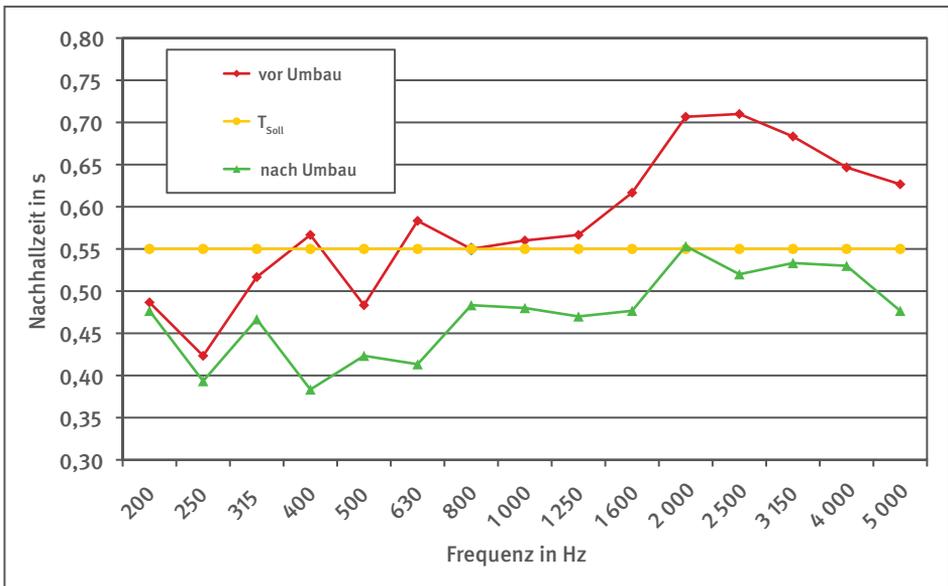


Abbildung 22:  
Beleuchtung mit den drei Lichtszenarien Normal (500 lx, neutralweiß, links),  
Beruhigen (300 lx, warmweiß, Mitte) und Konzentrieren (1 000 lx, tageslichtweiß, rechts)



unterschiedliche Lichtszenarien eingestellt werden. Für das Klassenzimmer wurden drei Lichtszenarien (Tabelle 4) programmiert, die man über ein Bedienfeld aufrufen kann. Zusätzlich kann man die Raumbeleuchtung manuell über das Bedienfeld dimmen.

Tabelle 4:  
Lichtszenarien im optimierten Klassenzimmer

Lichtszene	Beleuchtungsstärke in lx	Lichtfarbe (Farbtemperatur)
Normal	500	neutralweiß (4 000 K)
Beruhigen	300	warmweiß (3 000 K)
Konzentrieren	1 000	tageslichtweiß (6 000 K)

Die Messung der horizontalen Beleuchtungsstärke ergab für die Lichtszene „Normal“ eine mittlere Beleuchtungsstärke von 750 lx mit einer ausreichenden Gleichmäßigkeit von 0,6. Die Tafelbeleuchtung besteht aus einem Lichtband mit zwei Leuchten, die jeweils eine Lampe à 49 W enthalten. Die vertikale Beleuchtungsstärke an der Wandtafel beträgt jetzt 500 lx. Die Tafelbeleuchtung ist separat schaltbar. Der Farbwiedergabeindex beträgt 80.

Das Sichtmauerwerk blieb erhalten; es wurden nur einige farbliche Akzente bei den Betonelementen und den Fenstern gesetzt. Für das Farbkonzept fiel die Wahl der Klasse auf die Farben Orange und Grün. Dies spiegelt sich auch in den Farben der Stühle und der Aufbewahrungskästen wider. Einen farblichen Akzent im Klassenzimmer bildet jetzt das orangefarbene Akustikelement an der

Rückseite des Raumes. Für den Bodenbelag wurde ein blau-grauer PVC-Boden gewählt.

#### 4.2.4 Möblierung und Fußboden

Seit dem Umbau stehen den Kindern Einzelstische und Drehstühle zur Verfügung, die sie individuell auf ihre Größe einstellen können (Abbildung 23, siehe Seite 42). Die Höhenverstellung an den Tischen erfolgt über eine Kurbel und an den Stühlen über eine Gasfeder. Die Tische haben Rollen, sodass sie einfach umgestellt werden können. Die Stühle haben eine taillierte Rückenlehne und eine Wippautomatik für verschiedene Sitzpositionen. Der Klassenlehrerin stehen ein höhenverstellbarer Doppeltisch und ein Drehstuhl mit Rollen zur Verfügung. Zusätzlich wurde ein Stehpult angeschafft, in dem Unterlagen verschließbar untergebracht werden können.

Für jeden Schulanzen gibt es einen speziellen Schrank, in dem auch für jedes Kind ein Aufbewahrungskasten vorhanden ist (Abbildung 24, Seite 42). Damit die Kinder vom Klassenzimmereingang zuerst zu den Schulanzenschränken und erst dann an ihre Sitzplätze gehen, wurde die Ausrichtung des Klassenzimmers um 180° gedreht. Unterrichtsmaterialien können in einem weiteren Schrank untergebracht werden.

Das Tafelsystem besteht aus Elementen, die an einer Schiene aufgehängt sind. Die Tafel-elemente können abgenommen werden und sind beidseitig nutzbar. Eine Seite ist hier jeweils eine Tafel, die andere Seite eine mit einem blassgrünen Stoff bespannte Pinnwand. Die Schienen sind an der Türseite und der Kopfseite des Klassenraums installiert. An der Kopfseite wurden zwei Schienen in unterschiedlicher Höhe befestigt, um auch

#### 4 Umsetzung in einer Hauptschule in NRW

Abbildung 23:  
Höhenverstellbare Stühle und Tische für Kinder (links) und Klassenlehrerin (rechts)



Abbildung 24:  
Schulranzenschränke  
mit Aufbewahrungs-  
kästen und  
Materialschrank



hier den unterschiedlichen Körpergrößen Rechnung zu tragen (Abbildung 25 links). Zusätzlich zum Tafelsystem wurde ein interaktives Whiteboard-System angeschafft. Das System ist fahrbar, besitzt eine spezielle Unterrichtssoftware und Zugang zum Internet (Abbildung 25 rechts).

Der neue Fußbodenbelag besteht aus strapazierfähigem, oberflächenvergütetem PVC. Er ist stuhllängeneignet und lässt sich leicht reinigen und pflegen. Der Fußbodenbelag erfüllt alle gesetzlichen Vorschriften

und Europäischen Normen wie z. B. für Rutschhemmung und Brandverhalten.

### 4.3 Parallelklasse

Das Klassenzimmer der Parallelklasse, die für die Evaluation als Kontrollgruppe dient, liegt direkt benachbart zu dem optimierten Klassenzimmer. Hier wurden außer einer farblichen Gestaltung durch einige Farbakzente keine weiteren Maßnahmen durchgeführt (Abbildung 26).

Abbildung 25:  
Flexibles Tafelsystem (links) und interaktives Whiteboard (rechts)



Abbildung 26:  
Farbliche Gestaltung des Klassenzimmers der Parallelklasse





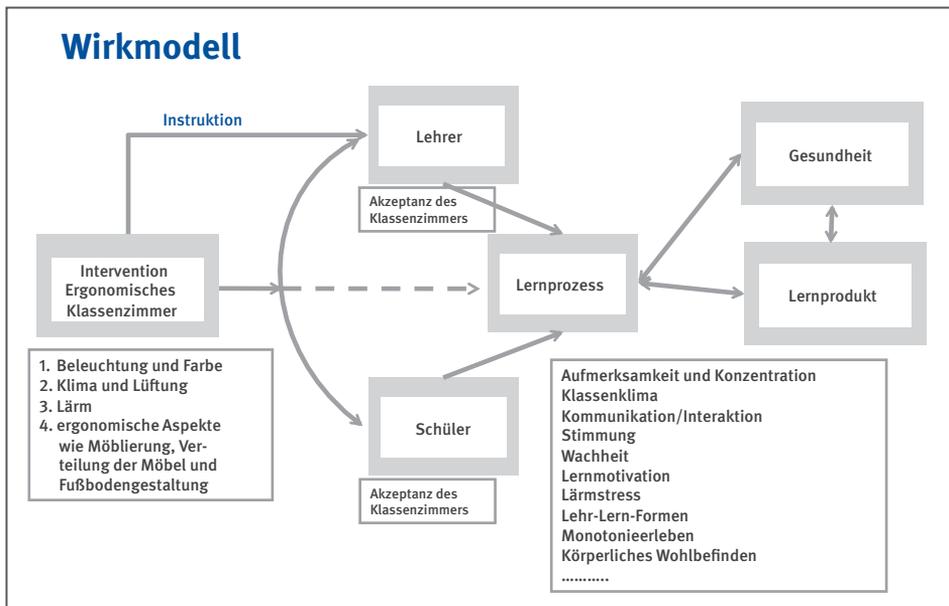
# 5 Evaluation

## 5.1 Wirkungsmodell

Zunächst wurde ein Modell erstellt, in dem die der Intervention zugrunde liegenden Ursache-Wirkungs-Beziehungen dargestellt sind sowie Indikatoren zur Bewertung eines lern- und gesundheitsförderlichen Klassenzimmers abgeleitet wurden (Abbildung 27). Hieraus geht hervor, dass viele Faktoren auf die Gesundheits- und Lernförderlichkeit des Klassenzimmers Einfluss haben: Neben den

neuen Arbeitsbedingungen und den Gestaltungsfaktoren spielen auch die Akzeptanz und die Nutzung (Verhalten) der neuen Möglichkeiten aufseiten aller Beteiligten eine zentrale Rolle. Ergonomische Möbel, die zur Gruppenarbeit anregen, können ihre Wirkung nur entfalten, wenn der Unterricht und die zu vermittelnden Inhalte auch Gruppenarbeit zulassen und die Lehrkraft über ein entsprechendes Methodenrepertoire verfügt oder Zeit hat, sich ein solches anzueignen.

Abbildung 27:  
Wirkungsmodell für die Evaluation



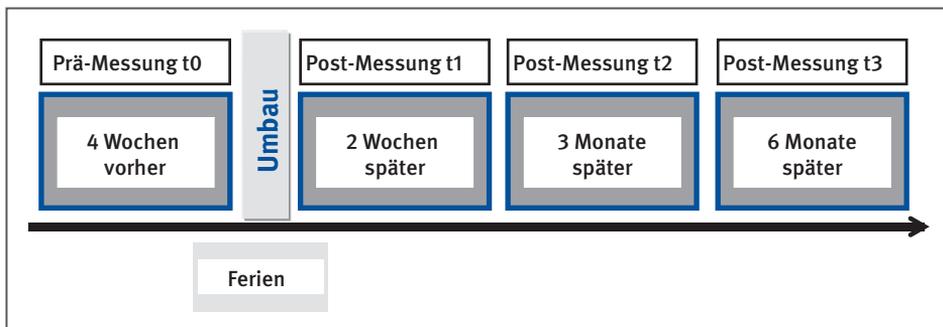
## 5.2 Vorgehensweise

Zur Evaluation der Fragestellung, ob das ergonomisch gestaltete Klassenzimmer tatsächlich gesünder und lernförderlicher ist, wurde ein Versuchs-Kontrollgruppen-Design mit Messwiederholung gewählt. Als Kontrollklasse wurde jeweils eine Parallelklasse der Versuchsklasse gewählt, deren Raum dieselben baulichen Ausgangsbedingungen aufwies und in der Himmelsrichtung genauso ausgerichtet war. Durch das Einbeziehen einer Kontrollklasse war es möglich, Entwicklungs- und Reifungsprozesse während des Projektjahrs als Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Um mögliche Wirkungen zu kontrollieren, die ausschließlich auf die veränderten Gestaltungsmerkmale des Klassenzimmers zurückzuführen sind, und gleichzeitig die Motivation der Kontrollklasse für die Untersuchung zu erhöhen, erhielten auch die Räume der beiden Kontrollklassen einen neuen Farbanstrich. Die Klassen konnten die Farben auswählen.

Insgesamt fanden an beiden Schulen jeweils vier Erhebungen statt (Abbildung 28). Jede Erhebung umfasste zwei aufeinanderfolgende Tage: Eine Messung vor dem Umbau ( $t_0$ ) sowie drei Messungen im Abstand von jeweils drei Monaten nach dem Umbau des Klassenzimmers ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ). Die Evaluation erstreckte sich somit nahezu über ein gesamtes Schuljahr. Bei der Auswahl der Messzeitpunkte wurde darauf geachtet, dass zurückliegende oder bevorstehende Ferien die Messungen nicht beeinflussen. Die Klassenlehrerinnen gaben an, dass anstehende Ferien bis zu zwei Wochen, bei den längeren Sommerferien sogar drei Wochen zuvor das Verhalten der Kinder (Aufmerksamkeit etc.) beeinflussen. Weiterhin werde das Lernverhalten durch den Wochentag beeinflusst. Entsprechend wurden Montag und Freitag als Erhebungstage ausgeschlossen.

Die Erfassung der abhängigen Variablen erfolgt mittels Selbst- (Schülerinnen und Schüler) und Fremdeinschätzung (durch die

Abbildung 28:  
Messzeitpunkte vor und nach dem Umbau des Klassenzimmers



Lehrkraft) mithilfe verschiedener standardisierter Fragebögen (u. a. LFSK 4-8, [34]; LSL, [35]) sowie einer Beobachtung des Unterrichts. Dadurch wurden in Anlehnung an das Wirkungsmodell jeweils in der Versuchs- und in der Kontrollklasse die Akzeptanz der Umgestaltung sowie die subjektiv wahrgenommene Veränderung relevanter Variablen (Beanspruchungserleben, Schul- und Klassenklima, Sozial- und Lernverhalten) erfasst. Des Weiteren wurde ein Test zur objektiven Erfassung der Aufmerksamkeitsleistung durchgeführt (d2, [36]).

Etwa eineinhalb Jahre nach dem Umbau der Klassenräume wurden an beiden Schulen noch einmal Interviews mit den Lehrerinnen geführt, um einen Eindruck von der Langzeitwirkung der neuen Räume zu erhalten.

### 5.2.1 Grundschule in Sachsen

Zum Untersuchungsbeginn waren in der Versuchsklasse (Klassenstufe 3) 18 Schü-

lerinnen und Schüler im Alter von neun bis zehn Jahren. Zum neuen Schuljahr (Messzeitpunkt t1) vergrößerte sich die Klasse um acht Kinder auf insgesamt 26. Die Kontrollklasse bestand zunächst aus 21 Jungen und Mädchen im gleichen Alter. Im neuen Schuljahr vergrößerte sich die Klasse um fünf Kinder auf insgesamt 26 (siehe Tabelle 5).

### 5.2.2 Hauptschule in Nordrhein Westfalen

Zu Beginn der Untersuchung besuchten jeweils 18 Kinder im Alter von zehn bis zwölf Jahren die Versuchs- und Kontrollklasse (Klassenstufe 5). Im Laufe des neuen Schuljahres kam in jeder Klasse ein Kind hinzu (Tabelle 6).

In beiden Klassen wurden alle Schüler in die statistische Auswertung einbezogen, die sowohl an der Erhebung zum Zeitpunkt t0 als auch an den Erhebungen zu den Zeitpunkten t1, t2 und t3 teilgenommen haben.

Tabelle 5:  
Klassenstärke in den untersuchten Klassen der Grundschule Sachsen

	Anzahl der Schülerinnen und Schüler	
	Klassenstufe 3	Klassenstufe 4
Versuchsklasse	18	26
Kontrollklasse	21	26

Tabelle 6:  
Klassenstärke in den untersuchten Klassen der Hauptschule NRW

	Anzahl der Schülerinnen und Schüler	
	Klassenstufe 5	Klassenstufe 6
Versuchsklasse	18	19
Kontrollklasse	18	19

### 5.3 Ergebnisse

Am ersten Tag nach dem Umbau des Klassenzimmers wurden die Kinder in Sachsen nach ihrem ersten Eindruck gefragt. Sie wurden aufgefordert, ihn schriftlich oder in Form von gemalten Bildern festzuhalten, ehe die Lehrerin die Neuerungen erklärte. Abbildung 29 gibt die Eindrücke zweier Kinder wieder, die verdeutlichen, dass sie die Änderungen deutlich wahrnehmen und schätzen.

Lernprozesse und die Gesundheit aller Beteiligten sind abhängig von einer Vielzahl an Einflussfaktoren. Die im Rahmen der Befragungen und Beobachtungen gewonnenen Ergebnisse lassen sich in solche, die direkt, und solche, die nicht direkt auf die ergonomische Umgestaltung zurückgehen, unterscheiden.

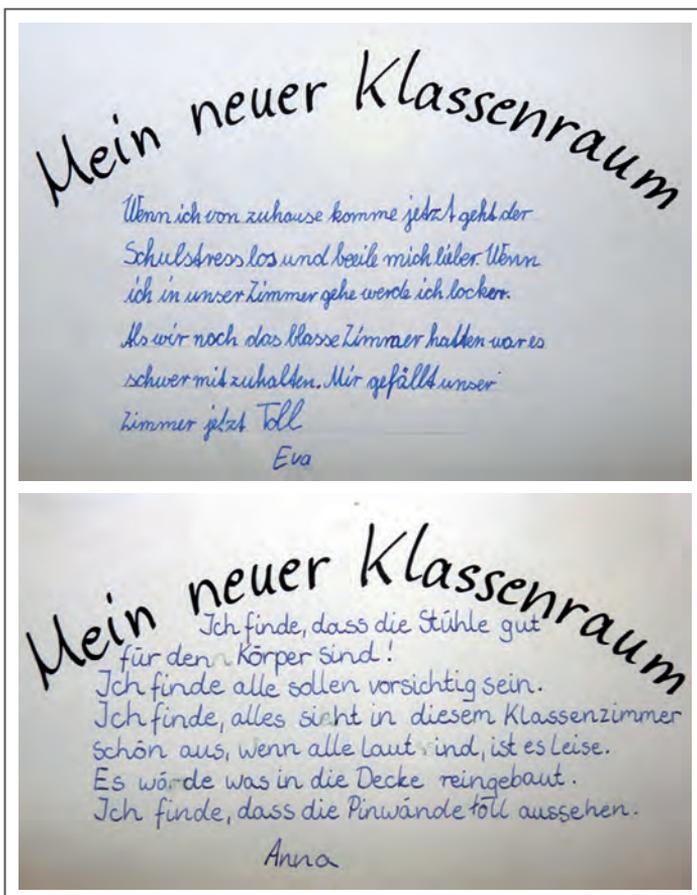


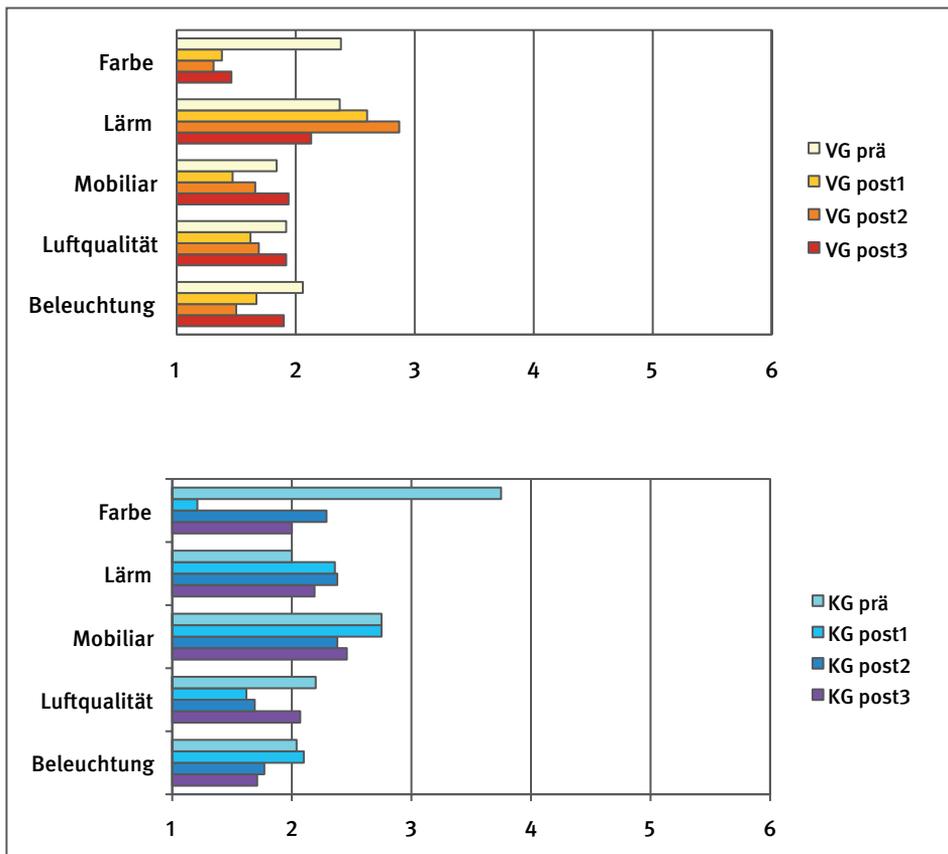
Abbildung 29:  
Erster Eindruck  
zweier Kinder nach  
der Umgestaltung  
des Klassenzimmers

### 5.3.1 Ergebnisse, die direkt auf das ergonomische Klassenzimmer zurückzuführen sind

Alle Beteiligten haben zu allen Messzeitpunkten die Lernbedingungen im Klassenzimmer anhand einer sechsstufigen Skala (1 = sehr positiv; 6 = sehr negativ) bewertet.

Fast alle beim Umbau berücksichtigten Faktoren wurden über die drei Post-Messzeitpunkte zwischen sehr gut und gut bewertet. Die Ergebnisse der Klasse aus Sachsen zeigen (Abbildung 30), dass die Bewertung aller Faktoren außer Lärm zum ersten Messzeitpunkt nach der Umgestaltung (t1) positiver bewertet werden als vorher. Bei

Abbildung 30: Bewertung der Faktoren vor der Umgestaltung (prä) und zu den drei Messzeitpunkten (post1, post2, post3) nach der Umgestaltung des Klassenzimmers in Sachsen durch die Kinder; Daten der Versuchs-klasse (VG) oben, der Kontrollklasse (KG) unten; 1 – sehr positiv, 6 – sehr negativ



## 5 Evaluation

der Lärmbewertung kommt sicherlich zum Tragen, dass die Klasse zwischen  $t_0$  und  $t_1$  von 18 auf 26 Personen angewachsen ist. Die positiven Bewertungen gehen im Laufe des Auswertungszeitraums langsam wieder zurück. Gegen Ende des vierten Schuljahrs, kurz vor dem Wechsel in die weiterführende Schule, werden andere Faktoren möglicherweise wichtiger.

Auch die beiden Kontrollklassen bewerteten die Farbgestaltung des Klassenzimmers nach dem Neuanstrich zunächst positiv und signifikant besser als vor dem Umbau. Im Gegensatz zum ergonomischen Klassenzimmer nimmt die positive Bewertung der Farbgestaltung hier jedoch zu den weiteren Messzeitpunkten wieder signifikant ab. Die positive Bewertung ist somit nur im ergonomischen Klassenzimmer dauerhaft.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass das neue Klassenzimmer gut angenommen wird. Dies bestätigen auch die Ergebnisse der Interviews nach eineinhalb Jahren. So gaben die Lehrerinnen der beiden umgebauten Klassenräume übereinstimmend an, dass die Schülerinnen und Schüler sehr stolz auf ihren Raum seien. Insbesondere die neuen Tische und Stühle seien für sie eine wichtige Erneuerung gewesen. Die Tisch- und Stuhlhöhen würden sie immer wieder selbstständig an ihre Körpergröße anpassen.

Die Beobachtungsdaten zeigen aber auch, dass die neuen Möglichkeiten des Klassenzimmers noch nicht optimal genutzt werden. So geht aus den Ergebnissen hervor, dass Frontalunterricht und Stillarbeit weiterhin einen großen Anteil des Unterrichts aus-

machen, Gruppen- oder Freiarbeit hingegen nicht oder kaum stattfindet. Ein Umstellen der Möbel oder die Nutzung der Schüler-tische als Stehpult wurde über den gesamten Untersuchungszeitraum nicht beobachtet. Auch die verschiedenen künstlichen Lichtszenarien kamen zunächst kaum zur Anwendung. Übereinstimmend gaben beide Klassenlehrerinnen im Interview nach anderthalb Jahren als Grund hierfür an, dass sie sich an diese Möglichkeit erst gewöhnen mussten. Inzwischen setzten sie die Lichtszenarien aber häufiger gezielt ein, um eine bestimmte Stimmung und Atmosphäre im Raum zu schaffen.

Im Interview gaben die Klassenlehrerinnen der beiden Versuchsklassen an, dass Gruppen- oder Freiarbeit trotz der neuen Möbel aus verschiedenen Gründen schwer umsetzbar sei. Die Klassenräume seien zum Umstellen der Möbel zu klein, die Tischflächen zum Zusammenstellen in Vierergruppen wiederum zu groß. So würden die Gesamttischfläche und damit der Abstand zwischen den Personen so groß werden, dass sie zum gegenseitigen Verständnis lauter sprechen müssten, was zu einem deutlichen Anstieg des Lärmpegels führen würde. Ein weiteres Hindernis beim Zusammenstellen der Tische für Gruppenarbeit seien auch die aufgrund der Körpergröße unterschiedlich hoch eingestellten Tische. Eine Lehrerin berichtete, die neuen Möbel zu nutzen, um den Raum aufzuteilen. Zum Beispiel verwende sie die Schränke als Raumteiler und schaffe somit eine „Mathecke“ und eine „Deutschecke“.

### 5.3.2 Ergebnisse, die nicht direkt auf das ergonomische Klassenzimmer zurückzuführen sind

Die Bewertung des Klassen- und Schulklimas schwankt über den Untersuchungszeitraum hinweg. Während in der Schule in Sachsen die gemessenen Indikatoren „Schülerbeteiligung“ und „Mitsprache“ aus Sicht der Schülerinnen und Schüler zugenommen haben, nehmen deren Rivalität untereinander zu sowie die Bereitschaft und Motivation zum Lernen ab. In der Klasse in NRW bleibt das Klassenklima in der Versuchsklasse über den Erhebungszeitraum weitestgehend konstant. Einzig hinsichtlich der Mitsprachemöglichkeiten zeigt sich eine positive Tendenz.

Auch für das Lern- und Sozialverhalten zeigen die Ergebnisse keinen einheitlichen Verlauf. In Sachsen bewerteten beide Klassenlehrerinnen die Selbstwahrnehmung der Schülerinnen und Schüler nach dem Umbau signifikant besser als vor dem Umbau. Darüber hinaus schätzt die Klassenlehrerin der Versuchsklasse in Sachsen das Einfühlungsvermögen und die Konzentrationsfähigkeit der Kinder deutlich besser ein als zum Messzeitpunkt t0. Diese Einschätzung verschlechtert sich zum Messzeitpunkt t3 jedoch wieder deutlich. Die Klassenlehrerin der Versuchsklasse in NRW beschreibt das Sozialverhalten der Mädchen und Jungen über die Zeit weitestgehend stabil. Einzig deren Fähigkeit zur Selbstkontrolle schätzt die Lehrerin zum Messzeitpunkt t1 signifikant schlechter ein als zum Zeitpunkt t0. Das Sozialverhalten der Kontrollklasse hingegen nimmt aus Sicht der Klassenlehrerin zum Messzeitpunkt t1 insgesamt deutlich ab. Beim Lern- und Arbeitsverhalten ergeben sich für die beiden ersten Postmessungen (t1 und t2) zunächst

keine Veränderungen in der Versuchsklasse. Zum Messzeitpunkt t3 sinkt die Ausdauer- und Konzentrationsfähigkeit in der Klasse aus Sicht der Lehrerin jedoch signifikant ab.

In Sachsen zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Klassen hinsichtlich der subjektiv erlebten Beanspruchung über den Schultag. Anstrengungsbereitschaft und Stimmung (Engagement/Positive Gestimmtheit) beschreiben die Kinder über den Schultag hinweg zu allen Messzeitpunkten als recht positiv. Negative Beanspruchungsfolgen wie das Erleben von Monotonie, Stress oder psychischer Ermüdung treten nach Einschätzung der Schüler zu allen Messzeitpunkten kaum auf. In NRW schwankt das Beanspruchungserleben in der Versuchs- und Kontrollklasse zum Zeitpunkt t0 über den Tag. Nach dem Umbau des Raumes beschreiben die Jungen und Mädchen der Versuchsklasse die erlebte Beanspruchung über den Schultag als gleichbleibend. Im Vergleich zur Kontrollklasse fällt die erlebte Beanspruchung darüber hinaus deutlich positiver aus.

Die Konzentrationsleistung, die mit dem d2-Test erfasst wurde, steigt in beiden Versuchs- und Kontrollklassen gleichermaßen an. Dies macht deutlich, dass die Reifung und Übung der Kinder einen größeren Einfluss auf die Testergebnisse haben als die Umgestaltung des Klassenzimmers.

## 5.4 Diskussion

Die objektiven Messdaten weisen nach, dass die Bedingungen im umgebauten Klassenzimmer gegenüber dem Kontrollraum durch die Maßnahmen tatsächlich optimiert und die in verschiedenen Regelwerken vorgege-

## 5 Evaluation

benen Werte erreicht wurden. Das bedeutet, dass die ergonomische Gestaltung von Klassenzimmern tatsächlich eine deutliche Verbesserung der Arbeits- und Lernbedingungen erbringen kann.

Diese Eindeutigkeit der objektiven Messergebnisse ist in den subjektiven Einschätzungen der Kinder und der Lehrkräfte nicht so klar zu finden. Verändert wurde nur ein Ausschnitt des Schüler- und Lehrerarbeitsplatzes, das Klassenzimmer. Der Unterricht wird aber von weitaus mehr Faktoren beeinflusst:

- Äußere Rahmenbedingungen:

Die Größe des Klassenzimmers in Sachsen beispielsweise ist für die Anzahl der darin unterrichteten Kinder so gering, dass die Flexibilität der Möbel aufgrund der geringen Bodenfläche kaum genutzt werden kann.

Da die Klassengröße von der dritten zur vierten Klasse um acht Schüler gestiegen ist, ist plausibel, dass der Lärmpegel trotz guter Akustikdämmung steigt und sich auch das Sozialverhalten in der Klasse ändert.

- Einbeziehen der Neuerungen in die didaktischen Konzepte:

Um den neuen Umgebungsbedingungen angepasste Unterrichtskonzepte zu erarbeiten, benötigen die Lehrerinnen Zeit und Gewöhnung an die neuen Bedingungen. Hierbei hat das Heft mit Anleitungen und technischen Informationen zu den

Neuerungen sicherlich unterstützt. Dennoch haben die Lehrerinnen erst am Ende des Projektzeitraums begonnen, die flexible Möblierung inklusive Tafeln und Boards oder auch die unterschiedlichen Beleuchtungsszenarien intensiver zu nutzen.

- Strukturelle Gegebenheiten der Schule:

Die Organisation der Schulstunden in der Schule kann die Nutzung von technisch guten Einrichtungen unterstützen. Sind die Schulstunden zum Beispiel eng getaktet ohne Pausen dazwischen, hat die Lehrkraft kaum die Zeit, das Mobiliar für Gruppenarbeit umzustellen oder alle Tischhöhen verstellen zu lassen.

- Statistische Absicherung:

Die Intervention wurde an zwei Schulen und dort jeweils in einem Klassenraum durchgeführt. Diese niedrigen Schülerzahlen im Projekt können keine statistisch abgesicherten Ergebnisse und Effekte liefern. Dennoch lassen sich einzelne Tendenzen und Hinweise erkennen, die in weitere Untersuchungen einbezogen werden könnten und sollten.

- Andere Faktoren, die das Schülerverhalten beeinflussen:

Einen sehr großen Einfluss auf das Verhalten sowie die Lernförderlichkeit und die Gesundheit der Kinder haben sicherlich die Lehrkräfte, die den Unterricht gestalten, sowie Familie und Freunde.

## 6 Zusammenfassung und Fazit

In einer Grundschule in Sachsen und einer Hauptschule in Nordrhein-Westfalen wurde jeweils ein Klassenzimmer nach den Faktoren

- Raumklima und Raumluftqualität,
- Akustik,
- Beleuchtung und Farbe,
- Möblierung und Fußboden

optimiert und umgestaltet. Messungen vor und nach der Umgestaltung haben gezeigt, dass die Arbeits- und Lernbedingungen mit der ergonomischen Gestaltung der Klassenzimmer verbessert werden konnten.

Fazit ist, dass die ergonomische Gestaltung ein wesentlicher Baustein für ein lern- und gesundheitsförderliches Klassenzimmer ist, der bei der Planung und Realisierung eines Schulneubaus auf jeden Fall so umfassend wie möglich berücksichtigt werden sollte. Bei einer Sanierung oder einem Umbau im Bestand können die Faktoren – möglicherweise in modularer Form – in sinnvoller Weise in das bestehende Klassenzimmer eingebracht werden. Sowohl für Neubau als auch für Sanierung bieten die BG/GUV-SI 8094 [24] als Leitfaden sowie der Internetauftritt [www.sichere-schule.de](http://www.sichere-schule.de) der Unfallkasse NRW sehr gute Unterstützung.



# Literatur

- [1] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Raumtemperatur (ASR A3.5). GMBI. (2010) Nr. 35, S. 751-756, geändert und ergänzt GMBI. (2012), S. 660  
<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/pdf/ASR-A3-5.pdf?blob=publicationFile&v=4>  
8. Oktober 2012
- [2] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung (ASR A3.6). GMBI. (2012) Nr. 6, S. 92-97  
<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/pdf/ASR-A3-6.pdf?blob=publicationFile&v=2>  
8. Oktober 2012
- [3] *Neumann, H.-D.*: Luftqualität und Lüftung in Schulen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 71 (2011) Nr. 11/12, S. 495-497
- [4] *Fromme, H.; Heitmann, D.; Dietrich, S.; Schierl, R.; Körner, W.; Kiranoglu, M.; Zapf, A.; Twardella, D.*: Raumluftqualität in Schulen – Belastung von Klassenräumen mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), Aldehyden, Endotoxinen und Katzenallergenen. Gesundheitswesen 70 (2008) Nr. 2, S. 88-97
- [5] *Grams, H.; Hehl, O.; Dreesmann, J.*: Niedersächsisches Schulmessprogramm: Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Raumluftqualität in Klassenräumen sowie Modellierung von Kohlendioxid-Verläufen. Hrsg.: Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, Hannover. Bericht 2002 und Ergänzungen 2004
- [6] Innenraumhygiene-Kommission des Umweltbundesamtes: Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin 2008
- [7] DIN EN 15251: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Beuth, Berlin 2007
- [8] *Klatte, M.; Hellbrück, J.*: Wirkungen von Hintergrundschall auf das Arbeitsgedächtnis. Z. Lärmbekämpfung 40 (1993), S. 91-98
- [9] *Klatte, M.; Sukowski, H.; Meis, M.; Schick, A.*: Effects of irrelevant speech on speech perception and phonological short-term memory in children aged 6 to 7 years. In: Proceedings of the Joint Congress CFA/DAGA, Strasbourg 2004, S. 193-194
- [10] *Oberdörster, M., Tiesler, G.*: Akustische Ergonomie der Schule. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Fb 1071). Wirtschafts-verlag NW, Bremerhaven 2006

## Literatur

- [11] Lärminderung in Schulen. Umwelt und Geologie, Lärmschutz in Hessen. Heft 4, 2. Aufl. Hrsg.: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden 2007
- [12] *Neuman, A. C.; Hochberg, I.*: Children's perception of speech in reverberation. *J. Acoust. Soc. Am.* 73 (1983) Nr. 6, S. 2145-2149
- [13] *Mac Kenzie D. J.; Airey, S.*: Classroom acoustics. Summary Report 1999. Hrsg.: Heriot-Watt University, Edinburgh
- [14] *Fasold, W.; Veres, E.*: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis – Planungsbeispiele und konstruktive Lösungen. Verlag für Bauwesen, Berlin 1998
- [15] *Mommertz, E.*: Akustik und Schallschutz – Grundlagen, Planen, Beispiele. DETAIL Praxis. Aumüller Druck, Regensburg 2008
- [16] DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen (Ausg. 5/04). Berlin: Beuth, 2004
- [17] *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
- [18] *Rickes, O.; Gemes, A.; Helfmann, H.*: Reduzierung der Lärmbelastung in Schulen durch Verbesserung der Raumakustik. Hrsg.: Unfallkasse Hessen und Gewerkschaft Erziehung und Wissenschaft, 2006
- [19] *Fuchs, H. V.*: Weniger Lärm in Kommunikations- und Schulungsräumen. Lärmbekämpfung 1 (2006) Nr. 2, S. 47-56
- [20] *Maue, J. H.*: Akustische Gestaltung von Klassenzimmern. Sicherheitsingenieur (2012) Nr. 6, S. 26-30
- [21] Information: Tageslicht am Arbeitsplatz – leistungsfördernd und gesund. (BGI/GUV-I 7007). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2009  
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/i-7007.pdf>  
28. Mai 2013
- [22] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Sonnenschutz im Büro (BGI 827). Hrsg.: VBG, Hamburg 2005  
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/bgi827.pdf>  
28. Mai 2013
- [23] Technische Regeln für Arbeitsstätten: Beleuchtung (ASR A3.4). Ausg. April 2011. GMBI. (2011) Nr. 16, S. 303-317  
[http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/pdf/ASR-A3-4.pdf?\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/pdf/ASR-A3-4.pdf?_blob=publicationFile&v=1)  
28. Mai 2013
- [24] Information: Klasse(n) – Räume für Schulen – Empfehlungen für gesundheits- und lernfördernde Klassenzimmer (BG/GUV-SI 8094). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2012  
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/si-8094.pdf>  
28. Mai 2013

- [25] Beleuchtung im Büro: Hilfen für die Planung der künstlichen Beleuchtung in Büroräumen (BGI 856). Hrsg.: VBG, Hamburg 2008  
[http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere\\_Faltblatt/Themen/Bueroarbeit/Beleuchtung\\_im\\_Buero\\_BGI\\_856.pdf?blob=publicationFile&v=4](http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere_Faltblatt/Themen/Bueroarbeit/Beleuchtung_im_Buero_BGI_856.pdf?blob=publicationFile&v=4)  
 28. Mai 2013
- [26] Bildschirm- und Büroarbeitsplätze. Leitfaden für die Gestaltung (BGI 650). Hrsg.: VBG, Hamburg 2012  
 URL: [http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere\\_Faltblatt/Themen/Bueroarbeit/Bildschirm\\_und\\_Bueroarbeitsplaetze\\_BGI\\_650.pdf?blob=publicationFile&v=8](http://www.vbg.de/SharedDocs/Medien-Center/DE/Broschuere_Faltblatt/Themen/Bueroarbeit/Bildschirm_und_Bueroarbeitsplaetze_BGI_650.pdf?blob=publicationFile&v=8)  
 28. Mai 2013
- [27] *Breithecker, D.*: Bewegte Schüler – Bewegte Köpfe. Unterricht in Bewegung. Chance einer Förderung der Lern- und Leistungsfähigkeit? Hrsg.: Bundesarbeitsgemeinschaft für Haltungs- und Bewegungsförderung, Wiesbaden  
[http://www.haltungsbewegung.de/Data/Sites/4/media/dokumente/schule/projekte/BAG4\\_D.pdf](http://www.haltungsbewegung.de/Data/Sites/4/media/dokumente/schule/projekte/BAG4_D.pdf)  
 28. Mai 2013
- [28] DIN EN 1729-1: Möbel – Stühle und Tische für Bildungseinrichtungen (Ausg. 9/06). Beuth, Berlin 2006
- [29] Richtig sitzen in der Schule. Mindestanforderungen an Tische und Stühle in allgemein bildenden Schulen (GUV-SI 8011). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2008  
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/si-8011.pdf>  
 28. Mai 2013
- [30] Regel: Fußböden in Arbeitsräumen und Arbeitsbereichen mit Rutschgefahr (GUV-R 181). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2003  
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/r-181.pdf>  
 28. Mai 2013
- [31] *Vandahl, C.; Bieske, K.; Neuhäuser, S.; Schierz, Ch.*: Optimale Beleuchtung bei Schichtarbeit. BGAG-Report 2/2009. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Dresden 2009  
<http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/report2009-02.pdf>  
 28. Mai 2013
- [32] *Hanßen-Pannhausen, R.; Bonnemann, S.; Hubalek, S.; Neumann, S.; Soestmeyer, G.*: Beleuchtung bei Schichtarbeit. DGUV Forum (2009) Nr. 12, S. 30-31
- [33] Wirkung des Lichts auf den Menschen (Licht.wissen 19). Hrsg.: Fördergemeinschaft Gutes Licht, Frankfurt am Main 2010  
[http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lichtwissen19\\_Gesundheit.pdf](http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lichtwissen19_Gesundheit.pdf)  
 28. Mai 2013

## Literatur

- [34] *Eder, F.; Mayr, J.*: Linzer Fragebogen zum Schul- und Klassenklima für die 4.-8. Klassenstufe (LFSK 4-8). Hogrefe, Göttingen 2000
- [35] *Petermann, U.; Petermann, F.*: LSL. Lehrereinschätzliste für Sozial- und Lernverhalten. Hogrefe, Göttingen 2006
- [36] *Brickenkamp, R.*: Aufmerksamkeits-Belastungs-Test d2. 8. Aufl., Hogrefe, Göttingen 1994





**Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Mittelstraße 51  
10117 Berlin  
Telefon: 030 288763800  
Fax: 030 288763808  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)