

## **Akustische Ergonomie als Rahmenfaktor für pädagogische Effizienz**

Gerhart Tiesler und Markus Oberdörster<sup>1</sup>

### **Kurzfassung**

*Das Ergebnis einer Studie zum „Lärm in Bildungsstätten“, gefördert durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in Dortmund, wird vorgestellt. Es wurden 520 Unterrichtsstunden der Klassenstufen 1 bis 10 beobachtet, bestehend aus Schallpegelmessungen, Unterrichtsbeobachtung, Protokolle über außergewöhnliche Ereignisse. In jeder beteiligten Klasse wurde der Unterricht über eine volle Woche aufgezeichnet. Ferner wurde über zwei Interventionsmaßnahmen der Versuch unternommen, den „Lärm“ zu reduzieren, eine pädagogische Maßnahme in zwei Grundschulklassen, sowie die Sanierung der Raumakustik entsprechend der DIN 18041 von 2004 in drei Grundschulklassen. Die Interventionen wurden durch entsprechende Beobachtung jeweils vorher und nachher auf ihre Wirkung – Schallpegel und Lehrerbeanspruchung - überprüft.*

### **Keywords**

*Schüllärm, Herzfrequenzmessungen, Empirie, Grundschule*

---

## **Einleitung**

In Schulen lehren und lernen Menschen. Dadurch entstehen Geräusche, die belästigen, stören und als Lärm empfunden werden. Dies wird von 80 % der in Schulen Lehrenden als wichtiger Belastungsfaktor angegeben [1]. Das von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin geförderte Projekt „Lärm in Bildungsstätten“ [2] ist diesem Problem nachgegangen und hat neben einer Bestandsaufnahme der realen Situation Möglichkeiten untersucht, wie diesem Belastungsfaktor begegnet werden kann.

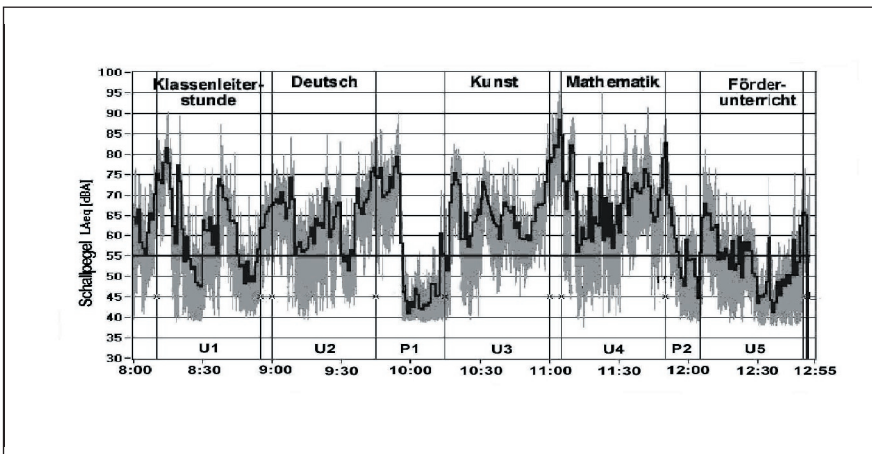
---

<sup>1</sup> Eingereicht am 22.07.05, angenommen am 01.08.05

## Ergebnisse

Bildungsstätten werden hier exemplarisch vertreten durch einige Regelschulen (4 Grundschulen und 1 Sek I Zentrum). Insgesamt wurden 30 Klassenräume bezüglich ihrer raumakustischen Merkmale überprüft. Ferner wurden in insgesamt 565 Unterrichtsstunden der 1. bis 10. Jahrgangsstufe die geräuschwirksamen Ereignisse, sowie Arbeitsformen des pädagogischen Prozesses durch je zwei Beobachterinnen registriert; gleichzeitig wurde der Schallpegel aufgezeichnet sowie der Herzfrequenzverlauf bei den Lehrenden. In dieser Studie wurden als durchschnittliche Schallpegel für eine Unterrichtsstunde (Beispiel in Abb. 1) Werte zwischen 60 und 85 dB(A) gemessen. Dies sind Schallpegel, die z.T. um ein mehrfaches die Schallintensitäten übersteigen, die von der Arbeitswissenschaft für Tätigkeiten mit informatorischer Arbeit empfohlen werden [3].

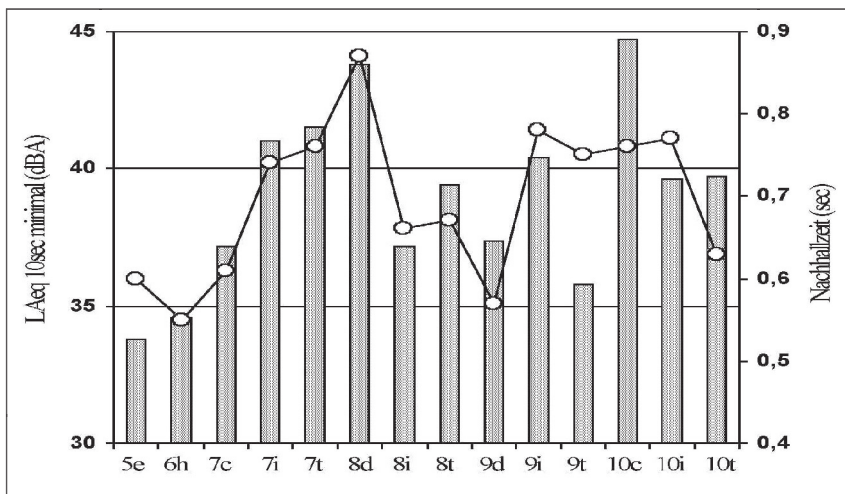
Eine Sortierung der Unterrichtsstunden nach Schulen ergibt eine Auffälligkeit, die sich durch unterschiedliches Umgehen der Kollegien mit Verhaltensproblemen kennzeichnet. In Tab. 1 wird deutlich, dass der Unterricht an den Schulen III und IV etwa 5 dB(A) leiser ist, als an den beiden anderen Grundschulen I und II. Hier stehen die „leisen“ Schulen (III + IV) mit einem „Lernen von Sozialverhalten“ vom ersten Schultag an den „lauten“ Schulen (I + II) gegenüber, bei denen es kein einheitlich praktiziertes Ritual der Verhaltenslenkung gibt.



**Abb. 1:** Tagesprofil des Schallpegels einer 1. Klasse, typisch für den Alltag in Grundschulen, dargestellte Kurven: grau  $L_{Aeq,1sec}$ , schwarz  $L_{Aeq,1min}$

**Tab. 1:** Verteilung der Unterrichtsschallpegel  $L_{Aeq,1min}$  [dBA] über alle beobachteten Unterrichtsstunden der beteiligten Grundschulen

	Schule I	Schule II	Schule III	Schule IV
<b>gültige Fälle</b>	69	45	145	16
<b>10. Perzentil</b>	65,9	65,3	60,1	59,7
<b>Median</b>	70,3	70,1	66,7	64,2
<b>90. Perzentil</b>	76,3	75,2	73,8	74,5

**Abb. 2:** Nachhallzeiten aller Klassenräume des Sek I Zentrums (Säulendarstellung). Die Punkte stellen den 10sec-Minimalpegel im Unterricht in dem jeweiligen Klassenraum dar

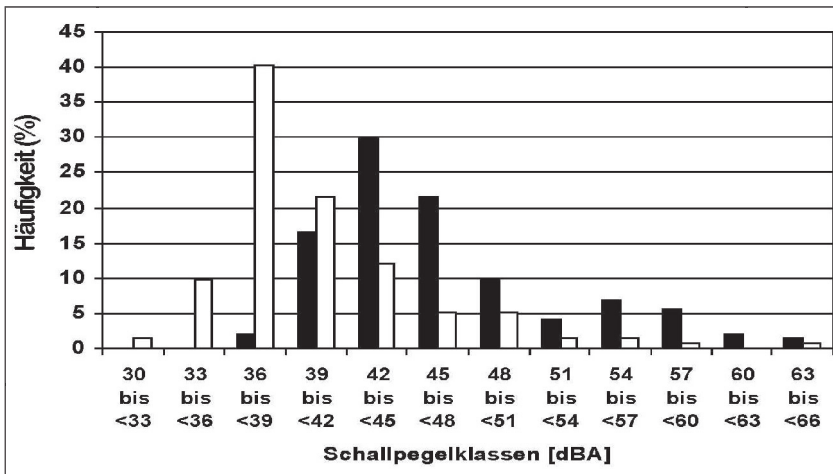
SUST & LAZARUS [3] fordern, dass in Räumen für Bildungszwecke Hintergrundgeräuschpegel (um 30 – 45 dB(A)) und Nachhallzeiten (um 0,4 sec) noch deutlich niedriger liegen müssen, als sonst für kognitive Tätigkeit empfohlen wird. Hauptmedium von Bildungsprozessen ist die verbal-auditive Kommunikation, Sprechen (Informieren und Erklären) und Hören (Verstehen und Verarbeiten). Eine fehlerfreie Informationsübertragung setzt optimale raumakustische Bedingungen voraus, beurteilbar über **Nachhallzeit** und **Sprachverständlichkeits-Index** (STI). Die Bedeutung der Nachhallzeit eines Unterrichtsraumes für die Geräuschentwicklung wird aus der Abbildung 2 deutlich. Hier sind den jeweiligen gemessenen Nachhallzeiten die im Unterricht gemessenen leisesten 10 sec als Grundgeräuschpegel gegenübergestellt [4].

## „Pädagogische Intervention“

Eine in zwei Grundschulklassen durchgeführte „pädagogische Intervention“ (Sensibilisierung für das Thema Lärm und Verhaltenstraining mit Unterstützung durch das „Sound Ear“<sup>2</sup>) über je eine Woche zeigte eine leichte Senkung des Schallpegel im Unterricht (1-3 dB(A)). Dass der Erfolg geringer ausfällt als in Tab. 1 dargestellt (Schulen mit unterschiedlichen pädagogischen Konzepten), wird darauf zurückgeführt, dass hier ein selektives Training mit zwei einzelnen Klassen und deren Klassenlehrern einer größeren Grundschule durchgeführt wurde, ohne Beteiligung aller in den Klassen unterrichtenden Lehrer und im Gegensatz zu dem gemeinsamen Konzept eines Schulkollegiums, wie zu Beginn dargestellt.

## „Akustische Ergonomie“

Die Auswirkungen der verkürzten Nachhallzeit ist direkt über den Unterrichtsschallpegel zu messen, doch welche Auswirkungen hat dies auf die darin arbeitenden Menschen, abgesehen von der Aussage, dass das Sprechen und Hören weniger anstrengend ist?



**Abb. 3:** Häufigkeitsverteilung des Grundgeräuschpegels vor (■) und (□) nach der Sanierung. Die Daten beziehen sich auf die gleiche Klasse, gleiche Lehrerin und den ansonsten unveränderten Klassenraum

Basierend auf früheren Untersuchungen zur Klassenraumakustik [5; 6] wurden im vorliegenden Projekt drei Klassenräume mit einer stark absorbierenden Ausstattung

<sup>2</sup> Das „Sound Ear“ ist ein Lautstärkenanzeiger, der ein optisches Warnsignal abgibt, wenn es im Raum zur Überschreitung eines bestimmten, vorher einstellbaren Geräuschpegels kommt (vgl. Hinweis auf Seite 33)

versehen. Dabei wurden die in der DIN 18041 empfohlenen Nachhallzeiten in allen drei Fällen deutlich unterschritten. Die erzielten Nachhallzeiten zwischen 0,3 und 0,4s verhielten sich dabei von 100 – 5000Hz in allen Räumen nahezu linear. Erwartungsgemäß ging die stark bedämpfte Raumcharakteristik ein wenig zu Lasten des Raumklangs, dafür bestachen die umgebauten Klassenräume jedoch mit einer fast studioartigen Sprachverständlichkeit (STI0,85).

Die erzielten Pegelminderungen waren im Ergebnis deutlich höher, als das durch die eingebrachte Absorptionsfläche rechnerisch zu erwarten war. In einer Grundschule ging der im  $L_{A95}$  erfasste Grundgeräuschpegel bei einer Nachhallzeitreduktion von 0,75s auf 0,35s über mehrere Unterrichtswochen gemessen um durchschnittlich fast 9dB(A) zurück! In Abbildung 3 ist die Häufigkeitsverteilung der im gesamten Unterricht der beiden Beobachtungswochen gemessenen Schallpegel  $L_{Aeq,5min}$  dargestellt. Die Reduzierung des Pegels wird hier deutlich.

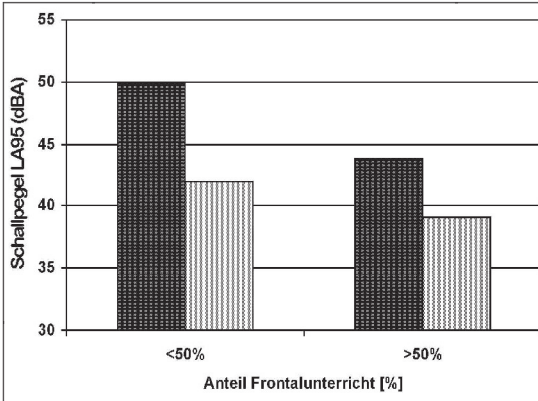
## Zusammenhänge und eine erste Bilanz

Bezogen auf die Gesprächsanteile in den einzelnen Unterrichtseinheiten erfolgte diese Reduktion ohne einen Eingriff in das Kommunikationsgeschehen selbst. Der Beitrag der jeweiligen Redeanteile zum allgemeinen Grund- bzw. Arbeitsgeräuschpegel blieb im Verhältnis unverändert – jedoch auf einem jeweils niedrigeren Niveau. Allerdings war die Senkung des Geräuschpegels stark abhängig vom Anteil der differenzierten bzw. frontalen Arbeitsformen einer Unterrichtseinheit. Gerade die offenen Arbeitsformen profitierten überproportional stark von der veränderten Situation. Während in rein frontal unterrichteten Stunden die Pegelreduktion auf Werte um die 6dB(A) beschränkt blieb, waren projektorientierte, offene Stunden – bei vergleichbarem Lehrer- und Schülerredeanteil - um durchschnittlich (!) 12dB(A) leiser als vor der Sanierung [7].

Die durchgeführte Unterrichtsbeobachtung ermöglicht die Unterteilung der Aufzeichnungen in Phasen mit überwiegend „Frontalunterricht“ bzw. „differenzierter Arbeitsform“, sowie anderen wie z.B. „organisatorische“, etc. Der Vergleich der gemessenen Schallpegel in Phasen mit überwiegend (>50%) und weniger (<50%) „Frontalunterricht“ ist in der Abbildung 4 dargestellt.

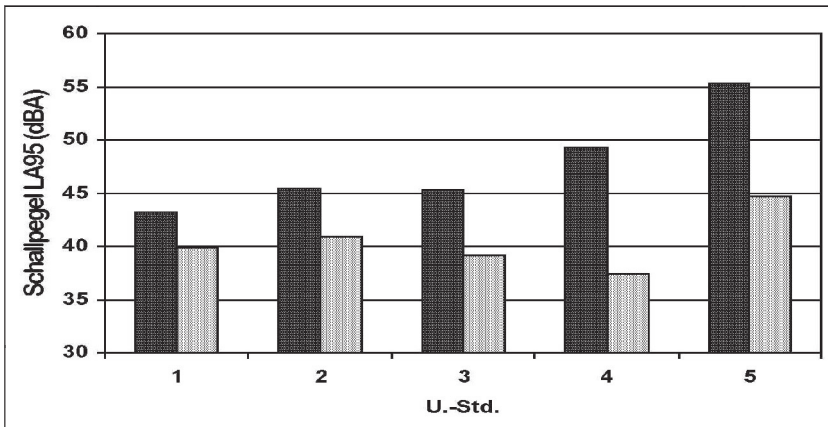
Hier wird einmal der Unterschied im Grundgeräuschpegel zwischen den Arbeitsformen deutlich, aber auch die Auswirkung der raumakustischen Sanierung.

Damit schaffen stark gedämpfte Räume zumindest eine Voraussetzung für die breit gefächerten Anforderungen an den modernen Unterricht. Der beeindruckendste und langfristig vielleicht wichtigste Effekt war jedoch das Ausbleiben des üblichen Pegelanstiegs über den Vormittag hinweg, dargestellt in Abbildung 5.



Dieses Ergebnis korreliert auffällig mit den Ergebnissen der Herzfrequenzanalysen und liefert evtl. den Erklärungsansatz für die dort gefundene geringere physiologische Arbeitsbelastung nach der akustischen Sanierung.

**Abb. 4:** Durchschnittlicher Grundgeräuschpegel vor (■) und nach (▨) der Sanierung in Abhängigkeit vom Anteil frontaler Arbeitsformen (alle beobachteten U.-Std.)

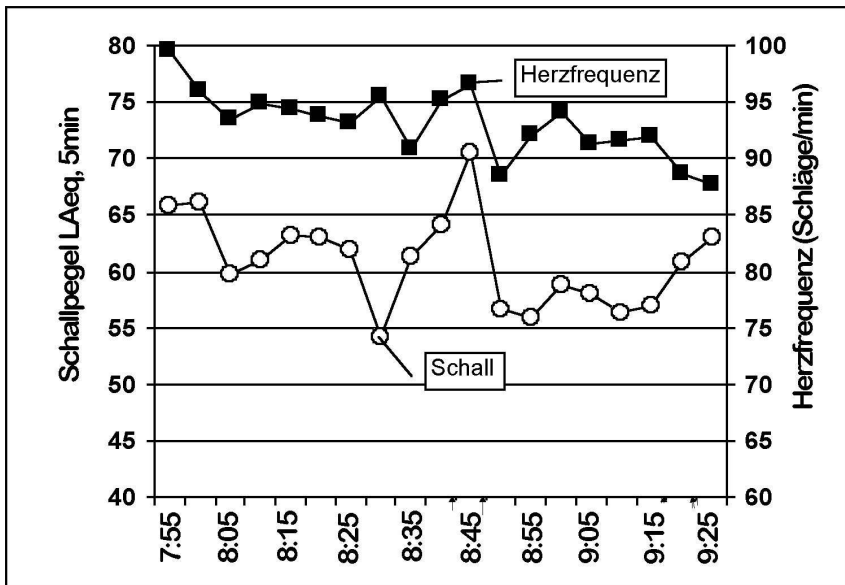


**Abb. 5:** Entwicklung des Grundgeräuschpegels über den Vormittag vor (■) und nach (▨) der Sanierung (alle beobachteten U.-Std. in zwei Wochen)

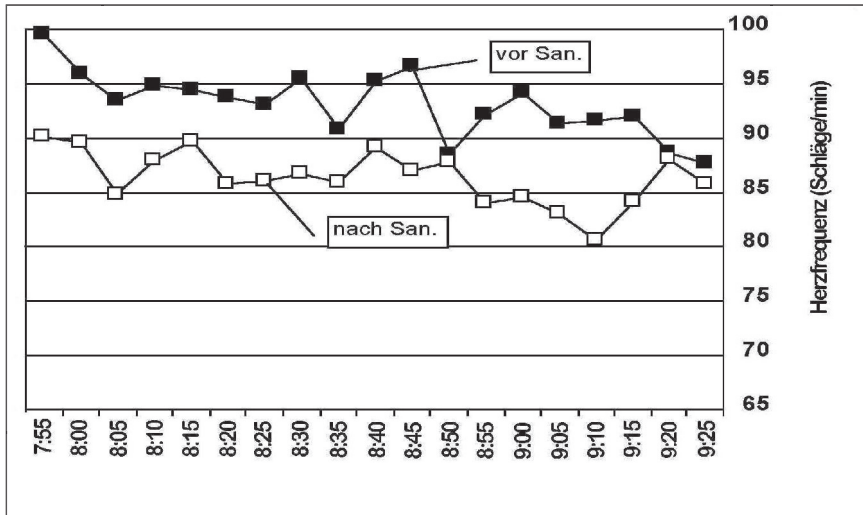
## Lärmwirkung

Der bei den Lehrkräften parallel aufgezeichnete Verlauf der Herzfrequenz dient als Indikator für Beanspruchung. In Abbildung 6 ist zeitparallel der Verlauf der Herzfrequenz der unterrichtenden Lehrerin und des Schallpegels über 2 Unterrichtsstunden dargestellt. Auffallend ist der weitgehend synchrone Verlauf, d.h. höherer Schallpegel hat eine gesteigerte Herzfrequenz als Zeichen für höhere Beanspruchung zur Folge bzw. umgekehrt.

Vergleicht man die Geräuschsituation nach der Sanierung mit dem gleichen Unterricht vorher, so zeigt sich eine Pegelreduktion zwischen 5 und 8 dB(A). Die Veränderung der Beanspruchungsreaktion, gemessen über die Herzfrequenz, ist in Abbildung 7 dargestellt. Hier ergibt sich eine Senkung der Herzfrequenz um 5 bis 10 Schläge/min.



**Abb. 6:** Synchroner Aufzeichnung von Schallpegel und Herzfrequenz der Lehrkraft über zwei Unterrichtsstunden (Herzfrequenz, Schallpegel  $L_{Aeq,5\text{ min}}$ )



**Abb. 7:** Herzfrequenz als Indikator für Beanspruchungsreaktion über zwei Unterrichtsstunden vor (■) und nach (□) der raumakustischen Sanierung (gleicher Wochentag, gleiche Unterrichtsfächer)

Fazit: Neben der Reduzierung des Stressors „Lärm“ wird auch dessen Wirkung auf den Menschen verringert, die Belastung wird geringer, aber auch die Beanspruchung. Möglicherweise wird auch der Unterricht „effizienter“.

## Literatur

- [1] SCHÖNWÄLDER, H.-G., J. BERNDT, F. STRÖVER & G. TIESLER (2003): Belastung und Beanspruchung von Lehrerinnen und Lehrern. Schriftenreihe der BAuA, Fb 989, NW-Verlag, Bremerhaven
- [2] SCHÖNWÄLDER, H.-G., J. BERNDT, F. STRÖVER & G. TIESLER (2004): Lärm in Bildungsstätten - Ursachen und Wirkung. Schriftenreihe der BAuA, Fb 1030, NW-Verlag, Bremerhaven
- [3] SUST, CH. & H. LAZARUS (1997): Auswirkungen von Geräuschen mittlerer Intensität in Schule, Aus- und Weiterbildung. BauA (Hrsg.): Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse 103, NW-Verlag, Bremerhaven
- [4] TIESLER, G. & M. OBERDÖRSTER (2005): Lärm in Bildungsstätten – Ursachen und Konsequenzen. 2. Akustikforum, Stuttgart
- [5] NILSSON, E. & P. HAMMER (1995): Subjective evaluation of speech intelligibility for normal-hearing persons. Lund Institute of Technology, ISSN 0281-8477
- [6] MCKENZIE, D. & S. AIREY (1999): Classroom Acoustics. Heriot-Watt University, Edinburgh
- [7] OBERDÖRSTER, M. & G. TIESLER (2005): Akustische Maßnahmen in Klassenräumen – Grundlagen für effizienten Unterricht. 2. Akustikforum, Stuttgart



## Glossar

---

$p$	gemessener Schalldruck
$p_0$	Hörschwelle $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa
$L_p$	Schalldruckpegel
$L_{eq,T}$	Mittelungspegel über die Zeit T
$L_{Aeq,T}$ Zeit T (gehörrechtig) entsprechend dem menschlichen Ohr (A)	Mittelungspegel Frequenzbe- wertung $L_p = 10 \times 1g \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) dB$
$L_{A95}$	Schallpegel, der in 95 % der Zeit überschritten wird Grundgeräuschpegel
$L_{A1}$	Schallpegel, der in 1 % der Zeit überschritten wird
Hintergrund- geräuschpegel	Geräuschpegel in der leeren Klasse, z.B. Lüftung, technische Geräte, Verkehr, etc.
Nachhallzeit	Die Zeit, die der Schalldruckpegel benötigt, um auf (-) 60 dB abzuklingen
Sprachverständlich- keits-Index (STI)	Der Sprachverständlichkeits-Index <b>STI</b> ist ein ma- schinengemessenes Verständlichkeitsmaß, dessen Wert zwischen 0 (vollständig unverständlich) und 1 (vollständig verständlich) liegt
10 sec Minimalpegel	Die leisesten im Unterricht gemessenen 10 sec

---

## Verfasser

Gerhart Tiesler, Institut für interdisziplinäre Schulforschung (ISF), 28359 Bremen, Deutschland, Email: tiesler@uni-bremen.de

Markus Oberdörster, Saint-Gobain Ecophon GmbH, 23556 Lübeck, Deutschland, Email: markus.oberdoerster@ecophon.de

Zur weiteren Information über das Thema „Lärm“ sind folgende Artikel in der Zeitschrift „*Pluspunkt - Sicherheit und Gesundheit in der Schule*“ - Ausgabe 3, 2005 (Rheinischer Gemeindeunfallversicherungsverband) lesenswert:  
Lärm - ein allgegenwärtiges Grundproblem; S. 3 (zur Lärmprävention)  
Wege aus dem Lärm; S. 4-6 (Hinweise auf geräuscharmen Unterricht)  
Lärm sichtbar machen; S. 6-7 (Lärmampel und Soundear - Geräte)  
Ganz Ohr; S. 8-9 (Projekte zum Thema Lärm)  
Die Gefahr ist nicht hörbar; S. 20 (Lärmpegel im Vergleich)

Die Herausgeber