

Nachhallzeiten von Klassenräumen, eine bundesweite Erhebung

Carsten Ruhe

hörgerecht planen und bauen, 25497 Prisdorf, E-Mail carsten.ruhe@hoeren-und-bauen.de

Anlass

Für den Beitrag über die Geräusche dezentraler Raumluft-Filteranlagen zur DAGA2022 [1] wurden die mittleren Nachhallzeiten und Volumina von Klassenräumen benötigt. Die dortige Abb. 8 ließ bei 140 Messwerten erhebliche Abweichungen von der Anforderung für die Raumgruppe A4 nach DIN 18041 erkennen. Daraus entstand die Idee, für eine größere Datenbasis nicht nur die Kolleg:innen des FA Bau- und Raumakustik und der VMPA-Güteprüfstellen, sondern auch weitere Personenkreise aus dem schulischen Bereich und aus den Unfallkassen der Länder um Daten von Nachhallzeit-Messungen in Klassenräumen aus den letzten Jahren zu bitten. Auch wurde abgefragt, ob die Messungen wegen Beschwerden, als Vorbereitung einer Sanierung oder als Abnahmemessungen nach Fertigstellung ausgeführt wurden. Möglicherweise lässt sich aus den Beschwerdefällen auch ein Schluss auf die Bedeutung der tiefen Frequenzen ziehen.

Datenerhebung

Bis Anfang März 2023 kamen von 47 Berufs-Akustikern und 16 Förder-Schulen aus allen 16 Bundesländern insgesamt 2130 vollständige Datensätze zusammen. Diese großartige Bereitschaft so vieler Institutionen, an der Umfrage teilzunehmen und (mit dem entsprechenden Zeitaufwand) so viele Datensätze aus den Unterlagen herauszusuchen und zusammenzustellen, zeigt deutlich, für wie wichtig diese Fachleute eine gute Klassenraum-Akustik ansehen. Die wissenschaftlichen Untersuchungen über den damit verbundenen Lernerfolg aller Kinder (guthörende, schwerhörende und fremdhörende gleichermaßen) belegen diese Notwendigkeit seit Jahren eindeutig.

Auswertungen

Die prozentualen Anteile der Akustiker und Schulen (74/26%) und der Datensätze (68/32%) sind ähnlich. Der Anteil der von den Förderschulen gelieferten Daten ist beachtlich und unerwartet hoch. Die Verteilung der Datensätze auf die Bundesländer im Vergleich zum jeweiligen Bevölkerungsanteil ist sehr ungleichmäßig. Während aus BAY und NDS jeweils allein von einer einzelnen Person etwa 300 Datensätze übersandt wurden, liegen aus NRW, SAA, BRB und SAC prozentual deutlich zu geringe Anteile vor. Das ist bei der späteren Beurteilung zu bedenken.

Der bundesweite Mittelwert der Raumvolumina liegt bei 206 m^3 und die mittlere Nachhallzeit der unbesetzten Räume beträgt $T_m = 0,78 \text{ s}$. Die untere Standardabweichung tangiert gerade eben die obere Grenze des Toleranzbereichs. Die Häufigkeitsverteilung der mittleren Nachhallzeiten in Klassen von $0,05 \text{ s}$ Breite und die zugehörige Verteilungsfunktion zeigt die **Abbildung 1**.

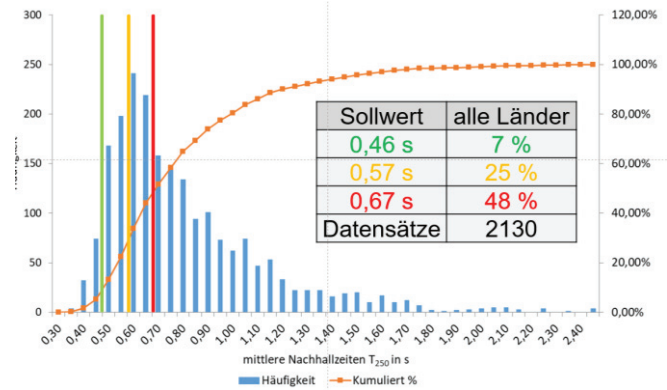


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung und Verteilungsfunktion der bundesweiten mittleren Nachhallzeiten mit Grenzwert-Linien

Weil das Baualter der untersuchten Schulen bis an das Ende des 19. Jahrhunderts zurückreicht, werden die Messwerte nicht nur mit den Vorgaben aus DIN 18041:2016 verglichen ($T_{\text{soll}} = 0,46 \text{ s}$), sondern auch mit denen der vorherigen Fassungen von 2004 ($0,57 \text{ s}$) und 1968 ($0,67 \text{ s}$).

Bezogen auf die heutige RG A4 mit $T_{\text{soll}} = 0,46 \text{ s}$ erfüllen lediglich 7 % der bundesweiten Messwerte die Anforderung; nach der Vorgänger-Norm (jetzt RG A3) mit $T_{\text{soll}} = 0,57 \text{ s}$ immerhin 25 %. Selbst der „ganz alte“ Bezugswert von $0,67 \text{ s}$ wird von nicht einmal der Hälfte der Messwerte eingehalten. Vergleiche hierzu die grüne, orangene und rote Grenzwert-Linie in **Abbildung 1**. Aus der Arbeit von Oberdörster und Tiesler [2], dort Abb.5.14, stammt die um einige eigene Messwerte ergänzte **Abbildung 2**. Sie beschreibt für den Bereich von $0,3 \text{ s}$ bis $0,8 \text{ s}$ den Zusammenhang zwischen Nachhallzeit und Sprachübertragungsindex STI in Klassenräumen. Mit der heutigen Norm-Anforderung von $T_{\text{soll}} = 0,45 \text{ s}$ wird ein $\text{STI} > 0,75$ erreicht. Weil die Sprachverständlichkeit bei längeren Nachhallzeiten schlechter wird, wird der Lernerfolg aller Kinder durch die zu langen Nachhallzeiten stark beeinträchtigt.

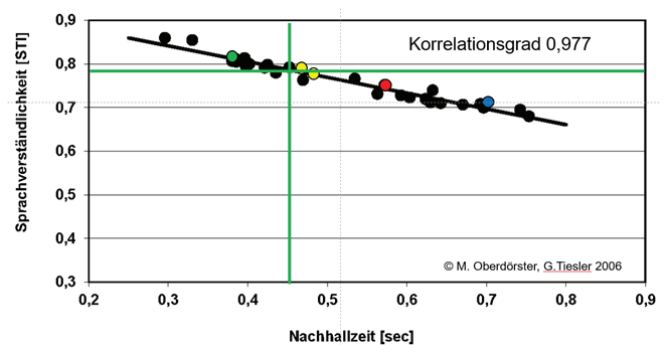


Abbildung 2: Sprachverständlichkeit STI in Abhängigkeit von der Nachhallzeit T

Wenn man sich traut, die Regressionsgerade weiter nach rechts zu verlängern, dann kommt man bei $T > 1,3 \text{ s}$ (das sind

immerhin 9% der Klassenräume) auf eine Sprachverständlichkeit, die der von Bahnhofshallen ähnelt. In DIN 18041 heißt es nicht ohne Grund: *Die raumakustische Situation für Sprachkommunikation wird umso günstiger empfunden, je kürzer die Nachhallzeit ist. ... Im Zweifelsfall sollten in Räumen zur Sprach-Information und -Kommunikation eher kürzere als längere Nachhallzeiten realisiert werden.*

Hinzu kommt, dass der STI nicht im gesamten Klassenraum gleich ist, sondern sich mit zunehmendem Abstand vom Sprecher verschlechtert. In **Abbildung 3** sind zwei STI-Kurven für etwa gleich große Klassenräume dargestellt, deren Nachhallzeiten sich um den Faktor 2 unterscheiden ($T_m = 0,44$ s bzw. $0,92$ s).

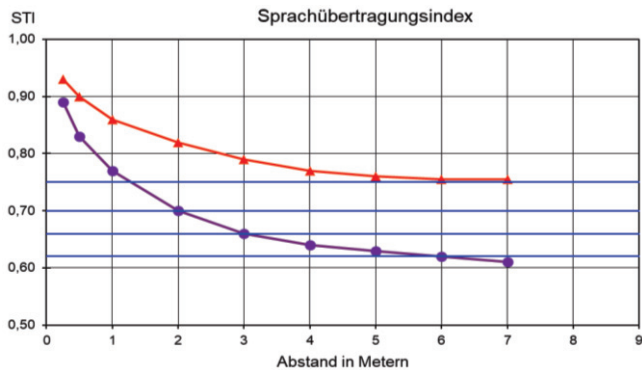


Abbildung 3: STI in Abhängigkeit vom Abstand in Klassenräumen mit $T_m = 0,44$ s bzw. $T_m = 0,92$ s und Grenzwert-Linien der Kategorien A bis D nach DIN EN 60268-16

Auswertung nach Bundesländern

Das Bauen ist Ländersache. Deshalb wurden die Nachhallzeiten auch für alle Bundesländer einzeln ausgewertet. Um die Darstellung nicht zu unübersichtlich zu machen, sind die alten und die neuen Bundesländer getrennt abgebildet.

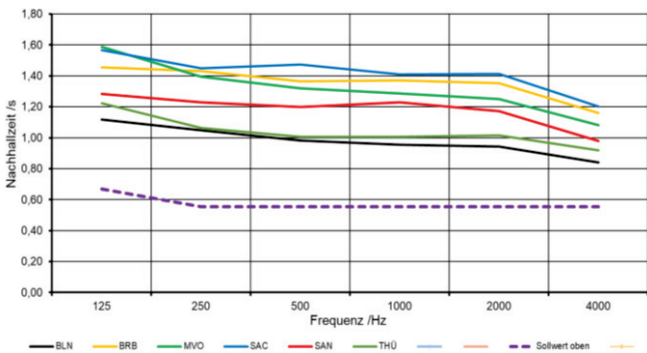
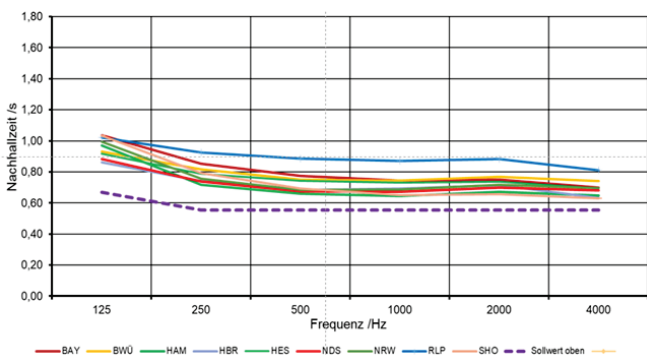


Abbildung 4: Oktavwerte der mittleren Nachhallzeiten, alte und neue Bundesländer sowie Obergrenze des Toleranzbereiches zu $T_{soll} = 0,46$ s (gestrichelt)

Aufgrund der großen Datensatz-Anzahl (1830) liegen die Mittelwerte der alten Bundesländer recht nahe beieinander. Für die neuen Bundesländer mit nur 300 Werten ist aber keine gesicherte Aussage möglich, ob die einzelnen Länder tatsächlich so stark gegeneinander differieren. Dennoch ist ganz eindeutig zu erkennen, dass die raumakustische Situation in den neuen Bundesländern nochmals deutlich schlechter ist als in den alten. Das zeigt auch die **Abbildung 5**. Der Mittelwert in den neuen Bundesländern ist mit $T_m = 1,12$ s um über 50 % höher als in den alten mit $T_m = 0,73$ s.

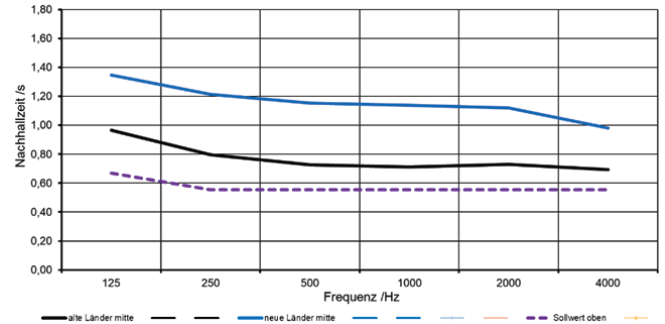


Abbildung 5: Mittelwerte der Oktav-Nachhallzeiten in den 10 alten und 6 neuen Bundesländern sowie Obergrenze des Toleranzbereiches zu $T_{soll} = 0,46$ s (gestrichelt)

Die Gesamt-Mittelwerte der einzelnen Bundesländer sind in **Abbildung 6** einander gegenübergestellt. Deutlich sind dort die erheblichen Unterschiede zwischen den alten Ländern (links) und den neuen (rechts) zu erkennen. Die Werte für SAA und SAC sind nicht stichhaltig, weil zu wenige Proben vorliegen. $T_{m,125}$ kennzeichnet den Mittelwert über die sechs Oktaven von 125 Hz bis 4000 Hz, während bei $T_{m,250}$ nur über die fünf Oktaven von 250 Hz bis 4000 Hz gemittelt wurde. Dazu später mehr.

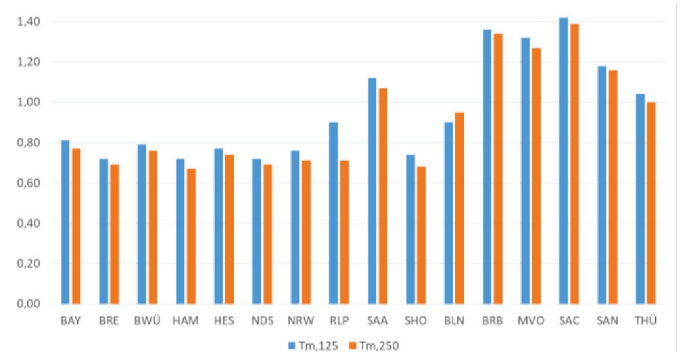


Abbildung 6: Nachhallzeit-Mittelwerte der Bundesländer; die der neuen Länder sind auffällig länger als die der alten

Vergleich mit den Anforderungen

Die Anforderungen der drei verschiedenen Ausgaben von DIN 18041 werden in den alten und neuen Ländern unterschiedlich gut erfüllt. Auch wenn die alten Länder günstiger erscheinen, ist deren Situation dennoch weit davon entfernt, schon als „gut“ zu gelten. Die in den neuen Ländern längeren Nachhallzeiten müssen durch unterschiedliche Ausstattungen mit weniger Absorptionsfläche begründet sein, denn die mittleren Volumina sind mit 194 m³ in den neuen Bundesländern sogar geringfügig kleiner als in den alten mit 207 m³.

Tabelle 1: Anteile der Datensätze, die den jeweiligen Anforderungswert einhalten

Anforderung	alte Länder	neue Länder
heute: 0,46 s	8 %	2 %
2004: 0,57 s	31 %	9 %
1968: 0,67 s	52 %	20 %
Datensätze	1830	300

Bedeutung der tiefen Frequenzen

In den letzten 15 Jahren wurde immer wieder einmal behauptet, lange Nachhallzeiten in der Oktave von 125 Hz würden sich besonders ungünstig auswirken und Anlass zu massiven Beschwerden geben. Auch in diesem Sinne wurden die vorliegenden Daten untersucht. Zum Sortieren wurden die Mittelwerte $T_{m,125}$ (Mittelwert von 125 Hz bis 4000 Hz, also 6 Oktaven) und $T_{m,250}$ (Mittelwert von 250 Hz bis 4000 Hz, nur 5 Oktaven) ins Verhältnis gesetzt. Anschließend wurde sortiert mit dem Ergebnis:

Tabelle 2: absolute und prozentuale Anteile der Datensätze mit auffällig langen tieffrequenten Nachhallzeiten.

$T_{m,125}/T_{m,250}$	>1,20	>1,15	>1,10	>1,05
Datensätze	132	261	520	1054
re. 2120 Ds.	≈ 5 %	≈ 10 %	≈ 25 %	≈ 50 %

Zunächst wurde für eine Abweichung von mehr als 20% ausgewertet. Weil diese nur für 5% der Datensätze und damit – gegenüber der Behauptung – auf einen recht kleinen Anteil zutrifft, wurden die Abweichungs-Anteile für 15%, für 10% und schließlich auch für 5% erfasst. Das betrifft dann 10%, 25% bzw. 50% aller Datensätze, in den letzten beiden Fällen also ein Viertel bzw. sogar die Hälfte. Erstaunlich sind die zugehörigen mittleren Spektren nach **Abbildung 7** im Verhältnis zum Mittelwert aller 2130 Datensätze.

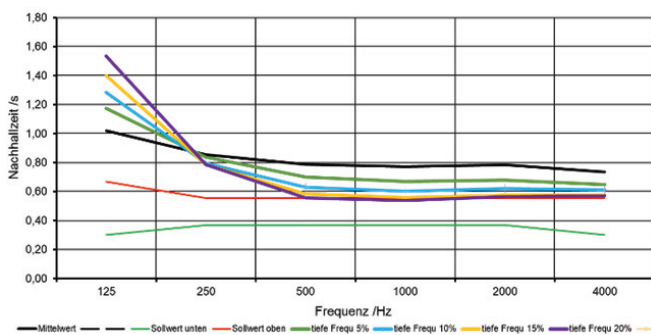


Abbildung 7: Vergleich aller Datensätze zu denen mit auffälligen tiefen Frequenzen und zum Toleranzbereich für $T_{soll} = 0,46$ s

Hier wird offenbar „auf hohem Niveau gestöhnt“! Zwar sind die Nachhallzeiten bei 125 Hz in diesen Fällen tatsächlich deutlich länger als im Gesamt-Mittelwert. Dafür sind sie aber bereits ab 250 Hz und dann durchgehend bis 4000 Hz deutlich niedriger. Je größer die Abweichung bei 125 Hz ist, desto niedriger liegen die Werte bei den höheren Frequenzen. Besonders lange Nachhallzeiten im Zusammenhang mit gleichzeitig ebenfalls langen Werten im übrigen Frequenzbereich kommen also offenbar nur sehr selten vor und sind deshalb in den Mittelwerten nicht erkennbar. Einige eigene Nachfragen bei Lehrkräften im Zusammenhang mit Nachhallzeitmessungen in den Jahren 2001 bis 2004 führten dagegen

zu der Erkenntnis, dass längere tieffrequente Nachhallzeiten nicht beanstandet, kurze Werte im mittleren und hohen Frequenzbereich dagegen (in Bezug auf Sprache und Verständlichkeit im Unterricht) gelobt werden.

Aufgabe für die Hersteller von Deckenplatten

Zwar sind genaue Begründungen für die unterschiedliche Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeiten im Mittel und bei den Messungen mit starkem tieffrequenten Anteil noch nicht genau bekannt. Dennoch lässt sich daraus eine Aufgabe an die Hersteller weicher Deckenplatten ableiten. Die härteren Deckenplatten nutzen nämlich offenbar für die tieffrequente Schallabsorption auch den Effekt des „Plattenschwingers“ mit aus. Hier sollte man versuchen, diesen Effekt bei den weichen Platten ebenfalls mit anzuwenden. Erste Ideen dazu bestehen.

Gründe für die Messungen

Da bei den Teilnehmenden auch abgefragt wurde, ob die Messungen wegen Beschwerden (B), in Vorbereitung von Sanierungen (S) oder als Abnahmemessungen (A) ausgeführt wurden, konnte auch hiernach ausgewertet werden. Fast alle haben aber mitgeteilt, ihnen falle die Unterscheidung zwischen B und S schwer. Sie wüssten, insbesondere im Nachhinein, nämlich nicht, ob die Sanierung aufgrund von Beschwerden anstehe oder aus anderen Gründen. Diese Unsicherheit lässt sich auch der **Abbildung 8** gut entnehmen. Die Angaben sind offenbar sehr willkürlich erfolgt.

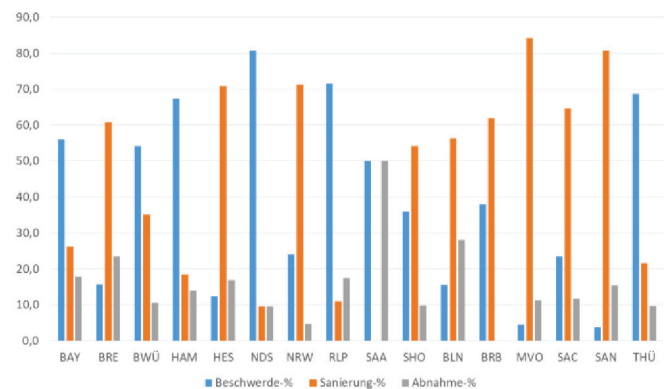


Abbildung 8: Beschwerden, Sanierungen und Abnahmen in %

Während in den alten Bundesländern die Beschwerden mit 57% und die Sanierungen mit 29% „geschätzt“ wurden, ist das Verhältnis in den neuen Ländern genau umgekehrt. Dort wird offenbar eher die Aufgabe einer Sanierung als Anlass für die Messungen vermutet. Tatsächlich wäre dort aber wegen der durchgängig deutlich längeren Nachhallzeiten für weitaus mehr Räume ein Anlass zur Beschwerde vorhanden. Die Abnahmemessungen liegen sowohl in den alten als auch in den neuen Ländern einheitlich bei etwa 14% der Datensätze.

Tabelle 2: Auswertung nach Beschwerde / Sanierung / Abnahme

Länder	Beschwerde	Sanierung	Abnahme
alte	1050 / 57%	538 / 29%	242 / 14%
neue	84 / 29%	174 / 57%	42 / 14%
alle	1134 / 54%	712 / 32%	284 / 14%

Im Bundesmittel liegen die Kurven für die Beschwerdefälle und den Gesamt-Mittelwert fast direkt übereinander, die für die angegebenen Sanierungsfälle etwas höher und die der Abnahmemessungen etwas niedriger. Letztere liegen aber noch über der oberen Toleranzbereichsgrenze, sodass diese abgenommenen Räume im Mittel noch immer nicht die Norm-Anforderungen der Raumgruppe A4 erfüllen.

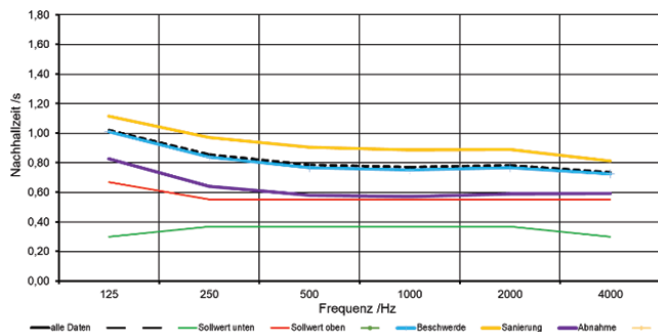


Abbildung 9: Oktavspektrale Bundes-Mittelwerte für Beschwerde, Sanierung und Abnahme

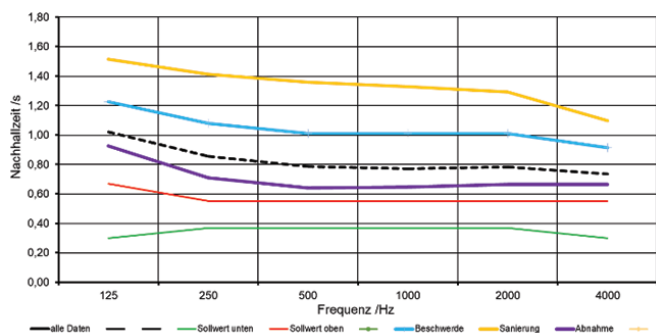


Abbildung 10: Oktavspektrale Neue-Länder-Mittelwerte für Beschwerde, Sanierung und Abnahme

Auch bei Betrachtung der Werte für die neuen Bundesländer allein bleibt die Reihenfolge der Kurven für Sanierung, Beschwerde und Abnahme von oben nach unten gleich. Nach **Tabelle 2** sind aber doppelt so viele Sanierungen wie Beschwerden angegeben.

Weder der **Abbildung 9** noch der **Abbildung 10** sind bei den Kurven für Beschwerden nennenswerte Anhebungen bei 125 Hz zu entnehmen. Hier scheint es sich also wohl doch eher um eine Mär zu handeln...?

Pädagogische Notwendigkeiten

Gute (nachhallarme) Raumakustik

- gewährleistet die Sprachverständlichkeit
- mindert Lärm und Störgeräusche (Kneipeneffekt)
- verringert Stress (gut untersucht für die Pädagogen)
- verringert Blutdruck-Anstieg
- verringert Anstieg der Pulsfrequenz
- verbessert den Umgang miteinander
- vermeidet laute Reaktionen (z. B. bei Autismus)
- verringert Gefahr der Lärm-Schwerhörigkeit (Sporthallen)
- verringert Gefahr des lärmverursachten Tinnitus
- verringert Gefahr von Stimm- und Sprechproblemen
- verringert den Krankenstand bei Lehrern und Schülern
- spart deshalb Geld

Tinnitus, Burnout und lärmverursachte Schwerhörigkeit sind die häufigsten Gründe für die Frühberentung von Lehrern.

Eine bessere Raumakustik könnte also dem Lehrermangel abhelfen. Auf der „Empfängerseite“ wird beim schlechten Verstehen meistens nur an Kinder mit Hörschädigung gedacht. Tatsächlich sind aber auch alle Kinder betroffen, deren Muttersprache nicht Deutsch ist! In diesem Sinne ist der Bedarf an verstehgerechter Raumakustik in jedem Klassenraum vorhanden und nicht ausschließlich in den sogenannten I-Klassen.

Politische Notwendigkeiten

Deshalb: Forderung an die KMK, endlich nur noch (auch raumakustisch) inklusive Schulgebäude bauen zu lassen.

Unterstützung ist anzustreben durch:

- DEGA-Vorstand, ALD-Vorstand
- Behindertenbeauftragte von Bund, Ländern, Kommunen
- Inklusionsbeauftragte von Bund, Ländern, Kommunen
- Universitäten und Hochschulen für Sonderpädagogik
- Pädagogen-Verbände (z. B. BLLV), GEW und auch DGUV
- Betroffenen-Verbände: z. B. DCIG, DSB und Tinnitus-Liga
- Berufsverbände der HNO-Ärzte
- sonderpädagogische Fachverbände und Elternverbände
- Krankenkassen
- ggfs. weitere?

Zusammenfassung

Aus der vorliegenden statistischen Auswertung von 2120 Datensätzen ist sehr eindeutig zu erkennen, dass die Nachhallzeiten im Mittel im gesamten Bundesgebiet (deutlich) ungünstiger sind als die Anforderungen nach DIN 18041 für die heute als Standard geltende Raumgruppe A4. Sie belegt, dass die Kultusministerien der Länder zur konsequenten Umsetzung eines inklusiven Schulunterrichtes bei ihren Bauministerien – und diese bei ihren zu beauftragenden Architekturbüros – umfangreiche Raumakustik-Nachbesserungen und bei Neubauten entsprechend geplante Maßnahmen einfordern müssen! Dafür liefert diese Erhebung die Grundlagen.

Allen an der Umfrage beteiligten Personen und Institutionen

47 AKUSTIK-BÜROS					
APN	ASB	ASL	BAE	ALB	AMB
FÖRSTER	FuS	GAF	GB	GENEST	GM
GTA	HIT	HPB	HuUDD	IAB	IBAB
IBN	I-BRAS	IFAS	ISS	KÖTTER	KSZ
KuF	KUHN	KuK	KWA	MBBM	MÖHLER
OuT	PEUTZ	PMI	RAUMING	SCA	SuB
SuW	TAC	TuR	TuT	TÜV-NORD	TÜV-SAAR
18 FÖRDER-SCHULEN					
ALTSH.	BÜREN	EUSKI.	ERFURT	FRANKF.	ALTSH.
HILDESH.	KARLSR.	MANNH.	MÜNCHEN	NEUWIED	HILDESH.
OLDENB.	OLPE	SCHLESW.	SCHW.GD.	STEGEN	OLDENB.

wird herzlich für die Überlassung der zahlreichen Datensätze und für den durch deren Zusammenstellen entstandenen Zeitaufwand gedankt!

Literatur

- [1] Ruhe, C.: Dezentrale Raumluft-Filteranlagen – zu laut für den Unterricht! Tagungsband DAGA2022, S. 1350 - 1353
- [2] Oberdörster, M. und Tiesler, G.: Akustische Ergonomie der Schule. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 2006