

Fünf Punkte, warum Lärm in Schulen kein Luxusproblem ist

Schulunterricht soll mit Diktaten, Gruppenarbeiten und Referaten den Lernerfolg sichern. Trotz allen Wandels der äußeren Formen von Schulen und Schulräumen bleibt Sprache jedoch die Konstante bei der Wissensvermittlung. 45-70% einer Schulstunde vergehen damit, dass gesprochen und zugehört wird [1]. Eine gute Akustik in Klassenräumen ist also keine Option, sondern eine Notwendigkeit, wenn Lernfortschritt und Chancengleichheit in Schulen ernst genommen werden.

Der Hörsinn spielt für das Lernen eine herausragende Rolle, in Bezug auf Alter, Sprache und Inklusion sollte deshalb in Klassenräumen auf verschiedene Faktoren geachtet werden. Außerdem werden Flure, Cafeterien und Sporthallen akustisch betrachtet. Niemand würde die Beleuchtung in Schulen vergessen oder gar als unnötig bezeichnen, und wenn, würde sie postwendend nachgerüstet. Schulen ohne angemessene raumakustische Ausstattung gibt es jedoch viele, wie Nachmessungen wiederholt zeigen, z.B. [2]–[4]. Für die Raumakustik steht zunächst im Vordergrund, dass die Sprachübertragung zwischen einer Sprechenden und einer Zuhörenden Person funktionieren kann. Die Schallwellen der Stimme einer Sprechenden Person breiten sich über die Luft aus und werden vom Gehör umgewandelt und ans Gehirn der Zuhörenden Person weitergeleitet, die die Druckschwankungen der Sprachlaute interpretiert. Damit bildet (Sprach-)Verstehen einen wichtigen Beitrag zum Lernerfolg.

Punkt 1: Entwicklung und Sprachverständnis von Kindern

Bei erwachsenen Personen mit normalem Hörvermögen ist Sprache hören und interpretieren sehr stark automatisiert, sodass es uns in unserer Muttersprache wenig Mühe bereitet, Sprache auch in schwierigen Hörsituationen zu verstehen. Die Herausforderungen bestehen meist aus Hintergrundgeräuschen sowie Nachhall in geschlossenen Räumen. Nur in wenigen Situationen bemerken Normalhörende die Grenzen der Sprachverständlichkeit und einer gesteigerten Höranstrengung in ihrem Alltag: Unterhaltungen in sehr lauten Restaurants werden auch von Erwachsenen anstrengend wahrgenommen.

Kinder entwickeln bis weit ins Jugendalter hinein ihre Sprachfähigkeiten. Dies geschieht nicht nur in der Schule, jedoch werden in der Schule zunächst unbekannte Worte wie beispielsweise *Klassenarbeit* oder *Diktat* verwendet, die im häuslichen Kontext nicht vorkommen. Es ist daher logisch, dass sich das Sprachverstehen mit dem Alter der Kinder weiterentwickelt. Das zeigen auch die Daten aus einer kanadischen Studie [5] in Abbildung 1. Dabei wurde in einem akustisch sehr hochwertig ausgestatteten Klassenraum ein Wortverständnistest mit Kindern unterschiedlicher Klassenstufen durchgeführt. Werden über 95% der Wörter richtig verstanden, so geht man von einem nahezu perfekten Wortverständnis aus. In Abbildung 1 ist klar ersichtlich, dass der Anteil der Kinder, die praktisch alles richtig verstehen mit dem Alter ansteigt. Dabei ist erkennbar, dass nur ein kleiner

Anteil der Erstklässler dieses Niveau des Wortverständnisses erreicht (3,9% - 36,6% der Schüler, orangene Balken). Dagegen schneiden Sechstklässler schon deutlich besser ab (21,4% - 74,6% der Schüler, hellblaue Balken). Auf der X-Achse sind unterschiedliche Signal-Noise-Ratios (SNR) angegeben, die beschreiben, wieviel lauter die Sprache im Verhältnis zum Hintergrundgeräusch bei den Tests war. Wird der SNR von 5 dB auf 15 dB angehoben, d.h. wird bei gleicher Sprachlautstärke das Hintergrundgeräusch um 10 dB leiser, so verstehen etwa zehnmal so viele Erst-, viermal so viele Dritt- und dreimal so viele Sechstklässler nahezu alle Worte. Für Erstklässler war selbst bei einem SNR von 15 dB die prozentuale Anzahl an Kindern mit 95% Wortverständnis relativ gering, so dass die Studie einen SNR von 20 dB für Erstklässler empfiehlt.

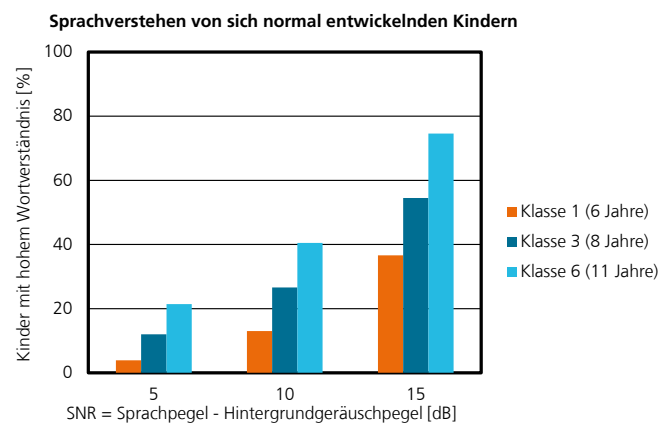


Abbildung 1: Anteil der Kinder mit hohem Wortverständnis in Abhängigkeit vom Alter und vom Verhältnis des Sprachpegels zum Hintergrundpegel SNR [5].

Betrachtet man die typische SNR-Werte in besetzten Klassenräumen, so stellt man fest, dass diese während des Unterrichts eher zwischen 0 dB bis 10 dB liegen und praktisch nie 15 dB überschreiten, da die Hintergrundgeräusche mit Schüler*innen im Klassenraum zu hoch sind [2], [6]–[9]. Das bedeutet wiederum, dass viele Kinder nicht verstandene Wörter kompensieren müssen, und damit nicht ideale akustische Lernbedingungen vorfinden. Die Lernleistung von Schüler*innen ist von den gemessenen Außen- und Innenpegeln im Schulumfeld abhängig [10], was ein weiteres Indiz dafür liefert, wie wichtig die Hintergrundgeräusche als störender Faktor sind.

Punkt 2: Fremdsprache und Muttersprache

Bei Erwachsenen ändert sich die gute Störschallkompensation schlagartig, wird eine andere Sprache gesprochen: Ein lauter Empfang, z.B. in einem Hotel, stellt die Englischkenntnisse des Zuhörenden auf die Probe, selbst bei geübten Sprechern. Das liegt daran, dass wir in der Muttersprache durch lebenslanges Training eine sehr effektive Struktur haben, die elementaren Sprachlaute (genannt Phoneme), aus der sich Sprachen zusammensetzen, auch unter Lärm zu erkennen und einzuordnen. Wird eine später erlernte Fremdsprache

gesprochen, so ist diese viel weniger robust gegenüber Störgeräuschen. Muttersprachler und Personen, die die Sprache auf gleichem Niveau beherrschen, unterscheiden sich immer noch bezüglich des Sprachverstehens unter Lärm [11].

Etwa 25% der Menschen in Deutschland haben einen Migrationshintergrund. Circa 9% der Schulkinder sind Ausländer (die keinen deutschen Pass besitzen), Kinder mit deutschem Pass und Migrationshintergrund kommen hinzu, werden aber nicht von der Statistik erfasst. Diese Kinder müssen die Phoneme der Schul- sowie der Muttersprache gleichzeitig lernen und strukturieren, was einen komplexen Prozess darstellt. Wegen getrennter Sprachräume ist auch das auf mehrere Sprachen verteilte Training für die einzelne Sprache weniger intensiv, sodass Lärm in besonderem Maße das Sprachverständnis erschwert. Wenn Fremdsprachen gelernt werden bzw. die Unterrichtssprache nicht die Muttersprache ist, sind die akustischen Rahmenbedingungen aus Hintergrundgeräusch und Nachhall besonders wichtig. Forscher aus Schweden [12] fanden heraus, dass die Raumakustik sogar auf die Note in einer Fremdsprache einen Einfluss haben kann.

Punkt 3: Akustik für Inklusion

Abbildung 2 zeigt die Gruppen der Schüler*innen mit pädagogischen Förderbedarf. Zumindest Förderschwerpunkte Lernen, emotionale und soziale Entwicklung, Sprache sowie Hören (1, 3, 4, 7) profitieren potentiell von niedrigeren Hintergrundgeräuschen und kürzerem Nachhall in Schulen, was insgesamt 67,3% der Schüler*innen ausmacht. Jedoch ist die notwendige Forschung in Deutschland noch nicht soweit fortgeschritten, um aus jedem Förderschwerpunkt differenzierte akustische Anforderungen abzuleiten. Schüler*innen in Förderschulen wurden bislang in Klassen von durchschnittlich 10 Schüler*innen unterrichtet, während Grundschul-, Gymnasial- und Realschulklassen aus durchschnittlich 21, 26 bzw. 25 Schüler*innen im Schuljahr 2016/17 bestanden [13]. Das bedeutet, dass Inklusion in Regelklassen viel besser akustisch ausgestattete Klassenräume benötigt, um höhere Hintergrundgeräusche durch mehr Schüler pro Klasse und größere Distanzen zum Lehrer wenigstens teilweise zu kompensieren.

Die aktuelle Norm zur Hörsamkeit in Räumen [15] macht mit Nutzungsart A4 für *Unterricht und Kommunikation inklusiv* einen Vorschlag, wie der Nachhall in entsprechenden Klassenräumen gestaltet werden kann. In Anhang C der Norm wird erläutert, dass Sprachkommunikation zudem vom Störgeräusch abhängt. Die dort empfohlenen SNR-Werte von 15 dB bis 35 dB kommen in realen Klassenräumen mit Schülern ohne sprachverstärkende elektroakustische Hilfsmittel praktisch nicht vor. Der Umstand, dass die Hintergrundgeräusche lediglich im informativen Anhang auftauchen, ist schade, da so der Eindruck entstehen könnte, diese seien für das Sprachverständnis weniger wichtig als die Nachhallzeiten. Allerdings wurde beobachtet, dass Nutzer*innen bei weniger Nachhall im Raum leiser sprechen (z.B. [3]), so dass Störsprecher möglicherweise eine geringere Störwirkung im Raum entfalten.

Senkt man die Nachhallzeit in einem Raum, so verringert sich das diffuse Hintergrundgeräusch im Raum. Im Nahbereich um den Sprecher (bis ca. 2 m Distanz) verbessert sich dann die

Sprachverständlichkeit. Gleichzeitig senkt sich der nützliche Sprachpegel bei größeren Distanzen, weil mehr Schallenergie auf den Ausbreitungswegen absorbiert wird. Man erhält dort weniger Nachhall, aber auch weniger Sprachschallpegel. Das wäre nicht kritisch, gäbe es kein Hintergrundgeräusch. Dieses stammt zum Teil aus Aktivitätsgeräuschen der Schüler*innen im Klassenzimmer, also beispielsweise vom Schreiben, Stühle rücken oder mit den Füßen scharren. Sind diese Störschallquellen näher an den Zuhörenden als die Nutzschallquelle, so verringert sich auch der SNR, da die Nachhallzeitensenkung das Nutzsignal stärker absenkt als die Störschallquellen [16]. Sehr kurze Nachhallzeiten führen daher nicht automatisch zu besserer Sprachverständlichkeit. Es kommt eher auf den Zusammenhang zwischen Hintergrundgeräusch, Nutzsprachgeräusch und Nachhallzeit an [17].

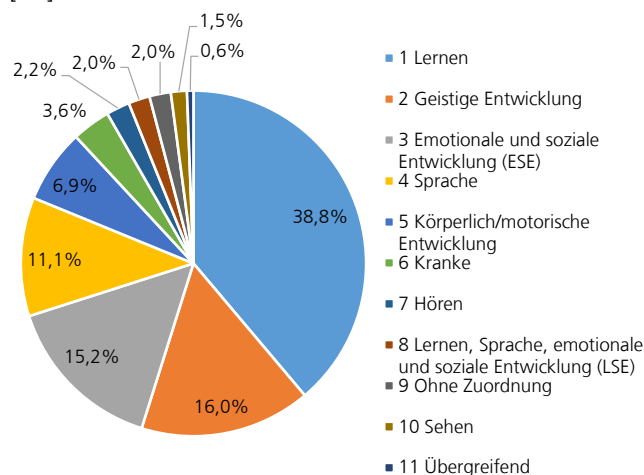


Abbildung 2: Anteile an Förderschwerpunkten von diagnostiziertem sonderpädagogischem Förderbedarf bundesweit im Schuljahr 2016/2017 in Prozent [14, S. 32].

Zur Reduktion der in vielen Klassenzimmern viel zu hohen Nachhallzeit gibt es inzwischen Normen [15], gesetzliche Regelungen [18] sowie Richtlinien wie z.B. [19]. Ein Bereich, der bislang eher wenig Aufmerksamkeit erhält, ist die Hintergrundgeräuschestehung während dem Unterricht in Schulen.

Geräuschbelastungen aus dem Außenbereich können durch ausreichend hohe Schalldämmung der Raumschließungsflächen verringert werden. Doch Lärmschutzfenster sind nur geschlossen wirksam: Die Luftqualität in Schulen erreicht oft kritische Zustände, weil eben nicht ausreichend gelüftet wird. Neben kalter Außenluft im Winter und Hitze im Sommer ist Lärm oft ein Grund, die Fenster nicht zu öffnen, obwohl es notwendig wäre. Eine leise Lüftungsanlage sorgt für Frischluft und vermeidet Unterbrechungen des Unterrichts, wenn die Fenster sonst wegen Lärm im Außenbereich geschlossen werden müssten (z.B. Rasenmähen oder Laubbläser).

Meist sind jedoch die Aktivitätsgeräusche im Raum selbst für das Hintergrundgeräusch ausschlaggebend. Einige Geräuschquellen sind praktisch nicht abstellbar, wie Schreibgeräusche. Mit gekuften Stühlen und Filzgleitern wird das Stühle rücken leiser, mit Teppichbodenbelag könnten sich Laufgeräusche und Füße scharren praktisch vollständig vermeiden lassen, was bei 30 Schüler*innen im Raum einen wesentlichen Beitrag zur Schallkulisse liefert. Teppichböden sind aus akustischer Sicht eine gute Alternative zu Linoleum, da sie viele Aktivitätsgeräusche erst gar nicht entstehen lassen.

Zum Beispiel in Großbritannien gehören Teppichböden in der Regel zur Grundausstattung von Klassenräumen. Fragen zur Hygiene, Pflege und Haltbarkeit von Teppichböden müssen den Vorteilen bei der Lärmentwicklung und dem möglichen Lernfortschritt der Schüler*innen in einer lauterer Umgebung gegenübergestellt werden. Gerade beim Übergang vom Kindergarten in die Schule bietet Teppichboden Vorteile, da er zum Spiel am Boden einlädt und Lärm in dieser Altersstufe besonders kritisch ist, wie Abbildung 1 zeigt. Mehr gesamtheitliche Forschung zur Wirkung von Bodenbelägen ist daher notwendig [20].

Der SNR kann zudem erhöht werden, indem man die Sprache verstärkt. Die Sprechbelastung für Lehrer*Innen ist z.T. sehr hoch und kann so verringert werden. Für Filmprojektion oder Audiowiedergabe sind in vielen Klassenräumen inzwischen Lautsprecher fest installiert. Warum also nicht ohnehin vorhandene Lautsprecher zur Sprachverstärkung verwenden? Sprachverstärkungsanlagen bieten die Chance, die Stimme an jedem Platz gut verständlich zu halten und hohe SNR zu realisieren, die ohne sie nicht möglich sind - egal wo die Lehrkraft sich befindet. Davon profitieren nicht nur Kinder mit Migrationshintergrund und Inklusionsschüler*innen, sondern auch junge Schüler*innen und der Sprachunterricht, eben alle Felder, in denen gutes Sprachverstehen besonders wichtig ist.

Punkt 4: Aufenthaltsbereiche wie Cafeterien und Flure

Schule endet nicht an der Klassenzimmertüre. Fluren und Treppenhäuser, Aulen, Cafeterien und Sporthallen tragen alle zur entspannten Atmosphäre bei, wenn die Akustik adäquat ausgelegt wurde. In vielen Erschließungsflächen herrschen dagegen lange Nachhallzeiten, was dazu führt, dass sich hohe Schallpegel aufbauen und bei einer Vielzahl von Gesprächen und Aktivitäten von wartenden Schüler*innen ihre Aktivität als Lärm empfunden wird. Gerade in alten Schulhäusern ist ein Grundmaß an Absorbieren an Decke und Wänden notwendig. Bei hohen Fluren ist eine absorbierende Decke allein jedoch nicht genug, Wandabsorber sollten ebenso vorhanden sein. Diese können zusätzlich gegebenenfalls auch als Pinnbretter verwendet werden. Zu viel Schallabsorption wird in diesen Räumen praktisch nie erreicht.

Ein ähnliches Szenario herrscht in Cafeterien, die zum Essen und Gespräch aufgesucht werden. Abbildung 3 zeigt gemessene Pegel und die dabei gezählte Personenzahl (gestrichelte blaue Linie, rechte Skala) in einer Schulcafeteria, in der mit steigender Personenzahl die Schallpegel durch eine Vielzahl von Gesprächen stark ansteigen, siehe Abbildung 3 (grüne Linie). Man kann in Cafeterien die zu erwartenden Pegel auf Basis der anwesenden Personenzahl prognostizieren [21], wie wir es in diesem Fall getan haben (Modell, schwarze Linie). Zum Messzeitpunkt war nur etwa die Hälfte der 124 Sitzplätze belegt, dennoch war es zu keiner Zeit möglich, sich bei normalem Sprachpegel (60 dB(A)) entspannt zu unterhalten. Laut Modell sind bei voller Belegung mit 124 Personen 81,5 dB(A) zu erwarten. Bei der Planung solcher Räume steht oft im Vordergrund, genug Sitzplätze unterzubringen. Mehr Sitzplätze bedeuten jedoch mehr Gespräche gleichzeitig und damit mehr Lärm. Will man Cafeterien optimal gestalten, muss pro Sitzplatz sowohl ein gewisses Raumvolumen, als auch eine bestimmte Fläche mit Schallabsorbieren vorgesehen werden.

Eine gute Orientierung gibt die Gleichung $N_{\max} \approx V / (20 \cdot T)$, wobei N_{\max} die maximale Personenzahl, V das Raumvolumen und T die Nachhallzeit im Raum ist. Das zeigt beispielsweise, dass bei 100 Sitzplätzen in Raumvolumen $V = 800 \text{ m}^3$ eine Nachhallzeit $T = 0,4 \text{ s}$ zielführend wäre. Das wären bei 4 m Raumhöhe 2 m² Grundfläche sowie 3,3 m² äquivalente Absorptionsfläche der Schallabsorber pro Sitzplatz. Mit dieser Auslegung würden sich, bei Personenzahlen wie in Abbildung 3, deutlich niedrigere Pegel einstellen (Prognose, graue Linie). Selbst bei Überbesetzung mit 124 Personen wäre der zu erwartende Schallpegel lediglich 73,7 dB(A). Diese Anforderung nach der Gleichung ist gegenüber der gegenwärtigen Normung personenzahlabhängig und ermöglicht zielgenauere Auslegung, als wenn lediglich das Raumvolumen betrachtet wird. Eine deutschsprachige Kurzfassung dieser Methode von Rindel [21] finden Sie in IBP-Mitteilung 563 [23].

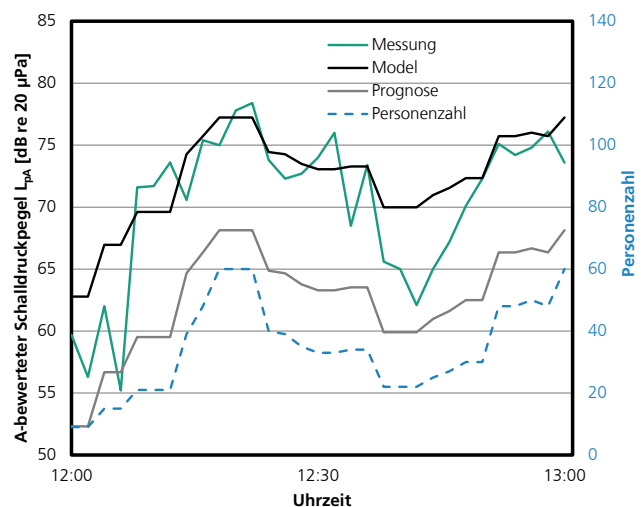


Abbildung 3: Schallpegel in einer Schulcafeteria mit 124 Sitzplätzen während der Mittagszeit. Messdaten aus [22].

Punkt 5: Sporthallen

Sportlehrer*innen sind besonders hoher Lärmbelastung ausgesetzt, was auch daher kommt, dass viele der Sporthallen im Bestand akustisch unzureichend ausgestattet sind [24]. Das Fraunhofer IBP führte zusammen mit dem Deutschen Sportlehrerverband eine Befragung von Sportlehrer*innen durch, an der 253 Personen teilnahmen. Dabei ging es darum, erstens Randbedingungen zu den Sporthallen herauszufinden, in denen der Unterricht stattfindet, und zweitens die Zufriedenheit mit verschiedenen Aspekten zu klären. Mit 64% Anteil machen die Dreifeld-Hallen den größten Anteil aus, gefolgt von 17% Zweifeldhallen und 19% Einfeldhallen. Somit enthalten 81% der Sporthallen der Befragung einen Trennvorhang. In knapp der Hälfte (47%) der Fälle schließt dieser nicht lückenlos an Wänden, Decke und Boden ab. Da der Unterricht zum überwiegenden Teil mit unterschiedlichen Gruppen bei geschlossenen Trennvorhängen stattfindet, ist dies besonders problematisch, da Störgeräusche aus den angrenzenden Hallenteilen die Sprachverständlichkeit innerhalb der Hallenteile herabsetzt.

Bei der akustischen Gestaltung von Sporthallen ist daher vor allem auf folgende Dinge zu achten. Zunächst ist die Schallabsorption im Raum zu maximieren. Dazu bietet sich

insbesondere die Hallendecke an, dies allein ist aber nicht ausreichend. Weiter empfehlen wir, die Prallwände schallabsorbierend zu gestalten und Geräteraumtore entsprechend zu gestalten, sodass auch tiefe Frequenzen damit absorbiert werden können. Außerdem sind hohe Glasanteile nicht nur in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz, Blendung und Kontraste zu hinterfragen: Bei gegenüberliegender Anordnung großer Glasflächen kann es zu Mehrfachreflektionen kommen, sodass die Schallenergie trotz schallabsorbierender Decke im Raum lange nicht abklingt, was auch den Lärmpegel erhöht [25].

Die Trennvorhänge selbst, die in DIN 18032-4 [26] genormt sind, sollen wie erwähnt eine möglichst hohe Schalldämmung zwischen Teilhallen gewährleisten, sodass der Lärm angrenzender Felder nicht zu sehr beeinträchtigt. Dies gelingt mit verfügbaren Systemen, wenn keine Öffnungen gelassen werden und die Randspalten schmal sind. Jedoch können gegenüberliegende Trennvorhänge zu Mehrfachreflexionen führen, die im mittleren Feld von Dreifeldhallen die Sprachverständlichkeit weiter verringern. Daher werden möglichst gut schallabsorbierende Trennvorhänge benötigt. Weitere Details zu Sporthallen finden Sie in [25] und [27].

Danksagung

Wir danken der Heinz Trox Wissenschafts gGmbH für die finanzielle Unterstützung unserer Aktivitäten zur Thema Lärm in Schulen.

- [1] B. Shield, R. Conetta, J. Dockrell, D. Connolly, T. Cox, und C. Mydlarz, „A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England“, *J. Acoust. Soc. Am.*, Bd. 137, Nr. 1, S. 177–188, Jan. 2015.
- [2] P. Leistner, J. Hellbrück, M. Klatte, J. Seidel, und L. Weber, „Lärm in der schulischen Umwelt und kognitive Leistungen bei Grundschulkindern“, Dez. 2006.
- [3] H.-G. Schönwälder, J. Berndt, F. Ströver, und G. Tiesler, „Lärm in Bildungsstätten - Ursachen und Minderung“, BAuA, Dortmund, Berlin, Fb1030.
- [4] M. Oberdörster und G. Tiesler, *Akustische Ergonomie der Schule*. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss, 2006.
- [5] J. S. Bradley und H. Sato, „The intelligibility of speech in elementary school classrooms“, *J. Acoust. Soc. Am.*, Bd. 123, Nr. 4, S. 2078–2086, Apr. 2008.
- [6] K. S. Pearsons, R. L. Bennett, und S. Fidell, „Speech levels in various noise environments“, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., EPA-600/1-77-025, 1977.
- [7] A. Markides, „Speech levels and speech-to-noise ratios“, *Br. J. Audiol.*, Bd. 20, Nr. 2, S. 115–120, Jan. 1986.
- [8] M. Hodgson, R. Rempel, und S. Kennedy, „Measurement and prediction of typical speech and background-noise levels in university classrooms during lectures“, *J. Acoust. Soc. Am.*, Bd. 105, Nr. 1, S. 226–233, Jan. 1999.
- [9] D. J. MacKenzie und S. Airey, „Classroom Acoustics - A research project“, Heriot-Watt University, Edinburgh, 1999.
- [10] B. Shield und J. E. Dockrell, „External and internal noise surveys of London primary schools“, *J. Acoust. Soc. Am.*, Bd. 115, Nr. 2, S. 730–738, Feb. 2004.
- [11] M. Klatte, T. Lachmann, und M. Meis, „Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting“, *Noise Health*, Bd. 12, Nr. 49, S. 270, 2010.
- [12] A. Hurtig, P. Sörqvist, R. Ljung, S. Hygge, und J. Rönnberg, „Student’s Second-Language Grade May Depend on Classroom Listening Position“, *PLOS ONE*, Bd. 11, Nr. 6, 2016.
- [13] „Schulen auf einen Blick – Ausgabe 2018“. Statistisches Bundesamt (Destatis), 2018.
- [14] K. Klemm, „Inklusion in Deutschland - Daten und Fakten“, Bertelsmann Stiftung, Jan. 2015.
- [15] „DIN 18041:2016-03, Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung“, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [16] M. Hodgson und E.-M. Nosal, „Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms“, *J. Acoust. Soc. Am.*, Bd. 111, Nr. 2, S. 931–939, Feb. 2002.
- [17] L. Nijs und M. Rychtáriková, „Calculating the Optimum Reverberation Time and Absorption Coefficient for Good Speech Intelligibility in Classroom Design Using U50“, *Acta Acust. United Acust.*, Bd. 97, Nr. 1, S. 93–102, Jan. 2011.
- [18] „Technische Regeln für Arbeitsstätten: ASR A3.7 ‚Lärm‘“. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2018.
- [19] P. Leistner, H. Drotleff, und M. Leistner, „Richtlinie - Akustik in Lebensräumen für Erziehung und Bildung“, 2015. [Online]. Verfügbar unter: https://www.zukunftsraum-schule.de/pdf/IBP_Richtlinie%20Akustik_18102016_WEB_G.pdf.
- [20] P. M. Bluysen, „The role of flooring materials in health, comfort and performance of children in classrooms“, *Cogent Psychol.*, Bd. 3, Nr. 1, Dez. 2016.
- [21] J. H. Rindel, „Verbal communication and noise in eating establishments“, *Appl. Acoust.*, Bd. 71, Nr. 12, S. 1156–1161, Dez. 2010.
- [22] A. Topal, „Geräuschpegel und Raumakustik in Bewirtungsräumen von Schulen, Hochschulen und Betrieben“, Bachelorarbeit, Universität Stuttgart, 2019.
- [23] A. M. Dickschen und M. Späh, „Akustisches Modell zur Planung von (Betriebs-)Restaurants“, *IBP-Mitteilung 563*, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/ibpmitteilungen/551-600/563.pdf>.
- [24] P. Leistner, M. Kittel, und A. Liebl, „Akustische Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen“, *Lärmbekämpfung*, Bd. 10, Nr. 4, S. 162–174, 2015.
- [25] H. Drotleff, M. Kittel, M. Köhler, P. Leistner, A. Liebl, und L. Weber, „Akustische Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen“, 2015. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/de/dokumente/broschueren/ak/Sport-und-Schwimmhallen/IBP_198_SuSH_Akustik_Booklet_WEB_300dpi.pdf.
- [26] „DIN 18032-4:2002-08, Sporthallen - Hallen für Turnen, Spiele und Mehrzwecknutzung - Teil 4: Doppelschalige Trennvorhänge“, Beuth Verlag GmbH.
- [27] M. Späh, M. Koehler, und P. Leistner, „Elemente zur akustischen Gestaltung von Sporthallen“, *Bauphysik*, Bd. 40, Nr. 5, S. 241–249, Okt. 2018.