

Offene Raumkonzepte in Schulen – Ein Überblick über Anforderungen und Lösungsansätze

Christoph Böhm¹, Annika Moll¹

¹ Akustik-Ingenieurbüro Moll GmbH, 14163 Berlin, E-Mail: schall@mollakustik.de

Einleitung

Klassenräume und Schulgebäude werden bis heute größtenteils für den klassischen Frontalunterricht geplant. Auch wenn längst vielfältigere Unterrichtskonzepte mit Gruppenarbeit, selbstständigem Lernen und Mediennutzung im Unterricht zum Alltag gehören, gibt es aktuell selbst im Neubau nur wenige Schulen, die die daraus resultierenden Anforderungen auch baulich umsetzen. Neue Raumkonzepte, wie offene Lernlandschaften oder Cluster-Anordnungen, sollen nun Möglichkeiten bieten, auf die neuen Lehr- und Lernkonzepte einzugehen. Diese bringen jedoch neue Anforderungen an die Raumeigenschaften, unter anderem die Raumakustik, mit sich. So steht nicht mehr einzig die Sprachverständlichkeit und die reine Lärmreduzierung im Vordergrund, sondern auch die akustische Trennung von Gruppen untereinander. Es sollen Störungen vermieden und gleichzeitig eine räumliche Offenheit beibehalten werden. Hier ergeben sich offensichtlich auch Parallelen zu den akustischen Herausforderungen in der Raumgestaltung aktueller Großraumbüros.

Aus diesem Grund stehen sowohl die Auftraggeber als auch die Fachplaner vor dem Problem, dass nationale raumakustische Anforderungen nicht mehr ausreichen und keine klaren Planungsrichtlinien herangezogen werden können. International sind diese Regelwerke teilweise bereits vorhanden. Diese Arbeit entstand als Auftragsarbeit für die Montag Stiftung Jugend und Gesellschaft. Ziel war die Aufarbeitung der international vorhandenen Regelwerke, eine Analyse der gestellten Anforderungen und ein Entwurf für eigene nationale raumakustische Anforderungen und Lösungsansätze. Diese sollen zukünftig zunächst in einem Leitfaden öffentlich verfügbar gemacht werden, um Auftraggebern und Planern klare Richtlinien und Handlungsempfehlungen zu geben.

Raumkonzepte

Die hier betrachteten Raumkonzepte unterscheiden sich vom herkömmlichen Klassenraumkonzept dadurch, dass insbesondere das Lernen in unterschiedlichen Gruppengrößen auch räumlich ermöglicht werden soll. Außerdem werden Aufenthalts-, Ruhe- und Kommunikationsbereiche mit in die Raumaufteilung integriert. Offene Sichtbeziehungen zwischen den entstehenden Zonen spielen eine zentrale Rolle für eine flexible Organisation [1]. Zentrales Thema, und in allen Belangen zu berücksichtigen, ist der Inklusionsgedanke. Inklusion bedeutet dabei nicht nur die Integration von Menschen mit Behinderung in den Unterricht, sondern eine allgemeine Gleichberechtigung aller Menschen und eine Herstellung einer unbedingten Chancengleichheit [2]. In Bezug auf die Akustik besteht hier der Anspruch an eine geeignete Akustik für Menschen mit Hörbeeinträchtigungen, aber auch für Fremdsprachenunterricht, "[...]Personen mit Sprach- oder Sprachverarbeitungsstörungen, Konzentrations- bzw. Aufmerksamkeitsstörungen, Leistungsbeeinträchtigungen [...]"

und „[...] für die Kommunikation mit Personen in einer Sprache, die nicht als Muttersprache gelernt wurde“ [3].

Die Tätigkeiten sind flexibel strukturiert und beinhalten das „Arbeiten mit Unterrichtsmaterialien in unterschiedlichen Gruppengrößen, Präsentationen, die Reflexion von Arbeitsergebnissen, Einzelarbeit an zuvor festgelegten Aufgaben, Arbeit in Kleingruppen, Vorträge [...], Spielen und Bewegen, Singen, Musizieren, Lesen und Ausruhen und ggf. gemeinsames Essen in kleineren und größeren Gruppen“ [1]. Für die resultierenden unterschiedlichen Nutzungen kommen vor allem die zwei Organisationsformen Cluster und offene Lernlandschaft zum Einsatz, mit denen sich auch die folgenden Betrachtungen in Bezug auf die Akustik beschäftigen.

Cluster

Bei einer Cluster-Anordnung werden Gruppenräume um eine Lerninsel herum angeordnet. Der zentrale Raum wird aktiv für die Gruppenarbeit oder einzelnes Lernen genutzt. Dabei kann der Raum idealerweise flexibel an die Bedürfnisse angepasst werden. Lern- und Unterrichtsräume werden gemeinsam mit Differenzierungs-, Aufenthalts- und Erholungsbereichen zu eindeutig identifizierbaren Einheiten zusammengefasst [1]. Aus akustischer Sicht ist die multifunktionale Nutzung der Lerninsel und die Offenheit der Struktur besonders relevant. Die an den Großraum angeschlossenen Gruppenräume können mit sehr unterschiedlichem Öffnungsgrad zur Mitte, ohne Türen und ggf. mit hohem Glasanteil für eine große visuelle Transparenz der Räume zueinander gestaltet sein.

Offene Lernlandschaft

Bei offenen Lernlandschaften werden in einem offenen Raum mehrere Lernzonen geschaffen, in denen Gruppenarbeit oder Einzelarbeit an eigenen Arbeitsplätzen stattfinden kann. Dabei sind zusätzlich Rückzugsräume in Form von Gruppenarbeitsräumen oder ganzen Klassenräumen vorhanden. Geleitet wird das Konzept von dem Ansatz, dass individualisiertes und eigenverantwortliches Lernen stärker im Vordergrund steht. Akustisch ergeben sich die gleichen Herausforderungen wie bei Clustern, wobei von größeren Räumen mit mehr Arbeitsbereichen auszugehen ist. Unterschiedliche Nutzungen werden in einem Großraum vereint und müssen parallel und für sich funktionieren. Dadurch wird die Abschirmung von anderen Bereichen und Räumen relevant.

Internationale Regelwerke

Bereits in den 60er und 70er Jahren waren offene Raumkonzepte im Zuge sich verändernder Unterrichtskonzepte unter anderem in den USA ein Thema und beschäftigten auf Grund der zahlreichen Probleme insbesondere in Bezug auf die entstehenden Lärmpegel auch die Akustiker [4] [5] [6]. In Europa werden offene Lernräume ca. seit dem Jahr 2000 wieder

in den Veröffentlichungen mit Bezug zur Akustik thematisiert. Seitdem wurden auch verschiedene Zusammenfassungen und Metastudien zum Thema veröffentlicht, die auf die unterschiedlichen akustischen Gegebenheiten und Anforderungen eingehen [7] [8] [9]. Um den Bezug zu den deutschen Regelwerken herzustellen und aus den internationalen Quellen eigene Anforderungen herauszuarbeiten, wurden diese im Projekt erneut analysiert und zusammengefasst. Dabei wurden Leitfäden und Normen herangezogen, welche eindeutige Hinweise auf offene Raumstrukturen enthalten oder explizit für diese vorgesehen sind. Die folgenden Aufstellungen in Tabelle 1 und Tabelle 2 erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, bilden aber die Anforderungen im europäischen Umfeld gut ab. Insbesondere die Regelwerke aus Dänemark [10] und Großbritannien [11] inklusive der zugrundeliegenden Studienlage stechen durch ihren Umfang und Praxisbezug heraus. Die Leitlinien der beiden Länder dienen dabei als Ergänzung zu den dort ohnehin bestehenden Normen.

Tabelle 1: Anforderungen an die Nachhallzeit für offene Lernlandschaften im internationalen Vergleich

Leitlinie/ Norm	Nachhallzeit T	Hintergrund- geräuschpegel $L_{NA, Bau}$	Akustische Dämpfung D_A
GB [11]	$\leq 0,50$ s	≤ 40 dB	-
DK [10]	0,30 – 0,40 s	≤ 30 dB	15 – 20 dB
NZ [19]	volumenabhängig, 0,40 – 1,1 s	≤ 45 dB	-
SE [20]	$< 0,40$	≤ 35 dB	-
NO [21]	$< 0,40$	-	-
IS [22]	$< 0,40$	-	15 – 20 dB

Die oben beschriebenen Unterschiede der neuen Unterrichts- und Raumformen zu Klassenräumen mit ihren spezifischen akustischen Herausforderungen legen nahe, dass nicht nur die bei uns bereits üblichen Anforderungsgrößen wie die Nachhallzeit und der Störgeräuschpegel betrachtet werden müssen, sondern auch akustische Kenngrößen, welche die Trennung der verschiedenen Bereiche beschreiben. Die internationalen Regelwerke schlüsseln die hierfür relevanten Parameter unterschiedlich detailliert auf.

Tabelle 2: Anforderungen an den STI in offenen Lernlandschaften im internationalen Vergleich

Leitlinie/ Norm	STI innerhalb einer Lerngruppe (inklusive Anforderung in Klammern)	STI zwischen Lerngruppen (inklusive Anforderung in Klammern)
GB [11]	$\geq 0,60$ (0,75)	$\leq 0,30$ (0,30)
DK [10]	$> 0,60$	$< 0,20$
IS [22]	$> 0,60$	$\leq 0,20$

Allen Leitlinien gemein ist, dass die akustische Qualität übergeordnet durch Anforderungen an die Sprachverständlichkeit (STI) ausgedrückt wird. Grundlegend hierfür sind die Nachhallzeit, das Hintergrundgeräusch sowie die akustische Dämpfung, die wiederum ebenfalls durch den Signal-Rausch-Abstand im STI wirksam wird. Die Anforderung an die Sprachverständlichkeit wird in Großbritannien, Dänemark

und Island sowohl innerhalb einer Lerngruppe als auch zwischen Lerngruppen definiert (Tabelle 2). Sie sollte innerhalb einer Lerngruppe möglichst hoch sein, zwischen den Lerngruppen jedoch möglichst gering, um Störungen zu reduzieren.

Analyse der Anforderungswerte

In Bezug auf die Nachhallzeit gibt es unterschiedliche Ansätze in den Leitlinien. Neuseeland z. B. sieht als einziges Land eine volumenabhängige Berechnung der Soll-Nachhallzeit vor, wie sie in Deutschland auch für Klassenräume verwendet wird. Die meisten Regelwerke fordern jedoch eine Nachhallzeit die kleiner oder gleich 0,4 Sekunden ist. Die Notwendigkeit dieses niedrigen Wertes wurde in unterschiedlichen Studien für normale Klassenräume [12] [13], aber auch für offene Lernlandschaften nachgewiesen [8] [12]. Auch in der deutschen DIN 18041 [3] ergibt sich für einen Klassenraum mit 170 m³ eine Soll-Nachhallzeit von 0,44 s in der inklusiven Nutzungsart A4. Die akustischen Ansprüche an eine geeignete Lernumgebung für Kinder sind höher einzuschätzen als die von Erwachsenen. Dies ist auch in ihrer zu jüngeren Altersgruppen hin größeren Abhängigkeit von der Sprachverständlichkeit begründet welche nachfolgend erläutert wird.

In den hier betrachteten Raumgeometrien soll eine geeignete Sprachverständlichkeit meist nur über kurze Distanzen hergestellt werden. Deshalb können auch mit diesen niedrigen Nachhallzeiten und ohne relevante Reflexionsflächen in einzelnen Raumbereichen von maximal der Größe eines üblichen Klassenverbandes gute Sprachverständlichkeitswerte erreicht werden. Die Regelwerke, die einen STI als Anforderung ansetzen, fordern einen Minimalwert für den STI von 0,60 (s. Tabelle 2). Dieser Wert passt auch zu den Angaben in der DIN EN IEC 60268-16 [14], welche einen STI von 0,62 als Mindestwert für Klassenräume vorschlägt. Zusätzlich wird in Großbritannien für eine inklusive Nutzung ein STI von 0,75 gefordert. In der zugrunde liegenden Literatur der Leitlinie wird davon berichtet, dass ein Wert von 0,60 nur als Minimum für normalhörende Erwachsene angenommen werden kann. Für alle jüngeren Schüler*innen und Schüler*innen mit inklusivem Hintergrund sind höhere Werte notwendig [7] [15]. Tabelle 3 zeigt die notwendigen Werte für den STI und den entsprechenden benötigten Störabstand gemäß den Untersuchungen von Mealings [7] und Bradley [15] auf.

Die in Tabelle 3 aufgeführten Werte für den SNR(A), also den A-bewerteten Abstand des Sprachsignals zum Störgeräusch, weisen auf eine Problematik in Lernlandschaften mit offenen Gruppenräumen und Clustern hin, die sich für die Sprachverständlichkeit ergibt: Mit einem entsprechenden Geräuschpegel innerhalb einer Gruppe und dem Störpegel von benachbarten Gruppen besteht im Erreichen solcher Störabstände, die notwendig für die Einhaltung der STI-Vorgaben sind, eine große Herausforderung.

Tabelle 3: Anforderungen für gute Sprachverständlichkeit (STI) für unterschiedliche Altersgruppen gemäß [7][15]

Alter	Anforderung an den STI	Anforderung an den SNR(A)
10 Jahre und älter	0,60	15 dB
8 – 9 Jahre	0,70	18 dB
6 – 7 Jahre	0,75	20 dB

Der für den Störabstand relevante Hintergrundgeräuschpegel ist abhängig von technischen Einrichtungen und dem Außenlärm. Neben der eigentlichen Belastung durch diesen Lärm und der Verringerung der Sprachverständlichkeit bei höheren Pegeln führen hohe Hintergrundgeräuschpegel auch automatisch zu höheren Betriebspegeln (inklusive des Lärmes durch die anwesenden Personen) [15] [16], da die Schüler*innen sich anders verhalten. Zudem kann beobachtet werden, dass der Lärmpegel geringer ist, umso besser die Sprachverständlichkeit ist [16]. Die deutschen Normen und internationalen Regelwerke geben Anforderungen an den Störschalldruckpegel in Unterrichtsräumen vor. International reicht dieser für offene Lernräume von 30 bis 45 dB(A). In der DIN 18041 werden für normale Klassenräume 35 dB(A) vorgegeben.

In Büroräumen bringt die Betrachtung des STI sowie eine sinnvolle räumliche Ausgestaltung, welche zum Erreichen geeigneter STI-Werte notwendig ist, oft das Problem eines zu geringen Störgeräuschpegels mit sich. Akustisch hochabsorbierend ausgestattete Büros neigen dann zu einer hohen Sprachverständlichkeit. In mehreren Studien wurde festgestellt, dass Stimmen aus benachbarten Lerngruppen das größte Störpotential für die Konzentration der Schüler*innen bedeuten [8]. Die Verständlichkeit kann allein durch abschirmende Maßnahmen nur begrenzt verringert werden. In Büros kommen teilweise sogar aktive Maskierungssysteme mit durch Lautsprecher eingespielten Störgeräuschen zum Einsatz. In den britischen Leitlinien wird für offene Lernlandschaften deshalb ein Pegel von 40 dB(A) vorgeschlagen [11], um für eine gewisse Maskierung von störender Sprache von benachbarten Gruppen zu sorgen. Dies ist in jedem Fall relevant in offenen Lernlandschaften mit Einzelarbeitsplätzen.

In Dänemark und Großbritannien wird aus demselben Grund ebenfalls eine Anforderung an den STI zwischen unterschiedlichen Lerngruppen definiert. Er sollte kleiner als 0,20 bzw. 0,30 sein. Hiermit wird sichergestellt, dass Sprache, die von einem Raumbereich in den anderen übertragen wird, praktisch unverständlich wird. Dies ist ein niedriger Wert, welcher nur mit den vorgenannten Anforderungen an die Nachhallzeit, einem hohen räumlichen Abstand, geeigneten schallschirmenden Elementen bzw. Trennwänden und maskierendem Grundgeräusch erreicht werden kann.

Da die Verstärkung von Lärm unbedingt verhindert werden sollte, empfiehlt sich in Anbetracht der vorgenannten Gründe und der dazu vorliegenden Studienlage trotzdem ein niedriger Pegel von maximal 35 dB(A) für Schüler*innen älter als 7 Jahre [7] [15]. Für jüngere Kinder wäre ggf. ein noch niedrigerer Wert notwendig [15]. In offen gestalteten Clustern sind auch bei sehr ruhigem Unterricht jedoch ohnehin eher höhere Werte durch die anwesenden Personen zu erwarten [8].

Neben den raumakustischen Maßnahmen hat sich in Untersuchungen gezeigt, dass adäquate Sprachverständlichkeit und Konzentrationslevel in kritischen Hörsituationen nur bei gelungener Koordination der Aktivitäten von mehreren Unterrichtsgruppen möglich sind [16]. Aktivere und lautere Unterrichtseinheiten müssen in allen Gruppen koordiniert stattfinden, da sonst in offenen Grundrissen auch eine sehr gute bauliche Akustik nicht immer ausreicht, um sinnvollen Unterricht zu ermöglichen. Insbesondere jüngere Kinder oder Lernende

mit besonderen Hörerfordernissen können problematische Verhältnisse in Bezug auf die Sprachverständlichkeit und Beeinträchtigung durch den Lärm vorfinden. Je nach baulicher Ausstattung und Lärmbeitrag aus den anderen Gruppen ist für diese Schüler eine gute Sprachverständlichkeit nur in direkter Nähe zum Lehrer möglich [16]. Ohne Koordination der Aktivitäten weist Shield et al. [16] sogar darauf hin, dass in Bezug auf die Sprachverständlichkeit kritischer Unterricht nur in einem Umkreis von 3 m zum Lehrer möglich ist und selbst dort nicht für alle Kinder eine adäquate Sprachverständlichkeit möglich ist. In der gleichen Untersuchung [16] wurde außerdem festgestellt, dass bei 2-3 Lerngruppen in Clustern das Lärmniveau relativ stabil bleibt, wohingegen es bei mehr als drei zusammengehörenden Lerngruppen im offen gestalteten Cluster zu einem signifikanten Anstieg des Lärms kommt. Sie empfehlen also, die Anzahl der Lerngruppen bei offenen Gruppenräumen auf maximal drei zu begrenzen.

Empfehlungen

Basierend auf den vorgenannten Zusammenhängen, der Zusammenfassung der Anforderungen aus anderen Ländern und der zugrunde liegenden Studienlage, kann festgehalten werden, dass Unterricht in offenen Grundrissen nur unter Beachtung strenger akustischer und auch organisatorischer Vorgaben möglich ist. Die Probleme in Bezug auf die Sprachverständlichkeit und die Konzentration, welche durchaus auch in klassischen Klassenräumen gegeben sind, können durch die offene Bauform teilweise verstärkt werden.

Tabelle 4: Vorschlag für Anforderungen für raumakustische Kenngrößen.

Kenngröße	Anforderungswert
Nachhallzeit (unbesetzt, 250 Hz – 4 kHz, 125 Hz + 0,2 s zulässig)	$\leq 0,40$ s
STI innerhalb einer Gruppe	$\geq 0,60$ (0,75)
STI zwischen Gruppen	$\leq 0,3$
Hintergrundgeräuschpegel L_{Aeq}	≤ 35 dB(A)
Akustische Dämpfung der Sprache $D_{A,S}$	15-20 dB
Räumliche Abklingrate der Sprache $D_{2,S}$	5-8 dB

Die Tabelle 4 enthält die aus Sicht der Autoren festzuhaltenen Anforderungen, die im Wesentlichen auch die international verfügbaren Anforderungen widerspiegeln und die dazu dienen sollen, sich einem idealen Lernumfeld möglichst anzunähern. Dabei sollte festgehalten werden, dass die Anwendung der Anforderungen nur entsprechend der tatsächlichen Nutzung erfolgen sollte. Zwei grundsätzlich lautere Bereiche bedürfen z. B. nicht der gleichen Minderung der Sprachverständlichkeit wie ein Bereich für Gruppenarbeit und einer für Einzelarbeit.

Ausführungshinweise

Um die vorgenannten Anforderungswerte zu erreichen, ist es unerlässlich, dass die Raumakustik früh in der Planung mitgedacht wird. Die Gruppengrößen und der Öffnungsgrad der Grundrisse sollten abhängig vom Alter und der Nutzung der Räume gestaltet werden. Verschachtelte Grundrisse, Abschir-

mungen, Schallschleusen und Verglasungen anstelle von Öffnungen ermöglichen eine geeignete Primärstruktur. Die Deckenhöhe sollte nicht über 3,50 m liegen. Vollflächig absorbierende Decken und großflächige Wandabsorber als Sekundärstruktur sowie ein Einbezug des Mobiliars sowohl in die Raumaufteilung als auch die Absorptionsflächen ermöglichen das Erreichen der Anforderungen und damit geeignete akustische Umgebungen für offene Schulkonzepte. Da die pädagogische Organisation ebenso wichtig ist wie die baulichen Maßnahmen, sollten die Nutzer immer in den Planungsprozess integriert werden. Gute Beispiele für gelungene pädagogische und auch akustische Konzepte, die auch akustisch untersucht wurden, bilden die Beruflichen Schulen Witzenhäuser [17] und die Hellerup School in Dänemark [18].

Für den Nachweis der Anforderungsgrößen in der Planung ist es essentiell, dass die zu Grunde liegenden Störgeräuschpegel für die Berechnungen des STI und der Störabstände angegeben werden, um einen Vergleich möglich zu machen. Da die genauen Pegel der Hintergrundgeräusche durch die anwesenden Personen meist nur schwer vorausgesagt werden können, ist ggf. eine Best-Case/Worst-Case-Abschätzung zielführend.

Zusammenfassung

In der durchgeführten Metastudie konnten raumakustische Anforderungswerte für offene Raumkonzepte in Schulen durch die Recherche zu internationalen Regelwerken und die Analyse der zugrunde liegenden Literatur gewonnen werden. Außerdem wurden grundlegende Hinweise zu den notwendigen Maßnahmen gegeben. In der Literatur sind positive Beispiele bekannt, welche die Anforderungen erfüllen, jedoch sollten in Zukunft unbedingt mehr Projekte durch Messungen untersucht und in der aktiven Nutzung begleitet werden, um Rückschlüsse auf die theoretischen Anforderungen zu ermöglichen.

Danksagung

Die Autoren danken dem Auftraggeber der Studie der Montag Stiftung Jugend und Gesellschaft, vertreten durch Urs Walter für die hervorragende Zusammenarbeit.

Literatur

- [1] Leitlinien für leistungsfähige Schulbauten in Deutschland, Montag Stiftung Jugend und Gesellschaft, Bund Deutscher Architekten BDA, Verband Bildung und Erziehung (VBE), Bonn, Berlin, 2017
- [2] Kricke, M., Reich, K., Schanz, L. & Schneider, J., Raum und Inklusion - Neue Konzepte im Schulbau (1. Auflage), 2018, BELTZ, Weinheim
- [3] DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung, Beuth, 2016
- [4] Kalk, J. H.: Acoustical Considerations in the Open-Plan School, J Acoust Soc Am, 48 (1970), 97-97
- [5] Walsh, D. P.: Another look at the acoustics of open plan schools, J Acoust Soc Am, 58 (1975)
- [6] Schellenberg, B.: Noise and Sound Control in Open Plan Schools, Annotated Bibliography, Department of Health,

Education & Welfare, National Institute of Education, 1975.

- [7] Mealings, K.: Classroom acoustic conditions: Understanding what is suitable through a review of national and international standards, recommendations, and live classroom measurements, Acoustics, (2016)
- [8] Shield, B., Greenland, E. and Dockrell, J.: Noise in open plan classrooms in primary schools: A review, Noise and Health, 12 (2010), 225
- [9] Petersen, C. M. and Rasmussen, B.: Acoustic design of open plan schools and comparison of requirements, BNAM Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting, (2012)
- [10] Vejledning om lydforhold i undervisnings- og daginstitutionsbyggeri, Dänische Norm, Dänemark, 2004
- [11] Canning, D., Cogger, N., Greenland, E., Harvie-Clark, J., James, A., Oeters, D., Orłowski, R., Parkin, A., Richardson, R. and Shield, B.: Acoustics of Schools: a design guide, Institute of Acoustics (IOA), Association of Noise Consultants (ANC), 2015
- [12] Greenland, E. E. and Shield, B. M.: A survey of acoustic conditions in semi-open plan classrooms in the United Kingdom., J Acoust Soc Am, 130 (2011), 1399-1410
- [13] Bradley, J. S.: Speech intelligibility studies in classrooms, J Acoust Soc Am, 80 (1986), 846-854
- [14] DIN EN IEC 60268-16:2020-10 - Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex, Beuth, 2020
- [15] Bradley, J. S., & Sato, H. (2008). The intelligibility of speech in elementary school classrooms. J Acoust Soc Am, 123(4), 2078-2086. doi:10.1121/1.2839285
- [16] Shield, B., Conetta, R., Dockrell, J., Connolly, D., Cox, T. and Mydlarz, C.: A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England, J Acoust Soc Am, 137 (2015), 177-188
- [17] Vugts, J.: Berufliche Schulen Witzenhäuser - Acoustic measurements - final report, (2017)
- [18] Petersen, Claus Møller and Rasmussen, Birgit: Acoustic design of open plan schools and comparison of requirements, BNAM, (2012)
- [19] Designing Quality Learning Spaces (DQLS) Acoustics, Ministry of Education, Version 3.0, New Zealand 2020
- [20] SS 25268:2007+T1:2017 Acoustics - Sound classification of spaces in buildings - Institutional premises, rooms for education, preschools and leisure-time centres, rooms for office work and hotels. Swedish Standard. Sweden.
- [21] NS 8175:2012 Acoustic conditions in buildings - Sound classification of various types of building, Norwegian Standards, Norway.
- [22] IST 45:2016, Acoustic conditions in buildings - Sound classification of various types of buildings, Icelandic Standards, Iceland.