

Nutzungsabhängige Raumakustik

Kurt Eggenschwiler
Empa - Materials Science & Technology
Abt. Akustik/Lärminderung
CH-8600 Dübendorf



Nutzungsabhängige Raumakustik

Zusammenfassung

Unterschiedliche Raumnutzungen verlangen nach spezifischen raumakustischen Bedingungen. Bei der akustischen Gestaltung von Konzertsälen, Opernhäusern und Theatern wurden in den letzten Jahrzehnten grosse Fortschritte gemacht. Die Aufmerksamkeit der Akustik, Architektur und des Innenraumdesigns sollte sich nun vermehrt auch auf Alltagsräume richten. Im Vortrag wird ein kleiner Überblick zur nutzungsabhängigen Raumakustik gegeben, kritisch auf die Norm DIN 18041 hingewiesen und einige Bemerkungen zur nutzungsabhängigen Raumakustik vor allem für Räume in Schulen, Bürogebäuden und Gaststätten gemacht.

1. Einleitung

Hier wird ein Beitrag zur Frage geleistet, welche Anforderungen an die Raumakustik abhängig von der Nutzung gestellt werden müssen. Die Ausführungen beschränken sich damit auf einen Teilbereich der menschlichen Sinneswahrnehmung im Raum und unter-schlagen, dass sich die verschiedenen Sinnesmodalitäten gegenseitig beeinflussen. Ausser der Hörwahrnehmung werden alle anderen Sinnesmodalitäten ausgeklammert. Die Berechtigung dazu liegt nicht nur darin, dass der Vortrag an einer Tagung zum Thema *Akustik* und Brandschutz stattfindet, sondern auch in der Beobachtung, dass die Sinnesmodalität "Hören" von Architektur und Gestaltung immer wieder vergessen wird. Jedenfalls entsteht dieser Eindruck, wenn man beim Aufenthalt in verschiedenen Räumen die Aufmerksamkeit auf die akustische Wahrnehmung lenkt. Auch wenn in den letzten Jahren in der Architektur ein bemerkenswert wachsendes Interesse an der Akustik festzustellen ist, darf man ganz allgemein fragen, inwiefern in der Architektur immer noch das Primat des Sehens herrscht, und damit andere Sinnesmodalitäten, speziell das Hören unterbe-wertet werden. [1], [2], [3]

Eine weitere Einschränkung wird im Folgenden gemacht, in dem "nur" die Raumakustik behandelt wird, also die Schallausbreitung im Raum selber. Störquellen im Raum, wie haustechnische Anlagen und die Bauakustik, also die Schallübertragung aus anderen Tei-len des Gebäudes und aus dem Aussenraum werden ausgeklammert.

Wenn oben erwähnt wird, dass in der Architektur die Akustik zunehmend Beachtung fin-det, dann gilt dies sicher für die grossen Musik- und Theatergebäude einschliesslich der Beschallung grosser Musikevents. Heute würde sicher kein Konzertsaal, kein Opernhaus und kein Theater mehr ohne Akustikberatung gebaut. Es gibt auch viele hervorragende Beispiele von neuen Bauten mit ausgezeichneter Raumakustik. Wie das Beispiel von drei in den letzten zwei Jahren verliehenen Design-Awards für einen schallabsorbierenden, leichten und lichtdurchlässigen Vorhang zeigt [4], wird die Akustik in Design und Archi-tektur vermehrt auch als Herausforderung für *Alltagsräume* wahrgenommen und ent-sprechend anerkannt. Trotzdem liegt hier für die Zukunft noch ein breites Betätigungsfeld. Schlechte akustische Verhältnisse in Klassenzimmern, Büroräumen, lärmigen Res-taurants und öffentlichen Räumen sind weit verbreitet. Verbesserungen müssen schon wegen der Behindertengleichstellung, also dem barrierefreien Bauen umgesetzt werden.

2. Raumtypen und Raumnutzungen – Variable Akustik

Am einfachsten wäre es, wenn für einen bestimmten Raumtyp spezifische raumakustische Anforderungen formuliert werden könnten. Dies geht allerdings nur für einige spezielle Räume, welche typischerweise nur für einen Zweck genutzt werden, also z.B. für ein Kino, ein reines Sprechtheater oder einen Abhörraum in einem Tonstudio.

Der weitaus häufigere Fall ist, dass Räume verschiedenartig genutzt werden. Selbst in einem Konzertsaal, der ausschliesslich für die Aufführung von Musik genutzt wird, werden üblicherweise Konzerte verschiedener Stilrichtungen vom Kammermusikwerk bis zu Orgelmusik dargeboten. Jeder Musikstil verlangt aber eine eigene Akustik. Die Lösung liegt hier und besonders im Mehrzwecksaal in einer variablen Akustik. So können beispielsweise Vorhänge aus einem Vorhangbahnhof ausgefahren werden, Wandelemente umgeklappt oder durch das Öffnen von Toren grosse Volumina angekoppelt werden (siehe Abbildung 1). Auch eine elektronische Lösung mit Mikrofonen, Lautsprechern und einer raffinierten Signalverarbeitung ist möglich, um in einen (akustisch zu trockenen) Raum an die jeweiligen Bedürfnisse anzupassen. Trotz ihrer unbestreitbaren Vorteile wird eine variable Akustik leider immer noch relativ selten realisiert. Es resultiert schliesslich bestenfalls eine Kompromissakustik.



Abbildung 1: Blick in den Konzertsaal des KKL in Luzern (Schweiz). Variable Akustik mit Hilfe von grossen Toren, welche die Schallreflexionen beeinflussen und ein grosses zusätzliches Luftvolumen ankoppeln. (Bildquelle: Artec, New York)

Bei Alltagsräumen ist die Nutzung in der Regel eindeutiger und eine variable Akustik selten notwendig. Jedoch gibt es auch dort Raumnutzungen, welche das Formulieren von Anforderungen und das Realisieren optimaler akustischer Verhältnisse schwierig gestalten: Im Grossraumbüro (Open-Space) sollen einerseits gute akustische Bedingungen für die Kommunikation über kurze Distanzen herrschen. Im gleichen Raum nur wenige Meter entfernt sollte die Sprache aber nicht mehr verständlich sein, resp. nicht mehr stören. [5]

Im Folgenden soll ein kleiner Überblick zu den raumakustischen Anforderungen für verschiedene Nutzungen gegeben werden, wobei das Schwergewicht auf Alltagsräumen liegt.

3. Aufführungsstätten / Sakralräume

Konzertsäle, Opernhäuser, Theater und Sakralräume stellen besondere Anforderungen an die akustische Gestaltung. Auch wenn es noch viele offene Forschungsfragen zur Akustik der Räume für Musik gibt, wurden doch wie weiter oben erwähnt grosse Fortschritte bezüglich akustischer Gestaltung von Aufführungsstätten und Sakralräumen gemacht.

Bei Theatern und allgemein für Sprachnutzung kann das (Haupt-)Ziel der akustischen Gestaltung relativ einfach mit dem Erreichen einer genügenden Sprachverständlichkeit umschrieben werden kann. Dazu kann z.B. aus der der Norm EN 60268-16 [27] die Tabelle von Angang G beigezogen werden (siehe Abbildung 8 im Anhang dieses Textes). Selbstverständlich gibt es besonders bei Wiedergabe über Beschallungssysteme noch Anforderungen an die Qualität des Sprachsignalwiedergabe (siehe z.B. [6]).

Bei Konzertsälen ist eine Zielformulierung schwieriger, weil verschiedene unabhängige Parameter eine Rolle spielen. Ins Gewicht fallen zudem die Vorlieben von Konzertbesuchern, z.B. für eher intimere oder eher lebendigere Musikempfindung. Trotzdem gelingt es heute unter Berücksichtigung verschiedener Rahmenbedingungen, wie z.B. der Beschränkung der Platzzahl auf ca. 2000, mit Hilfe der langjährigen Erfahrungen und der Ergebnisse akustischer Forschung ausgezeichnete akustische Verhältnisse zu erreichen. Entscheidend ist die Formgebung die – wenn richtig gewählt – zu dem erwünschten räumlichen Klangeindruck führt. Mit der vorwiegend schallharten Materialisierung wird ein genügend langer Nachhall erreicht. Der Weg zu einer guten Akustik führt in engem Austausch mit den Architekten über eine intensive Arbeit von spezialisierten Akustikern. [7]

Sakralräume sind für die Hörwahrnehmung bekanntlich sehr beeindruckende Räume. Sie können aber oft wegen des grossen Raumvolumens und des in der Regel langen Nachhalls auch für sakrale Musik und besonders für Sprache akustisch sehr problematisch sein. Die Raumform ist von einer besonderen sakralen architektonischen Formsprache geprägt und lässt besonders bei historischen Bauten selten Eingriffe zu. Verbesserung schwieriger Verhältnisse sind möglich, beschränken sich aber oft auf den Einbau einer modernen, massgeschneiderten Beschallungsanlage und von schallabsorbierenden Sitzkissen. [6], [8], [9]

4. DIN 18041, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen

Ausser für die Sprachverständlichkeit ist es also schwierig, für die in Abschnitt 3 behandelten Räumen einfache Anforderungen und Regeln zur akustischen Gestaltung zu formulieren. Dies wird in der Norm DIN 18041, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen [17] für verschiedene Raumnutzungen versucht. Diese Norm ist so eine zentrale Hilfe für die akustische Gestaltung von kleinen bis mittelgrossen Räumen - man kann damit vielleicht sagen, besonders für Alltagsräume. Die Österreichische ÖNORM B 8115-3:2005 [18] lehnt sich stark an die DIN 18041 an und die Schweizer Norm SIA 181:1996 [19] verweist direkt auf die deutsche Norm.

Der Geltungsbereich wird in der Norm wie folgt umschrieben [17]:

Diese Norm gilt für kleine bis mittelgroße Räume mit einem Raumvolumen bis etwa $5'000 \text{ m}^3$, für Sport- und Schwimmhallen ohne Publikum bis $8'500 \text{ m}^3$. Sie legt die akustischen Anforderungen und Planungsrichtlinien zur Sicherung der Hörsamkeit vorrangig für die Sprachkommunikation einschließlich der dazu erforderlichen Maßnahmen fest.

In der Norm werden zwei Anwendungen unterschieden, die der Hörsamkeit über

- mittlere und größere Entfernungen (Räume der Gruppe A) wie z. B. Konferenzräume, Gerichts-, Rats – und Festsäle, Unterrichtsräume, Seminarräume, Hörsäle, Tagungsräume und Interaktionsräume, Gruppenräume in Kindergärten und Kindertagesstätten, Seniorentagesstätten, Gemeindegäle, Sport- und Schwimmhallen und
- geringe Entfernungen (Räume der Gruppe B) wie z. B. Verkaufsräume, Gaststätten, Publikumsbereiche für den öffentlichen Nah- und Fernverkehr, Fahrkarten- und Bankschalter, Sprechzimmer in Anwalts- und Arztpraxen, Büroräume, Bürgerbüros, Operationssäle, Behandlungsräume, Krankenzimmer, Rehabilitationsräume, Werkräume (z.B. Lehrwerkstatt), Öffentlichkeitsbereiche, Publikumsverkehrsflächen, Bibliotheken und Lesesäle.

...

Die Norm behandelt nicht die Hörsamkeit in Räumen mit speziellen Anforderungen, wie Theater, Konzertsäle, Kinos, Sakralräume, sowie in Räumen zur hochwertigen Aufnahme von Musik und Sprache (z. B. Studios, Regieräume für Funk, Film, Fernsehen und Tonträgerproduktionen). Die Empfehlungen können aber für Räume für allgemeine Musikdarbietungen, Mehrzweckräume (z. B. Stadthallen) sowie für Räume mit größerem Volumen bis ca. 30'000 m³ sinngemäß angewandt werden.

Damit deckt die Norm einen breiten Bereich von Räumen resp. Nutzungen ab, wobei anzumerken ist, dass die Bedürfnisse von Personen mit eingeschränktem Hörvermögen (Schwerhörige, Ertaubte und Gehörlose) besonders berücksichtigt sind.

Speziell hingewiesen sei auf die in der Norm enthaltenen Anforderungen an Klassenzimmer (siehe 5.1), aber auch an Sitzungszimmer etc. Aktuell wird in Deutschland diskutiert, ob in Klassenzimmern im Hinblick auf die Integration von Schülerinnen und Schüler mit eingeschränktem Hörvermögen im Sinne des barrierefreien Bauens grundsätzlich die erhöhten Anforderungen (20% kürzere Nachhallzeiten als die Normalanforderungen) eingehalten werden sollen oder nicht.

Fraglich sind die Angaben in der Norm für Büroräume. Für Grossraumbüros genügen die in der DIN 18041 festgelegten Anforderungen nicht, weil sie nur die Nachhallzeit begrenzen (siehe 5.2). Auch die akustischen Anforderungen an Gaststätten sind aus heutiger Sicht zumindest überprüfenswert (siehe 5.3).

Auch wenn es weitere Hinweise zum Bedarf nach einer Überarbeitung der Norm gibt, muss ihre Anwendung unter Berücksichtigung der aktuellen Erkenntnisse dringend empfohlen werden.

5. Alltagsräume

Von Industrieräumen über Mehrzwecksäle bis zu Tonstudios gäbe es eine lange Reihe von Räumen, resp. Raumnutzungen zu besprechen. Auch Alltagsräume, wie z.B. die in der DIN 18041 u.a. erwähnten Verkaufsräume, Publikumsbereiche für den öffentlichen Nah- und Fernverkehr, Fahrkarten- und Bankschalter, Sprechzimmer in Anwalts- und Arztpraxen, Räume in Spitälern, Publikumsverkehrsflächen, Bibliotheken und Lesesäle wären interessant für eine Diskussion. Man könnte sich z.B. die Frage stellen, wie viel Schallabsorption in grossen, repräsentativen Hallen oder Foyers notwendig ist und ob trotz vielen schallabsorbierenden Flächen die visuelle Grösse der Halle noch hörbar ist. Zu der letzten Frage sei die persönliche Erfahrung eingeschoben, dass trotz grosser schallabsorbierender Flächen die verbleibende Reflexionen in aller Regel den erwünschten räumlichen Höreindruck noch ermöglichen, dass aber z.B. bei einem Empfang, Umtrunk oder Apéro der Lärmpegel ertragbar ist, und somit auch ein Beitrag zur Barrierefreiheit geleistet ist.

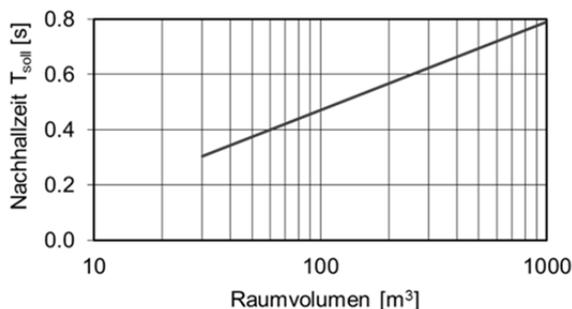
Wir wollen uns hier aber beschränken auf einige Hinweise für Schul- und Büroräume sowie Gaststätten.

5.1. Schulen

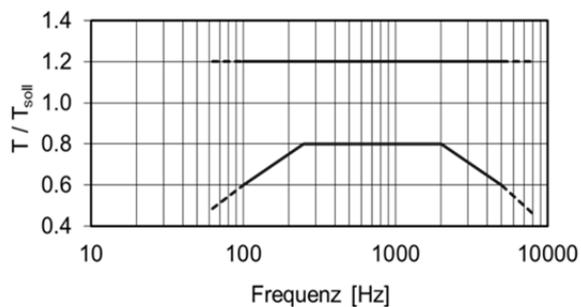
In Schulen, wozu auch Kindergärten, Kindertagesstätten, Hochschulen und weitere Aus- und Weiterbildungsinstitutionen gehören, findet sich ein sehr breites Spektrum von Räumen, welche ganz unterschiedliche raumakustische Anforderungen stellen: Klassenzimmer, Aula, Auditorium, Sporthalle, Lehrerzimmer, Mensa, Aufenthaltsräume, Musikproberäume, Flur, Treppenhaus, Handwerksräume, usw. Wegen (der auch heute noch) oft völlig unzureichenden akustischen Bedingungen stand im letzten Jahrzehnt die Frage der Akustik in Schulen im Zentrum vieler Diskussionen und es wurden verschiedene Anstrengungen unternommen, Schulen, Behörden und Eltern zu informieren (siehe z.B. [10]).

Wer vor vielleicht 40 Jahren die Grundschule besuchte, stellt sich ein traditionelles Klassenzimmer mit Frontalunterricht vor. Der aktuelle Unterricht sieht jedoch schon längst ganz anders aus, was sich auch im Klassenzimmer abbildet. Nicht selten werden Flurbereiche bei offenen Türen der Klassenzimmer in den Unterricht einbezogen. Auch die Lernlandschaften oder Open Space sind zu erwähnen, wo mehre Schülergruppen und/oder Lehrpersonen zusammen im gleichen Raum arbeiten. Für neuere Lehrformen erweist es sich jedenfalls als viel schwieriger, akustisch gute Bedingungen herzustellen als in traditionellen Klassenräumen. Zweifellos ist dies nur möglich, wenn Akustik und Pädagogik praxisorientiert zusammen nach Lösungen suchen. [11]

In der DIN 18041 [17] sind die Anforderungen an Klassenräume bezüglich Nachhallzeit festgelegt (siehe Abbildung 2).



DIN 18041 Bild 2



DIN 18041 Bild 3

Abbildung 2: Optimale Nachhallzeit T_{soll} für besetzte Klassenzimmer in Funktion des Raumvolumens (links) und frequenzabhängiger Toleranzbereich für T/T_{soll} (rechts) gemäss DIN 18041 [17]

Kürzere Nachhallzeiten werden für folgende Fälle verlangt (Wortlaut der DIN 18041):

Nach heutigem Kenntnisstand im Bereich des barrierefreien Planens und Bauens sollte für Personen mit eingeschränktem Hörvermögen die anzustrebende Nachhallzeit vorrangig für Räume mit einem Volumen bis zu 250 m³ und der Nutzung Sprache/Unterricht in den Oktavbändern 250 Hz bis 2'000 Hz bis 20 % unter den in Bild 1 angegebenen Kurven liegen, Bild 2 ist in diesem Frequenzbereich nicht anzuwenden. Vergleichbare Anforderungen gelten auch für die Kommunikation in einer Sprache, die nicht als Muttersprache gelernt wurde, bei der Kommunikation mit Personen, die Deutsch als Fremdsprache sprechen, und bei der Kommunikation mit Personen, die auf andere Weise ein Bedürfnis nach erhöhter Sprachverständlichkeit haben, z. B. Personen mit Sprach- oder Sprachverarbeitungsstörungen, Konzentrations- bzw. Aufmerksamkeitsstörungen, Leistungsschwäche.

Dieser Passus der Norm gibt zu Fragen Anlass, wenn es um die Integration von Schülerinnen und Schüler mit eingeschränktem Hörvermögen geht. Müssen Klassenzimmer wegen der möglichen Integration von Hörbehinderten auf jeden Fall die 20% tieferen Werte einhalten oder gelten die Anforderungen nur für Spezialschulen? Wie steht es mit dem Fremdspracheunterricht und der Integration von Kindern welche nicht Deutsch als Muttersprache sprechen? Hier wäre eine Konkretisierung auf der Basis der Erfahrung und neuer Forschungsergebnisse wünschenswert. Der Autor kann aus eigener Erfahrung nur mitteilen, dass etwas kürzere Nachhallzeiten als die Anforderungen der DIN 18041 weder viel grössere Kosten verursachen noch zu schalltoten Räumen führen. [12]

5.2. Büroräume

5.2.1. DIN 18041 vs. ISO 3382-3

Für die Projektierung von Büroräumen einschliesslich Grossraumbüros ist in der Norm DIN 18041 [17] ein stark vereinfachtes Verfahren vorgeschlagen. In der dort enthaltenen Tabelle 6 können Orientierungswerte für mit Schallabsorbern zu bekleidende freie Decken- und Wandflächen als Vielfaches der Raumgrundfläche abhängig vom bewerteten Schallabsorptionsgrad α_w abgelesen werden. Dieses Verfahren mag für Einzelbüros und kleinere Mehrpersonenbüros genügen, für Grossraumbüros, resp. Open Space allerdings nicht [5]. Dies wird auch ohne weiteres klar, wenn man sich den aktuellen Forschungsstand über die Wirkung von Bürolärm vergegenwärtigt [13].

Anfangs 2013 ist die Norm EN ISO 3382-3 [20] erschienen, in welcher die Messung von akustischen Parametern für die Beurteilung der Verhältnisse in Grossraumbüros beschrieben ist und Hinweise auf optimale Werte gegeben werden. In der VDI ist man zurzeit damit beschäftigt, die VDI 2569, Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro [21] zu revidieren. Es kann davon ausgegangen werden, dass die in der EN ISO 3382-3 vorgeschlagenen Parameter zum Teil übernommen werden.

5.2.2. Das Verfahren gemäss ISO 3382-3

Es sind die folgenden Parameter bei raumakustischen Messungen oder Simulationen in einem Grossraumbüro für Ausbreitungspfade über mehrere Arbeitsplätze zu messen oder in einer geeigneten Simulationssoftware zu berechnen (siehe Abbildung 3):

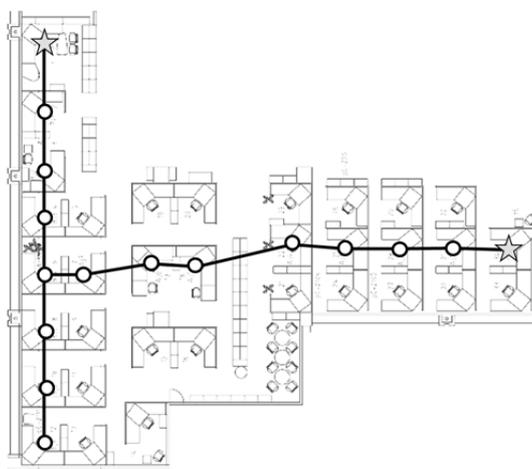


Abbildung 3: Zwei Messpfade in einem Grossraumbüros gemäss ISO 3382-3

Folgende **Messparameter** werden in der Norm ISO 3382-3 definiert:

Sprachübertragungsindex STI am nächsten Arbeitsplatz (en: speech transmission index):

Physikalische Grösse, die die Übertragungsqualität der Sprache im Hinblick auf deren Verständlichkeit beschreibt [27]

Ablenkungsabstand r_D : Abstand vom Sprecher, bei dem der Sprachübertragungsindex 0.50 beträgt. Nach dem Überschreiten des Abstands beginnt eine rasche Zunahme der Konzentrationsfähigkeit und der Privatsphäre

Vertraulichkeitsabstand r_P : Abstand vom Sprecher, bei dem der Sprachübertragungsindex 0.20 beträgt. Nach dem Überschreiten des Abstands werden Konzentrationsfähigkeit und Privatsphäre weitgehend wie im Falle getrennter Büroräume wahrgenommen. In Büros mit mangelnder privater Gesprächsumgebung oder kleinem Volumen ist es schwierig, STI-Werte unter 0.20 zu erreichen.

Räumliche Abklingrate der Sprache $D_{2,S}$: Rate der räumlichen Abnahme des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache je Abstandsverdopplung.

A-bewerteter Schalldruckpegel der Sprache in einem Abstand von 4m $L_{p,A,S,4m}$:

A-bewerteter Nenn-Schalldruckpegel der normalen Sprache in einem Abstand von 4.0 m von der Schallquelle. Eine effektive Messposition muss sich nicht in diesem Abstand von der Schallquelle befinden, da $L_{p,A,S,4m}$ durch eine lineare Regressionslinie der räumlichen Schallverteilung des A-bewerteten Schalldruckpegels (SPL) der Sprache bestimmt.

Mittlerer A-bewerteter Fremdgeräuschpegel $L_{p,A,B}$: Schalldruckpegel am Arbeitsplatz während der Arbeitszeit, jedoch bei Abwesenheit von Personen. Das Fremdgeräusch umfasst in diesem Fall alle durchgängig vorliegenden Geräusche, die nicht durch Menschen verursacht werden, z.B. Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage, oder ein Schallmaskierungssystem.

Für die raumakustische Simulation muss der mittlere A-bewertete Fremdgeräuschpegel $L_{p,A,B}$ angenommen werden. Die Räumliche Abklingrate wird ohne Fremdgeräuschpegel bestimmt.

Die **Zielwerte** sind in der Norm wie folgt beschrieben (*Anhang A (informativ) - Beispiele für Zielwerte zur Bewertung der Messdaten*):

Dieser Anhang stellt einige Hintergründe zur Bewertung von Messergebnissen zur Verfügung. Die Ergebnisse von in 16 Großraumbüros durchgeführten Messungen wurden in Literaturhinweis [14] veröffentlicht. Weitere Ergebnisse von fünf Büros (in einigen Fällen vor und nach der Modernisierung) wurden in Literaturhinweis [20] veröffentlicht. Die ausgewählten Großraumbüros unterschieden sich stark hinsichtlich Geometrie, akustischer Absorption, Mobiliar und Fremdgeräuschpegel.

Die meisten Großraumbüros hatten schlechte oder unzureichende akustische Bedingungen. Typische Einzahl-Werte in Büros mit schlechten akustischen Bedingungen waren

$$D_{2,S} < 5 \text{ dB}, L_{p,A,S,4m} > 50 \text{ dB und } r_D > 10 \text{ m.}$$

Großraumbüros mit guten akustischen Bedingungen sind selten, aber ein Beispiel von Zielwerten könnte

$$D_{2,S} \geq 7 \text{ dB}, L_{p,A,S,4m} \leq 48 \text{ dB und } r_D \leq 5 \text{ m}$$

sein.

[14] VIRJONEN, P., KERÄNEN, J., HONGISTO, V. Determination of acoustical conditions in open plan offices. Proposal for new measurement method and target values. Acta Acust. Acust. 2009, 95, S. 279-290

[20] NILSSON, E. HELLSTRÖM, B. Acoustic design of open plan offices. Nordic Innovation Centre, 2011. S. 100, verfügbar (gesehen 2011-07-21) auf: <http://www.nordicinnovation.net/nordtestfiler/rep619.pdf>

5.2.3. Akustische Gestaltung mit Hilfe der ISO 3382-3

Ein Blick auf die akustischen Parameter der ISO 3382 zeigt, dass man sich bei der akustischen Ausstattung von Grossraumbüros nicht auf das Dimensionieren einer Akustikdecke beschränken darf: Wie reagieren die einzelnen Parameter, wenn ich z.B. alleine darauf achte, die Absorption zu erhöhen ohne die Schallausbreitung durch Hindernisse zu beeinflussen? Die räumliche Abklingrate $D_{2,S}$ nimmt zu, verbessert sich also, erreicht aber nie Werte über 6 dB (Freifeld). Der Pegel $L_{p,A,S,4m}$ nimmt ab, verbessert sich also. Dagegen wird der Ablenkungsabstand r_D kleiner, verschlechtert sich also.

Das kleine Beispiel zeigt, dass eine ideale Kombination von Raumdimensionen, Schallabsorbieren, Hindernissen und Anordnungen von Arbeitsplätzen gefunden werden muss und optimale Verhältnisse in Grossraumbüros zu erreichen - eine mitunter recht komplexe Aufgabe.

5.2.4. Beispiel

Ein Beispiel mag das Vorgehen gemäss ISO 3382-3 veranschaulichen. Für ein geplantes Grossraumbüro (siehe Abbildung 4) wurden verschiedene Varianten (Verbesserung Schallabsorption mittels schallschluckender Vorhänge an den vielen Fensterfronten und Unterbrechung der Schallwege durch Stellwände) mit der Software Odeon simuliert. Exemplarisch sind einige Ergebnisse in Abbildung 5 dargestellt, wobei in Anlehnung an die Norm drei Kategorien gemäss Abbildung 6 gebildet wurden.

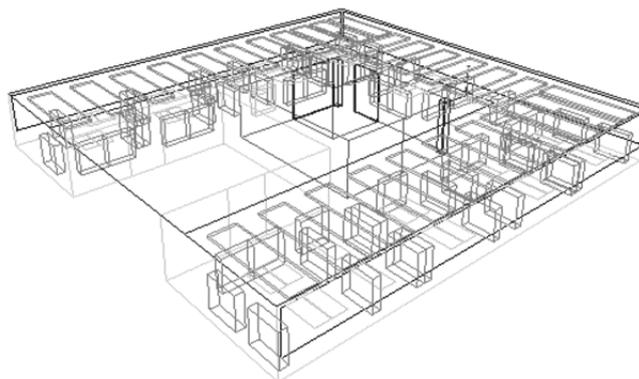


Abbildung 4: Drahtgittermodell eines Grossraumbüros für die akustische Simulation mit Odeon

Das Beispiel zeigt exemplarisch, dass nur mit dem Unterbrechen der Schallausbreitungspfade mit (genügend hohen) Stellwänden gute Werte gemäss ISO 3382-3 erreicht werden können.

Die Anwendung der Norm bei der Planung und Beurteilung von Grossraumbüros muss im Hinblick auf die bekannten akustischen Herausforderungen dringend empfohlen werden. Gespannt erwarten wird die revidierte Norm VDI 2569.

Variante		Räumliche Abklingrate $D_{2,S}$	Pegel bei 4 m $L_{p,A,S,4m}$	Ablenkungsabstand r_D
1	Schallabsorbierende Decke	4.1	48.5	8.7
2	1 + schallabsorbierende Vorhänge	4.6	46.7	7.4
3	1 + Stellwände	6.5	48.0	6.9
4	1 + Vorhänge + Stellwände	7.0	46.2	5.9

Abbildung 5: Beispiel von Ergebnissen für einen Messpfad bei 35 dB(A) Fremdgeräuschpegel für STI

	Schlechte akustische Bedingungen	Mittlere akustische Bedingungen	Gute akustische Bedingungen
Räumliche Abklingrate, $D_{2,S}$	$D_{2,S} < 5$ dB	$5 \text{ dB} \leq D_{2,S} < 7$ dB	$D_{2,S} \geq 7$ dB
A-bewerteter Pegel, $L_{p,A,S,4m}$	$L_{p,A,S,4m} > 50$ dB	$50 \text{ dB} \geq L_{p,A,S,4m} > 48$ dB	$L_{p,A,S,4m} \leq 48$ dB
Ablenkungsabstand, r_D	$r_D > 10$ m	$10 \text{ m} \geq r_D > 5$ m	$r_D \leq 5$ m

Abbildung 6: Bildung von drei Qualitätsstufen in Anlehnung an ISO 3382-3

5.3. Gaststätten

Der Lärmpegel in Gaststätten ist oft sehr hoch. Das gegenseitige Verstehen ist unter solchen Bedingungen extrem erschwert. Besonders benachteiligt sind Hörbehinderte.

Analog wie bei den Büroräumen wird für die Projektierung von Gaststätten (Speisegaststätten, Speiseräume, Kantinen mit einer Grundfläche über 50 m²) in der Norm DIN 18041 ein vereinfachtes Verfahren vorgeschlagen. Es gelten wiederum Orientierungswerte gemäss Tabelle 6 der Norm. Alternativ findet man in der Literatur auch Angaben für die Anforderung an die Nachhallzeit, je nach Quelle zwischen 0.4 - 1.0 Sekunden. Wie die Erfahrung zeigt, kann es aber auch beim (knappen) Einhalten der Anforderungen der DIN-Norm und der Nachhallzeiten zu Störungen durch Lärm und erschwerter Sprachverständlichkeit kommen.

Zwei kürzlich erschienen Publikationen ([14], [15]) zum Thema Raumakustik/Lärm in Gaststätten zeigen, dass für das Erreichen von genügend guten akustischen Verhältnissen (besonders für Hörbehinderte) eine grössere äquivalente Absorptionsfläche im Raum notwendig ist, als in der DIN 18041 vorgeschlagen wird. Weiter wird bestätigt, dass eine Unterbrechung der Schallausbreitung durch Raumunterteilungen (ähnlich wie im Büro) zu einer wesentlichen Verbesserung der Situation führt. Rindel [16] hat zudem letztes Jahr ein Simulationsverfahren unter Berücksichtigung des sogenannten Lombard-Effekts vorgestellt, welches für Gaststätten angewendet werden kann. Als Lombard-Effekt wird der Umstand bezeichnet, dass in einer Gruppe von Leuten umso lauter gesprochen wird, je höher der Umgebungslärm ist, also auch umso mehr Leute gleichzeitig sprechen.

Wenn das knappe Einhalten der Anforderungen der DIN 18014 für Gaststätten nicht genügt, was ist dann zu fordern? Jedenfalls ist nicht gemeint, dass für jedes Restaurant, für jede Cafeteria oder Mensa eine raumakustische Computersimulation notwendig ist. Aber auf dem Weg zu Formulierung verbesserter Anforderungen und von Gestaltungshinweisen könnte unter Anwendung solcher Tools sicher ein Erkenntnisgewinn resultieren. Vorläufig muss eine sorgfältige akustische Gestaltung mit genügend wirksamen Schallabsorptionsflächen und allfälligen architektonisch gut gestalteten Raumunterteilungen auf der Basis der Erfahrung gemacht werden.



Abbildung 7: Originelle schallabsorbierende Verkleidung von Wände, Stützen und Decke aus geöltem Ulmenholzstäben in der Mensa der Kantonsschule Zürcher Oberland, Wetzikon, Schweiz. (Architektur: Leuppi & Schafroth Architekten AG, Zürich)

6. Anhang

6.1. Hinweis auf Normen und Richtlinien

Zu den raumakustischen Anforderungen gibt es eine Reihe von Normen, Richtlinien, auf welche in diesem Abschnitt ohne Anspruch auf Vollständigkeit knapp hingewiesen wird. Als Ergänzung muss auf die akustische Fachliteratur verwiesen werden.

Normen zur Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen:

- DIN 18041:2004 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen [17]
-
- ÖNORM B 8115-3:2005 , Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 3: Raumakustik [18]
- SIA 181:2006 (SN 520181), Schallschutz im Hochbau, SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich. [19]

Büroräume

- EN ISO 3382-3:2012, Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 3: Großraumbüros [20]
- VDI 2569:1990 Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. (aktuell in Revision) [21]
- EN ISO 17624:2004 Akustik - Leitfaden für den Schallschutz in Büros und Arbeitsräumen durch Schallschirme. [22]

Fabrikationsräume

- VDI 3760:1996 Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen. [23]
- EN ISO 11690, Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten [24]- [26]

Sprachverständlichkeit in Räumen STI

- EN 60268-16:2011 Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2011-06). [27]
 - Anhang G: Anforderungen an die Sprachverständlichkeit.
 - Anhang H: Nicht muttersprachliche Hörer.
 - Anhang I: Auswirkung von altersbedingten Hörverlusten und Hörbeeinträchtigungen auf die Sprachverständlichkeit.

Barrierefreies Bauen

- DIN 18040 Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen. [28]
- ÖNORM B 1600 ff, Grundlagen des barrierefreien Bauens. [29]
- SIA 500 SN 521500:2009, Hindernisfreie Bauten, SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich. [30]

6.2. Anforderungen an den Sprachübertragungsindex gemäss Anhang G der Norm EN 60268-16 [27]

Kategorie	STI-Nennwert	Art der Nachrichteninformation	Beispiele für typische Anwendungen (für natürliche oder reproduzierte Sprache)	Bemerkung
A+	>0.76		Aufnahmestudios	Sehr gute Verständlichkeit, aber in den meisten Umgebungen selten erreichbar
A	0.74	Komplexe Nachrichten, unbekannte Wörter	Theater, Vortragssäle, Plenarsäle, Gerichtssäle, Hörhilfesysteme (en: assistive hearing systems, AHS)	Hohe Sprachverständlichkeit
B	0.70	Komplexe Nachrichten, unbekannte Wörter		
C	0.66	Komplexe Nachrichten, unbekannte Wörter	Theater, Vortragssäle, Telefonkonferenzen, Plenarsäle, Gerichtssäle	Hohe Sprachverständlichkeit
D	0.62	Komplexe Nachrichten, bekannte Wörter	Hörsäle, Klassenräume, Konzertsäle	Gute Sprachverständlichkeit
E	0.58	Komplexe Nachrichten, bekannter Kontext	Konzertsäle, moderne Kirchen	Beschallungsanlagen hoher Qualität
F	0.54	Komplexe Nachrichten, bekannter Kontext	Beschallungsanlagen in Einkaufszentren, öffentlichen Bürogebäuden, Sprachalarmanlagen, Kathedralen	Beschallungsanlagen guter Qualität
G	0.50	Komplexe Nachrichten, bekannter Kontext	Einkaufszentren, öffentliche Bürogebäude, Sprachalarmanlagen	Zielanforderung für Sprachalarmanlagen
H	0.46	Einfache Nachrichten, bekannte Wörter	Sprachalarm- und Beschallungsanlagen in schwierigen akustischen Umgebungen	Mindestanforderung für Sprachalarmanlagen
I	0.42	Einfache Nachrichten, bekannter Kontext	Sprachalarm- und Beschallungsanlagen in sehr schwierigen akustischen Umgebungen	
J	0.38		Nicht für Beschallungsanlagen geeignet	
U	<0.36		Nicht für Beschallungsanlagen geeignet	
ANMERKUNG 1		Diese Werte sollten als Mindest-Sollwerte betrachtet werden.		
ANMERKUNG 2		Die wahrgenommene Verständlichkeit jeder Kategorie hängt vom Frequenzgang an jeder Hörposition ab.		
ANMERKUNG 3		Die STI-Werte beziehen sich auf gemessene Werte in beispielhaften Hörpositionen oder wie von speziellen Anwendungsstandards gefordert.		

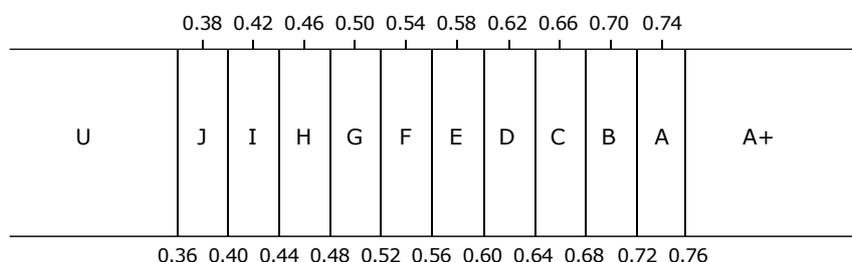


Abbildung 8: Tabelle zu den Anforderungen an die Sprachverständlichkeit gemäss Anhang G der Norm EN 60268-16 [26] inkl. Definition der Kategorien entsprechend der Norm.

6.3. Literatur- und Normenverzeichnis

- [1] Schneider W., Sinn und Un-Sinn. Umwelt sinnlich erlebbar gestalten in Architektur und Design. Bauverlag. Wiesbaden und Berlin, 1987
- [2] Schrickler R., Kreative Raum-Akustik für Architekten und Designer. DVA, Stuttgart 2001
- [3] Haverkamp M., Synästhetisches Design – Kreative Produktentwicklung für alle Sinne. Hanser, 2009
- [4] Red Dot Award "Best of the Best" 2012, Dwell on Design Award 2012, Swiss Textile Design Award Design Preis Schweiz 2011. <http://www.douglas-textiles.ch/acoustics>
- [5] Pieren R., Soundscape im Grossraumbüro (Open Plan Space). 2. HolzBauSpezial - 1. Internationale Schall- und Akustiktag (ISA 2011)
- [6] Eggenschwiler K., et al, Beschallungsanlagen für Sprache, Schweizerische Gesellschaft für Akustik SGA-SSA, 2001
- [7] Barron M., Auditorium Acoustics and Architectural Design. E & FN SPON, London, 2009
- [8] Kleiner M., Klepper D. L., Torres R. R., Worship space acoustics, J. Ross Pub., 2010
- [9] Meyer J., Kirchenakustik, Bochinski 2002
- [10] Siehe z.B. www.sga-ssa.ch/schulraumakustik
- [11] Eggenschwiler K., Cslovjecsek M., Acoustical Requirements of Classrooms and new Concepts of Teaching. Proceedings, Acoustics'08, Paris, France, 2008, 6395-6400
- [12] Eggenschwiler K., Room acoustics of classrooms with different shapes. Euronoise 2006, Tampere, Finland, 2006
- [13] Meis, M., K. Klink. Schall- und Lärmwirkung - Grundlagen des Hörens, Schallwirkungen und Massnahmen im Büroumfeld. Download: http://www.buero-forum.de/uploads/media/11_Schall-und_Laermwirkung.pdf
- [14] Rindel, J.H., Verbal communication and noise in eating establishments. Applied Acoustics 71, 1156-1161, 2010
- [15] Nahid M., Hodgson M., Prediction of optimal conditions for verbal-communication quality in eating establishments, J. Acoust. Soc. Am. 129 (4), April 2011
- [16] Rindel, J.H., Christensen C. L., Dynamic sound source for simulating the Lombard effect in room acoustics modeling software. Internoise 2012, New York
- [17] DIN 18041:2004 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen
- [18] ÖNORM B 8115-3:2005 , Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 3: Raumakustik
- [19] SIA 181:2006 (SN 520181), Schallschutz im Hochbau, SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich
- [20] EN ISO 3382-3:2012, Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 3: Grossraumbüros
- [21] VDI 2569:1990 Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. (aktuell in Revision)
- [22] EN ISO 17624:2004 Akustik - Leitfaden für den Schallschutz in Büros und Arbeitsräumen durch Schallschirme.
- [23] VDI 3760:1996 Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen
- [24] EN ISO 11690-1:1996 Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 1: Allgemeine Grundlagen (ISO 11690-1:1996)
- [25] EN ISO 11690-2:1996 Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 2: Lärminderungsmaßnahmen (ISO 11690-2:1996), 1997
- [26] EN ISO 11690-3:1998 Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 3: Schallausbreitung und -vorausberechnung in Arbeitsräumen (ISO/TR 11690-3:1997)
- [27] EN 60268-16:2011 Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2011-06)
- [28] DIN 18040 Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen
- [29] ÖNORM B 1600 ff, Grundlagen des barrierefreien Bauens
- [30] SIA 500 SN 521500:2009, Hindernisfreie Bauten, SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich