# Neue Techniken bei der schalltechnischen Planung von Bürolandschaften

Wolfgang Probst
*DataKustik GmbH, 86926 Greifenberg, E-Mail:wolfgang.probst@datakustik.de*

## Einleitung

Bei der Planung von Bürolandschaften spielt die zu erwartende Geräuschsituation eine erhebliche Rolle. Im Unterschied zu anderen Arbeitsstätten mit geräuschrelevanten Maschinen und technischen Einrichtungen geht es dabei in der Regel nicht um die Vermeidung von gehörschädigendem Lärm, sondern um die Sicherstellung von gewünschten akustischen Eigenschaften unter Berücksichtigung der Verstehbarkeit von Sprache. Diese gewünschten Eigenschaften können höchst unterschiedlich sein – während es bei der Zusammenarbeit in einer Arbeitsgruppe auf gute Verständlichkeit auch bei geringer Sprechanstrengung ankommt, ist gegenüber anderen Arbeitsgruppen eine möglichst geringe Verstehbarkeit der internen Kommunikation und damit ein Mindestmaß an Vertraulichkeit gewünscht.

Um diese gewünschten akustischen Eigenschaften sicherstellen zu können, ist es notwendig, die zu ihrer Beurteilung geeigneten Kenngrößen schon in der Planungsphase zu prognostizieren. Im Folgenden werden die wichtigen Schritte zur softwaregestützten schalltechnischen Optimierung von Büroeinrichtungen bzw. die dabei angewendeten Konzepte dargestellt. Dies umfasst auch eine kritische Beleuchtung des derzeitigen im Rahmen der bestehenden Normung gegebenen technischen Standes.

## Rechenmethoden und Softwarestrategien

Zur Berechnung der Schallausbreitung im Raum wird mit dem diesem Beitrag zugrundeliegenden Softwaresystem CadnaR [1] ein Hybridverfahren angewendet – Direktschall und ggfs. erste Reflexionen können nach einem Spiegelquellenverfahren unter Einbeziehung von Beugung bzw. Abschirmung, alle weiteren Reflexionen bis zu einer vorgebbaren Laufzeit nach einem statistischen Teilchenverfahren berechnet werden.

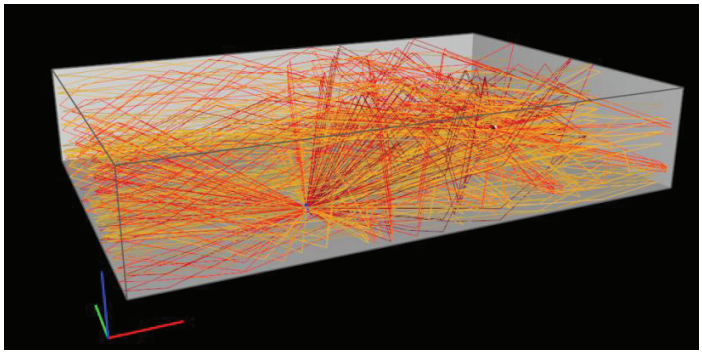

**Abbildung 1:** Schallstrahlen beim Spiegelquellenverfahren

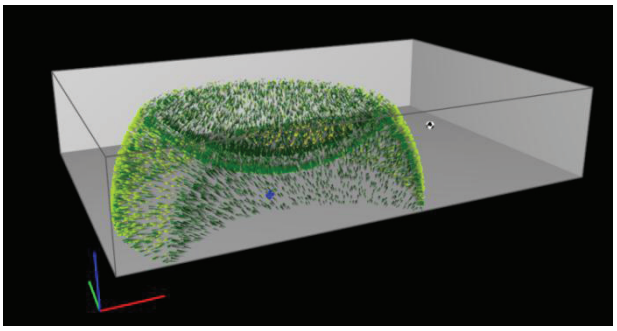

**Abbildung 2:** Teilchenverfahren nach erfolgter erster Reflexion an Decke und Fußboden

Bei der Berechnung nach dem Teilchenverfahren wird das akustisch relevante Raumvolumen in kleine Zählvolumina – die sog. Voxel – unterteilt und es werden in jedem dieser Voxel die Teilchen mit ihren Laufwegen durch das Voxel als Beitrag zur Schallenergiedichte summiert. Die Größe der Voxel bestimmt die Rechenzeit und das Auflösungsvermögen – letzteres muss es ermöglichen, die akustisch relevanten Einrichtungsdetails ausreichend genau zu erfassen und abzubilden.

## Zur akustischen Beschreibung von Bauteilen

Zur akustischen Simulationsrechnung ist es ausreichend, nur die aufgrund ihrer Ausdehnung relevanten Einrichtungen zu erfassen und mit den spektralen Parameterwerten für Absorption, Streugrad und Transmission zu beschreiben. Jede „Überdetaillierung“ im Sinne der oben genannten akustischen Auflösung ist sinnlos und spiegelt nur in den 3D-Modellen eine in der Praxis nicht vorhandene – und auch nicht nötige – Genauigkeit bei der Berechnung von Strahlverläufen vor.

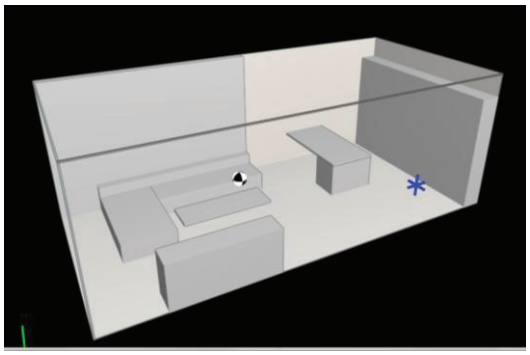

**Abbildung 3:** Einfaches Modell eines Büroraums mit Besprechungsbereich

Aufgrund dieser Modellierungstechnik ist es sinnvoll, die bei der Layout-Planung generierten und auf möglichst gute Visualisierung optimierten Modelle durch Vorschaltung eines quasi softwaretechnischen „Akustisierungsfilters“ von überflüssigen Informationen zu befreien und die schalltechnisch relevanten Bauteile mit ihren akustischen Parameterwerten zu versorgen.

Diesem aufgrund verbesserter Techniken wichtiger werdenden Vorgehen sollte auch mit der Normung Rechnung getragen werden. Dies beginnt bei der akustischen Beschreibung der Bauteile und führt über die Definition von Qualitätsmaßen bis zur Formulierung von Anforderungen.

Ein Beispiel ist die Definition des Schallabsorptionsgrads von Deckensegeln in der VDI-Richtlinie 3755 /2/. Derartige Deckensegel sind von der Rohdecke mit Abstand voneinander abgehängte Platten, die im Schallfeld „schwimmen“ und so auch mit ihrer Rückseite zur Absorption beitragen.

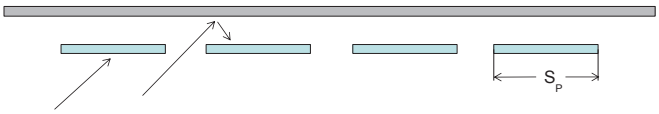


**Abbildung 4:** Deckensegel können auch mit ihrer Rückseite zur Absorption beitragen – bei Bezug der pro Element ermittelten Absorptionsfläche auf die Plattenfläche $S_P$ ergeben sich Absorptionsgrade > 1

Nach der genannten Richtlinie ist die mit einer Anordnung nach Abbildung 4 pro Platte ermittelte äquivalente Absorptionsfläche auf deren Plattenfläche zu beziehen und die ermittelten Absorptionsgrade > 1 sollen auch so – ohne Ersetzen der Werte > 1 durch 1 – als $\alpha_{Segel}$ weiterverwendet werden.
Bei der schalltechnische Simulationsrechnung werden aber die Strahlwege im Detail verfolgt – der genannte Absorptionsgrad > 1 kann durch eine entsprechende Schwächung der auf die Plattenvorderseite auftreffenden Teilchen nicht berücksichtigt werden, weil deren Energie eben nicht mehr als vollständig vernichtet werden kann.

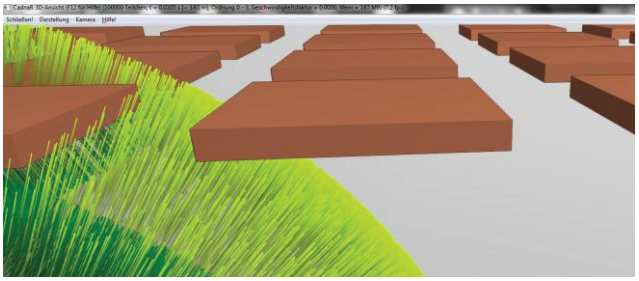

**Abbildung 5:** Der Durchtritt von Schallteilchen durch eine Anordnung von Deckensegeln

Es gibt nur zwei „saubere“ Wege zur akustischen Beschreibung derartiger Anordnungen. Die erste – und mit dem zu erwartenden Bedeutungszuwachs von Simulationsrechnungen sicher in Zukunft wichtiger werdende – Methode besteht darin, die Platte selbst ordentlich mit ihrem ggfs. beidseitig unterschiedlichen Absorptionsgrad, dem Streugrad und ihrer Transmission zu beschreiben. Damit können Anordnungen mit unterschiedlichen Abständen und den Eigenschaften der dahinterliegenden Rohdecke einbezogen werden, soweit die Berechnungsmethoden dies erlauben. Die unterschiedliche Absorption aufgrund unterschiedlicher Anordnungen wird damit berechnet und nicht für jede Anordnung getrennt gemessen.

Der zweite Weg besteht darin, die mit einer gegeben Anordnung pro Element festgestellte äquivalente Absorptionsfläche auf eine Bezugsfläche $S_B$ gemäß Abbildung 6 zu beziehen. Der so ermittelte Absorptionsgrad gilt eben nur für diese Anordnung und ist keine Eigenschaft der Platte alleine.

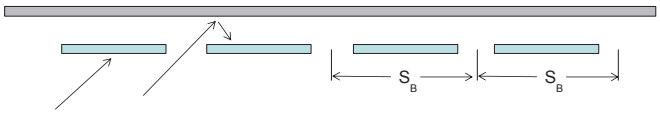


**Abbildung 6:** Bei Bezug der pro Element festgestellten Absorptionsfläche auf die dargestellte Bezugsfläche $S_B$ eignet sich auch der so ermittelte Absorptionsgrad zur Berechnung

Bei der akustischen Simulation wird dann die gesamte Anordnung durch Zuweisung dieses Absorptionsgrads zu einer durchgehenden ebenen Deckenplatte einbezogen.

Dasselbe gilt auch für Kulissenanordnungen mit vertikal abgehängten Platten – in [3] ist der Zusammenhang zwischen den auf das Einzelelement und den auf eine bestimmte Anordnung bezogenen akustischen Parametern beschrieben. Würde man entsprechend Abbildung 4 die Absorption nur auf die raumseitige Kulissenfläche beziehen, ergäben sich Absorptionsgrade von bis zu 100!!

## Schalltechnische Anforderungen an die Raumakustik von Büroräumen und ihre Einbeziehung bei der Planung

Eine übergreifende und nicht ausschließlich auf Büroräume bezogene Anforderungsnorm ist DIN 18041 [4] – sie unterscheidet die Raumgruppen A und B, wobei die Ein- und Mehrpersonenbüros der Gruppe B und dort der Untergruppe B4 zuzurechnen sind. Zur Sicherstellung der erforderlichen raumakustischen Qualität werden Orientierungswerte für den Quotienten aus äquivalenter Absorptionsfläche und Raumvolumen A/V formuliert und für weitergehende Kriterien auf die VDI-Richtlinie 2569 [5] verwiesen.

Diese letztgenannte und auf die schalltechnische Planung von Büroräumen bezogene Richtlinie verwendet als Anforderung

- Maximal zulässige Nachhallzeiten
- Maximal zulässige Störschalldruckpegel bauseitiger Geräusche
- Einzuhaltende Werte für Kenngrößen, die sich aus der Bestimmung von Schalldruckpegeln auf Messpfaden gemäß DIN EN ISO 3382-3 [6] ableiten (Pegelabnahme pro Abstandsverdopplung $D_{2,S}$ und A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{p,A,S,4\,m}$ der Sprache in einem Abstand von 4 m )

Weiter ist in der Richtlinie der Ablenkungsabstand $r_D$ genannt – dies ist der Abstand von einer Sprecherposition, an dem der Sprachübertragungsindex STI nach IEC 60268-16 [7] auf unter 0,5 abgesunken ist.

In der Planungsphase müssen die entsprechenden Kenngrößen vorausberechnet oder auf der Basis entsprechender Vorerfahrung eingeschätzt werden.

Bei der Nachhallzeit ist dies kein grundsätzliches Problem. Simulationstechniken wie das genannte Teilchenverfahren erlauben – weit hinausgehend über die mit der Bestimmung

nach der Sabineschen Theorie gemäß DIN EN 12354-6 [8] gegebenen Beschränkung auf diffuse Schallfelder – die ortsabhängige Bestimmung des Abklingvorgangs bzw. der frequenzabhängigen Echogramme auch beim Vorliegen räumlich komplexer Bedingungen. Auf der Basis der für beliebige Immissionsorte ermittelten Echogramme wird auch der STI berechnet.
Allerdings setzt auch die Anwendung dieser Rechenverfahren einiges an Erfahrung voraus, welche Annahmen über Streugrade, Mindestabsorption bei kleinteiligen Einrichtungsstrukturen und anderer nicht einfach zugänglicher Parameterwerte getroffen werden müssen. Für den Fachmann sind derartige Berechnungsverfahren aber eine wichtige Unterstützung seiner eigenen Expertise.

Schwieriger ist die Ermittlung der auf die genannten Messpfade bezogenen Kenngrößen. Da sich diese Messpfade über mehrere Arbeitsplätze eines Raumes erstrecken und diese auch durch Teiltrennwände und andere Einrichtungsgegenstände voneinander abgeschirmt sind, kommt dem über Umwege oder auch durch Beugung zum Immissionsort gelangenden Schall und der möglichen Genauigkeit der Vorausberechnung wesentliche Bedeutung zu.

Im genannten Softwaresystem CadnaR ist die Schirmrechnung für das Spiegelquellenverfahren integriert und kann bei hybrider Rechnung auf den Direktschall und auf alle Strahlwege bis zu einer festlegbaren Ordnungszahl angewendet werden. Die Anwendung beim reinen Teilchenverfahren ist ebenfalls technisch umgesetzt und wird derzeit evaluiert. Damit ist die Berechnung der genannten auf die Pfade bezogenen Kenngrößen auch für komplex eingerichtete Mehrpersonenbüros möglich.

Als Beispiel zeigt Abbildung 7 das vereinfachte Modell eines Mehrpersonenbüros mit einem durch eine umschließende Teiltrennwand abgeteilten Besprechungsbereich.

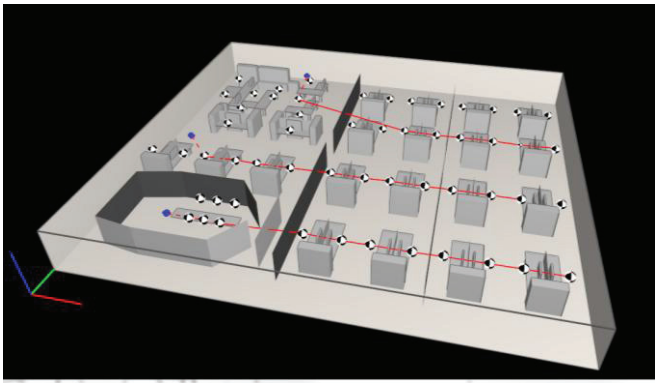

**Abbildung 7:** Mehrpersonenbüro mit Teiltrennwänden und drei Immissionspunktketten (rot) zur Beurteilung nach VDI 2569

Die Pfade werden durch Anklicken der betreffenden Arbeitsplatzpositionen eingegeben und als Quellposition wird für jeden Pfad eine Punktschallquelle mit einem Sprecher-Emissionsspektrum angegeben.

Setzt man bei diesem Modell eine hoch schallabsorbierende Decke voraus, so ergeben sich die Diagramme Abbildung 8, 9 und 10 bei der Auswertung der Berechnung für den untersten Pfad (der Pfad mit der Quelle im abgeschirmten Besprechungsbereich).

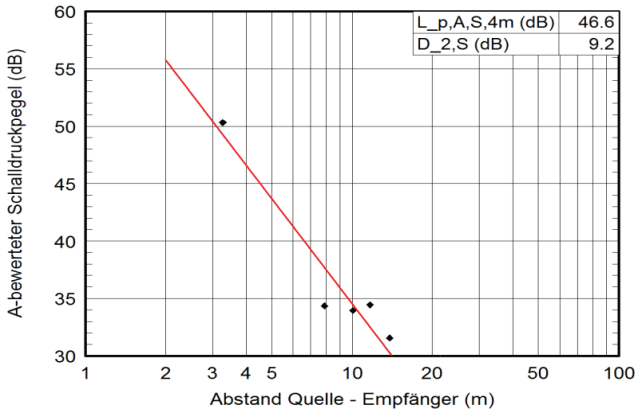


Abbildung 8: Auswertung der Pfadberechnung mit $D_{2,S}$ und $L_{p,A,S,4m}$

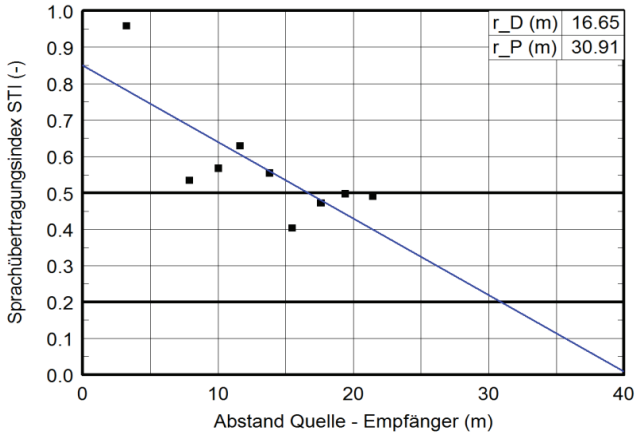


Abbildung 9: An den Pfadpunkten berechneter STI – der Ablenkungsabstand beträgt 16,7 m

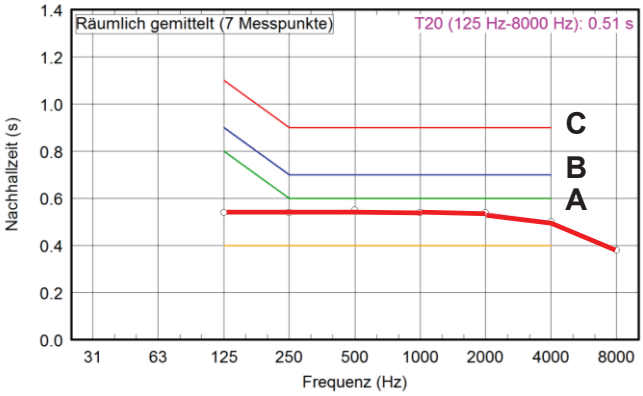


**Abbildung 10:** Die über alle Punkte des Pfads gemittelte Nachhallzeit (rot) mit den maximal zulässigen Werten für die Raumakustik-Klassen A, B und C

## Empfehlungen zur Verwendung des STI

Die Vorgehensweise nach VDI 2569 hat den Nachteil, dass aufgrund der typischen Nutzung stets vorhandene Hintergrundgeräusche nicht berücksichtigt werden. Der STI ist ein Maß für das „Verschmieren“ der durch die Artikulation vorhandenen Modulationstiefe des Sprachschalls – dies erfolgt sowohl durch den Nachhall des Raumes wie auch

durch andere sich überlagernde Schallsignale. Die Einbeziehung dieser objektiv vorhandenen und das Beurteilungsergebnis wesentlich bestimmenden Einflüsse ist beim STI technisch-wissenschaftlich nachvollziehbar gegeben. Abbildung 11 zeigt die Abhängigkeit des STI sowohl von der Nachhallzeit (diese Berechnung erfolgte unter Voraussetzung eines linearen Abklingens gemäß einem diffusen Schallfeld) wie auch von der Pegeldifferenz zu einem ebenfalls vorhandenen Hintergrundgeräusch.

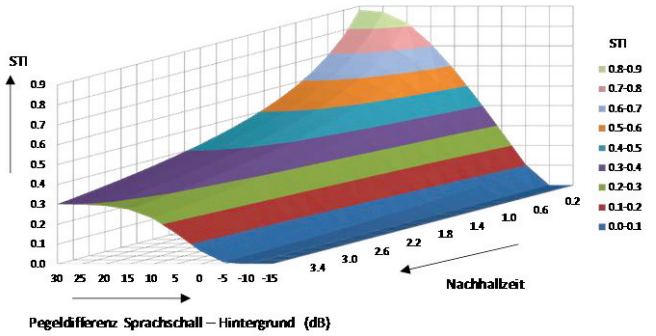


Abbildung 11: Die Abhängigkeit des STI von der Nachhallzeit und von der Pegeldifferenz des Sprachschalls zum Hintergrundgeräusch

Der bei Ausblendung der Hintergrundgeräusche ermittelte STI, der ja die Veränderung der Modulationstiefe des Sprachschalls bewertet, hängt nicht von der Pegelhöhe dieses Sprachschalls ab. Dadurch ergibt sich mit einer Abschirmung, die ja nur das Pegelniveau absenkt, die Modulationstiefe aber nicht verändert, kein wesentlicher Einfluss auf den STI.

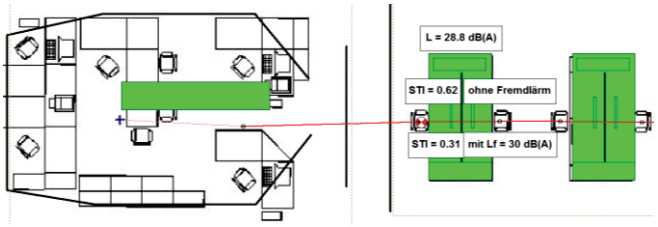


**Abbildung 12:** Die Beurteilung der Verstehbarkeit von Sprachschall aus dem Besprechungsbereich links am Arbeitsplatz hinter der Abschirmung rechts

Dies zeigt die Berechnung des STI an dem zum Besprechungsbereich nächstgelegenen Arbeitsplatz, der durch 2 m hohe Teiltrennwände von diesem Bereich abgeschirmt ist. Oberhalb befindet sich ein hochabsorbierendes Deckensystem. Ohne Fremdlärm liegt dieser Arbeitsplatz innerhalb des Ablenkungsabstands. Man wird bei einer derartigen Beurteilung darauf schließen, dass die Gespräche aus dem Besprechungsbereich gehört und verstanden werden, eine Störung der Konzentration an diesem Arbeitsplatz und die fehlende Vertraulichkeit des Besprochenen zur Folge haben. Aber schon mit einem Hintergrundpegel von 30 dB(A) – ein bei Büros dieses Typs fast unrealistisch niedriger Wert – ergibt sich ein STI von nur 0,3.

Und dies entspricht auch der Erfahrung – durch Absorption und Abschirmungen wird der Pegel des Sprachschalls gesenkt und „taucht“ in das informationsarme Hintergrundgeräusch ein.

So hilfreich die Klassifizierung von Büroräumen nach VDI 2569 auch sein mag, im konkreten Planungsfall ist es – wie in dieser Richtlinie auch empfohlen – sinnvoll, die Sprachübertragung zwischen Arbeitsplätzen individuell an den dort gegebenen Anforderungen auszurichten.

Berücksichtigt man, dass die Beurteilung der Qualität von Arbeitsplätzen im Bürobereich sowohl im Positiven (gute Sprachverständlichkeit innerhalb von Arbeitsgruppen) wie auch im Negativen (Konzentrationsstörung durch erzwungenes Mithören) wesentlich durch Sprachschall bestimmt wird, sollte dem STI als Beurteilungskenngröße wesentlich höherer Stellenwert eingeräumt werden, als dies im normativen Bereich bisher der Fall ist. Bezogen auf Arbeitsstätten generell wäre es durchaus sinnvoll, den ständig vorhandenen typischen Hintergrundpegel – evtl. festgelegt als $L_{90}$ oder $L_{95}$ – zu klassifizieren und der Beurteilung der Sprachverständlichkeit generell zugrunde zu legen.

## Literatur

[1] CadnaR.: http://www.datakustik.de

[2] VDI-Richtlinie 3755:2013 „Schalldämmung und Schallabsorption abgehängter Unterdecken“, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

[3] Wolfgang Probst: „Die Schallabsorption von Kulissendecken“,Lärmbekämpfung Bd.3 (2008) Nr.2

[4] E DIN 18041:2015-02 “Hörsamkeit in Räumen – Vorgaben und Hinweise für die Planung”, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

[5] VDI-Richtlinie 2569 E: “Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro”,”, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

[6] DIN EN ISO 3382-3 Akustik; Messung von Parametern der Raumakustik; Teil 3: Großraumbüros

[7] IEC 60268-16: Sound system equipment; Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index, ISBN 978-2-88912-522-7

[8] DIN EN 12354-6: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften; Teil 6: Schallabsorption in Räumen