

# Simulationen zu den aktuellen Kenngrößen der Büroakustik

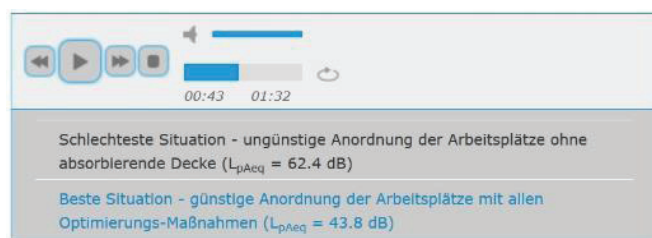
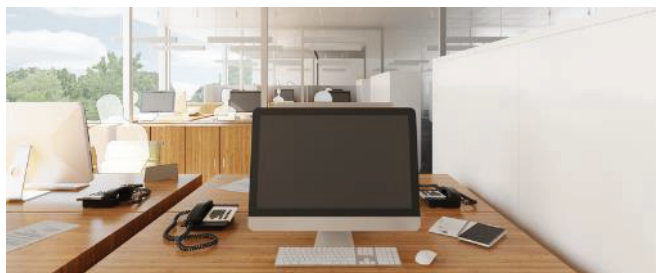
Sebastian Goossens<sup>1</sup>, Roman Stumpner<sup>1</sup>, Georg Brockt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Rundfunktechnik (IRT), 80939 München

<sup>2</sup> Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 44061 Dortmund

## Einleitung

Der Trend zur Einrichtung von Mehrpersonenbüros ist weiterhin ungebrochen, während gleichzeitig die Belastung durch Lärm als wesentlicher Stressor bei der Büroarbeit identifiziert wurde. Um Architekten, Bauingenieure und Bauherren sowie Planer und Betreiber von Büroräumen und -arbeitsplätzen stärker für die Notwendigkeit einer akustischen Gestaltung der Arbeitsumgebung zu sensibilisieren und sie bei der Planung der passenden Schallschutzmaßnahmen aktiv zu unterstützen, hat das IRT vor einigen Jahren in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) Auralisationen zur Planung von Büroräumen entwickelt, die über einen Internet-Browser wiedergegeben werden können [1]. Mit einem extra entwickelten Player (Abb. 1) können die Nutzer lückenlos zwischen den Beispielen hin und her schalten und die Höreindrücke über Kopfhörer direkt miteinander vergleichen. Der Player sorgt auch dafür, dass das gezeigte Bild immer mit dem gehörten Audiosignal übereinstimmt.



**Abbildung 1:** Bildschirmansicht des Players zur interaktiven Darbietung der Auralisationen

In einem Folgeprojekt wurden die Demonstrationen aktualisiert und in der Weise erweitert, dass die im aktuellen Regelwerk verankerten akustischen Größen ermittelt und in die interaktiven Präsentationen integriert wurden [2]. Für die verschiedenen Raumsituationen wurden die akustischen Messungen als Computersimulationen durchgeführt. Dafür kam das im IRT selbst entwickelte Simulations- und Auralisationsprogramm AUVIS zum Einsatz [3], welches die Ansätze Spiegelschallquellen für die ersten Reflexionen und Raytracing für den späteren Nachhall miteinander kombiniert.

## Raumakustische Kenngrößen

Um die Notwendigkeit und das Potenzial, aber auch die Grenzen akustischer Gestaltungsoptionen zu demonstrieren, wird somit die subjektiv hörbare Wahrnehmungsebene mit technischen Größen aus Beurteilungsnormen und Gestaltungsrichtlinien verknüpft. Dafür werden bei den verschiedenen Bürotypen (Einzel-, 3-Personen- und Großraumbüro) raumakustische Parameter und Kenngrößen nach DIN 45645-2, DIN EN ISO 3382-3 und nach VDI 2569 (Entwurf Februar 2016) angegeben. Zusätzlich wird der Einfluss von Schallmaskierungsgeräuschen auf die akustischen Messgrößen und die subjektive Wahrnehmung dargestellt.

Zur übersichtlichen Präsentation der zugehörigen Kenngrößen wird unter dem Player eine Auswahl der Kenngrößen in tabellarischer Form angeboten (Abb. 2). Die farbliche Markierung in der Tabelle zeigt die Zugehörigkeit zum gerade gehörten Audiosignal an. Umfangreichere Informationen können zu den Bereichen „STI“, „Räumliche Abklingrate“ und „Nachhallzeit“ aufgeklappt werden. Der Menüpunkt „Akustische Kenngrößen im Detail“ bietet schließlich eine vollständige Übersicht über alle zum aktuellen Beispiel verfügbaren Kenngrößen in Tabellenform. Zusätzlich ist auch eine umfangreiche Anleitung zur Software als pdf-Dokument verfügbar [4], in der alle Kenngrößen ausführlich dokumentiert sind.

**Akustische Kenngrößen**

Nachhallzeit $T_N/s$ (250Hz - 4kHz)	Fremdgeräuschpegel $L_{p,A,B} / dB$	4m-Sprachpegel $L_{p,A,S,4m} / dB$ (Pfad 1)	Pegelabfall $D_{2,S} / dB$ (Pfad 1)	Ablenkungsabstand $r_D / m$ (Pfad 1)	Vertraulichkeitsabstand $r_P / m$ (Pfad 1)	Raumakustikklasse VDI 2569
0.58	30	55.2	3.1	32.5	83.7	>C
0.40	30	45.5	13.2	5.9	11.7	>C

**Abbildung 2:** Auswahl der Kenngrößen in tabellarischer Form

## A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel ( $L_{pAeq}$ )

Für alle angebotenen Auralisationen im Einzel-, 3-Personen- und Großraumbüro wurde der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel ( $L_{pAeq}$ ) nach DIN 45645-2 bestimmt. Am Platz des Hörers wurde jeweils für die gesamte Zeit der Szene (90 sec) der Pegel gemittelt. Die Schalldruckpegel aller sprechenden Personen wurden ursprünglich im Freifeld in

1 m Abstand derart eingestellt, dass sich für jede Person ein Leistungspegel von 65 dB(A) ergab. Mit Hilfe der Messung des 1 m Freifeldpegels einer einzelnen Person konnte die Messung der gesamten Szene also kalibriert werden.

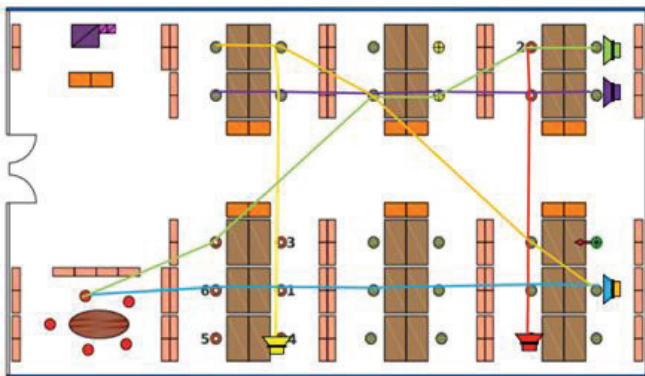
Für jedes Hörbeispiel wird der Wert des zugehörigen äquivalenten Dauerschallpegels ( $L_{pAeq}$ ) bereits im Player angegeben (vgl. Abb. 1).

**Ermittlung der Nachhallzeit**

Abweichend von der üblichen Nachhallzeitmessung sollen nach VDI 2569 zur Ermittlung der Nachhallzeit Lautsprecher und Mikrofone an den Arbeitsplätzen positioniert werden. Zudem soll der Messabstand nicht über eine Entfernung von 8 Metern hinausgehen. Damit ergeben sich im Großraumbüro 6 Lautsprecher- und 9 Mikrofonpositionen bzw. Impulsantworten. Die Ergebnisse werden gemittelt in Oktaven von 125 Hz bis 8 kHz in Tabellen- und Diagrammform angegeben.

**Messpfade**

Nach den Vorgaben der DIN EN ISO 3382-3 und der VDI 2569 müssen die raumakustischen Kenngrößen in größeren Räumen an vielen Messpunkten entlang mehrerer Messpfade ermittelt werden. Abb. 3 zeigt beispielhaft den Grundriss mit den für eine Arbeitsplatzanordnung gültigen 6 Messpfaden. (30 Arbeitsplätze; 6 Messpfade; 28 Messpunkte) An jedem Arbeitsplatz entlang der Messpfade müssen die raumakustischen Kenngrößen ermittelt werden.



Pfadnr.	Anz	r <sub>1</sub> /m	r <sub>2</sub> /m	r <sub>3</sub> /m	r <sub>4</sub> /m	r <sub>5</sub> /m	r <sub>6</sub> /m
1	6	2,3	6,0	7,9	11,7	13,7	18,4
2	4	3,0	10,2	14,4	16,1		
3	5	2,2	5,9	7,9	11,7	13,6	
4	5	2,0	6,1	8,3	15,1	20,6	
5	4	1,8	3,5	7,9	10,2		
6	4	1,8	3,9	8,0	10,2		

Abbildung 3: Grundriss mit den für diese Arbeitsplatzanordnung gültigen 6 Messpfaden

**Räumliche Abklingrate der Sprache  $D_{2,S}$  und A-bewerteter SPL der Sprache im Abstand 4m  $L_{p,A,S,4m}$**

Diese Werte wurden in der Simulation genauso bestimmt, wie es für ihre Messung nach DIN EN ISO 3382-3 auch in der Praxis vorgesehen ist. Lediglich die Bestimmung des Schalleistungspegels des verwendeten Lautsprechers entfällt, da dieser in der Simulation vorgegeben werden kann.

Die Sprachquelle zur Bestimmung des A-bewerteten Sprachpegels ist eine ungerichtete Quelle mit dem Schalleistungspegel 68.4 dB, deren frequenzabhängiger 1m-Pegel im Freifeld in Oktaven in der Norm angegeben wird. Für die Messung im simulierten Raum wird ein ungerichteter Lautsprecher verwendet, dessen 1 m-Pegel im Freifeld definiert wird. In der Simulation wurde nun für alle Messpunkte eines Pfades aus der Übertragungsfunktion zwischen Quelle und Messpunkt der Oktavpegel und die Differenz zum 1m-Freifeldpegel bestimmt. Diese Differenz wurde dann ebenfalls vom 1m-Freifeldpegel der Sprachquelle subtrahiert. Aus den A-bewerteten Einzelpiegeln der Sprachquelle entlang eines Messpfades wurden mit Hilfe einer Regressionsgeraden die Kennwerte bestimmt (vgl. Abb. 4)

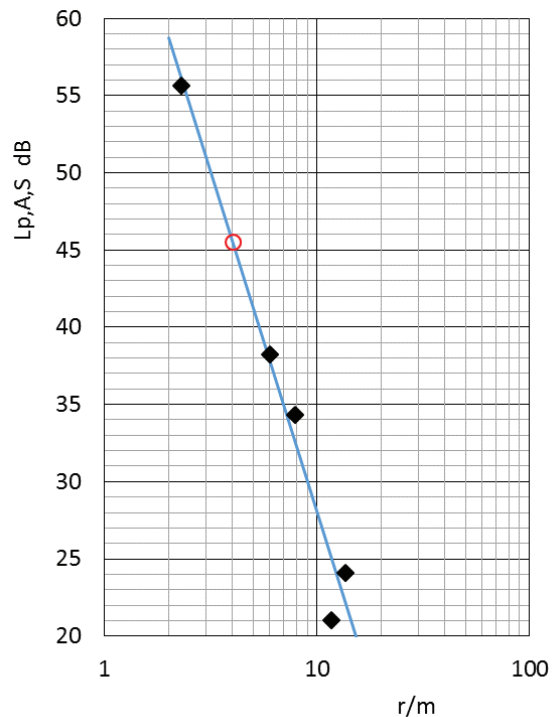
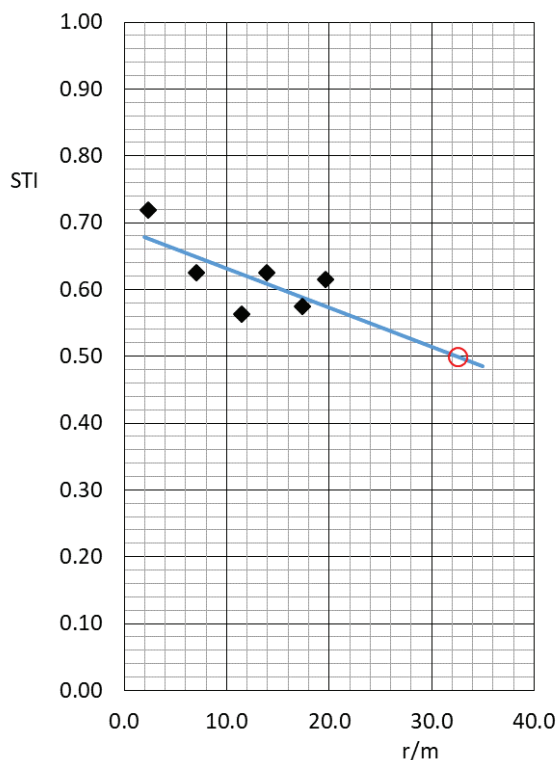


Abbildung 4: Messwerte des A-bewerteten SPL der Sprache entlang eines Messpfades mit der zugehörigen Regressionsgeraden;  $D_{2,S}$  aus Steigung der Geraden;  $L_{p,A,S,4m}$  = Markierung bei  $r=4$  m

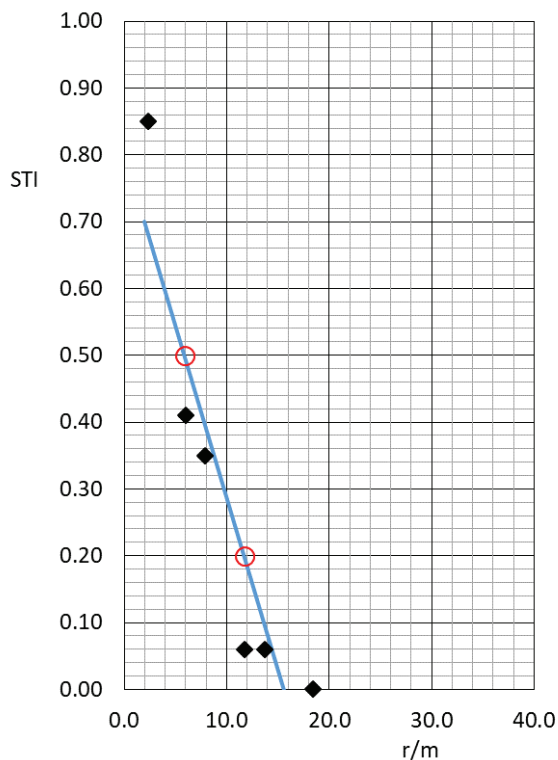
**STI, Ablenkungsabstand  $r_D$ , Vertraulichkeitsabstand  $r_P$**

Der STI wird mit Hilfe der Impulsantwort und dem jeweiligen Sprachpegel aus der Simulation für alle Positionen eines Pfades bestimmt. Zusätzlich wird der Einfluss von vier Fremdgeräuschpegeln berücksichtigt (ohne, 30, 35, 40 dB(A)). Die Berechnung wurde mit EASRA gemäß IEC 60268-16 durchgeführt.

Die Auswertung des Ablenkungsabstandes (STI=0,5) und Vertraulichkeitsabstandes (STI=0,2) wird ausgehend von den STI-Werten an den Arbeitsplätzen eines Pfades mit Hilfe einer Regressionsgeraden nach DIN EN ISO 3382-3 durchgeführt. Abb. 5 zeigt die Ergebnisse für die schlechteste und Abb.6 die Ergebnisse für die beste raumakustische Situation.



**Abbildung 5:** STI berechnet für alle Messpunkte eines Messpfades (schlechteste Situation) und für 30 dB Fremdgeräuschpegel aus Impulsantworten und Sprachpegel;  $r_D$  Markierung bei  $STI=0.5$ ;  $r_P$  : Keine Markierung bei  $STI=0.2$  innerhalb des Raumes möglich



**Abbildung 6:** STI berechnet für alle Messpunkte eines Messpfades (beste Situation) und für 30 dB Fremdgeräuschpegel aus Impulsantworten und Sprachpegel;  $r_D$  Markierung bei  $STI=0.5$ ;  $r_P$  : Markierung bei  $STI=0.2$

## Ergebnisse

Die Gesamtbeurteilung eines Raumes erfolgte einmal durch die Einteilung in raumakustische Klassen A-C nach VDI 2569. Außerdem wurden die Ergebnisse mit den Zielvorgaben im Anhang der DIN EN ISO 3382-3 verglichen. Diese Zielvorgaben betreffen den Ablenkungsabstand, die räumliche Abklingrate des Sprachpegels und den Sprachpegel in 4 m Abstand.

### Beurteilung der akustischen Kenngrößen

Vergleicht man die Ergebnisse der einzelnen Parameter über die verschiedenen raumakustischen Ausstattungen miteinander, so lässt sich ein Zusammenhang sowohl mit dem raumakustischen Aufwand als auch dem subjektiven Hörerlebnis der entsprechenden Auralisationsbeispiele erkennen. Zusätzliche schallschirmende und schallabsorbierende Maßnahmen führen zu besseren Parameterwerten und zu einem besseren Hörerlebnis. In der objektiven Bewertung können die Zielvorgaben der DIN EN ISO 3382-3 mit zunehmender Verbesserung der raumakustischen Situation bei immer mehr Messpfaden erreicht werden. Das gilt sowohl für die Parameter, die auf Schallpegeln beruhen als auch für jene, die auf dem STI aufbauen, wie beispielsweise der Ablenkungsabstand. Die untersuchten Bürovarianten ohne Schallschirmung erreichen diese Zielvorgabe nicht. Jedoch lassen sich auch hier Verbesserungen der Kenngrößen Ablenkungsabstand und Sprachpegel bei Vorhandensein einer absorbierenden Decke ablesen.

### Einteilung in raumakustische Klassen

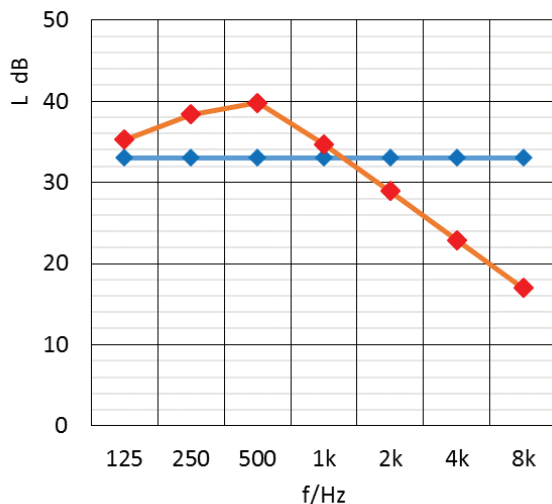
Die vorhandene Korrelation zwischen den messbaren Parametern und dem subjektiven Höreindruck der Auralisationsbeispiele spiegelt sich bei der Einteilung in raumakustische Klassen nach VDI 2569 nicht wieder. Keine der berechneten Bürovarianten erreichte eine der Klassen A-C. Alle mussten schlechter als C eingestuft werden. Die in den Auralisationen mit „schlechteste und beste Situation“ bezeichneten Bürovarianten werden also als gleich schlecht bewertet, obwohl der subjektive Höreindruck deutliche Unterschiede zeigt.

Die Ursache liegt in der Vorgehensweise, nach der die Einteilung in Klassen vorgenommen wird. So gilt zunächst, dass alle Parameter die Empfehlungen für eine bestimmte Klasse erreichen müssen. Wenn nur ein Parameter eine Klasse nicht erreicht, bestimmt dieser die Gesamtklasse.

Wenn beispielsweise von 6 Messpfaden 5 die Schallausbreitungsstufe 1 haben und der sechste Messpfad die Stufe 3, dann wird die Raumakustikkategorie B zugeordnet, wenn der sechste Messpfad die Stufe 3 nicht erreicht, ist die Raumakustikkategorie bereits schlechter als C (statt B). Das gilt auch dann, wenn die Nachhallzeit und das Fremdgeräusch Klasse A oder B einhalten. Die Einteilung in Raumakustikklassen spiegelt daher manche deutlichen Unterschieden in der subjektiven und objektiven Beurteilung nicht differenziert wieder.

## Einfluss von Maskierungsgeräuschen

Durch ein gleichmäßiges, informationsloses Hintergrundgeräusch lassen sich störende Sprachgeräusche verdecken oder „maskieren“. Hierdurch sinkt der STI, so dass die störende Sprachverständlichkeit im Raum bei gleichem Abstand geringer ausfällt. Für die Auralisationsbeispiele wurden zwei Typen von Maskierungsrauschen (Rosa Rauschen und Kontinuierliches sprachähnliches Rauschen) mit zwei verschiedenen Schallpegeln (40dB(A) und 45dB(A)) eingespielt. Abb. 7 zeigt die Oktavspektren der beiden maskierenden Rauschsignale. Die das Maskierungsrauschen abstrahlenden Lautsprecher befinden sich oberhalb des Hörers bzw. der benachbarten Arbeitsplätze jeweils an der Decke (insgesamt 4 Stück).



**Abbildung 7:** Oktavspektren der beiden maskierenden Rauschsignale; blau: Rosa Rauschen (RR), 40dB(A); rot: Kontinuierliches sprachähnliches Rauschen (SL), (Continuous Speech-like Noise), 40dB(A)

Die Maskierung wirkt sich vor allem auf die Verstehbarkeit von weit entfernten Stimmen aus und hat deutlich weniger Einfluss auf die Verstehbarkeit von Stimmen aus dem näheren Umfeld.

## Zusammenfassung

Für die aktuelle Version der „Auralisation zur Planung von Büroräumen“ wurde die Benutzeroberfläche neu gestaltet und in der Weise erweitert, dass die im aktuellen Regelwerk verankerten akustischen Größen in der interaktiven Präsentationen integriert sind. Dabei wurden im Wesentlichen die raumakustischen Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 (Mai 2012) und nach VDI 2569 (Entwurf Februar 2016) berücksichtigt. Beispiele hierfür sind äquivalenter Dauerschallpegel, Sprachübertragungsindex, Ablenkungsabstand, Vertraulichkeitsabstand, räumliche Abklingrate der Sprache, Sprachpegel in 4 m Abstand, Fremdgeräuschpegel, Schallpegeldifferenz gegenüber Verkehrsflächen sowie bauakustische und raumakustische Schallschutzklasse.

Auf diese Weise wird die subjektiv, hörbare Wahrnehmungsebene mit technischen Größen aus Beurteilungsnormen und Gestaltungsrichtlinien verknüpft. Durch die Angabe der raumakustischen Parameter und Kenngrößen in übersichtlicher Form für die verschiedenen Bürotypen (Einzel-, 3-Personen- und Großraumbüro) lassen sich die Notwendigkeit und das Potenzial, aber auch die Grenzen akustischer Gestaltungsoptionen demonstrieren

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Frau Theresa Liebl (IRT) und Herrn Michael Weitnauer (IRT) für die Neugestaltung der Web-Seite mit der interaktiven Präsentation und für die redaktionelle Unterstützung bei der Erstellung der umfangreichen Dokumentation.

## Quellen

- [1] Goossens, S; Stumpner, R.; Weitnauer, M; Brockt, G: Auralizations for Planning of Office Premises (Auralisation zur Planung von Büroräumen), AIA-DAGA 2013, International Conference on Acoustics, Merano. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA), Berlin, 2013, ISBN: 978-3-939296-05-8
- [2] Auralisation von Büroräumen – Interaktive Präsentation [www.baua.de/auralisation](http://www.baua.de/auralisation) oder [www.irt.de/auralisation](http://www.irt.de/auralisation)
- [3] Goossens, S: Simulation und Auralisierung kleiner Räume (Plenarvortrag), Fortschritte der Akustik – DAGA2010 <36, 2010, Berlin>. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V, ISBN 978-3-9808659-8-2
- [4] Auralisation zur Planung von Büroräumen – Anleitung zur Software; [www.baua.de/auralisation](http://www.baua.de/auralisation) oder [www.irt.de/auralisation](http://www.irt.de/auralisation)