

# Untersuchung der Raumakustik und auditiver Belastung im Mehrpersonenbüro

Jan Selzer, Florian Schelle

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),

53757 Sankt Augustin, Deutschland, Email: jan.selzer@dguv.de

## Einleitung

Die Darstellung der auditiven Belastung in Mehrpersonenbüros wird in Regelwerken und internationalen Normen auf Basis raumakustischer Parameter und Momentaufnahmen des Schalldruckpegels durchgeführt. Um die komplexen Wirkmechanismen der akustischen Umgebung auf die im Büro arbeitenden Personen zu verstehen, reicht es jedoch nicht aus nur instrumentelle Einflussfaktoren zu betrachten. Ferner wird eine ganzheitliche Betrachtung aller akustischen Einwirkungen, aber auch der Perception der akustischen Umgebung durch die dort beschäftigten Personen notwendig. So wurden in 2019 Messungen in zwei Open Space Offices durchgeführt. Einerseits wurden die raumakustischen Parameter nach DIN EN ISO 3382-3 für eine Beurteilung nach VDI 2569 erfasst. Andererseits wurden während des laufenden Betriebs sowohl übliche Schalldruckpegelmessung zur Ermittlung des Beurteilungspegels nach der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.7 „Lärm“, als auch Kunstkopfaufzeichnungen zur Auswertung psychoakustischer Messgrößen durchgeführt. Zusätzlich wurden die in den Büros beschäftigten Personen im Nachgang zu den Messungen zur akustischen Arbeitsplatzsituation mittels Online-Fragebogen befragt. Damit können die Büroraumakustik beschrieben, eine Momentaufnahme eines Schalldruckpegelverlaufs dargestellt und psychoakustische Messgrößen bestimmt werden. Aber auch die Perception der Beschäftigten findet Beachtung.

## Grundlagen

Die hauptsächliche Belastung der Beschäftigten in Mehrpersonenbüros ist auf die Gespräche anderer und die fehlende Privatsphäre zurückzuführen [1]. Dies hat in dem Zusammenhang der Arbeit in Mehrpersonenbüros keinen Einfluss auf eine potentielle Gehörschädigung. Jedoch wirkt sich dies auf den Krankenstand aus [2]: Beschäftigte in Mehrpersonenbüros und *flex desk offices* bleiben gegenüber Beschäftigten in Einzelbüros dem Arbeitsgeschehen krankheitsbedingt doppelt so oft fern. Auch entsteht ein Verlust der direkten Kommunikation, die sich eher ins Instant Messaging und den E-Mail-Verkehr verlagert [3]. Des Weiteren ist mit einer geringeren kognitiven Leistungsfähigkeit zu rechnen, die sich in verschiedenen Hörversuchen nachweisen lässt [4].

Um die Belastung und die daraus resultierenden Beanspruchungen zu quantifizieren, werden im Regelwerk und in der Literatur verschiedene Größen herangezogen:

- Beurteilungspegel  $L_T$ , der aus  $L_{Aeq}$  und Zuschlägen für Impulshaltigkeit sowie Ton- und Informationshaltigkeit gebildet wird [5]; wird in der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A3.7 „Lärm“ mit ma-

ximal zulässigen Beurteilungspegeln in Abhängigkeit der Tätigkeitskategorie gefordert [6],

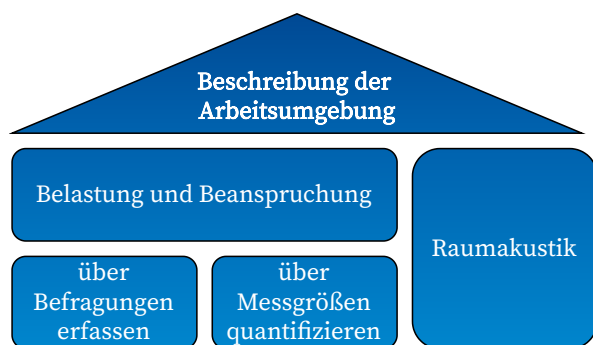
- Perzentilpegeldifferenz  $L_{AF,10\%} - L_{AF,90\%}$ ; nach [7] besser geeignet als der Beurteilungspegel, da ein Zusammenhang zwischen Lästigkeit sowie der Leistungsminderung (*decrease in performance, DP*) und der Perzentilpegeldifferenz aufgezeigt werden kann,
- STI, der einen Zusammenhang zum *DP* in Mehrpersonenbüros aufweist [8]; der daraus resultierende Parameter Ablenkungsabstand  $r_D$  (Entfernung in m bei Unterschreiten eines STI von 0,5) weist einen Zusammenhang mit der Anzahl durch Lärm belästigter Personen in einem Büro auf [9],
- psychoakustische Größe Schwankungsstärke  $F$ ; dient als Prädiktor für die Leistungsminderung bei Sprache als Störsignal [10], eignet sich jedoch nur bedingt für Sprache mit Hintergrundgeräusch [11],
- „*Liveliness*“ [12]; Dieses Modell erlaubt die Einstufung des Schalldruckpegelverlaufs über den Tag in die Gruppen *quiet*, *tranquil*, *lively* und *turbulent*. Dadurch wird eine erleichterte und verständlichere Kommunikation mit den Beschäftigten im und Verantwortlichen für das Büro angenommen. Je nach Tätigkeiten im Büro können über akustische oder organisatorische Maßnahmen Stufensprünge angestrebt werden (z. B. von *lively* nach *tranquil*).

Allein durch die o. g. Beschreibungsgrößen lässt sich ein Büro jedoch nicht ausreichend quantifizieren. Ein Zustand kann erfasst, aber eine Veränderung nicht geplant werden. Um Maßnahmen zur Optimierung der Räumlichkeiten festzulegen, bedarf es der raumakustischen Betrachtung. Dazu gibt es die staatliche Vorgabe [6] zur Analyse der Nachhallzeit  $T$ , die für die Nutzungsarten *Callcenter (Büro für kommunikationsbasierte Dienstleistungen)* 0,5 s und für *Mehrpersonen- und Großraumbüro* 0,6 s in den Oktavbändern von 250 Hz bis 2000 Hz nicht überschreiten soll. Die Nachhallzeit allein ist jedoch nicht geeignet, um die Raumakustik in Mehrpersonenbüros zu beschreiben. Dazu können die erweiterten Parameter der ISO 3382-3 Anwendung finden [13]. Diese werden an Arbeitsplätzen entlang von Messpfaden im Büro ermittelt. Die schalldruckpegelbasierte Größen ( $D_{2,S}$ ,  $L_{p,A,S,4 m}$ ) und der STI beschreiben den Verlauf entlang der Arbeitsplätze. Die daraus abgeleiteten Entfernungsgrößen Ablenkungsabstand  $r_D$  und Komfortabstand  $r_C$  (Entfernung in m bei Unterschreiten eines Sprachschalldruckpegels  $L_{p,A,S,n}$  von 45 dB) sollen – wie bei der *Liveliness* – die Kommu-

nikation mit den Beschäftigten und Verantwortlichen des Büros vereinfachen. Mittels der schalldruckpegelbasierten Größen, der Nachhallzeit und des bauseitigen Störschalldruckpegel  $L_{NA,Bau}$  erlaubt die VDI 2569 eine Beurteilung von Mehrpersonenbüros und eine Zuordnung von Raumakustik-Klassen (A, B, C und keine) [14]. Aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweisen zur Beurteilung können Büros auf Basis der ASR A3.7 als regelkonform eingestuft werden, entsprechen aber nicht zwingend den geeigneteren Vorgaben der VDI 2569 [15].

Durch die Messung der raumakustischen Parameter können Optimierungsmaßnahmen abgeleitet und deren Wirksamkeit auf die Raumakustik prognostiziert werden. Mittels der präsentierten Beschreibungsgrößen kann eine Belastung beschrieben werden oder ein Vergleich mit vorhandenen Grenzwerten angestrebt werden. Die tatsächliche Perzeption der Beschäftigten, die tagtäglich in diesem Büro arbeiten, lässt sich jedoch mit keinem der beiden genannten Werkzeuge quantifizieren. Dazu ist es notwendig die in den Büros arbeitenden Personen in eine solche Messung einzubeziehen und beispielsweise über standardisierte Fragebögen deren Belastung und Beanspruchung zu erfassen. Dabei ist es wichtig zwischen der Belastung und Beanspruchung zu unterscheiden: die psychische Belastung ist als „Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf einen Menschen zukommen und diesen psychisch beeinflussen“ definiert [16]. Die psychische Beanspruchung beschreibt die „unmittelbare Auswirkung der psychischen Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinem aktuellen Zustand“ [16]. Denn nur eine identifizierte Belastung kann angegangen und somit die Beanspruchung verringert werden. Der in Frankreich entwickelte Fragebogen *GABO*, der im Anhang der ISO 22955 standardisiert ist, bietet eine Möglichkeit zur Erfassung der Arbeitssituation in Mehrpersonenbüros mit dem Fokus auf die akustische Situation am Arbeitsplatz [17].

## Praktische Umsetzung



**Abbildung 1:** Modell zur umfassenden Beschreibung der Arbeitssituation in Mehrpersonenbüros.

Unter Berücksichtigung der genannten Grundlagen wurden in den Jahren 2015 bis 2019 Messungen in Mehrpersonen-, Großraumbüros und Callcentern durchgeführt. Bei der Datenaufnahme wurden anfangs die Parameter der ISO 3382-3 erfasst. Nach Veröffentlichung der VDI 2569-Entwurfsversion im Jahr 2016 wurden ebenfalls Nachhallzeiten erfasst, um eine Beur-

teilung nach der Richtlinie zu ermöglichen. Im Jahr 2019 wurden Messungen in drei Mehrpersonenbüros von zwei Unternehmen durchgeführt, die die drei Aspekte berücksichtigen: Erfassung der Belastung und Beanspruchung über a) Befragungen und b) Messgrößen sowie eine umfassende Betrachtung der Raumakustik (vgl. Abbildung 1). Die Messergebnisse für die Parameter  $D_{2,S}$  und  $L_{p,A,S,4m}$  der gesamten Datensammlung aus den Jahren 2015 bis 2019 finden sich inklusive einer detaillierten Messunsicherheitenbetrachtung in [18].

## Messung

In den beiden Unternehmen wurden Messungen der in ISO 3382-3 vorgestellten Parameter und der Nachhallzeit  $T$  im unbesetzten Raumzustand jeweils nach Feierabend durchgeführt. Weiterhin wurde während des laufenden Betriebs der Beurteilungspegel entsprechend den Vorgaben aus ASR A3.7 und DIN 45645-2 erfasst. Die Messungen des Beurteilungspegels fanden unter Ausschluss von Eigengeräuschen an Team- und Einzelarbeitsplätzen statt. Da davon auszugehen ist, dass die in Teams positionierten Beschäftigten einen hohen Anteil an Informationsaustausch und relevanten Sprachinhalten haben, werden an Teamarbeitsplätzen alle Plätze geräumt und deren Telefone stumm geschaltet. Damit können Eigengeräusche aus der Messung exkludiert werden. Weiterhin wurden die Belegungsraten erfasst. Eine Kunstkopfaufzeichnung zur Auswertung psychoakustischer Messgrößen fand zusätzlich statt.

Im **Unternehmen A** befindet sich ein *multi-space office* mit einem *flex desk* Prinzip auf einer Fläche von ca. 360 m<sup>2</sup> für 30 Arbeitsplätze. Dieses Büro besitzt drei Rückzugsräume, einen Besprechungsraum und zwei Führungskräfte-Eckbüros. Aufgrund der thermisch aktivierten Decke finden sich Absorberpaneele nur oberhalb der beiden sozialen Bereichen in der Mitte des Büros und über den Arbeitsplatzreihen wieder, die in Vierertischgruppen entlang der Glasfassade mit jeweils zwei gegenüberliegenden Arbeitsplätzen angeordnet sind. Ein Teppichboden, die umlaufende Glasfassade und die Betondecke sorgen für einen hohen Anteil an reflektierenden Flächen. Die Separation zwischen den Arbeitsplätzen erfolgt durch Aufsatzschallschirme auf der Längsseite der Tische. Hinter den zur Fassade gerichteten Arbeitsplätzen stehen Schränke mit einer Höhe von 1,6 m und weiteren darauf angebrachten Aufsatzschallschirmen mit absorbierender Wirkung. Jeweils rückseitig zu den letzten Tischgruppen finden sich deckenhohe Wandabsorber, die mit einer textilen Oberfläche versehen sind. An den Tischgruppenkopfseiten zum im Büro umlaufenden Verkehrsweg sind Stellwände angebracht, die jedoch keine akustische Wirkung innehaben, sondern nur als Designelement zur optischen Trennung eingesetzt werden. Eine Messung konnte entlang von zwei den Regelwerken konformen Messpfaden durchgeführt werden.

Im **Unternehmen B** konnten Messungen in zwei *open space* Büros durchgeführt werden. Diese haben auf einer Fläche von ca. 330 m<sup>2</sup> Platz für 30 Arbeitsplätze und auf einer Fläche von ca. 540 m<sup>2</sup> Platz für 39 Arbeitsplätze.

Die Einrichtung in beiden Büros ist überwiegend identisch. Schlauchförmige Büros mit Akustikrasterdecken, Teppichböden und einer umlaufenden Glasfassade, an der sich die Tischreihen orientieren. Auf den Tischen befinden sich Aufsatzschallschirme. Die Möbel besitzen akustisch wirksame Fronten. Nebeneinanderliegende Arbeitsplätze werden entweder durch hohe Apothekerschränke oder durch Schallschirme getrennt. Zwischen den Arbeitsplatzreihen befinden sich hinter den Schreibtischen Schränke mit einer Höhe von 1,4 m bzw. 1,6 m. Um die Störung durch den durch das Büro führenden Verkehrsweg zu minimieren, stehen Schränke an der Tischgruppenkopfseite. Für Telefonate stehen *phone booths* zur Verfügung. Es arbeiten verschiedene Abteilungen mit unterschiedlichen Anforderungen an die Akustik in der gesamten Fläche. Im Büro **B.1** wurde entlang von drei, in **B.2** entlang von vier Pfaden Messungen durchgeführt.

## Befragung

In beiden Unternehmen wurden nach Abschluss der Messungen Online-Befragungen mittels des ins Deutsche übersetzten Fragebogens aus ISO 22955, Anhang D [17] durchgeführt. Darin sind u. a. 14 Items zur Zufriedenheit zum allgemeinen Arbeitsumfeld vorhanden. Es wird eine fünfstufige Skala mit den Werten 1=„überhaupt nicht zufrieden“ bis 5=„vollkommen zufrieden“ verwendet. Weitere fünf Items befassen sich mit der Belastung und Beanspruchung durch das Geräuschemfeld. Es wird die Hörbarkeit (Belastung) von Maschinengeräuschen, Telefonklingeln, vorbeigehenden Personen, verständlicher und unverständlicher Gespräche sowie deren Störwirkung (Beanspruchung) auf einer fünfstufigen Skala von 1=„gar nicht“ bis 5=„sehr“ abgefragt.

## Ergebnisse

**Tabelle 1:** Messergebnisse nach ISO 3382-3 und Beurteilung der Raumakustik-Klassen (RA-Klassen) nach VDI 2569.

Büro	A	B.1	B.2
Messpfade	2	3	3
$D_{2,S}$ [dB]	$4,9 \pm 0,9$	$7,0 \pm 0,2$	$7,4 \pm 0,1$
$L_{p,A,S,4\text{ m}}$ [dB]	$48,8 \pm 1,3$	$45,1 \pm 0,4$	$44,3 \pm 0,5$
$r_C$ [m]	$6,7 \pm 0,6$	$4,0 \pm 0,1$	$3,7 \pm 0,2$
$r_D$ [m]	$12,8 \pm 1,0$	$8,0 \pm 0,5$	$8,6 \pm 0,6$
$L_{NA,Bau}$ [dB]	30,0	$31,2 \pm 1,0$	$30,0 \pm 0,3$
RA-Klasse der Nachhallzeit	A	A	A
Stufen der Schallausbreitung	3	2	2
RA-Klasse nach VDI 2569	keine	B	B

## Messung

Bei der Ermittlung des Beurteilungspegels konnten maximal 47,8 dB für den  $L_{Aeq}$  in beiden Unternehmen festgestellt werden. Die Belegungsrate variierte über den Tagesverlauf von 30 bis 60 %. Aufgrund der hohen

Sprachanteile wurde eine Differenz zwischen  $L_{A1eq}$  und  $L_{Aeq}$  von mehr als 6 dB festgestellt, womit der Beurteilungspegel maximal  $L_r = L_{Aeq} + 6\text{ dB} = 53,8\text{ dB}$  beträgt. Damit sind die vorgestellten Büros für Tätigkeiten der Tätigkeitskategorie I nach ASR A3.7 geeignet.

Die Ergebnisse der raumakustischen Erfassung nach ISO 3382-3 finden sich in Tabelle 1 inklusive der Beurteilung nach VDI 2569 wieder. Dabei entspricht die Nachhallzeit ebenfalls den Vorgaben der ASR A3.7 für Callcenter ( $T \leq 0,5\text{ s}$  in den Oktavbändern von 250 Hz bis 2000 Hz). Ein weiterer Messpfad wurde in Büro B.2 erfasst, der die nebeneinanderliegenden Arbeitsplätze beschreibt und eine Messung über den Gang des Büros darstellt. Die Messergebnisse hierfür sind:  $D_{2,S} = 5,9\text{ dB}$ ,  $L_{p,A,S,4\text{ m}} = 47,2\text{ dB}$ ,  $r_C = 5,2\text{ m}$  und  $r_D = 12,2\text{ m}$ .

## Befragung

Nach einer zweiwöchigen Antwortfrist, sind 16 vollständige Rückmeldungen aus Unternehmen A (Rückmeldequote: 53 %) und 24 vollständige Rückmeldungen aus Unternehmen B (35 %) eingetroffen. Zur Auswertung der Befragung wurden für die Zufriedenheit mit dem allgemeinen Arbeitsumfeld die Antworten der Skalenstufe 1 („überhaupt nicht zufrieden“) und 2 zusammengefasst. Damit wird der prozentuale Anteil unzufriedener Beschäftigter, die an der Befragung teilnahmen, zu einem bestimmten Arbeitsumfeld ausgedrückt (% unzufrieden). Unabhängig des Unternehmens konnte festgestellt werden, dass mind. 60 % der befragten Personen mit den Aspekten *Geräuschkulisse*, *Möglichkeit Einfluss auf die Geräuschkulisse auszuüben* und *Möglichkeit vertrauliche Gespräche zu führen* unzufrieden sind. Weitere häufige Nennungen mit einer niedrigeren Rate unzufriedener befragter Personen betreffen das Raumklima (*Möglichkeit die Temperatur zu kontrollieren* oder *Luftzirkulation am Arbeitsplatz*).

Zum Geräuschemfeld sticht insbesondere die Situation der *klar verständlichen Gespräche* hervor. Diese werden durch die Beschäftigten als hörbar beschrieben (> 87 %). Dabei werden auch hier die Skalenstufen 4 und 5 („sehr“) zusammengefasst. Ca. 65 % der Befragten geben dazu an, dass die klar verständlichen Gespräche nicht nur hörbar, sondern auch störend sind. Bemerkenswert ist ebenfalls der Aspekt der *unverständlichen, aber hörbaren Gespräche*. Diese werden von ca. 40 % der Beschäftigten als hörbar identifiziert. Davon fühlen sich jedoch mind. 56 % gestört. Beim *Telefonklingeln anderer Apparate* gibt es bzgl. der Belastung wie zuvor keinen Unterschied zwischen den Unternehmen: ca. 63 % identifizieren das Telefonklingeln als hörbar. Jedoch gibt es hier in der Beanspruchung Unterschiede. In Unternehmen A weisen 45 % eine störende Wirkung aus, in Unternehmen B sind es nur 16 %. Dies könnte mit der besseren Schirmwirkung in Unternehmen B ( $r_D$  und  $r_C$  sind hier kleiner als in Unternehmen A) zusammenhängen oder aber gar andere Gründe, wie einen angenehmeren Klingelton haben. Auch sind weitere Faktoren und Moderatoren für diesen Umstand denkbar.

## Fazit und Diskussion

Mittels des vorgestellten Modells zur Beschreibung der Arbeitsumgebung in Mehrpersonenbüros (Abbildung 1) wurden anhand eines Beispiels in zwei Unternehmen Messungen und Befragungen durchgeführt. Auf Basis der raumakustischen Erfassung lassen sich mit Unterstützung von Computersimulationen Optimierungsmaßnahmen für die Büros ableiten. Dabei ist die Befragung elementarer Bestandteil der Suche nach weiteren Optimierungsmöglichkeiten. Nur dadurch können die tatsächlichen Belastungen erfasst und beschrieben werden. Der Schalldruckpegel und der daraus abgeleitete Beurteilungspegel stellen nur eine Momentaufnahme der auditiven Belastung dar und können durch den Einzahlwert keineswegs die komplexe akustische Situation darstellen. Vielmehr bedarf es der ganzheitlichen Betrachtung auf den hier dargestellten Wegen. So kann das Ziel der Belastungsminderung über raumakustische Optimierungsmaßnahmen erfolgen. Weitere Maßnahmen können auf organisatorischer Ebene eingeführt werden, indem festgelegte Strukturen hinterfragt und auf ihre Notwendigkeit überprüft werden: tätigkeitsbezogene raumakustische Gestaltung der Büros und Zonen; Trennung zwischen Organisationseinheiten, die keine Schnittstellen haben; ausreichend Rückzugs- und Kommunikationsräume schaffen und die Beschäftigten mit einbeziehen, um auf ihre Bedürfnisse eingehen zu können.

In den vorgestellten Büros zeigen sich insbesondere die akustische Situation und die verständlichen Gespräche des Kollegiums als belastend und störend. Dies kann nicht aus den Beurteilungen nach ASR A3.7 oder VDI 2569 abgeleitet werden. Um Zusammenhänge zwischen den Messgrößen und den vorherrschenden Belastungen zu elaborieren, sind zusätzliche Messungen und Befragungen in weiteren Mehrpersonenbüros notwendig. Für den Arbeitsschutz sind praktikable und zeitsparende Lösungen gefordert.

## Literatur

- [1] Kim, J. und de Dear, R. (2013): Workspace satisfaction: The privacy-communication trade-off in open-plan offices, *J Env Psy* 36, S. 18-26. doi:10.1016/j.jenvp.2013.06.007
- [2] Bodin Danielsson, C. et al. (2014): Office design's impact on sick leave rates, *Ergonomics* 57 (2), S. 139-147. doi:10.1080/00140139.2013.871064
- [3] Bernstein, E.S. und Turban, S. (2017): The impact of the 'open' workspace on human collaboration, *Phil. Trans. R. Soc. B* 373. doi:10.1098/rstb.2017.0239
- [4] Schlittmeier, S.J. und Liebl, A. (2015): The effects of intelligible irrelevant background speech in offices - cognitive disturbance, annoyance, and solutions, *Facilities* 33 (1/2), S. 61-75. doi:10.1108/F-05-2013-0036
- [5] DIN 45645-2:2012-09, Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Teil 2: Ermittlung des Beurteilungspegels am Arbeitsplatz bei Tätigkeiten unterhalb des Pegelbereiches der Gehörgefährdung.
- [6] Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.7 „Lärm“ (Ausgabe März 2021), GMBI Nr. 24/2021.
- [7] Renz, T. et al. (2019): Use of energy-equivalent sound pressure levels and percentile level differences to assess the impact of speech on cognitive performance and annoyance perception, *Applied Acoustics* 153, S. 71-77. doi:10.1016/j.apacoust.2019.04.008
- [8] Haapakangas, A., Hongisto, V. und Liebl, A. (2020), The relation between the intelligibility of irrelevant speech and cognitive performance-A revised model based on laboratory studies. *Indoor Air*, 30 (6), S. 1130-1146. doi:10.1111/ina.12726
- [9] Haapakangas, A. et al. (2017): Distraction distance and perceived disturbance by noise—An analysis of 21 open-plan offices, *J Acoust Soc Am* 141, S. 127-136. doi:10.1121/1.4973690
- [10] Schlittmeier, S.J. et al. (2012): Algorithmic modeling of the irrelevant sound effect (ISE) by the hearing sensation fluctuation strength, *Attem Percept Psychophys* 74, S. 194-203. doi:10.3758/s13414-011-0230-7
- [11] Liebl, A., Assfalg, A. und Schlittmeier, S.J. (2016), The effects of speech intelligibility and temporal-spectral variability on performance and annoyance ratings. *Applied Acoustics*, 110, S. 170-175. doi:10.1016/j.apacoust.2016.03.019
- [12] Vellenga, S. et al. (2017): Proposed method for measuring 'Liveliness' in Open Plan Offices, 24th ICSV 23-27 July in London
- [13] ISO/DIS 3382-3:2021, Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 3: Großraumbüros. (Entwurf zur Überarbeitung der DIN EN ISO 3382-3:2012-05)
- [14] VDI 2569:2019-10, Schallschutz und akustische Gestaltung in Büros
- [15] Selzer, J. (2020), Akustische Gestaltung von Büroumgebungen Teil 3: Messung und Beurteilung von Mehrpersonenbüros. *Bauen+ 6* Nr. 4, S. 22-27
- [16] DIN EN ISO 10075-1:2018-01, Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung – Teil 1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe
- [17] ISO 22955:2021-05, Acoustics – Acoustic quality of open office spaces
- [18] Schneider, M. et al. (2021): Uncertainties of ISO 3382-3 sound pressure level quantities. *Acta Acustica* 5, 27. doi:10.1051/aacus/2021022