



## 11. Schall- und Lärmwirkung

Grundlagen des Hörens, Schallwirkungen  
und Maßnahmen im Büroumfeld

# 11. Schall- und Lärmwirkung



## T H E M E N

|                                                                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort</b>                                                                                                | <b>3</b>  |
| <b>Schall und Lärm: Messgrößen und Wirkungen</b>                                                              | <b>5</b>  |
| <b>Grundlagen des Hörens</b>                                                                                  | <b>8</b>  |
| Anatomie und Physiologie des menschlichen Gehörs                                                              | 8         |
| Hörbereich des Menschen                                                                                       | 10        |
| Zentrales Hören                                                                                               | 12        |
| Einfluss individueller Voraussetzungen: Schwerhörigkeit und Alter                                             | 13        |
| <b>Aurale und extra-aurale Schallwirkungen</b>                                                                | <b>16</b> |
| <b>Modelle zur Schallwirkung</b>                                                                              | <b>18</b> |
| <b>Studien zu extra-auralen Schallwirkungen</b>                                                               | <b>22</b> |
| Belästigung                                                                                                   | 22        |
| Arbeitszeiten und Produktivität                                                                               | 28        |
| Auswirkungen von Lärm und Hintergrundsprache<br>auf Konzentration und Arbeitsleistung (kognitive Leistungen)  | 29        |
| Gesundheit und Stresswirkungen                                                                                | 35        |
| <b>Objektive und subjektive Anforderungen an Büroräume</b>                                                    | <b>38</b> |
| Schalldruckpegel in Großraumbüros                                                                             | 38        |
| Subjektive und objektive Sprachverständlichkeit<br>in Kommunikationsräumen                                    | 39        |
| Hörsamkeit von Kommunikationsräumen:<br>Ergebnisse von Auralisierungen der Nachhallzeiten                     | 40        |
| <b>Analyse und TQM-Maßnahmen:</b>                                                                             |           |
| <b>Mitarbeiterbefragungen im Bereich raumakustischer Planungen</b>                                            | <b>42</b> |
| MAB als Screening-Instrument                                                                                  | 43        |
| Raumakustische Qualitäten auf einen Blick                                                                     | 46        |
| MAB als Evaluations-Instrument                                                                                | 48        |
| <b>Technische Maßnahmen</b>                                                                                   | <b>50</b> |
| Technische Maßnahmen gegen unerwünschten Schall                                                               | 50        |
| Technische und apparative Lösungen zur Kompensation<br>von Hörstörungen und schlechter Sprachverständlichkeit | 52        |
| <b>Anhang</b>                                                                                                 | <b>55</b> |
| Glossar                                                                                                       | 55        |
| Ausgewählte Vorschriften und Verordnungen<br>über Lärm am Arbeitsplatz                                        | 59        |
| Literatur und Quellenverzeichnis                                                                              | 60        |



## > **Vorwort**

Lärm ist der am meisten beklagte Missstand an modernen Büroarbeitsplätzen. Vor allem Beschäftigte in Großraumbüros klagen über häufige Ablenkung aufgrund schlechter raumakustischer Bedingungen. Aber auch in kleineren Gruppenbüros kann unerwünschter Schall zum Problem werden. Größter Störfaktor ist in beiden Fällen die Sprache.

Die wachsende Kommunikationsdichte, gepaart mit steigenden Anforderungen an die Kreativität der Mitarbeiter, und eine hohe Arbeitsintensität erfordern einen ständigen Wechsel zwischen kommunikativem Austausch und konzentriertem Arbeiten. Eine der zentralen Fragen der Büroeinrichtungsplanung lautet somit, wie an jedem einzelnen Arbeitsplatz gute Bedingungen für die verschiedenen Formen der Arbeit geschaffen werden können.

Anders als es die einschlägigen Normen und Richtlinien zur Gestaltung von Arbeitsplätzen vermuten lassen, greift die ausschließliche Reduktion des Schallpegels und der Nachhallzeit hier zu kurz. In der Praxis ist ein deutlich differenziertes Instrumentarium notwendig, um Sprache als Nutzschall zu unterstützen und ihre störenden Nebenwirkungen zu reduzieren.

Die vorliegende Fachschrift beleuchtet die Wirkung von Schall und Lärm im Büroumfeld. Sie stellt Maßnahmen vor, mit denen die Arbeitsbedingungen verbessert werden können und zeigt, wie die subjektive Wahrnehmung der Betroffenen zur vorbereitenden Analyse genutzt werden kann. Gesondert beleuchtet werden diejenigen Anforderungen, die eine verstärkte Nutzung von Konferenzsystemen und ein steigendes Durchschnittsalter der Beschäftigten mit sich bringen werden.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

Autoren: Dr. rer. biol. hum. Markus Meis  
Dr. rer. nat. Karin Klink

Die Biologin Dr. Karin Klink beschäftigt sich mit grundsätzlichen audiologischen Fragestellungen der Hörwahrnehmung und -verarbeitung. Der Medizinpsychologe Dr. Markus Meis leitet den Bereich Wirkungsforschung am Hörzentrum Oldenburg. Im Rahmen seiner Gutachtertätigkeit im Bereich der Schallwirkung beschäftigt er sich auch mit raumakustischen Wirkzusammenhängen der psychologischen Akustik im schulischen Umfeld und Büroumgebungen.

Kontakt:  
Hörzentrum Oldenburg GmbH  
Marie-Curie-Str.2  
26129 Oldenburg  
Telefon: 0441 2172-100  
Telefax: 0441 2172-150  
[www.hoerzentrum-oldenburg.de](http://www.hoerzentrum-oldenburg.de)  
[markus.meis@hoerzentrum-oldenburg.de](mailto:markus.meis@hoerzentrum-oldenburg.de)

## Hinweise/Zeichenerklärungen

 = Zusammenfassungen und Merkgeregeln

 = vertiefende Informationen

Das Stichwortverzeichnis im Anhang enthält eine komprimierte Erläuterung der verwendeten Fachbegriffe. Zitierte Quellen sind ebenfalls im Anhang zusammengefasst und im Text durch eine laufende Nummerierung gekennzeichnet.

## Schall und Lärm: Messgrößen und Wirkungen

**Schall** bezeichnet im allgemeinen Sprachgebrauch ein Ereignis, welches vom Gehör (zumindest potenziell) wahrgenommen werden kann. Dieses Hörereignis entsteht durch Bewegungen, die von einer Schallquelle hervorgerufen werden. Schallquellen können z. B. die durch Wind bewegten Blätter an einem Baum, die schwingenden Saiten eines Musikinstruments oder unsere eigenen, vibrierenden Stimmbänder während des Sprechens sein. Die Schallquellen verursachen eine Bewegung der Moleküle des umgebenden – festen, flüssigen oder gasförmigen – Mediums. Es kommt zu Druckschwankungen, die sich wellenförmig von der Schallquelle ausbreiten und als Schallwellen bezeichnet werden. Schnell schwingende Quellen erzeugen schnelle Druckschwankungen, welche als hohe Töne (hohe Frequenzen) wahrgenommen werden, während langsame Schwingungen als tiefe Töne (tiefe Frequenzen) gehört werden.

Der **Schalldruckpegel** ist ein Maß zur Beschreibung der Stärke eines Schallereignisses. Die physikalische Maßeinheit ist das Dezibel (dB). Da es sich beim dB um eine logarithmisch definierte Einheit handelt, bedeuten Differenzen von 6 dB bereits eine Verdoppelung bzw. Halbierung des Schalldruckpegels; subjektiv wird allerdings erst eine Differenz von 10 dB als eine Verdoppelung/Halbierung des Lautstärkeindrucks wahrgenommen.

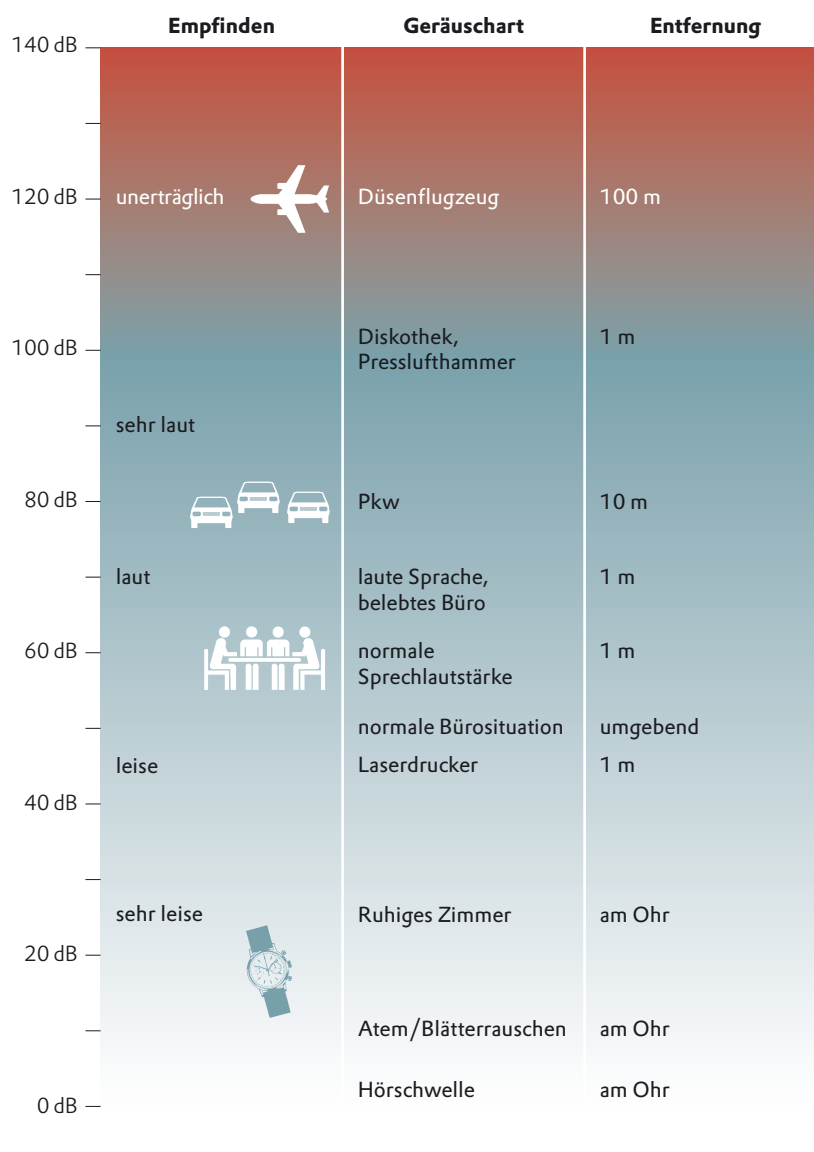
Eine Verdoppelung der Anzahl gleich lauter Schallquellen führt zu einer Schallpegelerhöhung von 3 dB: Zwei Büromaschinen, die jeweils 55 dB laut sind, ergeben in der Summe einen Pegel von 58 dB (nähere Details, wie auch zu anderen technisch akustischen Größen finden sich in der buero-forum Fachschrift Nr. 8 „Raumakustik“). Um ein Gefühl für diese Skala zu bekommen, werden in Abb. 1 einige Beispiele von dB-Werten und Geräuschsituationen dargestellt.

Eine weitere Messgröße, die im Zusammenhang mit Schall im Büro wichtig ist, ist die **Nachhallzeit**. Die Nachhallzeit  $T$  eines Raumes ist technisch definiert als die Zeitspanne in Sekunden, die der Schalldruckpegel benötigt, um 60 dB abzufallen.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

In unserer Umwelt werden wir kontinuierlich mit vielen Schallereignissen konfrontiert. Ein Teil dieser Schalle – wie z. B. die Worte unseres Gesprächspartners, oder das Hupen eines herannahenden Autos – kann für uns nützlich sein (Nutzschall), während andere Schalleindrücke für die Informationsaufnahme nicht von Bedeutung sind (Störschall). Oft treten Nutzschall und Störschall zur gleichen Zeit auf, und es ist die Aufgabe unseres Gehörs, die für uns wichtigen Schalleindrücke aus der Masse des restlichen Schalls herauszufiltern.

Abb. 1 **Schalldruckpegel unterschiedlicher Schallquellen**



**Unerwünschter Schall** wird als **Lärm** bezeichnet<sup>1</sup> und wird oftmals als **Belästigung** empfunden. Dabei kann sich die Belästigung einerseits als störende Interferenz bei Tätigkeiten, andererseits auch als emotionale Reaktionen wie Ärger und Frustrationen<sup>2</sup> ausdrücken. Im Gegensatz zum Schalldruck beruht Lärm auf einer subjektiven Bewertung.

Das Zustandekommen von Belästigungsreaktionen kann auch durch nicht-akustische Faktoren beeinflusst werden. Diese Faktoren werden als **Moderatoren** bezeichnet. So können sowohl Persönlichkeitseigenschaften – wie kulturelle und psychologische Faktoren (z. B. Lärmempfindlichkeit) – als auch situationsgebundene Faktoren wie Arbeitsbelastung, Büroraumgröße, Anzahl der Mitarbeiter pro m<sup>2</sup>, Beleuchtung etc. das Auftreten und die Ausprägung von Belästigungsreaktionen beeinflussen.

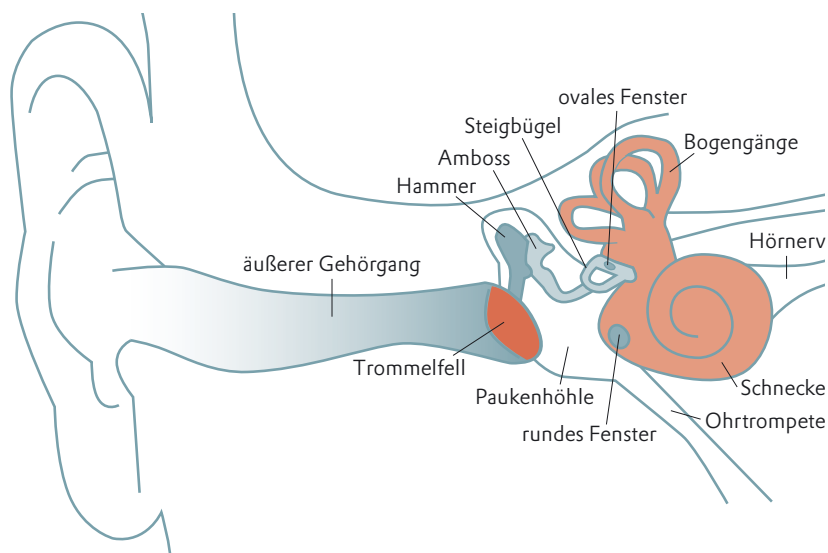
Schall und Schalldruckpegel sind objektiv messbare physikalische Größen, Lärm und Belästigung sind hingegen subjektive Bewertungen und Maße, die auch von der Person und der jeweiligen Situation abhängen.

## Grundlagen des Hörens

### > Anatomie und Physiologie des menschlichen Gehörs

Um Schall wahrnehmen zu können, brauchen wir geeignete Sinnesorgane. Das Gehör des Menschen und vieler höherer Tiere ist darauf ausgerichtet, kleinste Druckschwankungen der Luft zu detektieren und diese derart zu verstärken, dass sie von uns wahrgenommen werden können. Die für die Schallaufnahme zuständigen Ohren werden funktionell in drei Bereiche unterteilt: das Außenohr, das Mittelohr und das Innenohr.

Abb. 2 Anatomie des menschlichen Ohres



Das **Außenohr** umfasst die Ohrmuschel und den äußeren Gehörgang (siehe Abb. 2). Es ist dafür zuständig, den von der Umwelt ausgestrahlten Schall in das Sinnesorgan hineinzuleiten, wobei die Ausformungen der Ohrmuschel und des Gehörgangs Auswirkungen auf die Charakteristika des Schalls haben, wenn dieser aus unterschiedlichen Richtungen auf das Ohr trifft. Dies ist vor allem für die räumliche Wahrnehmung wichtig.

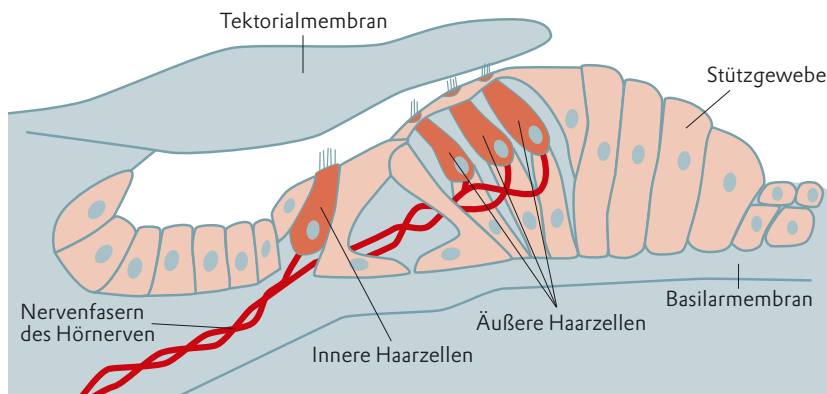
Am Ende des Gehörgangs trifft der einfallende Schall auf das zum **Mittelohr** gehörende Trommelfell und regt dieses zum Schwingen an. Diese Schwingung wird auf der anderen Seite des Trommelfells auf die drei Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel weitergeleitet und von der Steigbügelplatte anschließend auf das ovale Fenster des flüssigkeitsgefüllten Innenohrs übertragen. Die Gehörknöchelchenkette hat zwei Funktionen: Zum einen dient sie der Schallübertragung vom Medium Luft (Außenohr) auf das Medium Wasser (Innenohr). Da Wasser einen deutlich höheren Widerstand gegen die Ausbreitung von Schwingungen hat als Luft (akustische Impedanz), würde der Schall bei einem direkten Übergang größtenteils reflektiert werden und wir könnten kaum etwas hören. Um das zu verhindern, greift die Natur zu einem genialen „Trick“: Durch den Größenunterschied zwischen dem großen Trommelfell und dem viel kleineren ovalen Fenster sowie durch die Hebelwirkung der Gehörknöchelchen werden die Schallschwingungen effizient übertragen und gleichzeitig um ca. 30 dB verstärkt. Zudem können die Gehörknöchelchen auch als Schutz vor zu lautem Schall dienen. Am Hammer und Steigbügel befestigte Muskeln ziehen sich bei hohen Schallpegeln zusammen und versteifen so die Gehörknöchelchenkette. Die Folge: die Schallübertragung wird verringert. Allerdings arbeitet dieser Mechanismus mit einer kleinen Verzögerung und ist nur bei tiefen Frequenzen wirklich effektiv. Verletzungen durch Schüsse (Knalltrauma) etc. können so nicht verhindert werden.

Der letzte Abschnitt der Schallübertragung geschieht im flüssigkeitsgefüllten **Innenohr**. Dieses besteht eigentlich aus zwei Teilen, der für das Hören zuständigen Schnecke (Cochlea) und den Bogengängen des Gleichgewichtsorgans. In der Schnecke laufen die Schallschwingungen vom ovalen Fenster aus als Wanderwelle durch die Spiralwindungen. Dabei verursachen sie eine Schwingung der darin befindlichen Basilarmembran. Die Basilarmembran ist eine langgestreckte Membran, die an ihrer Basis nahe dem ovalen Fenster schmal und steif ist und zur Spitze der Schnecke immer breiter und beweglicher wird. Treffen Schallschwingungen auf die Basilarmembran, fängt ein frequenzspezifischer Teil der Basilarmembran an zu schwingen. Hohe Frequenzen verursachen eine Auslenkung der Membran in der Nähe des ovalen Fensters, während tiefe Frequenzen Schwingungen in der Nähe der Schneckenspitze verursachen.

Auf der Basilarmembran befindet sich das **Cortische Organ** (siehe Abb. 3), welches aus Stützgewebe und mehreren Reihen von Sinneszellen besteht, die wegen der „Haare“ (Stereozilien) an deren Oberfläche Haarzellen genannt werden. Man unterscheidet dabei zwischen inneren und äußeren Haarzellen, wobei die ca. 3.500 inneren (näher zur Innenseite der Spirale angeordneten) Haarzellen in einer Reihe angeordnet sind, während die ungefähr 12.000 äußeren Haarzellen meist dreireihig aufgestellt sind. Über dem Cortischen Organ befindet sich die Tektorialmembran, eine bewegliche, gelatineartige Struktur, die mit den längsten Stereozilien der äußeren Haarzellen in Kontakt steht.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

Abb. 3 Schnitt durch das Cortische Organ des Innenohres



Die **inneren Haarzellen** sind die eigentlichen Hörrezeptoren. Wenn die Basilarmembran zum Schwingen angeregt wird, bewegen sich die Stereozilien der inneren Haarzellen ebenfalls. Es kommt zu einer Reaktion, die die Bewegung der Stereozilien in eine elektrische Aktivität an der dazugehörigen Nervenfaser im Hörnerv umwandelt. Diese Nervenimpulse werden über weitere Nervenfasern schließlich zum für das Hören zuständigen Teil des Gehirns geleitet.

Wie schon erwähnt, sind die Stereozilien der **äußeren Haarzellen** teilweise in der darüber liegenden Tektorialmembran verankert. Werden diese Stereozilien bewegt, verändern die äußeren Haarzellen ihre Länge. Die Längenveränderung hat wiederum Einfluss auf die Auslenkung der Basilarmembran, welche dadurch verstärkt wird. Die äußeren Haarzellen sind somit nicht für das eigentliche „Hören“ zuständig, sondern wirken „lediglich“ als Verstärker, ohne den leise Schalle die inneren Haarzellen nicht anregen könnten.

Das Gehör des Menschen ist ein komplexes, hoch empfindliches Organ, um kleinste Druckschwankungen effektiv zu verarbeiten.

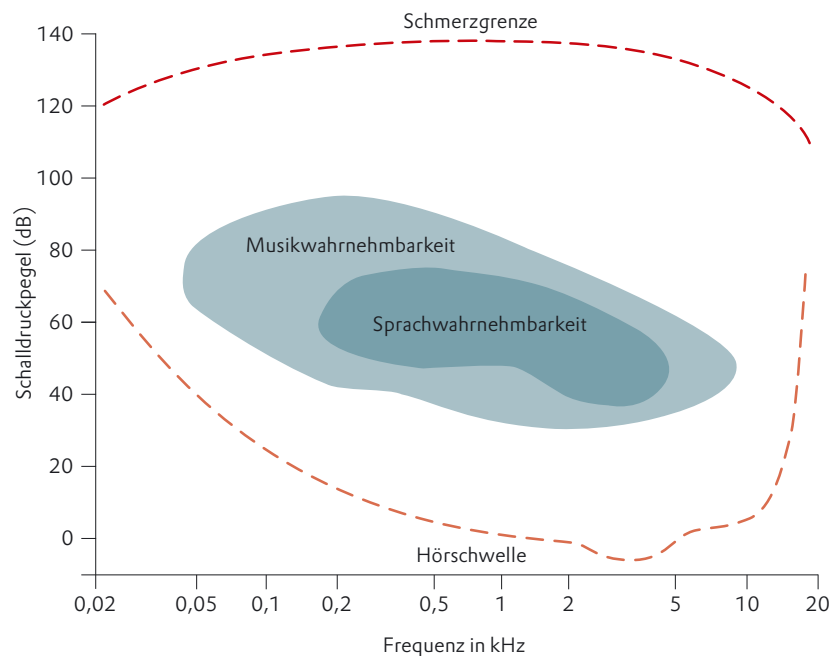
## > Hörbereich des Menschen

Das Hörvermögen des Menschen ist durch die Beschaffenheit seines Hörsystems auf einen speziellen Frequenz- und Schalldruckbereich beschränkt (siehe Abb. 4). Die Frequenzen, die von Menschen wahrgenommen werden können, liegen im Bereich zwischen ca. 16 Hz (tiefe Frequenzen)

und 20.000 Hz (hohe Frequenzen). In diesem Bereich können Töne, die einen bestimmten Mindestpegel (genauer: Schalldruckpegel, SPL = sound pressure level) erreichen, wahrgenommen werden. Dieser Mindestpegel wird als Hörschwelle bezeichnet und ist von der jeweiligen Frequenz abhängig; am niedrigsten liegt er im Bereich zwischen 1 und 6 kHz. Ebenso frequenzspezifisch ist auch die Schmerzgrenze, d. h. der Maximalpegel, bei dem Töne bereits als schmerzhaft laut empfunden werden. Etwas unter der Schmerzgrenze liegt die Unbehaglichkeitsschwelle, bei der sich Töne bereits unangenehm laut anhören.

Obwohl der Hörbereich des Menschen viel größer ist, haben bestimmte Frequenzen und Pegel eine ungleich höhere Bedeutung als andere. Für die Wahrnehmung von Sprache, eines wichtigen Kommunikationsmediums des Menschen, sind vor allem Frequenzen von ca. 120 Hz (Grundton der männlichen Stimme) bis 4 kHz (Vokale bei Kindern) wichtig, auch wenn die menschliche Stimme ebenso Frequenzen jenseits dieses Bereichs generieren kann (siehe Sprachwahrnehmbarkeit, Abb. 4). Für die Wahrnehmung von Musik lässt sich dieser Bereich noch zu höheren und tieferen Frequenzen erweitern. Für das Hören von Sprache und Musik spielen vor allem Schalldruckpegel zwischen 30 dB SPL (sehr leise) und 90 dB SPL (sehr laut) eine Rolle, wobei ein Pegel von 60 dB SPL als normale Sprechlautstärke gilt.

Abb. 4 **Hörbereich des Menschen**



Datenquelle: Christian Thiele,  
URL: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/c/ca/Hoerflaeche.png>

# 11. Schall- und Lärmwirkung

Das menschliche Gehör nimmt, wie bereits erwähnt, bestimmte Frequenzen bei gleichem Schalldruckpegel besser wahr als andere. Um dieser Eigenschaft Rechnung zu tragen, wird bei der Angabe von Schalldruckpegeln oft ein bewerteter Schalldruckpegel verwendet. Die Bewertung beruht auf dem Prinzip, dass gut wahrnehmbare Frequenzen stärker gewichtet werden als schlechter wahrnehmbare Frequenzen. Ein umstrittener, aber häufig benutzter Bewertungspegel ist der A-bewertete Schalldruckpegel (Einheit dB(A)). Das dB(A) ist die derzeit am häufigsten verwendete Maßeinheit für Normen und Richtlinien und wird daher auch in dieser Broschüre verwendet.

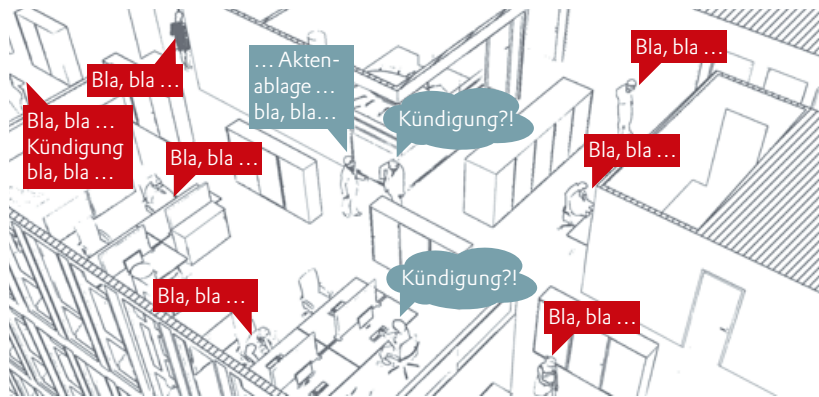
Der gesunde, junge Mensch hat einen großen Hörbereich von ca. 16 Hz (tiefe Frequenzen) bis 20.000 Hz (hohe Frequenzen). Das menschliche Gehör ist besonders im Sprachbereich empfindlich.

## > Zentrales Hören

Das menschliche Hören umfasst nicht nur die Detektion von Schall im Ohr, was als sogenanntes peripheres Hören bezeichnet wird, sondern beinhaltet auch die Verarbeitung der über die Hörnerven weitergeleiteten Höreindrücke aus beiden Ohren in dafür zuständige Regionen unseres Gehirns. Diese Weiterverarbeitung und Auswertung des Gehörten auf höheren Ebenen wird auch zentrales Hören genannt. Ohne die zentralen Anteile wäre das Sprachverstehen nicht möglich.

Für die Bürosituation bedeutsam ist vor allem der sogenannte **Cocktailparty-Effekt**. Dieser Effekt beschreibt die Fähigkeit der für das Hören zuständigen Gehirnareale, Information beider Ohren in komplexen Störschallbedingungen zu verarbeiten. Bei Anwesenheit mehrerer Schallquellen ist der Mensch in der Lage, die Schallanteile einer bestimmten Schallquelle (z. B. telefonierender Mitarbeiter redet über eine bevorstehende Kündigung) aus einem Störschallgemisch (z. B. belebte Bürosituation mit verschiedenen Büromaschinen und Gesprächen) zu extrahieren und die Nebengeräusche zu unterdrücken. Diese Fähigkeit ist zum einen für das Erschließen relevanter Informationen in akustisch schwierigen Situationen bedeutsam. Zum anderen können sich hieraus aber auch problematische Situationen im Büroumfeld ergeben: Da auch unter schwierigsten Lärmbedingungen persönlich relevante Dinge ausgehört werden können, kann dadurch die Privatsphäre eingeschränkt werden. Weiterhin können Mitarbeiter abgelenkt werden, wenn sie den eigenen Namen oder aufgabenirrelevante Inhalte hören. Weitere Implikationen des zentralen Hörens und der daraus resultierende Stellenwert für die akustische Büroraumplanung werden im Abschnitt über die Schallwirkungen behandelt.

Abb. 5 Der Cocktail-Party-Effekt



Die hochentwickelte Fähigkeit des zentralen Hörens ermöglicht ein Sprachverstehen auch unter ungünstigen Bedingungen und muss bei der akustischen Büroräumplanung berücksichtigt werden, um die Einschränkung der Privatsphäre und Ablenkungen zu minimieren.

### > Einfluss individueller Voraussetzungen: Schwerhörigkeit und Alter

Oft lässt das normale Hörvermögen im Lauf des Lebens nach und es tritt eine Schwerhörigkeit auf. Der Verlust des normalen Hörvermögens kann verschiedene Ursachen haben, z. B. eine Verletzung des Ohres nach einem Unfall, eine Krankheit oder starke Schalleinwirkung (Knalltrauma). Oft ist auch ein altersabhängiger Verlust des Hörvermögens gegeben. Dabei kann es zu einer Beeinträchtigung des Außenohres, des Mittelohres oder des Innenohres kommen. Zuweilen kann aber auch der Hörnerv selbst oder bestimmte Hirnareale beeinträchtigt werden. Die Schwerhörigkeit kann dabei verschiedene Ausmaße haben und sogar zu totalem Hörverlust (Taubheit) führen.

12 – 14 Millionen Menschen in der Bundesrepublik Deutschland im Alter von 15 – 75 Jahren weisen einen versorgungsbedürftigen Hörverlust auf<sup>3</sup>. Ca. 19 % der 50 bis 60-jährigen, über 37 % der 60 bis 70-jährigen sowie über 60 % der über 70-jährigen sind schwerhörig<sup>4,5</sup>.

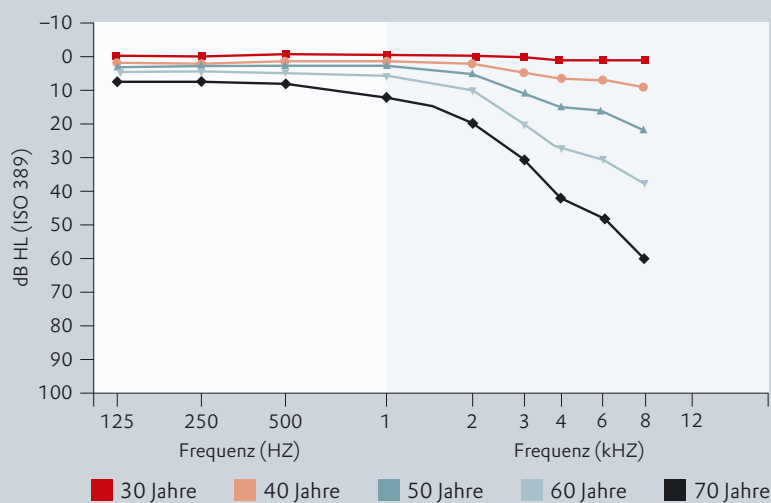
Über 20 % der Menschen im erwerbstätigen Alter zwischen 50 und 65 Jahren haben eine versorgungsbedürftige Hörstörung. Bei einer Verlängerung der Lebensarbeitszeit werden Hörprobleme immer vordringlicher zur Kompensation von beruflichen Kommunikationsanforderungen. Diese Anforderungen müssen zunehmend bei der Büroräumplanung und apparativen Versorgung mit Hörhilfen berücksichtigt werden.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

Ob ein Hörverlust vorliegt, kann mittels eines Tonaudiogramms bestimmt werden (siehe Abb. 6). Dabei wird die subjektive Hörempfindlichkeit für Töne verschiedener Frequenzen mittels Präsentation über Kopfhörer bestimmt. Bei normalhörenden Menschen liegt die Hörschwelle um 0 dB HL. HL steht für „hearing level“, also Hörpegel. Obwohl die Empfindlichkeit des Menschen für verschiedene Frequenzen unterschiedlich ist, ist das Audiogramm so skaliert, dass bei allen gemessenen Frequenzen der Wert für 0 dB HL der Hörschwelle von Normalhörenden entspricht. Die gemessenen Werte werden auf der y-Achse nach unten hin aufgetragen. Je „tiefer“ auf der Achse der Wert, desto schlechter ist das Hörvermögen und desto größer ist der Hörverlust. Werte bis 20 dB HL werden im Allgemeinen noch als normalhörend bewertet. Liegt das gemessene Hörvermögen bei einer oder mehreren Frequenzen bei Werten über 20 dB HL, beginnt der Bereich der Schwerhörigkeit.

Abb. 6

## Altersbezogener Hörverlust



Datenquelle: Fördergemeinschaft Gutes Hören (FGH)

Es gibt zwei grundsätzliche Arten der Schwerhörigkeit, abhängig davon, welcher Teil des Hörsystems betroffen ist. Bei einer **Schallleitungsschwerhörigkeit** kann der Schall nicht ungestört ins Innenohr gelangen. Als Folge davon werden alle Geräusche leiser als normal wahrgenommen; in einem Audiogramm äußert sich das als eine Schwerhörigkeit über alle Frequenzen hinweg. Gründe für eine Schallleitungsschwerhörigkeit können unter anderem Verstopfungen des Außen- oder Mittelohres, z. B. durch Ohrenschmalz oder Flüssigkeitsansammlungen, ein gerissenes Trommelfell oder Verletzung/Versteifung der Gehörknöchelchenkette sein.

Eine **Schallempfindungsschwerhörigkeit** (auch Innenohrschwerhörigkeit oder sensorineurale Schwerhörigkeit genannt) hingegen entsteht durch Schädigungen der Haarzellen im Innenohr und/oder durch Schäden am Hörnerv. Solche Schädigungen entstehen im Verlauf des natürlichen Alterungsprozesses und sind (zum heutigen Stand der Technik) irreparabel. Eine Schallempfindungsschwerhörigkeit äußert sich dadurch, dass Geräusche immer schwerer wahrgenommen werden können. Das Nachlassen der Schallempfindung kommt vor allem durch eine Schädigung der äußeren Haarzellen zustande; ist deren verstärkende Wirkung nicht mehr vorhanden, können leise Töne nicht mehr wahrgenommen werden, laute Töne hingegen sind kaum betroffen. Sind hingegen die inneren Haarzellen geschädigt, können Töne in den betroffenen Regionen nicht mehr wahrgenommen werden. Da häufig vor allem die hohen Frequenzen betroffen sind und tiefere Frequenzen weit weniger stark gestört sind, kommt es damit zu einer „Verzerrung“ des Gehörten. Eine Schwerhörigkeit äußert sich deswegen vor allem in einem deutlich reduzierten Sprachverstehen. Eine Schallempfindungsschwerhörigkeit macht sich normalerweise ab einem Alter von 50 bis 60 Jahren bemerkbar und schreitet mit zunehmendem Alter voran (siehe Kurven in Abb. 6) – deswegen auch die Bezeichnung **Altersschwerhörigkeit (Presbycusis)**. Neben angeborenen Hörschädigungen oder genetischen Ursachen können Hörstürze, Knalltraumata oder längerfristige Lärmbeschallung (**Lärmschwerhörigkeit**) zu einer vorzeitigen Schallempfindungsschwerhörigkeit führen. Um das Ausmaß und die Art der Schwerhörigkeit genau bestimmen zu können, sollte frühzeitig ein Hals-Nasen-Ohrenarzt oder ein Hörgeräte-Akustiker aufgesucht werden, der neben dem Tonaudiogramm auch weitere Untersuchungen und Messungen durchführen wird.

Bei einer Schwerhörigkeit wird zwischen einer Schallleitungsschwerhörigkeit (Außenohr und Mittelohr) und einer Schallempfindungsschwerhörigkeit (Schäden der Nervenzellen) unterschieden. Schäden der Nervenzellen sind derzeit nicht „reparabel“. Hörgeschädigte nehmen Geräusche verzerrt wahr, haben eine geringere Toleranzschwelle gegenüber hohen Lautstärken und ein schlechter ausgeprägtes Hörverstehen.

## Aurale und extra-aurale Schallwirkungen

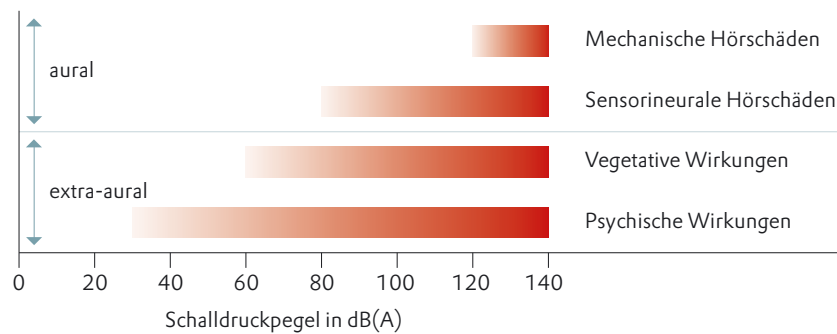
Wie in vorhergehenden Abschnitt bereits erwähnt, kann längerfristige Lärmbeschallung zu einer Schwerhörigkeit führen. Eine derart direkte Auswirkung des Lärms wird als **aurale Wirkung** (aural: das Ohr/Gehör betreffend) bezeichnet (siehe Abb. 7). Aurale Lärmwirkungen können schon ab einem Schalldruckpegel von 80 dB(A) auftreten, deswegen wird länger andauernder Lärm mit diesem Pegel laut der Lärm- und Vibrationsarbeitsschutzverordnung als gesundheitsgefährdend eingestuft. Ab diesem Pegel sind sensorineurale Hörschäden – also Schädigungen am Hörnerv oder den Haarzellen – möglich, die zur Schallempfindungsschwerhörigkeit führen können. Erreicht der Schalldruckpegel 120 dB(A) oder mehr, können sogar mechanische Schäden wie Trommelfellrisse oder Schäden an den Gehörknöchelchen auftreten, die zu einer Schallleitungsschwerhörigkeit führen können.

Aber auch niedrigere Lärmpegel können zu Beeinträchtigungen führen. Diese nicht-direkten Schallwirkungen werden als **extra-aurale Wirkungen** bezeichnet und umfassen sowohl Auswirkungen auf körperliche Vorgänge (vegetative Wirkungen) als auch Beeinträchtigungen der psychischen Verfassung (psychische Wirkungen). Zu den extra-auralen Wirkungen gehören z. B.:

- Belästigung/Störung („Annoyance“)
- Befindlichkeitsstörungen, Gereiztheit, Nervosität, Erschöpfung
- Verändertes Kommunikationsverhalten (Rückzug, weniger Interaktionen)
- Leistungsminderungen wie erhöhte Fehlerhäufigkeit, geringere Merkspanne, veränderte Arbeitsabläufe (Unterbrechungen), mangelndes Textverständnis und geringere Problemlösefähigkeit
- Nächtliche Schlafstörungen
- Psycho-physiologische Aktivierungen (Hormonausschüttungen), körperliche Verspannungen, Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, Minderung der Infektabwehr etc.

Das vegetative, die Körperfunktionen regulierende System ist meist ab einem Lärmpegel von 60 dB(A) betroffen, während Einflüsse auf die psychische Verfassung schon ab einem Lärmpegel von 30 dB(A) auftreten können.

Abb. 7 **Aurale und extra-aurale Wirkungen**

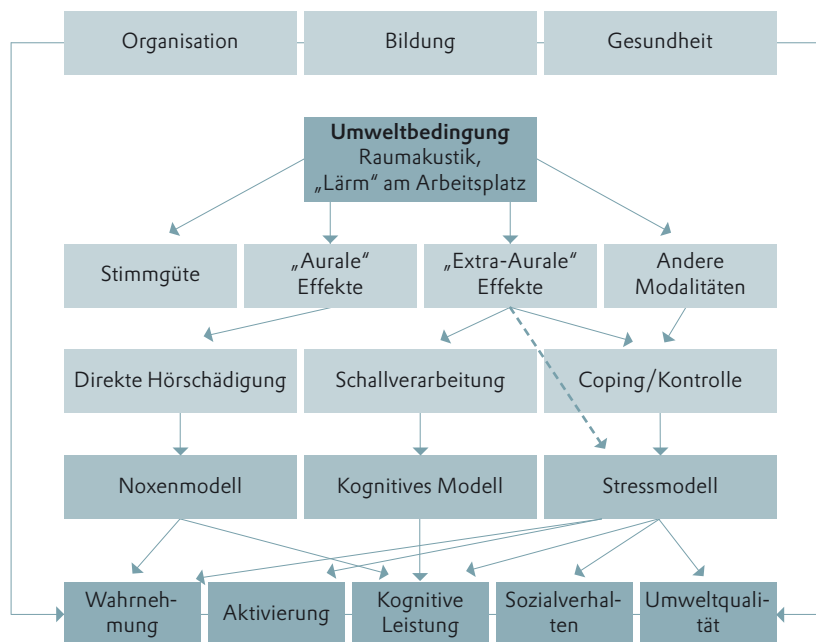


Aurale Wirkungen des Lärms sind direkt schädigend für das Gehör und treten bei Schallpegelwerten von 80 dB(A) oder mehr auf. Diese Pegel spielen in Büroumwelten in der Regel keine Rolle. Extra-aurale Wirkungen hingegen treten schon ab 30 dB(A) auf, sind oftmals psychischer oder kognitiver Natur und treten insbesondere auch in Büroraumsituationen auf.

## Modelle zur Schallwirkung

Es gibt eine Reihe von Modellen, welche die Wirkung des als Lärm wahrgenommenen Schalls auf den Menschen betrachten<sup>6</sup>. Hierbei werden grundsätzlich drei Arten von Modellen unterschieden: die Noxenmodelle, die Stressmodelle und die kognitiven Modelle (siehe Abb. 8).

Abb. 8 Lärmwirkungsmodelle



Quelle: Meis & Klink (2010)

In **Noxenmodellen** (von noxa (lat.) = der Schaden) werden die direkt schädigenden, also auralen Lärmwirkungen behandelt. Das gilt sowohl für akute Wirkungen wie die zeitweisen Hörschwellenverschiebungen (engl: temporary threshold shift) oder das Knall- und Explosionstrauma als auch für chronische Wirkungen, wie z. B. die berufsbedingte irreversible Lärmschwerhörigkeit (engl.: permanent threshold shift).

**Stressmodelle** und **kognitive Modelle** hingegen behandeln die **extra-auralen** Auswirkungen von Lärm. Da direkte Sinneszellenschädigungen bei einer dauerhaften Einwirkung erst ab 80 dB(A) zu erwarten sind und Pegelwerte in Bürolärm sich eher zwischen 40 und 70 dB(A) bewegen, sind gerade die extra-auralen Lärmwirkungen im Büroalltag von Bedeutung.

Prominente Modelle zur Beschreibung der Auswirkungen von Bürolärm sind **psycho-physiologisch basierte Stressmodelle**. Die Anpassung an (akustische) Stresssituationen erfolgt dabei in verschiedenen Stufen. Wirkt ein drastischer Akustik-Reiz auf den Organismus ein, wird zunächst eine Alarmreaktion („Aktivierung“) ausgelöst, bei der mit der Erregung eines Teils des vegetativen, für automatische Regulierungsvorgänge zuständigen Nervensystems unter anderem die Konzentration der Stresshormone Adrenalin und Noradrenalin ansteigt. In der darauf folgenden Widerstandsphase kommt es zur erhöhten Ausschüttung von Steroidhormonen (Cortisol) aus der Nebennierenrinde. Dauert die Wirkung des Stressauslösers unvermindert an, kommt es zur Erschöpfungsphase mit einhergehenden körperlichen Effekten wie einer verminderten Infektabwehr und der Schädigung verschiedener Organe. Verkehrslärmstudien zeigen, dass bei einer über Jahre andauernden Lärmexposition von über 60 dB(A) lärmmedizinisch relevante Auswirkungen zu beobachten sind.

**Psychologische Stressmodelle** gehen auf Arbeiten aus den sechziger Jahren zurück. Bei dem „transaktionalen“ Stresskonzept<sup>7</sup> wird eine Wechselbeziehung zwischen Umwelt und Person postuliert. Stressreaktionen entstehen dabei zeitlich sequentiell: Zunächst wird ein potenzieller Stressauslöser hinsichtlich seines Bedrohungs- und Schädlichkeitspotenzials bewertet („primary appraisal“). Erst wenn ein Reiz oder eine Situation als bedrohlich oder schädigend erlebt wird, wird eine zweite Bewertungsphase („secondary appraisal“) durchlaufen, in der eingeschätzt wird, welche und wie viele Ressourcen zur Bewältigung („coping“) zur Verfügung stehen. In einer abschließenden dritten Phase, dem „reappraisal“, werden dann die Bewältigungsstrategien einer erneuten Bewertung unterzogen. Lärmbedingte Stressreaktionen treten demnach erst dann auf, wenn eine Person eine Situation als schädigend, bedrohlich oder als gefährlich einschätzt und versucht, diese stressauslösende Situation zu bewältigen. Stress entsteht somit durch ein Ungleichgewicht zwischen den Anforderungen aus der Umwelt und den zur Verfügung stehenden Bewältigungsmöglichkeiten. Die Bewältigungsversuche selbst verbrauchen als adaptive Prozesse an eine stressauslösende Situation Ressourcen, so dass auch die kognitive Leistungsfähigkeit eingeschränkt werden kann. Verläuft der Bewältigungsprozess mit einem Stressauslöser nicht erfolgreich, ist neben Ermüdungserscheinungen vor allem Hilflosigkeit zu erwarten. Hilflosigkeit bedeutet, dass ggf. erfolgreiche Strategien in zu bewältigenden Situationen (hier: unter Bürolärm) nicht mehr angewendet werden, da man nicht mehr an einen Erfolg glaubt.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

Sehr wesentlich zur Bewältigung von Stresssituationen ist dabei die tatsächliche oder auch empfundene Kontrolle über den Stressauslöser. Hätte der Mitarbeiter im Büro **Kontrolle** über seine Umwelt, z. B. wenn er die Lärmquelle abschalten könnte, wären die Stresswirkungen eher gering. Da aber oftmals keine Kontrolle über den Lärmverursacher, z. B. über einen telefonierenden Mitarbeiter, möglich ist, ist die mangelnde Kontrollmöglichkeit eine Hauptursache von Stressreaktionen im Büroumfeld.

Neben den stressbezogenen Modellen existiert eine Vielzahl von **kognitiven Modellen** zur Erklärung von Leistungsdefiziten unter Schalleinfluss. Eine allgemeine Beschreibung der menschlichen Informationsverarbeitung geht von verschiedenen Stufen der Informationsverarbeitung aus. Zunächst werden Informationen sensorisch – akustisch oder visuell, d. h. gehört oder gelesen – wahrgenommen und dann weiter verarbeitet. Zu den kognitiven Basisfunktionen der Informationsverarbeitung zählen Aufmerksamkeits- und Konzentrationsprozesse. Besonders unbekannte, neuartige akustische Informationen können zu Orientierungsreaktionen führen, welche die Aufmerksamkeit auf die eigentliche Tätigkeit reduzieren und die Leistungsfähigkeit einschränken. Auch unregelmäßige, impulshaltige Schalle können die Aufmerksamkeit ablenken. Eine weitere Verarbeitungsstufe stellt das Arbeitsgedächtnis (früher auch Kurzzeitgedächtnis genannt) dar. Es ist zuständig für die vorübergehende Speicherung, hat somit eine geringe Kapazität und wird z. B. benötigt, um einen Satz inhaltlich zu verstehen. Es ist als eine wichtige und notwendige Zwischenstufe für komplexere, „höhere“ Aufgaben wie Schlussfolgern und Textverständnis anzusehen. Besonders unerwünschte, irrelevante Hintergrundsprache kann die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses einschränken. Wichtig dabei: **Unabhängig** von der Bewertung eines Schallereignisses und von Bewältigungsversuchen kann das Arbeitsgedächtnis aufgrund der spektro-temporalen (also frequenz- und zeitspezifischen) Struktur des Sprachschalls **direkt** gestört werden und zwar schon ab einem Schallpegel von 35 dB(A), wie später bei der Darstellung der Bürostudien noch gezeigt wird. Die Störwirkung von Sprache hängt dabei nicht zwingend vom Verstehen des Inhalts ab, und die Betroffenen sind sich der Leistungsminderung oft gar nicht bewusst.

Bislang wurden vornehmlich Erklärungsmodelle bezüglich der Wirkungen **unerwünschten Schalls** behandelt. Bei den kognitiven Modellen kommt eine weitere Dimension hinzu: In **Zuhörsituationen** wie Besprechungen, (Video-) Konferenzen und Vorträgen/Schulungen kann bei der Verarbeitung **erwünschten Sprachschalls** (Zielsignal, Nutzschall) dann nicht die volle Leistungsfähigkeit ausgeschöpft werden, wenn die Sprachqualität schlecht ist (also bei Verhallung, Verzerrung oder geringem Schallpegel). Verhallte oder undeutliche Sprache kann eine erhöhte Höranstrengung notwendig machen, um sie zu verstehen, so dass weniger von den Ressourcen, die für die Informationsverarbeitung notwendig sind, zur Verfügung stehen und dadurch Leistungsminderungen zu erklären sind. Solange also Sprache als Kommunikationsmedium benutzt wird und deswegen als Nutzschall angesehen werden kann, ist eine gute Sprachverständlichkeit von Vorteil.

Neben den direkt schädigenden (auralen) Effekten auf das Gehör sind besonders extra-aurale Effekte für das Büroumfeld wichtig. Bei den extra-auralen Modellen werden stresstheoretische und kognitive Modelle unterschieden. Zu den stresstheoretischen Modellen gehören psycho-physiologische Modellannahmen, wonach Lärmereignisse zu Alarmreaktionen führen und den Organismus bei langfristiger Einwirkung schädigen können. Psychologische Modelle erklären Stresswirkungen damit, dass diese erst dann auftreten, wenn eine Situation von der Person als bedrohlich empfunden wird und keine geeigneten Bewältigungsmechanismen zur aktiven Kontrolle des Lärms zur Verfügung stehen. Eine negative, leistungsbeeinträchtigende Wirkung von Hintergrundsprache oder sprachähnlichen Schallen auf kognitive Basisfunktionen, wie auf das Arbeitsgedächtnis, kann aber auch unabhängig vom Stresserleben sein und schon bei geringen Schallpegeln auftreten. Außerdem können in anstrengenden Zuhörsituationen weniger der relevanten Informationen des Sprachsignals, dem man zuhören möchte, verarbeitet werden, wodurch Leistungsminderungen eintreten.

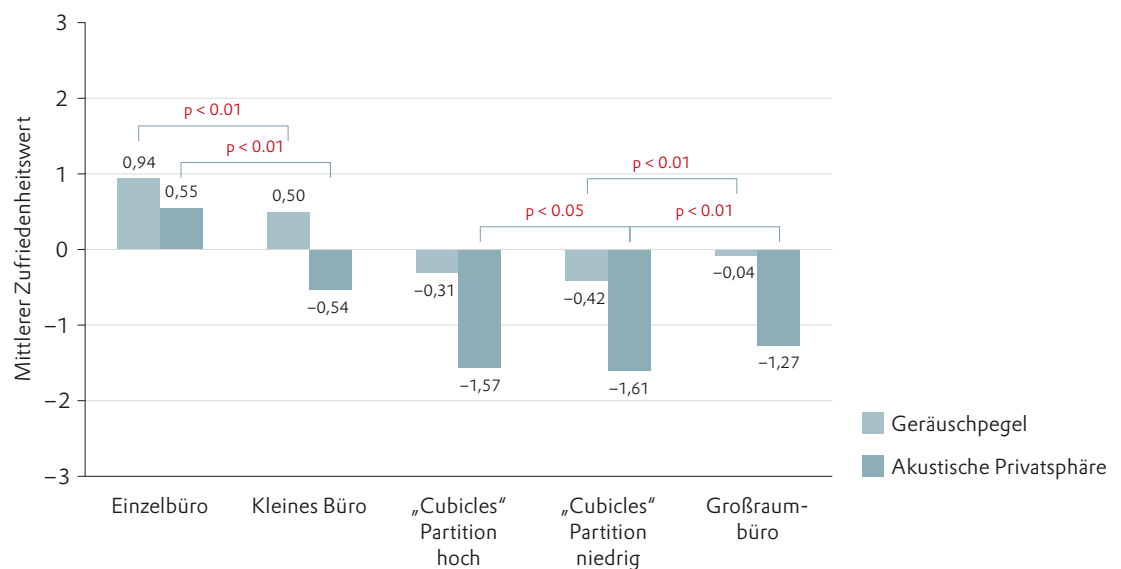
## Studien zu extra-auralen Schallwirkungen

### > Belästigung

Wenn viele Menschen in unmittelbarer Nähe zueinander arbeiten, wie das vor allem in Mehrpersonen- oder Großraumbüros der Fall ist, treten Störungen und Belästigungen durch verschiedene Umweltfaktoren am Arbeitsplatz besonders deutlich zutage. Zahlreiche Befragungen und Untersuchungen aus verschiedenen Ländern haben sich bereits mit dieser Problematik beschäftigt.

Eine sehr große, über viele Jahre angelegte Befragung von 23.450 Teilnehmern aus rund 140 Bürogebäuden stammt aus den USA<sup>8</sup>. Die Befragung hatte zum Ziel, neben allgemeinen Fragen zur Zufriedenheit mit dem Arbeitsplatz (dem Gebäude, dem Layout, den Möbeln, etc.) auch die Wirkung der Umweltfaktoren Temperatur, Luftqualität, Lichtverhältnisse und Akustik auf die Zufriedenheit und Gesundheit der Mitarbeiter zu erfassen. Im Bereich Akustik wurde dabei zwischen Zufriedenheit mit dem Lärmpegel und mit der akustischen Privatsphäre, also der „Belauschbarkeit“ von eigenen Gesprächen, unterschieden. Auswertungen ergaben, dass der als Lärm bewertete Schall in Büroräumen als die größte Quelle von Belästigung und Störung angesehen werden konnte, gefolgt von Temperatur und Luftqualität. Die mangelhafte Akustikqualität war dabei jedoch nicht auf den eigentlichen Lärmpegel zurückzuführen, sondern hauptsächlich auf die fehlende akustische Privatsphäre; die Teilnehmer fühlten sich bei ihren eigenen Gesprächen belauscht und bewerteten die Akustik deswegen als schlecht (siehe Abb. 9). Die Zufriedenheit mit der Akustikqualität war zudem vom Bürotyp abhängig: Mitarbeiter aus Büros mit der in den USA häufig realisierten Form der Partitionierung („Cubicles“) waren deutlich weniger mit der Privatsphäre zufrieden als Mitarbeiter aus nicht-partitionierten Großraumbüros. Ebenso Bürotyp-abhängig war auch die Beurteilung der Störwirkung von Lärm: mindestens 55 % der Angestellten in partitionierten Büros gaben an, dass sich die Akustikqualität störend auf die Ausübung ihrer Arbeit auswirkte, während es in Großraumbüros 45 % und in Einzel- und kleinen Mehrpersonenbüros nur 25 – 35 % waren. Als größte Quellen für Unzufriedenheit gaben die Mitarbeiter, abhängig vom Raumtyp, fremde Telefongespräche (64 – 82 % der Angestellten), mangelnde Privatsphäre eigener Gespräche (59 – 82 %) und Gespräche aus Nachbarbüros (59 – 79 %) an.

Abb. 9

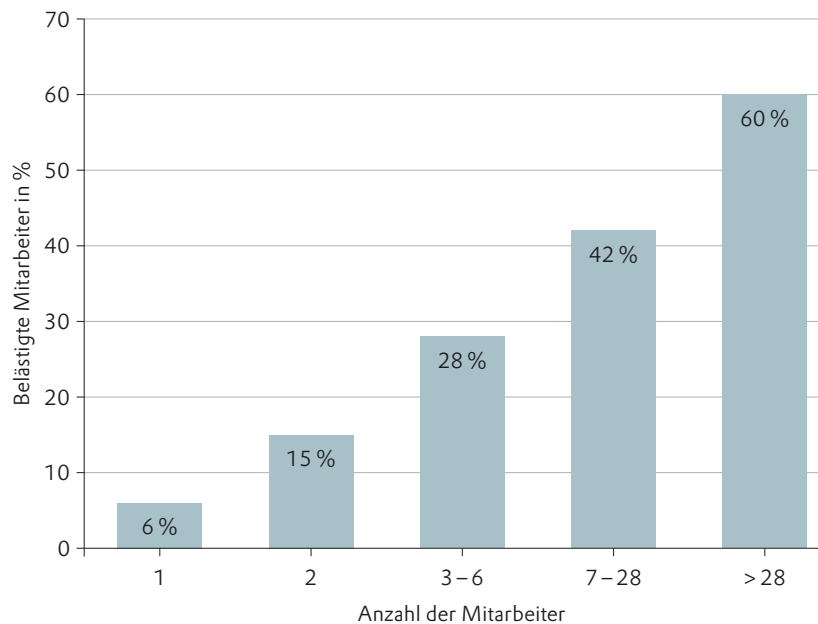
**Einfluss des Bürotyps auf die Zufriedenheit mit der Akustik**

Datenquelle: Jensen, Arens &amp; Zagreus (2005)

Ähnliche Ergebnisse lieferte auch eine große Studie aus Dänemark<sup>9</sup>, welche die Wahrnehmung verschiedener Umweltfaktoren (Luft, Temperatur, Lärm, Licht), das Auftreten von Krankheitssymptomen und die Beurteilung verschiedener psychosozialer Faktoren (Arbeitsanforderungen, Motivation, Wohlbefinden, etc.) von rund 2.300 Teilnehmern aus 22 Bürogebäuden betrachtete. Auch in dieser Studie stellte Bürolärm zusammen mit Temperatur und Luftqualität die größte Störquelle dar. Das Ausmaß der Belästigung stieg dabei nahezu linear mit der Anzahl der Mitarbeiter in einem Büro an: während nur 6 % der Teilnehmer aus Einzelbüros sich vom Lärm im eigenen Büro belästigt fühlten, waren es bei Mitarbeitern aus Großraumbüros (mit mehr als 28 Personen) über 60 % (siehe Abb. 10).

Obwohl dieser lineare Zusammenhang zwischen Belästigung und Anzahl der Mitarbeiter scheinbar der Studie aus den USA<sup>8</sup> widerspricht, in der bei unpartitionierten Großraumbüros eine geringere Belästigung im Vergleich zu den partitionierten Büros berichtet wurde, sollte beachtet werden, dass die Büroform nicht zwangsläufig mit der Anzahl der Mitarbeiter korreliert, und in der Studie aus Dänemark<sup>9</sup> bei den größten Bürotypen (7 – 28, >28 Personen) – in beiden Fällen Großraumbüros – nicht zwischen partitionierten und nicht partitionierten Büros unterschieden wurde. Auch muss davon ausgegangen werden, dass in den USA Großräume oft aus sehr großen Bürolandschaften bestehen, so dass ein homogenerer maskierender „Klangteppich“ entsteht und so die Belästigung durch Sprachspitzen geringer ausgeprägt ist.

Abb. 10 Einfluss der Bürogröße



Einfluss der Bürogröße (gemessen als Anzahl der Mitarbeiter) auf den Anteil der durch Lärm belästigten Mitarbeiter

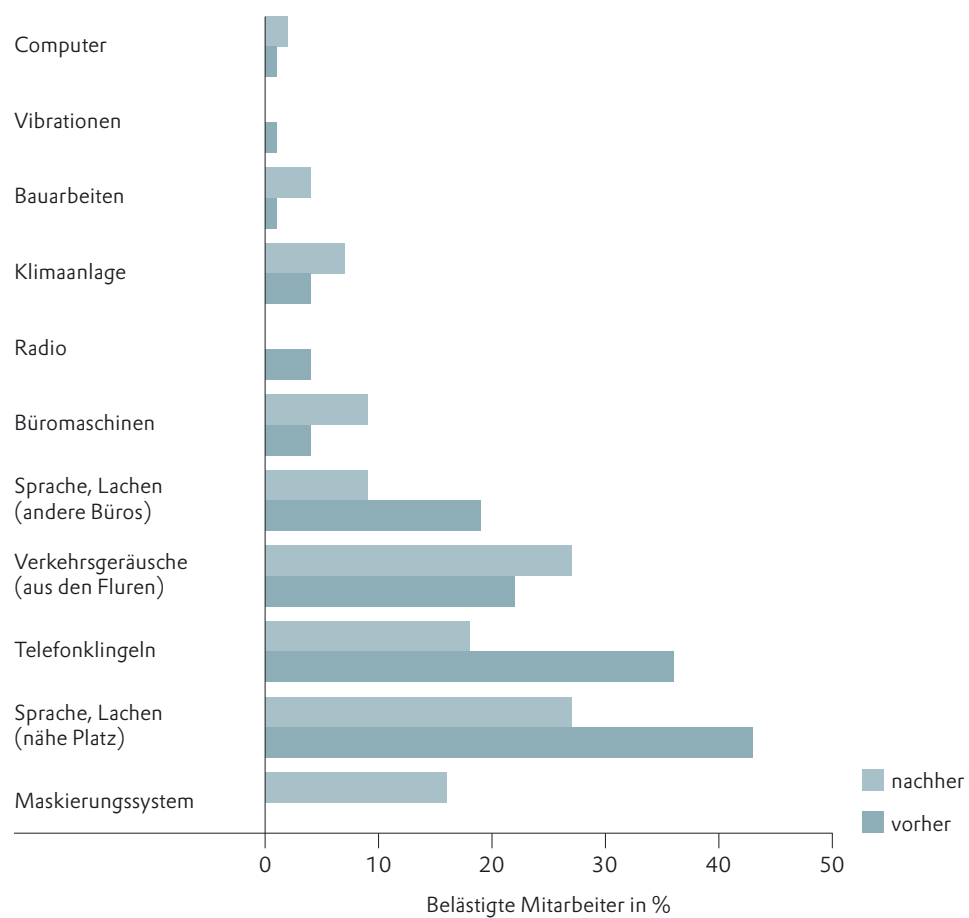
Datenquelle: Pejtersen, Allermann, Kristensen et al. (2006)

## Wirksamkeit akustischer Maßnahmen

Wie wirken sich verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Akustikqualität auf die Belästigung durch Lärm aus? Finnische Forscher<sup>10</sup>, untersuchten die Wirksamkeit von geplanten akustischen Verbesserungen in einem Großraumbüro in einem Vorher-Nachher-Vergleich der Belästigung durch verschiedene Umweltbedingungen. Die durchgeführte Befragung fand vier Monate vor und ein Jahr nach dem Umbau statt. Sowohl vor als auch nach der Maßnahme stellte der Lärm im Büro (Durchschnittspegel 49 bzw. 48 dB(A)) die größte Störquelle dar, gefolgt von der Temperatur und den Lichtbedingungen. Die größte Belästigung ging dabei zu beiden Befragungszeitpunkten von Sprache und Lachen in der Nähe des eigenen Arbeitsplatzes aus (siehe Abb. 11), gefolgt von Telefonklingeln (lassen), Verkehrsgeräuschen aus den Fluren (nicht zu verwechseln mit Straßenverkehr) und Sprache und Lachen aus anderen Büros. Nach Durchführung der umfangreichen, kombiniert durchgeführten akustischen Maßnahmen (Geräuschmaskierung, Installation von Absorbern, Besprechungsinseln; siehe dazu Abschnitt „Maßnahmen zur Verringerung der Störwirkung von

Bürolärm und Sprache“) sank der Anteil der Mitarbeiter, die sich durch verschiedene Lärmquellen belästigt fühlten. Im Vorher-Nachher-Vergleich (N=69/N=45) konnte der Anteil hoch belästigter Mitarbeiter in den Bereichen „Sprache und Lachen in der Nähe“ und „Telefonklingeln (lassen)“ um 16 – 18 % reduziert werden. Das Maskierungssystem selbst (36 – 42 dB(A)) führte dabei zu marginalen Belästigungswirkungen, die mit denen einer raumluftechnischen Anlage vergleichbar waren.

Abb. 11 **Lärmquellen und deren Belästigungspotenziale**



Prozent der Mitarbeiter, die sich von den aufgelisteten Lärmquellen sehr oder extrem gestört fühlen, N vorher = 69, N nachher = 45.

Datenquelle: Helenius und Hongisto (2004)

## **Einfluss der Art der ausgeführten Tätigkeit**

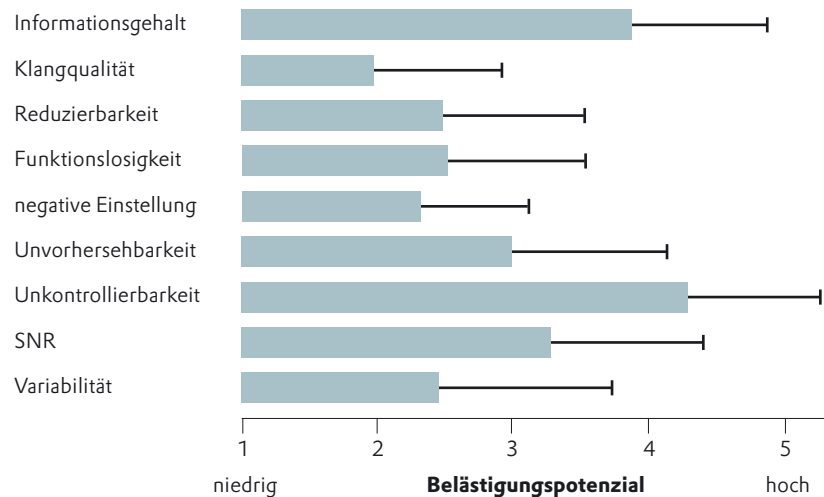
Ein Faktor, der bei der Belästigung ebenfalls eine Rolle spielt, ist die Art der ausgeführten Tätigkeit: In der bereits erwähnten finnischen Befragung<sup>10</sup> gaben 45 % der Befragten an, sich bei planerischen oder kreativen Aufgaben von Bürolärm belästigt zu fühlen, beim Schreiben und Lesen waren es 28 %, während sich nur 1 % bei einfachen, praktischen Tätigkeiten wie Kopieren durch Bürolärm gestört fühlten. In einer Nachfolgestudie<sup>11</sup> gaben die Mitarbeiter sowohl in Großraumbüros wie in Einzelbüros an, sich am meisten bei komplexen verbalen Aufgaben (N = 622) und Gesprächen (N = 653), gefolgt von Rechenarbeiten (N = 560), von Lärm gestört zu fühlen, während der Grad der Störung bei Routine-Tätigkeiten (N = 593) am geringsten war. Zudem war der Grad der Störung bei beiden erstgenannten Tätigkeiten in Großraumbüros signifikant größer als in Einzelbüros, während sich die Störung bei Rechenarbeiten und Routinearbeiten nicht unterschied. In einer unveröffentlichten Studie im Rahmen einer Mitarbeiterbefragung<sup>12</sup> (N = 184) konnte gezeigt werden, dass in Abhängigkeit von Tätigkeitsprofilen (innovativ vs. routiniert) das Ausmaß der Belästigung durch Gespräche von Kollegen vorhergesagt werden konnte: Bei vergleichbaren Raumvolumina und Nachhallzeiten fühlten sich innovativ, kreativ arbeitende Mitarbeiter in 2 – 6 Personenbüros um bis zu 40 % stärker belästigt als Mitarbeiter, die eher mit Routineaufgaben betraut sind.

## **Wechselwirkungen**

Aber auch Wechselwirkungen mit anderen Umweltfaktoren können bei der Belästigung durch Lärm eine Rolle spielen. Ein Forscherteam von Wissenschaftlern aus Deutschland<sup>13</sup> untersuchte das Zusammenwirken von Licht und Akustik auf die Arbeitsleistung und Belästigung von Angestellten. In einem sieben Stunden dauernden Versuch, in dem jeweils gute und schlechte Licht- und Akustikbedingungen miteinander kombiniert wurden, mussten 32 Testpersonen verschiedene Gedächtnis-, Konzentrations-, und andere Tests absolvieren. Bei der anschließenden Befragung sollten die Teilnehmer zudem bewerten, wie störend sie die Lichtverhältnisse bzw. die Akustik empfanden und wie erfolgreich sie bei der Erfüllung der Aufgaben gewesen sind. Obwohl nur die schlechte Akustik – nicht aber die Lichtverhältnisse – einen negativen Einfluss auf das Arbeitsgedächtnis hatte, kam es bei der Einschätzung der Arbeitsleistung zu einer Wechselwirkung zwischen Akustik- und Lichtverhältnissen. Nur Versuchsteilnehmer, die gleichzeitig guten Akustik- und Lichtbedingungen ausgesetzt waren, hatten das Gefühl, ihre Büroaufgaben erfolgreich erledigt zu haben.

## **Ursache der Belästigung**

Als größte und störendste Lärmquellen werden oft Sprache (Gespräche und Telefongespräche) und Telefonklingeln (-lassen) identifiziert<sup>8–12, 14–19</sup>. Die störendsten Eigenschaften des Lärms sind bei Sprache der Informationsgehalt und die Unkontrollierbarkeit, während bei Bürogeräten die Unkontrollierbarkeit und Unvorhersehbarkeit des Lärms eine große Rolle spielt<sup>17</sup> (116 befragte Mitarbeiter; siehe Abb. 12).

Abb. 12 **Lärmeigenschaften und deren Belästigungspotenziale**

Lärmprofil des allgemeinen Lärms im Büro gemessen an neuen Lärmbedingungen.  
N = 116. SNR bedeutet Signal zu Rauschverhältnis.

Datenquelle: Sailer und Hassenzahl (2000)

Dass die Auswirkungen von Bürolärm und Sprache nicht immer deutlich zutage treten, liegt vermutlich daran, dass viele Betroffene Strategien zur Vermeidung oder Bewältigung von lärmbedingten Problemen entwickelt haben, wie z. B. die Verlagerung der Arbeitszeit oder des Arbeitsplatzes auf weniger problematische Zeiten oder Orte, eine höhere eigene Anstrengung während der Arbeit oder Diskussion der Lärmprobleme mit Kollegen bzw. der Betriebsleitung<sup>10, 15, 16</sup>. Die deutlichste – und zugleich einfachste – Copingstrategie von Mitarbeitern aus Einzelbüros besteht oft darin, die Tür zu ihrem Büro zu schließen<sup>15</sup>.

Lärm im Büro ist häufig die Belästigungsquelle Nr. 1, verglichen mit anderen Umweltfaktoren. Die menschliche Sprache und das Telefonieren sowie das Telefonklingeln (lassen) sind dominante Störquellen im Büro, die einen großen Teil der Mitarbeiter dann erheblich belästigen, wenn die akustischen Bedingungen schlecht sind. Nicht der Schallpegel allein führt zu Belästigungswirkungen, sondern auch die Einschränkung der Privatsphäre, die Informationshaltigkeit des Schalls und die Kontrolle über den Lärm. Akustische und organisatorische Maßnahmen sowie erfolgreiche Bewältigungsaktionen der Mitarbeiter können die Belästigungswirkungen nachhaltig reduzieren.

## > Arbeitszeiten und Produktivität

Der von den Arbeitnehmern selbst geschätzte Arbeitszeitverlust, der durch Lärm im Büro verursacht wird, wird individuell sehr unterschiedlich bewertet. In einem (finnischen) Großraumbüro<sup>10</sup> wurden an einem typischen Arbeitstag im Mittel zwischen 28 und 34 Minuten (Schwankungsbreite zwischen 0 und über 90 min; N = 45 bis 69) als Arbeitszeitverlust angegeben.

Insgesamt ist der geschätzte tägliche Arbeitszeitverlust von Mitarbeitern in Einzelbüros signifikant kleiner als der von Mitarbeitern aus Großraumbüros<sup>11</sup>: in Einzelbüros werden Durchschnittswerte von 12 min erreicht (181 Befragte), in Großraumbüros hingegen steigt der Wert auf 21,5 min (508 Befragte). Zudem steigt der Zeitaufwand für die Bearbeitung von Verwaltungsaufgaben (geminderte Leistungseffizienz) mit Lärm (70–80 dB(A)) im Vergleich zur Ruhe<sup>20</sup>. Aber nicht nur der gesamte tägliche Arbeitszeitverlust spielt eine Rolle, auch individuelle Unterbrechungen der Arbeit können stark belästigend wirken und sogar zu Stress führen. Als häufigste Quelle von Arbeitsunterbrechungen wurde in einer aktuellen Studie aus der Schweiz<sup>36</sup> das Ansprechen durch Personen genannt (tägliche bis mehrmals tägliche Unterbrechungen bei 70,3 % der Befragten), gefolgt von „Telefonaten anderer“, „vorbeilaufenden Personen“ und „Gesprächen anderer im Raum“. Bei Gesprächen und Telefonaten anderer gab es signifikante Unterschiede zwischen den Bürotypen, wobei in Einzelbüros 9 % der Mitarbeiter sich durch Gespräche anderer im Raum gestört fühlten, während es in Büros mit mehr als 50 Personen 68,5 % waren. Bei Störungen durch Telefonate lag der Prozentsatz zwischen 25,7 % (Einzelbüros) und 61,4 % (Büros mit mehr als 50 Personen). Der tägliche Arbeitszeitverlust durch Ansprechen betrug bei rund 38 % der Befragten mehr als 10 Minuten täglich.

Lärm und besonders Sprachschalle führen zu Unterbrechungen der Arbeitsprozesse und einer verminderten Effektivität. Das exakte Ausmaß ist schwer zu beziffern; nach selbstberichteten Schätzungen der Mitarbeiter kann man von durchschnittlich 10 bis 34 Minuten pro Arbeitstag ausgehen. Die subjektiven Bewertungen spiegeln jedoch nicht die tatsächlichen Leistungseinbußen wider. Diese müssen objektiv erfasst werden.

> **Auswirkungen von Lärm und Hintergrundsprache auf Konzentration und Arbeitsleistung (kognitive Leistungen)**

Bürolärm ist nicht nur lästig, sondern kann auch negative Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und die kognitiven Fähigkeiten von Betroffenen haben. Wie stark die Beeinträchtigung der kognitiven Leistung ist, hängt oft von der Art der ausgeführten Tätigkeit und der Schallart ab.

**Bürolärm als unerwünschter Störschall**

Wie bereits erläutert (siehe Abschnitt „Belästigung“), wirkt Bürolärm nicht nur wenig belästigend auf **leichte, routinierte, vorwiegend praktische Tätigkeiten**, auch die Arbeitsleistung der Mitarbeiter wird bei diesen Tätigkeiten meist nicht signifikant durch Bürolärm beeinträchtigt.

Bei etwas schwierigeren Aufgaben, die das **Arbeitsgedächtnis** stärker beanspruchen, tritt die Auswirkung von Bürolärm häufiger zutage. In mehreren Untersuchungen, die das Merken von Text-, Zahlen- oder Buchstabenreihen beinhalteten, verschlechterte Bürolärm mit und ohne Sprache signifikant die Merkleistung verglichen mit Ruhe<sup>21–25</sup>, lediglich in zwei Experimenten konnte kein Unterschied zwischen der Merkleistung von Teilnehmern in Bürolärm ohne Sprache und in Ruhe festgestellt werden<sup>22, 26</sup>.

**Komplexe Tätigkeiten** werden am meisten durch Bürolärm beeinflusst. Schon vor rund 20 Jahren wurde festgestellt, dass Geräusche mittlerer Intensität (bis 85 dB(A)) sich störend auf Bürotätigkeiten auswirken und dass Beeinträchtigungen durch Bürolärm bei hohen Aufgabenanforderungen bereits bei Geräuschpegeln von 50 dB(A) auftreten können. Vor allem, wenn viele Informationen aufgenommen, gespeichert, oder beurteilt werden müssen und/oder unter Zeitdruck gearbeitet wird, hat die Anwesenheit von Bürolärm negative Auswirkungen auf die Entscheidungszeiten, die gespeicherte Informationsmenge und die Fehlerraten<sup>27</sup>. Auch Erkenntnisse aus Großbritannien<sup>24</sup> bestätigen, dass Bürolärm bei kognitiv anspruchsvollen Tätigkeiten (z. B. einen Text lesen und Fragen zum Inhalt beantworten) zu einer signifikanten Reduzierung der Arbeitsleistung führen kann: Die gestellte Aufgabe erforderte sowohl die Informationsaufnahme (Textlesen und Verstehen) als auch die Informationsspeicherung und die Informationsbeurteilung (korrekte Auswahl der möglichen Antworten auf die Fragen). Teilnehmer, die Bürolärm ausgesetzt waren, konnten signifikant weniger Fragen korrekt beantworten als Teilnehmer in einer Ruhebedingung. Aber auch Aufgaben, welche die eigene Kreativität erfordern, können negativ durch (informationshaltigen) Lärm beeinflusst

# 11. Schall- und Lärmwirkung

werden. Forscher aus Kanada<sup>28</sup> wiesen die Teilnehmer ihrer Studie an, vorhandene Satzanfänge zu ergänzen und weitere 3 – 4 Absätze zum gleichen Thema zu schreiben. Teilnehmer, die während der Aufgabe Bürolärm (54 dB(A)) ausgesetzt waren, bewältigten die Aufgabe signifikant schlechter als Teilnehmer, die unter maskiertem Bürolärm (61 dB(A)) oder unter Ruhe arbeiteten.

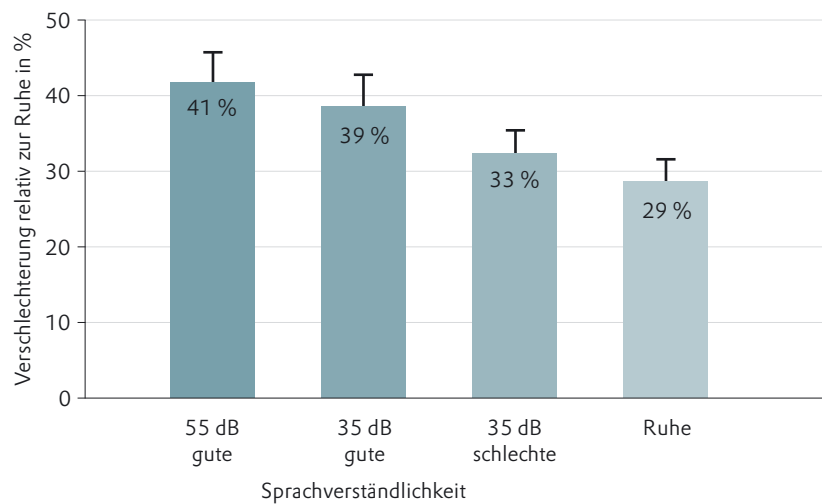
Je komplexer die kognitiven Aufgaben und Anforderungen und je informationshaltiger der (Sprach-) Schall ist, desto eher ist mit Leistungsbeeinträchtigungen zu rechnen.

## Wirkung von Sprache als Störschall auf das Arbeitsgedächtnis

Bereits in mehreren Studien konnte der Einfluss von Sprache auf die Arbeitsleistung beobachtet werden<sup>21,22</sup>. Der negative Effekt des sprachlichen Störschalls wird in Fachkreisen als **„irrelevant sound effect“ ISE** (früher: „irrelevant speech effect“) bezeichnet. Demnach führen Sprachschalle oder sprachähnliche Schalle zu Leistungseinbußen des Arbeitsgedächtnisses. Bei diesem Effekt ist Verstehen der Sprache nicht zwingend erforderlich; auch eine unbekannte Fremdsprache hat abträgliche Effekte.

Eine Forschergruppe aus Eichstätt und Aachen<sup>29</sup> untersuchte bei 20 Versuchsteilnehmern den Einfluss von gut und schlecht verständlicher Sprache zweier unterschiedlicher Pegel auf die Fehlerrate und die Belästigung während verschiedener bürotypischer Arbeiten. Die Forscher fanden heraus, dass der Pegel der Sprache (35 bzw. 55 dB) zwar einen großen Einfluss auf das Ausmaß der Belästigung hatte, eine Pegelreduktion allein (bei gleich hoher guter Sprachverständlichkeit) jedoch zu **keiner signifikanten Senkung** der Fehlerrate führte. Erst eine Reduktion der Sprachverständlichkeit konnte die Fehlerrate signifikant senken (siehe Abb. 13). Auf das Arbeitsgedächtnis wirkt somit hauptsächlich nicht der Schallpegel, sondern – so könnte man vermuten – die (potenzielle) Informationshaltigkeit. Allerdings führen auch unbekannte Fremdsprachen oder sprachähnliche Musikschalle zu Leistungseinbußen des Arbeitsgedächtnisses<sup>21, 22, 24, 25</sup>. Diese Störwirkung ist auf die spektro-temporale Struktur des Sprach- oder Musikschalls zurückzuführen, die dazu führt, dass der Hintergrundschall automatisch zum kognitiven System Zugang erhält. Dort bindet seine obligatorische Verarbeitung entweder Ressourcen, die der eigentlichen Aufgabe dann nicht mehr zur Verfügung stehen – oder der Hintergrundschall interferiert direkt mit der Aufgabenbearbeitung. Grundsätzlich festzuhalten ist, dass Bürolärm auch bei niedrigen Pegeln leistungsmindernd wirken kann, und zwar schon ab ca. 35 dB(A).

Abb. 13 **Einfluss von Schalldruckpegel und Sprachverständlichkeit auf das Arbeitsgedächtnis**



Fehlerrate beim Merken von Zahlenreihen

Datenquelle: Schlittmeier et al. (2008)

Offenbar hat die Charakteristik der menschlichen Sprache einen entscheidenden Einfluss auf die Beeinträchtigung kognitiver Leistungen. Deutlich wahrnehmbare, als Störschall fungierende Sprache führt zu negativen Effekten auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Der Schallpegel spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

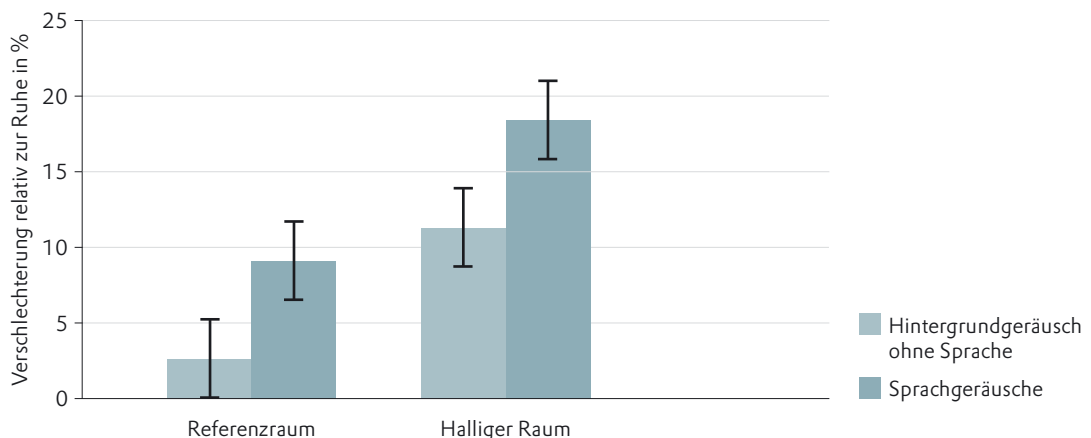
### **Wirkung von verhallter Sprache auf kognitive Leistungen in Zuhörsituationen**

Es gibt Situationen, in denen Sprache sowohl als Störschall als auch als Nutzschaall fungieren kann. Das ist z. B. in einer Zuhörsituation der Fall, in der eine weitere Sprachquelle im Hintergrund vorhanden ist. Die Sprache des Gesprächspartners ist der Nutzschaall, die Hintergrundsprache der Störschall. Wie groß die Auswirkung des Nutz- und Störschalls ist, hängt dabei von der Akustik des Raums ab. Um herauszufinden, inwieweit unterschiedliche Zuhörsituationen (Halligkeit, Sprachverständlichkeit) in Besprechungs- und Schulungsräumen die kognitive Leistungsfähigkeit beeinträchtigen, wurde von der Oldenburger Forschergruppe<sup>30</sup> in einem Raum mit umschaltbarer „virtueller“ Akustik untersucht. In einem vergleichsweise „trockenen“, akustisch optimalen Raum (mit ca. 0,5 s Nachhallzeit) führte die Anwesenheit von unbekannter dänischer Sprache (Störschall 55 dB(A)) zu einer signifikanten Verschlechterung der Leistung des Arbeitsgedächtnisses bei der Wiedergabe von akustisch präsentierten Wortfolgen (Nutzschall)

# 11. Schall- und Lärmwirkung

relativ zur Ruhebedingung, während Hintergrundgeräusche ohne Sprache (54 dB(A)) keine Leistungsverlechterungen bewirkten (siehe Abb. 14). Nach der Umstellung der Akustik auf einen vergleichsweise schlechten Wert (halliger Raum mit ca. 1,1 s Nachhallzeit) führte sowohl die Sprache als Störschall (57 dB(A)) als auch das Hintergrundgeräusch ohne Sprache (57 dB(A)) zu einer signifikanten Leistungsverlechterung. Die Verschlechterung der Leistung im „halligen“ Raum war signifikant größer als im trockenen „Referenzraum“. Da die Hintergrundgeräuschpegel in der „trockenen“ und der „halligen“ Akustik ähnlich waren, ist die starke Absenkung der kognitiven Leistungen vor allem auf die Wirkung des Nachhalls zurückzuführen. Zwar stört auch die zusätzlich präsentierte Sprache (also der Störschall), jedoch hat besonders der „hallige“ Raum einen großen Einfluss auf die (Nutz-)Sprache: Beim Verstehen sprachlicher Information führt eine Verhallung der (Nutz-) Sprache zu einer erhöhten Höranstrengung, so dass weniger Ressourcen für das Speichern und Verarbeiten der Informationen selbst zur Verfügung stehen.

Abb. 14 **Wirkung von Sprache und Nachhall auf das Arbeitsgedächtnis**



Verschlechterung der Wiedergabeleistung akustisch präsentierter Wortfolgen relativ zur Ruhebedingung in Räumen mit unterschiedlicher Nachhallzeit in Anwesenheit eines Hintergrundgeräusches ohne Sprache und (unbekannter) Sprache. N = 23 – 24 pro Gruppe.

Datenquelle: Klatte, Bastian, Meis et al. (2007)

Wenn die Sprache, die als Nutzschaall fungiert, verhallt ist und nur mühevoll verstanden werden kann, stehen weniger kognitive Ressourcen zur Verarbeitung der relevanten Informationen der Sprache zur Verfügung, was zu Leistungsminderungen führt.

### Maßnahmen zur Verringerung der Störwirkung von Bürolärm und Sprache

Eine Möglichkeit, die Störwirkung von sprachhaltigem (und auch sprachfreiem) Bürolärm zu senken, besteht in der Dämmung oder Schirmung (siehe auch Abschnitt Technische Maßnahmen). Eine Dämmung von Sprache durch Wände/Trennwände macht die Sprache weniger verständlich. Tests mit auralisierter Sprache, die den Durchgang von gut verständlicher Sprache durch eine Doppelwand (schlechte Sprachverständlichkeit) oder eine dünne (Stell-)Wand (gute Sprachverständlichkeit) simulierten, ergaben, dass sowohl die gut verständliche Originalsprache (55 dB(A)) als auch die gut verständliche auralisierte Sprache (35 dB(A)) einen ähnlich stark störenden Einfluss auf die Fehlerrate im Merken von Zahlenreihenfolgen hatte<sup>29</sup>. Wie oben (siehe Abb. 13) schon gezeigt, führt erst die zusätzliche Senkung der Sprachverständlichkeit bei der Auralisation zu einer signifikanten Senkung der Fehlerrate im Vergleich zur Originalsprache.

Eine weitere – theoretisch bestehende, aber weniger praktikable – Möglichkeit die Störwirkung von Hintergrundsprache zu senken und somit die Leistung des Arbeitsgedächtnisses nicht bzw. weniger zu beeinträchtigen, besteht in der zusätzlichen, künstlichen Verhallung der Sprache, wodurch Sprachspitzen eingebettet werden und somit die Informationshaltigkeit eingeschränkt wird. Sprache, der übertrieben viel Echo hinzugefügt wurde (Nachhallzeit 3,8 s), hatte einen weit weniger schädlichen Einfluss auf das Merken von Zahlenreihen als die gleiche Sprache ohne zusätzliche Echos (Nachhallzeit 1,4 s) oder nur mit geringen zusätzlichen Echos (Nachhallzeit 2,1 s). Im Gegenteil, die Merkfähigkeit für Zahlenreihen war in stark widerhallender Sprache nicht signifikant unterschiedlich zur Situation in Ruhe<sup>31</sup>. Offenbar macht die starke Verhallung die Sprache weniger deutlich, so dass ihre Störwirkung weniger stark ist. Eine geringfügige Erhöhung der Nachhallzeit von 0,7 s auf 0,9 s – beide Werte liegen eher im Bereich von natürlich vorkommenden Nachhallzeiten in Räumen – führt hingegen zu keiner Leistungsverbesserung beim Merken von Zahlenreihen<sup>32</sup>. Es stehen noch weitere Experimente aus, in denen überprüft werden könnte, ob eine moderate Erhöhung der Nachhallzeiten von z. B. 0,3 s auf 0,9 s doch zu Leistungsverbesserungen führen kann.

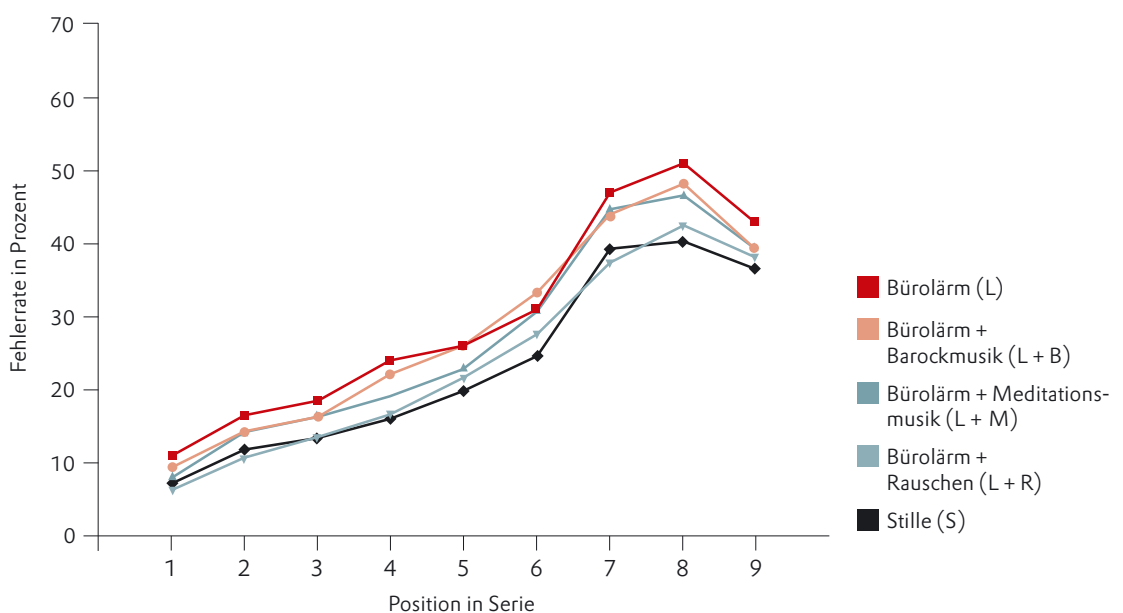
Eine dritte Möglichkeit, den ISE zu reduzieren, ist die akustische Überdeckung des Schalls mit einem Maskierungsgeräusch. Aber welche Geräusche eignen sich als Maskierer? Die Eichstätter Gruppe<sup>25</sup> untersuchte die Wirksamkeit verschiedener Geräusche – Rauschen, Meditations- und Barockmusik; Pegel jeweils 55 dB(A) – bezüglich ihrer Fähigkeit zur Maskierung von Bürolärm (mit Sprachanteil). Die Aufgabe der 30 Versuchsteilnehmer bestand darin, sich die Reihenfolge von neun Zahlen zu merken. Die Forscher fanden heraus, dass sprachhaltiger Bürolärm im Vergleich zur Ruhe die Fehlerrate beim Merken der Zahlenreihen signifikant

# 11. Schall- und Lärmwirkung

erhöhte. Wurde zusätzlich zum Bürolärm Rauschen, Meditations- oder Barockmusik als Maskierer eingespielt, konnte die Fehlerrate unter Lärm nur durch Rauschen deutlich gesenkt werden; Meditations- und Barockmusik hatten beide keinen deutlichen positiven Einfluss (siehe Abb. 15).

Bei der Maskierung sollte zudem beachtet werden, dass der Maskierer alleine keinen negativen Einfluss auf das Arbeitsgedächtnis hat und von den Mitarbeitern auch subjektiv präferiert wird. Barockmusik scheint einen ähnlich störenden Einfluss auf das Arbeitsgedächtnis zu haben wie Bürolärm, ist deswegen weniger geeignet; Meditationsmusik hingegen scheint von den meisten Versuchspersonen bevorzugt zu werden und könnte bei entsprechender psychoakustischen Gestaltung (Frequenzzusammensetzung) durchaus als partieller Maskierer in Büros geeignet sein<sup>25</sup>. Maskierung gleicht somit einer Gratwanderung; vor der Einführung müssen die Vorlieben und Abneigungen der Mitarbeiter berücksichtigt und diese in die Entscheidung mit einbezogen werden.

Abb. 15 **Einfluss von Musik und Rauschen als Maskierer auf das Arbeitsgedächtnis in einer Bürolärmsituation**



Fehlerrate beim Merken von Zahlenreihen

Quelle: Schlittmeier und Hellbrück (2009), Experiment 1

Durch Dämmung/Schirmung von Sprachschallen kann die Leistungsfähigkeit gesteigert werden. Auch eine Verhallung der Sprache könnte zu einer Verringerung ihrer Störwirkung führen, dabei sollte aber bedacht werden, dass eine (künstliche) Verhallung den akustischen Komfort beeinträchtigen kann. Auch eine Maskierung der Sprachschalle kann die Arbeitsgedächtnisleistungen verbessern, wobei bedacht werden sollte, dass ein zusätzlicher Schalleintrag zu Akzeptanzproblemen führen kann.

### > **Gesundheit und Stresswirkungen**

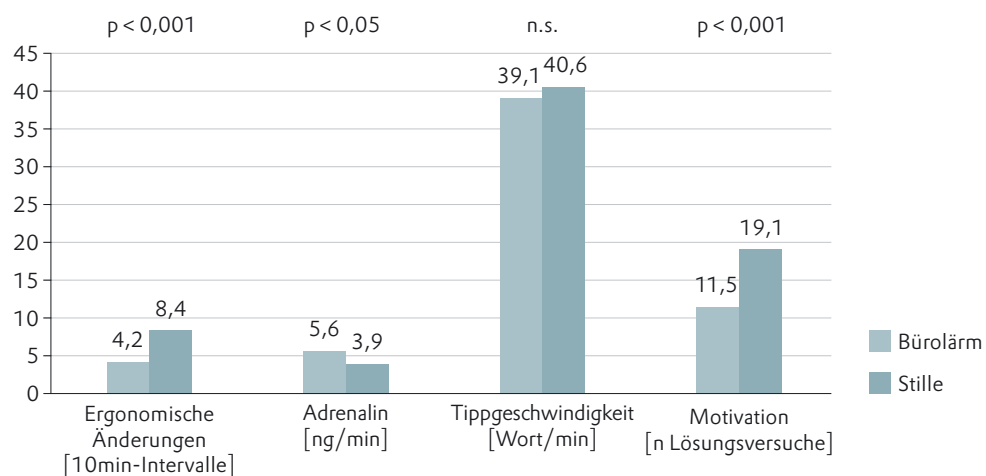
Schon länger ist bekannt, dass Lärm aus Industrie und Verkehr verschiedene Stressreaktionen wie Hormonfreisetzung, Störung des Herz-Kreislauf-Systems, Verringerung der Magensaft- und Speichelproduktion, Pupillenerweiterung, Stoffwechselsteigerung, kurzfristigen Blutzuckeranstieg oder Atemfrequenzänderungen auslösen kann<sup>20,33</sup>. Bei Studien, in denen der Lärmpegel am Arbeitsplatz zwischen 70 und 95 dB(A) lag, konnte oft ein Anstieg des systolischen und diastolischen Blutdrucks, eine Steigerung der Herzschlagfrequenz und teilweise auch eine vermehrte Konzentration von Cortisol und anderen Hormonen beobachtet werden<sup>34</sup>. Die Geräusche variierten in diesen Studien jedoch stark und reichten von reinen Tönen über Rauschen bis zu Straßenverkehrs- und Fluglärm. Auch die Dauer des Lärms schwankte zwischen 5 und 120 min. Für eine Bewertung des Lärms im Büro sind solche Studien jedoch nicht aussagekräftig genug, da zum einen der Pegel und zum anderen auch die Dauer des Lärms nicht der typischen Bürosituation entspricht.

Aber auch Lärm am Arbeitsplatz im Büro kann Auswirkungen auf physiologische Vorgänge haben. Forscher aus den USA<sup>35</sup> untersuchten den Einfluss von Bürolärm auf den Pegel der Stress- bzw. Steroidhormone Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol im Urin von jeweils 20 Teilnehmern nach dem Ende einer dreistündigen Bürositzung. Sie fanden heraus, dass Teilnehmer, die während der simulierten Büroarbeit einem mittleren Bürolärmpegel von 55 dB(A) ausgesetzt waren, einen signifikant höheren Spiegel an Adrenalin aufwiesen als Teilnehmer in der lärmfreien Situation (siehe Abb. 16), während sich die Werte von Noradrenalin und Cortisol zwischen beiden Gruppen nicht unterschieden (nicht abgebildet). Der Bürolärm schien auf routinierte Tätigkeiten (gemessen als Tippgeschwindigkeit) selbst hingegen keinen Einfluss zu haben. Hingegen beobachteten die Forscher, dass Teilnehmer in der Bürolärmsituation nur halb so häufig ergonomische

# 11. Schall- und Lärmwirkung

Änderungen ihrer Körperhaltung am Arbeitsplatz durchführen (durch Anpassung ihres Stuhls, des Monitors, der Tastatur etc.) wie Teilnehmer der Kontrollgruppe. Der Grund könnte unter Umständen eine durch Lärm verursachte Anspannung der Muskulatur sein. Die hierdurch resultierende mangelnde Bewegung stellt einen Risikofaktor bei der Entstehung von Skelettmuskelerkrankungen dar<sup>35</sup>.

Abb. 16 **Stresswirkungen von Bürolärm**



Physiologische und nichtphysiologische Änderungen durch Bürolärm (im Vergleich zur Ruhebedingung). N = 20; n.s. = nicht signifikanter Unterschied. Die Einheiten der y-Achse sind in [eckigen Klammern] angegeben

Quelle: Evans und Johnson (2000)

Eine Arbeitsgruppe aus Dänemark<sup>26</sup> untersuchte ebenfalls die Wirkung von Lärm (Pegel 65 dB(A)) auf verschiedene Körperfunktionen (Herzrate, Blutdruck, Cortisolspiegel etc.). Weder die Herzrate noch andere Herz-Kreislauffunktionen wurden vom Bürolärm beeinflusst. Auch der Cortisolspiegel im Blut wurde nicht durch die Anwesenheit von Bürolärm beeinflusst. Allein der diastolische Blutdruck zeigte eine bürolärmbedingte Absenkung um 4 %, so dass insgesamt betrachtet die psycho-physiologischen Wirkungen hier als vernachlässigbar anzusehen sind.

Obwohl in vielen Fällen der durch Geräte oder Sprache verursachte Teil des Bürolärms der ausschlaggebende Faktor ist, kann sich auch eine weniger prominente Lärmquelle, wie z. B. die Lüftungsanlage, negativ auf die Gesundheit auswirken. In einer schweizerischen Studie wurde ein positiver Zusammenhang zwischen dem Lärm aus der Lüftungsanlage und dem Auftreten von Übelkeit/Schwindel oder Magen/Darm-Beschwerden (in

geringem Maße auch Müdigkeit, Schweregefühl im Kopf, Konzentrations-schwierigkeiten und Kopfschmerzen) festgestellt, also Symptomen, die typischerweise bei dem sogenannten Sick-Building-Syndrom (einer gebäudebezogenen Krankheit) auftreten<sup>36</sup>. Welche Wirkgrößen für die Symptome genau verantwortlich sind, konnte in der Studie nicht zweifelsfrei ermittelt werden. Neben den physischen Auswirkungen kann Bürolärm auch zu längerfristigen psychischen Nachwirkungen („Aftereffects“) führen, die sich in einer geminderten Motivation äußern.

Zur Bestimmung der Motivation werden oft Geduldsspiele verwendet, von denen einige jedoch nicht lösbar sind, und die Anzahl der Lösungsversuche in den unlösbaren Spielen wird als Maß für die Motivation gewertet. Laut einer US-Studie<sup>35</sup> unternehmen Teilnehmer in einer Bürolärmsituation (Mittelwert 55 dB(A)) ca. 40 % weniger Lösungsversuche als Teilnehmer einer lärmfreien Kontrollgruppe (siehe Abb. 17); ein klares Indiz, dass Bürolärm auch bei einem moderaten Pegel die Motivation von Mitarbeitern entscheidend senken kann.

Psycho-physiologische Wirkungen von unerwünschtem Schall in Büroumgebungen zeigen sich in erhöhten Aktivierungsreaktionen mit einer einhergehenden Freisetzung von Stresshormonen. Auch hinsichtlich der Körperhaltungen und Motivation lassen sich Wirkungen und Nachwirkungen von Bürogeräuschen zeigen. Die lärmmedizinische Befundlage ist allerdings zu uneindeutig, um chronische, gesundheitlich schädigende Wirkungen durch moderaten Bürolärm eindeutig zu belegen.

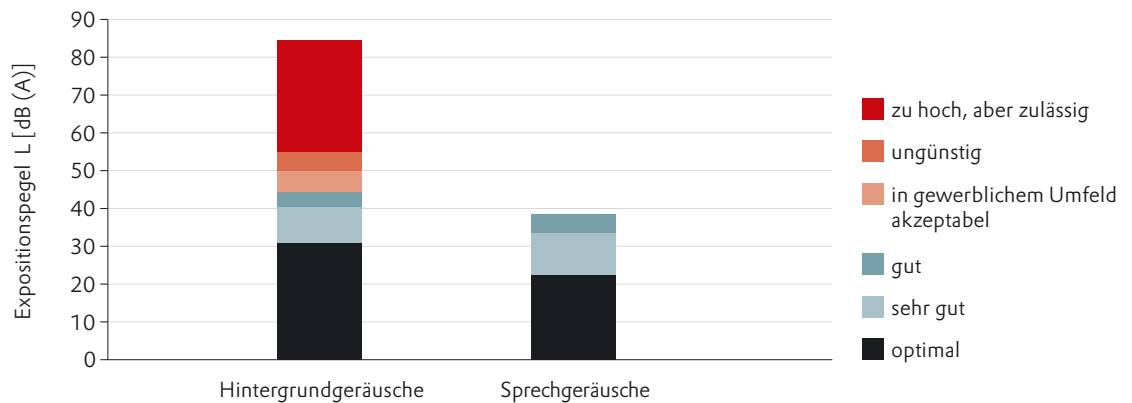
## Objektive und subjektive Anforderungen an Büroräume

### > Schalldruckpegel in Großraumbüros

Wie hoch darf der Schallpegel im Büro sein? Zahlreiche Verordnungen und Richtlinien haben sich schon mit diesem Thema befasst. Die Arbeitsstättenverordnung von 1975 erlaubte einen maximalen Beurteilungspegel von 55 dB(A) bei „überwiegend geistigen Tätigkeiten“ und einen Pegel von 70 dB(A) bei „einfachen oder überwiegend mechanisierten Bürotätigkeiten“. Die Neufassung von 2004 hingegen spricht lediglich davon, den „Schalldruckpegel so niedrig zu halten, wie es nach der Art des Betriebes möglich ist“ und gibt als Obergrenze 85 dB(A) an. Die EG-Richtlinie 2003/10/EG – eine Erweiterung der EWG-Richtlinie 86/188/EWG – fasst es etwas genauer: ab 80 dB(A) – unterer Auslösewert – ist der Arbeitgeber verpflichtet, den Arbeitnehmern Unterweisungen, Vorsorgeuntersuchungen und Gehörschutz anzubieten, ab 85 dB(A) – oberer Auslösewert – ist der Arbeitnehmer dazu verpflichtet Gehörschutz zu tragen. Diese höchstzulässigen Werte dienen dem Gesundheitsschutz, den der Gesetzgeber sicherstellen will, aber nicht der Beurteilung optimaler Arbeitsbedingungen in Büros.

Neben den gesetzlichen Vorgaben existieren zahlreiche Richtlinien und Empfehlungen aus wissenschaftlich-technischen Bereichen oder nationalen bzw. internationalen Organisationen. Der Verein Deutscher Ingenieure (abgekürzt: VDI) empfahl 1990 in der VDI-Richtlinie 2569 eine Beschränkung des Lärmpegels in Mehrpersonenbüros und bei Arbeiten mit hoher Konzentration auf Pegel zwischen 30 und 45 dB(A). Die VDI 2058 Teil 3 von 1999 hingegen beziffert 55 dB(A) als einen akzeptablen Wert am Arbeitsplatz, der aber bei „Tätigkeiten mit besonders hohen geistigen Anforderungen“ unterschritten werden sollte. Eine Richtlinie aus dem Jahr 2001 (VDI 2081-1) wiederum beschreibt Pegel von 50 dB(A) bzw. 45 dB(A) für normale bzw. hohe Anforderungen bei raumluftechnischen Anlagen in Großraumbüros als akzeptabel. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin hat zudem 2003 Richtwerte für informationslose Hintergrundgeräuschpegel an Bildschirmarbeitsplätzen empfohlen, die mit den Werten aus der VDI 2569 und der maschinenbestückter Arbeitsstätten (DIN EN ISO 11690-1) in etwa übereinstimmen. Berücksichtigt werden sollte hierbei, dass die in Großraumbüros störenden Geräusche sehr oft informationshaltig sind (Sprechgeräusche) und damit ein größeres Belästigungspotenzial als informationslose Geräusche besitzen. In Abb. 17 sind die Richtwerte für Sprechgeräusche deswegen getrennt von den Richtwerten für die Hintergrundgeräusche aufgetragen<sup>37</sup>.

Abb. 17 Richtwerte für Sprach- und Hintergrundgeräusche



Quelle: Haltenroth (2010)

### > Subjektive und objektive Sprachverständlichkeit in Kommunikationsräumen

Sprache ist ein wichtiges Kommunikationsmedium des Menschen. Damit die Kommunikation reibungslos ablaufen kann, ist es wichtig, dass die Sprache den Empfänger klar und deutlich erreicht. Die Sprachqualität hängt dabei von verschiedenen „internen“ Merkmalen wie der Lautheit oder Klarheit ab, aber auch von externen Faktoren wie Hintergrundgeräuschen oder insbesondere Verzerrungen durch Nachhall. Die Sprachverständlichkeit spielt bei der Kommunikation eine große Rolle. Sprachverständlichkeit wird häufig durch den Signal-Rausch-Abstand („signal to noise ratio“, abgekürzt SNR) oder den Sprachübertragungsindex („speech transmission index“, abgekürzt STI) charakterisiert. Der Signal-Rausch-Abstand gibt Auskunft über die Lautstärke der Sprache in Relation zum Rauschen; positive Werte bedeuten, dass das Signal (hier: Sprache) um diese Anzahl dB lauter als das Rauschen ist, ein Nullwert bedeutet gleiche Lautstärke und negative Werte weisen darauf hin, dass das Signal um diese dB leiser als das Rauschen ist. Generell gilt: je höher der Signal-Rausch-Abstand, desto verständlicher ist die Sprache. Der Sprachübertragungsindex hingegen ist eine Messung der Sprachverständlichkeit, die verschiedene Faktoren wie z. B. Lautstärke, Störgeräusche oder Nachhall berücksichtigt. Der STI gibt die Sprachverständlichkeit in Werten zwischen 0 (sehr schlecht) und 1 (sehr gut) an.

Forscher aus Wettenberg und Dortmund<sup>38</sup> untersuchten die Verständlichkeit von Sprache in Abhängigkeit vom Sprecher (männlich/weiblich, Muttersprachler/Zweitsprachler), Hörsituation und Signal-Rausch-

# 11. Schall- und Lärmwirkung

Abstand, und vergleichen ihre Ergebnisse mit den empfohlenen Werten aus der Norm zur Bewertung der Kommunikation (ISO 9921-196). Wie erwartet stieg das Sprachverständnis mit dem Signal-Rausch-Abstand an. Zudem wurde sichtbar, dass der Sprecher einen großen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit hatte: während die Sprachverständlichkeit für Sätze bei den weiblichen Sprechern (sowohl bei der Muttersprachlerin als auch bei der Zweitsprachlerin) bei 64 % lag, betrug sie bei dem männlichen Zweitsprachler nur 53 % und bei dem männlichen Muttersprachler sogar 73 %. Gute objektive Sprachverständlichkeit ging mit einer guten subjektiven Bewertung der Sprachverständlichkeit und guter Bewältigung der Situation einher. Schlechte objektive Sprachverständlichkeit hingegen erforderte eine höhere Konzentration und führte zu einem erhöhten Gefühl der Belästigung. Insgesamt bewerteten die Forscher die bestehende ISO-Norm eher kritisch und sprachen sich für eine schärfere Bewertung aus. Für eine gute bis sehr gute Sprachverständlichkeit empfahlen sie einen Signal-Rausch-Abstand von mindestens 6 dB und einen STI von 0,7 oder höher (siehe Tabelle 1).

Tab. 1 **Bewertung der Sprachverständlichkeitsqualität**

| Sprachverständlichkeit | Signal-Rausch-Abstand in dB |                                | Sprachübertragungsindex |                                |
|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
|                        | ISO 9921                    | Sust und Lazarus <sup>38</sup> | ISO 9921                | Sust und Lazarus <sup>38</sup> |
| sehr gut               | ab 7,5                      | ab 13,0                        | ab 0,75                 | ab 0,95                        |
| gut                    | 3,0 bis 7,5                 | 6,0 bis 13,0                   | 0,60 bis 0,75           | 0,70 bis 0,95                  |
| mittelmäßig            | -1,5 bis 3,0                | 0,0 bis 6,0                    | 0,45 bis 0,60           | 0,50 bis 0,70                  |
| schlecht               | -6,0 bis -1,5               | -6,0 bis 0,0                   | 0,32 bis 0,45           | 0,30 bis 0,50                  |
| sehr schlecht          | unter -6,0                  | unter -6,0                     | unter 0,32              | unter 0,30                     |

Quelle: Sust und Lazarus (2003)

Um ein müheloses Zuhören und Verarbeiten der Informationen zu gewährleisten, sollte die Sprachverständlichkeit einen Signal-Rausch-Abstand von mindestens 6 dB und einen STI von mehr als 0,7 aufweisen. Kinder, Nicht-Muttersprachler und Personen mit Hörschädigungen benötigen besonders gute akustische Bedingungen für das Hörverstehen.

## > **Hörsamkeit von Kommunikationsräumen: Ergebnisse von Auralisierungen der Nachhallzeiten**

Im Berufsleben, vor allem im Büro, spielt die Weitergabe von Informationen und das Lernen neuer Inhalte eine zunehmend größere Rolle. Eine effektive Art der Kommunikation stellen meist Veranstaltungen wie Seminare oder Workshops dar, die eine größere Anzahl von Personen gleichzeitig

ansprechen. Damit die Kommunikation reibungslos verläuft, sollten die Veranstaltungsräume eine gute Akustik aufweisen. Aber was genau kennzeichnet eine gute Akustik in Kommunikationsräumen? Und wie lässt sich diese subjektiv bewerten?

Um die klanglichen Eigenschaften von Seminarräumen oder Klassenräumen besser bewerten zu können, wurden fünf verschiedene Räume am Computer modelliert, in denen sogenannte „Auralisierungen“ (Computerbasierte Verfahren zur Hörbarmachung eines Raumes unter Berücksichtigung seiner geometrischen und akustischen Eigenschaften) von dänischer Sprache ausgeführt wurden<sup>39</sup>. Auralisiert wurden fünf Räume mit einem Volumen von 288 m<sup>3</sup> und mit mittleren Nachhallzeiten von 0,55, 0,80, 0,86, 1,66 und 3,21 s (für Frequenzen von 250 bis 2000 Hz). Die Räume unterschieden sich auch hinsichtlich der Frequenzabhängigkeit, also dem Anstieg zu tiefen oder hohen Frequenzen, und weiterer akustischer Parameter (STI, Deutlichkeit etc.). Die fünf unterschiedlichen virtuellen Räume wurden im Laborexperiment (Schalldarbietung über Kopfhörer) einer subjektiven Bewertung unterzogen<sup>40</sup>. Insgesamt 20 Hörbeispiele bildeten die Grundlage einer subjektiven Beurteilung der Hörsamkeit bzw. der subjektiv empfundenen Nachhallzeiten durch 79 Versuchspersonen. Es konnte gezeigt werden, dass hohe Korrelationen zwischen objektiven und subjektiven Parametern (Nachhallzeiten, STI) bestehen. So konnten Räume mit einer Nachhallzeit von 0,80 und 0,86 s deutlich von dem Raum unterschieden werden, der eine Nachhallzeit von 0,55 s hatte. Eine Erhöhung der Nachhallzeit um ca. 0,25 s bewirkte im Laborversuch hinsichtlich Komforteindruck, Deutlichkeit, Höranstrengung, etc. eine schlechtere Bewertung. Weiterhin zeigte sich, dass Räume unter 1 s Nachhallzeit einen guten bis mittleren Höreindruck aufwiesen, während Räume mit längeren Nachhallzeiten subjektiv erheblich schlechter bewertet wurden. Auch in Feldversuchen konnten Kommunikationsräume mit unterschiedlichen Nachhallzeiten im Rahmen von Absolutbeurteilungen klar unterschieden werden. Bei der Bewertung der Sprechstimme von Dozenten während einer Vorlesung wirkte sich besonders der Anstieg zu tiefen Frequenzen auf den Komforteindruck negativ aus<sup>41</sup>.

Der Mensch kann die subjektive Raumqualität (Hörsamkeit) in Abhängigkeit von der Sprechstimme sowohl im Vergleich als auch absolut bewerten. Räume mittleren Volumens (Seminarräume) mit einer Nachhallzeit von über 1 s werden hinsichtlich des Hörsamkeitseindrucks negativ bewertet, wobei besonders ein Anstieg zu den tiefen Frequenzen negativ als „dröhnend“ und „brummig“ bewertet wird.

## Analyse und TQM-Maßnahmen: Mitarbeiterbefragungen im Bereich raumakustischer Planungen

Die Arbeitswelt hat sich in den letzten Jahrzehnten aufgrund zahlreicher Entwicklungen stark verändert. Viele Organisationen wurden effizienter gestaltet und einem „Business-Re-Engineering-Prozess“ unterworfen. Eine zentrale übergreifende Bedeutung hat dabei das Total-Quality-Management (TQM). Bei dem TQM-Prozess stehen die Mitarbeiter eines Unternehmens im Vordergrund. Deren Einstellungen, Wünsche, Verbesserungsvorschläge und Bewertungen werden im Rahmen von notwendigen begleitenden Maßnahmen innerhalb eines TQM-Prozesses durch regelmäßige Mitarbeiterbefragungen (MAB) erfasst. Die MAB fungiert dabei als ein personalpolitisches Instrument, das von der Geschäftsführung in Abstimmung mit der Arbeitnehmervertretung eingesetzt wird<sup>42</sup>. Im Zuge der Einführungen von TQM wird Qualität dabei durch eine präventive statt einer reaktiven Strategie gefördert (sprich: „Vorbeugen ist besser als heilen“). Im Vordergrund steht eine systematische, kontinuierliche Verbesserung – auch der ergonomischen Arbeitsbedingungen – durch alle Mitarbeiter.

Im Rahmen von TQM-Maßnahmen werden die physikalischen Bedingungen und deren Auswirkungen auf den Mitarbeiter am Arbeitsplatz aber oftmals unzureichend erfasst, ein erstaunlicher Umstand, wenn man bedenkt, dass der Faktor Akustik/Lärm in vielen Befragungen, wie in den vorherigen Kapiteln gezeigt, ein dominanter Faktor ist. Für die raumakustische Planung kann eine MAB zum einen als Screening-Instrument zur Grobabschätzung raumakustischer Parameter/Defizite einzelner Gebäudekomplexe oder Räume und zum anderen als Steuerungs- und Evaluationsinstrument arbeitsmedizinischer und ergonomischer Maßnahmen eingesetzt werden.

### > **MAB als Screening-Instrument**

Der Überblick über die Lärmwirkungsstudien zeigt, dass das Thema Lärm in Büros von vielen Aspekten abhängt und ein multidimensionales Konstrukt darstellt, dessen Wirkung sich nicht nur mittels Schallpegelmessungen abbilden lässt. Folgende akustische Dimensionen sollen abgefragt werden: Nachhallzeiten, Direktschall/Sprachverständlichkeit und Schallpegel/Lautstärke. Akustische Brennpunkte können im Rahmen eines Screening-Verfahrens mittels eines Fragebogens durch eine systematische Abfrage dieser drei akustischen Dimensionen ökonomisch identifiziert werden. Hierdurch können flächendeckende – und daher kostenintensive – technisch-akustische Messungen (z. B. ein auf die Dauer des gesamten Arbeitstages umgerechneter Schalldruckpegel, STI, frequenzabhängige Nachhallzeiten) zunächst vermieden werden.

Wie in dem Kapitel zur Auralisierung gezeigt, ist es möglich, die raumakustische Qualität hinsichtlich der Nachhallzeiten subjektiv zu bewerten. Auch für die Bereiche Schallpegel, Direktschall und Sprachverständlichkeit in unterschiedlichen Entfernungen konnten stabile Zusammenhänge zwischen objektiven Messungen und subjektiven Bewertungen nachgewiesen werden. Für die Bewertung der Belästigung wurde dabei die sogenannte „ICBEN“-Skala<sup>43</sup> (International Commission on Biological Effects of Noise) benutzt, die eine Einteilung von 1 = „überhaupt nicht“, 2 = „etwas“, 3 = „mittelmäßig“, 4 = „stark“ und 5 = „äußerst“ belästigend/störend verwendet.

Basierend auf diesen Untersuchungen wurde für die Praxis der raumakustischen Planung ein Fragebogen für ein Screening entwickelt, welcher im Folgenden exemplarisch dargestellt wird.

#### **Abschätzung der Lautstärke**

Zur Abschätzung der subjektiv empfundenen Lautstärke bietet es sich an, wesentliche Schallquellen aufzulisten und nach der subjektiv empfundenen Lautstärke zu fragen (siehe Tab. 2).

# 11. Schall- und Lärmwirkung

Tab. 2 Fragebogenelement für die Schätzung der Lautstärke

| Lautstärke                                                                     | sehr leise<br>1          | leise<br>2               | mittel<br>3              | laut<br>4                | sehr laut<br>5           |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Direkter Arbeitskollege:<br>Entfernung 1 – 2 Meter                          | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Gespräche von<br>Arbeitskollegen:<br>Entfernung 2 – 5 Meter                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Gespräche von<br>Arbeitskollegen:<br>Entfernung 5 – 10 Meter                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Gespräche von<br>Arbeitskollegen:<br>Entfernung > 10 Meter                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Kommunikationsgeräte<br>(Telefon, Fax)                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Büromaschinen<br>(Drucker, PC, etc.)                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Klimaanlage                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. „Gehgeräusche“<br>von Mitarbeitern<br>in meinem Büro                        | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. „Trittgeräusche“ von<br>Mitarbeitern in dem Büro<br>über mir und auf Fluren | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Natürlich können einzelne Schallquellen noch ergänzt sowie die Entfernungen zur Schallquelle an die Gegebenheiten angepasst werden. Wichtig ist die Abfrage einer ggf. installierten Klimaanlage, um festzustellen, inwieweit die Geräusche der Klimaanlage akzeptiert werden und ob das Einbringen von künstlichem Rauschen (Geräuschmaskierung) akzeptiert wird.

Die zitierte ICBEN-Skala kann zusätzlich oder alternativ eingesetzt werden, da mit dieser das Belästigungspotenzial abgeschätzt werden kann. Die Belästigung korreliert mit der subjektiv empfundenen Einschätzung der Lautstärke.

### Abschätzung des Direktschalls und der Sprachverständlichkeit

Zur Abschätzung des Direktschalls und der Sprachverständlichkeit wird die Deutlichkeit der Sprechstimme in verschiedenen Entfernungen abgefragt, siehe Tab. 3. Auch hierbei können die Entfernungsangaben natürlich variiert werden.

Tab. 3

| Fragebogenelement für die Schätzung der Sprachverständlichkeit |                          |                          |                          |                          |                          |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Sprachver-<br>ständlichkeit                                    | undeutlich               |                          |                          | deutlich                 |                          |
|                                                                | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |
| 1. Direkter Arbeitskollege<br>(1 – 2 Meter)                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Entfernung<br>2 – 5 Meter                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Entfernung<br>5 – 10 Meter                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Entfernung<br>mehr als 10 Meter                             | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

In vielen Planungsprojekten konnte gezeigt werden, dass stabile Zusammenhänge zwischen dem Sprachübertragungsindex (STI) und den subjektiven Bewertungen vorherrschen, so dass akustische Probleme, z. B. durch eine unzureichende Schirmung, erkannt werden können. Die Abfrage bezieht sich hier auf die Nutzung von Büroräumen, wenn die Sprache als „Störschall“ angesehen wird, also unerwünscht ist. Somit ist eine hohe Ausprägung in Richtung „deutlich“ als negativ zu bewerten. Anders verhält es sich bei Sprache als „Nutzschall“ in einer Seminar- oder Zuhörsituation. Hier ist eine hohe Ausprägung als positiv anzusehen.

### Abschätzung der Nachhallzeiten

Die Raumakustik lässt sich in der Regel sehr schwer von den Mitarbeitern beurteilen. Deshalb ist eine präzise Instruktion, was unter Halligkeit zu verstehen ist, notwendig.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

In MAB wird die Qualität der Raumakustik mit Hilfe von Adjektivpaaren grob eingeschätzt. Diese Adjektivpaare beziehen sich auf die Bewertung der Sprechstimme der Mitarbeiter im untersuchten Raum und wurden schon in mehreren Studien<sup>40, 41</sup> als geeignet eingestuft (siehe Tab. 4).

Tab. 4

**Fragebogenelement für die Abschätzung der Nachhallzeit**

| Abschätzung der Nachhallzeit | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        |            |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
| trocken                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | hallig     |
| gedämpft                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | klirrend   |
| angenehm                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | unangenehm |
| klar                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | dröhnend   |
| deutlich                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | undeutlich |

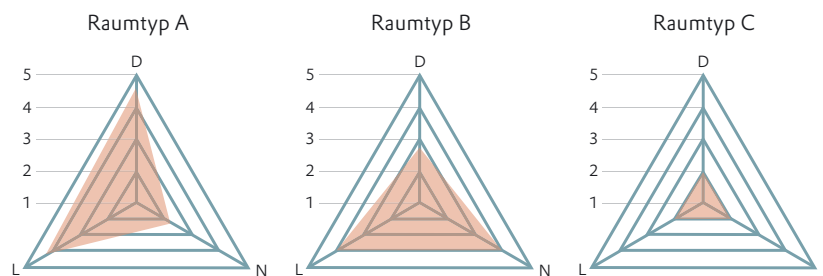
Wichtig ist in diesem Zusammenhang jedoch, das Bezugssystem des jeweiligen Mitarbeiters zu beachten, wenn er den Fragebogen ausfüllt. Wenn der Mitarbeiter seinen Arbeitsplatz erst kürzlich z. B. von einem vergleichsweise „halligen“ Großraum in ein Gruppenbüro mit moderater Nachhallzeit verlagerte, wird er das identische Gruppenbüro anders bewerten als derjenige Mitarbeiter, der seinen Arbeitsplatz von einem akustisch optimal gestalteten Einzelbüro in das Gruppenbüro verlagerte. Bei Befragungen, die ein Screening zum Ziel haben, sollten daher ausreichend viele Messungen an verschiedenen Personen durchgeführt werden und möglichst viele Informationen über die Mitarbeiter vorliegen, insbesondere Aussagen über vorherige Arbeitsbedingungen.

## > Raumakustische Qualitäten auf einen Blick

Anhand der drei Bereiche in der Mitarbeiterbefragung ist es möglich, die subjektiven Größen Nachhallzeit, Direktschall/Sprachverständlichkeit und Lautstärke/Belästigung abzuschätzen und als Grundlage für stichpunktartige Pilotmessungen heranzuziehen. Eine grafische Darstellung erlaubt rasch einen Gesamtüberblick der akustischen Belastung.

Abbildung 18 zeigt exemplarisch ein Ergebnis einer Mitarbeiterbefragung. Die drei subjektiven Bereiche der Akustik können hierzu als ein Dreieck mit drei Dimensionen dargestellt werden: D steht für subjektiv empfundene Deutlichkeit der Sprechstimme, L steht für subjektiv empfundene Lautstärke und N steht für die subjektiv bewertete Halligkeit. Je höher die Werte, desto höher die Ausprägung auf einer Skala von 1 – 5.

Abb. 18 **Subjektive Büroqualitäten (Sprache als Störschall)**



Subjektive Büroqualitäten (Sprache als Störschall). D = Deutlichkeit der Sprechstimme, L = subjektiv empfundene Lautheit, N = empfundener Nachhall (Halligkeit). Likert-Skalen von 1 bis 5, je höher der Wert, je höher die Ausprägung.

Datenquelle: Meis & Klink (2010)

Büroraumtyp A ist durch eine geringe Nachhallzeit und somit eine hohe Bedämpfung bei gleichzeitiger hoch ausgeprägter Sprachverständlichkeit charakterisiert. Obwohl der akustische Komfort (Nachhall) „gute“, d. h. geringe Werte erreicht, wird die deutliche, gute Sprachverständlichkeit in der Regel sehr negativ bewertet, wenn die Sprache (wie im Normalfall) als Störschall fungiert. Raumtyp B ist durch eine hohe „Halligkeit“ bei gleichzeitig hoher Lautheit/Belästigung, aber geringerer Deutlichkeit der Sprechstimme charakterisiert. Raumtyp B ist oftmals anzutreffen, wenn ungenügend Absorber verbaut werden. Raumtyp C hingegen zeigt keine auffälligen Charakteristika. Bei Raumtyp C wird in den drei Dimensionen der Skalenwert 2 erreicht, was einer geringen Häufigkeit von Beschwerden entspricht und als idealtypisch anzusehen ist. Die Räume A und B sind oft anzutreffende „Sanierungsfälle“. Mittlere Belästigungswerte (2 – 3) sind im Lärmbereich noch als akzeptabel zu bezeichnen, wohingegen Mittelwerte im Bereich von 4 bis 5 auf Probleme hinweisen<sup>42</sup> („hoch belästigte“ Mitarbeiter).

Wie die Arbeiten der Forschergruppe aus Eichstätt und Aachen<sup>25,29</sup> zeigen, können Einbußen der kognitiven Leistungsfähigkeit subjektiv jedoch nur schlecht eingeschätzt werden, so dass auch bei subjektiv gut bewerteten Räumen Leistungseinbußen nicht auszuschließen sind.

## > MAB als Evaluations-Instrument

Wie bereits ausgeführt, kann die Abfrage dieser drei Dimensionen auch zur Bewertung und Evaluation von Sanierungs- oder Optimierungsprojekten genutzt werden. Projektbeispiele zeigten, dass Verbesserungen von einer Skaleneinheit bereits bei 20 – 25 Personen pro Raum/Büro statistisch signifikant sein können. Insofern kann die grafische Aufbereitung dieser drei Dimensionen auch als Evaluationsverfahren für Unternehmen herangezogen werden. Die Evaluationen sollten aber immer auch mit objektiven Messungen, z. B. des Schallpegels, der frequenzabhängigen Nachhallzeiten und der Sprachübertragungsindizes stichprobenhaft abgesichert werden. Allein subjektive Werte reichen nicht aus, um fundierte Planungen einzuleiten oder bewerten zu können.

Weitere Faktoren, die sich als bedeutsam für die Belästigungswirkung von Lärm herausgestellt haben, sind:

- Kontrolle/Bewältigung des Lärms
- Einstellung zum Lärmverursacher
- Vorhersagbarkeit des Schallereignisses
- Schallcharakteristika
- Organisation/Unternehmen
- Lärmempfindlichkeit
- „Zeitscheiben“ der Belästigung
- Andere Wirkquellen, wie thermischer Diskomfort, Beleuchtung etc.

Um auch diese Faktoren erfassen zu können, sollen diese Aspekte in eine Fragebogenbatterie integriert werden.

Aus lärm- und arbeitsmedizinischer Sicht können noch folgende Variablen erfasst werden:

- Subjektive Stressbelastung und psychisches Wohlbefinden
- Einschränkung der Privatsphäre
- Ergonomische Körperhaltungen
- Tätigkeitsprofil des Mitarbeiters
- Störungen der Arbeitsabläufe
- Erkrankungen, AU Tage
- Verhaltensänderungen etc.

Sehr wesentlich ist es, bei „Lärmumfragen“ auch die generelle Arbeitszufriedenheit und Identifikation („Corporate Identity“) mit dem Unternehmen abzufragen, da sich oftmals hinter einer Lärmproblematik andere unternehmensseitige Probleme verbergen. Dadurch kann vermieden werden, dass verdeckte organisatorische „Störgrößen“ vermeintliche akustische Probleme anzeigen.

Die Definition des „optimalen“ Büroraums kann nur im Dialog mit den Mitarbeitern formuliert werden, da zum einen Partizipationsprozesse für die Akzeptanz von Büroraumlösungen sehr wesentlich sind (Kontrolle über die akustische Umwelt) und sich zum anderen die Gestaltung der Büroräume immer an dem Tätigkeitsfeld der Mitarbeiter und der Unternehmenskultur orientieren sollte.

Durch Mitarbeiterbefragungen (MAB) ist es möglich, akustische „Hotspots“ ökonomisch zu erfassen. Dabei kann die subjektiv empfundene Lautheit, Halligkeit und Sprachverständlichkeit grob geschätzt werden. MAB eignen sich auch dazu, die Mitarbeiter in den Planungsprozess einzubinden (Kontrollempfinden, Partizipation) und die ergonomische Qualität zu verbessern. Ferner können raumakustische Maßnahmen durch die Mitarbeiter bewertet werden und als Steuerungstool für nachfolgende Maßnahmen genutzt werden.

## Technische Maßnahmen

### > Technische Maßnahmen gegen unerwünschten Schall

Lärm am Arbeitsplatz lässt sich nicht vollständig vermeiden. Um den entstehenden Lärm zu minimieren, können neben leiseren Bürogeräten auch Maßnahmen zur Absorption oder Abschirmung von Schall oder zur Schallmaskierung getroffen werden. Eine ausführlichere Darstellung der folgenden technischen Maßnahmen findet sich in der buero-forum Fachschrift Nr. 8 „Raumakustik“ und in dem Sammelband „Akustik in Büro und Objekt“ aus der Reihe „Beiträge zur psychologischen Akustik“; vgl. weiterführende Literatur.

#### Schallabsorption

Als Schallabsorption wird die **Dämpfung** der Schallausbreitung durch eine Umwandlung der Schallenergie in eine andere Energieform, z. B. Wärme oder Bewegung, bezeichnet (Dämpfung nicht zu verwechseln mit der Dämmung des Schalls durch massive Bauteile, z. B. Wände). Der Schallabsorptionsgrad ist dabei ein Maß für die Absorptionsfähigkeit von Materialien. Ein Schallabsorptionsgrad von 1 bedeutet vollständige Absorption, ein Absorptionsgrad von 0 weist auf vollständige Reflexion des Schalls hin. Der Absorptionsgrad ist zudem von der Frequenz des auftreffenden Schalls abhängig; für die Absorption tiefer Frequenzen sind große Aufbaustärken poröser Materialien wie Glaswolle oder Schaumstoff (auch poröse Absorber genannt) notwendig oder Aufbauten, die aufgrund eines eingeschlossenen Luftvolumens oder einer schwingenden Oberfläche als sogenannte Resonanzabsorber genutzt werden können. Für hohe Frequenzen eignen sich z. B. dünnere Mineralfasern, hochflorige Teppichböden und schwere Vorhänge.

Schallabsorber können in Büros an verschiedenen Stellen positioniert werden. Häufig sind schallabsorbierende Materialien großflächig in die Deckengestaltung integriert, können kleinflächiger aber auch als Deckensegel oder an den Deckenkanten installiert sein. Neben Decken sind auch Wände bevorzugte Einsatzorte von Schallabsorbern; als kleinflächige Variante kommen auch Wandpaneele zum Einsatz. Zudem können textile Bodenbeläge aufgrund ihrer porösen Struktur zur Schalldämpfung eingesetzt werden. Als weitere Möglichkeit können schallabsorbierende Materialien auch in Einrichtungsgegenstände – z. B. Stellwände, Schränke, Heizkörper oder sogar Leuchten und Bilder auf Leinwand – integriert werden.

Im Allgemeinen kann eine Absorption von hohen Frequenzen durch Schallabsorber mit geringer Aufbauhöhe erreicht werden, während Schallabsorber mit größerer Aufbauhöhe oder großen Abmessungen für die Absorption von tiefen Frequenzen verwendet werden können. Bei der raumakustischen Planung sollte jedoch bedacht werden, Räume akustisch nicht zu „trocken“ zu gestalten, wenn Sprache als Störschall einwirkt. Diese wird dann zwar leise aber dabei auch sehr klar verständlich, so dass hierdurch die Privatsphäre und Arbeitsgedächtnisleistungen eingeschränkt werden können.

### Schallschirmung

Schall breitet sich von einer Schallquelle in der Regel gleichmäßig in alle Richtungen aus. Um die Schallausbreitung in eine bestimmte Richtung, z. B. zum Sitznachbarn, zu minimieren, können um die Schallquelle Schallschirme – in Form von Stellwänden, Schränken, Schreibtischaufsätzen oder ähnlichem – positioniert werden, die eine direkte Schallübertragung von der Schallquelle zum Empfänger unterbrechen. Bei einer indirekten Schallübertragung, z. B. durch Reflexionen an Decken und Wänden, erweist sich die Schallschirmung hingegen als wenig wirksam.

Für eine effiziente Schallschirmung sollte der Schallschirm möglichst dicht an der Schallquelle positioniert werden und diese von mehr als einer Seite „umschließen“. Benachbarte Raumbegrenzungen – also Wände, Decken, Schränke etc. – sollten zudem möglichst schallabsorbierend sein und nach Möglichkeit ohne Lücke an den Schallschirm angrenzen. Die Höhe des Schallschirms sollte zudem mindestens die Hälfte der Raumhöhe betragen.

### Schallmaskierung

Wenn der entstehende Schall nicht ausreichend absorbiert oder abgeschirmt werden kann, kann eine akustische Überdeckung des Geräusches sinnvoll sein. Zur Maskierung von Schall wird oft ein informationsloses, gleichmäßiges Geräusch – oft ein Rauschen – verwendet, welches den von Gesprächen oder Bürogerätschaften verursachten Lärm überdecken soll. Während frühe Versuche die vorhandene Geräuschkulisse der Lüftungsanlagen nutzten, wird bei der modernen Schallmaskierung eher eine direkte Einspielung informationsloser Geräusche mit einer speziell abgestimmten Frequenzcharakteristik bevorzugt. Aber auch verschiedene Arten von Musik (siehe Maskierung mit Rauschen und Musik) sind als Maskierer im Gespräch.

Der Pegel des Maskierers sollte so eingestellt sein, dass er hoch genug ist, um möglichst viele Nebengeräusche zu überdecken. Andererseits darf der Maskierungspegel als zusätzlicher Schalleintrag nicht zu laut sein, um nicht selbst als belästigend erlebt zu werden. Da das Maskierungsgeräusch, um effektiv hinsichtlich kognitiver Leistungen wirken zu können, mindestens den gleichen Pegel wie das Störgeräusch aufweisen sollte, muss der bereits vorhandene Hintergrundscharlenteppich so leise wie nur möglich gestaltet werden. Eine vorherige Abstimmung mit den betroffenen Mitarbeitern ist zur Einführung eines Sound-Maskierungssystems zwingend anzuraten.

## > Technische und apparative Lösungen zur Kompensation von Hörstörungen und schlechter Sprachverständlichkeit

### Hörsysteme (Hörgeräte)

Mit Hilfe von Hörgeräten lassen sich Hörverluste oft ganz oder zumindest teilweise ausgleichen. Hörgeräte bestehen im Wesentlichen aus einem Mikrofon, durch den der Schall „eingefangen“ wird, einem Verstärker zur Bearbeitung/Verstärkung des Schalls und einem Lautsprecher, der als Hörer bezeichnet wird. Vom Hörer werden die bearbeiteten Schallsignale durch einen Schlauch ins Ohr geleitet. Die Stromversorgung erfolgt üblicherweise über eine Batterie. Aufgrund ihrer Komplexität werden moderne Hörgeräte oft als Hörsysteme bezeichnet. Man unterscheidet dabei im Wesentlichen zwischen zwei Hörgerätetypen, den Hinter-dem-Ohr-Geräten und den Im-Ohr-Geräten.

Bei Hinter-dem-Ohr-Geräten (HdO) befindet sich das eigentliche Hörgerät hinter dem Ohr, und der bearbeitete Schall wird mittels Schlauch und Ohrpassstück (Otoplastik) ins Ohr geleitet. HdO-Geräte können bei den meisten Hörverlusten eingesetzt werden. Bei leichten Hörverlusten kann – statt normalem Schlauch und Ohrpassstück – auch ein dünner Schlauch mit kleinerem Endstück verwendet werden („offene Versorgung“); diese Mini-Hörgeräte sind damit kaum noch sichtbar. Eine besondere Art der HdO-Geräte stellen moderne RIC-Geräte dar, bei denen der Hörer sich nicht mehr im Gehäuse hinter dem Ohr befindet, sondern am Ende eines dünnen Kabels direkt im Gehörgang sitzt (Außenhörer); daher auch der Name RIC („receiver in the canal“). Im Gegensatz zu HdO- und RIC-Geräten befindet sich bei Im-Ohr-Geräten (kurz IdO) das Hörgerät ganz oder teilweise im Gehörgang.

Es gibt sowohl analoge als auch digitale Hörgeräte. Heutzutage sind digitale Hörgeräte auf dem Vormarsch, da bei ihnen sowohl die Schallverarbeitung als auch die Programmierung digital erfolgt. Dadurch wird die Anpassung der Hörgeräteprogramme an die individuellen Hörverluste optimiert. Zudem können je nach Bedarf und Geldbeutel leicht weitere Funktionen integriert werden, wie z. B. Spracherkennung, Störgeräuschunterdrückung, Echounterdrückung, Windgeräuschunterdrückung etc.

Welche Art von Hörgeräten empfehlenswert ist, hängt stark vom Hörverlust ab. Zudem ist es nicht in allen Fällen möglich, das Hörvermögen mittels Hörgerät vollständig auszugleichen. Dennoch ist eine frühzeitige Versorgung mit Hörgeräten im Berufs- und Familienalltag wichtig. Nur ca. 20 % aller hörgeschädigten Menschen tragen ein Hörgerät, besonders bei geringgradigen Hörstörungen ist die Versorgungsquote äußerst schlecht.

Moderne digitale Hörsysteme sind komplexe Mini-Computer und können die Kommunikationsfähigkeit im Büroumfeld (zumindest teilweise) wiederherstellen. Nur 20 % aller Hörgeschädigten sind aber mit Hörgeräten versorgt.

### Intelligente Konferenzsysteme

In der modernen Arbeitswelt gewinnt der Einsatz von akustischen Kommunikationssystemen, z. B. von Videokonferenzanlagen oder Chatsystemen, zunehmend an Bedeutung. Da bei solchen Kommunikationssystemen – im Gegensatz zu normalen Telefongesprächen – der Sprecher oft relativ weit vom Mikrofon entfernt ist, ist die akustische Übertragung besonders anfällig für Beeinträchtigung durch äußere Einflüsse wie Störgeräusche oder Nachhall. Bei einer einfachen, unbearbeiteten Signalübertragung werden diese unerwünschten Störgeräusche zusammen mit dem eigentlichen Sprachsignal zum Kommunikationspartner geschickt und reduzieren dort die Sprachverständlichkeit. Selbst für Normalhörende stellt dies eine besondere Herausforderung dar. Für Menschen mit Schwerhörigkeit können die daraus resultierenden Beeinträchtigungen der Kommunikation gravierend sein und sie gegebenenfalls sogar von der Nutzung des Systems ausschließen.

Ein weiteres Problem beim Einsatz akustischer Kommunikationssysteme besteht darin, dass der Sprecher nicht direkt erkennen kann, wie gut oder schlecht er zu verstehen ist. Dies ist derzeit nur durch eine gezielte Rückmeldung des Gesprächspartners möglich.

Ein vom Fraunhofer Institut für Digitale Medientechnologie neu entwickeltes, intelligentes Kommunikationssystem kann die Qualität und den Komfort der Kommunikation bedeutend erhöhen. Die zwei wesentlichen Komponenten dieses neuen Systems sind die Signalverbesserung und die Signalüberwachung.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

Ziel der Signalverbesserung ist es, die akustischen Eigenschaften der Signale individuell zu optimieren. Dies geschieht zum einen durch Verminderung von ungewollten Störgeräuschen oder Nachhallanteilen. Zum anderen werden die Signale vor der akustischen Ausgabe zusätzlich so verarbeitet, dass sie die bei Schwerhörenden erhöhte Hörschwelle ausgleichen und so die für die Kommunikation relevanten Signalanteile besser hörbar machen. Gleichzeitig kann diese Art der Vorverarbeitung genutzt werden, um die Schallausgabe an bevorzugte Einstellungen von Normalhörenden anzupassen.

Die Signalüberwachung dient dazu, die Sprachqualität des Kommunikationssignals kontinuierlich zu begutachten. Dazu werden Gehörmodelle eingesetzt, die aus den physikalischen Eigenschaften des Signals abschätzen, wie gut die Verständlichkeit von Sprache beim Empfänger ist. Der Sprecher erhält eine direkte Rückmeldung, wie gut er gerade zu verstehen ist, z. B. in Form eines optischen Signals („Ampel“).

Das entwickelte Video-Chatsystem<sup>44,45</sup> kann durch Signalverbesserung und Signalbewertung zu einer erhöhten Kommunikationsqualität für Normal- und Schwerhörende beitragen.

Bei akustischen Kommunikationssystemen treten oft Beeinträchtigungen durch äußere Einflüsse (Störgeräusche, Nachhall) auf, welche die Sprachverständlichkeit des Signals herabsetzen. Moderne, intelligente Konferenzsysteme verfügen über Programme zur Signalverbesserung und Signalüberwachung, welche die störenden Hintergrundgeräusche reduzieren und Auskunft über die Sprachqualität des Signals liefern. Zudem können die Systeme auch an den individuellen Hörverlust oder die bevorzugten Einstellungen des Senders angepasst werden.

# Anhang

## > Glossar

### **Adrenalin**

Das Hormon Adrenalin wird in der Nebenniere gebildet und bei kurzfristigen (Stress-) Belastungen ausgeschüttet. Seine wesentliche Funktion ist die Anpassung des Herzkreislaufsystems und des Stoffwechsels an stressbedingte Belastungen. Adrenalin steigert u. a. die Pulsfrequenz und den Blutdruck.

### **„Altersschwerhörigkeit“ (Presbycusis)**

Bei der Altersschwerhörigkeit (Presbycusis) geht man von kumulativen, alterskorrelierten Schädigungen des Innenohres aus. Sie entsteht etwa ab dem 55. bis 65. Lebensjahr. Es handelt dabei sich um eine zunehmende, beidohrige Innenohrschwerhörigkeit, insbesondere bei hohen Frequenzen.

### **Arbeitsgedächtnis**

Das Arbeitsgedächtnis, früher auch als Kurzzeitgedächtnis bezeichnet, ist ein Teil des menschlichen Erinnerungsvermögens. Es ist zuständig für die vorübergehende Speicherung und wird z. B. benötigt, um einen Satz inhaltlich zu verstehen. Es hat eine geringe Kapazität und wirkt unterstützend bei komplexen Aufgaben, beim Problemlösen und beim Erwerb neuen Wissens. Es ist empfindlich gegenüber spektro-temporalen (Sprach-) Schallen (siehe ISE).

### **Auralisierung**

Computer-basierte Verfahren zur Hörbarmachung eines Raumes unter Berücksichtigung seiner geometrischen und akustischen Eigenschaften.

### **Aurale Wirkungen**

Direkt das Ohr/Gehör schädigende Schallwirkungen durch hohe Schalldruckpegel, die bei längerfristiger Beschallung zur Schwerhörigkeit führen können; umfassen sowohl Schädigungen am Hörnerv oder den Haarzellen (sensorineurale Hörschäden; ab einem Schalldruckpegel von 80 dB(A) möglich), als auch mechanische Schäden wie Trommelfellrisse oder Schäden an den Gehörknöchelchen (bei Schalldruckpegel von 120 dB oder mehr).

### **Basilarmembran**

Langgestreckte Membran im Innenohr (Schnecke), die an ihrer Basis nahe dem ovalen Fenster schmal und steif ist und zur Spitze der Schnecke immer breiter und beweglicher wird; hohe Frequenzen verursachen eine Auslenkung der Membran in der Nähe des ovalen Fensters, während tiefe Frequenzen Schwingungen in der Nähe der Schneckenspitze verursachen.

### **Belästigung**

Als beeinträchtigend oder störend empfundene Wirkung unerwünschten Schalls. Im amerikanischen Sprachgebrauch wird der Begriff der „Annoyance“ verwendet. In einer weltweit normierten Skala zur Belästigung, der sogenannten ICBEN-Skala, wird die Belästigung 5-fach gestuft und numerisch mit den Adjektiven belästigend/störend abgefragt. Die Belästigung umfasst sowohl den emotionalen als den kognitiven Charakter, um dem Lästigkeitskonzept gerecht zu werden. In vielen Lärmwirkungsstudien wurden Dosis-Wirkungs-Beziehungen der Belästigung zum Schalldruckpegel nachgewiesen. Der Begriff hat sogar Eingang in das deutsche Bundesimmissionsschutzgesetz gefunden.

### **Cocktailparty-Effekt**

Dieser Effekt beschreibt die Fähigkeit der zentralen Verarbeitung der Information beider Ohren in komplexen Störschallbedingungen. Bei Anwesenheit mehrerer Schallquellen ist der Mensch in der Lage, die Schallanteile einer bestimmten Schallquelle aus einem Störschallgemisch zu extrahieren und die Nebengeräusche zu unterdrücken.

### **Cortisches Organ/Corti-Organ**

Auf der Basilarmembran aufsitzendes Organ aus Stützgewebe und mehreren Reihen von Sinneszellen (Haarzellen), welches der Umwandlung der Schalldruckwellen in elektrische Impulse dient.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

## **Cortisol**

Cortisol ist ein Stresshormon und wird im Nebennierenmark gebildet. Es wird bei chronischem Stress freigesetzt.

## **Dezibel (dB)**

Logarithmische Einheit in der Akustik zur Beschreibung des Schalldruckpegels.

## **Direktschall**

Schall, der auf direktem Weg (ohne Reflexionen, Beugung etc.) von der Schallquelle zum Schallempfänger übertragen wird.

## **Evaluation**

Unter Evaluation versteht man die sachgerechte Bewertung von Strukturen, Prozessen und Ergebnissen, die das Ziel haben die Qualität, z. B. eines Unternehmens, unter Zuhilfenahme der Methoden der empirischen Sozialforschung, ständig zu verbessern.

## **Extra-aurale Wirkungen**

Indirekte Schallwirkungen, die durch niedrige Schalldruckpegel ausgelöst werden können; umfassen sowohl Auswirkungen auf körperliche Vorgänge (psycho-vegetative Wirkungen, ab 60 dB), als auch Beeinträchtigungen der psychischen Verfassung (psychische Wirkungen, ab 30 dB).

## **Frequenz (Hz)**

Anzahl der Schalldruckänderungen (Schallschwingungen) pro Sekunde, Einheit Hertz (Hz),  $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$ . Schnell schwingende Quellen erzeugen schnelle Druckschwankungen, welche als hohe Töne (hohe Frequenzen) wahrgenommen werden, während langsame Schwingungen als tiefe Töne (tiefe Frequenzen) gehört werden.

## **Gehörknöchelchen**

Kleine Knöchelchen (Hammer, Amboss und Steigbügel) im Mittelohr, die für eine Impedanzanpassung zwischen dem am Trommelfell ankommenden Luftschall und dem am ovalen Fenster in die Flüssigkeit übertragenden Schall zuständig sind.

## **Haarzellen**

Sinneszellen des Gehörs mit haarförmigen Fortsätzen an der Oberfläche (Stereozilien). Man unterscheidet zwischen inneren Haarzellen (den eigentlichen Hörrezeptoren) und äußeren Haarzellen (den „Verstärkern“).

## **Hearing level (HL)**

„Hearing level“, also Hörpegel bzw. Hörverlust in dB.

## **Höranstrengung**

Unter Höranstrengung wird die Schwierigkeit des Sprachverstehens verstanden. Die Höranstrengung kann auch dann auftreten, wenn zwar alles verstanden wird, aber das Zuhören durch z. B. schlechte Schallwandler, ein ungünstiges Nutz- zu Störschallverhältnis, zu hohe Nachhallzeiten oder auch zu leise Sprache mühevoll ist. Im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch haben sich die Begriffe „Listening Effort“ oder auch „Ease of Listening“ durchgesetzt.

## **Hörsamkeit**

Unter Hörsamkeit werden die hörpsychologischen Wirkungen der akustischen Eigenschaften eines Raums für Schalldarbietungen, wie Musik oder Sprache verstanden. Bezogen auf die Raumakustik in Zuhörsituationen wird unter Hörsamkeit die Eignung eines Raums für bestimmte Schalldarbietungen verstanden, die in der DIN 18041:2004 beschrieben wird.

## **ICBEN-Skala (Belästigung)**

Die ICBEN-Skala (International Commission on Biological Effects of Noise) ist eine internationale Skala in verschiedenen Sprachen zur Erfassung der Belästigung mit den Kategorienabstufungen in 1 = nicht, 2 = etwas, 3 = mittelmäßig, 4 = stark und 5 = äußerst gestört/belästigt. Die damit gewonnen Ergebnisse sind deshalb auch länderübergreifend vergleichbar.

## **Impedanz (akustisch)**

Als akustische Impedanz werden alle Widerstände bezeichnet, die der Ausbreitung von Schallschwingungen in einem Medium (Luft, Flüssigkeit) entgegenwirken. Da Wasser (Hauptbestandteil der Innenohrflüssigkeit) eine deutlich höhere Impedanz hat als Luft („Füllung“ des Außenohrs), würde bei einem direkten Übergang des Schalls vom Außen- zum Innenohr der größte Teil der Schallenergie reflektiert werden. Um das zu verhindern, findet im Mittelohr eine Impedanzanpassung durch die Gehörknöchelchenkette statt.

**Irrelevant Sound Effect (ISE)**

Reduktion der Kurzzeitgedächtnisleistung durch (irrelevante) Hintergrundgeräusche; aufgrund der störenden Wirkung von Hintergrundsprache früher auch als „Irrelevant Speech Effect“ bezeichnet. Der Effekt tritt auch bei Fremdsprachen auf, und ebenso bei Musik, wenn diese eine der Sprache ähnliche spektro-temporale Struktur aufweist.

**Kurzzeitgedächtnis**

siehe Arbeitsgedächtnis

**Lärm**

Störend oder belästigend wirkender unerwünschter Schall (Störschall).

**Maskierung/Masker/Maskierer**

Akustische Über- bzw. Verdeckung eines Schalls durch einen anderen Schall. In Großraumbüros emittieren elektroakustische Soundmaskierungssysteme meist ein gleichmäßiges Rauschen. Dieses sollte auf die raumakustischen Bedingungen (STI, Nachhallzeiten, Raumvolumen und Besetzung) eingestellt werden.

**Moderatoren**

Unter Moderator versteht man nicht-akustische Faktoren, die einen einschaltenden oder abschwächenden Effekt auf die Wirkung des Lärms haben. Man unterscheidet zwischen personalen Moderatoren (z. B. Alter, Geschlecht) und situationsgebundenen Moderatoren, z. B. Büroraumgröße, Anzahl der Mitarbeiter.

**Nachhallzeit**

Die Nachhallzeit gibt ein Zeitintervall an, innerhalb dessen der Schalldruck in einem Raum bei plötzlichem Verstummen der Schallquelle auf den tausendsten Teil seines Anfangswerts abfällt, was einer Pegelabnahme von 60 dB entspricht. Die frequenz-, raum-, und nutzungsabhängigen Anforderungen an kleine bis mittelgroße Räume werden in der DIN 18041:2004 beschrieben.

**Noxenmodell**

Noxenmodelle (von noxa (lat) = der Schaden) beschäftigen sich mit den direkt schädigenden, auralen Lärmwirkungen. Das gilt sowohl für akute Wirkungen wie die zeitweisen Hörschwellenverschiebungen (engl.: temporary threshold shift) oder das Knall- und Explosionstrauma als auch für chronische Wirkungen wie z. B. die berufsbedingte irreversible Lärmschwerhörigkeit (engl.: permanent threshold shift).

**Presbycusis (Altersschwerhörigkeit)**

Bei der Presbycusis geht man von kumulativen Schädigungen des Innenohres aus. Sie entsteht etwa ab dem 55. bis 65. Lebensjahr. Es handelt sich dabei um eine zunehmende, beidohrige Innenohrschwerhörigkeit, insbesondere bei hohen Frequenzen.

**Schall**

Schall bezeichnet ein Ereignis, welches durch Bewegungen (Schwingungen) einer Schallquelle (z. B. Blätter, Instrumentsaiten) hervorgerufen wird und vom Gehör (zumindest potenziell) wahrgenommen werden kann.

**Schalldruck**

Druckschwankungen in einem festen, flüssigen oder gasförmigen Medium, die von einer Schallquelle hervorgerufen werden.

**Schalldruckpegel (SPL) = sound pressure level**

Ein logarithmisches Maß zur Beschreibung der Stärke eines Schallereignisses, bezogen auf einen Bezugsschalldruckpegel von  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa. Eine dem menschlichen Gehör nachempfundene Bewertung des Schalldruckpegels beruht auf dem Prinzip, dass gut wahrnehmbare Frequenzen stärker gewichtet werden als schlechter wahrnehmbare Frequenzen. Ein häufig benutzter Bewertungspegel ist der A-bewertete Schalldruckpegel (Einheit dB(A)).

**Schallabsorption**

Als Schallabsorption wird die Dämpfung der Schallausbreitung durch eine Umwandlung der Schallenergie in eine andere Energieform, z. B. Wärme oder Bewegung, bezeichnet. Der Schallabsorptionsgrad ist dabei ein Maß für die Absorptionsfähigkeit von Materialien. Ein Schallabsorptionsgrad von 1 bedeutet vollständige Absorption, ein Absorptionsgrad von 0 weist auf vollständige Reflexion des Schalls hin.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

## **Schirmung**

Als Schallschirmung wird die Unterbrechung einer direkten Schallübertragung von der Schallquelle zum Empfänger (Direktschall) bezeichnet. Als Schallschirme können unter anderem Aufbauten wie Stellwände, Schränke, Schreibtischaufsätze oder ähnliches fungieren. Eine indirekte Schallübertragung, z. B. durch Reflexionen an Decken und Wänden, wird von der Schallschirmung hingegen nicht/kaum beeinflusst.

## **Schallleitungsschwerhörigkeit**

Eine Schwerhörigkeit, die aufgrund einer reduzierten Schallweiterleitung ins Innenohr entsteht, häufig verursacht durch Verstopfungen des Außen- oder Mittelohres, ein gerissenes Trommelfell oder Verletzung/Versteifung der Gehörknöchelchenkette. Eine Schallleitungsschwerhörigkeit äußert sich in einer leiseren Wahrnehmung aller Geräusche. Alternative Bezeichnung: Mittelohrschwerhörigkeit.

## **Schallempfindungsschwerhörigkeit**

Eine Schwerhörigkeit, die aufgrund von Schädigungen der Haarzellen im Innenohr und/oder durch Schäden am Hörnerv auftritt; sie entsteht im Verlauf des natürlichen Alterungsprozesses und ist irreparabel. Eine Schallempfindungsschwerhörigkeit äußert sich dadurch, dass leise Geräusche nicht mehr wahrgenommen werden können (bei Schäden an den äußeren Haarzellen) oder bestimmte Frequenzen nicht mehr gehört werden (bei Schäden an den inneren Haarzellen). Da häufig vor allem die hohen Frequenzen betroffen sind und tiefere Frequenzen weit weniger stark gestört sind, kommt es oft zu einer „Verzerrung“ des Gehörten, die sich auch in einem deutlich reduzierten Sprachverstehen äußert.

## **Sick-Building-Syndrom (SBS)**

Nach der Definition der WHO handelt es sich beim SBS um einen Komplex von Beschwerden, hauptsächlich Reizerscheinungen und sensorische Missempfindungen im Bereich von Auge, Haut, Nase, Mund und Hals sowie einen Komplex vegetativer Beschwerden, die im Zusammenhang mit dem Aufenthalt in Gebäuden auftreten und die nach Verlassen des Gebäudes wieder verschwinden oder zurückgehen.

## **Stress**

Als Stress werden alle psychischen und physischen Reaktionen des Körpers auf störende oder belastigende äußere Reize (z. B. Lärm) bezeichnet.

## **STI/Speech transmission index/Sprachübertragungsindex**

Der Sprachübertragungsindex ist eine objektiv messbare Größe für die Sprachverständlichkeit, welche verschiedene Faktoren wie Störgeräusche oder Nachhall berücksichtigt. Der STI gibt die Sprachverständlichkeit in Werten zwischen 0 (sehr schlecht) und 1 (sehr gut) an.

## **SNR/signal to noise ratio/Signal-Rausch-Abstand**

Der Signal-Rausch-Abstand gibt Auskunft über die Lautstärke der Sprache in Relation zum Rauschen; positive Werte bedeuten, dass das Signal um diese Anzahl dB lauter als das Rauschen ist, ein Nullwert bedeutet gleiche Lautstärke und negative Werte weisen darauf hin, dass das Signal um diese dB leiser als das Rauschen ist. Generell gilt: je höher der Signal-Rausch-Abstand, desto verständlicher ist die Sprache.

## **Spektrale-temporale Struktur**

Die spektrale-temporale Struktur eines Schalls ist charakterisiert durch seine spektralen Eigenschaften (die Frequenzen, aus denen der Schall zusammengesetzt ist), und seinen zeitlichen Aufbau (Dauer einzelner Komponenten, auftretende Lücken etc., also seine temporalen Eigenschaften).

## > **Ausgewählte Vorschriften und Verordnungen über Lärm am Arbeitsplatz**

**Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)** vom 7.8.1996 (BGBl. I S. 1246), geändert am 5.2.2009 (BGBl. I S. 160)

**Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)** vom 12.8.2004 (BGBl. I S. 2179), geändert am 18.12.2008 (BGBl. I S. 2768)

**Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV)** vom 6.3.2007 (BGBl. I S. 261), geändert am 18.12.2008 (BGBl. I S. 2768)

Gesetze und Verordnungen sind im Internet auf der Gemeinschaftsseite des Bundesministeriums der Justiz und der juris GmbH ([www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de)) erhältlich.

**Richtlinie 86/188/EWG** des Rates vom 12. Mai 1986 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz

**Richtlinie 2003/10/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Februar 2003 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm)

Alle EU-Richtlinien sind auf den Seiten der Europäischen Union ([www.lex.europa.eu](http://www.lex.europa.eu)) erhältlich.

**DIN 18041** (2004) Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen

**DIN EN ISO 11690** (1997) Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmen maschinenbestückter Arbeitsstätten – Teil 1: Allgemeine Grundlagen; Teil 2: Lärminderungsmaßnahmen

**DIN EN 13779** – Lüftung von Nichtwohngebäuden

**ISO 9921-1** (1996) Ergonomische Beurteilung der Sprachkommunikation – Teil 1: Sprach-Interferenz-Pegel und Kommunikationsabstände für Personen mit normalem Hörvermögen in direkter Kommunikation

**VDI 2058-3** (1999) Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten

**VDI 2081-1** (2001) Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen

**VDI 2569** (1990) Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro

Normen und VDI-Richtlinien sind im Internet auf den Seiten der Beuth Verlag GmbH ([www.beuth.de](http://www.beuth.de)) erhältlich.

## > Literatur und Quellenverzeichnis

### Zitierte Literatur

1. Lübbcke, E. (1935). Schallwahrnehmung, Lautstärke und Geräuschestehung. Siemens-Zeitschrift, 15,5. Zitiert nach Schick, A. (1997). Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung. Lengerich: Pabst Science Publishers.
2. Schick, A. (1997). Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung. Lengerich: Pabst Science Publishers.
3. Stackelberg, H. v. (1986). Hörtest 1985. Bonn: Deutsches Grünes Kreuz.
4. Quaranta, A., Assenato, G., Sallustio, V. (1996). Epidemiology of hearing problems among adults in Italy. Scandinavian Audiology, 25 (Supplement 42): 7–11.
5. Davis, A.C. (1989). The Prevalence of Hearing Impairment and reported Hearing Disability among Adults in Great Britain. International Journal of Epidemiology, 18: 911–917.
6. Meis, M., & Klink, K. (2010). Lärmwirkungen in Büroumwelten: Review und Optimierungsansätze durch Mitarbeiterbefragungen. In: Schick, A., Meis, M., & Nocke, C. (2010): Akustik in Büro und Objekt, Beiträge zur psychologischen Akustik 10, S. 89–113.
7. Lazarus, R. S. & Folkman, S. (1984). Stress, appraisal, and coping. New York: Springer.
8. Jensen, K. L., Arens, E. & Zagreus, L. (2005). Acoustical Quality in Office Workstations, as Assessed by Occupant Surveys. In Indoor Air 2005. Proceedings of the 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Beijing, September 4–9, 2005 [CD-Rom]. Beijing: Tsinghua University Press, S. 2401–2405.
9. Pejtersen, J., Allermann, L., Kristensen, T.S. & Poulsen O.M. (2006). Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices. Indoor Air 16, S. 392–401.
10. Helenius, R. & Hongisto V. (2004). The effect of the acoustical improvement of an open-plan office on workers. Proceedings of Inter-Noise 2004, Paper 674, 21–25 August, Prague, Czech Republic.
11. Haapakangas, A., Helenius, R., Keskinen, E. & Hongisto, V. (2008). Perceived acoustic environment, work performance and well-being – survey results from Finnish offices. International congress on noise as a public health problem (ICBEN) 2008, Foxwoods, CT.
12. Meis, M. & Köppens, S. (2007). Akustische Qualität und weitere Umgebungsfaktoren in Büroräumen. Hörzentrum Oldenburg: Unveröffentlichter Bericht (Diplomarbeit).
13. Jödicke B. (2009). Büroeffizienz. Wie sich Licht, Schall und Wärme wechselseitig auf die Leistungsfähigkeit auswirken. Blickpunkt personal 1/2009, S. 14–16, [www.ham-burg.de/contentblob/1238622/data/06-bueroeffizienz.pdf](http://www.ham-burg.de/contentblob/1238622/data/06-bueroeffizienz.pdf).
14. Banbury, S.P. & Berry, D.C. (2005). Office noise and employee concentration: Identifying causes of disruption and potential improvements. Ergonomics 48(1), S. 25–37.
15. Helenius, R., Keskinen, E., Haapakangas, A. & Hongisto, V. (2007). Acoustic environment in Finnish offices – the summary of questionnaire studies. International congress on acoustics. Paper RBA-10-001, 2–7 September 2007, Madrid, Spain.
16. Hongisto, V.O. (2008). Effect of sound masking on workers in an open office. Proceedings of Acoustics 08, June 29-July 4 2008, Paris, France, S. 537–542.
17. Sailer, U. & Hassenzahl, M. (2000). Assessing noise annoyance: an improvement-oriented approach. Ergonomics 43(11), S. 1920–1938.
18. Sundstrom E., Town J.P., Rice, R.W., Osborn, D.P. & Brill, M. (1994). Office Noise, Satisfaction, and Performance. Environment and Behavior 26, S. 195–222.

19. Venetjoki, N., Kaarlela-Tuomaala, A., Keskinen, E. & Hongisto, V. (2006). The effect of speech and speech intelligibility on task performance. *Ergonomics* 49(11), S. 1068–1091.
20. Ising, H., Sust, C.A. & Rebentisch, E. (1996). Auswirkungen von Lärm auf Gesundheit, Leistung und Kommunikation. Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse 98. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund.
21. Banbury, S. & Berry, D.C. (1997). Habituation and Dishabituation to Speech and Office Noise. *Journal of Experimental Psychology: Applied* 3(3), S. 181–195.
22. Banbury, S. & Berry, D.C. (1998). Disruption of office-related tasks by speech and office noise. *British Journal of Psychology* 89, S. 499–517.
23. Bell, R. & Buchner, A. (2007). Equivalent irrelevant-sound effects for old and young adults. *Memory & Cognition* 35(2), S. 352–364.
24. Furnham, A. & Strbac L. (2002). Music is as distracting as noise: the differential distraction of background music and noise on the cognitive test performance of introverts and extraverts. *Ergonomics* 45(3), S. 203–217.
25. Schlittmeier, S. J. & Hellbrück, J. (2009). Background music as noise abatement in open-plan offices: A laboratory study on performance effects and subjective preferences. *Applied Cognitive Psychology*, 23(5), 684–697. (DOI: 10.1002/acp.1498; published online 31 July 2008).
26. Kristiansen, J., Mathiesen L., Nielsen, P.K., Hansen, Å.M., Shibuya, H., Petersen, H.M., Lund, S.P., Skotte, J., Jørgensen, M.B. & Søgaard, K. (2009). Stress reactions to cognitively demanding tasks and open-plan office noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 82(5), S. 631–641.
27. Sust C.A. (1989). Geräusche mittlerer Intensität - Auswirkungen auf Büro- und Verwaltungstätigkeiten. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 36(1), S. 2–7.
28. Loewen L.J. & Suedfeld, P. (1992). Cognitive and arousal effects of masking office noise. *Environment and Behavior* 24(3), S. 381–395.
29. Schlittmeier SJ, Hellbrück J, Thaden R & Vorländer M (2008) The impact of background speech varying in intelligibility: Effects on cognitive performance and perceived disturbance. *Ergonomics* 51(5), S. 719–736.
30. Klatte M., Bastian J., Meis, M. & Noack, B. (2007). Wirkungen von Hintergrundgeräuschen und Nachhall auf Sprachverstehen und Arbeitsgedächtnis in verschiedenen Altersgruppen. In: Fortschritte der Akustik. Beiträge zur 33. Jahrestagung für Akustik, DAGA 2007, Stuttgart.
31. Beaman, C.P. & Holt, N.J. (2007). Reverberant auditory environments: the effects of multiple echoes on distraction by 'irrelevant' speech. *Applied Cognitive Psychology* 21(8), S. 1077–1090.
32. Perham, N., Banbury, S. & Jones, D.M. (2007). Do realistic reverberation levels reduce auditory distraction? *Applied Cognitive Psychology* 21, pp. 839–847.
33. Maschke, C. (2000). Psychobiological reactions due to noise – their meaning for (public) health. In: A. Schick, M. Meis, & C. Reckhardt (2000). Contributions to Psychological Acoustics. Results of the 8th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics. Oldenburg: BIS, S. 481–507.
34. Schust, M. (1995). Wirkung von Lärm am Arbeitsplatz auf das Herz-Kreislauf-System. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin (Literaturdokumentation 2). Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven.
35. Evans, G.W. & Johnson, D. (2000). Stress and open-office noise. *Journal of Applied Psychology* 85(5), S. 779–783.

# 11. Schall- und Lärmwirkung

36. Amstutz S., Kündig S. & Monn C. (2010). Schweizerische Befragung in Büros (SBiB-Studie). Verfügbar nur als PDF-Datei über die Website des Staatssekretariats für Wirtschaft SECO.  
<http://www.seco.admin.ch/dokumentation/publikation/00008/00022/04153/>
37. Haltenorth, I. (2010). Büroraumakustik im Wandel der Zeit. In: Schick, A., Meis, M. & Nocke, C. (2010): Akustik in Büro und Objekt, Beiträge zur psychologischen Akustik 10, S. 89 – 113.
38. Sust, C.A. & Lazarus, H. (2003). Die Wirkung von Lärm auf das Verständnis gesprochener Sprache. In: Schick A, Klatte M, Meis M und Nocke C (Hrsg): Beiträge zur psychologischen Akustik 9, Ergebnisse des neunten Oldenburger Symposiums zur psychologischen Akustik (Hören in Schulen), BIS-Verlag, Bibliotheks- und Informationssystem der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, S. 191 – 202.
39. Nocke, C., Heydinger, D., Meis, M. & Schick A. (2003). Auralisierung und subjektive Bewertungen (Hörsamkeit) von Klassenräumen Teil 1 – Raumakustische Modellierung. In: A. Schick, M. Klatte, M. Meis, & C. Nocke (2003). 9. Oldenburger Symposium zur Psychologischen Akustik: Hören in Schulen. Beiträge zur Psychologischen Akustik. Oldenburg: BIS, S. 253 – 268.
40. Meis, M., Nocke, C., Heydinger, D. & Schick, A. (2003). Auralisierung und subjektive Bewertungen (Hörsamkeit) von Klassenräumen. Teil 2 – Subjektive Bewertungen. In: A. Schick, M. Klatte, M. Meis, & C. Nocke (2003). 9. Oldenburger Symposium zur Psychologischen Akustik: Hören in Schulen. Beiträge zur Psychologischen Akustik. Oldenburg: BIS, S. 269 – 287.
41. Meis, M., Hilge, C., Nocke, C., Bräcker, T., Lammers, V., Lützen, M., Machner, R., Mühlhan, M., Müller, A., Silge, B., Wempe, W., Wolter, S. & Schick, A. (2005). Subjektive Einschätzung der Sprechstimme und der Hörumgebung in universitären Seminarräumen. Fortschritte der Akustik, DAGA 2005.
42. Bungard W. (1998). Mitarbeiterbefragungen als Instrument eines Total-Quality-Ansatzes. In Steffgen, G., Meis, M. & Bollendorff, C. (Hrsg.): Psychologie in der Arbeitswelt, S. 131 – 143. Promoculture, Luxembourg.
43. Felscher-Suhr, U., Guski, R. & Schuemer, R. (1998). Some results of an international scaling study and their implications on noise research. In: Carter N, Job RFS (eds): 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem: Congress proceedings, Vol 2. Sydney, S. 733 – 736.
44. Rennies, J., Goetze, S. & Appell, J.-E. (2010). Considering Hearing Deficiencies in Human-Computer Interaction. In M. Ziefle & C. Röcker (Eds.) Human-Centered Design of E-Health Technologies: Concepts, Methods and Applications, IGI Global, ISBN-10: 1609601777.
45. S. Goetze, J. Rennies und J.-E. Appell: Intelligente Konferenzsysteme für natürliche Freisprechkommunikation, In A. Schick, M. Meis und C. Nocke: Beiträge zur psychologischen Akustik, Akustik in Büro und Objekt, Isensee Verlag, ISBN: 978-3-89995-710-5, Oldenburg, 2010.

### Weiterführende Literatur und Quellen

Auditory Valley (Thema: Hören und Innovative Hörhilfen) unter  
<http://www.auditory-valley.com/>

Forum Gutes Hören, Zahlen und Fakten,  
<http://www.forum-gutes-hoeren.de/Gehoer/Zahlen-und-Fakten.html>

Hellbrück, J. & Ellermeier, W. (2004). Hören: Physiologie, Psychologie und Pathologie.  
Hogrefe-Verlag; Auflage: 2., aktualis. u. erw. A. (März 2004). ISBN: 978-3801714758

EU Projekt Hearcom (Hören, Hörstörungen und Hörgeräte) unter  
[http://hearcom.eu/main\\_de.html](http://hearcom.eu/main_de.html)

buero-forum Fachschrift Nr. 8. Raumakustik – Akustische Bedingungen am Arbeitsplatz  
effektiv gestalten. bso Verband Büro-, Sitz- und Objektmöbel e.V.

Hellbrück, J. (2009). Hören – seine Funktionen und seine Bedeutung für den Menschen.  
1. Symposium Büro. Raum. Akustik. Köln.

Moore, B. C. J. An Introduction to the psychology of hearing. Fifth edition. Academic Press,  
San Diego, USA.

Plack, C.J. (2005). The sense of hearing. Lawrence Erlbaum Associates. Taylor & Francis Group.  
New York

Schick, A., Meis, M. & Nocke, C. (2010). Akustik in Büro und Objekt, Beiträge zur  
psychologischen Akustik 10. Isensee Verlag Oldenburg. ISBN: 978-3-89995-710-5.

### Screening des Hörvermögens

Überprüfung des Hörvermögens per Telefon: ein Screening-Verfahren.  
Unter: <http://www.hoertest-per-telefon.de/>

### > Netzwerk-Partner



[www.buero-forum.de](http://www.buero-forum.de)



[www.deutsches-netzwerk-buero.de](http://www.deutsches-netzwerk-buero.de)



**buero-forum** im  
**bso** Verband Büro-, Sitz-  
und Objektmöbel e. V.

Bierstadter Straße 39  
65189 Wiesbaden  
Telefon 0611 1736-0  
Telefax 0611 1736-20  
[www.buero-forum.de](http://www.buero-forum.de)  
[info@bso-ev.de](mailto:info@bso-ev.de)