



ICS: 17.140.30

ÖAL-Richtlinie Nr. 6/18

Ausgabe 2010-12-01

Die Wirkungen des Lärms auf den Menschen Beurteilungshilfen für den Arzt

Abstimmunsexemplar

Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (ÖAL)

Dresdner Straße 45; A-1200 Wien

Medieninhaber und Hersteller: Österreichischer
Arbeitsring für Lärmbekämpfung; 1200 Wien
Copyright ÖAL 2010, Alle Rechte vorbehalten
Nachdruck oder Vervielfältigung, Aufnahme auf oder in sonstige
Medien oder Datenträger nur mit Zustimmung des ÖAL
E-mail: office@oal.at
Internet: <http://www.oal.at>
Vereinsregister-Zahl: 783724553
DVR-Nr.: 0822213

Verkauf der ÖAL-Richtlinien:
Austrian Standards Plus
Heinestraße 38; A-1020 Wien
Telefon +43 (0)1 213 00-0
Fax: +43 (0)1 213 00-355
Internet: <http://www.as-plus.at>
E-mail: office@as-plus.at

Die vorliegende Richtlinie wurde von der Arbeitsgruppe 141 des Österreichischen Arbeitsringes für Lärmbekämpfung unter der Leitung von

OA Priv.-Doz. Dipl.-Ing. rer. nat. tech. Dr. med. univ. Hans-Peter Hutter

und den Mitarbeitern

Dipl.-Ing. Michael Cik
Dr. Thomas Edtstadler
Dr. Michael Jungwirth
Dr. Andrea Kainz
Univ.-Prof. Dr. Michael Kundi
OA Dr. Andreas Lackner
Dipl.-HTL-Ing. Christoph Lechner
Dr. Hanns Moshammer
Dr. Reinhard Raggam
Ing. Werner Talasch
Dr. Peter Wallner

erstellt.

Die Genehmigung der Richtlinie durch das Präsidium des Österreichischen Arbeitsringes für Lärmbekämpfung erfolgte am 7. November 2010.

Abstimmunsexemplar

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	1
2	Begriffsbestimmungen	1
2.1	Schalldruck (p in μPa)	2
2.2	Schalldruckpegel (L_p in dB)	2
2.3	A-bewerteter Schalldruckpegel (L_A in dB)	2
2.4	A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$)	2
2.5	Schallpegel-Häufigkeitsverteilung	2
2.6	Statistische Schallpegel	2
2.6.1	Basispegel ($L_{A,95}$)	2
2.6.2	Mittlerer Spitzenpegel ($L_{A,1}$)	3
2.7	Maximaler Schallpegel ($L_{A,max}$)	3
2.8	Kennzeichnender Spitzenpegel ($L_{A,Sp}$)	3
2.9	Frequenzanalyse	3
2.10	Beurteilungspegel (L_r)	3
2.10.1	Anpassungswerte (Pegelzuschläge)	3
2.11	Beurteilungszeiträume	4
2.12	Weitere Begriffe	4
3	Die Physiologie des Gehörs	4
3.1	Empfindlichkeit und Auflösungsvermögen	4
3.2	Adaptation	5
3.3	Erregung und Erregungsfortleitung	5
4	Aurale Wirkungen	7
4.1	Schalleinwirkungen und Hörstörungen, Audiometrie	7
4.2	Akutes Schalltrauma	7
4.2.1	Knalltrauma	8
4.2.2	Explosionstrauma	8
4.3	Akutes Lärmtrauma	8
4.4	Chronisches Schalltrauma	8
4.5	Tinnitus	9
5	Extraaurale Wirkungen	10
5.1	Kommunikationsstörungen	11
5.2	Schlafstörungen	13
5.3	Kardiovaskuläre Effekte und Störungen der Physiologie	18
5.3.1	Akute physiologische Reaktionen	18
5.3.2	Langzeiteffekte u. pathologische Wirkungen	19
5.3.3	Stoffwechselveränderungen	20
5.3.4	Prä- und postnatale Störungen	21
5.4	Mentale Störungen	21
5.4.1	Auswirkungen auf Konzentration, Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit	22
5.5	Soziale Effekte und Belästigung	23
5.5.1	Belästigung und Befindlichkeit	23
5.5.2	Soziale und emotionale Beeinträchtigungen	24
6	Wirkungsbezogene Immissionsrichtwerte	25
6.1	Interpretation wirkungsbezogener Schallpegel	28

Inhaltsverzeichnis (Fortsetzung)

7	Ermittlung und Beschreibung von Schallimmissionen	.29
7.1	Messung der Schallimmission	.29
7.2	Schallereignisbeschreibung	.29
7.3	Sensorische Schallermittlung (Hörprobe des amtlichen Gutachters)	.29
7.3.1	Wesentliche Elemente der Hörprobe	.29
7.3.2	Inhalt und Dokumentation des Ortsaugenscheines mit Hörprobe	.30
7.4	Wahrnehmungen, Empfindungen, Reaktionen und Aussagen Betroffener	.32
7.5	Schallimmissionsprognose	.32
8	Das ärztliche Lärmgutachten	.32
8.1	Allgemeine Grundsätze	.32
8.2	Formale Elemente	.33
8.3	Inhaltliche Gestaltung	.33
8.3.1	Fragestellung	.33
8.3.2	Befund	.33
8.3.3	Medizinische Grundlagen	.34
8.3.4	Gutachten	.34
9	Literatur	.35
Anhang A: Anmerkungen zum Grundgeräuschpegel ($L_{A,Gg}$)		.40
Anhang B: Psychoakustik		.41
Anhang C: Rechnen mit Pegelwerten		.43
Anhang D: Problematik zeitlicher Mittelungspegel		.45

Abstimmungs-exemplar

1 Vorbemerkung

Seit vielen Jahrzehnten bietet das Regelwerk des Österreichischen Arbeitsringes für Lärmbekämpfung den Lärmsachverständigen wertvolle Beurteilungshilfen an.

So wurde bereits 1968 die ÖAL-Richtlinie Nr. 18 „Die ärztliche Begutachtung von Störungen durch Lärm“ sowie 1972 die Richtlinie Nr. 6 „Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Lärm“ veröffentlicht. Die beiden Richtlinien wurden später zusammengeführt (Nr. 6/18). Da die letzte Version 1991 erschien, war aufgrund neuerer Erkenntnisse über die Wirkung des Lärms auf den Menschen eine Neubearbeitung angebracht.

In der vorliegenden Beurteilungshilfe ist der Stand der wissenschaftlichen Lärmwirkungsforschung - insbesondere auf dem Gebiet der extraauralen Schallwirkungen - zusammengefasst. Es wurde Wert darauf gelegt, den Intentionen der Umweltmedizin/Umwelthygiene Rechnung zu tragen, Dosis-Wirkungs-Beziehungen darzustellen und damit eine Bewertung zu erwartender Belastungen zu ermöglichen. Darüber hinaus werden Hinweise gegeben, welche Elemente lärmhygienische Gutachten im Allgemeinen und im Besonderen in Behördenverfahren enthalten sollen.

Arbeits- und Umweltmedizin/Umwelthygiene haben die wesentlichen Beiträge zur lärmmedizinischen Forschung geliefert und ermöglichen eine generelle Aussage:

Lärm ist ein Stressor, der sowohl als Einzelfaktor als auch in Kombination mit anderen Umwelttoxinen in Erscheinung tritt. Lärm erhöht über die Beeinträchtigung der Befindlichkeit das Risiko für Gesundheitsstörungen und trägt dadurch wesentlich zum Entstehen von Überlastungssyndromen bei.

Die große Zahl von Moderatorvariablen der Sinnes- und Wahrnehmungswelt des Hörens ist Grund dafür, dass sich die Wirkungsabschätzung häufig nicht allein mit einzelnen physikalischen Größen vornehmen lässt. Daher finden sich in einzelnen Teilen dieser Richtlinie Bereichsangaben, deren richtige Interpretation nur im Zusammenhang mit der Gesamtbelastungssituation des Menschen erfolgen kann.

Diese Richtlinie ist als Leitfaden für die mit der Lärmbeurteilung befassten Ärzte gedacht. Sie dient als Orientierungshilfe und grundlegende, wissenschaftlich fundierte Basis für eine medizinische Bewertung.

2 Begriffsbestimmungen

Schall wird von schwingenden Körpern erzeugt (= Schallemission) und breitet sich in Medien (gasförmig, flüssig, fest) aus. Schallwellen unterliegen ausbreitungsbeeinflussenden Faktoren (Entfernung, Dämpfung, etc.) und werden am Wirkort als Schallimmission beschrieben.

Emissionen sind daher nicht mit Immissionen gleichzusetzen. Die medizinische Lärmbeurteilung ist auf den Auswirkungen der Immissionen aufzubauen. (Zu beachten sind dabei die Besonderheiten der jeweiligen Aufenthaltsorte unter Beachtung der jeweiligen gesetzlichen Vorgaben und Beweisfragen.)

Zur Beurteilung von Schallimmissionen sind Schallpegelwerte erforderlich. Diese können gemessen oder errechnet werden. Die wesentlichen Schritte von der Ermittlung der Schallpegelwerte bis zu deren Beurteilung finden sich in der ÖAL- Richtlinie 3 Blatt 1 (Ausgabe 1.3.2008).

Die Kenntnis folgender Begriffe und Definitionen ist für die medizinische Lärmbeurteilung relevant (siehe auch ÖNORM S 5004).

2.1 Schalldruck (p in μPa)

Der adäquate Reiz für das menschliche Ohr sind Druckschwankungen der Luft die den statischen Luftdruck überlagern. Die Druckunterschiede zwischen der Hörschwelle (etwa $20 \mu\text{Pa}$ bei 1000 Hz) und Schmerzschwelle betragen 6 bis 7 Zehnerpotenzen. Die Lautstärkeempfindung zeigt eine logarithmische Abhängigkeit vom Schalldruck und ist darüber hinaus abhängig von der Frequenz (Tonhöhe, Hz).

2.2 Schalldruckpegel (L_p in dB)

Pegel werden aufgrund der großen Wertebereiche in der Schalltechnik über Logarithmen definiert. Der Schalldruckpegel ist ein logarithmisches Maß zur Beschreibung der Stärke eines Schallereignisses relativ zur Hörschwelle ($20 \mu\text{Pa}$).

Wenn nichts anderes angegeben ist, wird unter dem Begriff Schallpegel immer der Schalldruckpegel verstanden.

2.3 A-bewerteter Schalldruckpegel (L_A in dB)

Der A-bewertete Schalldruckpegel ist der mit der Frequenzbewertung A gemessene Schalldruckpegel. Die A-Bewertung stellt eine gewisse Annäherung an die Lautheitsempfindung des Menschen dar. Bei der Messung von Schallimmissionen im Nachbarschaftsbereich wird in der Regel eine A-Bewertung vorgenommen.

2.4 A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$)

Der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel ist der mit der Frequenzbewertung A ermittelte energieäquivalente Dauerschallpegel.

Zur Beschreibung von Schallereignissen bei nicht konstantem, also zeitlich schwankendem Pegelverlauf wird der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel (oft auch nur „äquivalenter Dauerschallpegel“) verwendet. Es ist jener Pegel, welcher bei andauernder gleichmäßiger Einwirkung über eine vorgegebene Bezugszeit denselben Energiegehalt hat wie das schwankende Geräusch. Der energieäquivalente Dauerschallpegel als Einzahlwert wird in den meisten Fällen die Störwirkung eines länger dauernden wechselnden Schallereignisses gut abbilden. Rückschlüsse auf Details des zeitlichen Ablaufes der Schallimmission sind mit dem energieäquivalenten Dauerschallpegel nicht möglich.

2.5 Schallpegel-Häufigkeitsverteilung

Die Schallpegel-Häufigkeitsverteilung dient der Angabe, in wie viel Prozent der Messzeit bestimmte Schalldruckpegelwerte überschritten werden.

Viele Schallereignisse, beispielsweise Verkehrslärm, Betriebslärm oder Freizeitlärm, haben einen zeitlich mehr oder weniger stark schwankenden Schallpegelverlauf. Die Schallpegel-Häufigkeitsverteilung ermöglicht die Ermittlung sogenannter statistischer Schallpegel. Diese ermöglichen dem Gutachter die spezifische Charakteristik schwankender Geräusche zu erfassen.

2.6 Statistische Schallpegel

2.6.1 Basispegel ($L_{A,95}$)

Der Basispegel ist der in 95% der Messzeit überschrittene A-bewertete Schalldruckpegel der Schallpegel-Häufigkeitsverteilung eines beliebigen Geräusches.

2.6.2 Mittlerer Spitzenpegel ($L_{A,1}$)

Der mittlere Spitzenpegel ist der in 1% der Messzeit überschrittene A-bewertete Schalldruckpegel der Schallpegel-Häufigkeitsverteilung eines beliebigen Geräusches.

2.7 Maximaler Schallpegel ($L_{A,max}$)

Der höchste, gemessene oder errechnete Schalldruckpegel eines beliebigen Geräusches.

2.8 Kennzeichnender Spitzenpegel ($L_{A,sp}$)

Der mit der Zeitbewertung F (Fast) und A-Bewertung gemessene oder errechnete höchste Wert einer kennzeichnenden Pegelspitze.

2.9 Frequenzanalyse

Zur genaueren Beschreibung des Geräuschcharakters eines Schallereignisses kann eine Frequenzanalyse herangezogen werden. Damit lassen sich spezifische Charakteristika eines Geräusches nachweisen. Nach der Feinheit der Auflösung unterscheidet man Oktavband-, Terzband oder Schmalbandanalysen.

Eine Frequenzanalyse kann in der individuellen schalltechnischen und lärmmedizinischen Beurteilung als Dokumentation sinnvoll sein.

2.10 Beurteilungspegel (L_r)

Der Beurteilungspegel ist der auf eine bestimmte Zeit bezogene A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel eines beliebigen Geräusches, der – so erforderlich – mit einem Anpassungswert zu versehen ist.

Der Zeitraum, auf den sich der Beurteilungspegel bezieht, muss angegeben sein, z.B. bei einer Bezugszeit von einer Stunde $L_{r,1h}$, bei einer Bezugszeit von 13 Stunden $L_{r,13h}$. Der Index kann auch die Quelle bezeichnen, z.B. $L_{r,Schiene}$.

2.10.1 Anpassungswerte (Pegelzuschläge)

Zur Berücksichtigung einer erhöhten Lästigkeit eines Geräusches (Tonhaltigkeit, Impulshaltigkeit oder Informationshaltigkeit) wurden bisher so genannte Pegelzuschläge angebracht.

Diese Pegelzuschläge sind aus Gründen der schweren messtechnischen Reproduzierbarkeit und damit zur Erhöhung der Gesamtgenauigkeit durch den so genannten „generellen Anpassungswert“ gemäß ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 1 (Ausgabe 1. 3. 2008) ersetzt worden:

Anmerkung 1:

Beurteilungspegel der spezifischen Schallimmission $L_{r,spez}$: Der Beurteilungspegel der spezifischen Schallimmission ist der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel der spezifischen Schallimmission, der bei gewerblichen Betriebsanlagen und verwandten Einrichtungen sowie Baulärm mit einem generellen Anpassungswert von plus 5 dB, bei Straßenverkehr und Flugverkehr mit einem Anpassungswert von 0 dB und bei Schienenverkehr mit einem Anpassungswert von minus 5 dB zu versehen ist.

Anmerkung 2:

In der individuellen lärmmedizinischen Beurteilung sind besondere Geräuschcharakteristika, die eine erhebliche Belästigungswirkung entfalten können, zu beschreiben und entsprechend zu berücksichtigen.

2.11 Beurteilungszeiträume

- Tagzeit: Die Tagzeit ist der Zeitraum zwischen 6:00 Uhr und 19:00 Uhr.
- Abendzeit: Die Abendzeit ist der Zeitraum zwischen 19:00 Uhr und 22:00 Uhr
- Nachtzeit: Die Nachtzeit ist der Zeitraum zwischen 22:00 Uhr und 6:00 Uhr.

2.12 Weitere Begriffe

Folgende Definitionen weiterer wichtiger Begriffe können der ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 1 entnommen werden

- Körperschall
- Infra- und Ultraschall
- Ortsübliche Schallimmission
- Beurteilungspegel der ortsüblichen Schallimmission repräsentativer Quellen
- Planungsrichtwert nach Flächenwidmungskategorie
- Spezifische Schallimmission
- Beurteilungspegel der spezifischen Schallimmission
- Planungswert für die spezifische Schallimmission

3 Die Physiologie des Gehörs

3.1 Empfindlichkeit und Auflösungsvermögen

Der Gehörsinn ist das empfindlichste Sinnessystem des Menschen, er vermag noch Reize im Bereich von 10^{-12} W/m^2 aufzunehmen und weiterzuverarbeiten. Die Empfindlichkeit ist über den hörbaren Frequenzbereich (20-16000 Hz) so verteilt (Bild 1), dass die Wahrnehmungsschwelle für Reize im Bereich von 2000-4000 Hz am niedrigsten ist. Diese Frequenzen sind für die Perzeption von Sprache besonders wichtig.

Die Intensitätsunterschiedsschwelle liegt in diesem Frequenzbereich etwa zwischen 0,2 dB bis 2 dB (variabel je nach Ausgangsintensität und Meßverfahren), die Frequenzunterschiedsschwelle bei etwa 0,3 % der Ausgangsfrequenz. Die Laufzeitdifferenz bei einer von der Mittellinie seitlich abweichenden Schallquelle kann bis zu 0,3 ms ausgewertet werden, so dass die Lokalisationsgenauigkeit für seitlich verschobene Schallquellen im Bereich von 3-5 Winkelgraden liegt.

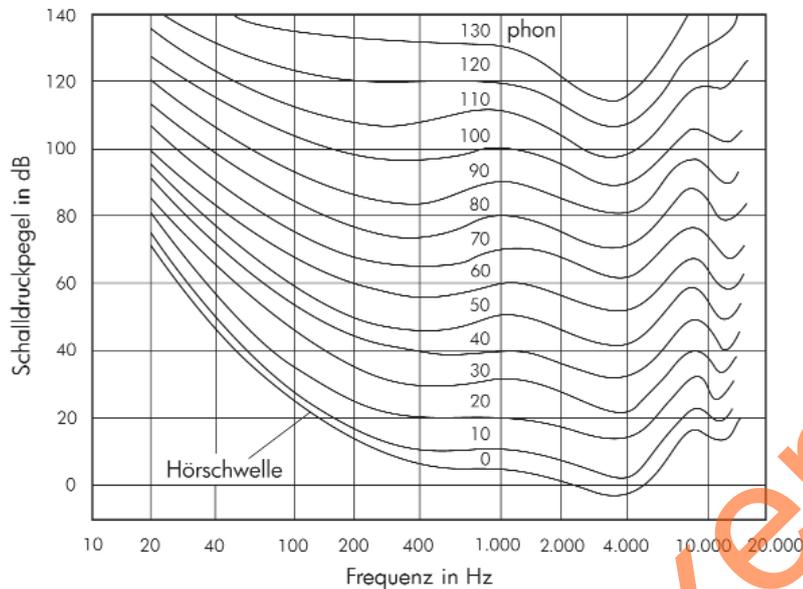


Bild 1: Hörschwelle und Kurven gleicher Lautstärkepegel für Sinustöne im freien Schallfeld bei beidohrigem Hören.

3.2 Adaptation

Die Rezeptoren des Gehörorgans zeigen bei und nach Schalleinwirkung eine deutliche Adaptation. Dieser Vorgang dient der Bereichsanpassung und ist getrennt von Ermüdungsvorgängen und zentral-nervöser Habituation zu betrachten. Durch die Adaptation wird die Unterschiedsempfindlichkeit nicht beeinträchtigt. Kommt es jedoch über diese Bereichseinstellung hinaus auch zu einer Hörermüdung, so steigt die Hörschwelle an und die Unterschiedsempfindlichkeit wird herabgesetzt. Bei Schalleinwirkungen von ausreichender Intensität und Dauer kann die zeitweilige Hörschwellenverschiebung, auch zeitweiliger Hörschwellenschwund genannt (Temporary Threshold Shift, TTS) gemessen werden, wobei das Ausmaß der Schwellenverschiebung und der Zeitverlauf der Restitution für die Beurteilung der Schalleinwirkung eine Rolle spielen.

3.3 Erregung und Erregungsfortleitung

Der adäquate Reiz für die Sinnesrezeptoren ist die Abscherung der an die Membrana tectoria stoßenden Sinneshaare (Bild 2) der Haarzellen, dabei wird ein Mechanorezeptor aktiviert. Untersuchungen haben ergeben, dass für die afferente Erregungsübertragung den inneren Haarzellen (IHZ) eine primäre Bedeutung zukommt. Die morphologische Basis hierzu liefert die Tatsache, dass 90 % der Afferenzen im N. VIII von den IHZ stammen (Spoendlin 1972). Die äußeren Haarzellen (AHZ) haben eine dichte efferente Innervation, deren Überträgersubstanz Acetylcholin ist (Klinke 1986). Es wird diskutiert, dass die AHZ über ihre efferente Innervation und die in ihnen enthaltenen kontraktile Elemente (McCartney et al. 1980) die mechanischen Eigenschaften der Verbindung zwischen IHZ und Tektorialmembran verändern und damit die Erregungsintensität der IHZ modulieren können (Ashmore 1987).

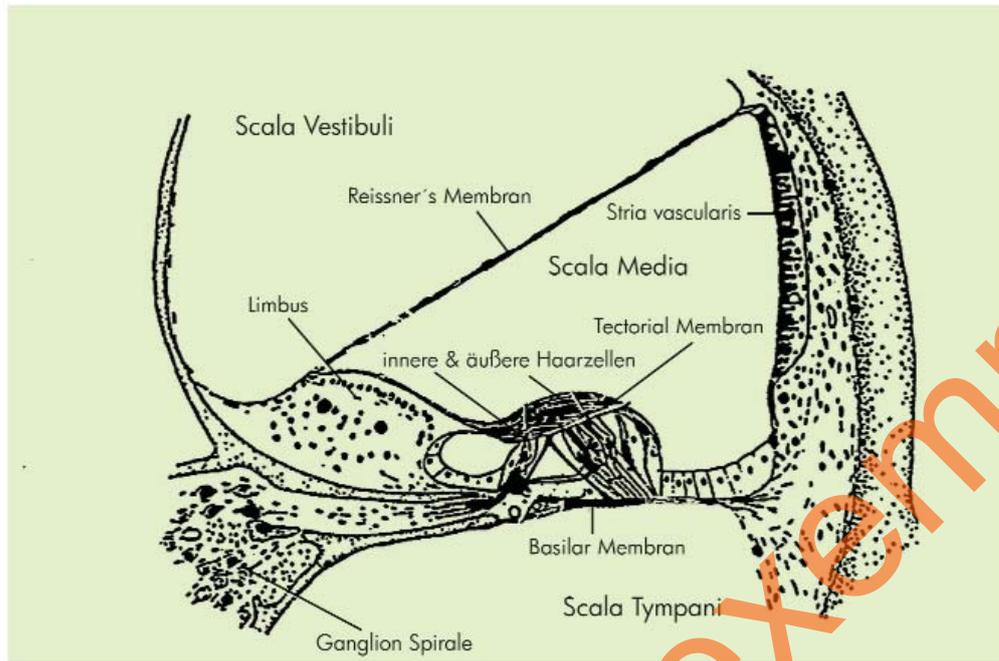


Bild 2: Querschnitt durch eine Windung der Cochlea: Cortisches Organ und Flüssigkeitsräume.

Das Ausmaß der Haarzellenerregung zeigt ein frequenzabhängiges Ortsmaximum. Jedes Schallereignis wird im Innenohr in seine Teilfrequenzen zerlegt, wobei hohe Frequenzen nahe der Schneckenbasis, tiefe nahe der Schneckenspitze abgebildet werden.

Die Schallübertragung auf die Flüssigkeitsräume des Innenohrs kann über die Gehörknöchelchenkette des Mittelohrs (Luftleitung) oder über die Schädelknochen (Knochenleitung) erfolgen. Normalerweise wird nur die eigene Stimme über Knochenleitung gehört, im Übrigen ist die Luftleitung für alle Frequenzbereiche besser. (Die unterschiedlichen Frequenzwiedergabequalitäten bei Knochen- und Luftleitung bewirken, dass die eigene Stimme bei Abspielen über ein Aufnahmegerät verfremdet erscheint).

Bei der Luftleitung wird die Gehörknöchelchenkette über die Schwingungen des Trommelfells in Schwingungen versetzt, wobei Hebelwirkung und Flächenreduktion zwischen Trommelfell und ovalem Fenster eine Verstärkung des an der Luft-Gewebegrenze des Trommelfells zu mehr als 90 % reflektierten Schalles bewirken. Die Muskeln des Mittelohres (M. stapedius, M. tensor tympani), welche die Gehörknöchelchen enger aneinanderpressen und aus ihrer Verankerung an Trommelfell bzw. ovalem Fenster herausziehen, dienen wahrscheinlich zur Vermeidung von Querschwingungen („Klirren“) der Gehörknöchelchenkette sowie bei längerdauernder lauter Schalleinwirkung zur Reduktion der am ovalen Fenster auftreffenden Energie (Kontraktionslatenz ca. 30 ms).

Bei der Knochenleitung des Schalles wirken zwei Mechanismen zusammen; das unterschiedliche Ausmaß des Knochenkontakts der beiden Perilymphräume (groß für die Scala vestibuli, klein für die Scala tympani), welches zu unterschiedlichen Kräften an beiden Skalen führt (Kompressionstheorie) und der Abschluß dieser Flüssigkeitsräume mit unterschiedlichen Massen (groß an der Scala vestibuli - Gehörknöchelchenkette am ovalen Fenster, klein an der Scala tympani - Membran des runden Fensters; Massenträgheitstheorie).

Entsprechend der Ortsspezifität kodiert jede Nervenfasern des N. VIII über ein bestimmtes Frequenzspektrum. In höheren Zentren der Hörbahn finden sich dem zunehmenden Vernetzungsgrad entsprechend Neurone, welche Eingänge aus beiden Ohren erhalten und optimal auf bestimmte Frequenzmuster antworten.

Kollateralen der Hörbahn gelangen zu den Neuronen des Aufsteigenden Retikulären Aktivierenden Systems (ARAS) im Hirnstamm. Dort geht die Spezifität verloren, indem die Eindrücke aus verschiedenen Sinnessystemen konvergieren. Über unspezifische Thalamuskern wird von hier aus das Aktivitätsniveau der Hirnrinde beeinflusst.

4 Aurale Wirkungen

4.1 Schalleinwirkungen und Hörstörungen, Audiometrie

Man unterscheidet hinsichtlich der Dauer von Schalleinwirkungen zwischen akuten und chronischen Einwirkungen. Sehr kurze, aber heftige Schalleinwirkungen führen zu einem akuten Schalltrauma, lang andauernde, starke Schalleinwirkungen (über Jahre) führen zum chronischen Schalltrauma (Lärmschwerhörigkeit). Bei den Hörstörungen unterscheidet man zwischen temporären und permanenten.

Schädigungen des Innenohres durch Schalltraumen können zur Gänze oder teilweise reversibel sein; temporärer Hörschwelenschwund (TTS=Temporary Threshold Shift). Kommt es auch nach Tagen zu keiner Hörverbesserung mehr, so spricht man von dauerndem Hörschwelenschwund (PTS-Permanent Threshold Shift).

Art und Ausmaß einer Hörstörung werden durch Messung des Hörvermögens (Audiometrie) festgestellt. Die grundlegenden audiometrischen Methoden sind Tonaudiometrie und Sprachaudiometrie. Die Tonaudiometrie dient zur Feststellung der Hörschwelle für verschiedene Töne, womit sich das Ausmaß der Hörstörung feststellen läßt. Durch getrennte Bestimmung der Hörschwelle über Luftleitungshörer (Kopfhörer) und über Knochenleitungshörer (Schwingungsanregung des Mastoids) kann die Hörstörung lokalisiert werden (Schallempfindungsstörung bzw. Schalleitungsstörung).

Die Sprachaudiometrie nach Langenbeck vermittelt ein Bild über die Situation der Sprachverständlichkeit. Im Allgemeinen wird nämlich eine Hörstörung vom Betroffenen meist erst dann als solche erkannt, wenn durch sie die Kommunikation mit den Mitmenschen gestört ist, d.h. wenn die Umgangssprache nicht mehr einwandfrei verstanden wird. Es werden einerseits sehr leicht verständliche Wörter (Zahlen) mit unterschiedlicher Lautstärke vorgegeben, um eine grundsätzliche Aussage über die Hörsituation zu gewinnen; andererseits werden schwer verständliche einsilbige Wörter geboten, um die obere Grenze der Leistungsfähigkeit des Gehörs zu bestimmen.

4.2 Akutes Schalltrauma

Unter einem akuten Schalltrauma versteht man eine Schädigung des Hörorgans, die durch ein einmaliges, kurzes, aber heftiges Schallereignis (Explosion, Knall) auftritt. Kam es bei dem Ereignis allein zu einer Schädigung des Innenohres (Haarzellen), so wird dies als Knalltrauma bezeichnet, kam es zusätzlich oder allein zu Verletzungen im Bereich des Mittelohres (Trommelfellzerreiung, Luxation der Gehörknöchelchen), so handelt es sich um ein Explosionstrauma.

4.2.1 Knalltrauma

Eine sehr kurze Schalleinwirkung (< 2 ms) mit sehr hohem Schalldruck (bis über 200 dB) führt zu einer mechanischen Schädigung des Cortischen Organs. Trommelfell und Mittelohr (Gehörknöchelchen) bleiben unverletzt. Ursachen sind u.a. Schüsse, Knallkörper.

Der Betroffene verspürt sofort ein „verstopftes Gefühl“ im Ohr und häufig tritt sofort ein Ohrgeräusch auf, gelegentlich ein kurzer, stechender Schmerz.

Die Schädigung ist oft einseitig, praktisch immer asymmetrisch. Im Tonaudiogramm findet sich eine Schallempfindungsschwerhörigkeit, betroffen sind vor allem die hohen Frequenzen. In den ersten Tagen nach dem Unfall kommt es häufig zu einer Besserung, es ist auch eine völlige Erholung möglich.

4.2.2 Explosionstrauma

Beim Explosionstrauma tritt durch die Druckwelle eine Verletzung des Mittelohres ein; die Mittelohrverletzung besteht häufig in einer Trommelfellzerreiung, aber auch in einer Luxation oder gar Fraktur der Gehörknöchelchen. Um eine Verletzung des Mittelohres zu verursachen, sind hohe Schalldrücke längerer Dauer als beim Knalltrauma notwendig (> 2 ms). Durch die Zerstörungen im Mittelohr wird ein Großteil der zugeführten Energie verbraucht, dennoch kann beim Explosionstrauma zusätzlich auch eine Innenohrschädigung (im Sinne eines Knalltraumas) auftreten. Das Explosionstrauma betrifft zumeist beide Ohren, wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung.

Im Tonaudiogramm findet sich eine Schalleitungsschwerhörigkeit; wenn zusätzlich auch eine Innenohrschädigung vorliegt, findet sich eine kombinierte Schwerhörigkeit, bestehend aus Schalleitung- und Schallempfindungsschwerhörigkeit.

4.3 Akutes Lärmtrauma

Das akute Lärmtrauma des Innenohres entsteht durch eine Lärmexposition, die erheblich länger andauert als bei der Auslösung eines Knall- oder Explosionstraumas. Schallpegel > 85 dB, A-bewertet reichen aus, um auch ein gesundes Innenohr zu schädigen.

Der/die Betroffene berichtet nach einem entsprechenden auslösenden Trauma (Diskothek, Lärmarbeit etc.) über ein intensives, oft beidseitiges, aber meist reversibles Vertäubungsgefühl. Die im Tonaudiogramm vorliegende Schwellenabwanderung wird aufgrund ihrer Reversibilität als Temporärer Threshold Shift (TTS) bezeichnet. Ein hochfrequenter Tinnitus kann begleitend auftreten, aber auch alleiniges Symptom sein.

Zu den anderen akuten akustischen Traumen des Innenohres ist die akute Lärmschwerhörigkeit durch die längere Expositionsdauer und den niedrigeren auslösenden Schallpegel abgrenzbar. Durch die mögliche Reversibilität grenzt sie sich aber auch von der chronischen Lärmschwerhörigkeit ab.

4.4 Chronisches Schalltrauma (Lärmschwerhörigkeit)

Eine Einwirkung von Dauerlärm führt zuerst zu einer reversiblen Hörstörung (TTS). Die notwendige Erholungszeit ist abhängig vom Ausmaß der TTS. Trifft die nächste Lärmexposition auf ein nicht zur Gänze erholtes Gehörorgan, so kommt es mit der Zeit zu einer bleibenden Schädigung (PTS). Diese besteht in einem Untergang von Haarzellen im Cortischen Organ der Schnecke. Einzelne

Sinneszellen sterben ab und verschwinden völlig. Der Untergang der Haarzellen beginnt - weitgehend unabhängig von den physikalischen Charakteristika des schädigenden Schalles - in jenem Bereich der Basalwindung der Schnecke, welchem die Frequenz von 4000 Hz entspricht. Von hier breitet sich der Prozeß in beide Richtungen aus. Im Bereich der Schneckenspitze kommt es nie zu einer völligen Zerstörung des Cortischen Organes; eine völlige Taubheit entsteht also als Folge einer chronischen Schallexposition nie.

Die Lärmschwerhörigkeit ist demnach eine reine Innenohrschwerhörigkeit, deren Maximum im Hochtonbereich liegt; im Allgemeinen tritt sie symmetrisch auf.

Die Entwicklung einer Lärmschwerhörigkeit ist abhängig von

- der Dauer der Lärmexposition
- der Intensität und dem Frequenzspektrum des einwirkenden Lärms
- dem Vorhandensein und der Verteilung von Lärmpausen während der täglichen Exposition
- individuellen Faktoren.

Bei Schallpegeln unter L_A 80 dB sind in der Regel keine Hörstörungen zu erwarten, mit zunehmenden Schallpegeln steigt das Risiko einer Schädigung des Hörorganes und das Ausmaß der zu erwartenden Hörstörung. Bei besonders hohen Schallpegeln ist u.U. schon nach wenigen Jahren eine nicht unwesentliche Hörstörung festzustellen, bei geringeren Expositionen entwickelt sie sich erst im Laufe von Jahrzehnten.

Das Ohr ist für Frequenzen zwischen 1000 und 6000 Hz empfindlicher als für tiefere und höhere Frequenzen, wobei ein Empfindlichkeitsmaximum zwischen 2000 und 4000 Hz zu finden ist. Lärmexpositionen, bei welchen das Maximum der Schallintensität in diesen Bereichen liegt, sind als gefährlicher einzustufen als solche, deren Maximum bei tieferen oder höheren Frequenzen liegt.

Kommt es während der täglichen Exposition zu häufigen Unterbrechungen, so scheint sich die Stoffwechselsituation des Ohres wieder zu erholen, jedenfalls steigt dadurch die Toleranz des Hörorganes gegenüber Lärmeinwirkungen erheblich.

Für die Erholung des Hörorgans nach einer reversiblen Hörstörung besteht ein höherer Ruheanspruch. Bei Pegeln über 65 dB verläuft die Erholung verzögert. Niedrigere Richtwerte für Umweltbelastungen dienen daher unter anderem auch der Erholung von höheren Belastungen am Arbeitsplatz. Daher sollten gerade Beschäftigte an Lärm Arbeitsplätzen unnötigen Freizeitlärm tunlichst vermeiden.

Die individuelle Resistenz gegenüber der Entwicklung einer Hörstörung durch langandauernde Lärmeinwirkungen ist nicht einheitlich. So finden sich in einem Kollektiv gleichartig Lärm exponierter immer wieder einzelne, die wesentlich früher eine Hörstörung aufweisen, bzw. eine wesentlich stärkere Hörstörung entwickeln als die Mehrheit.

4.5 Tinnitus

Tinnitus wird als Wahrnehmung von Geräuschen oder Tönen im Ohr/Kopf ohne erkennbare äußere Schallquelle definiert und ist ein Leitsymptom des Sinnesorganes Ohr. Dabei ist hervorzuheben, dass Tinnitus ein Symptom und kein einheitliches Krankheitsbild darstellt. Die mögliche Beeinträchtigung durch Tinnitus reicht vom für Sekunden auftretenden Phänomen ohne Krankheitswert bis hin zur schweren Erkrankung, die die Lebensqualität der Patienten beeinträchtigen.

Die Ätiologie des Tinnitus umfasst otogene (z.B. Hörsturz, Lärmschwerhörigkeit, Knalltrauma, Schläfenbeinfraktur) und nicht-otogene Ursachen. Zu den letzteren zählen vaskuläre und muskuläre Veränderungen, Erkrankungen der Halswirbelsäule und des Kiefergelenks, internistische (z.B. Diabetes mellitus, Hyper-, Hypotonie) und neurologische sowie psychiatrische Erkrankungen.

Tinnitus kann in ein objektives oder subjektives Ohrensausen unterschieden werden. Der (sehr seltene) objektive Tinnitus ist ein begleitendes Symptom einer meist vaskulären oder muskulären Erkrankung und kann vom Untersucher z.B. mit Hilfe von Stethoskop oder Gehörgangsmikrofon gehört werden. Der subjektive Tinnitus hingegen ist definiert als Gehörerscheinung von Tönen oder Geräuschen, die nur der Patient wahrnimmt und weder von externen Beobachtern noch mit technischen Mitteln registriert werden kann.

Der subjektive Tinnitus ist häufig begleitendes Symptom von Erkrankungen des Hörsystems im Allgemeinen, wobei der Entstehungsort, im Hörorgan selbst (peripherer Tinnitus) oder in der Hörbahn (zentraler Tinnitus), nicht immer klar festgelegt werden kann.

Tinnitus tritt häufig auch beim akustischen Trauma (akut und chronisch) des Innenohres auf, wobei die Tonhöhe dem Bereich der maximalen Schädigung in der Cochlea entspricht und hier bereits niedrige überschwellige Lautstärken genügen, um ihn zu überdecken (sog. Verdeckung vom Konvergenztyp).

Es besteht außerdem eine sehr enge Beziehung mit der Persönlichkeitsstruktur des Patienten: Subjektiv lärmempfindlichere Personen messen einem Ohrgeräusch oft stärkere Bedeutung zu als lärmunempfindliche Personen.

5 Extraaurale Wirkungen

Neben den Wirkungen auf das Hörorgan kann Lärm eine Vielzahl weiterer Effekte entfalten. Zahlreiche Bereiche des menschlichen Lebens und diverse Organe/Organsysteme können betroffen sein.

Wichtig ist zu bedenken, dass das Hörsinnessystem eine natürliche Alarmanlage mit einer entwicklungs geschichtlich bedingten Warnfunktion darstellt; seine Signale werden über das Nervensystem dem ganzen Organismus zugeleitet. Diese Funktion ist sowohl im Wachen wie im Schlaf unab-schaltbar in Bereitschaft. Normalerweise besteht ein rhythmischer Wechsel zwischen ergotropen (sympatikotropen) Leistungsphasen und trophotropen (vagotonen) Erholungsphasen. Dieser Wechsel hält jenes dynamische Gleichgewicht aufrecht, welches für die ausgeglichene Funktion aller vom vegetativen Nervensystem gesteuerten Organe notwendig ist. Durch akustische Reize wird dieses Gleichgewicht in Richtung der ergotropen Phase verschoben und der Körper in einen Zustand erhöhter Aktivierung versetzt. Es ist allerdings zu beachten, dass dies auch für andere Stressoren gilt.

Schallreize werden über Abzweigungen der Hörbahn zum primären Aktivierungssystem der Formatio reticularis und zur Amygdala geleitet. Die Amygdala – die auch als Furchtzentrum fungiert - besitzt eine außergewöhnliche Plastizität (Lernfähigkeit), insbesondere hinsichtlich aversiver (mit negativer Bewertung verbundener), wiederholter bzw. konditionierender Schallreize (Spreng 2001). Diese Plastizität äußert sich beispielsweise in der Verkürzung von Reaktionszeiten, im Zusammenschalten mehrerer neuronaler Elemente und in der Veränderung neuronaler Elemente hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit bezüglich bestimmter Schallfrequenzen (Spreng 2001, 2004).

Zwischen der Amygdala und dem Hypothalamus besteht eine sehr enge, aktivierende Verbindung. Der Hypothalamus als das beherrschende vegetativ-nervöse bzw. hormonelle Regulationszentrum des Organismus ist hauptverantwortlich für schnelle Veränderungen etwa im Bereich des Herz-Kreislauf-Systems (Steigerung von Herzfrequenz, Gefäßwiderstand und Blutdruck) und für Verschiebungen des hormonellen Gleichgewichts (z.B. Stresshormon-Ausschüttung) (SRU 2008, Spreng 2001).

In vereinfachter Form könnte daher die Entstehung der Wirkungen von wiederholtem unerwünschten Schall (z.B. Verkehrsgeräusche) folgendermaßen dargestellt werden (Spreng 2001): Durch das Einlaufen der durch Schall bewirkten Erregungen wird die Amygdala sich unter Einfluss der gleichzeitig aktivierten Hirnrinde (Analyse des Schallereignisses: z.B. charakteristische Frequenzzusammensetzung) und durch den für komplexere kognitive Prozesse verantwortlichen Hippocampus (Analyse der Situation) plastisch verändern, wodurch der menschliche Organismus sensibler für derartige Geräusche wird. Es liegt dann ein sehr schnelles und grobes Verarbeitungssystem vor, welches auf komplexe Reize (z.B. Schall von Krafffahr- oder Flugzeugen) mit direktem Zugriff auf vegetative und hormonelle Funktionseinheiten reagiert. Da dieses gebahnte System praktisch ohne kognitive Beteiligung funktioniert, ist es auch während des Schlafs fast vollständig aktiv.

Grundsätzlich ist bei Lärmimmissionen zwischen Kurzzeit- und Langzeitexposition zu unterscheiden. Akute Schalleinwirkungen führen ab einer ersten Reizschwelle unmittelbar zu Veränderungen physiologischer Größen. Bei chronischen Einwirkungen besteht dagegen ein komplexer Zusammenhang zwischen der Schallimmission und den beobachteten Auswirkungen. Auswirkungen, welche durch langdauernde Schallexpositionen hervorgerufen werden, sind stark von Adaptations- und Habituationsprozessen, individuellen Bewältigungsstrategien, mental-emotionalen Prozessen etc. beeinflusst. Das heißt, dass das Ausmaß der Beeinträchtigungen nicht nur von den (durch Messung objektivierbaren) physikalischen Parametern der Schallimmission, sondern auch von situativen Faktoren (z.B. Veränderung der örtlichen Verhältnisse) und Persönlichkeitsmerkmalen der Betroffenen abhängt. Auch konnten Nachwirkungen von Geräuschbelastungen nachgewiesen werden, d.h. dass auch nach Aufhören der Schallimmissionen die negativen Folgen dieser Belastung keinesfalls beseitigt sein müssen.

Menschen beurteilen Schallereignisse als akustische Wahrnehmungen nicht nur nach messtechnisch erfassbaren Faktoren. Auch situative und persönliche Faktoren spielen dabei eine bedeutende Rolle.

Lärm ist – im weitesten Sinn – unerwünschter Schall, der Menschen belästigen, ihre Gesundheit stören, gefährden oder schädigen kann („akustischer Müll“).

Da das Hörorgan das zentrale Sinnesorgan zur örtlichen, zeitlichen und situativen akustischen Orientierung darstellt, ist eine Ausgewogenheit zwischen Ruhephasen und Phasen mit adäquaten akustischen Reizen notwendig. Daher gilt, dass ein lautes Geräusch individuell nicht zwangsläufig als störend empfunden bzw. ein leises Geräusch nicht immer als angenehm bzw. als nicht störend wahrgenommen wird.

Um dem Erfordernis einer ausgewogenen Beurteilung gerecht zu werden, ist es notwendig, Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung zu berücksichtigen.

5.1 Kommunikationsstörungen

Sprachliche Kommunikationsstörungen durch unerwünschte Schallimmissionen werden als beeinträchtigend und belästigend erlebt. Entscheidend für die Belästigungswirkung sind zwei Faktoren: die Schallintensität und das Frequenzspektrum des Geräusches. Zusätzlich ist auch die Art der Kommunikation zu berücksichtigen, wie anhand des nachfolgenden Beispiels beschrieben: Beim Hören von Informationen (z.B. Radionachrichten) kann ein einzelnes Schallereignis (Fahrzeugvorbeifahrt) einen entscheidend wichtigen Satz unverständlich machen. Da eine Wiederholung des Satzes ausgeschlossen ist, wird in diesem Fall der Lärm als besonders lästig empfunden. Bei direkten Gesprächen kann eine Störung durch Wiederholungen des Gesagten, erhöhten Stimmaufwand und gesteigerte Konzentration beim Zuhören teilweise kompensiert

werden. Diese erhöhten Anstrengungen können aber bei einem Teil der Betroffenen zu Stressreaktionen führen, die sich in einer vermehrten Ausschüttung von Katecholaminen (sympathiko-adrenerge Achse) und Stresshormonen wie Cortisol (Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse) abbilden (Babisch 2002, Carlsson et al. 2006).

Für einen normalen Stimmaufwand ergibt sich in der Entfernung von 1 m vom Sprecher ein Sprachschallpegel von etwa L_A 55-60 dB. Bis zu Störlärmpegeln von L_A 45-50 dB wird die Sprachkommunikation zumeist als ungestört erlebt. Bei einem Störgeräuschpegel von L_A 55 dB und einem Sprachpegel von L_A 60 dB am Ort des Hörenden kann noch eine Satzverständlichkeit von 99 % erwartet werden (Lazarus-Mainka et al. 1983, 1985). Bei einem Störpegel von mehr als L_A 75 dB ist eine eindeutige Sprachverständlichkeit nicht mehr möglich. (Bezüglich der Anforderungen für ausreichende Sprachverständlichkeit am Arbeitsplatz wird auf ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 2 verwiesen).

Gespräche, welche bei einem A-bewerteten Schalldruckpegel von mehr als 55 dB stattfinden, werden von der sprechenden Person im Allgemeinen als belästigend erlebt, die Stimme muss deutlich „angehoben“ werden. Daraus können Verhaltensänderungen wie Abbrechen des Gespräches, Verlagerung des Gespräches an einen anderen Ort, Schließen der Fenster, etc. resultieren. Behinderte sprachliche Kommunikation kann zu aggressiveren und emotionaleren Sprach- und Sprechstil führen und damit das menschliche Zusammenleben beeinträchtigen (Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen 1985) (Bild 3).

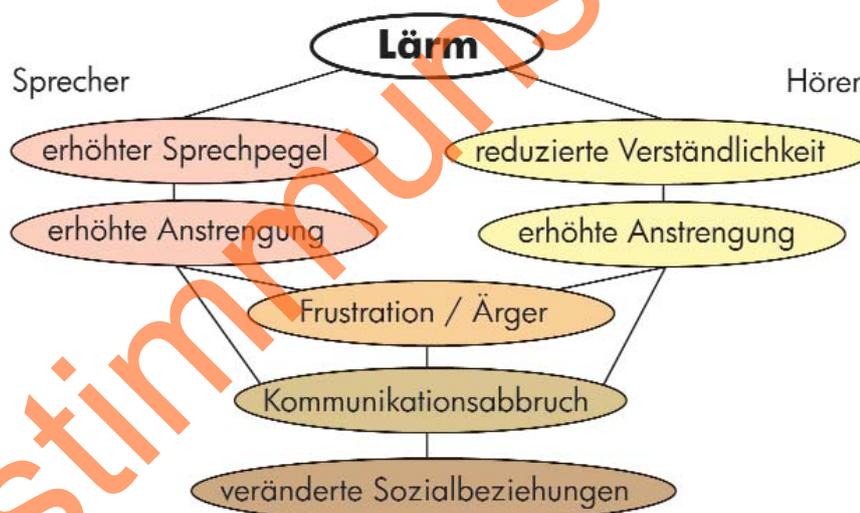


Bild 3: Modell zur Wirkung von Lärm auf die nachbarschaftliche Kommunikation (nach Höger u. Schreckenber 2003).

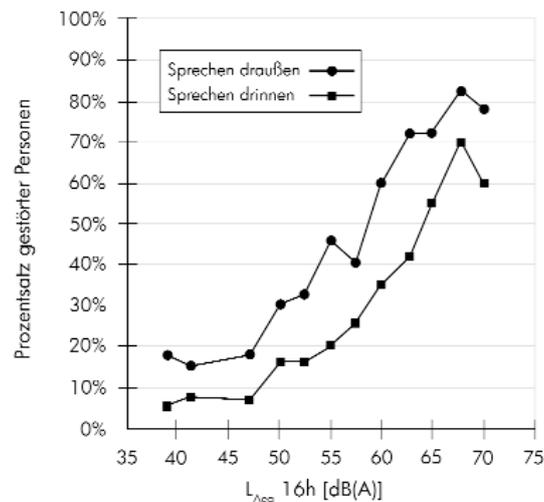


Bild 4: Prozentsätze von beim Sprechen gestörten Personen in Abhängigkeit vom Mittelungspegel außen (Fluglärm) am Tage (nach Gjestland et al. 1990).

Besonders zu berücksichtigende Personengruppen sind Kinder (insbesondere in einem Alter, in welchem die Sprachentwicklung noch nicht abgeschlossen ist) und Personen mit Hörstörungen.

Die Darstellung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen dem im Freien herrschenden äquivalenten Dauerschallpegel und dem Prozentsatz von Personen, welche sich in ihrer sprachlichen Kommunikation gestört fühlen, findet sich in Bild 4.

5.2 Schlafstörungen

Der Schlaf ist für den Menschen ein essentieller Zustand. Bereits kurzfristige Schlafstörungen beeinträchtigen das subjektive Befinden und mit einer individuellen Latenz die qualitative bzw. quantitative Leistungsfähigkeit. Dauerhafte Schlafstörungen, wie sie z.B. durch nächtlichen Lärm hervorgerufen werden, sind als Gesundheitsrisiko einzustufen (Griefahn 2002).

Der Schlaf ist kein Zustand genereller motorischer, sensorischer, vegetativer und psychischer Ruhe, sondern besitzt eine komplexe Dynamik. Dies zeigt sich in der schlafmedizinischen Diagnostik mittels der Polysomnographie (EEG, EMG, EOG, EKG) und der Darstellung als Schlafzyklogramm (Schlafprofil) (Bild 5).

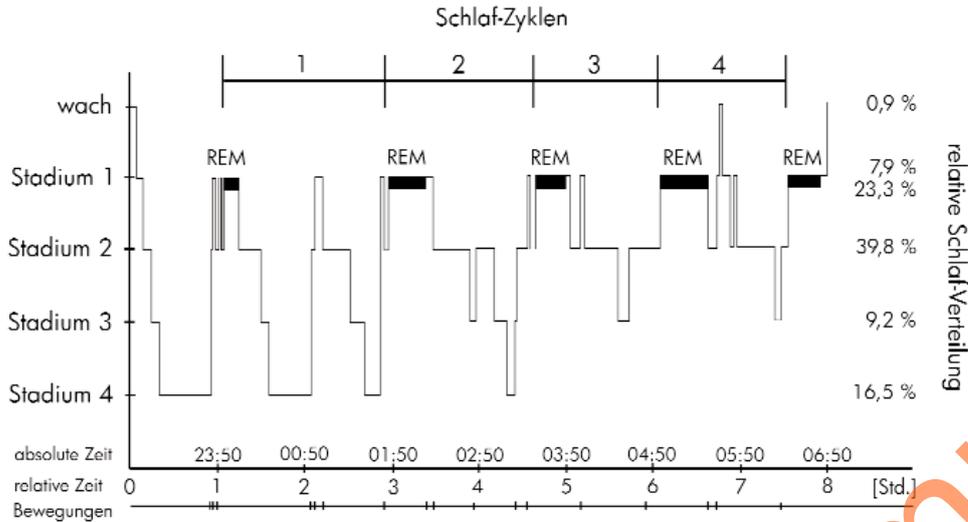


Bild 5: Typisches Schlafzyklogramm unter Ruhebedingung (nach Maschke 2001a). Die relative Schlafverteilung setzt sich wie folgt zusammen: Wach 0,9%; Stadium 1: 7,9%; REM-Schlaf 23,3%; Stadium 2: 39,9%; Stadium 3: 9,2%; Stadium 4: 16,5%.

Der Schlaf zeigt, zentralnervös gesteuert, einen rhythmischen Ablauf in Phasen; diese sind durch verschiedene Schlaftiefen und Weckschwelen gekennzeichnet, wobei der REM-Schlaf (Rapid-Eye-Movement), auch als Traumschlaf bezeichnet, eine Sonderstellung einnimmt. Der Schlaf beginnt mit dem Übergang vom Wachzustand in das Schlafstadium 1 (NONREM 1) (Tabelle 1). Nach wenigen Minuten wird das Schlafstadium 2 (NONREM 2) erreicht. Wird der Schläfer nicht gestört, erreicht er nach einer kurzen Verweildauer im Stadium 3 (NONREM 3) den Tiefschlaf (NONREM 4). Eine zweite Schlafphase bildet der REM-Schlaf (Traumschlaf). Im ungestörten Schlaf folgen auf das REM-Stadium eine Schlafvertiefung und eine schnelle Schlafverflachung. Diesen Schlafzyklus „durchwandert“ der Schlafende während einer 8-stündigen Nacht vier- bis fünfmal. Die Verweildauer in

Tabelle 1: Wahrnehmung, Empfindung und Motorik im Schlaf-Wach-Zyklus (nach Ising u. Maschke (2000)).

Indikator	Entspanntes Wachsein	NONREM I	NONREM II	NONREM III	NONREM IV	REM
Bewusstsein	uneingeschränkt	Aufnahme von Informationen noch möglich, hypnagoge Halluzinationen	erloschen	erloschen	erloschen	erloschen
Weckschwelle	normale Beantwortung äußerer Reize	Weckschwelle gegenüber der Umwelt erhöht	Weitere Erhöhung der Weckschwelle	Weiterer Anstieg der Weckschwelle	Weckschwelle ähnlich wie Stadium III	Weckschwelle noch höher als im Stadium IV
Augenbewegungen	schnelle und langsame	keine	keine	keine	keine	schnelle
Motorik	Muskeltonus mittelhoch bis hoch, Reflexe erhalten, Bewegungsartefakte	Muskeltonus mittelhoch bis hoch, Reflexe erhalten, geleg. Bewegungsartefakte, hypnagoge Muskelzuckungen	Muskeltonus mittelhoch, Reflexe erhalten, gelegentlich Bewegungsartefakte	Muskeltonus mittelhoch, Reflexe erhalten, keine Bewegungsartefakte	Muskeltonus niedrig bis mittelhoch, keine Bewegungsartefakte	Muskeltonus auf nahe Null abgefallen, gelegentlich Zuckungen, Reflexe erloschen
Elektroenzephalographie (EEG)	Alphawellen im Wechsel mit Betaaktivität	generelle Verminderung der Alphawellen, Auftreten von Thetawellen	Spindeln, K-Komplexe, Betawellen und Thetawellen	20-50 % Deltawellen, Thetawellen	Deltawellen mit hoher Amplitude, Anteil 50-100%	Betawellen mit einzelnen Alpha- und Thetawellen, Sägezahn-Wellen

den tiefen Schlafstadien nimmt mit der Schlafzeit ab, die Verweildauer im REM-Schlaf mit der Schlafzeit zu. Ein gesunder Erwachsener mittleren Alters verbringt 40 – 50 % der Gesamtschlafzeit im Stadium 2, 10 – 20 % in den Stadien 3 und 4, ca. 20 – 25 % im REM-Schlaf (Bild 5).

Lärmbedingte Schlafstörungen haben sowohl qualitative wie quantitative Beeinträchtigungen des Schlafes zur Folge, führen aber auch zu Einbußen der Leistungsfähigkeit und des Wohlbefindens am Tage.

Es lassen sich folgende relevante Auswirkungen auf den Schlaf unterscheiden:

- ~ - Primärstörungen (Änderungen des Schlafablaufes)
- ~ - Sekundärstörungen (Auswirkungen der Schlafstörungen auf Vigilanz, Stimmung und Leistungsfähigkeit am folgenden Tag)
- ~ - Tertiärwirkungen (gesundheitliche Beeinträchtigungen, die sich nach Aufhören der Exposition nicht mehr - oder nur langsam - zurückbilden)

Auswirkungen von lärmbedingten Schlafstörungen lassen sich sowohl auf objektiver wie auf subjektiver Ebene beschreiben:

Auf objektiver Ebene zählen dazu:

- verlängerte Einschlafdauer
- kürzere Gesamtschlafdauer
- häufigere Leichtschlafstadien
- häufigeres Aufwachen (Arousals) und daraus resultierende
- verminderte Leistungsfähigkeit.

Auf subjektiver Ebene zählen dazu:

- erschwertes Einschlafen
- verminderte geschätzte Schlafdauer
- erhöhte geschätzte Aufwachhäufigkeit
- erhöhtes Müdigkeitsempfinden und daraus resultierende
- schlechtere Stimmungslage

Diese beobachteten Auswirkungen hinsichtlich der physischen und psychischen Leistungsfähigkeit sind zunächst voll kompensierbar (Griefahn 1985, Marks 2007). Bei Fortbestehen der nächtlichen Schallimmission kommt es jedoch zur Kumulation einzelner geringgradiger Schlafdefizite. Bei Überschreiten eines nicht näher bestimmbar, individuell unterschiedlichen Zeitraumes können diese nicht länger kompensiert werden. Schlafstörungen, die länger als drei Wochen andauern, werden nach verschiedenen Autoren als chronisch klassifiziert. Die Folge ist zunächst eine Verminderung der psychischen und psychomotorischen, später auch der physischen Leistungsfähigkeit. Bei längerem Fortbestehen der Schlafstörung kann es neben dieser Leistungsminderung auch zu funktionellen Störungen wie z.B. auf hormoneller Ebene kommen (Spreng 2004). Im weiteren Verlauf entstehen morphologisch definierte Erkrankungen (v.a. Herz-Kreislaufkrankungen), die unter Umständen irreversibel und progressiv sein können.

Diese Auswirkungen von lärmbedingten Schlafstörungen sind bei Personengruppen, welche auch auf Tagschlaf angewiesen sind (z.B. Nacht- und Schichtarbeiter), in besonderer Weise zu berücksichtigen. Bei diesen Personengruppen ist erfahrungsgemäß schon die Nachtschlafdauer deutlich verkürzt, noch mehr aber die Dauer des Tagschlafes (auf Grund der im Allgemeinen höheren Schallpegel am Tage). Eine Kumulation von Schlafdefiziten kann deshalb rascher erfolgen als bei Personen mit ungestörtem Schlaf-Wach-Verhalten.

Die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der Höhe der Schallimmission und den beobachteten Auswirkungen wird auf Basis der Night Noise Guidelines for Europe - NNGL (WHO 2009) und den darin untersuchten Studien dargestellt. Bei den erhobenen Schalldruckpegeln und deren Lärmwirkungen wird in außerhalb ($L_{\text{night, außen}}$) und innerhalb ($L_{A,\text{max, innen}}$) der Wohnung unterschieden.

Der mittlere Schalldruckpegel im Zeitraum Nacht ($L_{\text{Nacht, außen}}$) wird in folgende Bereiche unterteilt:

- bis 30 dB, A-bewertet sind keine wesentlichen biologischen Effekte sichtbar (No Observed Effect Level [NOEL]);
- 30 bis 42 dB, A-bewertet: Effekte wie vermehrte Körperbewegungen, bewusste Schlafstörungen und EEG-Arousals werden beobachtet. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass empfindliche Gruppen davon betroffen sind. Das Auftreten dieser Effekte hängt jedoch stark von der Lärmcharakteristik und der Häufigkeit der Schallereignisse ab;
- 42 bis 55 dB, A-bewertet: Starker Anstieg von adversen Gesundheitseffekten ebenso wie signifikanter Anstieg von Aufwachreaktionen. Eine große Anzahl der exponierten Bevölkerung ist betroffen und muss ihr Leben anders einrichten, um mit dem Lärm zurechtzukommen (Coping). Empfindliche Gruppen sind in diesem Bereich erheblich betroffen;
- über 55 dB, A-bewertet: Die Situation ist zunehmend als gefährlich für die Gesundheit der Bevölkerung einzustufen. Es besteht Evidenz, dass das Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten ansteigt (Bild 6).

Hinsichtlich lärmbedingter Schlafstörungen kommt einzelnen Schallpegelspitzen eine besondere Bedeutung zu. Dabei sind sowohl die Höhe des Schallpegels wie auch die Häufigkeit des Auftretens von Bedeutung. Für den Innenraum wird der maximale Schalldruckpegel im Untersuchungszeitraum ($L_{A,\text{max, innen}}$) als relevanter Parameter herangezogen und hinsichtlich seiner Lärmwirkungen kategorisiert:

- bis 35 dB: Effekte wie vermehrte Körperbewegungen, EEG-Arousals und einzelne strukturelle Veränderungen der Schlafstadien können beobachtet werden;
- 35 bis 42 dB: Verlängerte Einschlafphasen, vermehrte bewusste Weckreaktionen und eine Verkürzung der Gesamtschlafdauer treten auf.

Aus lufthygienischer Sicht und Gründen des thermischen Komforts im Sommer ist anzustreben, dass dieser Wert auch bei Fensterlüftung (zumindest Spaltlüftung) nicht überschritten wird.

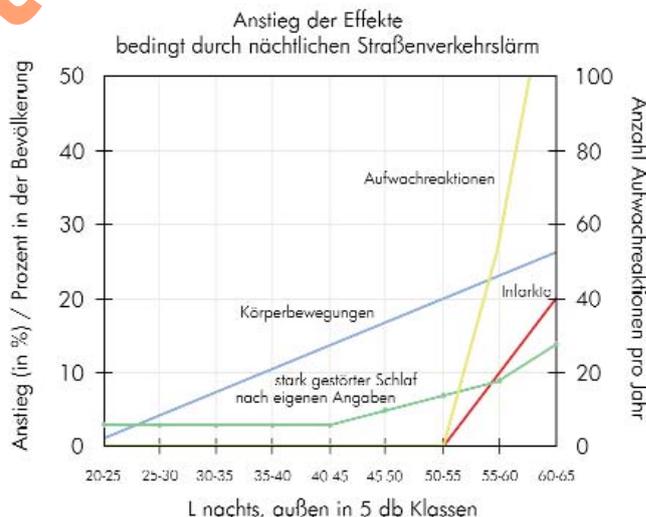


Bild 6: Effekte durch nächtlichen Straßenverkehrslärm (NNGL 2009).

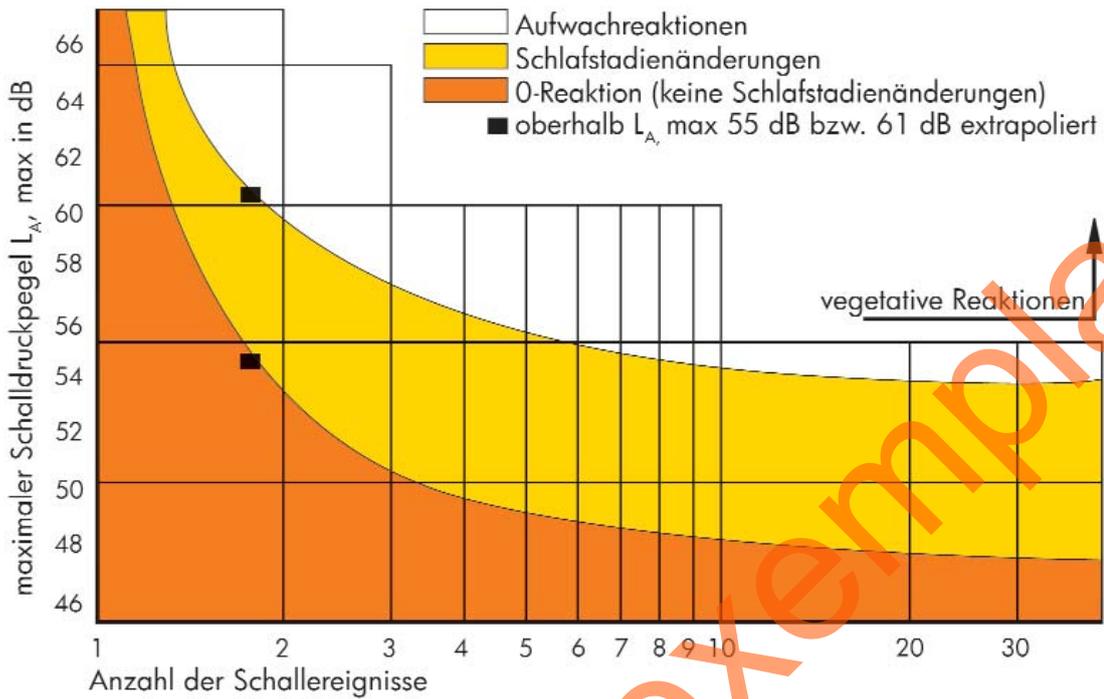


Bild 7a: Begrenzung nächtlicher Schallimmissionen - Anzahl der Schallereignisse und Maximalpegel. Darstellung modifiziert nach Griefahn (1990).

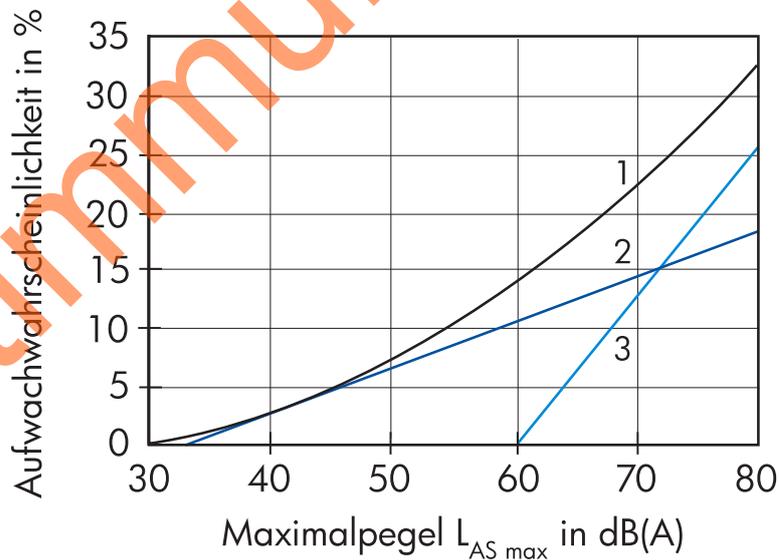


Bild 7b: Lärminduzierte Aufwachwahrscheinlichkeit im Labor in Abhängigkeit von Maximalpegel eines Überflugeräusches nach der logistischen Regressionsanalyse von Basner et al. (2001)[1], nach Metaanalysen von Maschke et al. (2001b)[2] und Griefahn (1990)[3] (nach Guski 2004).

In der täglichen Beurteilungspraxis ist oft auch die Frage zu beantworten, wie häufig einzelne Schallereignisse je nach deren Schallintensität pro Nacht auftreten dürfen. Im Prinzip kann ein einzelnes Schallereignis bereits eine adverse Wirkung wie z.B. Aufwachreaktion bzw. Schlafstadienänderung bewirken. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Effektes nimmt zwar mit dem Pegel zu, im Einzelfall kann ein solcher Effekt aber auch bei relativ niedrigen Pegeln nicht sicher ausgeschlossen werden. Wenn die Wahrscheinlichkeit jedoch gering ist und ein derartiger Effekt somit nur in wenigen Nächten zu befürchten ist, wird dies aus medizinischer Sicht tolerierbar sein. Wie viele Aufwachreaktionen bzw. Schlafstadienänderungen jedoch noch zumutbar sind, lässt sich nicht allein aus wissenschaftlichen Studiendaten ableiten. Die Pionierarbeit von Griefahn (1983), die erstmals Richtlinien für die zulässige Anzahl der Schallereignisse unter Laborbedingungen aufstellte (Bild 7a), ist zu würdigen. Sie leitete ihre Empfehlungen aus Studien zur Störung des Schlafes ab. Im Vergleich zu neueren Studien dürften ihre Arbeiten jedoch die Effekte bei niedrigen Spitzenpegeln unterschätzen, da sie vereinfachend eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung annahm. Dies wird durch Bild 7b belegt, die die Ergebnisse von Griefahn mit neueren Daten vergleicht. Diese Unterschätzung der Wirkung von Schallereignissen mit niedrigeren Pegeln soll vom Gutachter im jeweiligen Fall bei Anwendung der Vorschläge von Griefahn berücksichtigt werden.

Die bisher angegebenen Dosis-Wirkungs-Beziehungen basieren vorwiegend auf Untersuchungen über den Einfluss von Verkehrsgeräuschen. Im Hinblick auf mental-emotionale Verarbeitungsmechanismen (z.B. verzögertes Wiedereinschlafen durch affektive Phänomene) kann es bei Geräuschen mit besonderem (emotionalen) Bedeutungsgehalt in Einzelfällen notwendig sein, niedrigere als die eben genannten Richtwerte in Erwägung zu ziehen.

5.3 Kardiovaskuläre Effekte und Störungen der Physiologie

Lärm kann – wie bereits erwähnt – als unspezifischer Stressor angesehen werden, der vielfältige (Anpassungs-)Reaktionen des Organismus bewirkt. Negative Auswirkungen auf das Herz-Kreislaufsystem durch jahrelange Lärmbelastung werden in der Regel mit Hilfe des allgemeinen Stressmodells (nach Selye) erklärt. Allerdings werden die klassischen Stressmodelle von manchen Experten als schlecht geeignet (da zu wenig komplex) angesehen, um Lärmwirkungen in hinreichender Weise zu beschreiben (Lercher 1996).

In Bezug auf die lärmbedingte Stresshormonausschüttung sind verschiedene Regulationsachsen von Bedeutung, wobei letztlich aus dem Nebennierenmark die Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin sowie aus der Nebennierenrinde (über die Hypothalamus-Hypophysenachse) Cortisol freigesetzt werden.

Laut dem Stressmodell von Henry (1992), welches eine Weiterentwicklung älterer Modelle darstellt, wird bei erfolgreicher Kontrolle über eine Stresssituation primär Noradrenalin freigesetzt, unter fortgesetztem Ringen um Kontrolle hingegen vor allem Adrenalin. Bei Verlust der Kontrolle und Auftreten einer Niederlagereaktion steht die Freisetzung von Cortisol im Vordergrund.

5.3.1 Akute physiologische Reaktionen

Als direkte Folge des vermehrten Freiwerdens der Katecholamine zeigt sich eine Erhöhung der Herzfrequenz und der Auswurfleistung des Herzens, eine Erhöhung des systolischen und diastolischen Blutdrucks, eine Steigerung der Atemfrequenz, eine Herabsetzung der Hauttemperatur und eine Verminderung der Fingerpulsamplitude. Weiters lassen sich Einflüsse auf die Pupillengröße, den elektrischen Hautwiderstand, die Muskelspannung, die gastrointestinale Motilität und die Gehirnaktivität nachweisen. Im Schlaf treten derartige vegetative Wirkungen bereits bei niedrigeren Schallpegeln auf als im Wachzustand (Babisch u. Ising 1985).

Im Labor - bei isolierter Lärmbelastung - können bei Schallpegeln oberhalb von $L_{A,max}$ 60 dB unmittelbare physiologische Reaktionen beobachtet werden („primäre Wirkung“) (Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim UBA 1990). In Alltagssituationen tritt die emotionale Bewertung der Geräusche (Verärgerung, Erschrecken, Wut, etc.) hinzu, wodurch bereits bei niedrigeren Schallpegeln vegetative Reaktionen („sekundäre Wirkung“) beobachtet werden können.

Darüber hinaus kommt es in Alltagssituationen zu Kombinationswirkungen von Schallimmissionen mit anderen Umweltreizen wie Erschütterungen und psychomentalen Stressoren. Die Forderung hoher Konzentrationsleistungen unter Lärmeinwirkung hat in der Regel Blutdruckanstiege zur Folge (Mosskov u. Ettema 1977).

In der Lärmwirkungsforschung wurde früher häufig die Fingerpulsamplitude als Indikator peripherer Regulationsprozesse betrachtet. Ab Schallpegeln von $L_{A,max}$ 60 dB ist mit einer zunehmenden Verkleinerung der Fingerpulsamplitude zu rechnen. Bei hohen Werten zeigt sich ein Minimum an Reaktionszunahme; bei einer weiteren Steigerung der Reizintensität kommt es dann zu einer weiteren deutlichen Verringerung der Amplitude, was als vegetative Übersteuerung und Gesundheitsgefährdung interpretiert wurde (Jansen 1967, Jansen et al. 1981, Griefahn et al. 1982).

Die sich daraus ergebenden Richtwerte zum Schutz vor vegetativer Übersteuerung (z.B. 19 x 99 dB) werden heute als überholt bzw. auch als zu hoch angesehen. Maschke et al. (2001b) argumentieren, dass u.a. die mathematisch-physikalische Datenaufbereitung fehlerhaft war und die Werte eigentlich ca. 10 dB niedriger liegen müssten.

Die Herz-Kreislaufwirkung von Schallbelastungen kann bei akuter Exposition unter dem Begriff der hypertonen Regulationsstörung beschrieben werden (v.Eiff et al. 1981a). In der Belastungssituation kann es zu starken Erhöhungen und Schwankungen des Blutdrucks sowie zu einer ausgeprägten peripheren Vasokonstriktion kommen.

Lärm kann bezüglich des Blutdruckanstieges bei Männern eine stärkere Reaktion als bei Frauen auslösen.

Personen mit arterieller Hypertonie zeigen zufolge kurzer Schallbelastung eine erhöhte Blutdruckreagibilität. Diese Reaktionslage ist als Prädiktor für künftige Blutdrucksteigerungen anzusehen (Davidoff et al. 1982, Jackson et al. 1983). Die Hyperreaktivität ist vor allem bei gleichzeitiger Einwirkung mehrerer Stressoren nachzuweisen. Das bedeutet, dass bei hyperreaktiven Personen als Reaktion auf Umweltreize mit einer erhöhten Gesundheitsgefährdung im kardiovaskulären Bereich gerechnet werden muss.

Neben diesen Prädispositionen kann auch das persönliche Erleben einer Schallimmission eine Rolle spielen. Lärmexponierte Personen reagieren bei geringer Lärmtoleranz und einer negativen Einstellung zu Lärm verstärkt (Neus et al. 1983).

5.3.2 Langzeiteffekte und pathologische Wirkungen

Die Ergebnisse epidemiologischer Studien lassen den Schluss zu, dass chronisch lärmbelastete Personen ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislaufkrankungen haben. So ergab eine Metaanalyse von Babisch (2006), dass bei straßenverkehrsbedingten Lärmpegeln von über 60 dB (tags) das Herzinfarktrisiko kontinuierlich ansteigt. Längere Wohndauer geht mit einem erhöhten Risiko einher.

Die Entstehung einer lärmbedingten Hypertonie kann als Folge gestörter Erholungsprozesse angesehen werden (Kaltenbach et al. 2008). Speziell beim Zusammenwirken von mehreren Einflussfaktoren (z.B. genetischer Disposition) und einer entsprechenden Lärmexposition kann es zur Entwicklung einer manifesten Erkrankung (Hypertonie) kommen.

Der Übergang einer reversiblen in eine irreversible Gesundheitsstörung ist derzeit noch nicht vollständig geklärt; die Latenzzeit bis zur Manifestierung der Hypertonie ist noch nicht bekannt. Bei Normotonikern, die bereits mehrere Jahre lärmexponiert waren (starker Straßenverkehrslärm) fanden v.Eiff et al. (1985) innerhalb eines Beobachtungszeitraumes von eineinhalb Jahren Blutdruckanstiege, wobei diese bei weiterer Exposition noch deutlicher wurden. Dieselben Autoren haben eine Latenz von 7-10 Jahren für die Entwicklung pathologischer Werte angegeben. Eine andere Literaturstelle nennt einen Bereich von 5-15 Jahren (Kaltenbach et al. 2008). Zudem scheint sich die Hypertonie in Abhängigkeit von der Expositionsdauer nicht kontinuierlich, sondern eher sprunghaft zu entwickeln, wofür auch die Daten von Cohen et al. (1980) bei Kindern sprechen.

Die Ergebnisse epidemiologischer Studien lassen jedenfalls die Tendenz erkennen, dass starker Straßenverkehrs- und Fluglärm einen Einfluss auf die Entwicklung eines erhöhten Blutdrucks haben. Als Beispiel sei die HYENA (Hypertension and Exposure to Noise Near Airports)-Studie mit über 4.800 TeilnehmerInnen genannt, die in der Nähe von sechs großen europäischen Flughäfen durchgeführt wurde. Dabei wurden auf individueller Ebene Blutdruckmessungen durchgeführt und auch ärztliche Diagnosen sowie der Gebrauch von Antihypertensiva mitefassen. Laut der Untersuchung erhöht ein Anstieg des nächtlichen Fluglärmpegels um 10 dB im Schallpegelbereich von 30 bis 60 dB das Risiko für Bluthochdruck bei Männern und Frauen um 14 Prozent (Jarup et al. 2008).

Entsprechende Zusammenhänge zwischen Verkehrslärm und Hypertonie wurden allerdings nicht in allen Studien gefunden. Die widersprüchlichen Ergebnisse bezüglich des Zusammenhanges zwischen Lärmexposition und Risikoerhöhung weisen darauf hin, dass die komplexe Schallsituation nicht immer durch einfache Messgrößen angemessen charakterisiert werden kann und berechtigen nicht zu der Annahme, dass kein Zusammenhang besteht (Bättig 1985). Genauere Bestimmung der Exposition (Lärmpegel im Schlafzimmer, Schlafen bei offenen Fenstern) kann zu eindeutigeren Ergebnissen (deutliche Risikoerhöhung) führen (Babisch 2006). Lärm als zusätzlicher Stressor in einem Bündel von Anforderungen an den Menschen kann eine arterielle Hypertonie auslösen bzw. ihr Auftreten um einige Jahre nach vor verschieben.

Felduntersuchungen bestätigen, dass eine Gewöhnung (Habituation) an Lärm, wenn überhaupt, nur auf psychischer Ebene durch unterschiedliche Bewältigungsstrategien stattfindet; bei manchen Personen kann aber sogar eine Erhöhung der psychischen Empfindlichkeit (Sensibilisierung) gegenüber immer wiederkehrenden Lärmreizen beobachtet werden. Bezüglich der physischen Reaktionen auf immer wiederkehrende Schallreize fanden Buzzi und Bättig (1984), dass diese auch noch nach Jahren in fast unverminderter Stärke ausgelöst werden.

5.3.3 Stoffwechselferänderungen

Da schon kurzzeitige Beschallung mit einer unspezifischen Stressreaktion im Sinne von Cannon und Selye beantwortet wird, lassen sich Funktionsänderungen u.a. betreffend Hormonhaushalt, Lipid- und Mineralstoffwechsel sowie Immun- und Gerinnungssystem feststellen.

Derartige Stressreaktionen basieren auf der Aktivierung eines Koordinator-Reglersystems (siehe Einleitung dieses Abschnittes), im Rahmen dessen es zur Ausschüttung von Katecholaminen, Adrenocorticotropem Hormon (ACTH) und Cortisol kommt. Cortisol führt zu einer Erhöhung der freien Fettsäuren, erhöht den Blutdruck, den Cholesterin- und Blutzuckerspiegel und beeinflusst weiters die Hämodynamik und das Immunsystem negativ. Diese negativen Effekte treten trotz der Tatsache auf, dass Cortisol im Prinzip v.a. auf den Ebenen der Hypophyse und des Hypothalamus eine negativ rückkoppelnde Wirkung ausübt und damit die Empfindlichkeit für neue Reize senkt.

Auch Katecholamine sind in der Lage, eine hormonspezifische Lipase zu aktivieren. Sie zeigen zudem eine starke Beeinflussung des Zuckerhaushaltes. Es kommt zu einer Herabsetzung der freien Insulinkonzentration im Plasma. Weiters wird die Glykogenolyse gesteigert.

Diese durch Lärm und andere Stressoren ausgelösten Stoffwechselprozesse dienen aus entwicklungs-geschichtlicher Sicht im Wesentlichen der Energiebereitstellung für physische Aktivitäten zur Stressbewältigung (Angriffs- und Abwehrverhalten). Da diese Reaktionen heute im Allgemeinen keine adäquate Umsetzung finden, können die ausgelösten Prozesse vermehrt zu pathophysiologischen Regulationsstörungen führen.

Einige Forschungsergebnisse sollen die erwähnten Effekte verdeutlichen: Kurzzeitige starke Lärmreize von 105 dB (3 Sekunden) führten zu Konzentrationsanstiegen von ACTH bis zu pathologischen Werten und lösten deutliche Veränderungen im Lipidstoffwechsel aus (Marth et al. 1988). Andere Autoren konnten den Einfluss von Lärm auf den Cholesterinspiegel nachweisen; v. Eiff et al. (1981b) fanden in epidemiologischen Untersuchungen in lärmbelasteten Gebieten (Straßenverkehrslärm $L_{A,eq}$ 65 dB, außen) in Vergleich zu ruhigen Wohngebieten erhöhte Cholesterin- und Triglyzeridwerte bei Frauen. Diese Tendenz war besonders deutlich bei Frauen, die orale Kontrazeptiva nahmen (Kombinationswirkung).

In vielen, aber nicht allen Verkehrslärmstudien wurde eine Erhöhung der Cortisolausschüttung beobachtet. In einer Studie von Maschke et al. (2002) wurden die ProbandInnen in der Nacht über mehrere Wochen mit Fluglärm beschallt (32 Ereignisse - simulierte Starts bzw. Landungen - pro Nacht). Die Maximalpegel betragen 65 dB, A-bewertet, der $L_{A,eq}$ lag bei 42 dB, A-bewertet. Bei der Mehrzahl der Testpersonen führte die nächtliche Lärmbelastung zu einer Beeinträchtigung der Stresshormonregulation (Untersuchung des Morgenurins). Eine Erhöhung des morgendlichen Cortisolgehalts im Speichel durch Fluglärm (allerdings nur bei Frauen) fanden Selander et al. (2009).

5.3.4 Prä- und postnatale Störungen

Die Möglichkeit der Beeinträchtigung des Schwangerschaftsverlaufes unter Lärmeinwirkung erscheint etwa dann gegeben, wenn eine Funktionsstörung der Plazenta (Minderdurchblutung) durch die Schalleinwirkung verursacht wird. In älteren Studien wurden epidemiologische Zusammenhänge zwischen hoher, langandauernder Lärmexposition (starker Fluglärm) und einem verringerten Geburtsgewicht (Ando et al. 1973, Knipschild et al. 1981) gefunden, sowie eine leichte Erhöhung der Frühgeburtenrate (Rehm und Jansen 1978). Neuere, besser kontrollierte Untersuchungen fanden hingegen meist keine Zusammenhänge. Eine Übersicht dazu findet sich etwa bei Stansfeld et al. (2000).

Allerdings dürften Kinder mit niedrigerem Geburtsgewicht eine Risikogruppe darstellen, was die Auswirkungen von Lärm auf die psychische Gesundheit betrifft (Lercher et al. 2002).

5.4 Mentale Störungen

Umweltlärm kann sich auf vielfältige Weise negativ auf Psyche und kognitive Fähigkeiten auswirken. Er kann eine Vielzahl von Symptomen wie Angst und Nervosität, Kopfschmerzen und Übelkeit, Stimmungsschwankungen und Erhöhung von sozialen Konflikten verursachen; bereits bestehende psychiatrische Erkrankungen wie z.B. neurotische Störungen, Psychosen oder Depressionen können dadurch stärker getriggert werden (Stansfeld et al. 1992, 1996). Eine Vielzahl von Studien konnte zeigen, dass der Gebrauch von Psychopharmaka und Schlaftabletten wegen erhöhtem Auftreten von psychiatrischen Symptomen und assoziierte Krankenhausaufenthalte in Gebieten mit hoher Lärmbelastung stark ansteigen. Dies ist ein deutlicher Hinweis, dass mentale Gesundheitsstörungen in hoher Korrelation zum Umweltlärm stehen (Berglund u. Lindvall 1995, IEH 1997).

5.4.1 Auswirkungen auf Konzentration, Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit

Lärm wirkt bezüglich motorischer und geistiger Tätigkeiten vorwiegend in Verbindung mit den Faktoren Schwierigkeit der Aufgabe, Zeitdruck, Leistungsbewertung und Tätigkeitsdauer belastend. Für Leistungsveränderungen unter Lärmeinwirkungen sind vor allem folgende Merkmale kennzeichnend (Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen 1983):

- Verminderung der Aufmerksamkeit
- Erhöhung der Reaktionszeit und dadurch bedingte Verlangsamung geistiger Prozesse
- Veränderung des eigenen Leistungsanspruches und Verlust der Motivation
- Erhöhung der Risikobereitschaft

In der Regel werden Arbeitsleistungen, die länger dauernde Aufmerksamkeit und geistige Konzentration erfordern, sowie psychomotorische Leistungen, eventuell auch in Verbindung mit hoher Verantwortung bereits ab Schallpegelwerten von $L_{A,eq}$ 50 dB gestört. Nach dem Stand neuerer Erkenntnisse wird bezüglich sehr anspruchsvoller Tätigkeiten ein $L_{A,eq}$ von 45 dB angeführt (Guski 2002). Der Grad der Beeinträchtigung geistiger und psychomotorischer Leistungsfähigkeit hängt allerdings auch stark von Geräuschcharakter, Informationshaltigkeit und der zeitlichen Verteilung der Geräusche ab.

Für etwas weniger anspruchsvolle mentale Tätigkeiten nimmt die Leistung ab etwa $L_{A,max}$ 65 dB ab und erfordert einen erhöhten Kompensationsaufwand vom Betroffenen. Für leichte und hauptsächlich mechanische Tätigkeiten lassen sich Schallpegel bis zu $L_{A,max}$ 70 dB tolerieren. Ab einem Schallpegel von $L_{A,max}$ 85-90 dB sind lärmbedingte Leistungsminderungen kaum mehr kompensierbar (in Anlehnung an Jansen 1986).

Bezüglich der Auswirkung von Schallimmissionen in der Arbeitswelt siehe u.a. ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 2.

Kompensationsleistungen zur Bewältigung von Lärmstörungen gelingen im Allgemeinen nur kurze Zeit; sie setzen eine hohe Motivation und spezielle Einstellungen voraus (Nemecek 1981). Nachwirkungen über den eigentlichen Belastungszeitraum hinaus sind belegt (Cohen et al. 1980). Sie äußern sich in einer herabgesetzten Belastbarkeit über längere Zeit und betreffen unter Umständen auch noch Tätigkeiten, die nicht mehr durch Lärmeinwirkungen gestört sind (Glass u. Singer 1972).

Beeinträchtigungen der Arbeitseffektivität können auch vom Lebensalter abhängen; insbesondere muss für Kinder nach längeren Expositionszeiten mit Leistungsminderungen, Verhaltensänderungen beim Lösen von Aufgaben und mit einer Leseschwäche gerechnet werden (Stansfeld et al. 2005, Hygge et al. 2002).

Das Ausmaß von Leistungsveränderung unter Lärmeinwirkung hängt nicht nur von den physikalischen Parametern der Schallimmission ab, sondern auch von personenbezogenen Variablen, Erregbarkeit und Sensibilität, Störbarkeit, Ablenkbarkeit und Labilität, Einstellung zum Lärm und schließlich auch von der individuellen Leistungsfähigkeit.

Zur Frage einer eventuell leistungssteigernden Auswirkung von Schalleinwirkungen (z.B. Musik) bei vorrangig mentalen Aufgaben liegen in der Literatur äußerst widersprüchliche Aussagen vor, doch kann davon ausgegangen werden, dass bei negativer Einstellung der Betroffenen gegenüber einer solchen Situation nicht mit Leistungssteigerungen gerechnet werden kann.

5.5 Soziale Effekte und Belästigung

5.5.1 Belästigung und Befindlichkeit

Belästigung ist die am meisten von den betroffenen Menschen berichtete Wirkung des Lärms. Laut Umfrage fühlen sich 38,9 % der österreichischen Bevölkerung in ihrer Wohnung durch Lärm belästigt (Mikrozensus 2007).

Belästigung wird u.a. als ein Gefühl des Unbehagens, das mit irgendeinem Stoff oder Umstand in Verbindung steht, von dem ein Individuum oder eine Gruppe nachteilige Beeinflussung erwartet, definiert (Lindvall u. Radford 1973). Im Englischen spricht man von „annoyance“, das auch mit Lästigkeit, Störung, Plage, Verdruss, Ärger übersetzbar ist.

Zum Ausdruck kommt die Belästigung z.B. durch Angst, Ärger, Bedrohungsgefühl, Erregbarkeit, Ungewissheit, eingeschränktes Freiheitserleben, Wehrlosigkeit, resultierend in körperlichem Unwohlsein.

Belästigungswirkungen durch Lärm treten vorzugsweise dann auf, wenn die jeweilige Schallimmission mit den augenblicklichen Intentionen des Betroffenen als nicht übereinstimmend erlebt wird (nach Hawel 1967).

Für den Grad der Belästigung spielen neben den akustischen Eigenschaften des Geräusches die jeweilige Situation und die dabei ausgeführte Tätigkeit sowie die spezifische Erlebensweise der Betroffenen eine Rolle.

Besondere Belästigungswirkungen durch akustische Faktoren können messtechnisch durch Parameter wie Spitzenschallpegel, zeitliche Verteilung oder Frequenzanalyse erfasst und durch eine entsprechende medizinische Beschreibung (Tonhaltigkeit, Impulshaltigkeit, Informationsgehalt) in der ärztlichen Beurteilung berücksichtigt werden.

Als weitere individuelle Faktoren, welche das Erleben einer Lärmstörung mitbestimmen, sind u. a. noch folgende Einflussparameter zu berücksichtigen:

- Zeitpunkt des Auftretens (Tag/Nacht)
- regelmäßiges oder unregelmäßiges Auftreten
- Vorhersehbarkeit
- Lokalisierbarkeit
- Vermeidbarkeit
- und im besonderen Maße die psychische und physische Befindlichkeit.

Weitere personenbezogene Einflussfaktoren, welche das Ausmaß der individuellen Lärmbelästigung definieren, sind die grundsätzliche Einstellung gegenüber Lärm, das Umweltbewusstsein, die Lärmtoleranz und die Lärmempfindlichkeit; diese Faktoren unterliegen einer zeitabhängigen Modifikation.

Die Einflüsse situations- und personenbezogener Faktoren auf das Belästigungsausmaß müssen unter Berücksichtigung der Gesamtumstände der zu beurteilenden Situation bei der Erstellung von medizinischen Gutachten bewertet werden.

Naturgemäß ergibt sich durch die große Anzahl der Einflussfaktoren ein relativ breiter Streubereich des Belästigungsausmaßes. Dies erklärt, dass Belästigungswirkungen bei einzelnen Personen bereits bei Schallpegeln ab $L_{A,eq}$ 40 dB, unabhängig von der lärmverursachenden Quelle, zu beobachten sind (Bild 8). Zusätzlich muss der starke Einfluss situationsbezogener Faktoren (z.B. Veränderung der Ist-Situation, Wohnform) berücksichtigt werden.

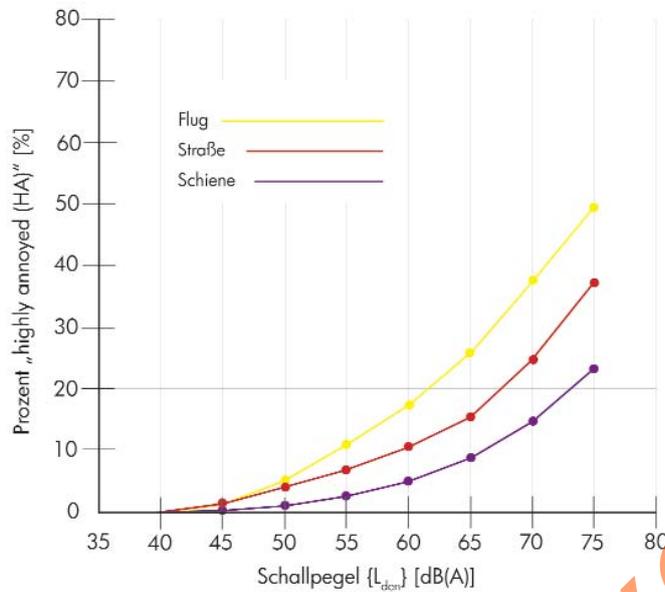


Bild 8: Zusammenhang zwischen dem Prozentsatz der durch Flug-, Straßenverkehrs- und Schienenlärm wesentlich gestörten Personen und dem 24 h-Dauerschallpegel (L_{den}) außen (nach Miedema u. Oudshoorn 2001).

5.5.2 Soziale und emotionale Beeinträchtigungen

Die durch Lärmeinwirkungen hervorgerufenen Störungen der Kommunikation, der Rekreation und des Wohlbefindens im Allgemeinen führen zu einer Veränderung im sozialen und emotionalen Verhalten. Dies kann sich sowohl im Bereich der Familie und der Nachbarschaft auswirken als auch im Verhalten gegenüber Behörden und politischen Instanzen. Solche Verhaltensänderungen sind einerseits bei lang andauernder Überschreitung bestimmter äquivalenter Dauerschallpegel zu erwarten, aber auch bei Beeinträchtigung der Ruherwartung, die in eine bestimmte Gegend gesetzt wurde, d.h. bei wiederholter und lang andauernder Überschreitung des ortsüblichen Geräuschpegels.

Selbst bei einer Unterschreitung von Richtwerten kann es aufgrund einer Abhebung des Störgeräusches vom Basispegel zu Belästigungsreaktionen kommen.

In Gebieten mit starker Lärmbelastung zeigt sich in Wohngebieten, dass die Fenster wegen Außenlärms überwiegend geschlossen gehalten werden. In Wohnungen mit Ofen- oder Gasheizung, in Küchen und in Schlafräumen wird die mangelhafte Belüftung zu einem umwelthygienischen Problem (ausreichende Zufuhr von Verbrennungsluft, Abtransport von Schadstoffen wie Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffoxiden, Kohlenstoffdioxid, Formaldehyd, Radon, etc.); im Sommer leidet auch der thermische Komfort. Auch das Risiko für Schimmelbildung steigt an.

Diese Probleme können zwar durch Schalldämmfenster mit schallgedämmten Lüftern weitgehend gelöst werden, jedoch ist die Möglichkeit, die Fenster öffnen zu können, eine wesentliche Komponente der erlebten Wohnqualität. Die Lärmbelastung der die Wohnung umgebenden Freiräume wie Balkone, Terrassen, Gärten und Grünanlagen führt zu einer verminderten Nutzung derselben.

Diese Umstände und Maßnahmen der Betroffenen gegen Außenlärm wie Lärm übertönendes Verhaften (Radio und Fernsehen lauter stellen, lauter sprechen usw.), den ruhigsten Raum der Wohnung aufsuchen, Medikamente einnehmen, zum Schlafen Ohrstöpsel verwenden, etc. können die Lebensqualität deutlich beeinträchtigen. Weiters zeigen verschiedene Untersuchungen die durch Straßenverkehrslärm verursachten negativen Auswirkungen (Abnahme sozialer Kontakte, soziale Segregation) auf die Sozialstrukturen in Wohngebieten (Kistler 1983, Häußermann 2002).

6 Wirkungsbezogene Immissionsrichtwerte

Einleitend sei betont, dass ein medizinisches Lärmgutachten, das lediglich die zu beurteilenden Immissionen mit den in diesem Kapitel angeführten Richtwerten vergleicht, als nicht ausreichend anzusehen ist (siehe auch die Vorbemerkung zu der Richtlinie, Abschnitt 6.1 und Abschnitt 8).

Basierend auf den in Abschnitt 5 bisher dargestellten Wirkungen von Schallimmissionen auf den Menschen können folgende wirkungsbezogene Immissionswerte für Schallimmissionen angegeben werden (Tabelle 2 und 3):

Tabelle 2: Übersicht über wirkungsbezogene Immissionsrichtwerte tags in dB.

$L_{A,eq}$	$L_{A,max}$	Gesundheitliche Aspekte	Bemerkungen
		Kommunikationsstörungen	
55*	-	Belästigung durch gestörte Kommunikation	$L_{A,eq}$ 35: relaxed conversation $L_{A,eq}$ 45: fairly well $L_{A,eq}$ 65: more vocal effort ***
		Kardiovaskuläre Effekte	
-	60*	Akute physiologische Reaktionen (unter Laborbedingungen)	Im Alltag treten vegetative Reaktionen bereits bei niedrigeren Pegeln auf
60**	-	Herzinfarktrisiko steigt kontinuierlich	bei chronischer Lärmbelastung
		Mentale Störungen	
45*	-	Störung höherer geistiger Tätigkeiten	
		Soziale Effekte und Belästigung	
55**	-	Deutliche Belästigungsreaktionen bei 5-11 % der Bevölkerung	$L_{A,eq}$ 55: few seriously $L_{A,eq}$ 50: moderately annoyed ***

* am Ort des Hörenden
 ** außen
 *** nach WHO 1999 Community Noise Guidelines

Tabelle 3: Übersicht über wirkungsbezogene Immissionsrichtwerte nachts in dB.

$L_{\text{night, außen}}$	Gesundheitliche Aspekte
	Schlafstörungen
bis 30	Keine beobachteten biologischen Effekte (= NOEL)
30 bis 42	Vegetative Effekte, EEG-Arousals, vermehrte Körperbewegungen, erinnerbare Schlafstörungen
42 bis 55	Starker Anstieg adverser Effekte, signifikanter Anstieg von Aufwachreaktionen. Große Anzahl der exponierten Personen ist betroffen (Coping). Empfindliche Gruppen erheblich betroffen
größer 55	Gesundheitsgefährdung; Evidenz zeigt, dass das Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten ansteigt

NOEL: No Observed Effect Level

Die WHO formulierte in ihren Community Noise Guidelines (1999) Richtwerte für den Innenraum in der Nacht: $L_{A,eq}$ 30 und $L_{A,max}$ 45 dB. Dieser Ansatz unterscheidet sich mehrfach von der Bewertungs-„Philosophie“ der NNGL (2009):

Der Ansatz in der NNGL definiert statt einzelner Richtwerte Schwellen für verschiedene Effekte, wobei geringe Effekte in Einzelfällen toleriert werden könnten.

Es hat sich gezeigt, dass Pegel im Innenraum nur eingeschränkt in Verfahren angewandt werden können. Nutzungen oder technische Ausstattung (z.B. Schalldämmmaß der Fenster) sind wesentliche Unsicherheitsfaktoren.

Insgesamt bietet die WHO-Richtlinie 1999 einen zusätzlichen Anhaltspunkt für die Begrenzung der (Maximal-)Pegel.

Zum Verständnis der in Tabelle 2 und 3 angeführten Immissionswerte sind folgende Erläuterungen zu beachten:

1. Die angegebenen Werte verstehen sich als „gemessene Werte“ („Rohwerte“) ohne allfällige Zu- oder Abschläge.
2. Der höhere Schutzanspruch während der Schlafenszeit lässt sich zweifelsfrei aus Studien belegen. Wegen der großen Unterschiede im Tagesrhythmus aufgrund verschiedenster individueller Bedürfnisse, Vorlieben und Sachzwänge lässt sich aber eine genaue zeitliche Abgrenzung der Schlafenszeit nicht rein wissenschaftlich begründen. Vielmehr unterliegt der Begriff der „Nachtzeit“ einer gesellschaftlichen Konvention. Es liegt daher nahe, auch den Nachtrandzeiten (insbesondere dem Abend) einen besonderen Schutz zuzuweisen und vom Tag zur Nacht eine gestaffelte Abnahme der Grenzwerte zu fordern. Analog müssen im Einzelfall auch andere zeitliche (z.B. Morgenstunden, Wochenenden, Feiertage, Urlaubszeit) und räumliche (z.B. Schulen, Krankenhäuser, Pflegeheime, Erholungsgebiete) Schutzansprüche nach den jeweiligen konkreten Bedingungen berücksichtigt werden.
3. Die langjährige Beurteilungspraxis in Österreich fußte auf dem Vergleich des Grundgeräuschpegels, welcher die Ruheempfindung in einer gegebenen Situation widerspiegeln sollte, mit dem Beurteilungspegel. Dabei galt eine Überschreitung des Grundgeräuschpegels um mehr als 10 dB als nicht mehr zumutbar. Aufgrund der Probleme mit der Erhebung des Grundgeräuschpegels (siehe Anhang A) wird heute ein anderer Weg der Lärmbeurteilung beschritten. Am Prinzip „Erhöhung des Umgebungsgeräuschpegels = steigende Belästigungswirkung“ ändert dies nichts.

4. Der Basispegel ist aber unverzichtbar bei der Beurteilung gleichförmiger, über längere Zeit einwirkender Geräusche (Lüfter, Klimageräte, etc.) im Nachtzeitraum. Hier gilt unverändert, dass derartige Geräusche unter bzw. im Bereich des Basispegels der Umgebungsgeräuschsituation zu liegen kommen sollen. Sind sie lauter als der vorherrschende Basispegel, muss mit einer Störwirkung gerechnet werden, die umso deutlicher ausfällt, je mehr der Basispegel überschritten wird.
5. Erläuterungen zum „Einjahresmittel“ entsprechend der NNGL (2009): Der $L_{\text{night, außen}}$ ist der mittlere Schalldruckpegel über den Zeitraum Nacht (22:00 bis 6:00 Uhr), der gemäß EU-Umgebungslärmrichtlinie als Jahresmittelwert in 4 m Höhe vor den Wohngebäuden bestimmt wird.

Erläuterung zur praktischen Umsetzung: Der Jahresmittelwert für $L_{\text{night, außen}}$ ist der Umgebungslärmkarte zu entnehmen und nach kritischer Sichtung (z.B. Überprüfung der Zählzeiten bei Straßenverkehrslärm) für die geforderte Fragestellung anzuwenden.

Erläuterung zu Tabelle 3:

Die schalltechnischen Werte, die in der Regel dem medizinischen Sachverständigen vorgelegt werden ($L_{A,eq,nachts}$ etc.), sind nicht automatisch mit den Werten in Tab. 3 ($L_{\text{night,außen}}$) zu vergleichen.

Der $L_{\text{night,außen}}$ wird gemäß der Umgebungslärm-RL ermittelt. Aufgrund unterschiedlicher Erhebungsansätze sind die Werte des L_{night} und die erhobenen Immissionswerte (im Einzelverfahren vorgelegt) nicht unmittelbar vergleichbar.

Um eine Vergleichbarkeit mit dem L_{night} herzustellen, ist als erstes abzuklären, ob die erhobenen Werte auch tatsächlich als repräsentative Jahresmittelwerte anzusehen sind und damit auch vergleichbar werden. Hierzu ist der schalltechnische Sachverständige zu befragen.

Für die wirkungsbezogene Beurteilung des konkreten Einzelfalls sind selbstverständlich schalltechnische Parameter ($L_{A,max}$, $L_{A,eq}$) bezogen auf den ungünstigsten Beurteilungszeitraum sowie die im Abschnitt 5 erwähnten Moderatorvariablen einzubeziehen.

Exkurs: Richtlinie 2002/49/EG

In der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm wurde unter anderem die Grundlage für die Weiterentwicklung und Ergänzung der bestehenden Gemeinschaftsmaßnahmen in Bezug auf die Lärmemissionen der wichtigsten Lärmquellen - dies sind insbesondere Straßen- und Schienenfahrzeuge sowie Infrastruktureinrichtungen, Flugzeuge, Geräte, die für die Verwendung im Freien vorgesehen sind, Industrie sowie ortsbewegliche Maschinen - und für die Entwicklung zusätzlicher kurz-, mittel- und langfristiger angelegter Maßnahmen geschaffen.

Für bestimmte Gebiete von besonderer Bedeutung sollten strategische Lärmkarten ausgearbeitet werden, da sich hiermit die Daten gewinnen lassen, die für eine Darstellung der in den betreffenden Gebieten wahrgenommenen Lärmpegel erforderlich sind. In Aktionsplänen sollten für diese Gebiete Prioritäten gesetzt werden. Dazu wurden Lärmindizes festgelegt:

L_{den} (day-evening-night; Tag-Abend-Nacht-Lärmindex), der Lärmindex für die allgemeine Belästigung

L_{day} (Taglärmindex), der Lärmindex für die Belästigung während des Tages

$L_{evening}$ (Abendlärmindex), der Lärmindex für die Belästigung am Abend

L_{night} (Nachtlärmindex), der Lärmindex für Schlafstörungen

Die Bedeutung der beschriebenen Indices liegt vor allem in der Charakterisierung der betroffenen Gebiete. Die daraus gewonnenen schallschutztechnischen Informationen sind wichtige Instrumente für die Raumplanung oder die Widmung von Gebieten und stellen somit ein primär planerisches Instrumentarium dar.

Aus umwelthygienischer Sicht wäre es wünschenswert, wenn in den Aktionsplänen beispielsweise die besonderen Bedürfnisse von Gebieten mit Wohnnutzungen berücksichtigt werden könnten, bzw. dort, wo die tatsächliche Nutzung nicht im Einklang mit der Widmungskategorie steht, auch sukzessive schallschutztechnische Adaptierungen oder Sanierungen vorgenommen werden.

Für die umweltmedizinische Beurteilung können sich aus den Lärmindizes Hinweise auf die allgemeine Lärmbelastung in einem Gebiet ergeben. Die medizinische wirkungsbezogene Beurteilung von Schallquellen hat immer die konkreten Immissionen unter Berücksichtigung der Änderung der örtlichen Verhältnisse im Beurteilungszeitraum zu berücksichtigen. Für eine medizinische Beurteilung in konkreten Einzelverfahren ist die schalltechnische Erhebung der Ist-Situation lediglich durch eine generalisierende Heranziehung der Lärmindizes nicht ausreichend. Zusatzinformationen können sehr wohl aus den Lärmkarten gezogen werden. Allfällige Maßnahmen aus den Aktionsplänen sind zu berücksichtigen.

Besonders zu beachten ist, dass die Beurteilungszeiträume zur Erhebung der Lärmindizes entgegen der früheren Einteilung (Tageszeit: 6:00 bis 22:00 Uhr, Nachtzeit 22:00 bis 6:00 Uhr) nunmehr Tageszeit: 6:00 bis 19:00 Uhr, Abendzeit 19:00 Uhr bis 22:00 Uhr und Nachtzeit 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr umfassen. Ein weiterer wichtiger Unterschied ist, dass die Bezugshöhe der strategischen Lärmkarten mit 4 m über dem Boden festgelegt wurde, während sie bei Freiraumerhebungen für Einzelprojekte, abgesehen von besonderen Fragestellungen, 1,5 m (Ohrhöhe) beträgt. Da sich ein wesentlicher Teil der strategischen Lärmkarten mit Immissionen aus dem Verkehr befasst, ist zu beachten, dass die Lärmindizes auf Verkehrs-Jahresdurchschnittswerte (JDTV) bezogen sind und daher von Immissionsdaten, die in einem Einzelverfahren für einen bestimmten Bezugszeitraum erstellt werden, abweichen können.

6.1 Zur Interpretation wirkungsbezogener Schallpegel

Die in Abschnitt 5 bisher zu verschiedenen Auswirkungen angegebenen Schallpegelwerte bestätigen die Erfahrung, dass die Reaktionen auf Schallreize großen Streuungen unterliegen. Dabei ist zu bedenken, dass die genannten Ergebnisse teils aus Labor-, teils aus Felduntersuchungen gewonnen wurden und damit der Einfluss situativer Gegebenheiten nur unzureichend zum Ausdruck kommt. Außerdem stehen sie in manchen Fällen mit akuten Reaktionen, in anderen Fällen mit langzeitigen Auswirkungen in Zusammenhang. Der gesundheitliche Stellenwert solcher Schallpegelangaben kann vom ärztlichen Gutachter daher nur bei Berücksichtigung der tatsächlich zu beurteilenden Situation bestimmt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Auslösbarkeit primärer physiologischer Reaktionen nicht unbedingt eine gesundheitliche Relevanz haben muss. Ob dies der Fall ist, hängt im Wesentlichen von Zeitpunkt und Häufigkeit des Auftretens der Störung, der Situation und der gesundheitlichen Ausgangslage des Betroffenen ab. Zu berücksichtigen sind noch Reaktionsunterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen sowie eine veränderte Reaktionslage bei Risikogruppen (z.B. Hypertoniker, Herzranke, Schichtarbeiter, etc.).

Eine fundierte Aussage über mögliche Reaktionen auf Schallimmissionen kann nur erfolgen, wenn Messwerte vorliegen, welche die Belastungssituation ausreichend charakterisieren. Dazu gehören u.a. der äquivalente Dauerschallpegel, Angaben über Ton-, Impuls- oder Informationshaltigkeit der Geräusche und Angaben zu einzelnen Schallpegelspitzen ($L_{A,max}$ oder $L_{A,1}$). Im Allgemeinen wird für Schallpegelspitzen ein Wert für $L_{A,1}$ vorzuziehen sein, da er auch eine Aussage über die Häufigkeit der Spitzenwerte enthält. Die Charakterisierung einer Immission durch den äquivalenten Dauerschallpegel allein reicht im Allgemeinen nur dann aus, wenn es sich um relativ konstante Geräusche handelt (fließender Straßenverkehrslärm, Ventilatoren, konstant laufende Maschinen, etc.). Neben der absoluten Höhe der Geräuschbelastung ist aber jedenfalls auch der Abstand zur gewohnten (ortsüblichen) Schallbelastung in ihrer Gesamtheit, insbesondere aber zum Basispegel zu berücksichtigen. ÖNORM S 5004 enthält Hinweise, welche Parameter in bestimmten Belastungssituationen erhoben werden sollten. Zur Erhebung situativer Faktoren, welche ja bei den möglichen Auswirkungen einer Schallimmission auf die Betroffenen eine wichtige Rolle spielen können, ist ein Lokalaugenschein mit Hörprobe durch den ärztlichen Gutachter unerlässlich; nähere Hinweise dazu finden sich in Abschnitt 7 und Abschnitt 8.

7 Ermittlung und Beschreibung von Schallimmissionen

7.1 Messung der Schallimmission

Die Messung von Schallimmissionen als Basis der lärmhygienischen Beurteilungen erfolgt nach den Grundsätzen, welche in der aktuellen Fassung der ÖNORM S 5004 „Messung von Schallimmissionen“ festgelegt sind. Wird die Messung anders durchgeführt, so ist die Art der Durchführung im Messbericht zu beschreiben und die Abweichung zu begründen.

Eine Zusammenarbeit des schalltechnischen Sachverständigen mit dem beurteilenden Arzt ist zweckmäßig.

7.2 Schallereignisbeschreibung

Zur Ergänzung der Messdaten ist im Allgemeinen eine verbale Beschreibung charakteristischer Schallereignisse im technischen Messprotokoll erforderlich. Sie bietet eine wesentliche Zusatzinformation im Rahmen des Ortsbefundes und ist daher auch in der ÖNORM S 5004 verankert.

7.3 Sensorische Schallermittlung (Hörprobe des ärztlichen Gutachters)

Auch die Wahrnehmungen bei einer Hörprobe des ärztlichen Gutachters gelten in der Rechtssprechung als Beweismittel. Dies ist deshalb von Bedeutung, da die Messung physikalischer Parameter des Schalls allein nicht immer eine vollständige Darstellung der Schallimmissionen und der Schallimmissionsverhältnisse erlaubt.

7.3.1 Wesentliche Elemente der Hörprobe

Bei der Durchführung einer Hörprobe sind zu beschreiben:

- die bestehende Schallimmissionssituation in Abwesenheit der zu beurteilenden Schallimmissionen (Ist-Situation bzw. tatsächliche örtliche Verhältnisse). Dabei sind jedoch bereits bewilligte Anlagen oder Anlagenteile mit einzubeziehen.

- die wahrnehmbaren und abgrenzbaren Veränderungen der bestehenden Schallimmissionssituation durch die zu beurteilenden Schallimmissionen (Änderung der tatsächlichen örtlichen Verhältnisse).

Bei bereits in Betrieb befindlichen zu beurteilenden Anlagen oder Anlagenteilen sind diese nach Möglichkeit abzustellen, um die tatsächlichen örtlichen Verhältnisse beschreiben zu können. Bei Anlagen im Planungsstadium kann u.U. auf die Erfahrungen mit Hörproben bei vergleichbaren Anlagen zurückgegriffen werden.

7.3.2 Inhalt und Dokumentation des Ortsaugenscheines mit Hörprobe

Bei der Hörprobe sind die für die Fragestellung beurteilungsrelevanten Betriebszustände und -zeiten (Tag-, Abend- bzw. Nachtzeitraum, Saison, etc.) zu berücksichtigen.

Die im Folgenden angeführten Punkte erheben einerseits keinen Anspruch auf Vollständigkeit, andererseits werden nicht alle Punkte in jeder Situation zutreffend sein, d.h. es ist für jede Situation eine angepasste Auswahl bzw. Ergänzung vorzunehmen.

Es sind zu erheben und im Bericht über die Hörprobe zu dokumentieren bzw. zu beschreiben:

- Allgemeine Daten und Fakten
 - Ort und Datum
 - Bezeichnung des (der) Emittenten
 - Standort(e) des Gutachters
 - Zeitpunkt(e) und Dauer der Hörprobe(n)
 - Umgebungsverhältnisse
 - meteorologische Situation (Windstärke und -richtung, Witterungsverhältnisse wie z.B. Regen, Schneelage)
- Zu beurteilende Schallemitenten
 - Art des Betriebes
 - Art der eingesetzten Maschinen und Geräte
 - Besondere Aktivitäten (z.B. Hämmern im Freien u.ä.)
- Andere Schallemitenten in der Umgebung
 - andere Anlagen und Anlagenteile
 - Verkehrsträger
 - Freizeitanlagen
 - Freizeittätigkeiten
 - Naturgeräusche
- Schallereignisse - für die einzelnen Emittenten sind anzugeben:
 - Zeitstruktur
 - Zeitpunkt des Auftretens
 - Dauer des Auftretens
 - Anzahl bzw. Häufigkeit des Auftretens

- Pegelstruktur
 - konstant
 - intermittierend
 - fluktuierend
 - auffällige Schallpegelspitzen
- erlebte Geräuschqualität
 - laut, leise
 - gerade wahrnehmbar
 - schmalbandig, breitbandig
 - hochfrequent, niederfrequent
 - Ton, Klang
 - rau, kreischend, moduliert, u.a.
 - rasch veränderlich
 - auffällig (sich vom Umgebungsgeräusch deutlich abhebend)
- besondere Störwirkung
 - Tonhaltigkeit
 - Impulshaltigkeit
 - Informationshaltigkeit

- Ausbreitungsbedingungen

Die Schallausbreitung kann frei oder behindert sein, wobei Abschirmungen, aber auch Reflexionswirkungen auftreten können, maßgebliche Faktoren sind u.a.

- Topographie (Lagebeziehung des Emittenten zum Immissionsfeld oder Immissionspunkt)
- Orographie (Geländeform, natürliche Schallhindernisse)
- Bewuchs (Bäume belaubt oder unbelaubt, Feld brach oder bebaut)
- Bebauung (geschlossen, offen, einzelstehend)
- künstliche Schallhindernisse (Schallschutzwände, -wälle)
- meteorologische Verhältnisse (Wind, Schneelage, Inversion)

- Immissionsituation

- tatsächliche Bau- und Nutzungsstruktur, Planungsabsichten der Gemeinde (Flächenwidmung)
- Optischer Bezug zu den Emittenten
 - Sichtverbindung
 - sichtbare Anlagenteile oder Aktivitäten
- Bestehende akustische Gesamtsituation
 - natürliche Schallumgebung
 - verkehrsbedingte Geräusche
 - besondere, nicht betriebsbedingte Geräusche
 - betriebsbedingte Geräusche
- Wahrnehmbare Veränderungen durch den zu beurteilenden Emittenten

- Wirkungsbetroffene
 - Einzelperson, Personengruppe
 - Alter, Geschlecht, Anzahl
 - Sozialstruktur
 - Gewohnheiten (Arbeit, Erholung, Schlaf, Freiraumnutzung)
 - Ruherwartung (z.B. Kurort)
 - Risikogruppen

7.4 Wahrnehmungen, Empfindungen, Reaktionen und Aussagen Betroffener

Neben den von den Gutachtern im Verfahren erstellten Messberichten, Ereignisbeschreibungen und Hörproben sowie anderen sachbezogenen Angaben, die im Laufe des Verfahrens erhoben werden konnten, geben Aussagen Betroffener weitere Hinweise über die Schallimmissionssituation. Nach kritischer Prüfung anhand der objektiv erhobenen Daten und Fakten können sie wertvolle Hinweise zum erwartbaren Spektrum der Auswirkungen geben.

7.5 Schallimmissionsprognose

Bei Planungen oder Projekten sind als Beurteilungsgrundlage Schallimmissionsprognosen - eventuell mit gleichzeitiger Ausarbeitung eines Schallschutzprojektes - erforderlich. Diese müssen sich jedenfalls auf die am stärksten exponierten bzw. ungünstigst gelegenen Nachbarschaftspunkte beziehen.

8 Das ärztliche Lärmgutachten

8.1 Allgemeine Grundsätze

Das lärmmedizinische Gutachten ist eine nach dem Stand der medizinischen Wissenschaften erstellte Beurteilung von Schallimmissionen und deren Auswirkungen auf die Betroffenen, welche auf Basis eines Befundes fachlich fundierte, logische Schlussfolgerungen zieht.

Das Gutachten kann gemäß einem allgemeinen oder im Einzelfall erteilten Auftrag erstellt werden. Es muss die vom Veranlasser gestellten Fragen durch wissenschaftlich begründbare Auswertung und Beurteilung des Tatsachenmaterials bearbeiten.

Insgesamt verlangen die allgemeinen Grundsätze, dass das Gutachten

- logisch aufgebaut,
- schlüssig,
- nachvollziehbar (auch für den nicht ärztlich Gebildeten),
- wissenschaftlich begründet,
- richtig, sorgfältig und nach bestem Wissen und Gewissen erstellt
- und auf die gestellten Fragen beschränkt ist.

8.2 Formale Elemente

Das Gutachten soll aus folgenden Teilen bestehen:

- Fragestellung,
- Befund,
- Medizinische Grundlagen
- Gutachten und
- gegebenenfalls Vorschläge für Maßnahmen oder Auflagen

Unabdingbar sind die Bestandteile Befund und Gutachten, welche zumindest inhaltlich erkennbar oder abgrenzbar sein müssen.

8.3 Inhaltliche Gestaltung

8.3.1 Fragestellung

Die Fragestellung sollte mindestens beinhalten:

- Auftraggeber, Auftragsdatum
- zu beurteilende Anlage bzw. Situation
- Kreis der Betroffenen
- zu beantwortende Fragen.

Es kann auch zweckmäßig sein, die Art des Verfahrens anzuführen, im Zuge dessen das Gutachten zu erstellen ist.

8.3.2 Befund

Der Befund fasst die vorhandenen Sachinformationen und die eigenen Ermittlungen ohne Wertung zusammen. Dabei ist auch zu prüfen, ob die vorhandenen Befundelemente für eine Beurteilung ausreichen. Auf Basis dieser Tatsachenermittlung erfolgt eine objektive Sachverhaltsdarstellung.

Soweit sie für den jeweiligen Fall sinnvoll anwendbar sind, sind wesentliche Inhalte des Befundes:

- Projektbeschreibung (technische Berichte, Planskizzen, etc.)
- Lageplan
- Flächenwidmungsplan
- Messberichte (mit verbaler Beschreibung der Schallimmissionen)
- Protokolle über Hörproben und Ortsaugenscheine
- vorausgehende Befunde und Gutachten (technische, medizinische, etc.)
- Anzeigen, Beschwerden, Atteste
- Ergebnis der Befragung Betroffener
- Beurteilungsgrundlagen (Richtlinien, Literatur, etc.)

Dabei sind auch verschiedene verfahrensspezifische Elemente zu berücksichtigen. Darüber hinaus sollten z.B. die tatsächlichen örtlichen Verhältnisse und ihre (erwartbaren) Veränderungen beschrieben werden.

Bei Erstellung der Sachverhaltsdarstellung sind die in Messberichten enthaltenen Angaben zu prüfen, insbesondere, ob diese im Einklang mit dem gegenständlichen Vorhaben stehen.

Für die in Messberichten enthaltenen Beurteilungspegel muss eine eindeutig beschriebene Bezugszeit angegeben sein. Der Basispegel ($L_{A,95}$) soll angeführt werden. Aussagen über Schallpegelspitzen sollen möglichst durch den mittleren Spitzenpegel ($L_{A,1}$) und eventuell auch durch den maximalen Schallpegel ($L_{A,max}$) charakterisiert sowie eindeutig den verursachenden Emittenten zugeordnet sein.

Unter anderem enthält die ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 1 „Beurteilung von Schallimmissionen im Nachbarschaftsbereich“ wesentliche Vorgaben für eine einheitliche und nachvollziehbare schalltechnische Beschreibung bzw. Beurteilung von Schallimmissionen und der Veränderung der tatsächlichen Verhältnisse.

Beim Vergleich der tatsächlichen örtlichen Verhältnisse mit den zu erwartenden Schallimmissionen ist die Veränderung der tatsächlichen Verhältnisse unter Verwendung aller vorliegenden Messwerte und Berechnungsergebnisse (nicht nur Vergleich der Beurteilungspegel) darzustellen.

8.3.3 Medizinische Grundlagen

In diesem Abschnitt erfolgt eine allgemeine (ohne Bezug auf den zu beurteilenden Fall) Beschreibung relevanter erwartbarer oder nachgewiesener Auswirkungen von Schallimmissionen auf den Menschen sowie die Beschreibung möglicher Kombinationswirkungen von Lärm und anderen Umwelttoxinen.

8.3.4 Gutachten

Das Gutachten basiert auf der objektiven Sachverhaltsdarstellung des Befundes. Hier erfolgt die Beurteilung und Bewertung der zu behandelnden Einzelsituation nach dem aktuellen Stand der medizinischen Wissenschaft, wobei die vorliegende Richtlinie diesen mit Stand des Erscheinens repräsentiert.

Es sind allgemeine sowie für den zu beurteilenden Fall zutreffende Dosis-Wirkungs-Beziehungen und Beurteilungskriterien darzustellen und daraus eine Wirkungs-Risikoanalyse abzuleiten.

Die im Folgenden angegebenen inhaltlichen Elemente des Gutachtenteiles erheben einerseits keinen Anspruch auf Vollständigkeit, andererseits werden nicht alle in jedem Fall zutreffen.

Inhaltliche Elemente des Gutachtenteiles:

- Zusammenfassung des Befundes
- Bewertung der Schallimmissionen hinsichtlich der tatsächlichen örtlichen Verhältnisse
Änderung der örtlichen Verhältnisse
zu erwartenden Gesamtschallimmission
- Vergleichende Bewertung der bestehenden mit der zu erwartenden Schallimmissionssituation
- Beschreibung der im zu beurteilenden Fall zu erwartenden Auswirkungen auf den Menschen (ggf. unter Berücksichtigung von Kombinationswirkungen)
- Gesamtrisikoaabschätzung für den zu beurteilenden Fall
- Feststellung und Begründung, ob und wenn ja, zu welchen gesundheitlich relevanten Auswirkungen die zu beurteilende Situation führt
- Zusammenfassende Vorschläge für Auflagen und begleitende Maßnahmen samt Begründung

9 Literatur

- Ando Y, Hattori H (1973): Statistical studies on the effects of intense noise during human fetal life. *Journal of Sound and Vibration* 27:101-110.
- Ashmore JF (1987): A fast motile response in guinea pig outer hair cells: the cellular basis of the cochlear amplifier. *Journal of Physiology* 388:323-347.
- Babisch W, Ising H (1985): Gesundheitsgefährdung durch Lärmstreß. *Forum Städte-Hygiene* 36:213-220.
- Babisch W (2002): The noise/stress concept, risk assessment and research needs. *Noise Health* 4:1-11.
- Babisch W (2006): Transportation noise and cardiovascular risk. Umweltbundesamt, WaBoLu Heft 01/2006.
- Basner M, Buess H, Luks N, Maaß H, Mawet L, Müller EW, Müller U, Piehler C, Plath G, Quehl J, Rey E, Samel A, Schulze M, Vejvoda M, Wenzel J (2001): Nachtfluglärmwirkungen – Eine Teilauswertung von 64 Versuchspersonen in 832 Schlafabornächten. DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Köln, FB-2001-26.
- Bättig K (1985): Psychovegetative Lärmeffekte in der Feld- und Laborsituation. *Forum Städte Hygiene* 36:207-212.
- Berglund B, Lindvall T (1995): Community noise. Document prepared for the World Health Organization. Archives of the Center for Sensory Research 2. Center for Sensory Research, Stockholm.
- Buzzi R, Bättig K (1984): Extraaurale beziehungsweise vegetative Effekte von Umweltlärm. In: Schick A, Walcher K (Hrsg.): Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls. Peter Lang Verlag, Bern: pp 243-251.
- Carlsson F, Persson R, Karlson B, Osterberg K, Hansen AM, Garde AH, Orbaek P (2006): Salivary cortisol and self-reported stress among persons with environmental annoyance. *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health* 32:109-20.
- Cik M, Fallast K, Raggam RB, Marth E, Gallasch E, Lackner A, Fellendorf M (2009): Traffic Noise Annoyance on Roads and Rail (TNAR) in an experimental laboratory setup. Proceedings of NAG-DAGA International Conference on Acoustics. Rotterdam, March 2009: pp 23-26.
- Cohen S, Evans GW, Krantz DS, Stokols D (1980): Physiological, motivational and cognitive effects of aircraft noise on children. Moving from the laboratory to the field. *American Psychologist* 35:231-243.
- Davidoff R, Schamroth CL, Goldmann AP, Diamond Th, Cilliers AJ, Myburgh DP (1982): Post-exercise blood pressure as a predictor of hypertension. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 53:591-594.
- v.Eiff AW, Friedrich G, Langewitz W, Neus H, Rüddel H, Schirmer G, Schulte W (1981a): Verkehrslärm als Risikofaktor für Hypertonie. *Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Innere Medizin* 87:549-551.
- v.Eiff AW, Neus H, Friedrich G, Langewitz W, Rüddel H, Schirmer G, Schulte W, Thönes M, Bruggemann E, Utterscheid C, Schröder G (1981b): Feststellung der erheblichen Belästigung durch Verkehrslärm mit Mitteln der Streßforschung. *Forschungsbericht* 81-10501303, UBA, Berlin.

- v.Eiff A W, Neus H, Otten H (1985): Prospektive epidemiologische Feldstudie zu Verkehrslärm und Hypertonie-Risiko. Umweltforschungsplan des BM des Inneren, UBA, Berlin, Forschungsbericht 85:1051208.
- Gjestland T, Liasjö K, Granöien I, Fields J (1990): Response to noise around Oslo Airport Fornebu. Trondheim: Elab-Reunit Sintef Gruppen. Acoustics Research Center. Report STF 40 A90189.
- Glass DL, Singer JE (1972): Urban stress. New York, Academic Press.
- Griefahn B (1982): Grenzwerte vegetativer Belastbarkeit. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 29:131-136.
- Griefahn B (1983): Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der lärmbedingten Schlafstörungen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 30:38-45.
- Griefahn B (1985): Schlafverhalten und Geräusche. Enke, Stuttgart.
- Griefahn B (1990): Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 37:7-14.
- Griefahn B (2002): Sleep disturbances related to environmental noise. Noise Health 4:57-60.
- Guski R (2002): Status, Tendenzen und Desiderate der Lärmwirkungsforschung zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 49:219-232.
- Guski R, Ising H, Jansen G et al. (2004): Fluglärm 2004. Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt. Berlin.
- Häußermann H (2002): Zersiedelung und soziale Segregation – Soziale Effekte der Randwanderung. Stadtkongress 2002 Zukunft Stadt, Berlin.
- Hawel W (1967): Untersuchungen eines Bezugssystems für die psychologische Schallbewertung. Arbeitswissenschaften 6:50-53.
- Henry JP (1992): Biological basis of the stress response. Integrated Physiological and Behavioural Science 27:66-83.
- Höger R, Schreckenberg D (2003): Lärm und soziale Lebensqualität. Modellvorstellung über Wirkungszusammenhänge. 2. Neufahrner Workshop zur Lärmwirkung (Vortrag).
- Hygge S, Evans GW, Bullinger M (2002): A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren. Psychological Science 13:469-74.
- IEH (1997): The non-auditory effects of noise. Institute for Environment and Health, Leicester, UK, IEH Report R10.
- Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1985): Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 32:95 - 99.
- Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1983): Wirkungen von Lärm auf die Arbeitseffektivität. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 30:1-3.
- Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1990): Belästigung durch Lärm: Psychische und körperliche Reaktionen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 37:1-6
- Ising H, Maschke Ch (Hrsg.) (2000): Beeinträchtigung der Gesundheit durch Verkehrslärm – ein deutscher Beitrag. Im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit.
- Jackson A, Squires W, Games G, Beard F (1983): Prediction of future resting hypertension from exercise blood pressure. Journal of Cardiac Rehabilitation 3:263-268.

- Jansen G (1967): Zur nervösen Belastung durch Lärm. Beihefte zum Zentralblatt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz. Steinkopf, Darmstadt.
- Jansen G, Griefahn B, Gros E, Rehm S (1981): Methodische Überlegungen zur Aussagefähigkeit der Fingerpulsamplitudenmessung im Rahmen der psychophysiologischen Diagnose von Lärmwirkungen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 28:95-104.
- Jansen G (1986): Zur „erheblichen Belästigung“ und „Gefährdung“ durch Lärm. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 33:2-4.
- Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Cadum E, Dudley ML, Savigny P, Seiffert I, Swart W, Breugelmans O, Bluhm G, Selander J, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Sourtzi P, Velonakis M, Vigna-Taglianti F on behalf of the HYENA study team (2008): Hypertension and exposure to noise near airports - the HYENA study. Environmental Health Perspectives 116:329-333.
- Kalivoda M, Steiner J (1998): Taschenbuch der angewandten Psychoakustik. Springer Verlag, Wien New York.
- Kaltenbach M, Maschke Ch, Klinke R (2008): Gesundheitliche Auswirkungen von Fluglärm. Deutsches Ärzteblatt 105:548-56.
- Kistler E (1983): Beziehung zwischen Verkehrslärm und Sozialstrukturen von Wohngebieten an Verkehrswegen. UBA, Berlin, Bericht 10.501.211/01.
- Klinke R (1986): Neurotransmission in the inner ear. Hearing Research 22:235-243.
- Knipschild P, Meiler H, Satie H (1981): Aircraft noise and birth weight. International Archives of Occupational and Environmental Health 48:131-136.
- Lazarus-Mainka G, Schubeis M, Hörmann H (1983): Sprachliche Kommunikation unter Geräuscheinwirkung und die subjektiv erlebte Belästigung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 30:4-10.
- Lazarus-Mainka G, Pasligh B, Raschdorf D(1985): Die Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit als Faktor der Belästigung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 32:65-72.
- Lercher P (1996): Environmental noise and health: an integrated research perspective. Environment International 22:117-128.
- Lercher P et al (2002): Ambient neighbourhood noise and children's mental health. Occupational and Environmental Medicine 59:380-386.
- Lindvall T, Radford EP (eds.) (1973): Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors. Environmental Research 6:1-36
- Marth E, Gallosch E, Fueger, GF, Möse JR (1988): Fluglärm: Veränderung biochemischer Parameter. Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene B 185:498-508.
- Maschke C (2001a): Lärmbedingte Schlafstörungen. In: Wichmann, Schlipkötter, Fülgraff (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin. ecomed, Landsberg, Kapitel VII-1 Lärm, Erg. Lfg.7/01.
- Maschke C, Hecht K, Wolf U (2001b): Nächtliches Erwachen durch Fluglärm. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 44:1001-1010.
- Maschke C, Harder J, Ising H, Hecht K, Thierfelder W (2002): Stress hormone changes in persons exposed to simulated night noise. Noise & Health 5:35-45.
- Marks A, Griefahn B, Basner M (2008): Event-related awakenings caused by nocturnal transportation noise. Noise Control Engineering Journal 56:52-62.

- McCartney JC, Comis SD, Pickles JO (1980): Is myosin in the cochlea a basis for active motility? *Nature* 288:491-492.
- Miedema HME, Oudshoorn CG (2001): Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives* 109:409-416.
- Mikrozensus (2007): Umweltbedingungen, Umweltverhalten 2007. Statistik Austria, 2009.
- Moskov JJ, Ettema JH (1977): Extra-auditory effects in long-term exposure to aircraft and traffic noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 40:177-184.
- Nemecek J (1981): Individuelle und arbeitsbedingte Einflüsse auf Lärmauswirkungen bei geistiger Arbeit. *Lärmbekämpfung* 28:111-114.
- Neus H, Rüddel H, Schulte W (1983): Traffic noise and hypertension. An epidemiological study on the role of subjective reaction. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 51:223-229.
- Raggam RB, Cik M, Höldrich R, Fallast K, Gallasch E, Fend M, Lackner A, Marth E (2007): Personal noise ranking of road traffic: Subjective estimation versus physiological parameters under laboratory conditions. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 210:97-105.
- Rehm S, Jansen G (1978): Aircraft noise and premature birth. *Journal of Sound and Vibration* 59:133-135.
- Selander J, Bluhm G, Theorell T, Pershagen G, Babisch W, Seiffert I, Houthuijs D, Breugelmans O, Vigna-Taglianti F, Antoniotti M, Velonakis E, Davou E, Dudley M, Järup L; HYENA Consortium (2009): Saliva cortisol and exposure to aircraft noise in six European countries. *Environmental Health Perspectives* 117:1713-1717.
- Selye H (1956): *The stress of life*. McGraw-Hill, New York.
- Spoendlin H (1972): Innervation densities of the cochlea. *Acta Oto-Laryngologica* 73:235-248.
- Spreng M (2001): Psychophysiologische Lärmwirkungen. Periphere und zentrale Aktivierungsprozesse. In: Wichmann HE, Schlipkötter HW, Fülgraff G: *Handbuch der Umweltmedizin*. Ecomed, Landsberg, VII-1: Lärm.
- Spreng M (2004): Noise induced nocturnal cortisol secretion and tolerable overhead flights. *Noise & Health* 6:35-47.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2008): *Umweltgutachten 2008 – Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels*. Kapitel 9 – Lärmschutz.
- Stansfeld SA (1992): Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. *Psychological Medicine Monograph*, Cambridge University Press, Cambridge UK, Supplement 22.
- Stansfeld SA, Gallacher J, Babisch W, Shipley S (1996): Road traffic noise and psychiatric disorder: prospective findings from the Caerphilly Study. *British Medical Journal* 313: 266-267.
- Stansfeld SA, Haines MM, Brown B (2000): Noise and health in the urban environment. *Reviews on Environmental Health* 15:43-82.
- Stansfeld SA, Berglund B, Clark C, Lopez-Barrio I, Fischer P, Ohrstrom E, Haines MM, Head J, Hygge S, van Kamp I, Berry BF; RANCH study team (2005): Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet* 365:1908-9.

- WHO (2000): Guidelines for community noise. Hrsg.: Berglund B, Lindvall Th, Schwela DH. Geneva.
- WHO Europe (2009): Night Noise Guidelines for Europe. Bonn, Germany. ISBN 978 92 890 4173 7.
- Zwicker E (1982): Psychoakustik. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Bezugsnormen und notwendige Unterlagen

- DIN 45631/A1 (2010): Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum - Verfahren nach E. Zwicker - Änderung 1: Berechnung der Lautheit zeitvarianter Geräusche. 2010-03-01.
- Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (1991): ÖAL-Richtlinie Nr. 6/18. Die Wirkung des Lärms auf den Menschen, Beurteilungshilfen für den Arzt. 1. Ausgabe / November 1991.
- Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (2008): ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 1. Beurteilung von Schallimmissionen im Nachbarschaftsbereich. ICS 13.140; 1. Ausgabe, März 2008.
- Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (1990): ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 2. Schalltechnische Grundlagen für die Beurteilung von Lärm - Lärm am Arbeitsplatz. Mai 1990.
- ÖNORM S 5004 (2008): Messung von Schallimmissionen. 1 Dezember 2008.

Abstimmunsexemplar

Anhang A

Anmerkungen zum Grundgeräuschpegel ($L_{A,Gg}$)

Der Grundgeräuschpegel hat in der modernen Lärmbeurteilung keine Bedeutung mehr. Da dieser Begriff aber die Lärmbeurteilung in Österreich über Jahre geprägt hat, wird nachfolgend erläutert, was er bedeutete und warum er nicht mehr verwendet werden soll.

Der Grundgeräuschpegel hat versucht, den subjektiven Begriff „Ruhe“ mit einem Pegelwert zu belegen. Dieser hohen Anforderung konnte in der Realität aber nicht entsprochen werden - so hat sich herausgestellt, dass ein ermittelter Grundgeräuschpegel nur selten messtechnisch reproduzierbar war (hohe Varianz in den Messergebnissen).

Definitionsgemäß handelte es sich beim Grundgeräuschpegel um den geringsten an einem Ort während eines bestimmten Zeitraumes gemessenen A-bewerteten Schalldruckpegel, der durch entfernte Geräusche verursacht wird, und bei dessen Einwirkung Ruhe empfunden wird. Er kann nur ermittelt werden, wenn benachbarte Betriebe oder andere Schallquellen, die an der Erzeugung von deutlich erkennbaren Schallereignissen beteiligt sind, abgeschaltet werden können. In der Beurteilungspraxis hat sich herausgestellt, dass es bei der Beurteilung eines Einzelfalles (z.B. Beurteilung eines neu hinzukommenden Geräusches eines Betriebes) unmöglich war, zur Findung des Grundgeräuschpegels andere bereits bestehende Emittenten abzuschalten.

An Stelle des Grundgeräuschpegels ist der Basispegel getreten.

Anhang B

Psychoakustik

Unter Psychoakustik sollen hier vor allem jene Eigenschaften des menschlichen Gehörs verstanden werden, welche auf das „Ohr als Nachrichtenempfänger“ (Zwicker 1982) Bezug nehmen. Zu den Größen, welche die Wahrnehmung der Geräuschqualität an sich bestimmen, gehören im Bereich der Psychoakustik folgende maßgebliche Größen wie z.B. Lautstärkepegel, Lautheit, Tonhaltigkeit, Schärfe, Rauigkeit und Schwankungsstärke.

In der umgangssprachlichen Bedeutung wird vorwiegend der Begriff Lautstärke verwendet. Die wahrnehmungsgerechte Messung derselben wird jedoch kontrovers diskutiert.

Der A-bewertete Schalldruckpegel gibt die erlebte Lautstärke nämlich nur dann richtig wieder, wenn es sich um reine Töne oder sehr schmalbandige Geräusche im Pegelbereich unterhalb von 65 dB handelt, außerdem erfolgt die Messung nur mit einem Mikrophon (monaurale Messung). In der Praxis finden sich zumeist komplexe Frequenzgemische, welche auf beide Ohren treffen. Die vom Hörsinn vorgenommene Schallanalyse ist wesentlich umfangreicher als eine alleinige Schalldruckanalyse. Das menschliche Gehör verarbeitet akustische Reize sehr schnell, nichtlinear, in parallelen Kanälen, frequenz- und richtungsabhängig und mit hohem Auflösungsvermögen im Frequenz- und Zeitbereich. Da diese Eigenschaften jedoch meist miteinander dynamisch verknüpft sind, können sie z.B. durch die A-Bewertung allein nicht immer ausreichend empfindungsgerecht nachgebildet werden. In Extremfällen können sich die A-bewerteten Schalldruckpegel zweier Geräusche, welche als gleich laut empfunden werden, bis zu 10 dB unterscheiden.

Demgemäß können aus einer psychoakustischen Messung gegenüber der üblichen alleinigen Messung des Schalldruckes zusätzliche Informationen gewonnen werden, die für die Bewertung der Wirkungen zweier gleich lauter Ereignisse hilfreich sein können.

Anmerkung: psychoakustische Messmethoden werden beispielsweise in der Industrie zur Optimierung der Wahrnehmung von Maschinen, Geräten, Kfz eingesetzt.

Schon in der Vorbemerkung zu dieser Richtlinie wurde darauf hingewiesen, dass eine große Zahl von Moderatorvariablen der Sinnes- und Wahrnehmungswelt des Hörens eine der Ursachen dafür ist, dass sich die Auswirkungen von Schallimmissionen auf den Menschen in ihrer Gesamtheit mit der Angabe eines einzelnen, rein physikalischen Messwertes nur unzureichend beschreiben lassen. Für die Beurteilungspraxis zeigt dies die Notwendigkeit einer gut nachvollziehbaren Beschreibung des beurteilten Störgeräusches und der Umgebungsgeräuschkulisse, aufbauend auf den persönlichen Wahrnehmungen des/der Untersuchers/ Untersucherin.

Die zusätzliche Einführung von Frequenzbewertung, Frequenzanalysen oder Pegelzuschläge können Abhilfe schaffen und liefern in der Praxis der Lärmbegutachtung in vielen Fällen befriedigende Ergebnisse, wenngleich auch damit nicht alle Fragestellungen befriedigend objektivierbar sind. Es kommt immer wieder zu Situationen, in welchen trotz des Einsatzes dieser Methoden und der Einhaltung von Richt- oder Grenzwerten eine nachvollziehbare Beeinträchtigung der Betroffenen weiterbesteht. Bietet das Umfeld des Störfalles keine weiteren Argumentationshilfen für die Interpretation solcher Unstimmigkeiten, können durchaus psychoakustische Phänomene die Ursache dafür sein.

Ein Bewertungsverfahren, dessen Skala die empfundene Lautstärke anhand psychoakustischer Größe wiedergibt, ist das „Zwicker-Verfahren“, welches in DIN 45631/A1:2010-03 festgelegt ist. Durch dieses Verfahren werden die drei wichtigsten physiologischen Eigenschaften des menschlichen Gehörs berücksichtigt:

Vielkanaligkeit

Das Gehörorgan zerlegt den ankommenden Schall in Frequenzanteile, welche gleichzeitig unterschiedliche Bereiche der Schnecke erregen.

Maskierung und spektrale Verdeckung

Ein Ton mit bestimmter Frequenz erregt auch benachbarte Bereiche, die höheren Frequenzen zugeordnet sind.

Nachverdeckung

Dabei handelt es sich um ein charakteristisches, kurzzeitiges Verdeckungsphänomen.

Die auf Basis des Zwicker-Verfahrens entwickelte Lautheitsskala, die sogenannte sone-Skala ist empfindungsproportional, d.h. dass es sich im Gegensatz zur Dezibel-Skala bei Verdoppelung der empfundenen Lautheit auch der sone-Wert verdoppelt.

Hinsichtlich der Nachbildung des beidohrigen Hörens sind in den letzten Jahren intensive weiterführende Forschungsarbeiten durchgeführt worden. Binaurale Aufnahmen wurden auf Basis psychoakustischer Parameter analysiert und dem A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel gegenübergestellt. Es hat sich gezeigt, dass speziell im Bereich des Verkehrslärms die subjektive Beurteilung von Lärm durch den Menschen mittels psychoakustischer Parameter signifikant besser beschrieben werden kann (Raggam et al. 2007, Cik et al. 2009). Derzeit sind die dafür erforderlichen Apparaturen für einen weitverbreiteten Einsatz aufwendig, jedoch für sehr komplexe Situationen durchaus in Betracht zu ziehen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die derzeit in Gebrauch befindlichen Mess- und Bewertungsverfahren auf Basis des A-bewerteten Schalldruckpegels sich in der täglichen Begutachtungspraxis bewährt haben und sicher auch weiterhin die wichtigste Grundlage für lärmhygienische Begutachtungen sein werden. Für spezielle Fälle, bei welchen offensichtliche Diskrepanzen zwischen den festgelegten Messwerten und der erlebten Störung bestehen, können jedoch psychoakustisch orientierte Messungen eine wertvolle Hilfe zu einer umfassenderen Bewertung darstellen.

Anhang C

Rechnen mit Pegelwerten

Pegel werden über Logarithmen definiert, da sonst mit dem großen zu beschreibenden Wertebereich in der Schalltechnik nicht sinnvoll umgegangen werden kann. Da die Grundrechnungsarten bei logarithmischen Größen bekanntlich nicht wie gewohnt anwendbar sind, erfordert der Umgang mit Schallpegel aufgrund des logarithmischen Maßsystems etwas Gewöhnung.

Im Folgenden werden daher Addition und Subtraktion von Pegelwerten sowie die Darstellung zeitlicher Mittelungspegel anwendungsorientiert erläutert. Angemerkt sei, dass die Kommastellen hier aus arithmetisch-didaktischen Gründen dargestellt werden, für die Beurteilung aber irrelevant sind.

C.1. Addition von Pegelwerten

Je größer die Differenz der zu addierenden Pegel ist, desto geringer ist der Zuwachs zum größeren Pegel (Tabelle C.1).

Addiert man zwei gleich große Pegel (z.B. 60 dB), so ergibt sich ein Summenpegel von 63 dB.

Beträgt die Differenz 1 dB, so sind dem höheren Wert 2,53 dB zuzugeben (60 dB + 59 dB = 62,53, gerundet 62,5 dB).

Beträgt die Differenz 3 dB, so werden dem höheren Wert 1,76 dB zugegeben (60 dB + 57 dB = 61,76, gerundet 61,8 dB).

Tabelle C.1: Addition von Pegelwerten mit ansteigender Differenz zwischen den zu addierenden Pegelwerten.

Differenz zwischen höherem und niedrigerem Pegel (in dB)	Zum höheren Pegel zu addierender Pegel
0	3
1	2,53
2	2,12
3	1,76
4	1,45
5	1,19
6	0,97
7	0,79
8	0,63
9	0,51
10	0,41
20	0,04
25	0,01

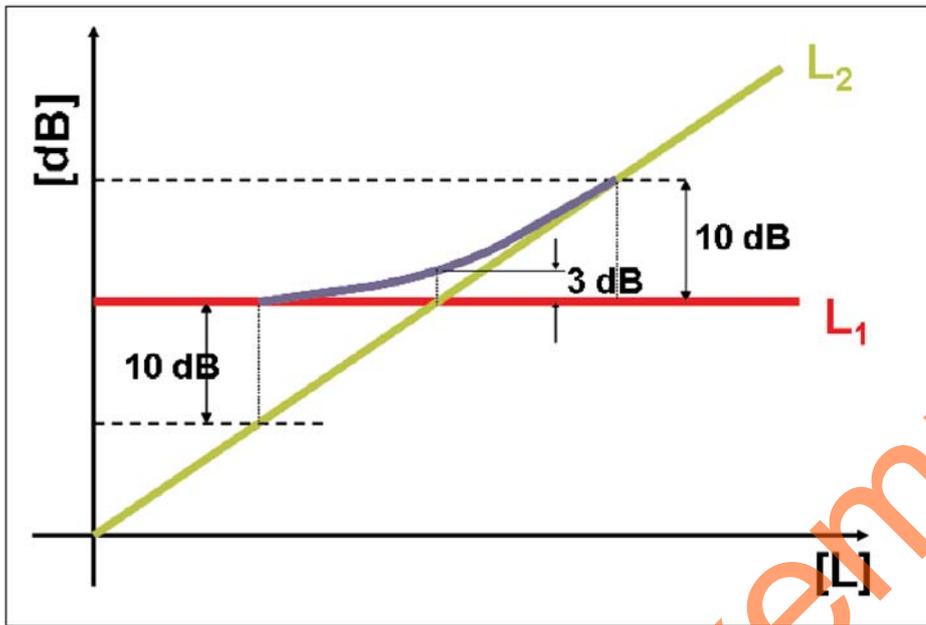


Bild 1: Grafische Darstellung der Pegeladdition.

A.2. Subtraktion von Pegelwerten

Will man von einem Pegel einen Pegel abziehen, so gilt: Je größer der Unterschied zwischen den zwei Pegel, desto geringer wirkt sich dies als Minderung des größeren Pegels aus.

Zieht man von einem Pegel von 60 dB einen mit 53 dB ab, so ergibt dies eine Verminderung des Pegels von 60 dB auf 59 dB (die Differenz von 7 dB ergibt eine Verringerung des höheren Pegels um 1 dB).

Abstimmungssexemplar

Anhang D

Problematik zeitlicher Mittelungspegel

Bei nicht konstanten Geräuschen, also solchen mit zeitlich schwankendem Schallpegelverlauf ist der Mittelungspegel (der zeitliche Mittelwert) eine wichtige Größe zur Beschreibung der Lärmbelastung.

Betrachten wir 8 Stunden, in zwei davon wirkt ein Geräusch mit konstant 60 dB ein, in zwei beträgt der Schallpegel 50 dB und in den letzten vier Stunden 40 dB. Der berechnete Mittelungspegel beträgt 54,5 dB (Tabelle D.1, Spalte 2). Die „leisesten Stunden“ tragen aber praktisch nicht zum Mittelungspegel bei, wie man im Vergleich mit den beiden anderen Spalten sieht.

Tabelle D.1: Beispiele für den Mittelungspegel über 8 Stunden.

1. Stunde	60	60	60
2. Stunde	60	60	60
3. Stunde	50	50	50
4. Stunde	50	50	50
5. Stunde	40	30	20
6. Stunde	40	30	20
7. Stunde	40	30	20
8. Stunde	40	30	20
Resultierender Mittelungspegel	54,5	54,4	54,4

Das Arbeiten mit Mittelungspegel (dem energieäquivalenten Dauerschallpegel) ist für die Lärmbeurteilung praktisch, birgt aber Gefahren, deren sich der medizinische Gutachter bewusst sein sollte.

Beispiel D.1: Einzelereignis Folgetonhorn

So können einzelne Lärmereignisse einen hohen Dauerschallpegel bedingen, das menschliche Ohr kann einen solchen Dauerschallpegel aber nicht wahrnehmen. (Extrembeispiel: Ein Einsatzfahrzeug fährt vorbei, das Folgetonhorn erreicht am Ohr des Passanten 115 dB, ein Einzelereignis, nach wenigen Sekunden ist das Geräusch nicht mehr hörbar. Mittelt man nun dieses Einzelgeräusch z.B. über 10.000 Sekunden oder 2,7 Stunden, so erhält man einen Wert von 75 dB. Niemand, der zwei Stunden später am Ort der Vorbeifahrt steht, hört aber noch etwas vom Einsatzsignal (weder in einer Höhe von 115 dB noch in einer Höhe von 75 dB oder darunter).

Da die österreichische Gutachtenspraxis vorsieht, dass ein neu hinzukommendes Geräusch immer mit den ortsüblichen Verhältnissen zu vergleichen ist, macht es einen großen Unterschied, ob einzelne Lärmereignisse (einzelne Spitzenpegel) in den Mittelungspegel, der die Ortüblichkeit beschreiben soll, aufgenommen werden oder nicht.

Beispiel D.2: Anrainer einer Bahnstrecke (aus: Kalivoda u. Steiner 1998)

Der energieäquivalente Dauerschallpegel ohne Eisenbahngeräusch beträgt 41,6 dB.

Pro Stunde fahren ca. 5 Züge vorbei, die einen Maximalpegel von 80 bis 82 dB erzeugen. Mittelt man diese Einzelereignisse so resultiert daraus ein energieäquivalenter Dauerschallpegel von 66,2 dB.

In diesem Gebiet wird eine Betriebsanlage errichtet, die am Immissionsort ein Beurteilungspegel von 56 dB bewirkt.

Das Betriebsgeräusch mit 56 dB liegt deutlich unter dem energieäquivalenten Dauerschallpegel von 66,2 dB, womit der Trugschluss nahe liegt, dass die ortsübliche Situation – nach der Pegelarithmetik – nicht verändert wird.

Die Ortsüblichkeit wird aber deutlich verändert, da das wahrgenommene Geräusch, nämlich die ortsübliche Schallimmission (41,6 dB), in Zeiten ohne Zugverkehr um mehr als 15 Dezibel überschritten wird.

Klar ist, dass das Betriebsgeräusch nur während einer Zugvorbeifahrt nicht gehört werden kann. Ansonst ist es immer zu hören und verändert somit die gewohnte Geräuschumgebung in diesem Bereich nachhaltig. Daher ist eine erhebliche Belästigung aus medizinischer Sicht gegeben.

Diesem potenziellen Problemfall wird in der ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 1 dadurch begegnet, dass bei der Bildung des Beurteilungspegels der ortsüblichen Schallimmission seltene, aber pegelbestimmende Ereignisse wie z.B. Zugvorbeifahrten gesondert behandelt werden.

Beispiel D.3: Ersatz eines lauten Geräusches durch ein leiseres Geräusch, das aber deutlich öfter einwirkt (aus: Kalivoda u. Steiner 1998)

Ist in einem Betrieb ein lautes Arbeitsgerät in Betrieb, das einmal pro Stunde für rund dreißig Sekunden für die Wohnnachbarn zu hören ist (bei einem Sekundenmaximalpegel von 74 dB), so resultiert daraus ein gemittelter Wert von 53,2 dB in der Stunde.

Wird nun dieses laute Gerät durch ein leiseres ersetzt (ein Sekundenmaximalwert von 55 dB) so ist eine deutliche Verbesserung für die Wohnnachbarschaft gegeben. Würde dieses leisere Gerät auch dreißig Sekunden im Einsatz sein, resultiert ein gemittelter Stundenpegel von 34,2 dB.

Das neue Gerät, da ja deutlich leiser, wird aber nun häufiger eingesetzt. Wird es nun z.B. 180 Sekunden (3 Minuten) betrieben, wirkt ein energieäquivalenter Dauerschallpegel von 42 dB ein.

Tabelle D.2: Einsatz eines Gerätes mit einem Sekundenmaximalwert von 55 dB.

Einsatzzeit	Mittlung über eine Stunde
½ Minute	34,2 dB
3 Minuten	42 dB
6 Minuten	45 dB
12 Minuten	48 dB
24 Minuten	51 dB
40 Minuten	53,2 dB

Das zwar deutlich leisere Gerät kann jetzt also 40 Minuten im Einsatz sein, ohne dass es zu einer Erhöhung des energieäquivalenten Dauschallpegels kommt.

Die Bewertung dieser nun doch deutlich anderen Situation durch die Wohnnachbarn ist nur schwer vorhersagbar. Möglich ist aber, dass das kurzfristige (sehr) laute Geräusch bei sonstiger „Ruhe“ besser akzeptiert wird als das fast die ganze Stunde einwirkende monotone Geräusch, auch wenn dieses Geräusch nicht als (sehr) laut zu bezeichnen ist.

Abstimmunsexemplar

Abstimmunsexemplar

Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (ÖAL)

Dresdner Straße 45; A-1200 Wien

Medieninhaber und Hersteller: Österreichischer
Arbeitsring für Lärmbekämpfung; 1200 Wien
Copyright ÖAL 2010, Alle Rechte vorbehalten
Nachdruck oder Vervielfältigung, Aufnahme auf oder in sonstige
Medien oder Datenträger nur mit Zustimmung des ÖAL
E-mail: office@oal.at
Internet: <http://www.oal.at>
Vereinsregister-Zahl: 783724553
DVR-Nr.: 0822213

Verkauf der ÖAL-Richtlinien:
Austrian Standards Plus
Heinestraße 38; A-1020 Wien
Telefon +43 (0)1 213 00-0
Fax: +43 (0)1 213 00-355
Internet: <http://www.as-plus.at>
E-mail: office@as-plus.at