

# ***Nachtfluglärmproblematik***

*Ergebnisse des Workshops  
in Neufahrn im Juni 2001, Veranstalter:  
Ärzte für vorbeugende Umweltmedizin e.V.*

Herausgegeben von  
Karl-Hermann Bartels und Hartmut Ising



## **VEREIN FÜR WASSER-, BODEN- UND LUFTHYGIENE E.V.**

Die Gründung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V. geht auf das Jahr 1902 zurück. Im Jahr zuvor wurde die damalige „Königliche Versuchs- und Prüfanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung“, ehemalig Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene“, jetzt Umweltbundesamt gegründet. Der Verein ist einer der ältesten gemeinnützigen Vereine, die auf dem Gebiet der Siedlungshygiene mit den Schwerpunkten Umwelthygiene und -medizin tätig sind.

Der Verein stellt eine Verbindung zwischen dem theoretischen Wissen und der praktischen Arbeit auf dem Gebiet der Umwelthygiene und des Umweltschutzes in der Wirtschaft, der Industrie, den Kommunen und den öffentlichen Einrichtungen der Ver- und Entsorgung her. Er ist als gemeinnütziger Verein anerkannt.

In Fortbildungsveranstaltungen, Tagungen und Kolloquien werden die Ergebnisse aus den wissenschaftlichen Arbeiten der Fachöffentlichkeit des In- und Auslandes zugänglich gemacht und zur Diskussion gestellt. Seit vielen Jahren wird dieses Angebot in zunehmendem Maße angenommen und stellt für einige Fachgebiete ein unverzichtbares Angebot für die Weiterbildung und Anpassungsqualifikation von Führungskräften dar.

In den Schriftenreihen des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V. werden aktuelle Arbeitsergebnisse veröffentlicht. Es sind bisher 111 Hefte erschienen. Mit über 100 nationalen und internationalen Bibliotheken und Institutionen wird ein Schriftenaustausch unterhalten.

Darüber hinaus unterstützt der Verein Forschungsvorhaben und Expertengespräche mit nationalen und internationalen Teilnehmern.

Den Mitgliedern des Vereins wird ein Preisnachlaß bei der Teilnahme an den Veranstaltungen gewährt. Die Hefte der Schriftenreihe stehen ihnen kostenlos zur Verfügung.

### **Geschäftsführender Vorstand:**

Dr. Helmut Eiteneyer, Gelsenkirchen  
Dieter Bongert, Essen  
Ludwig Pawlowski, Berlin

### **Geschäftsführung:**

Dipl.-Ing. Heiner Nobis-Wicherding,  
Postfach 02 46 34, 10128 Berlin  
Tel.: 030 – 414 67 08  
Fax: 030 – 414 58 00  
Internet: [www.wabolu.de](http://www.wabolu.de)  
e-mail: [verein@wabolu.de](mailto:verein@wabolu.de)

111

Herausgegeben von **Karl-Hermann Bartels** und **Hartmut Ising**

Fachbibliothek  
Umwelt



# ***Nachtfluglärmproblematik***

*Ergebnisse des Workshops  
in Neufahrn im Juni 2001, Veranstalter:  
Ärzte für vorbeugende Umweltmedizin e.V.*

Herausgegeben von  
Karl-Hermann Bartels und Hartmut Ising

Alle Rechte der Übersetzung vorbehalten

© Copyright 2001 by Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V.,  
Berlin

Printed in Germany  
ISBN 3-932816-40-4

Herstellung:

WMK-Druck, Holzweidepfad 17-19, 13403 Berlin, Telefon: 030 / 331 50 30

## Vorwort

Die Einladung der Ärzte für vorbeugende Umweltmedizin zu einem geschlossenen Workshop über Fragen der Lärmwirkungsforschung ermöglichte eine kritische Diskussion der unterschiedlichen Paradigmen zu gesundheitsrelevanten Wirkungen des Umweltlärms. Bisher wurde häufig von einem Paradigma ausgegangen, bei dem der Schallpegel die dominierende Rolle spielt, was für die lärmbedingte Innenohrschädigung, die einzige bekannte lärmspezifische Organschädigung, angemessen ist. Ich will der Einfachheit halber dieses Konzept kurz als Pegel-Paradigma bezeichnen, da hier dem Schallpegel eine überragende Bedeutung zugemessen wird. Allerdings wurden auf dieser Denkgrundlage auch situationsunabhängige Pegel-Grenzwerte für Umweltlärm-belastungen abgeleitet – ein äußerst fragwürdiges Unterfangen!

Trotz intensiver Forschung wurde unterhalb der Grenze für Gehörschäden keine lärmspezifische Gesundheitsbeeinträchtigung gefunden. Bedeutet das aber, dass im niedrigeren Pegelbereich Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Umweltlärm ausgeschlossen werden können?

Im Gegensatz zum Pegel-Paradigma ist im Stresskonzept der Lärmwirkungen die Situation des Belasteten mindestens genau so wichtig wie der Pegel des Umweltlärms. Nach dem Stress-Paradigma ist der Umweltlärm zwar nur einer unter vielen Stressoren, die alle prinzipiell dieselben unspezifischen Reaktionen hervorrufen. Ist er deswegen aber weniger gesundheitsrelevant?

Es besteht Einigkeit darüber, dass unter allen Umweltbelastungen der Verkehrslärm die meisten Menschen stört und belästigt. Wer kann nun ausschließen, daß jahrelange, erhebliche Belästigungen zu weitergehenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen bis hin zu Erhöhungen von Krankheitsrisiken führen? Da diese heuristisch so einleuchtende Möglichkeit keinen Platz hat im Pegel-Paradigma der Lärmwirkungen, andererseits aber zahlreiche Befunde für die Existenz lärmbedingter Stresshormon-Regulationstörungen und langfristiger Gesundheitsgefahren sprechen, ist ein radikales Umdenken – ein Paradigmenwechsel – erforderlich.

Von dieser Notwendigkeit habe ich unter anderem die Herausgeber des Handbuches der Umweltmedizin, die Herren Professoren Wichmann, Schipkötter und Fülgraff überzeugt, die mich daraufhin baten, das Kapitel VII – 1 "Lärm" ihres Handbuches neu zu schreiben. Das ist inzwischen in Zusammenarbeit mit einem interdisziplinären Autorenkollektiv geschehen. Es war mir daher sehr gelegen, mein Anliegen eines Paradigmenwechsels den Lärmwirkungsforschern einschließlich des Hauptautors des bisherigen Handbuchartikels "Lärm", Herren Prof. Jansen, vorzutragen und mit ihnen zu diskutieren, bevor das neue Kapitel veröffentlicht wird.

Meine Forderung eines Paradigmenwechsels in der Lärmwirkungsforschung wurde von den Workshopteilnehmern widerspruchlos aufgenommen, was natürlich nicht bedeuten muss, dass alle einverstanden waren. Da aber keine wissenschaftlichen Gegenargumente geltend gemacht wurden, scheint meine Forderung doch nicht ganz abwegig zu sein.

Zwar wurden bei den weiteren Beiträgen sowie den jeweiligen Diskussionen auch deutliche Unterschiede in der Bewertung von Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung deutlich. Dennoch zeigte sich eine breite Übereinstimmung in grundsätzlichen Fragen, die besonders in der Diskussion über die gemeinsame Stellungnahme zum Ausdruck kam. Als Entwurf dieser Stellungnahme diente die Kurzfassung der Literaturübersicht "Fluglärmwirkungen" von Ortscheid und Wende, Umweltbundesamt, Berlin 2000.

Die beiden Autoren waren aus terminlichen Gründen verhindert, an dem Workshop in Neufahren teilzunehmen. Da ihre Arbeit aber ein unverzichtbar wichtiger Beitrag ist, wurde sie den Beiträgen des Workshops vorangestellt. Mit Ausnahme von zwei Vorträgen wurden alle Beiträge fristgerecht in schriftlicher Form eingereicht und in dem vorliegenden Band abgedruckt.

Ich möchte an dieser Stelle dem Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygien e.V. meinen Dank aussprechen, der diese Veröffentlichung im Rahmen seiner Schriftenreihe ermöglicht hat. Außerdem danke ich den Ärzten für vorbeugende Umweltmedizin e.V. für die Initiative und Durchführung dieses Workshops in der Hoffnung, dass diese Veröffentlichung dem Anliegen der vorbeugenden Umweltmedizin dienen möge.

Falkensee, den 21. Juli 2001

Hartmut Ising

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	1
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	3
JENS ORTSCHIED, HEIDEMARIE WENDE	
<b>Fluglärmwirkungen</b> .....	4
KARL-HERMANN BARTELS	
<b>Einführung</b> .....	40
HARTMUT ISING, BARBARA KRUPPA	
<b>Analyse der Lärmwirkungsforschung während der vergangenen 25 Jahre bezogen auf die Nachtfluglärmproblematik - Gesicherte Erkenntnisse, Auswirkungen</b> .....	44
PD DR. FRIEDHART RASCHKE	
<b>Arousals und Fluglärm – umweltbedingte Schlaf- und Gesundheitsstörungen aus schlafmedizinischer Sicht</b> .....	56
BARBARA GRIEFAHN	
<b>Gestörte Schlafprofile</b> .....	70
M. SPRENG	
<b>Lärminduzierte nächtliche Cortisolausschüttung und tolerable Überflüge</b> .....	75
C. MASCHKE, K. HECHT	
<b>Stresshormone und Schlafstörungen – elektrophysiologische und hormonelle Aspekte</b> .....	91
PD DR. RAINER HÖGER	
<b>Fluglärm und Tageszeiten Möglichkeiten der Umverteilung und Beeinflussung der Lärmbelastung</b> .....	98
RAINER GUSKI	
<b>Ansätze der Wissenschaften für Lärm-Immissionsgrenzwerte: Zur Frage der Belästigung am Tage und in der Nacht</b> .....	103
PROF. DR. AUGUST SCHICK & DR. MARKUS MEIS	
<b>Reduzierung individueller lärmbedingter Gesundheitsrisiken mit Hilfe gesundheitspsychologischen Wissens und Stressbewältigung</b> .....	106
SCHEUCH, KLAUS	
<b>Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen - August 1999</b> .....	112
W. BABISCH	
<b>Beurteilung von Ergebnissen der extra-auralen Lärmwirkungsforschung</b> .....	115
<b>RESOLUTION</b> .....	132
C. MASCHKE, K. HECHT	
<b>Erklärung/Stellungnahme</b> .....	133
<b>Teilnehmerliste</b> .....	139

# Fluglärmwirkungen

Jens Ortscheid, Heidemarie Wende

Umweltbundesamt, Berlin

## Inhalt

Zusammenfassung .....	5
Vorbemerkung .....	6
Qualitätsziele zur Vermeidung von Beeinträchtigungen und Belästigungen durch Fluglärm .....	8
Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch Fluglärm .....	8
Gesundheitsschäden: Gehörschädigungen .....	8
Gesundheitsschäden: Herz-Kreislaufsystem .....	9
Gesundheitsschäden: Nachtschlaf .....	11
Physiologische Untersuchungen zu Schlafstörungen .....	11
Sozialpsychologische Untersuchungen über Schlafstörungen durch Fluglärm .....	16
Extraaurale Gesundheitsschäden: Psychiatrisch relevante Störungen bei Kindern .....	19
Zusammenfassung: Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit .....	20
Beeinträchtigung und Belästigung durch Fluglärm .....	21
Kommunikationsstörungen .....	28
Maximalpegel vs. Mittelungspegel .....	28
Dimensionierung des baulichen Schallschutzes zum Schutz gegen Fluglärm .....	29
Zusammenfassende Bewertung von Fluglärmbelastungen: Qualitätsziele .....	31
Tabellarische Darstellung der Belastungsbereiche, unterhalb derer spezifische Wirkungen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht auftreten .....	32
Bibliographie .....	33

## Zusammenfassung

Der Beschlussempfehlung des Ausschusses für Verkehr des Deutschen Bundestages folgend soll die Beurteilung von Fluglärm analog anderer Verkehrslärmquellen vorgenommen werden. Grundlage des hier vorgestellten Beurteilungsverfahrens ist der zwischen Tag und Nacht differenzierende Mittelungspegel ( $L_{eq}(3)$ ). Bei der Formulierung der Schutzziele wird auch dem Umstand, dass Fluglärm eine größere Stör- und Belästigungswirkung als vergleichbarer Straßenverkehrslärm entfaltet, durch schärfere Anforderungen Rechnung getragen.

Die globalen Wirkungsbereiche

„Belästigung“

und

„Beeinträchtigung der Gesundheit“

stehen im Vordergrund bei der Entwicklung von Schutzzielen.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Belastungsbereiche, die aus Sicht der Lärmwirkungsforschung besonders beachtet werden müssen. Bei einer Umsetzung in rechtliche Regelungen ist im Falle von neuen oder wesentlich geänderten Flughäfen oder Flugplätzen zu bedenken, dass sich die hier genannten Bereiche nach unten verschieben können.

Bei Fluglärmbelastungen von 55 dB(A) tags und 45 dB(A) nachts wird die Grenze zu erheblichen Belästigungen erreicht.

Bei Fluglärmbelastungen von 60 dB(A) tags und 50 dB(A) nachts sind aus präventivmedizinischer Sicht Gesundheitsbeeinträchtigungen zu befürchten.

Bei Fluglärmbelastungen oberhalb von 65 dB(A) tags und 55 dB(A) nachts sind Gesundheitsbeeinträchtigungen in Form von Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu erwarten.

## Vorbemerkung

Der Beschlussempfehlung und dem Bericht des Ausschusses für Verkehr<sup>1</sup> des Deutschen Bundestages folgend, wird angestrebt, die Beurteilung von Fluglärm weitgehend analog zu anderen Verkehrslärmquellen (Schienenverkehr, Straßenverkehr) vorzunehmen. Es wird deshalb vorgeschlagen, entsprechend der Beurteilungssystematik im Verkehrsbereich (16. BImSchV, Magnetschwebebahnverordnung), ein analoges Verfahren zur Beurteilung von Fluglärm anzuwenden. Dies bedeutet u.a. eine Aufgabe des derzeitigen Lärmbewertungsverfahrens, das auf  $L_{eq}(4)$  basiert, zugunsten eines Verfahrens, das auf  $L_{eq}(3)$  basiert und Einführung eines Beurteilungsverfahrens auf der Basis von Mittelungspegeln für den Tag und für die Nacht mit einer Beurteilungszeit von 16 Stunden bzw. 8 Stunden.

Die Entwicklung von Qualitätszielen für den Bereich Fluglärm muss sich nach BImSchG an dem Schutz vor Gefahren, erheblichen Belästigungen aber auch an der Vorsorge orientieren.

Es besteht Einigkeit dahingehend, dass das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in der derzeitigen Fassung nicht einmal den Schutz vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen sicherstellt. Der nach dem BImSchG über die reine Gefahrenabwehr hinausreichende geforderte Schutz vor erheblichen Belästigungen ist somit zwangsläufig auch nicht gewährleistet. Unklar ist, was unter dem Zustand „Gesundheit“ zu verstehen ist. Eine eindeutige und allgemein verbindliche Gesundheitsdefinition existiert nicht. Hieraus ergibt sich das Problem, Anforderungen an Schutzziele zu formulieren, die nicht exakt und eindeutig definiert sind.

Unsicherheiten bestehen bei der Wahl des geeigneten Beurteilungsverfahrens. So kann beispielsweise in Einzelfällen beobachtet werden, dass bei Reduzierung der Belastung durch Verminderung der Überflugpegel aber bei gleichzeitiger unterproportionaler Zunahme der Flugbewegungen, der zu erwartende Rückgang der Belästigung bei den Betroffenen ausbleibt. Zumindest in diesem Fall wäre eine Wirkungsäquivalenz der Beurteilungsgröße „ $L_{eq}$ “ zweifelhaft und eventuell die Reduzierung von „Stillezeiten“ im Sinne von Pausen mit in die Bewertung einzubeziehen.

Der Zusammenhang zwischen erlebter Fluglärmbelästigung und weitergehenden Folgen mit gesundheitlicher Relevanz, die im Rahmen von Stressmodellen unterstellt werden könnten, ist noch weitgehend ungeklärt.

Ob und in welchem Umfang eine „Tages-, Wochen- oder Monatsrhythmik“ Fluglärmwirkungen moderiert, ist ebenfalls weitgehend offen, eine solche hätte aber möglicherweise Bedeutung für die Formulierung von Qualitätszielen zum vorbeugendem Gesundheitsschutz. Der zirkadiane Rhythmus mit ergotroper Tagesphase und vagotroper Nachtphase hinsichtlich der stärkeren nächtlichen, frühmorgendlichen Reagibilität und verschlechterten Rückregelungseigenschaften von hormonell gesteuerten Regulationssystemen wäre nach Spreng (1998) zu berücksichtigen.

Die Tatsache, dass den Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung zufolge exakt definierbare Schwellen für einzelne Wirkungsbereiche i. d. R. nicht auffindbar sind, erweitert den Entscheidungsbereich bei der Festsetzung von Qualitätszielen erheblich. Die Frage, ab welcher Belastung Belästigungen im Sinne des BImSchG als erheblich zu werten sind, kann nicht ausschließlich seitens der Lärmwirkungs-

<sup>1</sup> Dt. Bundestag Drucksache 13/11140, 36.6.1998

forschung beantwortet werden, denn es hat sich herausgestellt, dass die Belästigungen und Beeinträchtigungen mit zunehmender Belastung keine markanten Sprünge aufweisen sondern kontinuierlich ansteigen, zum anderen sind Zumutbarkeitsgrenzen eher soziale und politische Setzungen, die zudem eine Güterabwägung mit anderen gesellschaftlichen Wertstellungen erfordern, als empirische, mit wissenschaftlichen Methoden auffindbare Sachverhalte. Die Entscheidung, welches Schutzziel realisiert werden soll, bleibt auch eine politische Entscheidung, die letztlich über die verbleibende Anzahl stark lärmbelästigter Bürger und Bürgerinnen befindet.

Unter dem Aspekt des Schutzes vor Gefahren und vor erheblichen Belästigungen sowie der Vorsorge wurden die Ergebnisse nationaler und ausländischer Lärmwirkungsstudien analysiert, wobei die Wirkungsbereiche

„Beeinträchtigung der Gesundheit“ inkl. „Beeinträchtigung des Nachtschlafes“ durch Fluglärm und vor allem der Wirkungsbereich

„Belästigung“ durch Fluglärm

im Vordergrund stehen.

Der Vermeidung von (erheblichen) Belästigungen durch Fluglärm als explizites Schutzziel nach BImSchG wird bei der Entwicklung von Qualitätszielen besondere Bedeutung zugemessen, um sicherzustellen, dass über die bloße Gefahrenabwehr hinaus fluglärmbedingte Beeinträchtigungen im Sinne des BImSchG vermieden werden: Nach § 3 BImSchG ist eine Umwelteinwirkung schädlich zu nennen, die eine gesundheitliche Gefahr, eine erhebliche Beeinträchtigung oder erhebliche Belästigung darstellt. Die erhebliche Belästigung tritt vor der körperlichen Erkrankung ein.

# Qualitätsziele zur Vermeidung von Beeinträchtigungen und Belästigungen durch Fluglärm

Nach kritischer Würdigung der vorliegenden Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung werden nachfolgend aufgeführte Qualitätsziele vorgeschlagen.

## Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch Fluglärm

Nach den Ergebnissen der vorliegenden wissenschaftlichen Studien, insbesondere der vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhaben zu den gesundheitlichen Auswirkungen des Fluglärms müssen folgende Bereiche betrachtet werden:

Risiken für Gehörschädigungen

Risiken für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und anderer vegetativer Erkrankungen

Beeinträchtigungen des Nachtschlafes

Psychiatrisch relevante Störungen

## Gesundheitsschäden: Gehörschädigungen

Die Untersuchungsergebnisse zu Auswirkungen hoher Fluglärmbelastung auf das menschliche Gehör sind heterogen.<sup>2</sup> In einer Reihe von Studien finden sich keine oder nicht signifikante Veränderungen des Hörvermögens, andere Studien zeigen Hörschwellenverschiebungen, die auf bleibende Schädigungen des Gehörs hindeuten könnten.

Analog den Ergebnissen der UBA - Tiefflugstudie (Spreng et al., 1988) wird folgendes Qualitätsziel vorgeschlagen:

2

Coles u. Knight, 1959	Untersuchungen (mil. Fluglärm; exp. Feld) an militär. Personal (Flugdeck); bei hoher Belastung (mehr Starts u. Landungen) ca. 5 dB Hörverlust. Keine Belastungsangaben.
Wu et al. 1989	Nachuntersuchung von Knight u. Coles: 1966 zeigt Gehörermholung des milit. Personals (N=22) 20 Vpn (mil. Fluglärm, Labor) wurden F 16 - Startgeräuschen (ground-runup noise) ausgesetzt mit Pegeln von 117 - 128 dB(A). TTS2 (nach 2 Minuten) betrug max. 13 dB bei 4kHz. Gehörermholung in tieferen Frequenzbereichen erfolgte sehr schnell (weniger als 1h); im hohen Frequenzbereich nach 24 h noch nicht abgeschlossen
Nixon et al. 1993	30 Vpn (mil. Fluglärm, Labor) wurden Überflügen von 115 bis 130 dB(A) (Phase I), bzw. 8 Überflügen mit jeweils 90s Pause mit $L_{max} = 130$ dB, bzw. bis TTS von 10 dB erreicht war, ausgesetzt (Phase 2) Das linke Ohr trug Gehörschutz, rechte nicht. Ergebnisse: keine signifikanten Veränderungen
Ising et al. 1993	Epidemiologische cross-sectional Studie (mil. Fluglärm, Feld). Gehörverluste bei 6 - 7 - jährigen. Signifikante Unterschiede zwischen unterschiedlich belasteten Gebieten.
Ising 1998, 1999	116 Vpn, TTs durch Fluglärm erreicht Maximum 15-60 min. nach Expositionsende. Schnell ansteigender Fluglärm wirksamer als langsam ansteigender. 15% der Ohren haben TTS > 10 dB bei 6-13 kHz nach Belastung mit $L_{max} = 124$ dB(A) und einer effektiven Dauer von 0,5 sec.
Andrus et al. 1975	Untersuchten 3000 Schulkinder (ziv. Fluglärm, Feld) aus der Umgebung des Logan Airport in Boston (USA) Lärmbelastung über Entfernung zum Flughafen abgeschätzt, ohne andere Lärmquellen zu berücksichtigen. 158 Schulkinder wiesen Gehörverluste (>25 dB bei zwei Frequenzen bei einem Ohr, bzw. >35 bei 1 Frequenz des anderen Ohres) auf. Kein signifikanter Unterschied zwischen hoch und geringer Belasteten.
Fisch 1981	Keine Unterschiede bei Hörschwelle von 100 Kindern (ziv. Fluglärm, Feld), die im Umkreis von 1 Meile um den Heathrow Airport wohnen zu 100 Kindern, die in ruhiger Umgebung leben. Autoren halten Stichprobe für zu klein.
Green et al. 1982	Untersuchten Hörverluste bei Kindern (ziv. Fluglärm, Feld). Vergleich von 200 Kindern mit dauerhaftem beidohrigem Hörverlust im Hochfrequenzbereich (>25 dB) mit 208 Kontrollkindern. Fluglärmbelastung wurde über Anschrift (Fluglärmbereich) abgeschätzt. Es fand sich positiver, aber nicht sign. Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Hörverlust. Konfundierende Effekte bezüglich genetischer Faktoren zur Hörschädigung konnten nicht ausgeschlossen werden.
Ward et al. 1976	Setzte Vpn (ziv. Fluglärm, Labor) 6 Stunden lang Start- und Landegeräuschen (1 Start pro 1,5 oder 3 Minuten) aus Peak Level= 111 dB(A) Durchschnitt der TTS2 (nach 2 Minuten) lag unter 5 dB, aber einige Vpn, die die Starts alle 1,5 Minute eingespielt bekamen, wiesen eine TTS2 (nach 2 Minuten) von mehr als 10 dB auf.

Für einzelne, seltene Überflüge sind keine akuten Schädigungen des Gehörs zu erwarten, wenn der Maximalpegel 115 dB(A) (am Ohr) nicht übersteigt und die Anstiegssteilheit des Pegels unter 60 dB(A) pro s liegt.

Treten Überflüge mit hoher Anstiegssteilheit in dichter Folge oder großer Häufigkeit auf, sollten die Maximalpegel (am Ohr) höchstens 105 dB(A) betragen.

Bei anhaltender Lärmbelastung sind (analog ISO 1999) bleibende Minderungen der Hörfähigkeit nicht zu erwarten, wenn die auf eine Beurteilungszeit von 24 h bezogenen Mittelungspegel am Ohr der Betroffenen unter 70 dB(A) liegen.

## **Gesundheitsschäden: Herz-Kreislaufsystem**

Körperliche Reaktionen auf Umwelteinflüsse werden durch die vegetativen Gehirnzentren gesteuert. Bei Geräuschen können diese Zentren einerseits durch direkte Verbindungen von der Hörbahn, andererseits aber auch erst nach der Informationsverarbeitung im Gehirn angeregt werden.

Besonders starke direkte Aktivierungen treten z. B. bei Schallen mit schnellen, starken Intensitätsänderungen auf, wobei direkte, häufig auch spezifisch sensibilisierte, subkortikale Wirkungsverbindungen zwischen Hörbahn und vegetativen Regulationszentren aktiviert werden (Spreng, 2000, 2000a). Bei der mentalen Informationsverarbeitung werden die Wahrnehmungen mit den im Gedächtnis gespeicherten Erfahrungen verglichen und im Zusammenhang mit der momentanen Disposition, der gerade ausgeübten Tätigkeit und den Erwartungen bewertet. Emotionen (Verärgerung, Angst, Aggressionen) können auftreten, die mit verstärkten körperlichen Reaktionen einhergehen können. Typische Reaktionen sind z. B. Veränderungen des Blutdrucks, der Herz- und Atemfrequenz, der peripheren Durchblutung oder der Ausscheidung von Stresshormonen. Je nach der physiologischen Gleichgewichtslage und den Erfordernissen des Organismus können Reaktionsstärke und -richtung individuell schwanken. Es handelt sich um unspezifische Stressreaktionen, die auch bei anderen körperlichen und seelischen Belastungen auftreten. Sie zählen zu den normalen Antworten des Körpers auf Reize von außen und sind an sich als gesundheitlich unbedenklich zu bewerten. Wenn die Belastungen und Belästigungen allerdings über längere Zeiträume bestehen, ist aus medizinischer Sicht zu befürchten, dass der Lärm als Stressor im Zusammenspiel mit anderen exogenen bzw. endogenen Faktoren zu einer Manifestation von Änderungen in den Herz-Kreislauf-Funktionen und schließlich zu Erkrankungen führen kann. Darüber hinaus ist grundsätzlich nicht auszuschließen, dass Personen mit bestimmten Vorschädigungen des Herz-Kreislauf-Systems durch einen sehr starken Stressor gesundheitlich gefährdet werden können.

Im Rahmen der Tiefflugstudie des UBA (Ising et al. 91) sind akute und chronische Wirkungen des Fluglärms auf das Herz-Kreislauf-System untersucht worden. Die laborexperimentellen Untersuchungen zu Akutwirkungen bestätigten zum einen die Bedeutung schneller, starker Pegelanstiege - und der meist damit verbundenen Schreckreaktionen - auf die Stärke kardiovaskulärer Reaktionen, zum anderen die erheblichen Reaktionsunterschiede bei verschiedenen Personen. Im epidemiologischen Untersuchungsteil der Tieffluglärmstudie wurden mit Mindestflughöhen oberhalb von 150 m im süddeutschen Raum keine auffälligen Befunde bzgl. der Prävalenz von Bluthochdruck beobachtet. Auch in den norddeutschen Untersuchungsgebieten mit Flughöhen von 75 - 150 m wurden keine Hinweise auf eine Prävalenz kardiovaskulärer Risikofaktoren gefunden.

Von militärischem Fluglärm unterschiedlich stark belastete Kinder in der Umgebung eines Militärflugplatzes zeigten bezüglich der Stresshormone Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol unter hoher Lärmbelastung keine signifikant erhöhten Ausschüttungen gegenüber der Kontrollgruppe (Ising 98).

Zum Teil ältere Untersuchungsergebnisse zu fluglärmbedingten Gesundheitsrisiken (Herz-Kreislauf-System; Schwangerschaftsverlauf, Frühgeburten) sind oft wegen fehlender Angaben zur Belastung beispielsweise schwer zu interpretieren, weisen aber daraufhin, dass Gesundheitsrisiken durch Fluglärm nicht per se ausgeschlossen werden können.<sup>3</sup>

Derzeit sind keine belastbaren Untersuchungen bekannt, die direkte, extraaurale Gesundheitsbeeinträchtigungen durch Fluglärm nachgewiesen haben<sup>4</sup>. Der Schwellenbereich der Gesundheitsbeeinträchtigung könnte jedoch für den wachen Menschen aus vorliegenden epidemiologischen Arbeiten, die allerdings nur Stra-

3

Knipschild 1977	Untersuchte (ziv. Fluglärm, Feld) Behandlungshäufigkeit und Medikamentierung von Herzbeschwerden bei Personen, die in unterschiedlich belasteten Gebieten (NNI 20 - 37 und NNI >37) wohnen. Bei hochbelasteten Gebieten (NNI >37) wurden mehr Personen med. behandelt wegen Herzbeschwerden und Bluthochdruck. Tablettenkonsum (Herz-Kreislauf) besonders bei Frauen deutlich erhöht. Response rate der Untersuchung nur 42%, so dass Selektions - bias möglich.
Knipschild u. Oudshoorn, 1977	Zwei Gemeinden wurden untersucht (ziv. Fluglärm, Feld): Gemeinde 1 mit sehr wenig Fluglärm, Gemeinde 2 mit zunächst keinem, dann im Laufe der Untersuchung zunehmendem Fluglärm. Tablettenkonsum (auch Herz-Kreislauf-Mittel) nahm in Gemeinde 2 mit der Zeit zu.
Brenner et al. 1993	Untersuchten (Tiefflug, Feld) Herzfrequenz und Arrhythmien bei Patienten in Herz-Rehabilitations-Klinik bei Tieffluglärm. 24h EKG. EKG wurden analysiert bezüglich Herzfrequenzänderungen und Extrasystolen jeweils 2 Min vor, während und nach Überflügen mit Peak SPL > 95 dB(A). Sign. Veränderungen konnten nicht beobachtet werden.
Meecham Shaw 1979	Untersuchten Mortalitätsraten (ziv. Fluglärm, Feld) am Los Angeles Int. Airport 1970 / 1971 in zwei Gebieten mit a) direktem Überflug (Einfugschneise) und fluglärmfreies Gebiet. Soziodemographische Variablen wurden kontrolliert. Im lauten Gebiet fanden sie 15% höhere Inzidenz von Schlaganfällen und 100% mehr Todesfälle wegen Leberzirrhose.
Meecham Shaw 1993	Folgeuntersuchung 1970 - 1977: Ähnliche Ergebnisse
Ando Hattori 1973 1974	Babies, die bereits vor dem 5. Schwangerschaftsmonat im lauten Gebiet (ziv. Fluglärm, Feld) lebten, reagierten geringer auf Lärm und wurden seltener durch Lärm wach, als Babies, deren Mütter erst in der zweiten Hälfte der Schwangerschaft oder nach der Geburt in das laute Gebiet gezogen waren. Anzahl untergewichtiger Kinder (<2500 gr.) nahmen mit der Lärmbelastung signifikant zu.
Rehm Jansen 1978	Frühgeburten (Fluglärm, Feld) sind häufiger unter hoher Lärmbelastung. (nicht signifikant: geringe Belastung: 5,9%; mittlere Belastung: 6,0%; hohe Belastung: 6,7%) Keine Kontrolle möglicherweise wirksamer sozio-ökonomischer Störfaktoren
Knipschild et al. 1981	Untersuchten Geburtsgewicht in der Umgebung des Amsterdam Airport. (ziv. Fluglärm, Feld) Geburtsgewicht wurde in Beziehung zur Fluglärmbelastung (aus Wohnlage abgeschätzt) der Mutter während der Schwangerschaft abgeschätzt. Untersuchungsgebiet wurde am Ldn 60 - 65 dB(A) in leise und laute Gebiete eingeteilt. Ergebnisse: signif. Gewichtsunterschiede in beiden Gebieten, aber nur bei Kindern, die in Krankenhäusern geboren wurden, nicht aber bei den anderen Kindern. (19,5% der Babies wogen 2500 - 2999 gr. im lauten Gebiet, lediglich 12,6% im leisen) Es gab aber keinen Unterschied bei Frühgeburten (<2500gr.). Nach Berücksichtigung soz. Faktoren, Einkommen, Geschlecht, etc. war der Anteil der Kinder mit Geburtsgewicht < 3000 gr im lauten Gebiet immer noch höher, dies betraf aber nur die weiblichen Babies.
Schell 1981	Ähnliche Untersuchung (ziv. Fluglärm, Feld) wie Knipschild in den USA. Korrelationsstudie mit besonderer Berücksichtigung sozioökonomischer Faktoren. Ergebnis: Partikorrellationskoeffizient auf 1% signifikant : $r = -0,49$ . D.h. kürzere Schwangerschaftsdauer nur bei Mädchen in lauter Umgebung. Schwächerer Effekt bei Jungen, aber nicht signifikant. Keine Korrelationen mit Geburtsgewicht.
Jones Tauscher 1978	Untersuchten Inzidenz von Geburtsfehlern im Los Angeles County (ziv. Fluglärm, Feld) während 1970 - 1972. Fanden höhere Inzidenz von Geburtsfehlern in Belastungsgebieten innerhalb der 90 dB(A) - Loudness Contour vom LA Int. Airport. Dabei war schwarze Bevölkerung Inzidenz im Vergleich zum Kontrollgebiet signifikant erhöht. Bei weißer Bevölkerung trat dieser Effekt nicht auf. Mangelhafte Kontrolle der mögl. konfundierenden Effekte (z.B. Alter der Mütter)
Edmonds et al 1979	Ähnliche Untersuchung (ziv. Fluglärm, Feld) wie Jones und Tauscher, keine Effekte

<sup>4</sup> Die vegetative Beeinträchtigungsschwelle des wachen Menschen (Beginn der Abweichung vom Normalverhalten evozierter Potentiale und des EEG) lässt sich aufgrund neuro-elektrophysiologischer Untersuchungen auf einen mittleren Pegelwert (Dauer mindestens 0,8 bis 2 sec.) von 63 dB(A) festlegen (Keidel, Spreng, 1976). Nachts und in den Morgenstunden liegt diese Schwelle ca. 10 bis 12 dB niedriger, also wäre mindestens eine nächtliche vegetative Beeinträchtigungsschwelle von Maximalpegeln um 53 dB(A) anzusetzen (Spreng 2000b).

ßenverkehrslärmbelastungen betreffen, zu Herzerkrankungen abgeleitet werden. Aus der vergleichenden Analyse mit anderen epidemiologischen Untersuchungen wird geschlossen, dass die Schallpegelkategorie 65 - 70 dB(A) als Bereich für gesundheitliche Beeinträchtigungen anzusehen ist, die mit epidemiologischen Methoden auf Populationsebene nachgewiesen werden kann. Ein Leq von (außen, tags) 65 dB(A) könnte demzufolge aus präventivmedizinischer Sicht als Immissionsgrenzwert für Verkehrslärm am Tage angesetzt werden. Hierbei wäre aber zu bedenken, dass aufgrund der höheren Belästigungswirkung des Fluglärms im Vergleich zum Straßenverkehrslärm und der damit verbundenen stärkeren Stresswirkung des Flugverkehrs, diese Grenze zu hoch angesetzt sein könnte.<sup>5</sup>

## Gesundheitsschäden: Nachtschlaf

### *Physiologische Untersuchungen zu Schlafstörungen*

Für die menschliche Gesundheit hat ungestörter Schlaf nach allgemeiner Auffassung eine besondere Bedeutung.<sup>6</sup> Obwohl sich die Forschung schon seit langer Zeit intensiv mit dem Phänomen Schlaf befasst, sind derzeit die Funktion und der Mechanismus des Schlafes nicht ausreichend bekannt. Schlafstörungen gehören zu den häufigsten Klagen in der ärztlichen Praxis. Unabhängig von Häufigkeit und Intensität werden sie als besonders unerwünschte, ärgerliche und nachteilige Wirkungen des Lärms bewertet. Man weiß, dass Schlaf kein gleichbleibender Zustand ist. Nach typischen Merkmalen in den Aufzeichnungen der Hirnstromkurven (EEG) unterscheidet man mehrere Schlafstufen, die nach dem Einschlafen zyklisch (im Laufe der Nacht vier bis fünf mal) nacheinander durchlaufen werden.

Geräuscheinwirkungen während des Schlafes können sich direkt auswirken als Änderungen der Schlaftiefe mit und ohne Aufwachen  
Erschwerung und Verzögerung des Einschlafens und Wiedereinschlafens  
Verkürzung der Gesamtschlafzeit, der Tiefschlafzeit oder der Traumschlafzeit  
vegetative Reaktionen (z. B. Herzfrequenz, Blutdruck, Fingerpulsamplitude)  
biochemische Reaktionen  
Körperbewegungen

<sup>5</sup> Der Lärmwirkungsforscher Jansen hat Beurteilungskriterien aufgestellt, die von den o.g. deutlich abweichen: Für den Tag sieht er keine extraaurale Gesundheitsgefährdung, wenn der Lärm pro Tag den Organismus nicht mehr als 1% der Zeit physiologisch überlastet. Dies ist nach Jansen dann noch gegeben, wenn Maximalpegel von 99 dB(A) oder mehr am Ohr des Betroffenen nicht häufiger als 19 mal im Verlauf des Tages auftreten. Maximal zulässige  $L_{eq}$ -Angaben lassen sich den Veröffentlichungen von Jansen zufolge lediglich für direkte aurale Wirkungen ableiten. Bei vergleichbaren Untersuchungen haben Ohkubo et al. (1976) mit photoelektrisch gemessenen Pulsamplitudenänderungen unter Beschallung bereits bei Pegelwerten zwischen 80 und 85 dB(A) eine Art Plateau und damit weniger starke Reaktionszunahmen der Durchblutungs-minderung gefunden. Benutzt man sicherheitshalber die dort angegebenen Streuungswerte, so lässt sich höchstens ein Maximalpegelwert von 90dB(A) stützen. An den Beurteilungskriterien, die Jansen entwickelt hat, ist überdies vielfach Kritik geübt worden.

Die durchschnittliche nächtliche Schlafdauer hat nach Erkenntnissen der Deutschen Gesellschaft für Schlaforschung und Schlafmedizin (DGSM) in den vergangenen 20 Jahren um 30 Minuten abgenommen.

Fast jeder zweite klagt darüber, dass sein Schlaf zuwenig erholsam sei.

Fast doppelt so viele Frauen wie Männer ab 40 Jahren klagen über schlechten Schlaf.

Jeder dritte fühlt sich tagsüber hundemüde und würde nachts gern länger schlafen.

Jeder vierte hat abends Schwierigkeiten beim Einschlafen und wacht öfter wieder auf.

Jeder Zehnte leidet extrem unter Schlafstörungen. Knapp die Hälfte aller schwer Schlafgestörten konsultiert einen Arzt.

Die Kosten der Schlafstörungen - verursacht durch Unfälle in Folge von Übermüdung - werden auf 20 Milliarden Mark im Jahr geschätzt.

320 Millionen Mark zahlen die Krankenkassen jährlich für Schlaftabletten. Betroffene geben rund 400 Millionen Mark dafür aus - eine Steigerung um 100 Prozent seit 1988. Mehr als zwei Millionen Deutsche nehmen mittlerweile jeden Abend künstliche Einschlafhilfer. 45 Prozent der Patienten geben an, die Medikamente würden nichts mehr nützen - und schlucken trotzdem weiter.

oder indirekt als

Minderung der subjektiven Schlafqualität

Beeinträchtigung der Arbeitseffektivität am nächsten Tag.

Das Ausmaß lärmbedingter Schlafstörungen hängt nicht nur von den akustischen Eigenschaften (Pegel, Dauer, Häufigkeit, Dynamik (Anstiegssteilheit), Frequenzspektrum) der Geräusche ab, sondern wird auch bestimmt durch eine Reihe weiterer Faktoren, wie

Schlafstufe bei Geräuscheinwirkung

Alter und Geschlecht

physischer und psychischer Zustand (Müdigkeit, Gesamtbelastung, Gesundheit)

Informationsgehalt des Geräusches (Quellenart, Gewöhnung).

Die Einflüsse dieser Faktoren sind meist nur qualitativ bekannt: Die Wahrscheinlichkeit von Aufwachreaktionen nimmt mit zunehmender Schlaftiefe ab, dagegen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Veränderungen der Schlaftiefe eintreten. Da Tiefschlafstufen in der zweiten Nachthälfte seltener erreicht werden, ist die Anfälligkeit für Störungen in diesem Zeitraum durchschnittlich größer. Mit zunehmenden Alter sind Schlafstufenveränderungen wahrscheinlicher. Welche Unterschiede in den Reaktionen von Frauen und Männern bestehen, ist noch nicht eindeutig geklärt. Geräusche mit hohem Informationsgehalt (z. B. ungewohnte Geräusche) und mit hoher subjektiver Bedeutung (z. B. Geräusche der Kinder, der eigene Name) führen schon bei sehr niedrigen Pegeln zum Aufwecken. Schlafstörungen können, insbesondere bei seltenen und regelmäßigen Geräuschen, dadurch kompensiert werden, dass in ungestörten Zeiten die Tiefschlafstufen häufiger und schneller erreicht bzw. die Tiefschlafzeiten gegenüber ungestörten Nächten zum Morgen hin verschoben sind.

Diese kurze Übersicht verdeutlicht, vor welchen Problemen die lärmbezogene Schlafforschung steht:

Bei den einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen der Lärmwirkungsforschung (physiologische Schlafforschung oder psychologische Schlafforschung) bestehen unterschiedliche Vorstellungen darüber, welche Lärmfolgen bedeutsam und welche Untersuchungen daher aussagekräftig sind.

Es ist schwierig, die Veränderungen im Schlafablauf, die ursächlich auf den Lärm zurückzuführen sind, aus der Vielzahl der Befunde herauszuarbeiten.

Bei Untersuchungen in einem Schlaflabor können die physikalischen Parameter (bei Fluglärm insbesondere die Pegelhöhe und die Ereignishäufigkeit) gezielt variiert werden. Hierdurch lassen sich Situationen schaffen, die Antworten nach dem Einfluss von Spitzenpegeln und Ereignishäufigkeiten auf die Schlafqualität geben können. Kritisch ist jedoch anzumerken, dass die Untersuchungen nicht in der gewohnten Umgebung der Versuchspersonen und damit in einer künstlichen Situation stattfinden. Reaktionen im Labor fallen i. d. R. eher stärker aus als in der gewohnten Umgebung.

Ganz allgemein lassen sich im Bereich der physiologischen Schlafforschung drei Ansätze unterscheiden, wobei lärminduzierte Schlafveränderungen

an der EEG-Antwort; hier wäre beispielsweise Griefahn zu nennen

an der Ausschüttung von Stresshormonen; etwa Maschke

oder am nächtlichen Motilitätsverhalten; wie z.B. Ollerhead

erfasst und bewertet werden.

Die Schlafforscherin Griefahn (Griefahn 85, 90) unterscheidet drei Arten lärmbedingter Schlafstörungen:

Primärreaktionen, i.e. Änderungen des natürlichen Schlafablaufs (z. B. Verzögerung des Einschlafens, Schlafiefenänderungen, Herz-Kreislauf-Reaktionen, Körperbewegungen)

Sekundärreaktionen, i.e. subjektive Bewertung der Schlafqualität, Änderungen der subjektiven Befindlichkeit und des Leistungsverhaltens am nächsten Tag, die nach Beendigung der Exposition wieder verschwinden

Tertiärreaktionen in Form gesundheitlicher Beeinträchtigungen, die sich nach Ende der Exposition nicht mehr oder nur langsam zurückbilden.

Zwar sind nach Aussagen Griefahns die Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen primären, sekundären und tertiären Reaktionen noch unzureichend, so dass gegenwärtig keine zuverlässigen Prognosen über eventuelle Gesundheitsschäden möglich sind; gleichwohl schreibt Griefahn insbesondere den erinnerungsfähigen Aufwachreaktionen langfristige negative Auswirkungen auf die Gesundheit zu, weil die Wachphasen die subjektive Bewertung der Schlafqualität bestimmen und der daraus resultierende psychophysiologische Stress wiederum als Risikofaktor bei der Entstehung kardiovaskulärer Erkrankungen wirkt.

Griefahn hat auf der Grundlage laborexperimenteller Schlafstudien (Aufzeichnung des EEGs) eine Kurve entwickelt, die den Zusammenhang zwischen der Maximalpegel eines Überfluges und der Aufwachwahrscheinlichkeit beschreibt. Nach dieser Kurve <sup>7</sup> ist eine Aufwachwahrscheinlichkeit von 10 % bei einem Überflug mit einem Maximalpegel von 68 dB(A) am Ohr des Schlafers zu erwarten.

Für ältere Menschen im empfindlichsten Schlafstadium (Traumschlaf) wird nach Griefahn eine 10%-ige Aufwachwahrscheinlichkeit bereits bei 61 dB(A) erreicht. Die Aufwachhäufigkeit nimmt auch mit der Anzahl der Überflüge zu. Der Anstieg flacht aber bei größeren Häufigkeiten (mehr als 10) deutlich ab. Als noch akzeptables Risiko sieht Griefahn eine Aufwachwahrscheinlichkeit von 10 % bezogen auf ältere Menschen im empfindlichsten Schlafstadium an. Dies führt nach ihren Rechnungen im Bereich von 10 bis ca. 30 Überflügen während der Nacht auf zulässige maximale Innenschallpegel ( $L_{Amax}$ ) von ca. 54 dB(A). <sup>8</sup>

Zu abweichenden Erkenntnissen führen die Forschungsergebnisse des Schlafforschers Maschke (Maschke 92, 95, 96):

Laboruntersuchungen zu fluglärmbedingten Schlafstörungen wurden am Institut für Technische Akustik der TU Berlin durchgeführt. Es wurde der Schlafverlauf anhand des EEGs ausgewertet, die Schlafqualität mittels Befragung ermittelt sowie die Ausscheidung von Stresshormonen untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass Nachtfluglärm (16 - 64 Überflüge,  $L_{max} = 75$  dB(A) bzw.  $L_{max} = 55$  dB(A) oder 65 dB(A); jeweils innen) zu einer deutlichen Umverteilung der Schlafstadienzeiten führt, die als Verschlechterung der Schlafqualität bewertet wird. Die Umverteilung der Schlafstadienzeiten beginnt bei einem Mittelungspegel von 36 dB(A). Die Schlafstörung wird durch eine erhöhte Adrenalin-ausscheidung unter Fluglärm begleitet. Bereits bei 64 Flugereignissen mit einem Überflugpegel  $L_{max} = 55$  dB(A) ist

<sup>7</sup> Die Auswertungen und Aussagen Griefahns sind in der Fachwelt nicht unumstritten. Die Kritik richtet sich vor allem auf folgende Punkte: a) Untersuchungsort Labor b) Erinnerbare Aufwachreaktion als maßgebliches Kriterium zur Bewertung der Schlafqualität c) Methodische Bedenken bezüglich der Ableitung der „Grenzkurven“.

<sup>8</sup> Im Gerichtsverfahren zum Planfeststellungsverfahren für den Flughafen München II wurde unter Hinweis auf die Argumentation von Griefahn die Entscheidung der Planfeststellungsbehörde, die Maximalpegel im Innenraum auf 55dB(A) - unter Sicherstellung einer ausreichenden Lüftung - zu begrenzen, nicht beanstandet. Ähnliche, z.T. etwas schärfere Anforderungen finden sich im Urteil des OVG Rheinland-Pfalz (7C/11843/93.OVG, 1.7.1997)

eine erhöhte Adrenalinmenge im Morgenurin zu verzeichnen, die tendenziell mit dem Überflugpegel ansteigt.

In den Berliner Studien zu Fluglärm wurde der Einfluss von nächtlichem Lärm auf das Schlafverhalten, die Stresshormonausscheidung (Cortisol) und die Blutwerte untersucht. Die Versuchspersonen wurden in ihrer Wohnung mit 16 oder 64 Überflügen bei Überflugpegeln von 55 oder 65 dB(A) innen beschallt. Die Flüge wurden nachts zwischen 0 und 4 Uhr elektroakustisch eingespielt. Zur medizinischen Beurteilung der erhöhten Cortisolausscheidungen wurden die gemessenen Werte für die Sammelzeit auf absolute Ausscheidungsmengen im 24-Stunden-Zeitraum umgerechnet und den medizinischen Normbereichen gegenübergestellt. Die Cortisolwerte im Harn der untersuchten Flughafenanwohner lagen bereits ohne Nachtfluglärm leicht über der Norm und wiesen in den Nächten mit Fluglärmbelastung eine deutliche und hochsignifikante Steigerung auf, die als gesundheitlich bedenklich eingestuft werden könnte. Die Ergebnisse dieser Feldstudie zum nächtlichen Lärm enthalten keine detaillierten Aussagen über Adaptations- und Habituationsprozesse. Dieser Frage wurde in der Hamburger Feldstudie nachgegangen: 16 Personen wurden nachts über 6 Wochen in ihrer eigenen Wohnung beschallt. Dazu wurden während der Nacht 32 Starts bzw. Landungen mit  $L_{\max} = 65 \text{ dB(A)}$ , innen simuliert. Hierbei zeigte sich:

1. Nach einer Phase der Gegenregulation (Fallen des Cortisolspiegels) schließt sich eine Sensibilisierungsphase mit einem Anstieg der Cortisolausscheidung an. Die Cortisolausscheidung übersteigt zum Ende der Untersuchung den medizinischen Normbereich.
2. Starke Sofortreaktion, an die sich ein fallender Verlauf der Cortisolkonzentration anschließt.
3. Der Trend der Cortisolausscheidung ändert sich kaum. Die Sofortreaktion ist gering. Es überwiegt ein Wochenrhythmus der Cortisolausscheidung.

Maschke interpretiert diese Effekte mit Hinweis auf die Existenz dreier unterschiedlicher Adaptationsmuster. Die Ergebnisse der Feldstudie deuten seiner Ansicht nach Adaptationsprozesse an, die sowohl mit einem langfristigen Anstieg, aber auch mit einem Abfall der Cortisolausscheidung verbunden sein können. Die steigende Cortisolausscheidung mit Überschreitung des medizinischen Normbereiches und das Reaktionsmuster mit fallendem Cortisolspiegel wird von Maschke als „Schutzhemmung“ interpretiert. Beide Adaptationsformen stellen nach Maschke eine Gefährdung der Gesundheit dar und betreffen schätzungsweise 2/3 der 16 Probanden.<sup>9</sup>

Maschke fasst seine Untersuchungsergebnisse zu folgendem Qualitätsziel zusammen: Die Untersuchungen zeigen, dass aus präventivmedizinischer Sicht eine Begrenzung der nächtlichen Maximalpegel am Ohr des Schlafenden auf unter 55 dB(A) zu fordern ist. Zusätzlich sollte bei Fluglärm ein nächtlicher Mittelungspegel von 32 dB(A) (innen) nicht überschritten werden.

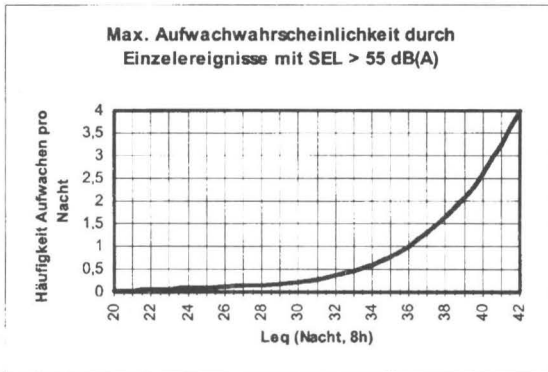
In einer in England durchgeführten Feldstudie (Ollerhead 1992), bei der als neue Untersuchungsmethode zur Feststellung von Schlafstiefenänderungen (einschließlich Aufwachreaktionen) kleine Bewegungsmessgeräte an den Handgelenken eingesetzt wurden, hat sich gezeigt, dass die mit dieser Methode ermittelten fluglärmbedingten Schlafstörungen vergleichsweise gering sind. Nach Aussagen der

<sup>9</sup> Ob dieses Drei-Formen-Adaptationsmodell nicht auch als Artefakt interpretiert werden könnte, wäre zu prüfen. In diesem Bereich ist relativ großer Klärungsbedarf gegeben.

Autoren ist es sehr unwahrscheinlich, dass Überflüge mit Maximalpegeln außen unter 80 dB(A) bei geschlossenen Fenstern zu messbaren Veränderungen des normalen Schlafablaufs führen. Allenfalls bei sehr empfindlichen Personen wäre mit messbaren Effekten zu rechnen. Bei Überflügen mit höheren Maximalpegeln lag die beobachtete Aufwachrate unter 2 %.

Ein Vergleich dieser Aussagen mit dem von Griefahn oder Maschke entwickelten Kriterium ist nicht direkt möglich, weil in der englischen Studie nur Außenpegel gemessen worden sind und keine detaillierte Daten zur Fensterstellung vorliegen. Insgesamt hatten mehr als 60 % der Untersuchungsteilnehmer Schallschutzfenster. Da bei geschlossenen Fenstern von einer Pegelminderung von mindestens 30 dB(A) auszugehen ist, müssen die Angaben von Griefahn und Ollerhead zur Unerheblichkeitsschwelle nicht unbedingt in Widerspruch stehen. Allerdings unterscheiden sich die quantitativen Angaben zum Ausmaß der Aufwachreaktionen bei höheren Pegeln deutlich.

Das Health Council der Niederlande (Miedema 1992) hat sich mit der Thematik der lärmbedingten Schlafstörungen beschäftigt und fasst seine diesbezüglichen Ergebnisse in Form von Anhaltswerten zur Abschätzung der Aufwachwahrscheinlichkeit durch Einzelereignisse:<sup>10</sup> zusammen:



Auch hier zeigt sich eine ausgeprägte Dosis-Wirkungsbeziehung, nach der bei einem  $L_{eq}$  von 33 dB(A) in der Nacht diesen Daten zufolge in jeder zweiten Nacht ein lärmbedingtes Aufwachen zu erwarten wäre.

Viele Entscheidungsträger erwarten, dass die Wissenschaft eine exakte physikalische Grenze angibt, oberhalb derer Geräuscheinwirkungen als schädlich anzusehen sind. Derartige Zahlenwerte würden aber die Bedeutung individueller und situativer Faktoren unberücksichtigt lassen.

Die Ergebnisse der physiologischen Untersuchungen zur nächtlichen Beeinflussung des Schlafes durch Lärm lassen sich so zusammenfassen: Bei gesunden Erwachsenen sind bei Spitzenwerten ( $L_{Amax}$ ) unter 40 bis 45 dB nur in geringem Maße direkte Schlafstörungen (nachgewiesen durch Veränderungen im EEG) zu erwarten. Oberhalb dieser Werte werden direkte Reaktionen kontinuierlich häufiger, wobei oberhalb von ca. 50 dB auch mit Aufwachreaktionen zu rechnen ist.

<sup>10</sup> Für Belastungen oberhalb  $Leq(Nacht)$  von 40 dB(A) sollte diese Kurve allerdings nicht herangezogen werden.

Das Gesamtausmaß der Reaktionen hängt allerdings von den Spitzenpegeln und der Häufigkeit der Ereignisse ab. Da ungestörter Schlaf nach allgemeiner Auffassung besondere Bedeutung für die menschliche Gesundheit hat, die langfristigen Folgen anhaltender Schlafstörungen jedoch noch unbekannt sind (Int. Arbeitskreis f. Lärmwirkungsfragen (1982)), wird aus Gründen der Vorsorge empfohlen, lärmbedingte Schlafstörungen und -Veränderungen weitgehend zu vermeiden. Diese Sicht wird von der WHO bei ihren Empfehlungen zu Geräuschrichtwerten geteilt: So sollen die Mittelungspegel in Schlafräumen für Geräusche von außen 30 dB(A), die Maximalpegel 45 dB(A) nicht übersteigen. Auch in bestehenden rechtlichen Regelungen, wie z.B. der TALärm, der 18.BImSchV sowie in der Verkehrslärm-Schutzmaßnahmenverordnung geht der vorgesehene Schutz über die Vermeidung von Aufwachreaktionen hinaus. Auf ein solches, schärferes Schutzziel stellt z. B. die VDI-Richtlinie 2719 ab, die als Anhaltswerte für Innenschallpegel für Schlafräume in Wohngebieten mittlere Spitzenpegel von 40 dB(A) nennt.

### **Sozialpsychologische Untersuchungen über Schlafstörungen durch Fluglärm**

In sozialpsychologischen Untersuchungen werden die Auswirkungen des Lärms durch Befragungen ermittelt. Hierbei können Kurzzeit- und Langzeitauswirkungen erfasst werden. In diese Untersuchungen werden große Bevölkerungsgruppen einbezogen. Man erhält dadurch einen repräsentativen Überblick, wie die Betroffenen den Fluglärm erleben, in welchem Maße sie unter Fluglärm leiden und welche Folgen sie ihm zurechnen. Diese Angaben werden der objektiven Geräuschbelastung gegenübergestellt, die zumeist für jeweils eine Gruppe von Befragten an einem repräsentativen Messpunkt außerhalb der Wohngebäude bestimmt wird. Kritisch ist anzumerken, dass unbewusst ablaufende Reaktionen (z. B. Schlaf tiefenänderungen) nicht abgefragt werden können. Andererseits können auch anderweitig bedingte Schlafstörungen der untersuchten Geräuschquelle "angelastet" werden.

Eine umfassende Studie über Schlafstörungen durch Fluglärm wurde Ende der 70er Jahre in der Umgebung der Londoner Flugplätze Heathrow und Gatwick durchgeführt (DORA 1980). Sie umfasst mehr als 3000 schriftliche Interviews in 22 Gebieten mit unterschiedlich starker Fluglärmbelastung. Die objektiven Belastungsdaten wurden durch nächtliche Dauermessungen über mindestens 16 Tage erhoben. Die mittleren Überflughäufigkeiten reichten bis zu 40 pro Nacht (23 bis 7 Uhr). Spitzenpegel erreichten bis 106 dB.

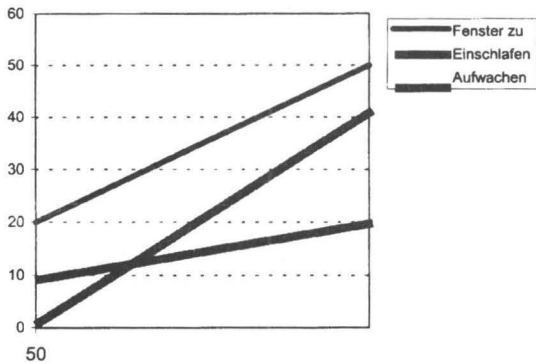
Die im Interview gestellten Fragen über Schlafstörungen bezogen sich zum einen auf die zurückliegenden drei Monaten, zum andern auf die Nacht vor dem Interview.

Wie in den meisten sozialwissenschaftlichen Befragungsstudien erwies sich der Mittelungspegel als die akustische Belastungsgröße, die am engsten mit den angegebenen Schlafstörungen zusammenhängt. Variablen, die nur auf den Spitzenpegel oder nur auf die Häufigkeit abstellen, korrelierten deutlich schwächer mit den Störungen:

Der Anteil der Befragten, die das Fenster nachts geschlossen hielten, stieg mit dem Mittelungspegel an, von ca. 20% bei 50 dB(A) außen auf 50% bei 70 dB(A) außen.

60 bis 70% der Befragten hatten aus verschiedensten Gründen in den zurückliegenden Monaten nahezu unabhängig von der Fluglärmsituation Einschlaf-

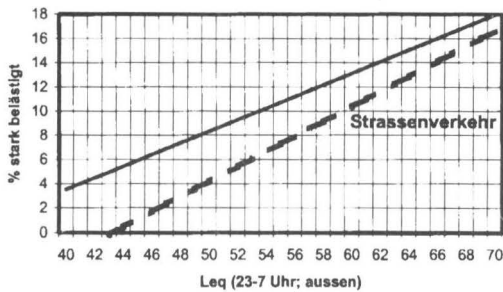
schwierigkeiten. Fluglärmbedingte Einschlafschwierigkeiten dagegen nahmen mit dem  $L_{eq}$  stark zu, von ca. 20% bei 57 dB(A) auf ca. 40% bei 70 dB (A).



Ähnliche Ergebnisse zeigen sich beim Aufwachen: Bezogen auf die zurückliegende Nacht gaben bei einem  $L_{eq}$  von 50 dB(A) ca. 10 % und bei 70 dB(A) ca. 20 % an, durch den Fluglärm geweckt worden zu sein.

Das Health Council der Niederlande, 1994 (Miedema 1992) hat sich mit der Thematik der lärmbedingten nächtlichen Belästigungen beschäftigt und beschreibt folgenden Zusammenhang von nächtlicher Fluglärmbelastung und Belästigungsreaktion:

Nächtl. Belästigung Flug / Strasse



Es ist ersichtlich, dass nächtlicher Fluglärm hinsichtlich seiner Belästigungswirkung - hier als Anteil stark Belästigter operationalisiert - den Straßenverkehrslärm übertrifft; also mit einem Malus zu versehen wäre.

Oberhalb eines  $L_{eq}$  von 45 bis 50 dB(A) nachts, - außerhalb der Gebäude - werden fluglärmbedingte Beeinträchtigungen beobachtet und die Betroffenen ergreifen Schutzmaßnahmen. Dieser Wert entspricht in etwa den Orientierungswerten

der DIN 18005 Teil 1 (Beiblatt) für eine angemessene Berücksichtigung des Schallschutzes für Gebiete mit Wohnnutzungen in der städtebaulichen Planung.<sup>11</sup>

Es lässt sich feststellen, dass bei Außenpegeln, die oberhalb der Orientierungswerte der DIN 18005 Teil 1 liegen, mit signifikanten Reaktionen der Betroffenen zu rechnen ist.

Bezüglich der Störungen des Nachtschlafes lässt sich folgendes festhalten:

Einzelereignisse oberhalb 50 dB(A) ( $L_{\max}$ , innen) führen zu Veränderungen des Schlafablaufes bzw. zum Aufwachen.

Bei Dauerschallpegeln ( $L_{eq} < 30$  dB(A), innen) dürfte ein weitgehend ungestörter Nachtschlaf noch möglich sein.

Bei Dauerschallpegeln ( $L_{eq} > 50$  dB(A), außen) ist mit zunehmenden Belästigungserleben der Betroffenen zu rechnen.

---

<sup>11</sup> In dem Entwurf vom 21. 6. 1999 zur Lärmschutzverordnung der Schweiz werden in Art. 39 (Grundsätze) weitgehende Nachtflugbeschränkungen vorgesehen.

# Extraaurale Gesundheitsschäden: Psychiatrisch relevante Störungen bei Kindern

Ältere Untersuchungsergebnisse zu fluglärmbedingten psychiatrischen Auswirkungen sind beispielsweise oft wegen fehlender Angaben zur Belastung schwer zu interpretieren, weisen aber daraufhin, dass diese Störungen außerordentlich schwierig zu untersuchen sind.<sup>12</sup>

In der Diskussion über die Auswirkungen der militärischen Tiefflugaktivitäten ist immer wieder auf die Möglichkeit von Verhaltensauffälligkeiten bzw. psychosomatischen Erkrankungen von Kindern hingewiesen worden. Poustka und Mitarbeiter (1990) haben in einer epidemiologischen Studie psychiatrisch relevante Störungen, psychophysiologische Reaktionen und psychosoziale Hintergrundbelastungen bei über 370 Kindern im Alter von 4 bis 16 Jahren in Tieffluggebieten mit unterschiedlicher Tiefflugaktivität erfasst. Wesentliche gesundheitliche Beeinträchtigungen konnten nicht festgestellt werden. Sie fanden in den Teil-Untersuchungsgebieten mit höherer Tieffluglärmbelastung (Mindestflughöhe 75 m) jedoch signifikant höhere Werte bei Angstsyndromen und tendenziell höhere psychophysiologische Aktiviertheit gegenüber den Teil-Untersuchungsgebieten mit geringerer Tieffluglärmbelastung (Mindestflughöhe 150 m).

12

Abey-Wickrama et al 1969	Retrospektive Studie. Untersucht wurden psychiatr. Einweisungen in Psychiatr. Krankenhäuser von London. Im lauten Gebiet (100 PNdB / NNI > 55) signifikant höhere Einweisungsraten. Besonders über 45 jährige getrennt lebende Frauen waren betroffen.
Meecham Smith 1977	Zwei Untersuchungsgebiete: hoch belastet: 90 dB(A) = 103 PNdB. Nicht signif. höhere Anzahl von psychiatr. Störungen (128 von 100.000 Fällen im lauten Gebiet; 99 von 100.00 im Kontrollgebiet. Deutliche Unterschiede (Einkommen, Anteil Schwarze) in den beiden Gebieten.
Jenkins et al 1979 1981	Zwei Untersuchungsgebiete: hoch belastet: >50 NNI in der Umgebung von Heathrow Airport. Untersuchten psychiatr. Einweisungen. Fanden im hoch belasteten Gebiet weniger Einweisungen (im lauten Gebiet günstigere soziodemogr. Bedingungen). Fanden allerdings (1981) auch den entgegengesetzten Trend.
Kryter 1990	Reanalysierte die Daten von Jenkins et al 1981. Mit Hilfe multipler Korrelationsanalysen fand K., dass sozioökonom. Faktoren und Lärmbelastung mit Hospitalisierungsrate hoch korreliert ist.
Knipschild Oudshoorn 1977	Keine großen Unterschiede des Konsums von Hypnotika, Sedativa etc. zwischen lauten und leisen Gebieten. Mit Beginn der Fluglärmbelastung nahm Konsum zu, nahm bei Rückgang der Flugbewegungen wieder ab.

## **Zusammenfassung: Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit**

Gesundheitliche Beeinträchtigungen können bei folgenden Fluglärmbelastungen auftreten bzw. müssen befürchtet werden:

1. Aurale Schädigungen durch Fluglärmwirkungen bei Belastungen oberhalb von 70 dB(A)  $L_{eq}$  (24h), außen.
2. Herz-Kreislauf-Erkrankungen können oberhalb von etwa 65 dB(A) ( $L_{eq}$  16h, außen) nicht mehr ausgeschlossen werden.
3. Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Störungen des Nachtschlafs sind bei Einzelereignissen mit Pegeln über 50 dB(A) ( $L_{max}$ , innen) und / oder bei nächtlichen Dauerschallpegeln oberhalb 30 dB(A) ( $L_{eq}$ , 8h) zu befürchten.
4. Bei Dauerschallpegeln ( $L_{eq}$  > 50 dB(A), außen) ist mit zunehmenden Belastungserleben der Betroffenen zu rechnen.

## Beeinträchtigung und Belästigung durch Fluglärm

Geräusche können in vielfältiger Weise die Lebensbedingungen beeinträchtigen. Betroffen sind vor allem die Kommunikation (Gespräche, Telefonieren, Medien-nutzung), die Erholung und Entspannung innerhalb der Wohnung, aber auch im Außenwohnbereich, konzentriertes geistiges Arbeiten, das psychische Befinden (Verärgerung und Unmut bei ständigen unerwünschten Geräuschen, Erschrecken und Angst bei plötzlichen, lauten oder knallartigen Geräuschen) und die Wohn-nutzung (Verzicht auf Garten- oder Balkonnutzung, die Notwendigkeit, Fenster geschlossen zu halten oder leise Räume aufzusuchen). Diese und andere Beein-trächtigungen tragen ganz wesentlich zur Belästigung der Betroffenen bei.

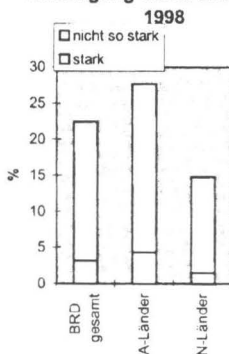
Belästigung durch Lärm ist der wichtigste Indikator für die Entscheidung, welche Geräuschbelastungen als erheblich oder unzumutbar angesehen werden müssen. Der Belästigung durch Lärm kommt deshalb im Rahmen des BImSchG eine Schlüsselrolle zu, da mit ihr sowohl Schutzkriterien als auch Vorsorgekriterien abgeleitet und konkretisiert werden. Kutscheidt (1993), Richter am Verwaltungsge-richt Köln, verdeutlicht dies:

*„Das Bundes-Immissionsschutzgesetz definiert in § 3 auch solche Geräuschim-missionen unterhalb der Gefahrenschwelle als schädliche Umwelteinwirkungen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, erhebliche Belästigungen für die Nachbarschaft herbeizuführen ... Es schützt daher, wie das Bundesverwaltungs-gericht festgestellt hat, nicht nur die "körperliche Unversehrtheit in biologisch-physiologischer Hinsicht, sondern schließt das körperliche und seelische Wohlbefinden im Sinne einer menschenwürdigen Lebensqualität" ein. Die amtliche Be-gründung zu § 3 BImSchG bemerkt dazu: Belästigungen sind Beeinträchtigungen des körperlichen und seelischen Wohlbefindens des Menschen. Der Übergang zwischen Belästigungen und Gesundheitsgefahren ist fließend. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz und ihm folgend andere Gesetze und Regelwerke enthe-ben uns damit der Notwendigkeit, bei der Einstufung von Lärm als schädlich eine Gesundheitsgefährdung im engeren Sinne feststellen zu müssen.“*

Fluglärm hat große Bedeutung als Ur-sache für Belästigungen. Repräsen-tativen Befragungen zufolge ist der Flug-verkehr in Deutschland nach dem Straßenverkehr die Hauptursache für Belästigungen. Stark belästigt durch Flugverkehr wurden 1998 3,2% der Bevölkerung. Nicht so stark belästigt wurden 19,3%. Die Einwohner der alten Bundesländer litten dabei häufi-ger unter Fluglärm als die Bewohner der neuen Bundesländer, wie die Ab-bildung zeigt.

Im Jahr 2000 wurde die Belästigung der Bevölkerung durch Fluglärm unter Verwendung einer international abge-stimmten Frage<sup>13</sup> erhoben.

Belästigung durch Luftverkehr



Umweltbundesamt, FG II 2.5; 2000

<sup>13</sup> Die Frage lautet: Wenn Sie einmal an die letzten 12 Monate hier bei Ihnen denken, wie stark fühlen Sie sich persönlich, also in Ihrem eigenen Wohnumfeld, von folgenden Dingen gestört oder belästigt?

Hierbei ergab sich:

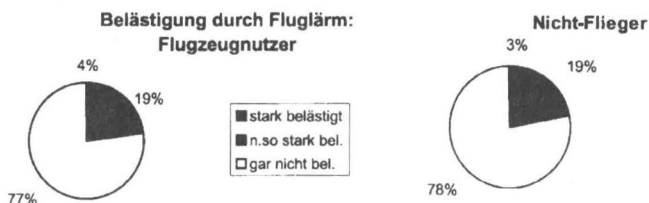
Reaktion	äußerst gestört und belästigt	stark gestört und belästigt	mittelmäßig gestört und belästigt	etwas gestört und belästigt	überhaupt nicht gestört und belästigt
Anteil der Befragten (%)	2	3	9	17	69

Lokale Unterschiede im Luftverkehr und Zufallseinflüsse dürften wohl für die unterschiedlich ausgeprägten Belästigungsurteile in den 16 Bundesländern, wie sie die folgende Tabelle ausweist, verantwortlich sein:

Belästigung durch Fluglärm	Anteil belästigter Einwohner in %
Bundesland	Befragungsjahr: 1998
Bremen	7,7
Sachsen	8,5
Brandenburg	11,4
Saarland	14,3
Sachsen-Anhalt	14,5
Schleswig-Holstein	15,2
Thüringen	16,4
Mecklenburg-Vorpommern	18,2
Baden-Württemberg	18,8
Nordrhein-Westfalen	25,1
Niedersachsen	26,4
Bayern	28,7
Hessen	33,6
Berlin	38,5
Hamburg	41,2
Rheinland-Pfalz	44,0


 Umweltbundesamt, FG II 2.5; 2000

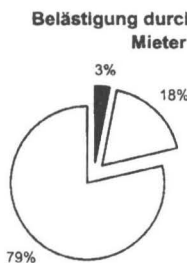
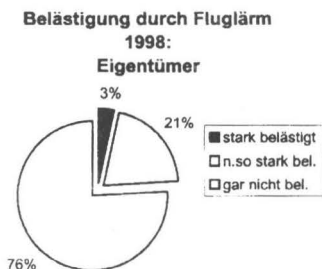
Belästigungsurteile bilden sich im allgemeinen aus längerfristigen Erfahrungen in und mit der Belastungssituation aus. Sie variieren individuell stark (z. B. aufgrund von Persönlichkeitsmerkmalen oder Einstellungen) und werden von situationsspezifischen Einflüssen (z. B. Tätigkeiten, gesamte Alltagssituation, physischer und psychischer Zustand) beeinflusst. Den Befragungsergebnissen zufolge scheinen sich Nutzer von Flugzeugen und Nichtnutzer hinsichtlich ihres Belästigungserlebens - entgegen den Erwartungen bezüglich zu unterstellender unterschiedlicher Einstellung zur Geräuschquelle - in Deutschland nicht zu unterscheiden, wie die nachfolgende Abbildung zeigt.




 Umweltbundesamt, FG II 2.5; 2000; Datenbasis 1998

Eine moderierende Wirkung durch das eigene Nutzungsverhalten ist nicht zu verzeichnen. Wohnungs- und Hauseigentümer sind im Vergleich zu Mietern möglicherweise weniger mobil, können dem Fluglärm somit schwerer ausweichen und

es wäre deshalb zu vermuten, dass die erlebte Belästigung durch Fluglärm hierdurch beeinflusst wird. Ein solcher Effekt lies sich jedoch in den Befragungen von 1998 nicht finden: Jeweils zu drei Prozent geben Eigentümer und Mieter eine starke Belästigung durch Fluglärm an.



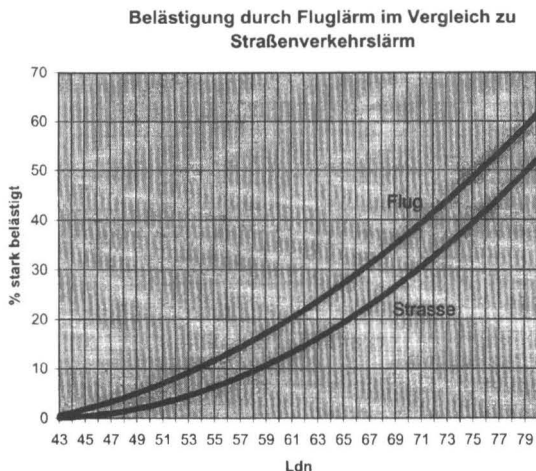
Umweltbundesamt, FG II 2.5; 2000; Datenbasis 1998

Die Befragungsergebnisse könnten dahin gehend gedeutet werden, dass der Fluglärm möglicherweise durch seine „physikalische Dominanz“ zu einem Belästigungserleben führt, das derzeit in Deutschland wenig durch Einstellungen o.ä. moderiert zu werden scheint.

Das mittlere Belästigungsurteil einer größeren Betroffenenengruppe hängt von der Stärke, Dauer und Häufigkeit der Geräuscheignisse ab. Zusätzlich können Geräuschmerkmale wie Ton-, Impuls- und Informationshaltigkeit sowie der Zeitpunkt der Geräuscheinwirkungen (z. B. innerhalb oder außerhalb der Ruhezeiten morgens oder abends) das Ausmaß der Belästigung bestimmen. In den eingeführten Regelwerken zur Lärmbeurteilung<sup>14</sup> dient vor allem der Mittelungspegel während der Tagesstunden bzw. Nachtstunden als Geräuschenngroße, die die Stärke, Dauer und Häufigkeit der Geräuscheignisse zusammenfassend kennzeichnet. In den Untersuchungen zum Belästigungserleben durch Lärm ergeben sich i.d.R. mehr oder weniger stringente Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen akustischer Belastung - zumeist durch Mittelungspegel beschrieben - und Belästigungsreaktion. Nach den Ergebnissen zahlreicher sozialwissenschaftlicher Lärmwirkungsstudien ist der an den Wohnungen der Betroffenen ermittelte Mittelungspegel nicht nur bei Dauergeräuschen (z.B. entfernte Autobahn, Industrie/Gewerbe), sondern auch bei Geräuschen, die sich aus zahlreichen Einzelereignissen zusammensetzen (Schienenverkehr, Flugverkehr an Verkehrsflughäfen, Schießanlagen), ein geeigneter Prädiktor für das durchschnittliche Belästigungsurteil der Betroffenen. Das Ausmaß der Belästigung hängt von der Art der Lärmquelle ab. Der Interdisziplinäre Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1990) hat die vorliegenden Ergebnisse wie folgt zusammengefasst: *„...im Bereich höherer Belastungsstufen liegen die Belästigungsbefunde im allgemeinen bei Wohn-, Gewerbe- und Fluglärm (insbesondere militärischem Fluglärm) vergleichsweise höher als bei Straßenverkehrslärm gleichen Mittelungspegels.“*

<sup>14</sup> Verkehrslärmschutzverordnung, 16. BImSchV, Sportanlagenlärmschutzverordnung, 18. BImSchV, Technische Anieitung Lärm - TALärm, Allgemeine Verwaltungsvorschrift Baulärm, DIN 18005 Teil 1 "Schallschutz im Städtebau"

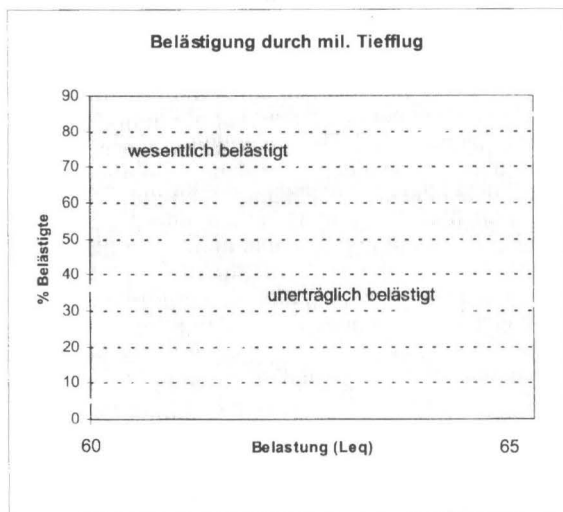
Das niederländische Health Council (1994) hat Daten veröffentlicht, nach denen der Fluglärm im Vergleich zum Straßenverkehrslärm mit einem Malus von rund 5 dB zu beaufschlagen wäre.



Im Gegensatz dazu hat Oliva (Oliva et al., 2000) in seinen Untersuchungen zur Belästigung durch Fluglärm in der Schweiz einen Fluglärm-Bonus bei den Antworten zur Störung in der Wohnung gefunden. Worauf diese abweichenden Ergebnisse zurückzuführen sind, bedarf weiterer Analysen.

Auch im Luftverkehr können unterschiedliche Beeinträchtigungen das Belästigungserleben dominieren. Im Hinblick auf militärischen Tieffluglärm ist vor allem von Bedeutung, dass nach verschiedenen Studien enge Zusammenhänge zwischen Schreck- und Angstreaktionen und sehr starken Belästigungen bestehen. In der Studie des Bundesgesundheitsamtes (Ising et al. 91) wurden in verschiedenen Orten in einem Tieffluggebiet mit einer Mindestflughöhe von 75m (in der Tiefflug-Area 7) und zwei unterschiedlich stark belasteten Tieffluggebieten mit einer Mindestflughöhe von 150 m (Vorderpfalz bzw. Umgebung der Area 7) Belastungserhebungen und Befragungen zur Belästigung durchgeführt. Hierbei hatten die Betroffenen auf einer 6-Punkte-Skala (0: stört überhaupt nicht, ..., 5: stört unerträglich) das Ausmaß ihrer Belästigung anzugeben. Als Ergebnis zeigte sich, dass der Prozentsatz der wesentlich Belästigten (Belästigungsstufe 3, 4 oder 5 auf der o. g. Skala) linear mit dem Mittelungspegel (für eine Beurteilungszeit von 30 Kalendertagen) ansteigt. In den am geringsten belasteten Orten mit einem Mittelungspegel tags von 60 dB(A) (Umland Area 7) lag der Prozentsatz der wesentlich Belästigten bei ca. 36 % (ca. 5 % gaben an, unerträglich belästigt zu sein). Bei den höchsten Belastungen (Mittelungspegel ca. 66 dB(A)) waren 85 % der Befragten wesentlich belästigt (ca. 32% unerträglich belästigt). In den untersuchten Ortschaften der Vorderpfalz wurden bei 63,5 dB(A) ca. 74 % wesentlich Belästigte (davon 28 % unerträglich belästigt) ermittelt. Die Zunahme der Angaben "sehr stark belästigt" und "unerträglich belästigt" korrespondierte mit der Zunahme der sehr lauten Überflüge mit Pegeln über 100 dB(A) sowie der Zahl der Überflüge mit Pegelanstiegsgeschwindigkeiten über 60 dB(A)/s, so dass insbesondere die Zu-

nahme der Schreck- und Angstreaktionen verursachenden Ereignisse vermutlich für die extreme Beurteilung verantwortlich zu machen sind.



Ein Vergleich dieser Belästigungsangaben mit Angaben zu Fluglärm an Verkehrsflughäfen, wie sie in der Richtlinie VDI 3722 Blatt 1 angegeben sind, zeigt, dass in den hochbelasteten Tieffluggebieten ein Belästigungsausmaß besteht, das an Verkehrsflughäfen erst bei 20 dB(A) höheren Pegeln zu erwarten (Tiefflugmalus von 20 dB(A)) ist. Dieser Maluswert nimmt aber bei niedrigeren Mittelungspegeln ab. Bei Werten unter 60 dB(A) wird etwa das gleiche Belästigungsausmaß erreicht wie bei Fluglärm an Verkehrsflughäfen.

Bei Vergleichen von militärischen Flugplätzen und Verkehrsflughäfen fanden Holzmann et al. (1982), dass im hier besonders interessierenden mittleren Belastungsbereich ( $L_{Am}$  60 - 66 dB; tagsüber) die durch Fluglärm ausgelösten Lärmwirkungen für militärischen und zivilen Luftverkehr vergleichbar sind. Hierbei ist zu bedenken, dass diese weitgehend vergleichbare Belästigungswirkung darauf zurückgeführt werden kann, dass beim militärischen Flugbetrieb im Gegensatz zum zivilen Luftverkehr werktags ein wesentlich früherer Betriebsschluss (18 Uhr vs. 23 Uhr) und weitgehend betriebsfreie Wochenenden an militärischen Flugplätzen gegeben sind. Den Ergebnissen dieser Studie zufolge könnte eine weitgehende Gleichbehandlung von militärischen Flugplätzen und zivilen Flughäfen nur unter Berücksichtigung dieser betrieblichen Randbedingungen erfolgen.<sup>15</sup>

Bei der Formulierung von Qualitätszielen ist weiterhin zu bedenken, dass die Lärmwirkungen (tagsüber) je nach Tageszeitbereich bzw. aktueller oder aktuell intendierter Tätigkeit unterschiedlich stark ausfallen können. Guski (1989) berichtet, dass beispielsweise die frühen Abendstunden eine besonders sensible Zeit

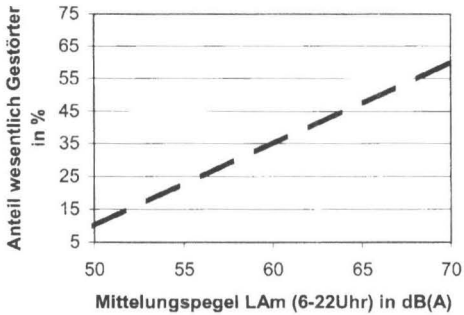
<sup>15</sup> Eine zusätzliche Berücksichtigung der flugfreien Wochenenden oder des früheren Betriebsschlusses im Beurteilungsverfahren verbietet sich deshalb. Wenn statt des  $L_{eq}$  tags (16h) eine Beurteilungsgröße, die 24 Stunden umfasst, die 4 Abendstunden mit einem Zuschlag von 5 dB und 8 Nachtstunden mit einem Zuschlag von 10 dB beaufschlagt, gewählt würde, ergäbe sich eine doppelte Berücksichtigung dieser Einflüsse und ein aus Lärmwirkungsicht nicht begründeter „Bonus“ für den militärischen Flugverkehr in Höhe von mindestens 3 dB (was einer Halbierung der Flugbewegungen entsprechen könnte).

darstellen könnten: In seinen Untersuchungen ist zu beobachten, dass in diesem Zeitabschnitt die Wahrnehmung von störenden Geräuschen und die erlebte Belästigung höher als zu anderen Tageszeiten korreliert sind. Logischerweise hängt die Wahrnehmungswahrscheinlichkeit störender Geräusche im nahen Wohnumfeld von der Aufenthaltswahrscheinlichkeit ab. Da in dieser Arbeit keine saubere Trennung zwischen objektiver Geräuschbelastung einerseits und Wahrnehmung von störenden Geräuschen und resultierender subjektiver Lärmbelästigung andererseits möglich war, bleibt offen, ob tatsächlich die Belästigungsreaktion in den Abendstunden stärker ausfallen und deshalb diese besonders zu schützen wäre. Auch Finke et al. (1980) beobachteten Zeiten, in denen vermehrt von Störungen durch Verkehrsgereusche berichtet wird. Finke et al. schlussfolgern, dass die Aussagen der Betroffenen weniger von der momentanen akustischen Situation determiniert werden, sondern vielmehr von der generellen Bewertung der Lärmbelästigung durch die jeweilige Lärmquelle. Folgerichtig können sie zeigen, dass die Einführung von Zuschlägen für den Abendzeitraum im Grunde keinen nennenswerten Einfluss auf die Ausprägung der Korrelation zwischen akustischer Belastungsgröße und Belästigungsreaktion hat, also keine Verbesserung der Varianzaufklärung bedeutet.

Die Frage, ab welcher Belastung Belästigungen im Sinne des BImSchG als erheblich zu werten sind, kann nicht ausschließlich seitens der Lärmwirkungsforschung beantwortet werden. Zum einen hat sich herausgestellt, dass die Belästigungen und Beeinträchtigungen mit zunehmender Belastung (Stärke, Dauer, Häufigkeit) keine markanten Sprünge aufweisen sondern kontinuierlich ansteigen, zum anderen sind derartige Zumutbarkeitsgrenzen eher soziale und politische Setzungen, die zudem eine Güterabwägung mit anderen gesellschaftlichen Wertstellungen erfordern, als empirische, mit wissenschaftlichen Methoden auffindbare Sachverhalte. Dies ist u. a. auch daran erkennbar, dass sich vorliegende Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Erlasse, in denen bisher Immissionsgrenz- oder -richtwerte zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche festgelegt worden sind, nicht auf einheitliche Wirkungsmaßstäbe stützen. Da sich die Beurteilungsverfahren in den quellspezifischen Regelwerken unterscheiden (teilweise werden quellspezifische Lästigkeitsunterschiede durch Zu- oder Abschläge berücksichtigt - 16. BImSchV; teilweise drücken sich Lästigkeitsunterschiede in unterschiedlichen Richtwerten aus - DIN 18005 Teil 1 (Orientierungswerte nachts), kann nicht davon ausgegangen werden, dass bei gleichem Beurteilungspegel auch mit der gleichen Belästigungswirkung zu rechnen ist. Vielmehr können erhebliche quellspezifische Unterschiede bestehen, die zudem von der Höhe der Belastung abhängen. Daher lassen sich Beurteilungsverfahren und zugehörige Immissionsrichtwerte nicht schematisch auf andere Lärmquellen übertragen. Jedoch lassen die für verschiedene Lärmquellen festgelegten Immissionsrichtwerte Abschätzungen und Vergleiche zum Schutzniveau in Bezug auf das Ausmaß von Belästigungen zu.

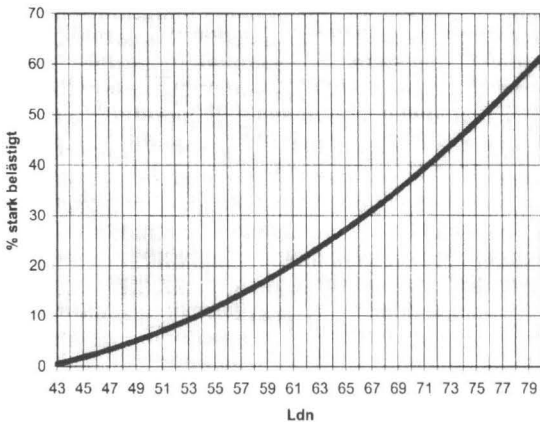
In der Richtlinie VDI 3722 Blatt 1 "Wirkungen von Verkehrsgereuschen" sind Dosis-Wirkungskurven für verschiedene Verkehrsgereusche angegeben, die einen Zusammenhang zwischen den an der Wohnung gemessenen Mittelungspegeln und dem Prozentsatz der Betroffenen beschreiben, die sich in dieser Belastungssituation wesentlich gestört fühlen:

Zusammenhang zwischen dem Prozentsatz  
der durch Fluglärm tags wesentlich Gestörten  
und dem Mittelungspegel L<sub>Am</sub>  
(6-22Uhr, außen; nach VDI 3722)



Auch das Health Council der Niederlande, 1994 hat sich mit der Thematik der lärmbedingten Belästigungen beschäftigt und beschreibt folgenden Dosis-Wirkungszusammenhang von Fluglärmbelastung ( $L_{dn}$ ) und Belästigungsreaktion:

**Belästigung durch Fluglärm**



Maschke (1996, Anhang B, S.95) koppelt die Zumutbarkeitsgrenze der Belästigung durch Fluglärm an den Pegel, bei dem 25% der Betroffenen stark belästigt werden. Seine diesbezüglichen Literaturrecherchen ergaben: „...Danach ist ein 24h Dauerschallpegel von 55-60 dB(A) außen als gerade noch zumutbar zu betrachten. Zur Berechnung der zumutbaren Pegel in den einzelnen Zeitbereichen, ist es erforderlich, einen Einzahlwert und kein Intervall anzugeben. Als Einzahlwert legen wir einen  $L_{eq,24h}$  von 60 dB(A) fest.“ Kritisch ist zu dem Ansatz von Masch-

ke einzuwenden, dass das von ihm gewählte „25%-Kriterium“ aus den Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung selbst nicht ableitbar ist, sondern eine willkürliche Festsetzung darstellt. Maschkes Präferenz für den Wert 60 dB(A) ist ebenfalls nicht nachvollziehbar. Zu bedenken wäre hierbei weiterhin, dass der Schutz vor Lärm bei Anwendung dieses Kriteriums für empfindlichere Personengruppen über die 25%-Grenze hinaus fraglich wäre.

Nach Analyse und Abwägung der vorliegenden Studien zur Belästigung durch Lärm lassen sich die Erkenntnisse wie folgt zusammenfassen:

Tags ist bei Mittelungspegeln ( $L_{eq}$ ; 16h; außen) oberhalb 55 dB(A) mit zunehmenden Belästigungsreaktionen zu rechnen. Dieser Wert ist in Analogie zu den Immissionsgrenzwerten der 16. BImSchV zu sehen, d.h. auch er orientiert sich an den Zielsetzungen des BImSchG.

Es darf allerdings nicht übersehen werden, dass auch bei dieser Belastung ein nicht unerheblicher Teil der Bevölkerung trotzdem stark belästigt wäre.

Ausprägung der Belästigung durch Fluglärm	bei Geräuschbelastungen $L_{eq}(3)$ -außen-	
	Tag (16 h)	Nacht (8 h)
keine oder geringe Belästigung	< 50 dB(A)	< 40 dB(A)
Belästigung	> 50 dB(A)	> 40 dB(A)
erhebliche Belästigung (§3BImSchG)	> 55 dB(A)	> 45 dB(A)

## Kommunikationsstörungen

Kommunikationsstörungen entstehen, wenn der gewünschte Schall (z. B. Sprache) durch den unerwünschten Schall (Lärm) ganz oder teilweise verdeckt wird bzw. höhere Anstrengungen vom Sprecher gefordert werden. Die Sprachverständlichkeit lässt sich anhand der Sprechweise, des Abstandes zwischen Sprecher und Hörer sowie des Störgeräuschpegels vereinfacht abschätzen (Int. Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen, 1985): Außerhalb von Gebäuden ist mit Störungen der Kommunikation am Tage bei Mittelungspegeln oberhalb etwa 50 / 55 dB(A) zu rechnen.

Schärfere Anforderungen für eine ungestörte Kommunikation formuliert der Arbeitskreis innerhalb von Räumen: Für normalhörende Erwachsene besteht in Räumen üblicher Größe und Möblierung eine gute Sprachverständlichkeit, wenn bei entspannter Sprechweise der Störgeräuschpegel unter 40 dB(A) liegt.<sup>16</sup> Im Gegensatz zu der Kommunikation im Freien soll nach Ansicht des Arbeitskreises sichergestellt werden, dass hier Anhebungen der Sprechlautstärke zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit nicht erfolgen müssen.

## Maximalpegel vs. Mittelungspegel

Beurteilungsgrößen, die auf dem energieäquivalenten Dauerschallpegel basieren, sind geeignet, langfristige Wirkungen zu beschreiben, während mit Spitzen- oder Maximalpegeln Akutwirkungen besser beschrieben werden können. Aus diesem Grund wird häufig gefordert, insbesondere für den Fluglärm zusätzlich maximalpegelorientierte Richt- oder Grenzwerte im Sinne von Qualitätszielen zu formulie-

<sup>16</sup> Für Kinder werden schärfere Anforderungen empfohlen, so sollte beispielsweise in Schulräumen während des Unterrichts der Störgeräuschpegel 35 dB(A) nicht überschreiten und zur Gewährleistung einer optimalen familiären Kommunikation mit Säuglingen und Kleinkindern für die normale Sprachentwicklung Dauerpegelwerte um 30 dB(A) in Innenräumen eingehalten werden.

ren. Abgesehen von der Tatsache, dass im Rahmen von Belastungsprognosen Maximalpegel schwierig zu handhaben und dass in der derzeitigen Situation nicht für alle Wirkungsbereiche belastbare Maximalpegelkriterien ableitbar sind, ergibt sich überdies in Abhängigkeit vom  $L_{eq}$  zwangsläufig eine Maximalpegelbegrenzung, die u.a. von der Einwirkdauer des einzelnen Geräusches und von seiner Häufigkeit abhängt. Aus diesen Gründen scheint eine generelle Festlegung von Maximalpegeln für den Außenbereich nicht zwingend geboten zu sein.

## Dimensionierung des baulichen Schallschutzes zum Schutz gegen Fluglärm

Da beim Flugverkehr meist keine „aktiven“ Maßnahmen zur Reduzierung der Belastung realisiert werden sondern lediglich auf „passive“ Maßnahmen, also baulichen Schallschutz, zurückgegriffen wird, steht die Frage nach der „richtigen“ Dimensionierung der Außenhaut der Gebäude im Vordergrund. Die Tatsache, die Fenster zum Schutz gegen den Außenlärm geschlossen halten zu müssen, dürfte wohl mit gemischten Gefühlen auf der Seite der Betroffenen einhergehen<sup>17</sup>. Besonders problematisch ist in dieser Situation unzureichender Schallschutz, d.h. trotz geschlossener Fenster dringen immer noch Geräusche von außen ein, was stört und belästigt.

Die Verständlichkeit gesprochener Sprache hängt bekanntlich neben dem gegebenen Signal-Noise-Verhältnis unter anderem auch von den spektralen Eigenschaften des Störgeräusches ab. Durch Außenbauteile gefiltert eindringender Schall weist im Gegensatz zum Originalgeräusch (außen) ein verändertes Spektrum auf, das für die Beurteilung der Kommunikationssituation zu berücksichtigen ist. Das Umweltbundesamt (Kötz et al. 2000) hat untersucht, bei welchen Innenpegeln eine ungestörte Kommunikation bei Vorbeiflügen von Strahlflugzeugen noch möglich ist. Für eine erste Untersuchung des notwendigen baulichen Schallschutzes zur Vermeidung von Kommunikationsstörungen wurden Überflugspektren bei Start und Landung von 13 strahlgetriebenen Passagierflugzeugen und 7 gängige Fensterkonstruktionen der Schallschutzklassen 2 - 5 verwendet.

Zugrundegelegt wurde eine entspannte Sprechweise und ein in Wohnräumen häufig auftretender Sprecher - Hörer - Abstand von zwei Metern. Für jedes Überflugspektrum (13 Starts und 13 Landungen; s. nachfolgende Abbildung der mittleren Spektren bei Start und Landung) und jede Fensterkonstruktion wurde ermittelt, wie hoch der Überflugspegel innen gerade noch sein darf, damit eine ungestörte

<sup>17</sup> Diesen Aspekt hat das Umweltbundesamt (Ortscheid, 2000) mit Hilfe einer Umfrage untersucht. 548 Kolleginnen und Kollegen des Umweltbundesamtes wurden per e-mail zu ihrer präferierten Fensterstellung im Schlafzimmer befragt und ob sie sich belästigt fühlen, wenn sie ihre präferierte Fensterstellung nicht realisieren können. Von den 548 Angesprochenen haben 250 auswertbar geantwortet, 6 lieferten keine auswertbare Antwort. 292 haben nicht reagiert. Somit ergab sich ein Brutto-Rücklauf von 46,7% bzw. ein Netto-Rücklauf von 45,6%. Der überwiegende Teil der Befragten (98%) würde, wenn er könnte, das Schlafzimmerfenster nachts geöffnet lassen. Von diesen würden 58% das Fenster am liebsten weit geöffnet halten.

Fensterstellung	N	%
geschlossen	5	2,0
spaltbreit geöffnet	103	41,2
weit geöffnet	142	65,8

Es besteht der Wunsch, die Fensterstellung selbst bestimmen zu können: nur rund ein Fünftel der Befragten würde nicht belästigt sein, wenn nicht selbst über Fensterstellung bestimmt werden könnte.

Belästigung	N	%
ja, belästigt	194	77,6
nein, nicht belästigt	52	20,8
k. A.	4	1,6

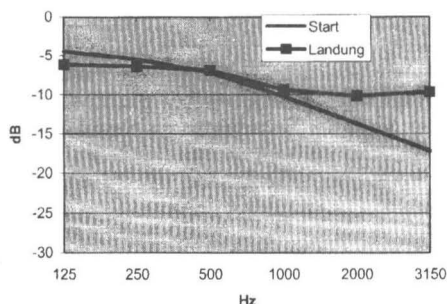
Kommunikation - definiert nach dem Artikulationsindex von Kryter in Höhe von  $AI = 0,5$ , was einer Einsilbervverständlichkeit von 75% entspricht - gewährleistet ist.

Bezogen auf dieses Kriterium ergab sich:

Bei den Landungen darf der Überflugpegel innen 42,6 dB(A) im Mittel - die Standardabweichung betrug 1,2 - nicht überschreiten, um eine ungestörte Kommunikation zu ermöglichen.

Bei den Starts kann der Überflugpegel innen 2 dB höher liegen; erst oberhalb von im Mittel 44,6 dB(A) - bei einer Standardabweichung von 1,4 - wurde der Artikulationsindex von  $AI = 0,5$  unterschritten.

**Relative Oktavpegel Start / Landung**



Fensterkonstruktionen		R'w (dB)
Einfachfenster mit Standard - Zweischeiben - Isolierverglasung		34
Einfachfenster mit höherdämmender Zweischeiben - Isolierverglasung		39
Einfachfenster mit Mehrscheiben - Isolierverglasung		44
Verbundfenster mit zwei Einfachscheiben		43
Alte Kastenfenster ohne Dichtung		33
Kastenfenster mit den konstruktiven Vorgaben der SSK 4 <sup>18</sup>		47
Kastenfenster mit den konstruktiven Vorgaben der SSK 5		49



Umweltbundesamt, FG II 2.5, 2000

Die Ergebnisse können als Innenraumkriterien zur Vermeidung von Kommunikationsstörungen bei Überflügen interpretiert werden.

Die nachfolgende Tabelle listet die resultierenden Innenraumkriterien, ergänzt durch die Innenraumpegelwerte zur Sicherstellung des ungestörten Nachtschlafes, auf. Sofern baulicher Schallschutz unumgänglich ist, sollte er sicherstellen, dass zum Schutz vor Beeinträchtigungen des Schlafes die Überflugpegel in den Wohnungen nachts deutlich unter 55 dB(A) liegen. Am Tage sollte zur Vermeidung von Kommunikationsstörungen gewährleistet werden, dass die Überflugpegel innerhalb von Wohnungen 40 dB(A) nicht wesentlich überschreiten:

Kriterien für den Schutz vor Fluglärm im Innenbereich:		Beurteilungsgröße Leq (3)	Überflugpegel
Vermeidung von Kommunikationsstörungen	Tag	< 35 dB(A)	≈ 40 dB(A)
Vermeidung von Schlafstörungen	Nacht	< 30 dB(A)	< 55 dB(A)

Aus der oben stehenden Tabelle lässt sich unter Berücksichtigung der örtlichen akustischen und baulichen Gegebenheiten die erforderliche Qualität des baulichen Schallschutzes ableiten.

<sup>18</sup> SSK = Schallschutzklasse

## Zusammenfassende Bewertung von Fluglärmbelastungen: Qualitätsziele

Zusammengefasst ergeben sich folgende Belastungsbereiche, die aus Sicht der Lärmwirkungsforschung im Sinne von Schwellenbereichen besonders beachtet werden müssen; dabei ist zu bedenken, dass im Falle von neuen oder wesentlich geänderten Flughäfen oder Flugplätze, sich die hier genannten Schwellenbereiche nach unten verschieben können.

Die Qualitätsziele zur Vorsorge und zum Schutz vor erheblichen Belästigungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen lassen sich wie folgt formulieren:

Bei Fluglärmbelastungen (außen) von **55dB(A)** tags und **45dB(A)**<sup>19</sup> nachts wird die Grenze zu erheblichen Belästigungen erreicht. Bei Fluglärmbelastungen deutlich unterhalb von 55 dB(A) tags und 45 dB(A) nachts dürften nennenswerte Beeinträchtigungen weitgehend ausgeschlossen sein<sup>20</sup>.

Bei Fluglärmbelastungen (außen) von **60dB(A)** tags und **50dB(A)** nachts sind Gesundheitsbeeinträchtigungen nicht mehr auszuschließen.

Bei Fluglärmbelastungen oberhalb (außen) **65dB(A)** tags und **55dB(A)** nachts sind Gesundheitsbeeinträchtigungen in Form von Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu erwarten. Gebiete mit diesen Belastungen sind grundsätzlich zum Wohnen ungeeignet.

Daraus leitet sich Folgendes ab:

Ab Fluglärmbelastungen oberhalb von 55 dB(A) tags bzw. 45 dB(A) nachts muss auf die Sicherstellung ausreichenden baulichen Schallschutzes gemäß Nutzung<sup>21</sup> geachtet werden; es können Entschädigungen<sup>22</sup> wegen verbleibender Beeinträchtigungen des Außenwohnbereichs notwendig werden; darüber hinaus ergeben sich Nutzungs- und Siedlungsbeschränkungen; so sind Gebiete mit Fluglärmbelastungen oberhalb (außen) 65 dB(A) tags und 55 dB(A) nachts grundsätzlich zum Wohnen ungeeignet.

---

<sup>19</sup>  $L_{Aeq}(3)$ ; 16 h tags; 8 h nachts.

<sup>20</sup> Unter der Berücksichtigung, dass es keine absoluten Schwellen für Beeinträchtigungen gibt, sind auch bei Unterschreitung dieser Werte in Einzelfällen Beeinträchtigungen möglich. Siehe hierzu auch die Ausführungen im Text vorn.

<sup>21</sup> Etwa analog 24. BImSchV oder VDI-Richtlinie 2719. Gebietsübergreifend einheitliche Innenpegel nach Nutzungsart sind anzustreben.

<sup>22</sup> etwa analog VLärmSchR 97

**Tabellarische Darstellung der Belastungsbereiche, unterhalb derer spezifische Wirkungen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht auftreten** <sup>23</sup>

<b>Schutzbereich:</b>	<b>Zeitbereich</b>	<b>Beurteilungsgröße: <math>L_{eq}</math> (3)</b>
<b>Außenbereich:</b>		
Vermeidung von Hörschäden	24 h	<b>&lt;70 dB (A)</b>
Vermeidung gesundheitlicher Beeinträchtigungen	Tag (16 h)	<b>&lt; 60 / 65 dB(A)</b>
	Nacht (8 h)	<b>&lt; 50 - 55 dB(A)</b>
Vermeidung von erheblichen Belästigungen (i.S. BImSchG) u. Beeinträchtigungen	Tag (16 h)	<b>&lt; 55 dB(A)</b>
	Nacht (8 h)	<b>&lt;45 dB (A)</b>
Vermeidung von Kommunikationsstörungen	Tag (16 h)	<b>&lt; 50 - 55 dB(A)</b>

Für Fluglärm lassen sich die im BImSchG genannten, aber inhaltlich nicht ausgeführten Schutzziele wie folgt konkretisieren:

**Fluglärmimmissionen am Tage von 50 dB(A) <sup>24</sup> und 40 dB(A) in der Nacht sind generell als unkritisch anzusehen. Diese Belastungen können zwar zu Belästigungen führen, in der Regel wird aber die Grenze zur**

**erheblichen Belästigung im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes bei Fluglärmbelastungen oberhalb von 55 dB(A) am Tage und 45 dB(A) in der Nacht erreicht.**

**Fluglärmimmissionen oberhalb 60/65 dB(A) am Tage und 50/55 dB(A) in der Nacht führen in der Regel zu nicht mehr tolerablen Belästigungen und weisen zudem die Gefahr gesundheitlicher Risiken auf.**

<sup>23</sup> Die Unterschiede, die beim Flugbetrieb im Einzugsbereich von Flughäfen, Flugplätzen und Landeplätzen zu verzeichnen sind, erschweren allerdings die Entwicklung einheitlicher Qualitätsziele außerordentlich.

<sup>24</sup> Jeweils  $L_{eq}(3)$

## Bibliographie

- Abel, S. M. (1990): The extra-auditory effects of noise and annoyance: an overview of research. *Journal of Otolaryngology Supplement* 1, 1-13.
- Abey-Wickrama, I., Brook, M. F., Gattoni, F. E. G. & Herdige, C. F. (1969): Mental hospital admissions and aircraft noise. *Lancet* II, 1275-1277.
- Alexandre, A. (1970): Prediction of annoyance due to noise around airports and speculations on the means of controlling it. *Anthropol. Appl. Doc. A. A.* 28/70
- Altena, K. & Beersma, D. G. M. (1993): Sleep, noise and immunosuppression. In: *Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2.* Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 575-578.
- Ando, Y. & Hatton, H. (1973): Statistical studies on the effects of intense noise during human fetal life. *Journal of Sound and Vibration* 27, 101-110.
- Ando, Y. & Hatton, H. (1974): Effects of aircraft noise during fetal and post-natal life in humans. *Practica Otologica, Kyoto* 67, 122.
- Andren, L. (1982): Cardiovascular effects of noise. *Acta Medica Scandinavica Supplement* 657, 1-45.
- Andren, L., Hansson, R., Eggertsen, R., Hedner, T. & Karlberg, B.E. (1983): Circulatory effects of noise. *Acta Medica Scandinavica* 213, 3, 1-35.
- Andren, L., Lindstedt, G., Bjorkman, M., Borg, K.O. & Hansson, L. (1982): Effects of noise on blood pressure and „stress“ hormones. *Clinical Science* 62, 137-141.
- Andrus, W.S., Kerrigan, M.E. & Bird, K.T. (1975): Hearing in para-airport children. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 46, 740-742.
- Arndt, D. (1995): In: Maschke, C., et al. *Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner*. Gustav Fischer Verlag Stuttgart; S. 127-129
- Bartels, K. (1989): Medizinische/psychosomatische Auswirkung von Tieffluglärm. *Kinder und Tiefflug. Dokumentation des Expertenforums zu den Auswirkungen des Tieffluglärms auf Kinder*. Bonn, 12. Juni, 18-22.
- Baxter, J. D., West, R. & Miller, A. (1989): Will the increased military low-level flying activity in Labrador be detrimental to the hearing of humans in the region? *Journal of Otolaryngology* 18, 68-73.
- Berglund, B., Berglund, U., Karlsson, J. & Lindvall, T. (Eds. 1995): *Performance, Behaviour, Animal, Combined Agents and Community Responses*. Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden. 103-108.
- Berglund, B., Lindvall, T. & Nordin, S. (1990): Adverse effects of aircraft noise. *Environmental International* 16, 315-338.
- Berglund, B., T. Lindvall (1995): *Community Noise*. Archives of the Center for Sensory Research, University and Karolinska Institute, Stockholm
- Berry, B.F. & Harris, A.L. (1990): Military aircraft noise prediction and measurement. In: *Proceedings of the Institute of Acoustics* 12(12), 19-26.
- Berry, B.F., Payne, R.C. & Harris, A.L. (1991): Noise levels of military aircraft at low altitude: exercise "Luce Belle". *National Physical Laboratory RSA* 14.
- Berry, B.F., Payne, R.C. & Harris, A.L. (1991): Noise levels of USAF aircraft in exercise "Luce Belle". *National Physical Laboratory RSA* 16.
- Bjorkman, M., Ahrlin, U. & Rylander, R. (1992): Aircraft noise annoyance and average versus maximum noise levels. *Archives of Environmental Health* 47(5), 326-329.
- Bly, S., Goddard, M. & McLean, J. (1993): A review of the effects of noise on the immune system. In: *Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2.* Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 509-512.
- Borsky, P. N. (1983): Integration of multiple aircraft noise exposures over time by residents living near U.S. Air Force Bases. In: *Noise as a Public Health Problem*. Turin; S. 1049-1060
- Borsky, P. N. (1984): The influence of fear on community annoyance with aircraft noise. In: *Proceedings 2nd Intern. Symposium on Univ. Res. in Transportation noise*, Raleigh 1984
- Bradley, J. S. (1994): On dose response curves of annoyance to aircraft noise. In: *Inter-Noise 94. Proceedings. The 1994 International Congress on Noise Control Engineering Vol. 1.* Yokohama Japan; S. 235-238
- Brendel, E. & Wendland, H.-H. (1998): Leitlinien des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) zur Beurteilung von Fluglärm an Verkehrsflughäfen und an Landeplätzen. *Z. f. Lärmbekämpfung*, 45, 181 - 184
- Brenner, H., Oberacker, A., Kranig, W. & Buchwalsky, R. (1993): A field study on the immediate effects of exposure to low-altitude flights on heart rate and arrhythmia in patients with cardiac diseases. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 65(4), 263-268.
- Bullen, R.B., Hede, A.J. & Kyriacos, E. (1986): Reaction to aircraft noise in residential areas around Australian airports. *Journal of Sound and Vibration* 108, 199-225.
- Bullinger, M. (1995): *Die Münchener Fluglärmstudie: Ein Kurzbericht über die Studienergebnisse*. Institut für Medizinische Psychologie, Maximilian Universität München
- Chowns, R. H. (1970): Mental hospital admissions and aircraft noise. *Lancet* i, 467-468.
- Cohen, S., Evans, G.W., Krantz, D.S. & 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.
- Cohen, S., Evans, G.W., Krantz, D.S., Stokols, D. & Kelly, S. (1981): Aircraft noise and children: Longitudinal and cross-sectional evidence on adaptation to noise and the effectiveness of noise abatement. *Journal of Personality and Social Psychology* 40, 331-345.
- Cohen, S. (1980): Aftereffects of stress on human performance and social behaviour: A review of research and theory. *Psychological Bulletin* 88; S. 82-108
- Coles, R.R.A. and Knight, J.J. (1959): Effect of jet aircraft noise on hearing. *Nature* 184, 1803.
- Dejoy, D.M. (1984): A report of the status of research on the cardiovascular effects of noise. *Noise Control Engineering Journal* 23, 32-39.

Delta Acoustics & Vibration (1995): Metrics for environmental noise in Europe. Danish comments on INRETS Report LEN 9420, Report AV 837/95
Diamond, I. D. & J. G. Walker (1986): An international study of the influence of residual noise on community disturbance due to aircraft noise. In: R. Lotz (eds.): <i>Inter-Noise 86</i> Vol. 2; S. 941-946
DORA (1980): Aircraft noise and sleep disturbance. Civil Aviation Authority, Cheltenham.
Eberhardt, J. (1990): The disturbance by road traffic noise of the sleep of prepubertal children as studied in the home. In: <i>Noise as a Public Health Problem</i> 2 (5); S. 65-74
Edmonds, L.D., Layde, P.M. & Erickson, J.D. (1979): Airport noise and teratogenesis. <i>Archives of Environmental Health</i> , 24:242-247.
Evans et al. (1998): Chronic noise exposure and physiological response: a prospective study of children living under environmental stress. <i>Psychological Science</i> , Vol 9 No. 1 January 1998
Evans, G. W., Hygge, S. & Bullinger, M. (1995): Chronic Noise and Psychological Stress. Department of Design and Environmental Analysis
Felscher-Suhr, U., Guski, R., Hunecke, M., Kastka, J., Paulsen, R., Schümer, R. & Vogel, J. (1995): Störungen von Alltagsaktivitäten durch Flug- und Straßenverkehrslärm. Bochum, Ruhr-Universität, Arbeitskreis "Ökologische Lärmforschung"
Felscher-Suhr, U., Guski, R., Hunecke, M., Kastka, J., Paulsen, R., Schümer, R. & Vogel, J. (1996): Eine methodologische Studie zur aktuellen Erfassung von Alltagsaktivitäten und deren Störungen durch Umweltlärm. <i>Zeitschrift für Lärmbekämpfung</i> , 43; S. 61-68
Fewtrell, W. & Kay, D. (1995): The impacts of military low-altitude flights, Centre for research into environment and health, Dyfed.
Fidell, S. & Jones G. (1975): Effects of cessation of late-night flights on an airport community. <i>J. of Sound and Vibration</i> 42 (4); S. 411-427
Fidell, S., Barber, D. S. & Schultz, T. J. (1991): Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. <i>JASA</i> 89; S. 221-233
Fidell, S., R., Horonjeff, Mills, J., Baldwin, E., Tefeteller, S. & Pearsons K. (1985): Aircraft noise annoyance at three joint air carrier and general aviation airports. <i>Journal of the Acoustical Society of America</i> 77; S. 1054-1068
Fields, J. M. & Hall, F. L. (1987): Community Effects of Noise. In: Nelson, P. M. (eds.): <i>Transportation noise reference Book</i> . Butterworth 3/1-3/27; London
Fields, J.M. & Powell, C.A. (1987): Community reactions: results from an experimental study of helicopter noise. <i>Journal of the Acoustics Society of America</i> 82, 479-497.
Finagold, L.S. (1993): US air force research program on the effects of aircraft noise on humans: current status and future directions. In: <i>Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2</i> . Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 229-232
Finke, H.-O., Guski, R. & Rohmann, B. (1980): Betroffenheit einer Stadt durch Lärm, UBA - Forschungsbericht 80 - 105 01301-
Fisch, L. (1981): Aircraft noise and hearing impairment in children. <i>British Journal of Audiology</i> 15, 231-240.
French, R.R., Beaman, B.L. & Coulson, A.H. (1980): Los Angeles airport noise and mortality - faulty analysis and public policy. <i>American Journal of Public Health</i> 70(4), 357-362.
Garcia, A., L., Faus, J., Garcia, A.-M. (1993): The Community Response to Aircraft Noise Around Six Spanish Airports. <i>Journal of Sound and Vibration</i> 164 (1); S. 45-52
Garcia, A.M. & Garcia, A. (1992) Relationship between arterial pressure and exposure to noise at work. <i>Med. Clin. Barc.</i> 98, 5-8.
Gattoni, F. & Tarnopolsky, A. (1973): Aircraft noise and psychiatric morbidity: Preliminary communication. <i>Psychological Medicine</i> 3, 516-520.
Gierke et al. (1993): Effects of Noise on People. <i>NOISE/NEWS International</i> , Juni 1993
Gjestland, T., Granöien, I.L.N., Liasjö, K.H. & Bugge, J.J. (1993): Community response to noise from a short term military aircraft exercise. In: <i>Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2</i> . Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 589-592.
Gjestland, T., K. Liasjö, I. Granöien, H. E. Böhn & A. Gaustad (1990): A noise survey around Oslo airport Fornebu, In: H. G. Jonasson (eds.): <i>Inter-Noise 90. Proceedings 1990 International Conference on Noise Control Engineering Vol. 1</i> . Gothenburg-Sweden; S. 451-454
Gjestland, T., Liasjö, K., Granöien, I., Fields J.M. (1990): Response to noise around Oslo Airport Fornebu, Trondheim: Elab-Runit Sintet Gruppen. <i>Acoustics Research Center. Report STF 40 A90189</i>
Globus, G. G. et al. (1973): The effects of aircraft noise on sleep electrophysiology as recorded in the home. In: Ward, W.D.: <i>Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem</i> 1973
Gottlob, D. (1994): Regulations for community noise. <i>Proceedings Inter-Noise 94, Yokohama</i> , 1994 S. 43-56
Gottlob, D. (1995): Regulations for community noise. <i>Noise/News International</i> . Vol 3, 4, 1995, S. 223 - 236
Grandjean, E. et al. (1973): A survey of aircraft noise in Switzerland. In: <i>Noise as a Public Health Problem</i> . Dubrovnik Yugoslavia; S. 645-659
Grandjean, E., Graf, P., Lauber, A., Meier, H. P. & Müller, R. (1976): Survey on the effects of aircraft noise around three civil airports in Switzerland. <i>Inter-Noise 1976</i> ; S. 85-90
Green, K. B., Pasternack, B. S. & Shore, R. E. (1982): Effects of aircraft noise on reading ability of school-age children. <i>Arch. Environ. Health</i> 37 (1); S. 24-31
Green, K.B., Pasternack, B.S. & Shore, R.E. (1982) Effects of aircraft noise on hearing ability of school-age children. <i>Archives of Environmental Health</i> 37, 284-289.
Griefahn, B. & Gros, E. (1986): Noise and sleep at home, a field study on primary and after effects. <i>Journal of Sound and Vibration</i> 105 (3); S. 373-383
Griefahn, B. & Gros, E. (1983): Disturbances of sleep - Interaction between noise, personal, and psychological variables. In: <i>Noise as a Public Health Problem</i> 2; S. 895-904

Griefahn, B. (1982): Grenzwerte vegetativer Belastbarkeit. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 29; S. 131-136
Griefahn, B. (1985): Schlafverhalten und Geräusche. Enke Verlag Stuttgart
Griefahn, B. (1986): Grenzwerte nächtlicher Belastbarkeit durch Straßengeräusche. Applied Acoustics 19; S. 265-284
Griefahn, B. (1990): Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 37; S. 7-14
Griefahn, B., Jansen, G. & Klosterkötter, W. (1976): Zur Problematik lärmbedingter Schlafstörungen - Eine Auswertung von Schlafliteratur. Umweltbundesamt Bericht 4/76
Gruber, J. (1986): Schlaf und Lärm. In: Deutscher Arbeitsring für Lärmbekämpfung (Hrsg.): Gesundheit - Mittelpunkt allen Umweltschutzes - Lärm und seine Wirkungen auf den Menschen. Düsseldorf
Gunn, W. J., Shigehisa, T., Fletcher, J. L., Shepherd, W. T. (1981): Annoyance response to aircraft noise as a function of contextual effects and personality characteristics. The Journal of Auditory Research 21; S. 51-83
Guski, R. (1988): Können Ruhepausen im Lärm wahrgenommen werden? Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 3, 69-73
Guski, R. (1991): Zum Anspruch auf Ruhe beim Wohnen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 38; S. 61-65
Guski, R. (1994): Empfehlungen zur Siedlungsplanung am Flughafen Hamburg-Fuhlsbüttel unter dem Blickwinkel des vorbeugenden Gesundheitsschutzes. ECor, Ecological Resulting and Research, Verein zur Förderung umweltwissenschaftlicher Beratung und Forschung e.V.
Guski, R. et al. (1989): Störwirkungen von Sportgeräuschen im Vergleich zu Störwirkungen von Gewerbe- und Arbeitsgeräuschen. UBA - Forschungsbericht 89 - 105 01317/02
Hall, F., Taylor, S. M. & Palmer, J. (1981): Direct comparison of community response to road traffic noise and aircraft noise. JASAs 70; S. 1690-1698
Harder, J. (in Vorbereitung): Zeitliche Entwicklung der Streßreaktion bei andauerndem nächtlichem Fluglärm. Dissertation TU-Berlin
Health Council of the Netherlands (1994): Noise and Health. The Committee on Noise and Health. No.: 1994/15E, The Hague
Health Council of the Netherlands (1997): Assessing noise exposure for public health purposes. Committee on Uniform environmental noise exposure metric. No.: 1997/23E, The Hague
Hede, A. J. & Bullen, R. B. (1982): Aircraft noise in Australia: A survey of community response. NAL Rep. 88; Australian Government Publishing Service
Herridge, C.F. (1972): Aircraft noise and mental hospital admissions. Sound 6, 32-36.
Hirai, A., Takata, M., Mikawa, M., Yasumoto, K., Iida, H., Sasayama, S. & Kagamimori, S. (1991): Prolonged exposure to industrial noise causes hearing loss but not high blood pressure: a study of 2124 factory laborers in Japan. J. Hypertens 9, 1069-1073.
Hiramatsu, K., Yamamoto, T., Taira, K., Ito, A. & Nakasone, T. (1993): Response to questionnaire on health around a military airport. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 473-476.
Hofman, W. (1994): Sleep disturbance and sleep quality. Universität Amsterdam (Dissertation)
Hofman, W., Kumar, A. & Eberhardt, J. (1993): Comparative evaluation of sleep disturbance due to noise from airplanes, trains and trucks. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 559-562.
Hofmann, R. & Bütikofer, R. (1998): New limiting values for aircraft noise in Switzerland, euro noise 98 Designing for Silence, München 1998, S. 1173 - 1178
Holzmann, E., Schluchter, W. (1982): Vergleich von Lärmwirkungen an Militärflugplätzen und Verkehrsflughäfen. UBA - Forschungsbericht 82-105 01 311
Horne, J. A., Pankhurst, F. L. & Reynier, L. A. (1993): Aircraft noise and sleep - field study findings from morning sleep logs. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 567.
Hume, K. I. & Thomas, C. (1993): Sleep disturbance due to aircraft noise at a rapidly expanding airport (Manchester airport). In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 563-566.
Hygge, S. (1993): Classroom experiments on the effects of aircraft, traffic, train and verbal noise on long-term recall and recognition in children aged 12-14 years. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 531534.
Hygge, S., Evans, G.W. & Bullinger, M. (1993): The Munich airport noise study: Physiological, cognitive, motivational, and quality of life effects on children. In: Noise and Man '93. S. 301-308. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité.
Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1982): Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm. Z. f. Lärmbekämpfung, 29, 13 - 16
Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1983): Wirkungen von Lärm auf die Arbeitseffektivität. Z. f. Lärmbekämpfung, 30, 1 - 3
Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1985): Die Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm. Z. f. Lärmbekämpfung, 32, 95 - 99
Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1990): Belastung durch Lärm: Psychische und körperliche Reaktionen. Z. f. Lärmbekämpfung, 37, 1 - 6
Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1998): Berücksichtigung des Informationsgehaltes von Schallen bei der Beurteilung als Lärm. Z. f. Lärmbekämpfung, 45, 193-195
Ising et al. (1998): Auditory effects of military low altitude flight noise. J Audiological Medicine, 7, 87-99, 1998
Ising, H. & Michalak, R. (1990): Effects of noise from military low level flights on humans: Part II. In: Noise as a Public Health Problem. Volume 4: New Advances in Noise Research Part I. Berglund, B. and Lindvall, T. (Eds). Swedish Council for Building Research.

Ising, H., Curio, I., Otten, H., Rebentisch, E. & Schulte, W. (1993): Health effects of low altitude flight noise. In: Inter Noise 93. Belgium.
Ising, H., I. Curio, H. Otten et al. (1991): Gesundheitliche Wirkungen des Tieffluginlärms – Hauptstudie und Anhang zur Hauptstudie. Umweltbundesamt, Berlin
Ising, H., Pleines, F. & Meis, M. (1998): Beeinflussung der Lebensqualität von Kindern durch militärischen Fluglärm. UBA-Forschungsbericht 98 – 506 01 003
Ising, H., Rebentisch, E., Babisch, W., Curio, I., Sharp, D. & Baumgartner, H. (1990): Medically relevant effects of noise from military low-altitude flight results of an interdisciplinary pilot study. <i>Environment International</i> 16, 411-423.
Ising, H., Rebentisch, E., Curio, I., Otten, H. & Schulte, W. (1991): Health Effects of military low-altitude flight noise. UBA – Forschungsbericht 91 –105 01 116.
ISO 1999 (1990): International Organization of Standardization 1990. Acoustics: Determination of occupational noise exposure and estimation of noise induced impairment. ISO, Geneva
IST-Gesellschaft für angewandte Sozialwissenschaften (1988): Auswirkungen des militärischen Tieffluginbetriebes auf die Bevölkerung der Vorderpfalz. Heidelberg 1988
Iwata, O. (1984): The relationship of noise sensitivity to health and personality. <i>Japanese Psychological Research</i> 26, 75-81.
Jansen, G. (1967): Zur nervösen Belastung durch Lärm. Steinkopff Verlag Darmstadt
Jansen, G. (1984): Medizinisches Gutachten für den Flughafen Hannover. Essen
Jansen, G. (1970): Beeinflussung des natürlichen Nachtschlafes durch Geräusche. NRW-Forschungsbericht Nr. 2131, Westdeutscher Verlag, Köln
Jansen, G., A. Linnemeier & M. Nitzsche (1995): Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtluglärm. <i>Zeitschrift für Lärmbekämpfung</i> 42(4): S. 91-106
Jenkins, L., Tarnopolsky, A. & Hand, D. (1981): Psychiatric admissions and aircraft noise from London airports; 4 year, 3 hospital study. <i>Psychological Medicine</i> 11, 765-782.
Jenkins, L.M., Tarnopolsky, A., Hand, D.J. & Barker, S.M. (1979): Comparison of three studies of aircraft noise and psychiatric hospital admissions conducted in the same area. <i>Psychological Medicine</i> 9, 681-693.
Job, R.F.S. (1988): Community response to noise: a review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. <i>Journal of the Acoustical Society of America</i> 83, 901-1001.
Jones, F. N. & Tauscher, J. (1978): Residence under an airport landing pattern as a factor in teratism. <i>Archives of Environmental Health</i> , 10-12.
Kalivoda, M. T. (1998): Air traffic noise control in Austria, euro noise 98 Designing for Silence, München 1998, S. 1191 – 1193
Kastka, J. et al. (1995): Ergebnisse von Längsschnittuntersuchungen zur Fluglärmmwirkung am Flughafen Düsseldorf 1981-1993 im Vergleich zu Untersuchungen an anderen Flughäfen. DAGA 1995; S. 423-426
Kee, D.W.M., Walker, J.G. & Flindell, I. (1990): A laboratory comparison of subjective response to military and civil aircraft flyover noise. In: <i>Proceedings of the Institute of Acoustics</i> 12(12), 27-32.
Keidel, W.D., Spreng, M. (1976): Entwicklung und Ausbau quantitativer neuro-elektrophysiologischer Untersuchungsverfahren für Bewertungsrichtlinien über Lärmbeflussung des Menschen. Forschungsauftrag BMU / UBA II 5-250-01, Bonn 1976.
Knight, J.J. & Coles, R.R.A. (1966): A six-year study of the effects of jet-aircraft noise on hearing. <i>Journal of the Royal Navy Medical Service</i> 52, 92-96.
Knipschild P. & Oudshoorn, N. (1977): Medical effects of aircraft noise: Drug survey. <i>Int. Arch. Occup. Environ. Health</i> 40; S. 197-200
Knipschild P. (1977): Medical effects of aircraft noise: Community cardiovascular survey. <i>Int. Arch. Occup. Environ. Health</i> , 40; S. 185-190
Knipschild P. (1977): Medical effects of aircraft noise: General practice survey. <i>Int. Arch. Occup. Environ. Health</i> 40; S. 191-196
Knipschild P. (1977): Medical effects of aircraft noise: Review and literature. <i>Int. Arch. Occup. Environ. Health</i> 40; S. 201-204
Knipschild, P. H. Sallé (1977): Verkeerslawaa in hart-vaatziekte, een bevolkingsonderzoek in Doetichem. <i>Tijdschr. Soc. Geneeskde</i> 55: S. 334-337
Knipschild, P. (1977): Medical effects of aircraft noise: community cardiovascular survey. <i>International Archive of Occupational and Environmental Health</i> 40, 185-190.
Knipschild, P., Meijer, H. & Sallé, H. (1981): Aircraft noise and birth weight. <i>International Archives of Occupational and Environmental Health</i> 48, 131-136.
Ko, N. W. M., Head, H. J. & Chan, J. (1981): Effect of Aircraft Noise on Pupil Performance – A Long-Term Assessment. <i>Applied Acoustics</i> 14: S. 399-402
Koszarny, Z. (1978): Effects of aircraft noise on the mental functions of schoolchildren. <i>Archives of Acoustics</i> 3, 85-104.
Kötz, W.-D., Wende, H. & Ortscheid, J. (2000): Fluglärm: Anforderungen an den baulichen Schallschutz aus der Sicht der Lärmminderungsforschung. <i>Fortschritte der Akustik, DAGA 2000</i> , i, Druck.
Krausman, P.R., Wallace, M.C., Weisenberger, M.-E., DeYoung, D.W. & Maughan, O.E. (1992): Effects of simulated aircraft noise on heart-rate and behaviour of desert ungulates. Draft report for the Noise and Sonic Boom Impact Technology Program Office, Wright-Patterson AFB, Ohio.
Kryter, K. D. (1982): Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise. <i>J. of the Acoustical Society of America</i> 74; S. 1222-1242
Kryter, K. D. (1982): Rebuttal by Karl D. Kryter to comments by T. J. Schultz. <i>Journal of the Acoustical Society of America</i> 72; S. 1253-1257
Kryter, K.D. (1990): Aircraft noise and social factors in psychiatric hospital admission rates: a re-examination of some data. <i>Psychological Medicine</i> 20(2), 395-411.

Kull, R.C. & Finegold, L.S. (1990): Strategic plan for research on effects of aircraft noise on human health. In: *Proceedings of the Institute of Acoustics* 12(12), 45-54.

Kull, R.C. (1993): Feasibility of a study on the effects of military aircraft noise. In: *Noise and Disease*. Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 393-394.

Kutschardt, E. (1993): Lärmprobleme, Probleme mit dem Lärm. Tagungsband Parabel. InfoSy Lärm, Lärmkontor, Hamburg, Update 2000

Lambert, J. (1994): Noise Quality Criteria, Current Regulatory Policies. Draft Report, Bron Cedex.

Lang, T., Fournaud, C. & Jacquet-Salord, M.C. (1992): Length of occupational noise exposure and blood pressure. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 63, 369-372.

Lawton, B.W. & Robinson, D.W. (1990): Risk to hearing from overflight noise of military aircraft. Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton.

LeBlanc, M.M., Lombard, C., Massey, R., Klapstein, E. & Lieb, S. (1991): Behavioural and physiological responses of horses to simulated aircraft noise. *Armstrong Laboratory, Wright-Patterson AFB, Ohio. AL-TR-1991-0123*.

Lukas, J. S. & Kryter, K. D. (1970): Awakening effects of simulated sonic boom and subsonic aircraft noise. In: B. L. Welch, A. S. Welch (eds.) (1970): *Physiological effects of noise*. Plenum Press New York and London; S. 283-293

Lukas, J.S. (1975): Noise and sleep: a literature review and a proposed criterion for assessing effect. *Journal of the Acoustical Society of America* 58, 1232-1242.

Maschke et al. (1997): Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm. UBA – Forschungsbericht. 97-105 01 213/07

Maschke, C. (1992): Der Einfluß von Nachtfluglärm auf den Schlafverlauf und die Katecholaminausscheidung. TU Berlin (Dissertation)

Maschke, C. et al. (1996): Lärmmedizinisches Gutachten für den Flughafen Hamburg. TU Berlin

Maschke, C., Arndt, D. & Ising, H. (1995): Nächtlicher Fluglärm und Gesundheit. Ergebnisse von Labor- und Feldstudien. *Bundesgesundheitsblatt* 3

Maschke, C., Arndt, D., Ising, H., Laude, G., Thierfelder W. & Contzen, S. (1995): Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner. Gustav Fischer Verlag.

Maschke, C., Arndt, D., Ising, H., Laude, G., Thierfelder W. & Contzen, S. (1995): Der Einfluß von Nachtfluglärm auf die Stresshormonausscheidung von Flughafenanwohnern. Abschlussbericht DFG Nr. Gr 452/8-2; Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, New York

Maschke, C., Arndt, D., Ising, H., Laude, G., Thierfelder, W. & Contzen, S. (Hrsg.) (1995): Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 96; S. 1-140

Maschke, C., Breini, S., Grimm, R. & Ising, H. (1992): Der Einfluß von Nachtfluglärm auf den Schlaf und die Katecholaminausscheidung. *Bundesgesundheitsblatt* 35 (3); S. 119-122

Maschke, C., Breini, S., Grimm, R. & Ising, H. (1993): The influence of nocturnal aircraft noise on sleep and on catecholamine secretion. In: *Noise and Disease*. Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 402-407.

Maschke, C., Druba, M. & Pleines, F. (1997): Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm – Eine Literaturübersicht – UBA-Forschungsbericht 97-105 01 213/07

Maschke, C., Ising, H., Arndt, D. (1995): Nächtlicher Verkehrslärm und Gesundheit: Ergebnisse von Labor- und Feldstudien. *Bundesgesundheitsblatt* 38 (4); S. 130-137

McLean, E. & Tamopolsky, A. (1977): Noise, discomfort and mental health. *Psychological Medicine* 7, 19-62.

Meecham, W.C. & Shaw, N. (1979): Effects of jet noise on mortality rates. *British Journal of Audiology* 13, 77-80.

Meecham, W.C. & Shaw, N.A. (1993): Increase in mortality rates due to aircraft noise. In: *Noise and Disease*. Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437-441.

Meecham, W.C. & Smith, H.G. (1977): Effect of jet aircraft noise on mental hospital admissions. *British Journal of Audiology* 11, 81-85.

Michalak, R., Ising, H. & Rebentisch, E. (1990): Acute circulatory effects of military low-altitude flight noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 62(5), 365-372.

Miedema, H. M. E. (1984): Hinder in de woonomgeving door cumulatieve van omgevingsgeluid; een literatuurstudie. VROM, Leidschendam

Miedema, H. M. E. (1987): Beoordelingsmethode voor hinder in de woonomgeving door cumulatieve van omgevingsgeluid.

Miedema, H. M. E. (1992): Response functions for environmental noise in residential areas. *Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO Leiden (NL)*, NIPG-Publikatienummer 92.021

Miedema, H.M.E. & Vos, H. (1998): Exposure-response relationships for transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 104 (6), 1998, S 3423 – 3445

MIL Research (1971): Second Survey of aircraft noise annoyance around London (Heathrow) Airport, Rep. No. SS 394. Her Majesty's Stationery Office London

Moch, A. & Maramotti, I. (1993): Multi-dimensional approach to noise effects and to noise aftereffects. In: *Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Congress. Volume 2*. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 543-546.

Moskov, J.I. & Ettema, J.H. (1977): Extra-auditory effects in short-term exposure to aircraft and traffic noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 40, 165-173.

Niemtzw, R.C. (1993): Loud noise and pregnancy. *Military Medicine* 158(1), 10-12.

Nixon, C.W., West, D.W. & Allen, N.K. (1993) Human auditory response to aircraft flyover noise. In: *Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Congress. Volume 2*. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 101 – 104.

Nordic Council of Ministers (1997): Noise effects. Final report of the Nordic Research Group on Noise Effects 1991 – 1996, Copenhagen.

Ohkubo, Ch., Miyazaki, K., Osada, Y. (1976): Response of finger pulse amplitude to intermittent noise. *Bull. Inst. Publ. Health* 25, 1976, 1-8.

Oliva, C. (1993): Kurzbericht über die akustische und soziologische Feldstudie. Populärfassung der Lärmstudie 90: Belastung und Betroffenheit der Wohnbevölkerung durch Flug- und Straßenverkehrslärm in der Umgebung der internationalen Flughäfen der Schweiz. Schlieren-Zürich: Büro Dr. Carl Oliva
Oliva, C. (1998): Belastung der Bevölkerung durch Flug- und Straßenlärm. Duncker u. Humbold, Berlin
Oliva, C. u. Hüttenmoser, Cornelia (2000): Die Abhängigkeit der Schallbewertung vom Geräuschkontext. Z. f. Lärmbekämpfung, 47, 47 - 56
Ollerhead, J. B. & Diamond, I. (1993): Social surveys of night time effects of aircraft noise. In: Noise as Public Health Problem 3; S. 373-376
Ollerhead, J. B. & Jones, C. J. (1993): Aircraft noise and sleep disturbance: A UK field study. In: Noise as a Public Health Problem 3; S. 353-358
Ollerhead, J. B. & Jones, C.J. (1993): Aircraft noise and sleep disturbance: a UK field study. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 3. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, pp. 353 -358.
Ollerhead, J. B. et al. (1992): Report of a field study of aircraft noise and sleep disturbance. UK Department of Transport.
Ortscheid, J. (2000): Präferierte Fensterstellung und Belästigung. In Vorbereitung
Passchier-Vermeer, W. (1993): Noise and Health. Health Council of the Netherlands. Publication no. A93/02E The Hague
Porter, N. D., Flindell, I. H. & Berry, B. F. (1998): Health effects-based noise assessment methods: a review and feasibility study. NPL Report CMAM 16
Poustka, F. & Schmeck, K. (1990): über die Auswirkungen von militärischer Tiefflugaktivität auf Kinder. Z. f. Kinder- und Jugendpsychiatrie 18 (1990) 61-70
Rai, R.M., Singh, A.P., Upadhyay, T.N., Patil, S.K.B. & Nayar, H.S. (1981): Biochemical effects of chronic exposure to noise in man. International Archives of Occupational and Environmental Health 48, 331-337.
Rehm, S. & Jansen, G. (1978): Aircraft noise and premature birth. Journal of Sound and Vibration 59(1), 133-135.
Rohmann, B. (1976): Die Störwirkung des Flugbetriebs an Landeplätzen - Eine empirische Studie. Kampf dem Lärm 23; S. 6-11
Rohmann, B. et al. (1974): Fluglärmwirkungen, eine interdisziplinäre Untersuchung über die Auswirkungen des Fluglärms auf den Menschen. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn Bad Godesberg
Rohmann, B., Finke, H.-O., Gusk, R., Schümer, R. & Schümer-Kohrs, A. (1978): Fluglärm und seine Wirkungen auf den Menschen. Verlag Hans Huber Bern
Ronnebaum, T., Schulte-Fortkamp, B. & Weber, R. (1996): Literaturstudie zur Gesamtlärmbewertung. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Rylander, R. et al. (1972): Annoyance reaction from aircraft noise exposure. Joint Report from the Institute of Hygiene Stockholm Schweden
Rylander, R., Bjorkman, M., Ahrlin, U., Sorensen, S. & Berglund, K. (1980): Aircraft noise annoyance contours: importance of overflight frequency and noise level. Journal of Sound and Vibration 20, 527-530.
Rylander, R., Sorensen, S. & Kajland, A. (1972): Annoyance reactions from aircraft noise exposure. Journal of Sound and Vibration 24, 419-444.
Rylander, R., Sorensen, S., Andrae, B.O., Chatelier, G., Espmark, Y., Larsen, T. & Thackray, R.I. (1974): Sonic boom exposure effects: A field study of humans and animals. Journal of Sound and Vibration 33, 471-486.
Schell, L. (1981): Environmental noise and human placental growth. American Journal of Physical Anthropology 56, 63-70.
Schmeck, K. & Poustka, F. (1993): Psychophysiological and psychiatric tests with children and adolescents in a low-altitude flight region. In: Noise and Disease, Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.), Fischer Verlag, Stuttgart.
Schomer, P. (1983): A survey of community attitudes toward noise near a general aviation airport, JASA 74; S. 1773-1781
Schulte, W. & Otten, H. (1993): Results of a low-altitude flight noise in Germany: long-term extraaural effects. In: Noise and Disease. Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 332-338.
Schultz, T. J. (1978): Synthesis of social surveys on noise annoyance, JASA 64; S. 377-405
Schuster, M. (1980): Die Wirkungen von Fluglärm auf den Schlaf des Menschen unter Feldbedingungen. TU München (Dissertation)
Schwarze, S. & Thompson, S.J. (1993): Research on non-auditory physiological effects of noise since 1988: review and perspectives. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 3. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 252-259.
Schweizer Bundesrat: (1999) Lärmschutz-Verordnung, Entwurf vom 21. Juni 1999 für die Vernehmlassung
Smith, A. P. & Stansfeld, S. (1986): Aircraft noise exposure, noise sensitivity, and everyday errors. Environment and Behaviour 18 (2); S. 214-226
Speng, M. (2000b): pers. Mitteilung
Spreng et al. (1994): Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm. UBA- Forschungsbericht 94-105 01 213/06
Spreng, M. (1990): Effects of noise from military low-level flights on humans. In: Berglund, B., T. Lindvall (eds.) Proceedings 5th international congress on Noise as a Public Health Problem. Swedish Council for Building Research, Stockholm; S. 293-303
Spreng, M. (1992): Spezielle Merkmale des militärischen Tieffluglärms: Kriterien für ein Hörschadensrisiko. Bundesgesundheitsblatt 3/92; S. 140-142
Spreng, M. (1994): Gehörschädigungsmöglichkeiten durch Tiefflugschallereignisse in: H. G. Dieroff: Lärmschwerhörigkeit. Gustav Fischer Verlag;
Spreng, M. (1996): Gutachterliche Stellungnahme Verwaltungsrechtsstreit Flughafen Hahn (7 C 11843/93.OVG). Er-langen
Spreng, M. (1998): Kritische Betrachtung des Schienenbonus anhand hörphysiologisch/medizinischer Fakten. Tagungsband Fachseminar „Schienenbonus“, Frankfurt 1997. Institut für ökologische Studien, München, 1998.
Spreng, M. (2000): Periphere und zentrale Aktivierungsprozesse. In Handbuch der Umweltmedizin VII.4.4.1, im Druck

Spreng, M. (2000a): Central nervous system activation by noise. Symposium on Environmental Noise, Stress and Cardiovascular Risk, Berlin, 1998. Noise & Health, i. Druck.
Spreng, M., Leupold, S. & Emmert, B. (1988): Mögliche Gehörschäden durch Tieffluglärm. UBA-Forschungsbericht 10501213/04, Berlin 1988.
Stansfeld, S.A., Sharp, D.S., Gallacher, J. & Babisch, W. (1993): Road traffic noise, noise sensitivity and physiological disorder. <i>Physiological Medicine</i> 23.
Taljanovic, A. & Mustac, M. (1989): Arterial hypertension in workers exposed to occupational noise. <i>Archiv za Hig Rada i Toksik</i> 40, 415-420.
Taylor, S. M., Hall, F. L. & Birnie, S. E. (1981): A comparison of community response to aircraft noise at Toronto International and Oshawa Municipal airports. <i>Journal of Sound and Vibration</i> 77: S. 233-244
Taylor, S. M., Hall, F. L. & Birnie, S. E. (1980): Effect of background levels on community response to aircraft noise. <i>Journal of Sound and Vibration</i> 71: S. 261-270
Thompson, S. J. & Fidell, S. (1990): Feasibility of studying human health effects of aircraft noise in residential populations. In: Noise as a Public Health Problem. Volume 4. New Advances in Noise Research. Part 1. Berglund, B. and Lindvall, T. (Eds.). Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden.
Thompson, S. J. (1983): Effects of noise on the cardiovascular system: appraisal of epidemiologic evidence. In: Proceedings of the fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem. Vol. 1. Rossi, G. (Ed.) Tunn, Italy. 711-714.
Tomei, F., Tomao, E., Papaleo, B., Baccolo, T.P. & Alfì, P. (1991): Study of some cardiovascular parameters after chronic exposure to noise. <i>International Journal of Cardiology</i> 33(3), 393-399.
Vallet, M., Gagneux, J. M., Blanchet, V., Favre, B. & Labiale, G. (1983): Long term sleep disturbance due to traffic noise. <i>Journal of Sound and Vibration</i> 90 (2): S. 173-191
Vallet, M., Gagneux J.M. & Simonnet, F. (1980): Effects of aircraft noise on sleep: An in situ experience. <i>ASHA Reports</i> No. 10: S. 391-396
Vallet, M., Gagneux, J. M., Claret, J. M., Laurens, J.F., Letisserand, D. (1983): Heart rate reactivity to aircraft noise after a long term exposure. In: Noise as a Public Health Problem 2: S. 965-971
Van, F., Hume, K. I. & Watson, A. (1993): EEG responses to aircraft noise in "noise sensitive" and "less noise-sensitive" subjects. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité. 569-572.
Vermel, A.E., Zinenko, G.M., Kochanova, E.M., Soares, L.T. & Bogatov, K.M. (1988): Intensity of industrial noise and the incidence of arterial hypertension (according to data from a prospective epidemiological study of organized female populations in Moscow). <i>Terapevticheskii Arkhiv</i> 60, 88-91.
Ward, W.D., Cushing, E.M. & Burns, E.M. (1976): TTS from neighbourhood aircraft noise. <i>Journal of the Acoustics Society of America</i> 60, 182-185.
Watkins, G., Tamopolsky, A. & Jenkins, L.M. (1981): Aircraft noise and mental health: II. Use of medicines and health care services. <i>Psychological Medicine</i> 11, 155-168.
Weinberger, M., Thomassen, H. G., Willeke, R. (1991): Cost of Noise in the Federal Republic of Germany. Umweltbundesamt, Berichte 9/91, Erich Schmidt Verlag, Berlin
Working Group on noise indicators (1999): Position paper EU noise indicators.
World Health Organization (1993): Community Noise. Environmental Health Criteria Document. External Review Draft
Wu, Y. X., Liu, X. L., Wang, B. G., & Wang, X. Y. (1989): Aircraft noise-induced temporary threshold shift. <i>Aviation, Space and Environmental Medicine</i> 60, 268-270.
Zhao, Y. M., Zhang, S. Z., Selvin, S. & Spear, R. C. (1991): A dose-response relation for noise-induced hypertension. <i>British Journal of Industrial Medicine</i> 48, 179-184.

# Einführung

*Karl-Hermann Bartels*

## *1. Vorsitzender des Vereins, Ärzte für vorbeugende Umweltmedizin e.V.*

Vor 12 Jahren wurde der Verein Ärzte für vorbeugende Umweltmedizin e.V. in Neufahrn bei München gegründet. Dieser gemeinnützige, rein ärztliche Verein ging aus der umweltmedizinischen Arbeit im Zusammenhang mit den geplanten Müllverbrennungsanlagen in Bayern und dann im Zusammenhang mit der Lärmproblematik auf dem Verkehrsflughafen München II hervor. Die Mitglieder dieses Vereins sind Ärzte aus den Landkreisen Freising und Erding sowie aus der übrigen Bundesrepublik Deutschland.

Wir Ärzte von diesem Verein haben uns u.a. in unsere Statuten geschrieben, dass wir beim Aufspüren von umweltmedizinischen Problemen helfen und dann auch mit unserem medizinischen Sach- und Fachverstand zur Lösung derartiger Probleme beitragen werden.

Neben den alltäglichen, vielfältigen und komplexen umweltmedizinischen Problemen in unseren Praxen haben wir Ärzte während der 12 Jahre schwerpunktmäßig intensiv und nebenberuflich auf dem Gebiet der Lärmmedizin unsere Aktivitäten entwickelt; dabei haben wir im Kontakt mit den verschiedensten an der Lärmwirkungsforschung beteiligten Gruppen zusammengearbeitet und vor allem uns um die notwendige Kommunikation gekümmert – (Wissenschaftler, Politiker, Flughafenbetreiber, Flugzeugturbinenhersteller, Betroffene etc.) – und dabei versucht, unseren sach- und fachbezogenen medizinischen Kenntnisstand klar und deutlich miteinzubringen.

1989 forderten wir Ärzte aufgrund einer in Deutschland wissenschaftlich schwach begründeten Erkenntnislage vor Gericht und auch vielfach öffentlich das „menschenvernünftige“ Nachtflugverbot auf allen deutschen Verkehrsflughäfen, so auch auf dem neuen Verkehrsflughafen München II. Damals wurde unsere medizinische Argumentation von den Gerichten (Bayerischer VGH, BVG) als präventivmedizinische Sicherheitsphilosophie bezeichnet. Der Bayerische Verwaltungsgerichtshof begründete sein Urteil zum Flughafen München II am 27.07.89 auf die gutachterlichen lärmmedizinischen Aussagen der Professoren Jansen und Griefahn.

Prof. Jansen nannte 6 x 60 dB(A) – innen – seltene – kritische – Lärmereignisse, die bei gekipptem Fenster mit 15 dB(A) Dämmwirkung Außenpegel von 6 x 75 dB(A) als tolerierbar – nachts – erscheinen lassen (S. 129).

Frau Prof. Griefahn unterbreitete zur Begründung ihre Aussagen vor Gericht – nach einer Korrektur – das Diagramm der Aufwachhäufigkeit, welches sie aus der Ableitung von zahlreichen, bereits alten Laboruntersuchungen erstellt hatte (S. 129).

Dazu erklärten die beiden lärmmedizinischen Gutachter vor Gericht, dass Innenraumspitzenpegel von 50 oder gar 40 dB(A) und weniger erreicht werden sollten (S. 128).

Da aufgrund der gutachterlichen technoakustisch-psychologischen Aussagen die Zumutbarkeitsgrenze für den Innenraumspitzenpegel bei 55 dB(A) festgelegt worden war, setzte der Bayerische VGH dann auch 55 dB(A) als Spitzenpegel – innen – für das Nachtschutzgebiet fest.

Der Bayerische VGH wies in seiner Begründung darauf hin, dass es keine abschließenden wissenschaftlichen Zusammenhänge bei der Griefahnschen Darstellung gäbe (S. 131). Weiter forderte dieser VGH, bezogen auf den Nachtschutz, Offenheit gegenüber neuen Erkenntnissen.

Außerdem erkannte der Bayerische VGH, dass in die lärmmedizinische Begutachtung lediglich die Aussagen zur Weckreaktion eingeflossen waren, dass es jedoch neben dieser Weckreaktion zwei weitere Reaktionsarten gab: Die vegetativen Reaktionen und die Schlafstadienwechsel (unvollständige Weckreaktionen). Allerdings sah derselbe VGH keine Veranlassung, trotz mehrfacher Erörterungen, diesen anderen Reaktionen eine entscheidungserhebliche Bedeutung beizumessen (S. 132).

Wörtlich weiter aus der Begründung des VGH vom 27.07.89 (S. 133):

*Auch die Sachverständige Dr. Griefahn rät „präventivmedizinisch“, beim passiven Nachtschutz die Grenzlinie der Weckreaktionen nach Möglichkeit zu unterschreiten und ggf. sogar bis an die Untergrenze der Schlafstadienwechsel (die sogenannte 0-Reaktionslinie) zu gehen. Die Sachverständige hat freilich auch klargestellt, dass sie diese Forderung, „nach unten zu gehen“, nicht genau quantifizieren könne, eine angesichts der fehlenden Erkenntnisse über die Schädlichkeit selbstverständliche Aussage (Tonbandprotokoll vom 19.6.1989, S. 29-32). Niedrigere Grenzwerte müssten daher „gegriffen“ werden. Auf eine derartige wissenschaftlich nicht zu begründende Bestimmung der Zumutbarkeitsschwelle verzichtet der Senat. Er würde sonst den Bereich dessen verlassen, was nach den heutigen Erkenntnissen als Schutz gewertet werden kann, und sich voll in den Bereich der Vorsorge begeben. Vorsorgeregulungen, die sich nicht im einzelnen begründen lassen, sondern aufgrund einer bestimmten Sicherheitsphilosophie pauschaliert werden, müssen aber dem Gesetzgeber überlassen werden.*

Der vom Bayerischen VGH geprägte Begriff der präventivmedizinischen Sicherheitsphilosophie wurde vom Bundesverwaltungsgericht in seiner Urteilsbegründung zum Revisionsurteil am 29.01.91 aufgegriffen.

Dies war und ist für uns Ärzte vom Verein „Ärzte für vorbeugende Umweltmedizin“ Anlass und hohe Motivation, durch intensive Kontakte mit deutschen Lärmwirkungsforschern, mit Politikern, mit Betreibern von lärmintensiven Industrien, und durch die Teilnahme an wissenschaftlichen Lärmwirkungsveranstaltungen (Berlin, Nizza, Sydney etc.) während der vergangenen 12 Jahre auf dem Gebiet der präventiven Lärmmedizin aktiv zu werden und diesen von den Gerichten geprägten Begriff der präventivmedizinischen Sicherheitsphilosophie mit wissenschaftlichen Erkenntnissen aufzufüllen.

Wenn wir Ärzte vom Verein nun am 16.06.2001 in Neufahrn einen geschlossenen Workshop zum Thema der Nachtfluglärmproblematik auf den deutschen Verkehrsflughäfen organisiert haben und dazu die meisten der namhaften deutschen Experten der Lärmwirkungsforschung als Teilnehmer gewinnen konnten, stellt dieser unser ärztlicher Beitrag einen sicher einmaligen aktiven Schritt innerhalb der deutschen Vorsorgemedizin dar.

An vorderster Stelle unserer Aktivitäten soll nun dieser Workshop einen wesentlichen Beitrag leisten, offene Fragen der Lärmwirkungsforschung auf den Punkt zu bringen. Folgende Ziele und Erwartungen haben wir für diesen Workshop:

1. Eine gemeinsame Resolution zu einem Nachtschutzkonzept (mit einer Bandbreite für Grenzwerte).
2. Eine gemeinsame Stellungnahme zu den Pathogenesemechanismen von nächtlichem Lärm (Wird nächtlicher Lärm nur dann zum Gesundheitsproblem, wenn er zum erinnerbaren Erwecken führt?).
3. Eine intensive Diskussion der Aufwachschwelle (Gibt es eine verlässliche lärmbedingte Aufwachschwelle?).
4. Darf ein nächtliches Schutzkonzept allein auf einem Funktionsparameter aufgebaut werden (z.B. Aufwachschwelle oder Cortisolsekretion)?
5. Welche akustischen Kenngrößen sollten in einem Schutzkonzept Verwendung finden?

Die überraschend zustande gekommene abschließende Resolution dieses Workshops, die von der Mehrzahl der hochkarätigen wissenschaftlichen Teilnehmer unterschrieben wurde, zeigt den aktuell geforderten und wissenschaftlich begründeten Bereich der Lärmwirkung auf, in dem der schlafende Mensch weder belästigt, noch auf Dauer gesundheitlich gefährdet wird – also praktisch gesund bleibt. Allerdings werden die Lärmmaximalpegel und die Häufigkeit der Fluglärmereignisse nicht mit dieser Stellungnahme berücksichtigt, was nach unserem medizinischen Sachverstand jedoch unbedingt nachgeholt werden muss.

Eine Vorsorgemedizin, wie sie auf diesem Workshop wissenschaftlich erarbeitet wurde, bedeutet heute einen in der Tragweite noch gar nicht ganz abschätzbaren Wert, vor allem für alle unmittelbar Betroffenen in den Ein- und Ausflugschneisen der deutschen Verkehrsflughäfen – bezogen auf ihre Lebensqualität –.

Schließlich gehört das Vermeiden von Krankheiten bzw. von Krankheitsrisiken genauso zu unserer selbstverständlichen ärztlichen Pflicht, wie das Diagnostizieren und Therapieren von nicht vermeidbaren Erkrankungen.

Die meiste Zeit wurde auf dem Workshop von allen Teilnehmern ein beachtlich hohes wissenschaftliches Niveau, sowohl im Inhalt der verschiedenen Referate, wie auch bei der anschließenden Diskussion geboten.

Die einleitende kritische Auseinandersetzung mit der alten Lärmwirkungsforschung wurde erstaunlicherweise von Herrn Professor Jansen kommentarlos hingenommen.

Der leider zum größten Teil emotional geführte Disput zwischen Professor Jansen und PD Maschke enttäuschte uns Ärzte sehr:

Für uns jedenfalls nicht verständlich beharrte Professor Jansen auf seinen Kriterien aus den 60er und 70er Jahren, ohne im Detail auf die neueren wissenschaftlichen Erkenntnisse und Ergebnisse gerade der 90er Jahre einzugehen. Als Ärzte hatten wir auf diesem geschlossenen Workshop gerade vom Medizinerkollegen Professor Jansen eine ehrliche, offene und vor allem auch verständliche wissenschaftliche Argumentation erwartet.

Am Ende unterschrieb Professor Jansen dann auch nicht die gemeinsame Resolution zum Nachtfluglärm, – vorerst nicht –; er versprach, nach gründlicher Prüfung später ein Sondervotum zu

dieser Resolution abzugeben, was allerdings bis zum Redaktionsschluß am 26. Juli 2001 nicht erfolgt ist.

Zusammenfassend können wir Ärzte also nach dem Neufahrner Workshop am 16.06.2001 sagen, dass unsere medizinische Forderung nach einem Nachtflugverbot wissenschaftlich absolut begründet und damit substantiell untermauert ist.

Die Gesundheit bzw. die Gesunderhaltung der Menschen – auch in Verkehrsflughafenbereichen – muß bei allen Abwägungen höchste Priorität einnehmen.

Als Nebenergebnis des Neufahrner Workshops forderten die teilnehmenden Lärmwirkungsforscher von den Politikern, Ämtern und Institutionen, endlich der Lärmwirkungsforschung wieder ihren wichtigen Platz innerhalb der angewandten Wissenschaften zuzuordnen und für entsprechend wichtige Forschungsvorhaben die Geldmittel sofort zur Verfügung zustellen. Lärm gilt schließlich anerkanntermaßen als der Umweltbelastungsfaktor Nr. 1 für den Menschen.

Der folgende Beitrag ist ein leicht veränderter Nachdruck eines Übersichtsartikels aus der Zeitschrift „Umweltmedizin in Forschung und Praxis“ Band 6, Heft 4, Jahr 2001.

# **Analyse der Lärmwirkungsforschung während der vergangenen 25 Jahre bezogen auf die Nachtfluglärmproblematik**

## **Gesicherte Erkenntnisse, Auswirkungen**

*Hartmut Ising, Barbara Kruppa*

*Umweltbundesamt, Berlin, a. D.*

### **Einleitung**

Nach dem Bundes-Immissionschutzgesetz werden schädliche Umwelteinwirkungen auf die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft eingeteilt in

- Gefahren (insbesondere für die Gesundheit)
- erhebliche Nachteile (z.B. Vermögenseinbußen)
- erhebliche Belästigungen.

Akute Lärmwirkungen ohne bleibende Gesundheitsbeeinträchtigung können als unerheblich gelten. Lärmwirkungen, die nicht habituierten und langfristig das Risiko von Organschädigungen erhöhen, sind dagegen als Gesundheitsgefahren zu bewerten.

Auf erhebliche Nachteile im materiellen Bereich soll hier nicht eingegangen werden.

Zur Beantwortung der Frage nach der erlebten Lärmbelästigung wird in der Regel eine Skala mit Antwortvarianten zwischen "überhaupt nicht belästigt" bis "sehr stark belästigt" vorgegeben. Um das Kriterium einer erheblichen Belästigung zu erfüllen, werden nur solche Personen gezählt, die sich mindestens als mittelmäßig belästigt einstufen. In Tab. 1 werden die Dauerschallpegel  $L_{den}$  (bezogen auf 24h mit 5-dB- bzw. 10-dB-Zuschlägen für die Abend- bzw. Nachtzeit) angegeben, bei denen sich 20% der Befragten erheblich bzw. stark belästigt fühlen. Diese Daten stammen aus einer neueren Metaanalyse [Miedema & Vos, 1998] zur Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen verschiedenen Verkehrslärmarten und der Lärmbelästigung. Fluglärm belästigt hiernach bei gleichem Schallpegel stärker als Straßen- oder Schienenlärm.

### **Paradigmen der Arbeits- und Umweltlärmwirkungen**

Rechtliche Grundlagen zum Lärmschutz am Arbeitsplatz enthalten sowohl präventivmedizinische als auch entschädigungsrechtliche Aspekte [vgl. Unfallverhütungsvorschrift, 1990]. Da in diesen beiden Fällen unterschiedliche Qualitäten des Nachweises von Gesundheitsschäden erforderlich sind, soll hier kurz darauf eingegangen werden. Bei entschädigungsrechtlichen Maßnahmen ist ein gesicherter Nachweis des kausalen Zusammenhanges zwischen Belastungen und den damit in Zusammenhang gebrachten Gesundheitsschäden erforderlich. Im Gegensatz dazu ist für Maßnahmen des präventiven Gesundheitsschutzes der begründete Verdacht von Gesundheits-

gefahren eine hinreichende Handlungsgrundlage. Es ist unter präventiven Gesichtspunkten üblich, die Qualität des Nachweises von Zusammenhängen zwischen Belastung/Exposition und Gesundheitsgefahr in drei Kategorien zu klassifizieren:

- hinreichend (sufficient)
- begrenzt (limited)
- unzureichend (inadequate).

Die einzige bisher anerkannte und hinreichend gesicherte lärmbedingte Berufskrankheit ist die Lärmschwerhörigkeit. Für diesen auralen Lärmschaden gilt die Besonderheit, daß es einen Schwellenwert gibt - und zwar  $Leq = 80 \text{ dB(A)}$  bezogen auf 40 Stunden pro Woche - unterhalb dessen [nach ISO 1999] keine Gehörschäden auftreten. Es spielt für die Gehörgefährdung auch keine Rolle, ob der Schall unerwünscht oder erwünscht ist, wie z.B. bei lauter Musik. Bezüglich der Gehörgefährdung besteht eine weitgehende Analogie zur Schädigung exogener toxischer Substanzen; die Schädigungen von Giftstoffen bzw. von gehörgefährdendem Lärm sind jeweils abhängig von der aufgenommenen Gesamtmenge bzw. der Gesamtschallenergie. Bezüglich aller übrigen Lärmwirkungen besteht dagegen keine Analogie zur Wirkung toxischer Substanzen.

In der Mehrzahl der Arbeitslärmstudien zu extraauralen Lärmwirkungen wurden, entsprechend dem Paradigma der auralen Lärmwirkungen, Personen mit Arbeitslärmexpositionen von weniger als  $85 \text{ dB(A)}$  fälschlicherweise als unbelastete Kontrollen behandelt. Neben anderen epidemiologisch-methodischen Fehlern wurde die teilweise Benutzung von Gehörschützern nur selten berücksichtigt [Babisch 1998]. Dies führte zu so gravierenden Unterschätzungen der Lärmwirkungen u.a. als Folge von Expositionsmissklassifikationen bis zu  $30 \text{ dB}$ , dass diese Studien keinen gültigen Beitrag zur Frage extraauraler Gesundheitsschäden durch Arbeitslärm leisten können. Die wenigen Studien, in denen solche methodischen Fehler vermieden wurden, ergaben ein signifikant erhöhtes kardiovaskuläres Risiko und eine erhöhte Mortalität bei langfristiger, starker Arbeitslärmbelastung [Zhao et al.1991, Ising et al.1999, Melamed et al. 1999].

Es ist deshalb erforderlich, in Zukunft vor allem die Paradigmenfehler der Vergangenheit zu vermeiden und u. a. keine unzulässigen Schlüsse aus den Ergebnissen der bisherigen, methodisch fehlerhaften Arbeitslärmstudien zu ziehen.

Jansen und Notbohm [1994] ziehen hingegen aus dem *Forschungsstand der Arbeitsmedizin*, der trotz wesentlich höherer Lärmbelastungen keine eindeutigeren Befunde ergibt, den Schluß, daß durch Verkehrslärm das Risiko kardiovaskulärer Krankheiten kaum erhöht werden könne. Besonders befremdlich ist die von den Autoren allein anhand des Pegels vorgenommene Bewertung von Lärmbelastungen als "gesund / indifferent / krank bzw. belästigend / erheblich belästigend / gefährdend".

Das Paradigma, das zu dieser relativen Überbewertung des Schallpegels führt, wird aus dem zugrunde gelegten Lärmwirkungsmodell deutlich (Abb.1). Darin werden lediglich direkte Lärmwirkungen wie die Gehörschädigung in Betracht gezogen, situative Einflüsse aber nicht als Moderatorvariablen berücksichtigt.

Beanspruchungen im Bereich der Körperorgane und im Verhaltens - bzw. Leistungsbereich werden bezüglich des Wirkungsmechanismus nicht anders eingestuft als die auralen Lärmwirkungen. Die Wirkungen im niedrigeren Pegelbereich des Umweltlärms werden außer acht

gelassen. Die Autoren begründen dies folgendermaßen: *Je geringer die gemessene Schallintensität ist, desto stärker variieren die beobachteten Reaktionen aufgrund individueller und situativer Einflüsse, so daß wissenschaftliche Aussagen über extraaurale Lärmwirkungen beträchtlichen Einschränkungen unterworfen sind.*

Der erste Teil dieser Aussage ist richtig, die Schlußfolgerung aber absurd. In Laborexperimenten mit hohen Schallpegeln sind die Schallwirkungen zwar eng mit dem Pegel korreliert, sie liefern aber keinerlei Aussagen über die Wirkungen des Umweltlärms. Da sich gezeigt hat, dass im Pegelbereich des Umweltlärms die z.B. im Bericht zur DFG-Fluglärmstudie [Deutsche Forschungsgemeinschaft, 1974] genannten Moderatoren eine dominierende Rolle spielen, müssen Umweltlärmwirkungen mit entsprechender Methodik untersucht werden.

Eine Ableitung von Umweltlärmwirkungen aus Kurzzeit-Laboruntersuchungen ist nicht möglich, wie in der Studie "Stressreaktionen und Gesundheitsrisiko bei Verkehrslärmbelastung, Methodenvergleich zwischen Feld- und Laboruntersuchungen" [Ising, 1983] gezeigt wurde. Bei mehrstündiger Lärmbelastung mit Straßenlärm von  $L_m = 60$  dB(A) unter Feldbedingungen waren die Blutdruckreaktionen der Personen, die sich als lärmempfindlich einschätzten, stärker als die der lärmunempfindlichen Personen. Bei Kurzzeit-Schallexposition im Labor mit intermittierendem Rauschen von  $L = 100$  dB(A) zeigten sich gegenteilige Resultate. Zwischen Blutdruckreaktionen unter Feldbedingungen mit Expositionsauern im Stunden- und Laboruntersuchungen im Minutenbereich ließ sich kein Zusammenhang herstellen.

Für die Lärmwirkungsforschung bedeutet dies, daß mit Hilfe von Kurzzeit-Labortests keinerlei Aussagen über Wirkungen langfristiger Lärmbelastungen gemacht werden können. Daher ist auch das Wirkungsschema in Abb.1 zur Untersuchung von Umweltlärmwirkungen ungeeignet; solche Paradigmenfehler der Vergangenheit müssen erkannt und ausgeräumt werden.

Auch bei der Ableitung von Immissionsgrenzwerten für Umweltlärmwirkungen wurden in der Vergangenheit gravierende Fehler gemacht [Maschke et al. 2001 a, b], zweifellos als Folge mangelnder interdisziplinärer Zusammenarbeit. Daher muß als Voraussetzung für maßgebende zukünftige Arbeiten auf dem Gebiet der Lärmwirkungsforschung eine Zusammenarbeit physikalisch-technischer, psychosozialer und medizinischer Disziplinen einschließlich der Epidemiologie geplant und eingefordert werden. Als bereits vorliegende positive Beispiele in dieser Richtung seien der Interdisziplinäre Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt und unter den größeren Forschungsprojekten die Fluglärmstudie der Deutschen Forschungsgemeinschaft [1974] genannt ebenso wie die im Auftrag des UBA durchgeführten Studien zu gesundheitlichen Auswirkungen des militärischen Tieffluglärms [Curio und Ising 1986, Ising et al. 1991] und die Caerphilly-Speedwell-Herz-Kreislauf-Studien [Babisch et al. 1999].

## **Psychosoziale Lärmwirkungen**

Ein wichtiges Ergebnis der DFG-Studie war die Erkenntnis, daß Lärmstörungen nur zu maximal einem Drittel durch akustische Meßwerte wie Pegel, Zeitverlauf, Frequenzzusammensetzung u.a. vorherzusagen sind. Nichtakustische Variable – wie z. B. situative und personenbezogene Moderatoren – beeinflussen die Verarbeitung des Lärms in erheblichem Maße, ohne daß sie als solche durch die aktuelle Lärmbelastung wesentlich veränderbar sind [Guski 2001].

In dem Bericht "Noise and Health" des Gesundheitsrates der Niederlande [Health Council 1994] wird die Belästigung durch Umweltlärm als hinreichend (sufficient) abgesichert bezeichnet und

ihre Einsatzschwelle mit  $L_{dn} = 42 \text{ dB(A)}$  (außen) beziffert. Jansen und Notbohm beziffern den Schwellenbereich für Bevölkerungsreaktionen (bezogen auf einen gestörten Anteil von 0-20%) mit  $L_m = 45\text{-}55 \text{ dB(A)}$  [Jansen und Notbohm 1994]. Ortscheid und Wende [2000] ziehen in ihrer Beurteilung des Fluglärms auf der Grundlage der vorliegenden Literatur den Schluß, daß bei Fluglärmbelastungen von  $55 \text{ dB(A)}$  tags und  $45 \text{ dB(A)}$  nachts (außen) die Grenze zur erheblichen Belästigung erreicht wird. In ihrem Bericht stehen die globalen Wirkungsbereiche "Belästigung" und "Beeinträchtigung der Gesundheit" bei der Entwicklung von Schutzziele im Vordergrund.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen[1999] nimmt in seinem Sondergutachten "Umwelt und Gesundheit" zu Fragen der Belästigung durch umweltbedingten Lärm wie folgt Stellung: *In Westeuropa zeichnet sich der Trend ab, daß die Zahl stark belästigter Bürger sinkt, die Zahl der weniger stark belästigten jedoch steigt.*

*An erster Stelle steht die Belästigung durch Straßenverkehr. In den alten Bundesländern fühlen sich 68%, in den neuen Bundesländern sogar 83% durch Straßenverkehr belästigt. Etwa 50% der Bürger fühlen sich durch Fluglärm und je ca. 20% durch Schienenlärm und Industrielärm belästigt.*

*Bei gleichbleibendem Lärmpegel bleibt die Lärmbelästigung gleich, es gibt keinen Hinweis auf eine Gewöhnung an den Lärm. Bleibt eine hohe Belästigung über längere Zeit bestehen, ist diese Beanspruchung als negativer Streß (Distress) einzustufen.*

### **Lärmbedingte Schlafstörungen und endokrine Reaktionen**

In der Vergangenheit wurde die Aufwachreaktion als die einzige gesundheitlich relevante Nachtlärmwirkung betrachtet. Im Sondergutachten "Gesundheit und Umwelt" wird hierzu ausgeführt: *Das alleinige Abstellen auf Aufwachreaktionen berücksichtigt nach Maschke (1998) weder die Zerstörung der Zeitstruktur des Schlafes, noch die Schlafstadienverteilung, noch die nachteiligen Wirkungen einer Kompensation.*

Obwohl noch nicht geklärt ist, ob und in welchem Maße die von Maschke aufgeführten Schlafstörungen bei anhaltender Exposition eine Gesundheitsgefährdung hervorrufen, bewertet der Umweltrat diese wie folgt:

*Aus der Sicht des Umweltrates ist nicht auszuschließen, daß die beobachteten Schlafstörungen langfristig Gesundheit und Leistungsfähigkeit beeinträchtigen können.*

*Daher sollten lärmbedingte Schlafstörungen aus präventivmedizinischen Gründen auch unterhalb der Aufwachschwelle grundsätzlich vermieden werden.*

Akute und chronische Stresshormonerhöhungen während des Schlafs konnten bereits bei relativ geringen Lärmpegeln nachgewiesen werden. Evans et al. [1995] fanden in einer prospektiven Interventionsstudie an Kindern eine signifikante Zunahme der nächtlichen Ausscheidung von Adrenalin und Noradrenalin nach Eröffnung eines neuen Flughafens. Gesamtcortisol stieg nur tendenziell an; freies Cortisol wurde nicht bestimmt.

In einer Felduntersuchung von Anwohnern des Flughafens Tegel in Berlin führte eine elektroakustische Simulation von Nachtfluglärm in den ersten zwei Versuchsnächten zu einer erhöhten Adrenalinausscheidung. In der dritten und vierten Versuchsnacht war dagegen Cortisol

erhöht. Bereits 16 Überflugeignisse mit Maximalpegeln von 55 dB(A) - bei einem Mittelungspegel in der Nachtzeit von etwa 30 dB(A) - bewirkten signifikante Stresshormonerhöhungen und eine deutliche Verschlechterung der subjektiven Schlafqualität [Maschke et al. 1995]. Bei dieser Untersuchung blieb die Frage nach dem Einfluss der Gewöhnung an den Nachtfluglärm noch weitgehend offen.

Deshalb wurde von Harder et al. [1999] die Ausscheidung von freiem Cortisol in drei Nächten ohne Lärm und 37 Nächten mit über Lautsprecher in die Schlafzimmer eingespieltem Fluglärm untersucht. Im Gruppenmittel war eine akute Erhöhung der Cortisolausscheidung nur in der zweiten und dritten Nacht mit Lärmbelastung zu erkennen. Danach normalisierte sich die mittlere Cortisolausscheidungs menge, war jedoch von einer Schwankung im 7-Tagerhythmus überlagert. Als wichtigstes Ergebnis zeigte sich eine signifikante Zunahme der Normalwertüberschreitungen der Cortisolausscheidung während der letzten beiden Wochen mit Nachtlärmbelastung [Maschke et al. 2001]. Dieser Versuch zeigt, dass langfristige Nachtlärmexposition bei stressempfindlichen Menschen zu chronisch über den Normbereich erhöhten Cortisolwerten führen kann.

Im Rahmen des Projekts "Verkehr und Gesundheit im Ballungsraum Berlin" wurde bei 200 Frauen, die in ihren Wohnungen unterschiedlich lärmexponiert waren, die nächtliche Katecholaminausscheidung gemessen [Babisch et al.1996]. Die Frauen, deren Schlafzimmer an stärker lärmbelasteten Straßen lagen (Mittlungspegel nachts  $L_m > 57$  dB(A) (außen)) hatten eine signifikant höhere Noradrenalinausscheidung als die vergleichsweise leiser wohnenden ( $L_m < 52$  dB(A)). Die Ergebnisse waren auch nach Kontrolle von Kovariablen (Rauchen, Alkoholkonsum, Sozialstatus u. a.) stabil.

In ähnlicher Weise wurde die Stresshormonausscheidung von Probanden bei Schallpegelerhöhung durch Öffnen von Schlafzimmerfenstern an lauten Strassen untersucht. Die Probanden waren seit mehreren Jahren einem nächtlichen Strassenverkehrslärm mit Mittelungspegeln zwischen 53 und 69 dB(A) (außen) ausgesetzt. Akute Pegelerhöhungen von 9 bis 18 dB durch Öffnen der Fenster führten zu einer mittleren Erhöhung der Ausscheidungs menge von freiem Cortisol um ein Drittel. Ein Vergleich mit einer ruhig wohnenden Kontrollgruppe ( $L_m < 45$  dB(A)) zeigte, dass die Noradrenalin- und Cortisolausscheidungen der Verkehrslärmbelasteten auch bei geschlossenen Fenstern signifikant erhöht waren [Braun 1999]. Dieses Beispiel steht für eine persistierende Stresshormonerhöhung infolge jahrelanger Nachtlärmbelastung.

Evans et al. [2001] untersuchten durch Strassenverkehr mässig belastete Kinder (Aussenpegel tags:  $L_m > 60$  dB(A)) im Vergleich zu ruhig wohnenden Kindern (Aussenpegel tags:  $L_m < 50$  dB(A)) und fanden Erhöhungen von freiem Cortisol und einem Cortisolmetaboliten im Nachturin. Die Katecholamine waren unverändert.

In einer Studie an Kindern mit starker Lkw-Lärmbelastung tags und nachts [Ising & Ising 2001] wurden deutlich erhöhte Ausscheidungswerte von freiem Cortisol und Cortisolmetaboliten nur in der ersten, nicht dagegen in der zweiten Nachthälfte gemessen. Der Vergleich mit ruhiger wohnenden Kindern deutete damit auf eine bei den lärmbelasteten Kindern verursachte Störung der spontanen zirkadianen Rhythmik der Cortisolfreisetzung hin.

Eine Übersicht über neuere Studien zum Zusammenhang von Verkehrslärmbelastung und

Stresshormonerhöhungen wird in Tab. 2 gegeben. Nur in zwei von 10 Studien wurden unter Verkehrslärmbelastung keine Stresshormonzunahmen gefunden.

Unter fünf Fluglärmstudien ergab nur eine Studie [Ising et al. 1999] keine signifikante Stresshormonerhöhung bei Lärmbelastung, weil in diesem Fall die Belastung zu kurz und zu selten war. Es handelte sich dabei um vereinzelte Überflüge von Militärflugzeugen in den späteren Abendstunden. Der negative Befund der Straßenlärmstudie von Carter et al. [1994] ist auf einen methodischen Fehler zurückzuführen; es wurden nur Konzentrationen von Stresshormonen ohne einen Bezug angegeben.

Allerdings wurden unter Nachtlärmbelastung neben den überwiegend erhöhten Stresshormonwerten in Einzelfällen auch erniedrigte Ausscheidungsmengen an Stresshormonen beobachtet [Ising und Braun 2000, Harder et al. 1999].

Der holländische Gesundheitsrat [1994] schätzte den Nachweis biochemischer Lärmwirkungen als begrenzt (limited) ein.

Aus den Ergebnissen der hier zitierten Arbeiten geht jedoch deutlich hervor, dass jahrelange Lärmbelastungen bei einem Teil der Exponierten zu chronischen Veränderungen der Stresshormonregulation mit möglichen Folgen für funktionelle und organische Schäden führen können. Für die gesundheitliche Bewertung lärmbedingter Stressreaktionen ist deren Persistenz entscheidend wichtig. Bisher wurden in Lärmstress-Studien überwiegend die Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin sowie Cortisol untersucht. Diese Stresshormone können nach dem psychophysiologischen Stressmodell von Henry [1992], das in Abb. 2 wiedergegeben ist, als "Leitsubstanzen" zur Identifizierung der dort beschriebenen Stressreaktionstypen betrachtet werden. Eine Erhöhung von Cortisol zeigt beispielsweise, dass das Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-System (HHN-System) aktiviert wurde. Zu den Folgen langfristiger Aktivierungen des HHN-System gehören u.a. Insulin-Resistenz, Stress-Ulzera und Herz-Kreislaufkrankheiten.

### **Risiko für Herz-Kreislaufkrankheiten bei Umweltlärmbelastung**

Die Hypothese, dass jahrelange Lärmbelastung das Risiko für Herz-Kreislauf-erkrankungen erhöht, leitet sich aus dem allgemeinen Stressmodell [Selye 1953, Henry 1992, Björntorp 1997] ab. Wie oben dargestellt, kann Lärmbelastung zu akuten und chronischen Veränderungen der normalen Stresshormonregulation führen, da bei lärmbedingten Stressreaktionen die in der Regel vom Körper für eine physiologische Stressantwort bereitgestellten Aktivierungsenergien nicht in adäquater Weise eingesetzt oder abgebaut werden können. Dadurch verursachte Störungen neurovegetativer und hormonaler Vorgänge können das Gleichgewicht lebenswichtiger Körperfunktionen ungünstig beeinflussen. In diesem Zusammenhang zu nennen sind vor allem Herz-Kreislaufparameter wie Blutdruck, Herzfähigkeit, Blutfette (Cholesterin, Triglyzeride, freie Fettsäuren) und hämostatische Faktoren (wie das Fibrinogen), die die Fließeigenschaften des Blutes beeinflussen (Plasma-Viskosität) [Friedman & Rosenman 1975], vermutlich auch die Blutzuckerkonzentration. Pathologische Veränderungen dieser Parameter können endogene wie exogene Ursachen haben und stellen klassische Risikofaktoren für Herz-Kreislaufkrankheiten dar. Der Lärm ist hierbei als ein exogen wirkender Risikofaktor bei der Entwicklung der Arteriosklerose, des Bluthochdrucks und ischämischer Herzkrankheiten sowie des Herzinfarkts einzustufen [VDI-Richtlinie 3722, 1988; Babisch, 2001].

In Abb. 3 sind diese Lärmwirkungen schematisch dargestellt. Schall bzw. Lärm aktiviert über zentrale Fortleitung das neuroendokrine System entweder direkt - wie beim Arbeitslärm, aber auch bei relativ niedrigen Umweltlärmpiegeln und während des Schlafs, über schnelle Signalerkennung

und -beantwortung durch die mit der Hirnrinde, dem limbischen System und dem Hypothalamus verschalteten Amygdala [Spreng 2000] - oder indirekt, z. B. bei stressauslösenden Störungen der Kommunikation oder konzentrierter Arbeit.

Hierzu wird im Sondergutachten "Gesundheit und Umwelt" folgendes ausgeführt:

*...Lärm wirkt als Streßfaktor und kann als solcher Erkrankungen begünstigen, die durch Streß mitverursacht werden. Dies sind hauptsächlich Herz-Kreislaufkrankheiten.*

Die langfristigen Folgen von lärmbedingten Streßhormonerhöhungen müssen in epidemiologischen Studien daher eingehend untersucht werden. Bereits vorliegende Studien zum Zusammenhang zwischen Straßenlärm und koronaren Herzkrankheiten werden kurz dargestellt und kommentiert.

*...Den dargestellten Studien mangelt es wegen zu geringer Fallzahlen in den Gruppen mit hoher Lärmexposition an ausreichender Teststärke; die Ergebnisse sind statistisch nicht signifikant)...*

Gleichwohl ist der Umweltrat der Meinung, daß die Ergebnisse konsistent einen Trend aufzeigen. Als Schwellenwert für mögliche lärmbedingte Infarktrisiken gelten Immissionspegel von 65 dB(A) am Tage.

Bei Straßenverkehrslärmbelastungen mit Mittelungspegeln von mehr als 65 / 55 dB(A) (tags / nachts, außen) ist nach dem jetzigen Kenntnisstand eine Zunahme des Risikos für Herzinfarkt um ca. 20% zu befürchten.

Nach der Bewertung des holländischen Gesundheitsrates [1994] wird der Nachweis einer Risikoerhöhung für Herz-Kreislaufkrankheiten durch Verkehrslärmbelastungen ab  $L_m = 70$  dB(A) als hinreichend (sufficient) betrachtet.

Die übereinstimmende Tendenz und innere Konsistenz der z.Zt. bekannten Verkehrslärm-Studien ergeben eine hinreichende wissenschaftliche Begründung für präventive Maßnahmen zum Schutz vor einer lärmbedingten Risikoerhöhung für Herz-Kreislaferkrankungen.

## Literatur

- BABISCH, W., FROMME, H., BEYER, A., ISING, H. 1996 Katecholaminausscheidung im Nachtturin bei Frauen aus unterschiedlich verkehrsbelasteten Wohngebieten. WaBoLu Hefte. Vol. 9/96. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes Berlin
- BABISCH, W. 1998 Epidemiological studies of the cardiovascular effects of occupational noise - a critical appraisal. Noise & Health 1:24-39
- BABISCH, W., ISING, H., GALLACHER, J.E.J., SWEETNAM, P.M., ELWOOD, P.C. 1999 Traffic noise and cardiovascular risk: The Caerphilly and Speedwell studies, third phase - 10 years follow-up. Archives of Environmental Health 54(3):210-216
- BABISCH, W. 2001 Lärmbedingtes Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten. In: WICHMANN, SCHLIPKÖTER, FÜLGRAFF (eds.) Handbuch der Umweltmedizin. Kapitel VII-1 Lärm, Erg. Lfg.7/01 Ecomed, Landsberg
- BJÖRNTORP, P. Stress and cardiovascular disease. Acta Physiol. Scand. 1997;161 (suppl. 640):144-148
- BRAUN, C. 1999 Nächtlicher Straßenverkehrslärm und Stresshormonausscheidung beim Menschen. Dissertation, Berlin
- CARTER, N.L., HUNYOR, S.N., CRAWFORD, G., KELLY, D., SMITH, A.J.M. 1994 Environmental noise and sleep - a study of arousals, cardiac arrhythmia and urinary catecholamines. Sleep 17: 298-307

- CURIO, I., ISING, H. et al. 1986 Gesundheitliche Auswirkungen des militärischen Tieffluglärms - Vorstudie. Umweltbundesamt, Berlin.
- DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1999 Umwelt und Gesundheit - Risiken richtig einschätzen. Sondergutachten. Metzler-Poeschel. Stuttgart
- DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT 1974, Fluglärmwirkungen, Boppard
- EVANS, G. W., BULLINGER, M., HYGGE, S. 1998 Chronic noise exposure and physiological response: A prospective study of children living under environmental stress. *American Psychological Soc.*, Vol.9: 75-77
- EVANS, G., LERCHER, P., MEIS, M., ISING, H., KOFLER, W. 2001 Typical Community Noise Exposure and Stress in Children. *J. Acoust. Soc. Am.* 109 (3) 1023-1027
- FRIEDMAN, M., ROSENMAN, R.H. 1975 Der A-Typ und der B-Typ. Rowohlt Verlag GmbH. Reinbek bei Hamburg
- GUSKI, R. 2001 Moderatoren der Lärmwirkung. In: WICHMANN, SCHLIPKÖTER, FÜLGRAFF (eds.) *Handbuch der Umweltmedizin. Kapitel VII-1 Lärm, Erg. Lfg.7/01 Ecomed, Landsberg*
- HARDER, J., MASCHKE, C., ISING, H. 1999 Längsschnittstudie zum Verlauf von Stressreaktionen unter Einfluss von nächtlichem Fluglärm. *WaBoLu-Hefte. Umweltbundesamt, Berlin*
- HEALTH COUNCIL 1994 Noise and health. Report by a committee of the Health Council of the Netherlands. Health Council of the Netherlands, The Hague.
- HENRY, J.P. 1992 Biological basis of the stress response. *Integrative Physiological and Behavioral Science* 27: 66-83
- ISING, H. 1983 Stressreaktionen und Gesundheitsrisiko bei Verkehrslärmbelastung. *WaBoLu-Berichte* 2/1983, Dietrich Reimer. Berlin
- ISING, H., CURIO, I., OTTEN, H., REBENTISCH, E., SCHULTE, W., BABISCH, W. et al. 1991 Gesundheitliche Wirkungen des Tieffluglärms - Hauptstudie. Umweltbundesamt Berlin
- ISING, H., BABISCH, W., GÜNTHER, T. 1999 Work noise as a risk factor in myocardial infarction. *J. Clin Basic Cardiol* 2: 64-68
- ISING, H., BRAUN, C. 2000 Acute and chronic endocrine effects of noise: review of the research conducted at the Institute for Water, Soil and Air Hygiene. *Noise & Health* 7: 7-24
- ISING, H., PLEINES, F., MEIS, M. 1999 Beeinflussung der Lebensqualität von Kindern durch militärischen Fluglärm. Umweltbundesamt Berlin
- ISING, H., ISING, M. 2001 Stressreaktionen von Kindern durch Lkw-Lärm. *Umweltmedizinischer Informationsdienst* 1:12-14
- ISO 1999 „Bestimmung der berufsbedingten Lärmexposition und Einschätzung der lärmbedingten Hörschädigung“, Januar 1990
- JANSEN, G., NOTBOHM, G. 1994 Andere Umweltfaktoren, Kapitel VII-1, Lärm. In: WICHMANN, SCHLIPKÖTER, FÜLGRAFF (eds.) *Handbuch der Umweltmedizin. Ecomed, Landsberg*
- MASCHKE, C., ARNDT, D., ISING, H. 1995 Nächtlicher Fluglärm und Gesundheit: Ergebnisse von Labor- und Feldstudien. *Bundesgesundhbl.* 38, 4 (1995) 130-137
- MASCHKE, C., HARDER, J., HECHT, K., BALZER, H.U. 1998 Nocturnal aircraft noise and adaptation. *Noise Effects '98, 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem* 2: 433-438
- MASCHKE, C., HECHT, K., WOLF, U., FELDMANN, J. 2001 19 x 99 Dezibel (A) – ein gesicherter Befund der Lärmwirkungsforschung? *Bundesgesundhbl.*, im Druck
- MASCHKE, C., HECHT, K., WOLF, U. 2001 Nächtliches Erwachen durch Fluglärm – Beginnender Aufwachreaktionen bei Maximalpegeln von 60 Dezibel (A) ? *Bundesgesundhbl.*, im Druck.
- MASCHKE, C., HARDER, J., ISING, H., HECHT, K., THIERFELDER W. 2001 Stress hormone changes in persons under simulated night noise exposure. *Noise & Health*, in print.
- MELAMED, S., KRISTAL-BONEH, E., FROMM, P. 1999 Industrial noise exposure and risk factors for cardiovascular disease: Findings from the CORDIS study. *Noise & Health* 4:49-56
- MIEDEMA, H.M.E., VOS, H. 1998 Exposure-response relationships for transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 104: 3432-3445
- ORTSCHEID, J., Wende, H. 2000 Fluglärmwirkungen, Umweltbundesamt, Berlin.
- SELYE, H. 1953 The stress of life. McGraw-Hill. New York
- SPRENG, M. 2000 Possible health effects of noise induced cortisol increase. *Noise & Health* 7: 59-63

SPRENG, M. 2001 Periphere und zentrale Aktivierungsprozesse. In: WICHMANN, SCHLIPKÖTER, FÜLGRAFF (eds.) Handbuch der Umweltmedizin. Kapitel VII-1 Lärm, Erg. Lfg.7/01 Ecomed, Landsberg

UNFALLVERHÜTUNGSVORSCHRIFT (UVV) LÄRM 1990 Carl Heymanns, Köln

VDI-Richtlinie 3722 B. 1988 Wirkungen von Verkehrsgläuschen. Beuth Verlag, Berlin

ZHAO, Y., ZHANG, S., SELVIN, S., SPEAR, R.C. 1991 A dose response relation for noise induced hypertension. British Journal of Industrial Medicine 48:179-184

Tab. 1 Zusammenhang zwischen Verkehrslärmpegeln und Belästigung bei verschiedenen Verkehrslärmtypen

	erheblich belästigt	stark belästigt
Fluglärm	51 dB(A)	61 dB(A)
Straßenlärm	57 dB(A)	65 dB(A)
Schienenlärm	63 dB(A)	78 dB(A)

Tab. 2: Übersicht über neuere Studien zum Zusammenhang von Verkehrslärmbelastung und Streßhormonerhöhungen.  
+ : signifikanter Anstieg, = : keine Änderung, ø : nicht gemessen

Erstautor	Jahr	Lärmtyp (Dauer)	akut/ chron.	Leq[dB(A)] (L <sub>max</sub> )	Personen	Messungen	Adrenalin	Noradrenalin	freies Cortisol
Maschke	1992	Fluglärm 8 Nächte	akut	29-55 (55-75)	8	64	+	=	ø
Maschke	1995	Fluglärm (8 Nächte)	akut	29-45 (55-65)	28	224	+	=	+
Evans	1998	Fluglärm (1.5 Jahre)	chron.	53/62 *)	217	217	+	+	ø ***)
Harder	1999	Fluglärm (40 Nächte)	akut + chron.	42 (65)	15	600	=	=	+
Ising	1999	Fluglärm (1-3 x 10s)	akut	(90-100) *)	68	272	=	=	=
Carter	1994	Straßenlärm (2 Nächte)	akut	32 (65-72)	9	18	=	=	ø
Babisch	1996	Straßenlärm (Jahre)	chron.	45-75*)	200	200	=	+	ø
Braun	1999	Straßenlärm (Jahre / 2 Nächte)	akut+ chron.	<45/ 53-69 *)	26	152	=	+	+
Evans	2001	Straßenlärm (Jahre)	chron.	46/ 62 *) L <sub>dn</sub> ****)	115	115	=	=	+
Ising	2001	Straßenlärm (Jahre)	chron.	L <sub>max</sub> :30/42 (nachts)	56	56	ø	ø	+ **)
*) Außenpegel    **) 1. Nachthälfte    ***) nur Gesamtcortisol gemessen    ****) Tag-Nacht-Pegel									

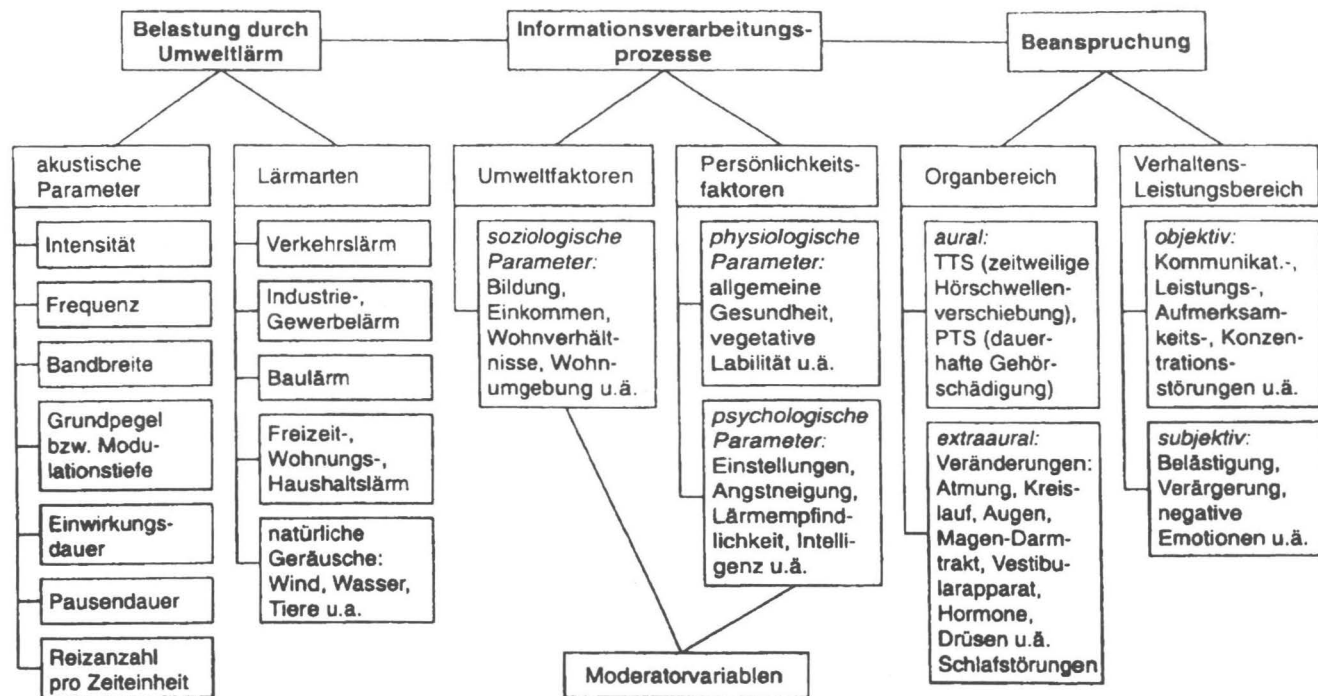


Abbildung 1 Die Beziehung zwischen Belastungsfaktoren, Moderatorvariablen und Beanspruchungsparametern am Beispiel des Umweltlärms.

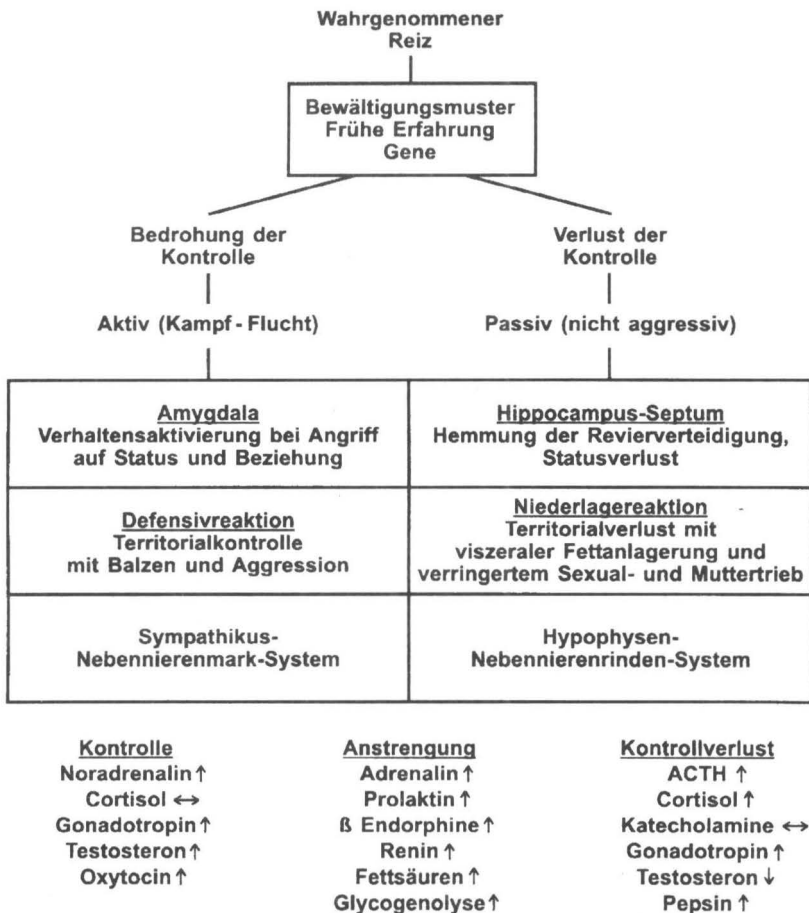


Abb. 2: Psychophysiologisches Stressmodell nach Henry [1992].

Die Defensivreaktion wird aktiviert, wenn der Organismus herausgefordert wird, aber die Kontrolle behält. Das neuroendokrine Muster ändert sich, wenn ein steigender Aufwand nötig ist, um der Bedrohung zu begegnen und den Status zu wahren. Mit zunehmender subjektiver Wahrnehmung von Kontrollverlust und Hilflosigkeit erfolgt eine Aktivierung des Hypophysen-Nebennierenrinden-Systems, das Gonadotropin-System wird deaktiviert. Viszerales Fett wird wie beim Cushingsyndrom vermehrt gespeichert. Es erfolgt eine Verschiebung von aktiver zu passiver und nichtaggressiver Bewältigung [zitiert nach Henry, 1992].

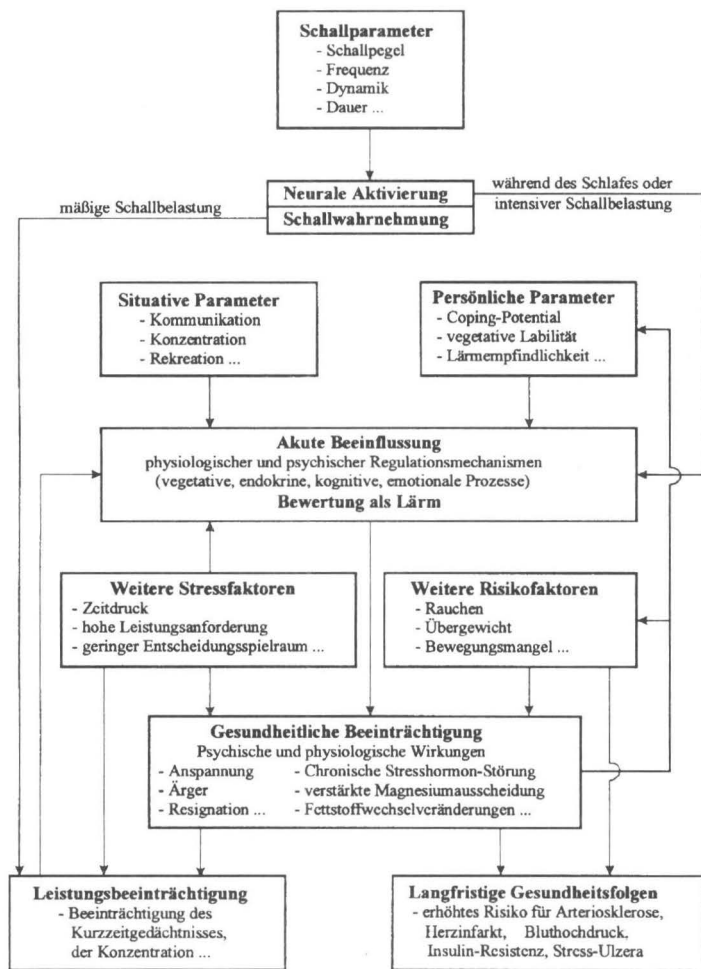


Abb. 3: Schematische Darstellung extraauraler Lärmwirkungen: Bei mäßiger Belastung wirkt der Lärm überwiegend indirekt über Aktivitätsstörungen. Im Gegensatz dazu bewirken intensive Schallbelastungen wacher Personen ebenso wie Geräusche, die Gefahren signalisieren (z.B. Verkehrsgerausche), bei schlafenden Personen direkt (ohne Aktivitätsstörung) akute Stressreaktionen, auch wenn die Pegel niedrig sind.

# **Arousals bei Fluglärm – umweltbedingte Schlaf- und Gesundheitsstörungen aus schlafmedizinischer Sicht**

*PD Dr. Friedhart Raschke*

*Institut für Rehabforschung an der Klinik Norderney der Universität Witten/Herdecke*

*Kaiserstr. 26, 26548 Norderney*

## **Problemstellung**

Seit Anfang der 80er Jahre hat eine breit angelegte klinisch-internistische Schlafforschung eine Fülle neuer Erkenntnisse zu den Erholungsfunktionen des Schlafs erbracht. Die Schlafmedizin hat sich als fächerübergreifende Disziplin mit eigenem Curriculum für die ärztliche Aus-, Fort- und Weiterbildung seitdem auch in Deutschland endlich etabliert bzw. ist noch im Entstehen begriffen, so daß die hinzugewonnenen Kenntnisse noch nicht überall erwartet werden können. Seit den 80er Jahren ist aber bekannt, daß Durchschlafstörungen, auch wenn sie keine sichtbaren Weckreaktionen im EEG oder im Verhalten aufweisen, den Schlaf so stark fragmentieren können, daß die Leistungsfähigkeit und Befindlichkeit am nächsten Tag beeinträchtigt ist. Dennoch gehen heute immer noch viele Wissenschaftler davon aus, daß nur solche Weckreaktionen, die zum vollständigen Aufwachen führen, eine Schlafstörung induzieren. Bei den Entstehungsursachen für Schlafstörungen, die z.B. durch nächtlichen Fluglärm verursacht werden, bildet diese Kausalkette daher häufig die Ausgangsbasis. Schlaf gilt nur dann als lärmgestört, wenn sein Verlauf makroskopisch unterbrochen wird. Der vorliegende Artikel beschreibt in Grundzügen die neueren Erkenntnisse zu Schlafstörungen, EEG-Arousals und vegetativen Arousals und skizziert die derzeitigen Kenntnisse über ihre Auswirkungen auf die Gesundheit sowie die gestörte Befindlichkeit und Leistungsfähigkeit am Tage.

## **Klassifikation von Schlafstörungen**

Eine umfassende eigenständige internationale Klassifikation von Schlafstörungen ICSD (vgl. Schramm & Riemann, 1991) hat sich aus den psychiatrisch/psychologisch ausgerichteten Klassifikationssystemen (DSM-III, DSM-IV, vgl. Wittchen et al., 1991) unter Verwendung der damaligen ICD-9 – heute ICD-10 - entwickelt. Das schlafmedizinische Diagnose-System kennt 88 verschiedene Krankheitsbilder des gestörten Schlafs. Es unterscheidet 4 Haupt-Kategorien:

1. Dysomnien (Störungen hinsichtlich Dauer, Qualität und Zeitpunkt des Schlafs)
2. Parasomnien (Störungen beim Erwachen, bei Schlafstadienwechseln und während des Schlafprozesses)
3. Schlafstörungen bei körperlichen und psychischen Erkrankungen (mit fester Beziehung zu psychischen, psychiatrischen oder körperlichen Erkrankungen)

4. Vorgeschlagene Schlafstörungen (die noch nicht durch genügend Daten und Informationen belegt sind, um als eigenständige Erkrankung zu gelten)

Unter diesen 4 Kategorien stellen die Dyssomnien die 1. Hauptgruppe dar. Abb. 1 zeigt ihre drei Dimensionen: 1. Intrinsische Dyssomnien 2. Extrinsische Dyssomnien 3. Circadiane Rhythmusstörungen. In dieser Gruppe ist der bei weitem größte Teil aller Schlafstörungen erfasst, weil hierzu sowohl intrinsische als auch extrinsische Schlafstörungen zählen. Die intrinsischen Dyssomnien werden weiterhin nach den Untergruppen Insomnie (Ein- und Durchschlafstörungen) und Hypersomnie (Tagesschläfrigkeit) eingeteilt. Unter die Extrinsischen fallen auch die umweltbedingten Schlafstörungen (Lärm, Klima). Sozioökonomisch relevante Störungen des circadianen Rhythmus (Zeitzonenwechsel, Schichtarbeit) bilden eine eigene Kategorie. Die Darstellung enthält als Spiegelstrich (Punkte) sämtliche Krankheitsbilder der 1. Hauptgruppe. Darüber hinaus ist bei intrinsischen Dyssomnien über die linke oder rechte Positionierung ersichtlich, ob das Störungsbild maßgeblich durch Insomnien (I) oder Hypersomnien (H) geprägt ist. Die Reihenfolge der Abkürzung I und H gibt bei Kombinationsformen weiterhin an, welches der beiden Symptome im Vordergrund steht (vgl. DGSM, Fischer et al. 2001).

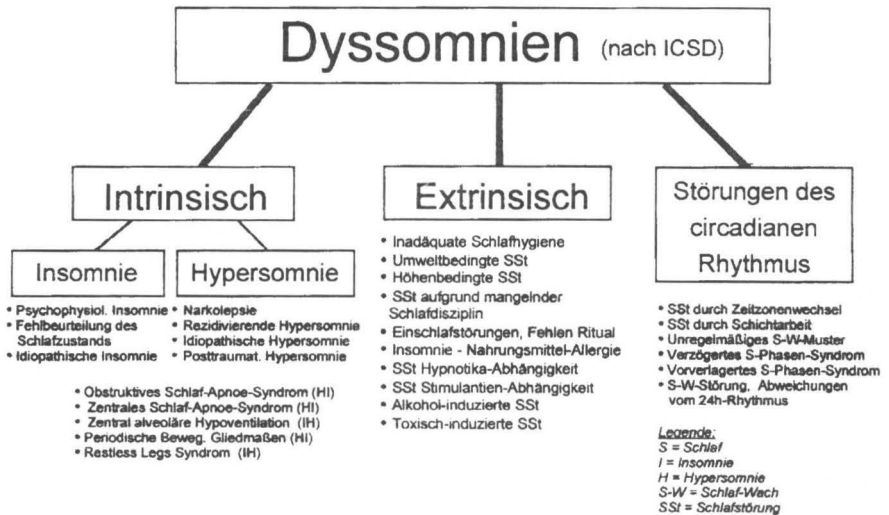


Abb. 1 Klassifikationssystem der Internationalen Classification of Sleep Disorders ICSD. Hier: 1. Hauptgruppe - **Dyssomnien**. Jeder Spiegelstrich/Punkt bedeutet eine von 88 möglichen Diagnosen.

### Umweltbedingte Schlafstörungen nach ICSD

Die ICSD enthält umweltbedingte Schlafstörungen in Form von Insomnien und Tagesschläfrigkeit unter der Kennziffer 780.52-6. Auch lärmbedingte Schlafstörungen zählen hierzu. Für ihre Diagnose müssen mehrere der folgenden Kriterien gleichzeitig erfüllt sein: A. Beschwerde einer Insomnie oder exzessiver Tagesschläfrigkeit. B. Entstehung und/oder Entwicklung der Störung ist

mit einem objektiv definierten Stimulus bzw. Umgebungsfaktor verbunden. C. Die physikalischen Eigenschaften dieses Umgebungsfaktors klären diese Störung vollständig auf, nicht hingegen seine psychologische Bewertung. D. Ein Wegfall der Störung führt zu sofortiger Wiederherstellung normalen Schlafs. E. Störungsdauer mehr als 3 Wochen. F. Keine Anhaltspunkte für organische, psychiatrische oder G. andere Schlafstörungen. Zur Klassifizierung nach 780.52-6 sollen mindestens die Kriterien A – E erfüllt sein. Die ICS-D enthält für einige Krankheitsbilder auch eine Schweregradeinteilung, die sich aus der Kombination und Ausprägung verschiedener Symptome ergibt. Eine Schweregradeinteilung der umweltbedingten Schlafstörungen liegt allerdings bislang nicht vor.

## Erfassung von auditiv induzierten Schlafstörungen - Arousals

Zur Messung der Schlaf-tiefe existiert seit 1967 eine internationale Vereinheitlichung und Quantifizierung (Rechtschaffen und Kales, 1967). Sie basiert auf einer Epochen-Einteilung mit 30 Sekunden als kleinster Einheit. Ein Stadium wird nur dann als solches bewertet, wenn festgelegte Merkmale in mehr als 50 % der Epochen-dauer enthalten sind. Für die Erfassung eines gestörten Schlafverlaufs haben in Anwendung des Manuals prozentuale Anteile von Leicht-, Tief- und REM-Schlaf, die Gesamtschlaf-dauer, die Schlaf-latenz und die Kontinuität eine Hauptrolle gespielt.

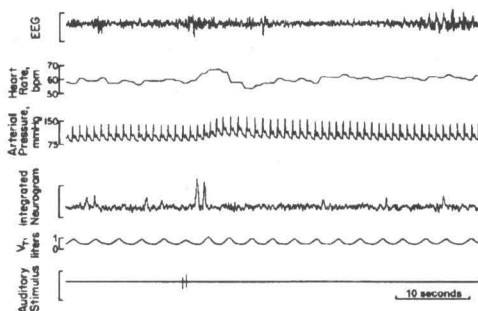


Abb. 2 Zeitverlauf einer Arousal-Reaktion mit auditivem Stimulus (1000 Hz, 0,5 sec) aus dem Leicht-schlaf heraus. Gesunder Proband. Von oben n. unten: EEG/C4-A1, momentane Herzfrequenz, art. Blutdruck (Finapress), integrierte Sympathikus-Aktivität, Induktivitätsplethysmographie für das Atemzugvolumen, Stimulus (n. Morgan et al., 1996).

Auch schon vor 1967 war bekannt, daß bei der Schlaf-tiefenmessung über Weckschwellen der für Lärmstörungen verantwortliche auditive Reiz nicht ausschließlich eindimensional über seine Intensität als bewertbare EEG-Änderung wirksam wird. Es spielen bei der auditiven Stimulation auch weitere Funktionen eine wichtige Rolle: Geräuschform, Frequenzspektrum, Informationsgehalt, Intervall-dauer bei wiederholter Applikation, Ordnungszahl durchlaufener Schlafzyklen, die Expositionszeit in Relation zur Phasenlage des circadianen Systems (Maschke et al., 1997; Griefahn, 2000) und auch insbesondere das Lebensalter. Alle Funktionen haben eine modifizierende Wirkung auf die Weckschwelle (z.B. Müller, 1998). Der bekannte Schweizer Schlafforscher Koella (1988) verfolgt statt der eindimensionalen Schwellenbestimmung über ein Makro-Arousal

eine differenzierte Vigilanz-Level-Bewertung in verschiedenen funktionellen Systemen. Er schlägt vor, vegetative, motorische, sensorische sowie niedrigere und höhere Funktionen getrennt zu untersuchen.

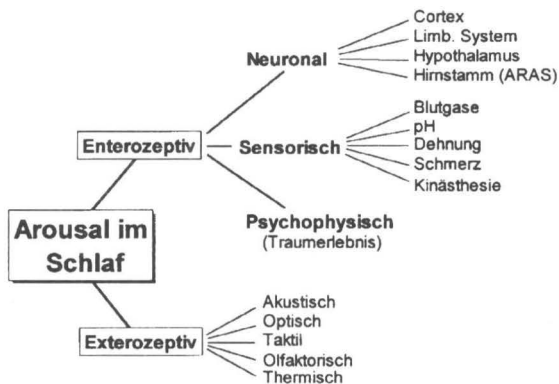


Abb. 3 Verschiedene Stimuli, die Arousal im Schlaf induzieren. Neuronale Areale der Haupt-Lokalisation im ZNS. ARAS = aufsteigend retikulär aktivierendes System.

Daß es sich in der Tat um mehrschichtige Reaktionen handelt, macht Abb. 2 deutlich. Auf einen Stimulus in Form eines 1000-Hz-Tones von 0,5 sec Dauer, der im Bereich von 43 bis 80 dB mit 15 cm Stirnabstand appliziert wurde, sind die Reaktionen von EEG, momentaner Herzfrequenz fortlaufend geschriebenem nichtinvasivem Blutdruck (Finapress), integrierter Sympathikusaktivität und Atemzugvolumen abzulesen. Alle Meßgrößen zeigen ein kurzzeitiges Antwort-Verhalten auf den Stimulus hin. Seine Dauer beträgt ca. 10 Sekunden ohne zum Aufwachen zu führen – eine typische Arousal-Reaktion. In der Original-Arbeit sind weitere kardiovaskuläre Meßgrößen wie Herzzeitvolumen und Schlagvolumen gemessen worden. Die Abbildung belegt auch ohne den vollständigen Datensatz, daß ein Arousal-Mechanismus sich in mehreren Systemen zeitgleich wiederfindet (vgl. Koella, 1988), die in ihrer spezifischen Kombination als Stimulus-Reaktion wie bei einem Fingerabdruck fürs Individuum unverwechselbar auftreten. Dabei spielen für die Weckreaktionen sowohl interne als auch externe Stimuli eine Rolle. Neben auditiven können verschiedene andere sensorische Reizmodalitäten ein Arousal auslösen. Sie sind in Abb. 3 zusammengestellt. Die Abbildung gibt die enterozeptiven und exterozeptiven Stimulusqualitäten und Lokalisationen wieder, in denen sich Arousal-Prozesse abspielen. Aus der Arousal-Forschung sind außerdem mehrere Arousal-Systeme bekannt, die hierarchisch zueinander in Beziehung stehen und je nach Anforderungsmodalität unterschiedliche Hirnareale umfassen. Auf unterster Stufe steht das spinale, gefolgt von dem vegetativen Arousal-System. Weckreaktionen, die zum bewußten Wachwerden führen, werden als Makro-Arousal bezeichnet und im EEG nachgewiesen. Jedoch treten zum Zweck der motorischen Verhaltensregulation (z.B. Thermo-Regulation) in verschiedenen Schlafstadien sichtbare Arousals als sogenannte Mikro-Arousals auf, die im corticalen EEG nachweisbar sind. Auch affektive Arousals können im Traumschlaf entstehen, die emotionale Wahrnehmungen und Verarbeitungsprozesse beinhalten, im limbischen System generiert werden, prinzipiell als Aktivierungsreaktion eine umfassende Rolle jedoch nur im Wachen einnehmen. Abb. 4 stellt die einzelnen Systeme dar. Aktuelle Forschungsergebnisse weisen darauf hin, daß die Weckreaktion aus dem Schlaf im wesentlichen über den Locus coeruleus und

die Raphé-Kerne vermittelt werden, wobei Orexin, das auch am Energie-Stoffwechsel und der Nahrungsaufnahme beteiligte Hormon, als hormoneller Transmitter für die intakte Schlaf-Wach-Regulation eine wichtige Rolle spielt.

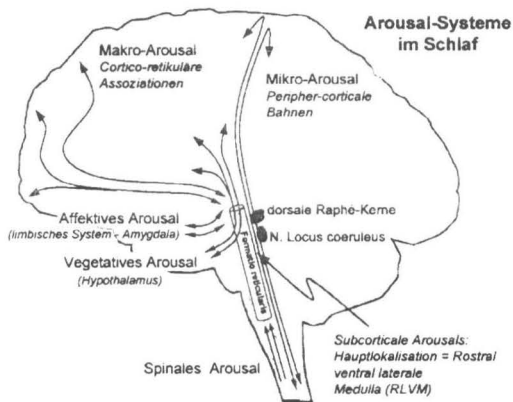


Abb. 4 Funktionell-neuroanatomische Darstellung der verschiedenen Arousal-Systeme. Makro-Arousal gehen mit Bewußtsein einher und können über die Verhaltensregulation beantwortet werden, Mikro-Arousal dagegen erscheinen zwar im corticalen EEG, werden aber motorisch subvigil beantwortet (Motorischer Cortex). Raphé-Kerne und N. Locus coeruleus als Hauptzentren der Schlaf-Wach-Regulation eingebunden in vegetative Arousal-Reaktionen (respiratorische, kardiovaskuläre, sympathikotone und catecholaminerge Arousal-Reaktionen). Medulla (RLVM) und Hypothalamus als Drehscheibe und Hauptlokalisation aller unterschiedlichen Arousal-Reaktionen.

## EEG-Arousal

Wie aus Abbildung 4 deutlich wird, erscheinen alle Mikro- und Makro-Arousal im corticalen EEG. Weckreaktionen, die nicht zu einem makroskopischen Aufwachen führen, waren in der Definition von Rechtschaffen und Kales (1968) nicht enthalten. Die Verwendung dieser Einteilung läßt daher die Quantifizierung von typischen, nur wenige Sekunden dauernden schlafbezogenen EEG-Ereignissen wie Anzahl von Beta-Spindeln, K-Komplexe oder Vertex-Potenziale nicht zu. Weckreaktionen werden nur als sogenannte Makro-Arousal bei vollständigem Erwachen erfaßt. In dieser Klassifikation wurden daher alle subvigilen Arousal per Definition ignoriert. Motorische Verhaltensreaktionen zur Positionierung der Extremitäten, Ganzkörperpositionswechsel oder thermische Komfortregulation über die Bettdeckenlagerung bleiben daher in der Regel ebenfalls unerkannt. Insofern ist es nicht verwunderlich, daß die sich weiterentwickelnde Schlafmedizin neue Maßstäbe für gestörten Schlaf benötigte. Diese mußten angesichts der eingangs erwähnten wachsenden Erkenntnisse aus der Inneren Medizin Anfang der 80er Jahre als Indikatoren für die Symptomatik des nicht erholsamen Schlafs entwickelt werden, der sich nicht über die Verwendung der 30-sec-Epochen erklären ließ. Seit den Untersuchungsergebnissen zur intrinsischen Dysnomnie war klar, daß die exzessive Tagesschläfrigkeit sich nach Rechtschaffen und Kales nicht bewerten ließ, da trotz ausgeprägter Tagessymptomatik nur minimale Änderungen in der Schlaftiefenverteilung auftraten. Für solche transienten Arousal, die nicht in ein makroskopisches behaviorales Aufwachen übergehen, wurde von der Amerikanischen Sleep Disorders Association ein Scoring-

System entwickelt (ASDA, 1992), das Sequenzen von 3-15 Sekunden Dauer berücksichtigte. Ein Arousal liegt dann vor, wenn eine abrupte EEG-Frequenzänderung, einschließlich Thetawellen, Alphawellen oder Frequenzen über 16 Hz, jedoch keine Spindeln auftreten und 11 weitere Kriterien erfüllt sind. Hiermit wurden speziell EEG-Arousals als Mikro-Arousal erfasst, deren Bewertung auf EEG, EOG und EMG basieren. Der neue Indikator konnte erstmals auch eine subvigile Schlaffragmentierung abbilden, die durch intrinsische, sensorische (vgl. Abb. 3) und autonome Alarmreaktionen, wie respiratorische Arousals sowie ruheloze oder periodische Beinbewegungen, verursacht waren. Von diesen autonomen Arousals war inzwischen nachgewiesen, daß sie eine Tagesschläfrigkeit maßgeblich verursachten, obwohl sie nur als Transienten auftreten und dem Schläfer nicht bewußt sind.

Anhand der 11 Kriterien, die sich über entsprechende Computer-Programme der Zeitreihenanalyse leicht in einen Entscheidungsbaum umsetzen ließen, war eine standardisierte internationale Verbreitung ohne weiteres möglich. Sie wurde in verschiedenen Polysomnographie-Systemen für die Auswertung innerhalb von 2-3 Jahren realisiert (vgl. Rühle et al. 2001). Ein Arousal-Index, der die Arousal-Dichte (Ereignisse / h Schlaf) angab, galt als Maß für den Schweregrad.

## **Vegetative Arousals**

Die EEG- bzw. Mikro-Arousals der ASDA sind cortical nachweisbar. Es erscheinen jedoch längst nicht alle vegetativen Arousals im Cortex. Ein erheblicher Nachteil der Methode war daher, daß zwischen den einzelnen Formen der Arousals aus Abb. 4 nicht differenziert wurde und deswegen in der Auswertung die EEG-Arousals mit oder ohne synchron auftretende vegetative Arousals bewertet wurden und bis heute darüber weder eine Definition geschaffen wurde noch Einigung besteht, welche Arousals für die Befundung standardisiert verwendet werden sollen. Zu den vegetativen Arousals zählen: respiratorische Ereignisse wie obstruktive Apnoen, Sauerstoffsättigungen, Effort-Zunahmen der Thorax/Zwerchfell-Aktivität oder im Ösophagusdruck, kardiovaskuläre Ereignisse wie Herzfrequenz-Beschleunigungen oder Blutdruck- und Sympathikus-Aktivierungen. Auch neurologische Ereignisse wie periodische Beinbewegungen wurden synchron mit den EEG-Arousals ausgezählt oder auch separat betrachtet. Diese verwirrende Vielfalt der Maßgaben hat sich bis heute nicht verbessert. Folgende vegetativen Mikro-Arousals werden derzeit berücksichtigt:

### *- Respiratorische Arousals*

- a. Sauerstoffsättigungen um mindestens 3 %
- b. Anstiege von Atemminutenvolumen, Atemzugvolumen, Atemanstrengung/Ösophagusdruck und Atemflußgeschwindigkeit

### *- Herzfrequenz-Arousal*

- a. Transiente Zunahmen der momentanen Herzfrequenz (zeitbegrenzte tachykarde Ereignisse von mehr als 10 Pulsen)
- b. Herzfrequenzvariabilität als globales statistisches Maß für sympathikotone HF-Reaktionen
- c. Spektralanalytische Maße über Leistungsdichtespektren (aus vorgegebenen Epochen der momentanen Herzfrequenz abgeleitet)

- *Blutdruck-Arousal*

- a. Anstiege im systolischen Blutdruck um mehr als 10mmHg über eine fortlaufende nichtinvasive Messung des arteriellen Blutdrucks
- b. Anstiege im blutig fortlaufend gemessenen arteriellen systolischen Blutdruck

- *Puls Transit Zeit*

- a. Verkürzung der Laufzeit um 10 msec wird als Arousal gewertet

- *Movement-Arousal*

- a. Mikro-Arousal, das mit Periodischen Beinbewegungen einhergeht
- b. Bewegungs-Arousal mit submentaler EMG- oder kurzzeitiger Extremitäten-Motorik (<15 sec)

Alle diese Formen können auch in Kombination vorkommen. Einige Autoren unterscheiden weiterhin nach Intensität, Komplexität (Anzahl der involvierten Variablen) oder Dauer (1, 3, 5 oder 10 sec) und leiten daraus einen Arousal-Schweregrad ab (z.B. Stradling et al. 1999). Die hier zusammengestellten Marker konnten in verschiedenen Polysomnographen als Programm-Entwicklung in eine automatische Erkennung umgesetzt werden. Standards der zu verwendenden Mindestvariablen gibt es derzeit leider nicht. Immerhin war seit 1992 dadurch eine wesentlich sensitivere Zuordnung von exzessiver Tagesschläfrigkeit, cognitiver Leistungseinbuße, Befindensstörungen, Aufmerksamkeitsversagen und Lebensqualität möglich geworden als dies über die Parameter nach Rechtschaffen & Kales und den goldenen Standard-Test der Schlafmedizin, den Multiplen Schlaf-Latenz-Test (MSLT), bislang möglich war.

Auch die sympathische Aktivierung spielte schon immer eine wichtige Rolle bei sämtlichen Aktivierungsreaktionen, war jedoch als fortlaufende Methode über die Tibialis-Nadel als Elektroden-Messung in der Wade (vgl. Abb. 2) stets mit erheblichen Ausfällen und unzumutbarer Schmerz-Belastung für den Probanden verbunden. Zu einer vereinfachten Erfassung der sympathischen Aktivierung kam Mitte der 90er Jahre die automatisierte Vermessung der Puls-Transit-Zeit (PTT) über die synchrone Ableitung von EKG und photoplethysmographisch erfasster Sauerstoffsättigung an der Fingerkuppe hinzu. Aus den beiden Meßgrößen wurde die Laufzeit der arteriellen Pulsation errechnet (vgl. Rühle et al., 2001), die gemeinsam mit ihren Modulatoren Schlagvolumen und Herzzeitvolumen ein indirektes Maß der sympathischen Aktivierung darstellten. Auch die peripher arterielle Tonometrie (PAT), die die Fingerpulsamplitude als klassischen sensitiven Indikator für vegetative Lärmreaktionen (Jansen et al., 1980) in der schlafmedizinischen Arousal-Forschung wiederaufleben ließ (z.B. O'Donnell et al. 2001), spielt in jüngster Zeit eine gewisse Rolle bei der Ermittlung von autonomen Arousal-Reaktionen. Mit diesen Verfahren sollte einerseits die Tonisierung/Versteifung der Arterienwand, die zu einer Beschleunigung der Pulswellengeschwindigkeit führt, bzw. die Abnahme der photoplethysmographischen Fingerpulsamplitude gemessen werden. Die Fingerpulsamplitude ist bekanntermaßen eine bedeutende nichtinvasive, stressensible Meßgröße. Die Reaktionen sind sympathikoton bzw. Alpha-adrenerg vermittelt. Der Nachteil beider Verfahren ist jedoch, daß die Puls-Transit-Zeit einerseits meßtechnisch unsicher und die Fingerpulsamplituden andererseits wegen der im Kapillarbett vorherrschenden Thermoregulation mehrdeutige Reaktionen zeigt, die sämtliche stressinduzierten Reaktionen auch während des Schlafes maskieren können. Insofern bleibt ihre weitere Verwendbarkeit davon abhängig, ob es gelingt, die Confounder-Variablen der Thermoregulation zu standardisieren. Recht gut ist aber inzwischen experimentell gesichert, daß die alleinige Verwendung der EEG-Arousals über die ASDA-Definition in keiner Weise zur

Erklärung von Tagesschläfrigkeit ausreicht (Pitson & Stradling, 1998; Ayas et al. 2001), es sei denn, sie sind von vegetativen Arousal begleitet.

Als Schlußfolgerung aus den derzeitigen Erkenntnissen läßt sich klar sagen, daß die Mikro-Arousal der ASDA in der Lärmwirkungsforschung als Indikator für Schlafstörungen und Lärmbelastigungen nicht einsetzbar sind, da sie ohnehin beim Gesunden in Abhängigkeit vom Lebensalter zwischen 10 und 20 / h betragen (Boselli et al., 1998) und in diesem Bereich als normal angesehen werden können. Sie zeigen im normalen Nachtschlaf auch Positionswechsel zwecks Thermo- und Lagekomfort an und können ohne vegetative Begleit-Arousal ablaufen.

## Arousal und Erholungsfunktion des Schlafes

Betrachtet man hingegen nur solche Mikro-Arousal, die mit vegetativen Arousal in Form von transienten Herzfrequenz-, systolischen und diastolischen Blutdruck-Anstiegen, Sympathikus-Aktivitätszunahmen, Ventilationssteigerungen in Atem-Amplitude, Atem-Flußgeschwindigkeit oder -Anstrengung einhergehen, so läßt sich ein weitaus stärkerer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Arousal und der verminderten Leistungsfähigkeit am Tage aufstellen. Dies wurde z.B. in der Studie von Pitson & Stradling (1998) erzielt. Dadurch kommen in erster Linie diese vegetativen Arousal-Reaktionen als Marker für die verringerte Befindlichkeit und Vigilanz am Tage in Frage. Auch die PTT- und PAT-Werte werden als Marker von Tagesschläfrigkeit vermutet. Natürlich sind auch Katecholamin-Ausschüttungen oder Release-Störungen bei verschiedenen erholungswirksamen Hormonen (Acetylcholin, Wachstumshormon, Serotonin, Orexin, Leptin u.a.m.) bei solchen Aktivierungsreaktionen in erheblichen Maße beteiligt, bzw. zu erwarten. Sie lassen sich aber unvergleichbar schwerer messen. Nur unrealistisch dichte laborchemische Sample-Raten könnten ihren transienten Charakter erfassen. Sie erscheinen in der Regel auch nicht als kumuliertes Substrat, das sich am Morgen durch eine Einmal-Messung nachweisen ließe (z.B. Cortisol im Sammelurin).

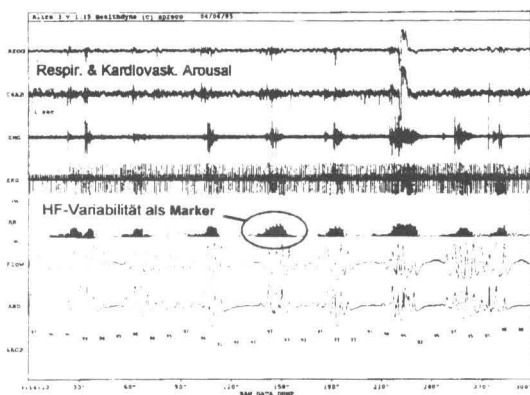


Abb. 5 Polysomnogramm mit respiratorischen Arousal von einem Patienten mit schwerem obstruktivem Schlaf-Apnoe-Syndrom. Von oben nach unten EOG, EEG, EMG, EKG, Kardiotachogramm (RR), nasale, abdominale Atemkurve, digitale SaO<sub>2</sub>-Werte. Die schwarzen Flächen im Kardiotachogramm sind vegetative Begleitreaktionen von respiratorischen Arousal.

Auf der Suche nach sensiblen Markern muß man demnach die autonomen Regulationen fokussieren, die den Organismus kurzzeitig aus der Homöostase, d.h. seinem selbstgewählten Optimum, auslenken. In Abb. 5 sind die typischen polysomnographischen Daten über 5 Minuten von einem Patienten mit schwerem obstruktiven Schlaf-Apnoe-Syndrom und damit verbundenen respiratorischen Arousals dargestellt. Die schwarzen Flächen im Kardiotachogramm repräsentieren Herzfrequenz-Arousals, die synchron zu den respiratorischen Arousals auftreten und deutlich Tachykardien mit Frequenzsteigerungen von 10 – 30 Pulsen pro Min. und einer jeweiligen Dauer von 20 – 35 Sek. bedeuten. Man kann von weiteren, in dieser Darstellung nicht enthaltenen zusätzlichen Aktivierungen im kardiovaskulären System ausgehen (Blutdruck, Cardiac Output, Sympathikotonus, periphere Vasokonstriktion). Diese waren auch schon in Abb. 2 aufgrund des akustischen Stimulus zu beobachten. Von diesen umfassenden kardiovaskulären und endokrinen Aktivierungen ist bekannt, daß sie die Erholungsfunktion des Schlafes in erheblicher Weise stören können, da sie den Gesamtmetabolismus und damit auch die Schlafpulsfrequenz im Mittel erhöhen. In der Tat läßt sich ein solcher Zusammenhang o. w. an einem größeren Kollektiv von Patienten mit Atemwegserkrankungen und Schlaf-Apnoe-Syndrom nachweisen, wie Abb. 6 darstellt. Bei 160 Patienten unserer Klinik, die im Schlaflabor untersucht wurden, haben wir am Tage einen Fragebogen zu Schlafstörungen und Leistungseinschränkungen vorgelegt, der mit dem Faktor "Vigilanz und Leistungsbereitschaft" auf einer Skala von 0 – 100 zwischen voll ausgeprägter und nicht vorhandener Symptomatik unterscheidet. Die Abb. zeigt, daß sich 9,5 % der verminderten Vigilanz und Leistungsfähigkeit allein aufgrund der mittleren Herzfrequenz während des Schlafes erklären lassen. Da bei diesen Patienten häufig Schlafstörungen in Form der intrinsischen Dyssomnie (Abb. 1) auftreten, sind sie dem Patienten am Morgen in der Regel nicht bewußt sind, weswegen sich eine solch hohe Korrelation auch nicht zu den erlebten Schlafstörungen (Eindurchschlafen und Aufwachstörungen) finden läßt. Betrachtet man speziell nur die in Abb. 5 dargestellten HF-Arousals, so ergibt sich ein wesentlich strengerer Zusammenhang zwischen transienten HF-Anstiegen und den respiratorischen Arousals aus der gesamten Schlafzeit (Abb. 7). Hier beträgt die erklärte Varianz schon 43,2 %, was die enge Koppelung von respiratorischen und kardiovaskulären Ereignissen belegt. Man muß erneut hervorheben, daß der einzelne Patient diese unnormalen Abläufe im Schlafprofil weder wahrnehmen noch irgendwie selbst erkennen kann, es sei denn, man erkundet seine Tagesbefindlichkeit, von der es häufig heißt: "Ich bin so kaputt, wenn ich nur wüßte wovon".

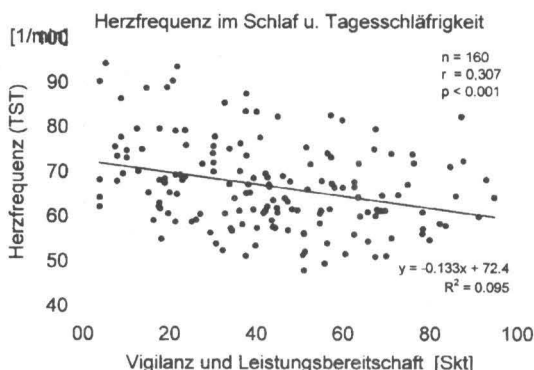


Abb. 6 Mittlere Herzfrequenzwerte für die gesamte Schlafzeit von 160 Patienten mit Atemwegserkrankungen und Schlaf-Apnoe-Syndrom. Skala der Vigilanz-/Leistungsbereitschaft am Tage (Norderneyer Schlaf- und Vigilanz-Fragebogen). Bestimmtheitsmaß  $R^2$  (9,5 % erklärte Varianz).

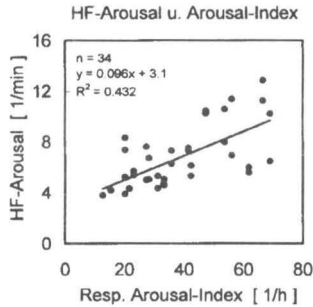


Abb. 7 Herzfrequenz-Arousal für die gesamte Schlafzeit von 34 Patienten mit obstruktivem Schlaf-Apnoe-Syndrom. Respiratorischer Arousal-Index (1/h). Bestimmtheitsmaß  $R^2$  (43,2 % erklärte Varianz).

### Auswirkungen von Ein- und Durchschlafstörungen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit

Wie die bisherigen Betrachtungen gezeigt haben, sind die physischen Reaktionen auf einen Stimulus hin mehrdimensional. So verwundert es nicht, daß auch die psychischen, psychosozialen und kommunikativen Funktionen in komplexer Weise gestört sind, wenn Ein- und Durchschlafstörungen als Ursache zugrunde liegen. Ähnlich wie bei den physiologischen Abläufen braucht man aber einen oder mehrere Marker, die eine Störung sensitiv und spezifisch anzeigen. Diese werden in der Sozial- und Rehabilitationsmedizin über Assessmentverfahren bereitgestellt. Dabei hat die Lebensqualitätsforschung der letzten Jahre (Bullinger et al. 1995) umfangreiche generische d.h. von der Grunderkrankung unabhängige Instrumente entwickelt, die den Gesundheitsstatus erfassen und auch auf die Schlafmedizin angewandt werden können (Raschke u. Fischer, 2001b). Ein international weit verbreitetes Instrument ist der Fragebogen zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität SF-36, der aus 36 Items mit 8 Subskalen besteht und in der deutschen Übersetzung von Bullinger et al. (1995) evaluiert wurde. Mit Hilfe dieses Fragebogens wurde die Selbstbefindlichkeit bei 261 Patienten mit Insomnien von Zammit et al. (1999) erhoben und mit einer Kontrollgruppe von 101 Probanden verglichen (Abb. 8).

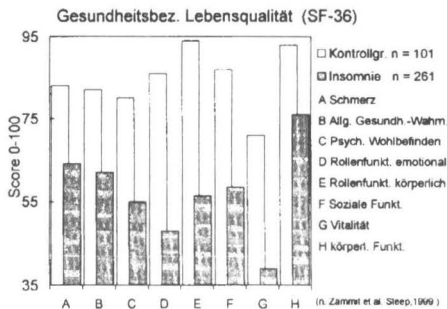


Abb. 8 Darstellung der 8 Dimensionen des Fragebogens zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität SF 36 (Bullinger et al. 1995). Kontrollgruppe = 101, Insomnie-Patienten = 261.

Die Abb. zeigt die 8 Dimensionen des Scores, der von 0 – 100 skaliert ist. 100 Punkte entspricht dem Maximalwert "bestmöglicher Funktionswert". Die Abb. macht mehrere Dinge deutlich: 1. Schon bei Gesunden sind nicht alle Subskalen gleich stark besetzt. 2. Bei Patienten mit Beschwerden des Ein- und Durchschlafens liegen sämtliche Scores weitaus tiefer. 3. Die Beeinträchtigung ist in den einzelnen Kategorien unterschiedlich. 4. Am stärksten betroffen ist die Kategorie "Vitalität".

Wenn man die Auswirkungen dieser Symptomatik auf körperliche Funktionen und die physische Gesundheit übertragen will, so gibt Abb. 9 in eindrucksvoller Weise wieder, wo die Befindensstörungen ein organisches Korrelat aufweisen, nämlich bei metabolischen Prozessen, indem der Gesamtmetabolismus gesteigert ist. Diese Untersuchung von Bonnet und Arand (1995), in der mittels indirekter Kalorimetrie der Energieumsatz von 10 Insomnie-Patienten im Vergleich zu 10 altersgeschlechts- und gewichtvergleichbaren Kontrollpersonen dargestellt ist, wurde unter 35 h Betruhebedingungen im Anschluß an einen Laborschlaf erhoben. Die Werte der Schlafgestörten liegen in der gesamten Zeit um ca. 10 % höher, die geschwungenen Zeitverläufe ergeben sich aus den endogen verankerten chronobiologisch determinierten Grundumsatzbedingungen. Die Ergebnisse zeigen klar, daß gestörter Schlaf mit basalen Funktionsänderungen einhergeht, die langfristige Nachwirkungen haben bzw. chronifiziert auftreten können und daher über die geänderte Stoffwechsellage Folgeschädigungen im metabolischen, endokrinen und kardiovaskulären System nicht ausgeschlossen sind.

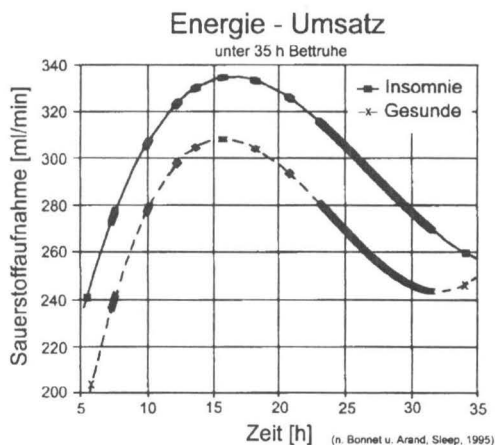


Abb. 9 Sauerstoffaufnahme (Energie-Umsatz) über die indirekte Kalorimetrie von Insomnikern n=10 und Gesunden n=10. 35 h Betruhe nach Nachtschlaf mit Inaktivierung. (Daten n. Bonnet & Arand, Sleep, 1995).

## Welche Arousals sind relevant?

Die Diskussion um die Funktion des Schlafes und die Mechanismen seiner Erholungsfunktionen beschäftigt Menschen seit vielen Jahrhunderten (vgl. z.B. Lauer, 1998). Zahlreiche Theorien werden diskutiert. Unter den vielen Ansätzen kommt jedoch der Hypothese, daß erholsamer Schlaf durch Gewebserholungsprozesse (Adam u. Oswald, 1977), Minimierung des Energieumsatzes (Shapiro, 1982) und der Optimierung des gesamten Energie-Metabolismus repräsentiert ist, eine zentrale Rolle zu (Pack, 2001). In diese Richtung weisen z.B. alle neueren Erkenntnisse zum Mechanismus der genetischen Fixierung der Narkolepsie. Wachsende Evidenz ergibt sich auch aus den zahllosen aktuellen Untersuchungsergebnissen zu Neurotransmittern wie Noradrenalin, Serotonin, Histamin, Acetylcholin und Orexin. Auch sämtliche neuroendokrinologischen Befunde weisen in diese Richtung. Wenn dies aber so ist, dann sind diejenigen Untersuchungsansätze sinnvollerweise weiter zu verfolgen, aus denen hervorgeht, daß jegliche Form einer Schlafstörung sich organisch in Steigerungen des basalen Metabolismus ausdrückt, dessen Veränderung sich mit verschiedenen nichtinvasiven Meßverfahren mehr oder weniger gut ablesen läßt. Insofern verwundert es nicht, daß die reinen EEG-Arousals kaum erholungsabträglich sind, da sie als neurologisches Epi-Phänomen zu schwach sind, um metabolische Änderungen zu bewirken. Anders sieht es dagegen bei makroskopischen Weck-Reaktionen aus, die den Schlafverlauf unterbrechen. Sie gehen zweifellos mit metabolischen Umschaltungen einher. Andererseits haben auch die exogen Vermittelten zu Metabolismus-Steigerungen geführt (Abb. 2). Dies belegen die transienten Herzfrequenz-Anstiege dieser Abbildung, von denen generell bekannt ist, daß sie in einer direkten Beziehung zur Sauerstoffaufnahme und damit dem Gesamtstoffwechsel stehen.

Eine Analogie zwischen den Reaktionen auf akustische Arousals und der intrinsischen Dysnomnie ist gegeben. Es wird darauf ankommen, über einen Vergleich der Wirkungsintensität zu ermitteln, welchen Anteil durch intermittierenden Lärm bedingte Schlafstörungen an der Befindensbeeinträchtigung haben. Derzeit liegen hierzu noch keine Grenzwerte vor. Eine Abschätzung der Reaktionen aus Abb. 5 (respiratorisches Arousal) und Abb. 2 (Akustisches Arousal) ergibt für die Herzfrequenz-Reaktionen als Arousal-Pulssumme über der Zeit für ein respiratorisches Arousal einen etwa um den Faktor 3 höheren Wert als bei akustischen Arousals. Setzt man statt des kurzen Klick-Impulses in Abb. 2 jedoch den Lärmpegel eines im Tiefflug landenden Düsenflugzeugs in Echtzeit an, so ergibt sich eine Störungsdauer von ca. einer halben Minute, die dazu führt, daß die respiratorische Arousal-Wirkung nur noch um den Faktor 2 höher ist als die akustische. Intrinsische und umweltbezogene Arousal-Reaktionen kommen sich unter diesen Bedingungen schon bedenklich nahe.

Sowohl makroskopische als auch mikroskopische Arousals müssen für die Erfassung der umweltbedingten Schlafstörungen berücksichtigt werden. Die Bewertung dieser Schlaffragmentierungen steht in ihrer Bedeutung mindestens gleichrangig neben traditionellen Indikatoren wie die Schlaf-tiefen- und Verlaufs-Messung. Dabei können sich die verschiedenen Mechanismen in ihrer Wirkung überlagern, addieren und möglicherweise auch potenzieren. Dazu gibt es bislang keine Untersuchungen. Man kann aber aufgrund der hier dargestellten Ergebnisse nicht mehr davon ausgehen, daß Befindlichkeitsbeeinträchtigungen in einer unmittelbaren Beziehung zu ihrer Wahrnehmung stehen müssen. Insofern stellen die hier dargestellten Untersuchungsergebnisse eine Erweiterung der bisherigen Kenntnisse zur Beeinträchtigung der Gesundheit durch Verkehrslärm dar (vgl. Ising u. Maschke, 1996). Andererseits ist eine Weiterentwicklung und insbesondere auch eine Erhöhung der Spezifität der Methoden erforderlich. Neue Ansätze zur verbesserten Nutzung von Markern für die Gesundheits-, Befindens- und Leistungsstörungen sind bereits erarbeitet (Ayas et al., 2001; Raschke u. Fischer 2001a).

Um die Frage beantworten zu können, wieviele Makro- und autonome Mikro-Arousals dürfen es denn einzeln oder in Kombination sein, damit präventivmedizinisch Gesundheit und Leistungsfähigkeit langfristig nicht beeinträchtigt sind, läßt sich derzeit aufgrund der vorliegenden Datenlage nicht mit Sicherheit beantworten. Ein vegetativer Arousal-Index, der über 30 / h liegt, gilt sicher als schwere Form einer Schlafstörung, über 20 als mittelschwer und über 10 als leicht. Grenzwerte für Anzahl, Verteilung und Intensität von Makro-Arousals liegen überhaupt nicht vor. Es ist nicht einmal klar, wieviele EEG-Arousals denn die altersbezogene Norm darstellen.

## Offene Fragen

Während die Messung der Schlaftiefe seit 1967 eine internationale Vereinheitlichung und Quantifizierung durch das Manual von Rechtschaffen und Kales erfahren hat, sind die diagnostischen Verfahren zur Erkennung von Schlafstörungen nach der ICSD bisher ohne Vereinheitlichung geblieben. Dies hat zur Folge, daß weder das Instrumentarium der Psychodiagnostik noch das Instrumentarium der Arousal-Wirkungen standardisiert ist. Auch der Zusammenhang zwischen Schlafqualität und Leistungsfähigkeit am nächsten Tag ist ein mehrdimensionales Geschehen, für das Assessmentinstrumente sich in der Entwicklung befinden. Angesichts der weltweit intensiven Forschungsaktivitäten zu diesem Thema sind klärende Erkenntnisfortschritte aber schon in kurzer Zeit zu erwarten. Wesentlich schwieriger wird die Frage zu beantworten sein, welche lärminduzierten Schlafstörungen sich in welcher Form kurz-, welche sich langfristig auswirken. Prospektive klinisch-psychologische Studien wird es dazu nicht geben können, höchstens epidemiologische Begleitforschung mit langen Laufzeiten, die aber über rechtzeitige Prävention abgekürzt werden könnten.

## Literatur

- Adam K, Oswald J (197) Sleep is for tissue restoration. *J Roy Coll Phycns* 11: 36-388  
ASDA Report (1992) EEG Arousals: scoring rules and examples. *Sleep* 15, 173-184  
Ayas N, Pittmann SD, Malhotra A, Pillar G, Stanchina M, Winkelmann JW, White DP (2001) Do indices of autonomic arousal predict sleepiness better than standard polysomnographic (PSG) measures? *Sleep* 24: A91  
Bonnet MH, Arand DL (1995) 24-hour metabolic rate in insomniacs and matched normal sleepers. *Sleep* 18, 581-588  
Boselli, M., Parrino L., Smerieri A, Terzano MG (1998) Effect of age on EEG arousals in normal sleep. *Sleep*, 21, 351-357  
Bullinger M, Kirchberger I, Ware J (1995) Der deutsche SF-36 Health Survey. *Z. f. Gesundheitswiss.* 3: 21-36  
DGSM Hrsg.: Fischer J, Mayer G, Peter JH, Riemann D, Sitter H unter Mitarbeit von Kunze K, Penzel T, Raschke F, Wiater A (2001) Leitlinie S2 "Nicht erholsamer Schlaf". *Somnologie* 5 im Druck  
Griefahn, B (2000) Lärm trifft nicht nur die Ohren. *MMW-Fortschr.Med.* 142, 300-303  
Ising H, Maschke C (Hrsg.) Beeinträchtigung der Gesundheit durch Verkehrslärm. Umweltbundesamt u. Robert-Koch-Institut – Berlin (1996) [www.hoffnungstal.de/fluglaerm/laerm.pdf](http://www.hoffnungstal.de/fluglaerm/laerm.pdf)  
Jansen G, Rehm S, Gros E (1980) Untersuchungen zur Frage der Lärmempfindlichkeit. *Z. f. Lärmbekämpfung* 27, 9-12  
Koella WP: Die Physiologie des Schlafes. Fischer, Stuttgart 1988  
Lauer HH (1998) Schlafdiätetik im Mittelalter. *somnologie* 2: 151-162  
Maschke C, Ising H, Hecht H (1997) Schlaf –nächtlicher Verkehrslärm – Streß – Gesundheit: Grundlagen und aktuelle Forschungsergebnisse Bundesgesundheitsblatt 1, 1-10

- Morgan BJ, Crabtree DC, Puleo DS, Badr MS, Toiber F, Skatrud JB (1996) Neurocirculatory consequences of abrupt change in sleep state in humans. *J Appl Physiol*, 80:1627-1636
- O'Donnell CP, Allan L, Atkinson P, Schwartz AR (2001) Peripheral arterial tonometry (PAT), is a sensitive indicator of acute arousal response to obstructive sleep apnea (OSA). *Sleep* 24, A404
- Pitson DJ, Stradling JR (1998) Autonomic markers of arousal during sleep in patients undergoing investigation for obstructive sleep apnoea, their relationship to EEG arousals, respiratory events and subjective sleepiness, *J Sleep Res*, 7: 53-59
- Pack AI (2001) Sleep and autonomic function. *Somnologie* 5 (Suppl.1) 5
- Raschke F, Fischer J (1997) "Arousal" in der Schlafmedizin. *Somnologie* 2, 59-64
- Raschke F, Fischer J (2001a) Autonomic Arousals. *Somnologie* 5, 8
- Raschke F, Fischer J (2001b) Lebensqualität und Gesundheitsökonomie in der Schlafmedizin. *Atemw. Lungenerkrankh.* 27, xx-xx
- Rechtschaffen A, Kales A. (Eds.): A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Public health service publication 204, Washington D.C., U.S. Government, Printing Office, 1968
- Rühle KH, Raschke F, Hein H et al. (2001) Arousals: Aktueller Stand, klinische Bedeutung und offene Fragen. *Somnologie* 5, 24-45
- Schramm E, Riemann D (Hrsg.) Internationale Klassifikation der Schlafstörungen ICSD. Beltz, Weinheim (1991)
- Shapiro CM (1982) Energy expenditure and restorative sleep. *Biological Psychol.* 15: 229-239
- Stradling JR, Pitson DJ, Bennett L., Barbour C, Davies RJO (1999) Variation in the arousal pattern after obstructive events in obstructive sleep apnea, *Am J Respir Crit Care Med*, 159:130-136
- Müller TH: Weckschwellen / Weckreaktionen (Arousal) in: Schulz H (Hrsg) *Kompandium Schlafmedizin für Ausbildung, Klinik und Praxis.* ecomed Landsberg/Lech II-5 (1998)
- Wittchen H-U, Saß H, Zaudig M, Koehler K (Hrsg.) *Diagnostisches und Statistisches Manual Psychischer Störungen DSM-III-R.* Beltz, Weinheim (1991)
- Zammit GK, Weiner J, Damato N, Sillup GP, Mc Millan CA (1999) Quality of life in people with insomnia. *Sleep* 22: S379-S385

# Gestörte Schlafprofile

Barbara Griefahn

*Institut für Arbeitsphysiologie, Ardeystr. 67, D-44139 Dortmund*

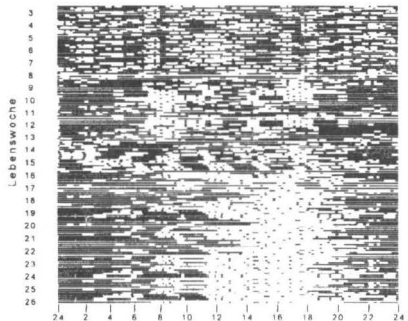
Sozialwissenschaftliche Untersuchungen haben wiederholt gezeigt, dass die Belästigung zwar die häufigste, die Störung des Schlafs aber die am gravierendsten empfundene Lärmwirkung bei Anrainern großer Flughäfen sowie bei Anwohnern stark frequentierter Verkehrsstraßen und Schienenwege ist.

Allgemein definiert sind Schlafstörungen objektiv messbare und/oder subjektiv empfundene Abweichungen vom gewohnten oder vom gewünschten Schlafablauf. Dabei bleibt offen, ob und inwieweit bzw. welche Form und welches Ausmaß an Schlafstörungen bei chronischer Lärmexposition pathogen wirkt und damit zur Genese und Manifestation klinisch relevanter Gesundheitsstörungen beiträgt.

Aus präventivmedizinischer Sicht lassen sich Schlafstörungen unterteilen in

- therapiebedürftige Schlafstörungen, die als Ausdruck zugrunde liegender Erkrankungen kausal therapiert werden müssen, und in
- präventionsfähige Schlafstörungen, die sich als Folge äußerer Belastungen durch eine adäquate Gestaltung der Umwelt vermeiden lassen.

Schlaf ist ein offensichtlich essenzielles Verhalten, das alle Lebewesen - wenn auch in sehr unterschiedlicher Ausprägung - aufweisen. Der Schlaf-Wach-Wechsel ist der markanteste Ausdruck der zirkadianen Rhythmik, der sich jedoch beim Menschen erst in den ersten Lebensmonaten entwickelt (Abb. 1). In den ersten Lebenswochen ist das Schlafverhalten des Säuglings noch unregelmäßig, erst allmählich bildet sich ein Rhythmus aus, der nach etwa einem halben Jahr voll ausgeprägt ist. Erst im hohen Alter kommt es wieder zu einem polyzyklischen Schlafverhalten mit eingestreuten Schlafepisoden während des Tages und wiederholten Wachperioden in der Nacht.



**Abb. 1:** Entwicklung des Schlaf-Wachrhythmus in den ersten 26 Lebenswochen. Die schwarzen Linien entsprechen der Schlafdauer.

Die Schlafdauer zeigt einen ausgeprägten Alternsgang (Abb. 2). In den ersten Lebenstagen schläft der Säugling noch bis zu 16 Stunden, die Gesamtschlafzeit nimmt danach zunächst rapide ab; sie beträgt beim Kleinkind 11 bis 12 Stunden, beim Schulkind etwa 10 Stunden, beim Erwachsenen zwischen 7 und 8 Stunden und verkürzt sich im hohen Lebensalter auf 5 bis 6 Stunden.

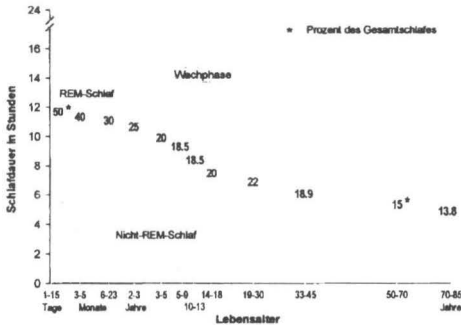


Abb.2: Schlafdauer und Lebensalter.

Der Schlaf besteht im Wesentlichen aus zwei Anteilen, dem REM-Schlaf (Paradoxalschlaf, Traumschlaf) und dem Non-REM-Schlaf (NREM). Der NREM-Schlaf zeigt systematische mit der Schlaftiefe korrespondierende Änderungen im Elektroenzephalogramm (Abb. 3). Eine Abnahme der Frequenz ist bei gleichzeitiger Amplitudenvergrößerung mit einer Vertiefung des Schlafs assoziiert. Im REM-Schlaf entspricht das Hirnstrombild dem flachen Stadium 1, wobei aber mit dem Elektrookulogramm einzelne oder in Salven auftretende schnelle Augenbewegungen registriert werden.

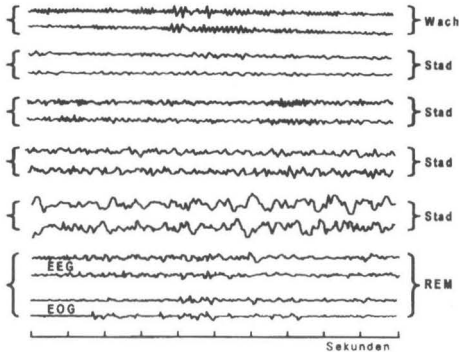


Abb. 3: Typische Frequenz-Amplitudenmuster in EEG und EOG.

NREM und REM-Schlaf zeigen einen zyklisch alternierenden Ablauf (Abb. 4), wobei jeder Zyklus etwa 90 bis 100 Minuten dauert. Die maximal erreichbare Schlaftiefe wird von Zyklus zu Zyklus geringer, während die Zeit im REM-Schlaf allmählich länger wird.

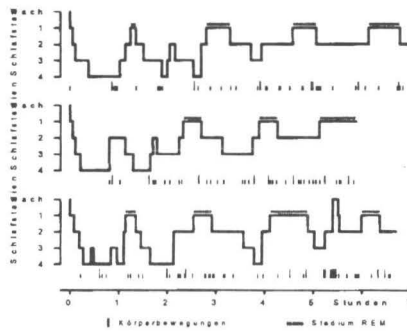


Abb. 4: Beispiele ungestörter Schlafabläufe.

Schlafstörungen beginnen typischerweise mit einem K-Komplex, einer biphasischen Wellenformation im EEG, sowie passageren autonomen Funktionsänderungen (Steigerung der Herzschlagfrequenz (Abb. 5), Verengung der peripheren Blutgefäße (Abb. 6) etc.) und motorischer Unruhe. Abhängig von der Art und der Intensität des einwirkenden Schalls ist diese Initialreaktion von einer mehr oder weniger lang anhaltenden Desynchronisation gefolgt, die zu einem Wechsel in flachere Schlafstufen bis hin zum Aufwachen reichen kann.

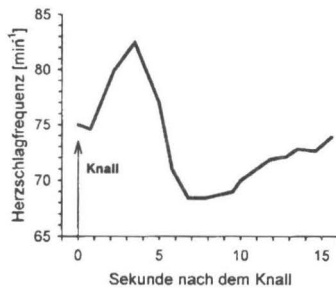


Abb. 5: Verlauf der Herzschlagfrequenz nach Applikation von Überschallknallen.

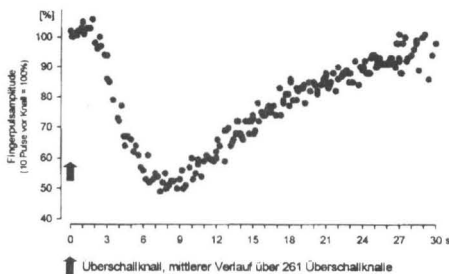
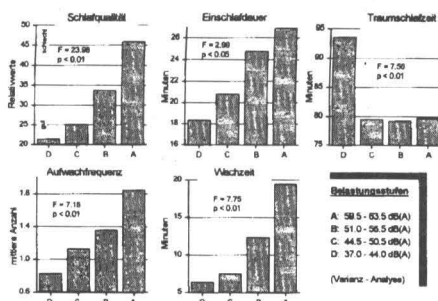


Abb. 6: Verlauf des peripheren Volumenpulses nach Applikation von Überschallknallen

Das Ausmaß lärmbedingter Schlafstörungen ist bestimmt durch die akustischen Charakteristika der einwirkenden Geräusche sowie durch individuelle und durch situative Faktoren. Den stärksten Einfluss auf die Reaktion hat zweifellos der Informationsgehalt eines Geräusches, der jedoch nicht allein durch die physikalischen Parameter sondern im Wesentlichen durch die Erfahrung einer Person mit eben diesem Geräusch bestimmt ist. Ungewohnte Geräusche werden in der Regel heftiger beantwortet als vertraute Geräusche. Im Laufe der Zeit kann sich der Informationsgehalt ändern und für das Individuum bedeutungslos aber auch bedeutungsvoller werden, so dass auf diesem Wege sowohl Gewöhnungen als auch Sensibilisierungen möglich sind.

Einen erheblichen Einfluss auf die Reaktion hat die zeitliche Verteilung der Geräusche. Intermittierte Geräusche stören – bei gleichem äquivalentem Dauerschallpegel – in der Regel weit mehr als kontinuierliche Geräusche.

Zwischen der Intensität der einwirkenden Geräusche und den primären unmittelbar im Anschluss an den Reizbeginn registrierten Akutreaktionen sowie den sekundären Reaktionen, d.h. der subjektiven Einschätzung der quantitativen und der qualitativen Aspekte des Schlafes bestehen in der Regel Dosis-Wirkungsbeziehungen mit großer Streubreite (Abb. 7). Die Wahrscheinlichkeit einer Aufwachreaktion und einer Schlafstiefenänderung nimmt zu, die Gesamtwachzeit ist verlängert. Die Schlafqualität wird zunehmend schlechter beurteilt, die Einschlafdauer als verlängert und erschwert und die Müdigkeit stärker empfunden.



**Abb 7:** Reduktion des REM-Schlafs und subjektive Einschätzung des Schlafes in Abhängigkeit vom äquivalenten Dauerschallpegel.

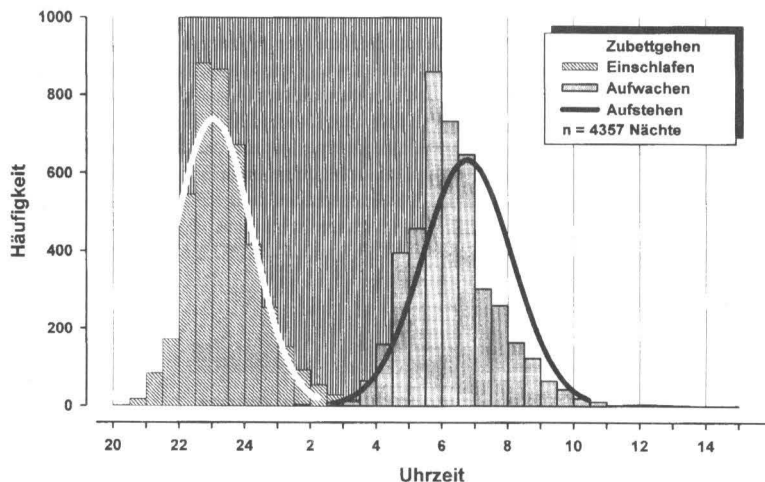
Unter Umständen kommt es zur Leistungsminderung, einer geringeren Arbeitsgeschwindigkeit und einer erhöhten Fehlerrate. Die bisherigen Untersuchungen deuten zwar darauf hin, dass die Emergenz, d.h. die Differenz zwischen dem äquivalenten Dauerschallpegel und dem Maximalpegel möglicherweise bedeutsamer ist als der absolute Pegel, lassen diese Frage jedoch noch offen.

Bei intermittierten Geräuschen nimmt die Häufigkeit der Aufwachreaktionen zwar zu, die Beziehung ist jedoch nicht linear, da das Risiko, durch einen bestimmten Reiz geweckt zu werden mit der Anzahl der Ereignisse abnimmt.

Das Ausmaß der Reaktion wird weiterhin durch individuelle Unterschiede geprägt. So sind Lärmempfindliche und Personen mit neurotischen Tendenzen während des Schlafes stärker gestört, ebenso ältere Personen, wobei die Wachzeit insgesamt jedoch nicht länger wird, die Wachphasen aber vermehrt auf den Lärm zurückgeführt werden.

Situative Bedingungen sind von entscheidender Bedeutung. So schlafen Nachtschichtarbeiter am Tage z.B. in einer chronobiologisch sehr ungünstigen Zeit und – unter vergleichbaren akustischen Bedingungen – 1 bis 2 Stunden weniger als in der Nacht. In der Realsituation schläft der Nachtschichtarbeiter am Tage aber unter akustisch wesentlich schlechteren Bedingungen. Der äquivalente Dauerschallpegel ist dann um 7 bis 15 dB(A) höher und geprägt durch einen hohen Anteil informationshaltiger und damit besonders störender Geräusche.

Wie Abb. 8 zeigt, gehen die meisten Menschen erst um 23 Uhr ins Bett und stehen um 7 Uhr auf. Diese Zeiten sind gegenüber der gesetzlich definierten Nacht um eine Stunde versetzt, so dass eine Neudefinition angezeigt wäre.



**Abb. 8:** gesetzlich definierte Nacht und Zeiten, zu denen ins Bett gegangen und aufgestanden wird.

# Lärminduzierte nächtliche Cortisolausschüttung und tolerable Überflüge

M. Spreng

*Institut für Physiologie und experimentelle Pathophysiologie*

*Universität Erlangen-Nürnberg*

## 1. Einleitung

Das Gehör - auch beim Menschen zehnmal empfindlicher als das Auge - ist das entscheidendste Warn- und Kommunikations-Organ. Es muss deshalb Tag und Nacht gegenüber der Umwelt geöffnet sein und kann sich nicht - wie das Auge mit seinen Lidern für Lichtreize - für Schallreize verschließen (Spreng, 1980). Dies ist die Ursache dafür, dass im Wach- und Schlafzustand Schalle aus der Umwelt stets aufgenommen werden und damit massive Erregungen im verarbeitenden Gehirn, insbesondere in subkortikalen Bereichen auslösen, welche verschiedene Lärmwirkungen und letztlich im Wachzustand die Empfindung "Lärm" hervorrufen. Lärmwirkungen werden nicht nur störend, belästigend bzw. belastend empfunden, sondern können auch mit gesundheitlichen Folgeerscheinungen verbunden sein.

Darauf wiesen bereits frühere Messungen bezüglich gesundheitlicher Wirkungen von Schienenlärm (OSADA, 1974) deutlich hin.

OSADA hat in Laborexperimenten Schienenlärm mit Spitzenpegeln von 50 und 60 dB(A) und einer Dauer von 20 Sekunden (entsprechend einer schnellen Güterzugvorbeifahrt) Personen während des Nachtschlafs angeboten. In der ersten Schlafstunde wurde alle 5 Minuten, in der zweiten Stunde alle 10 Minuten und in der dritten Stunde alle 20 Minuten beschallt. Dann wurde in den verbleibenden 3 Stunden die Sequenz umgekehrt dargeboten. Dies ergab 42 Schienenlärmereignisse pro Nacht.

Die Resultate der morgendlichen Blutuntersuchung zeigten signifikante Reduktionen des prozentualen Anstiegs von eosinophilen und basophilen Granulozyten und eine beschleunigte Abnahme der Leukozyten gegenüber einem Normalkollektiv.

Der gelegentliche Einwand, dass derartige Schwankungen so schnell in einer Nacht nicht auftreten können (PASSCHIER-VERMEER, 1993) ist nicht haltbar, da bereits physiologischerweise, gemäß der Zirkadian-Rhythmik, Schwankungen dieser Werte von -20% bis + 30% um den 24-h-Mittelwert gegeben sein können. Durch die nächtliche Schienenlärmwirkung werden jedoch die normalen Bildungsprozesse deutlich negativ beeinflusst, wobei dies wohl im wesentlichen durch die freigesetzten Glukokortikoide (Cortisol) bedingt ist, worauf ebenfalls schon seit längerem hingewiesen wurde (SPRENG, 1984).

## 2. Direkte Reaktionen des Organismus auf Schall

Mit dem sehr stark vereinfachten Schema von Bild 1 ist verdeutlicht, dass die auf das Ohr treffenden Schalle durch die Hörsinneszellen des Innenohres in nervöse Erregungen umgesetzt werden, welche Nervenbahnen weiter zentralwärts zu verschiedenen Verarbeitungszentren des Gehirns leiten (SPRENG, 1994).

An dieser Stelle kann es bereits durch hohe, länger einwirkende Schalldruckpegel (größer 80 dBA) und hochdynamische Schalldruckwechsel (steile Schallanstiegsflanken) zu Schädigungen der Sinneszellen kommen (aurale Lärmwirkung), welche sich generell nicht mehr regenerieren bzw. medikamentös nicht behandelbar sind. Bei normalen Umweltschallen, auch bei nicht zu nahen Überflügen ist - wenn man generell von der durch längerdauernde Beschallung reduzierten Erholungszeit des Gehörs absieht - eine derartige Gefährdung nicht gegeben.

Hinsichtlich des Verständnisses von Lärmwirkungen müssen mindestens zwei Besonderheiten der peripheren Verarbeitungsvorgänge im auditorischen System, das hinter den die mechanische Schallaktivierung in körpereigene Nervensignale (Aktionspotentiale) wandelnden hochempfindlichen Sinneszellen des Innenohres beginnt, beachtet werden. Es ist zunächst insbesondere das Proportional-Differentialverhalten der Sinneszellen und damit eine Überbetonung der Reizdynamik zu berücksichtigen. Unmittelbar hinter den Sinneszellen des Ohres liegt stets eine überschießende Erregung, abhängig von der Dynamik des Anstiegs der Schalle vor, welche demgemäß das gesamte periphere und zentrale System erfaßt (Bild 1, links unten). Diese Anstiegssdynamik ist speziell bei Flugzeugschallen mit ca. 6 - 10 dB pro Sekunde gegenüber anderen Lärmarten beachtenswert hoch.

Damit entfalten im Zuge der weiteren zentralnervösen Verarbeitung diese überschießenden Erregungen in vielen Bereichen des Gehirns ihre Wirkung, wobei weniger das direkt erreichte Hörzentrum der Hirnrinde (z.B. Perzeption der Schallzusammensetzung, Schallrichtung, Spracherkennung usw.) von Bedeutung ist, sondern vielmehr die Bereiche, die in Bild 1 als Retikulärformation und vor allem als Amygdala (Mandelkern) hervorgehoben sind.

Des weiteren beachtenswert sind extrem schnelle nervöse Verarbeitungsbahnen. So existieren schnelle monosynaptische Nervenbahnen, welche die im Stammhirn liegende Neuronenpopulation Vierhügelgebiet (Colliculus inferior) bereits nach 5 ms und den sog. Kniehöcker (Corpus geniculatum), als weitere wichtige thalamische Schaltzentrale vor Erreichen kortikaler Gebiete, nach 7 ms aktivieren (Bild 1, links unten) [SPRENG, 1984; 1985 und 1994].

Lärmwirkungen, welche im wesentlichen die Direktverarbeitungsbahnen bzw. -Ebenen und letztlich das Hörzentrum und andere zentralnervöse Bereiche betreffen, sind allerdings in keiner Weise vernachlässigbar, da es sich dabei um diejenigen durch den Lärm hervorgerufenen Erregungen handelt, welche -zwar ohne gesundheitliche Auswirkungen- doch massiv den Grad der Belästigung der betroffenen Personen bestimmen.

Bezüglich gesundheitlicher Beeinflussung relevant ist jedoch einmal das primäre Aktivierungssystem der Retikulärformation, welches für Schlaf-Wach-Schaltungen verantwortlich ist, koordinierende motorische Programme (Angriff, Flucht) durchschaltbar bereithält und grundsätzlich für gesteigerte Aufmerksamkeit (Wachheitsgrad) Sorge trägt.

Von besonderer, bisher nicht gebührend berücksichtigter Wichtigkeit ist jedoch vorallem der in Bild 1 besonders hervorgehobene Gehirnteil, die sog. Amygdala (Mandelkern), der von Teilen der Hörbahn miterfaßt und damit miterregt wird. Dieses auch als Furchtzentrum fungierende System

zeichnet sich durch eine außergewöhnliche Plastizität (Lernfähigkeit) aus, insbesondere hinsichtlich aversiver, also mit negativer Bewertung verbundener, wiederholter bzw. konditionierender Schallreize (SPRENG, 2000a).

### **3. Nicht-aurale Lärmwirkungen auf den Organismus**

#### **3.1 Allgemein vegetative Lärmwirkungen**

Alle Organismen besitzen die Fähigkeit auf aversive Umweltreize, beispielsweise laute Schallereignisse, geeignet zu reagieren. In der gleichen Art und Weise wie der Informationsfluss zwischen sensorischer Aufnahme und motorischer Reaktion nicht ausschließlich auf rein kortikalen neuronalen Verbindungen beruht, sondern weitgehend subkortikale Regionen einbezieht, wird dabei eine Brücke zwischen sensorischer Aktivierung und vegetativen Reaktionen durch subkortikale Verarbeitungsbahnen des Gehirns hergestellt. Diese Bereiche beinhalten limbische und hypothalamische Mechanismen, die ihrerseits über schnelle Verbindungen das autonome Nervensystem und speziell hormonelle Stressreaktionen beeinflussen können. Diese Mechanismen reagieren häufig auch bereits bei mangelndem introspektivem Wissen über die eigentliche Ursache der emotionalen Antwort, ja sogar ohne bewußte Wahrnehmung, beispielsweise während des Schlafs.

Von entscheidender Bedeutung für das Verständnis von Lärmwirkungen sind deshalb detaillierte Kenntnisse über Erregungsvorgänge und Verschaltungsprinzipien nicht nur im peripheren sondern auch im zentralen Verarbeitungssystem des Gehörs bzw. des Gehirns.

Bei den zentralnervösen sensorisch/vegetativen Aktivierungsprozessen sind zwei Systeme zu unterscheiden, die beide weitgehend subkortikal gesteuert werden, jedoch unterschiedliche funktionelle Schwerpunkte haben: Das aufsteigende retikuläre Aktivierungssystem (ARAS) und das vegetative Nervensystem (VNS).

Das aufsteigende retikuläre Aktivierungssystem (ARAS) aktiviert die Hirnrinde, reguliert unter anderem den Wach-Schlaf-Rhythmus des Gehirns und trägt zur Aufmerksamkeitssteuerung bei. Eine führende Rolle in diesem System spielt die Retikulärformation (Formatio reticularis) im Subkortex, ein Neuronengeflecht, das vom Hirnstamm bis ins Zwischenhirn reicht und das die wesentlichsten kreislaufregulierenden Neurone enthält. Sie wird einerseits durch Sinnesreize, andererseits auch durch das limbische System, dem sog. "emotionalen Gehirn", angeregt. Somit können sowohl innere als auch äußere Reize den wachen und schlafenden Organismus beeinflussen.

So wird von dort als ein wichtiges Zentralorgan der vegetativen Aktivierung das Nebennierenmark über nervöse Bahnen (Sympathikus) erregt, wodurch beispielsweise die Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin sofort ins Blut freigesetzt werden. Diese Katecholamine ermöglichen unter anderem – in Ergänzung relativ schneller nervös gesteuerter Aktivierungen – eine flexible, etwas längerwirkende (einige Minuten) Reaktion des Organismus auf Stressreize und auch emotionale Stresssituationen, wie Ärger, Angst oder Freude, und wirken insbesondere auf das Herz-Kreislauf-System, die Atmung, die Darmtätigkeit, den Stoffwechsel, das Pupillenspiel und das zentrale Nervensystem (ZNS) ein. Daneben ist über die zentrale graue Substanz eine direkte Durchschaltung zur Motorik gegeben (z.B. Änderung der Muskelspannung).

Die ebenso wichtige Hauptreaktionslinie des vegetativen Nervensystems (VNS) geht vom zentralen Regulationssystem Hypothalamus aus und erreicht praktische alle für das hormonelle Gleichgewicht verantwortlichen Effektorsysteme: So z. B. über die Hypophyse das Drüsensystem der Nebenniere.

Besonders hier liegt eine wichtige Kausalkette vor, welche für das Verständnis der durch Einwirkung aversiver Schalle (Lärm) möglicherweise bewirkte Gesundheitsgefährdung von Bedeutung ist. Sie ist in erster Linie für die Ausschüttung stressbedingter Hormone (z. B. Cortisol) verantwortlich.

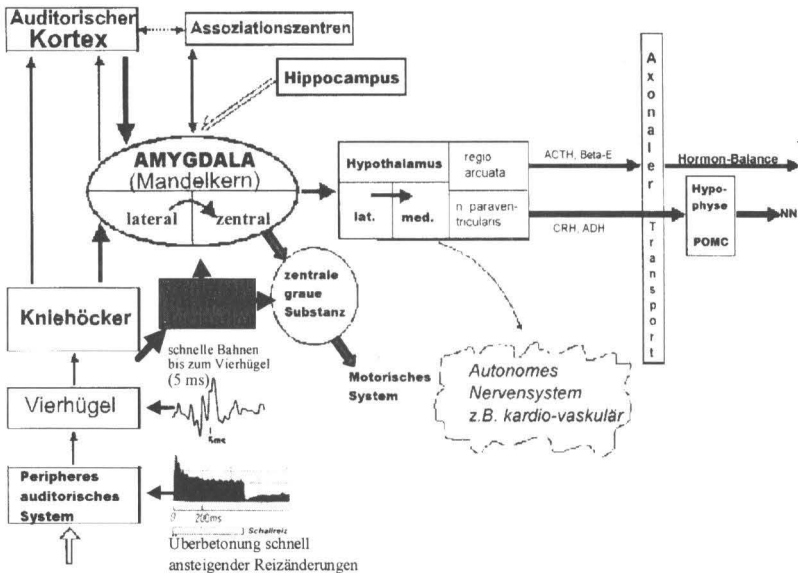


Bild 1: Schema der geschlossenen Wirkungskette zwischen Schall/Lärmaktivierung des auditorischen Systems und der dadurch ausgelösten vegetativen Reaktionen, insbesondere der Stresshormonausschüttung (ACTH=Adrenocorticotropes Hormon, ADH=Antidiuretisches Hormon, Beta-E.=Beta-Endorphine, CRH=Corticotropes Releasing Hormon, POMC=ProOpioMelanoCortin-Zellen, NN=Nebenniere)

### 3.2 Kausalkette Hörbahn (Amygdala) – Hypothalamus - Stresshormonausschüttung

Der laterale Bereich des Kerngebietes des Mandelkerns (Amygdala) ist Teil des auditorischen Systems. Es existiert inzwischen eine Fülle von Befunden, die darauf hindeuten, dass das Kerngebiet der Amygdala als eine kritische Struktur im Gehirn zu bezeichnen ist, welche bei Furchterfahrungen und emotionalem Lernen eine bedeutsame Rolle spielt. Tatsächlich muss man heute den schnellen monosynaptischen thalamo-amygdalären Trakt für die direkte Durchschaltung von Furchtantworten verantwortlich machen, die durch akustische Reize ausgelöst werden (Bild 1,

linker Teil). Dies ist durch eine Reihe konditionierender Experimente im Tierversuch erhärtet [LEDOUX, 1990 und 1995; MASTERTON, 1996], aber es ist auch kürzlich gelungen [LABAR et al., 1998] unter Einsatz von echoplanarer funktioneller Kernspinresonanz zu zeigen, dass beim Menschen während konditioniertem Furchtlernen ein deutlicher Erregungsbeitrag aus Strukturen der Amygdala zu beobachten ist.

Wie bereits erwähnt, zeichnet sich dieses als Furchtzentrum fungierende System durch eine außergewöhnliche Lernfähigkeit (Plastizität) aus, insbesondere hinsichtlich aversiver, also mit negativer Bewertung verbundener Schallreize (EDELIN u. WEINBERGER, 1992; LENNARTZ u. WEINBERGER, 1992; QUIRK et al., 1995; ROGAN u. LEDOUX, 1995).

Diese Plastizität äußert sich z. B. in der Verkürzung von Reaktionszeiten einzelner neuronaler Elemente und in der Zusammenschaltung (Rekrutierung) zusätzlicher schnell reagierender Neurone. Neben dieser Zunahme an Reagibilität ist eine Veränderung hinsichtlich der Verarbeitung der Frequenzinformation der konditionierenden (aversiven) Schalle von großer Wichtigkeit. Es konnte nämlich gezeigt werden (EDELIN u. WEINBERGER, 1992), dass die Selektivität der neuronalen Elemente sich auf die spezifischen, den einwirkenden Schall jeweils charakterisierenden Frequenzen besonders empfindlich einstellt (Bild 2).

Weiterhin ist von besonderer Bedeutung, dass zwischen der Amygdala und der Gehirnregion des Hypothalamus eine sehr enge aktivierende Verbindung besteht (FELDMAN u. WEIDENFELD, 1998; GRAY, 1991). Der Hypothalamus ist das beherrschende vegetativ-nervöse bzw. hormonelle Regulationszentrum für den gesamten Organismus. Er ist damit in erster Linie verantwortlich für schnelle Veränderungen über das vegetative Nervensystem (z.B. Herz-Kreislauf-System: Herzfrequenzsteigerung, Blutdrucksteigerung) und für Verschiebungen des hormonellen Gleichgewichts (z.B. Stresshormon-Ausschüttung).

Damit liegt in der Tat eine Kausalkette peripherer und zentraler Aktivierungssysteme vor, welche belästigende und gesundheitsbeeinträchtigende Wirkungen längerfristiger bzw. wiederholter Schalle zu erklären erlaubt (SPRENG, 2000a). Vor diesem Hintergrund ist zu verstehen, warum länger einwirkende nicht beeinflussbare Geräusche niedriger bis mittlerer Intensität, aber mit spezifischem Frequenzgehalt (z.B. Flugzeuggeräusche) belästigende Erregungen und Reaktionen hervorrufen können, die sonst nur bei lauterem Schallereignissen zu beobachten sind.

Sehr vereinfachend formuliert kann man sich - basierend auf der Plastizität der Amygdala - das Entstehen von Lärmwirkungen durch wiederholten unerwünschten Schall wie folgt vorstellen. Durch das Einlaufen der durch Schalle bewirkten Erregungen wird die Amygdala sich unter Einfluß der gleichzeitig aktivierten Hirnrinde (Analyse des Schallereignisses: z.B. steiler Anstieg, charakteristische Frequenzzusammensetzung) und durch den für mehr komplexe kognitive Prozesse verantwortlichen Hippocampus (Analyse der Schallquelle: z. B. Flugzeug im Anflug, Flugzeug im Abflug) so plastisch verändert, dass der gesamte Organismus sensibler auf derartige Geräusche wird. Im Endeffekt liegt dann ein sehr schnelles und grobes Verarbeitungssystem gebahnt vor, welches auf komplexe Reize (z.B. Flugzeugschalle) mit direktem Zugriff auf vegetative und hormonelle Funktionseinheiten sowie auf emotionale Bereiche reagiert. Dies dann ohne den Zeitbedarf, der sonst notwendig ist, um sich kognitiv der Situation voll bewußt zu werden oder um die Bedeutung der Schalle ausführlich semantisch zu verarbeiten (Bild 2).

## Sensibilisierung der subkortikalen, sensorisch-vegetativen Erregungsdurchschaltung durch aversive Schallreize

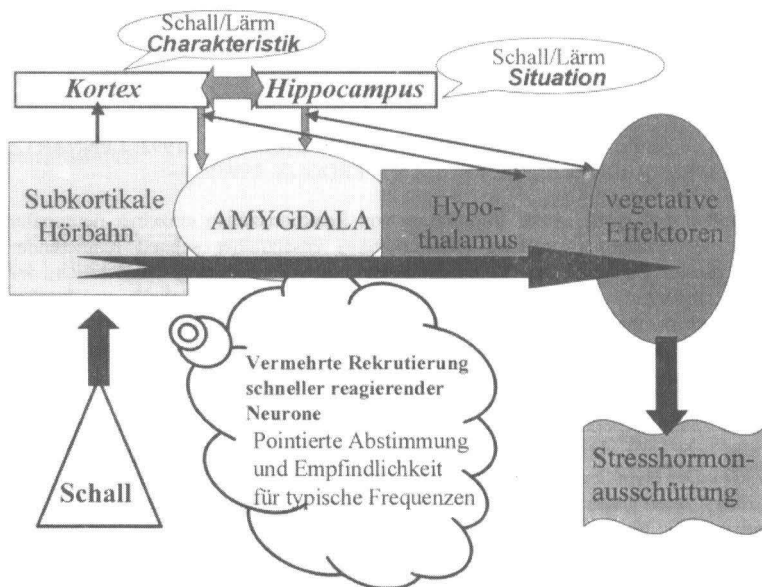


Bild 2: Direkte subkortikal gebahnte Erregungsdurchschaltung der schallinduzierten Aktivierung der Hörbahn über sensibilisierte Amygdala zum zentralen Regulationszentrum des Hypothalamus und dadurch ausgelöste vegetative Reaktionen (z. B. Stresshormonausschüttung) auch während des Schlafs.

Es ist hinzuzufügen, dass dieses derart gebahnte, ohne nennenswert bewusste Verarbeitung reaktiv funktionierende System auch während des Schlafs nahezu voll aktiv sein wird, ja aus entwicklungsgeschichtlichen Gründen (feindliche Umfeldgeräusche) voll aktiv sein muss.

### 3.3 Stresshormon Cortisol

Das für Lärmwirkungen wichtigste Stresshormon, welches durch die Kausalkette Hörbahn-Amygdala-Hypothalamus freigesetzt wird ist Cortisol. Schlüsselsubstanz ist dabei das Corticotropin-Releasing-Hormon (CRH). Es wird im Hypothalamus und in einigen anderen Hirnregionen mit der Aufgabe gebildet, Stress- und Immunreaktionen zu koordinieren und ist der Beginn einer Hormonkaskade. Über eine besondere Blutbahn gelangt es zur Hirnanhangdrüse der Hypophyse. Die Hypophyse gibt als Antwort das in den POMC-Zellen (ProOpioMelanoCortin-Zellen) produzierte Corticotropin (ACTH: AdrenoCorticoTropesHormon) ins Blut ab, welches die Nebennieren stimuliert, Cortisol (Hydrocortison) und Aldosteron auszuschütten. Diese wichtigste Stresshormon gehört zu den Steroidhormonen und bewirkt z.B. dass, das Herz schneller schlägt, sensibilisiert die Blutgefäße für die Hormone Adrenalin und Noradrenalin und beeinflusst zudem viele Stoffwechselfunktionen. Das ebenfalls bei Stressreizen freigesetzte Aldosteron seinerseits

wirkt auf periphere Regulationsmechanismen der Niere (Renin-Angiotensin- Aldosteron-Mechanismus) und steigert ebenfalls die Erregbarkeit der Muskulatur der Blutgefäße. So können durch Umwelteinflüsse, z.B. durch Lärm periphere feinregulatorische Systeme aus dem Gleichgewicht gebracht bzw. bei deren längerer Einwirkung überspielt oder überaktiviert werden (SPRENG, 1984). Dabei kann das ebenfalls aus dem Hypothalamus freigesetzte antidiuretische Hormon (ADH) unter Umständen vergleichbar dem CRH wirkend angesehen werden, sodass eine Potenzierung der Cortisol-Produktion gegeben sein kann.

Physiologischerweise unterliegt der Cortisolspiegel im Blut gewissen tageszeitlichen Schwankungen. Diese zirkadianrhythmische Veränderung ist bereits im Konzentrationsverhalten des regulativen Hormons ACTH, welches die Nebennierenrindenzellen zur Cortisolsekretion stimuliert, zu beobachten. Durch diese ausgeprägten endogen fixierten tageszeitlichen Rhythmen des Blutcortisolspiegels (Bereich ca. 5-30 µg/dl im Plasma) ergeben sich in den frühen Morgenstunden deutlich höhere Werte als abends, wobei die Schwankungen nicht von den Schlafgewohnheiten abhängen und bei Schlafumkehr (Schichtarbeiter, Jetlag) nur wenig und ausgesprochen langsam einer Veränderung unterliegen. Zusätzlich ist zu bemerken, dass die Nebennieren jedes Menschen das Cortisol episodenhaft ausschütten (Spitzen bis 20 µg/dl), basierend auf einer ebenfalls episodischen ACTH-Ausschüttung (VOIGT, 1994; YASUDA u. NAKAMURU, 1997). Derartige Episoden treten nachts und in den frühen Morgenstunden häufiger auf und führen so zu höheren Cortisol-Spiegeln, wobei natürlich stressauslösende Reize (z.B. nächtlicher Lärm) besonders wirksam sind.

Generell ist für den Organismus bekannt, dass seine Regulations-Systeme, entsprechend der sie bestimmenden Zirkadianrhythmik in den frühen Morgenstunden auf Reize besonders stark reagieren und besonders schlechte Rückregelungseigenschaften aufweisen (SPRENG, 1997).

Negative gesundheitliche Effekte eines dauerhaft erhöhten CRH- und Cortisolspiegels sind seit längerem bekannt, wobei direkte und indirekte Wirkung der Cortisolausschüttung auf hämodynamische, endokrine, metabolische und anthropometrische Bereiche beschrieben werden (näheres siehe SPRENG, 2000b). Derartige negative Einflüsse werden trotz der prinzipiell hemmend rückkoppelnden Regelung der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse (HHN-Achse) beobachtet und sind aller Wahrscheinlichkeit nach auf einen grundsätzlich durch die Stresseinflüsse verschobenen Arbeitspunkt des Systems zurückzuführen oder durch Überaktivierung (z.B. bei Lärm durch den massiven amygdalären Erregungszustrom) bewirkt.

Nicht zu vernachlässigen ist neben dieser klar definierten Kausalkette ein weiterer Bereich im Hypothalamus (regio arcuata), mit Zellen, welche ohne den Umweg über die Hypophyse das adrenocorticotrope Hormon (ACTH) aus entsprechenden Präkursoren produzieren können (Bild 1). Derart produziertes ACTH sowie das ebenfalls dort freigesetzte Beta-Endorphine (KHACHATURIAN et al., 1995) werden über axonale Transportmechanismen in weite extrahypothalamische Gehirnregionen transportiert. Wie kürzlich gezeigt wurde (BARNA, 1997; GOMEZ-SANCHEZ et al., 1997), können auf diesem Wege in den so erreichten Gehirnbereichen zusätzlich Corticosteroide und Aldosteron produziert werden.

### 3.4 Schlußfolgerung

Aufgrund der mit dem Funktionsteil Amygdala schließbaren Kausalkette zwischen gesteigerter Erregung des auditorischen Systems und gesteigerter Aktivierung des Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Systems (HHN-Achse) als auch der Auslösung extrahypothalamischer hormoneller

Wirkungen kann verdeutlicht werden, dass häufige Schallreize auch unterhalb der auralen Schädigungsgrenze (Lärmschwerhörigkeitsgrenze) und auch unterhalb der Aufwachschwelle gesundheitsrelevante Wirkungen (siehe unten) haben können. Des weiteren wird dadurch deutlich, dass extraaurale Lärmwirkungen im vegetativen Bereich außerordentlich vielfältig auftreten können und dass auf Dauer eine große Anzahl physiologischer Regulationsmechanismen überspielt bzw. destabilisiert werden, wodurch zahlreiche chronische Funktionsstörungen bzw. Krankheiten entstehen können.

Diese Tatsache öffnet ein weites Feld von Zusammenhängen zwischen stressabhängiger Cortisolproduktion bis hin zur Störung einer großen Zahl weiterer endokriner Prozesse, insbesondere bei langzeitlicher Stressaktivierung durch Umwelteinflüsse, wie beispielsweise Umweltlärm. In derartigen Situationen muss damit gerechnet werden, dass negative Einflüsse auf die gesamte Hormonbalance des Organismus auftreten können (Bild 1).

## **4. Gesundheitliche Beeinträchtigung**

### **4.1 Schlafstörungen**

Im Grunde sind alle Änderungen des Schlafverhaltens durch unerwünschte Schalle, nicht nur das Aufwachen allein, als Schlafstörungen aufzufassen (UBA, 1990).

Schlafstörungen liegen z. B. dann vor, wenn bei viermal in der Nacht auftretenden unbewußten Aufwachreaktionen (Aufwachreaktionen während des natürlichen ungestörten Nachtschlafs schwanken zwischen 1 und 16 pro Nacht) eine davon bewußt wird. Ebenfalls, wenn eine Wachphase im Verlauf der Nacht mehr als 20 bis 30 Minuten dauert und das Wiedereinschlafen nicht erreicht wird. Man spricht von Schlafstörungen auch dann, wenn ein verzögertes Einschlafen vorhanden ist (länger als eine halbe Stunde).

Mehr quantitativ können Schlafstörungen nach 2 Kriterien beurteilt werden: einerseits Reaktionshäufigkeiten (im EEG als feststellbare Änderungen innerhalb der verschiedenen Schlafphasen zwischen leichtem Schlaf und Tiefschlaf) und andererseits Aufwachreaktionen (GRIEFAHN, 1990).

Bei Lärmeinwirkung während des Schlafs, insbesondere bei Fluglärm, besteht die sinnesphysiologisch zu unterstreichende Empfehlung, sich ausschließlich am Maximalpegel zu orientieren und nicht wie im Wachzustand, Mittelungspegel heranzuziehen. Untersuchungen zeigen diesbezüglich, dass etwa ab Maximalpegeln von 55 dBA Veränderungen der Schlaftiefe (Frequenzanhebungen im EEG, Absinken peripherer Durchblutung) auftreten. Dabei spielen der Schallpegel bzw. die Schallpegelspitzen die entscheidende Rolle. Es sind aber auch in gewissem Maße die Schalldynamik (Anstiegssteilheit; Differenz zum Hintergrundpegel), die Frequenzzusammensetzung und Informationshaltigkeit der Schalle von Bedeutung, weniger die Dauer von Einzelereignissen.

Wenn durch Lärm eine zusätzliche Wachphase hervorgerufen wird, Bewegungen gesteigert auftreten, oder Tiefschlafphasen verkürzt vorkommen, dann kann man dies als abnormal bzw. als gesundheitsschädlich auffassen. Zweifellos sind derartige Schlafstörungen sofern sie nur gelegentlich auftauchen in der Folgezeit kompensierbar. Bei längerem Schlafentzug findet man

allerdings Veränderungen im Organismus, welche gesundheitsgefährdende Relevanz haben (z.B. Verlust an Vitamin B1, Senkung des Eisenspiegels).

#### 4.2 Stresshormonausschüttungen (insbesondere nachts)

Von besonderer Problematik sind allerdings nicht in erster Linie die durch Beschallung während des Schlafs ausgelösten Schlaf tiefenänderungen, Aufwachphasen, Bewegungssteigerungen usw., sondern die gemäß Bild 2 auch im Schlaf massiv auftretende Aktivierung der Amygdala und damit des Hypothalamus-Systems. Vorallem sind dies dadurch unbewußt aktivierte Stresshormon-Ausschüttungen (ACTH, Adrenalin, Noradrenalin, Cortisol usw.). Neuere Untersuchungen (MASCHKE et al., 1995 und 1996) heben dabei insbesondere die durch nächtliche Fluglärmbeschallung gesteigerte Cortisol-Ausscheidung hervor, welche im Gegensatz zum Adrenalinverhalten teilweise oberhalb des Normbereiches liegen (SPRENG, 1996 und 1997) und infolge beachtlich größerer Abbauezeitkonstanten (Cortisol: 60–130 min; Adrenalin: s–3 min; Noradrenalin: 7–12 min) während der Nachtzeit kummulieren kann.

Ein permanent durch Schalleinwirkung erhöhter Cortisolspiegel bedeutet -im Gegensatz zu gesteigerter Adrenalin-konzentration- die Gefahr negativer gesundheitlicher Wirkungen wie z. B. Hemmung der Glukoseverwertung (Diabetes), verstärkter Eiweiß- und Knochenabbau (Osteoporose), Abnahme von immunwirksamen Substanzen (Immunsuppression, Heilphasenverlängerung), Erhöhung der Wirkung blutdrucksteigern- der Hormone (Hypertonie), Anstieg der Cholesterine im Blut (Herz-Kreislaufschäden, Myokardinfarkt), Steigerung der Magensaftsekretion (Magengeschwüre) [SPRENG, 1997 und 2000b].

Hier ist besonders auf die Untersuchungen von SAMRA et al. (1998) hinzuweisen, welche bereits bei physiologischer Hypercortisolämie Einflüsse auf die Regulation der Lipolyse festgestellt haben.

Generell ist die in Bild 2 aufgezeigte enge Kopplung der Schlüsselkomponente Amygdala (Furchtzentrum) in der Hörbahnverzweigung mit dem vegetativen Regulationszentrum des Hypothalamus verantwortlich für weitgefächerte Änderungen in der homeostatischen Gleichgewichtslage des Organismus, wodurch weitere ernsthafte Erkrankungen ausgelöst werden können (SPRENG, 1984 und 2000b).

Die Tatsache, dass die erwähnten überkritischen Cortisolfreisetzungswerte bei einer Lärmsituation von 16 Überflügen mit Spitzenpegeln von 55 dB(A) am Ohr des Schlafers auftraten (MASCHKE et al., 1995) und mit Pegelanhebung [z. B. 65 dB(A)] bzw. Häufigkeitserhöhung (z. B. 74 Überflüge) nicht mehr signifikant steigerbar waren, muss als Hinweis auf das gesundheitliche Risiko von Nachtfluglärm zumindest zwischen 24.00 und 4.00 Uhr gewertet werden.

Die Untersuchungen stellen darüberhinaus auch das bisherige Kriterium der Aufwachschwelle [Maximalpegel mindestens 60 dB(A)] in Frage (siehe unten) und weisen auf die Bedeutung einer anderweitig ableitbaren, nächtlichen vegetativen physiologischen Überreaktionsschwelle bei 53 dB(A) Maximalpegel am Ohr des Schlafers hin.

## 5. Abschätzung einer tolerablen nächtlichen Überflugzahl

Für die Beurteilung nächtlicher Störungen durch Fluglärm wurde in der Vergangenheit gerne das Kriterium  $6 * 60 \text{ dB (A)}$  am Ohr des Schlafers herangezogen (JANSEN, 1973, JANSEN et al., 1995). Es besagt, dass 6 Überflüge mit einem Maximalpegel von 60 dB (A) in Innenräumen nachts bezüglich Vermeidung von Gesundheitsgefährdungen gerade noch tolerabel seien.

Dieses Kriterium basiert auf einer festgesetzten Wechselschwelle von  $L_{\max} = 60 \text{ dB(A)}$  und einer Definition bezüglich einmaligem provozierten Aufwachens bei 6 derartigen Ereignissen. Da dieser Wert von 60 dB(A) mit mindestens einer Standardabweichung von  $\pm 7 \text{ dB(A)}$  versehen ist, wäre schon aus diesem Grunde eine präventive Festlegung auf 53 dB(A) angeraten. Darüberhinaus finden sich Wertangaben für Wechselschwellen in der Literatur, die zwischen 35 dB(A) und 65 dB(A) schwanken (z.B. PEARSON et al., 1989; GRIEFAHN, 1990; HOFMANN, 1991; OLLERHEAD et al., 1992).

Letztlich beruht obige Festlegung auf der Behandlung einer diffusen Punktwolke, resultierend aus mehreren unterschiedlichen Untersuchungen, mit Hilfe von einfach angepassten Ausgleichsgeraden (GRIEFAHN et al., 1976). Durch Anwendung neuerer Verfahren ( z.B. nichtlineare Regression u.a.) dürften mit großer Wahrscheinlichkeit aus diesen Ursprungsdaten niedrigere Werte für eine Wechselschwelle resultieren.

$$n \cdot e^{-T/n\tau} = \frac{c_{\text{tol}} - c_m}{c_i}$$

Aus Literatur:

$$\begin{aligned}\tau &= 64 \text{ min} \\ c_{\text{tol}} &= 231 \text{ ng/ml} \\ c_m &= 140 \text{ ng/ml} \\ c_{i0} &= 14 \text{ ng/ml}\end{aligned}$$

$$c_i = c_{i0} \cdot 10^k [L - L_0] / 10$$

$$k = 0,3$$

$$L_0 = 53 \text{ dB(A)}$$

$$n \cdot e^{-T/n\tau} = \frac{c_{\text{tol}} - c_m}{c_{i0} \cdot 10^k [L_{\max} - L_0] / 10}$$

Bild 3: Formelmäßige Zusammenhänge zwischen Maximalpegel  $L_{\max}$  und Anzahl  $n$  tolerabler nächtlicher Überflüge gemäß einem Abschätzungsmodell basierend auf rein physiologischer Basis lärminduzierter Cortisolausschüttung (SPRENG, 2001)

**Vor allem jedoch sagt das Kriterium  $6 * 60 \text{ dB(A)}$  nichts darüber aus, wieviel nächtliche Flugereignisse bei niedrigeren Maximalpegeln [z.B.  $L_{\max} = 59 \text{ dB(A)}$  oder  $L_{\max} = 50 \text{ dB(A)}$ ] ohne Gesundheitsbeeinträchtigung noch tolerabel sind.**

Um dieses Problem zumindest abschätzend in den Griff zu bekommen, wird ein vereinfachtes physiologisches Modell vorgeschlagen, welches ausschließlich auf der nächtlichen Cortisolausschüttung beruht (SPRENG, 2001).

Dabei wird ausgehend von durch (äquidistante) Flugereignisse initial und pegelabhängig ausgelösten einzelnen Cortisolanstiegen ( $c_i$ ) nach jeweils exponentiellem Abbau (Zeitkonstante:  $t = 64$  min) eine Aufaddition (Akkumulation) während einer Nachtzeit  $T$  (in Minuten) angenommen. Diese sollte - ausgehend von einem mittleren normalen Cortisolwert in Plasma ( $c_m$ ) - einen maximalen tolerablen Normalwert ( $c_{tol}$ ) nicht überschreiten. Der damit festgelegte tolerable Bereich ( $c_{tol} - c_m$ ) kann in erster Näherung jeweils zu den langsamen circadianen Änderungen der Cortisolkonzentration im Plasma zugeschlagen gedacht werden.

Es resultiert so der in Bild 3 angegebene formelmäßige Zusammenhang, wobei die Pegelabhängigkeit der initialen Cortisolsprünge  $c_i$  (vereinfachend zunächst als unabhängig von der Absolutkonzentration angenommen) gemäß der eingangs geschilderten direkten und engen Beziehung zwischen kortikaler Erregung und Aktivierung hypothalamischer Bereiche (Bild 1) ansetzbar ist. Über die anhand evozierter Potentiale des Menschen (SPRENG, 1976) bestimmte Reiz- Erregungsbeziehung (Potenzfunktion mit Exponent  $k = 0,32$ ) kann diesbezüglich eine quantitative Relation gebildet werden. Ein vergleichbarer Exponent resultiert im übrigen aus psychophysischen Skalierungsexperimenten auditorischer Wahrnehmungen des Harvard-Psychologen STEVENS (1961).

Fixiert man als letzten Schritt eine nächtliche vegetative Überreaktionsschwelle ( $L_0$ ), an sich noch voll im physiologischen Bereich liegend, bei einem Maximalpegelwert von

$L_0 = 53$  dB(A), dann liegen Werte vor (Bild 3), die eine quantitative Abschätzung tolerabler nächtlicher Überflugereignisse anhand des vorgeschlagenen Modells erlauben

Die Festlegung einer vegetativen Überreaktionsschwelle beruht auf der weitgehend anerkannten Tatsache, dass bei Lärmbelastung am Tage deutliche, gut messbare zentralnervöse und vegetative Veränderungen sich bei Maximalpegeln zwischen 60 und 65 dB(A) ergeben. Betrachtet man speziell die mehr zentralen Bereiche, so erweist sich bei akuter Beschallung aufgrund des Abweichens vom Normalverhalten der evozierten Potentiale des wachen Menschen, der Verschiebung von charakteristischen Frequenzanteilen im Gehirnstrom (EEG), sowie des Auftauchens der sekundär durch die zentralen Erregungen ausgelösten Hautstromänderungen, dass bei Momentanschallpegeln von im Mittel 63 dB(A) eine physiologische Überreaktionsschwelle des zentralen Erregungsniveaus des wachen Menschen gegeben ist (KEIDEL und SPRENG 1976: schneller = langsamer EEG- Alpha-Rhythmus, Intensitätsfunktionsabweichung evozierter Potentiale, signifikante Hautstromänderungen; RÖVEKAMP, 1983: Herzfrequenzänderungen; JANSEN et al., 1999: Fingerpulsamplitude). Im übrigen liegt auch der Bereich lauterster menschlicher Stimme in einem Abstand von 2 - 4 m bei Pegeln um  $L_{max} = 61 - 69$  dB.

Da ebenfalls Übereinstimmung darüber besteht, dass die Empfindlichkeit des Organismus mindestens 10 dB niedriger liegt (DiNISI et al., 1990, JANSEN et al., 1995), ist die Festlegung einer nächtlichen, vegetativen Überreaktionsschwelle bei

$L_{max} = 53$  dB(A) plausibel.

Benützt man nun diese Werte (Bild 3), dann resultiert ein Zusammenhang zwischen nächtlicher tolerabler Überflugzahl und dabei vorliegenden Maximalpegeln, welcher in

Tabelle 1 für den Maximalpegelbereich am Ohr des Schläfers von  $L_{\max} = 75 \text{ dB(A)}$  bis  $L_{\max} = 40 \text{ dB(A)}$  aufgelistet ist.

Maximalpegel	Tolerable Überflugzahl
70 dB(A)	6
65 dB(A)	7
60 dB(A)	8
55 dB(A)	11
50 dB(A)	13
45 dB(A)	18
40 dB(A)	23

Tabelle 1: Beispiele für aus dem physiologischen Modell resultierende tolerable Überflugzahlen bei verschiedenen äquidistant einwirkenden Maximalpegeln am Ohr des Schläfers während 8 Nachtstunden (SPRENG, 2001)

**Es ist besonders hervorhebenswert, dass eine Umrechnung dieser mit einem physiologischen Modell abgeschätzten Werte von tolerablen Maximalpegeln und Überflugzahlen in äquivalente Dauerschallpegel in keiner Weise erlaubt ist.**

Diese Ergebnisse des rein physiologisch fundierten, derzeit noch sehr vereinfachten Modells resultieren zwar im oberen Maximalbereich Werte, welche auf den ersten Blick sehr hoch erscheinen. Man muss sich jedoch vergegenwärtigen, dass bei einer tatsächlichen Einwirkung dieser Pegel die Zahl der gesamten nächtlichen Überflugereignisse (auch mit niedrigeren Pegelwerten) keinesfalls höher als die in der Tabelle 1 angegebene Anzahl werden darf. Mit anderen Worten: falls also z. B. 6 Ereignisse mit einem Maximalpegel von 70 dB(A) in den 8 Nachtstunden im Innenraum auftreten, dann sind grundsätzlich keine weiteren Lärmeinwirkungen auch mit deutlich niedrigeren Maximalpegeln tolerabel.

Das hier vorgestellte Modell gewinnt trotz seiner starken Vereinfachung an Plausibilität, wenn man die Berechnung einerseits hinsichtlich eines einzigen, noch tolerablen nächtlichen Ereignisses extrapoliert. Dann resultiert dafür ein Wert (bei einer 10 dB-Überflugzeit von 20 s) von  $SEL=125 \text{ dB(A)}$ , der recht gut demjenigen Grenzwert entspricht, unterhalb dessen mit sehr großer Sicherheit keinerlei aurale Hörschädigungen im Innenohr auftreten (SPRENG et al., 1991/92).

Andererseits lassen sich im unteren Maximalpegelbereich - obwohl prinzipiell nicht erlaubt - die aus dem Modell errechneten Werte grob mit einem äquivalenten Dauerschallpegel von  $L_{eq} < 30 \text{ dB(A)}$  [Innen] annähern. Dieser Wert sollte gemäß Aussage des interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (1982) zur Vermeidung von Schlafstörungen in Innenräumen nicht überschritten werden.

Vergleicht man die wenigen, vereinzelt in der Literatur angegebenen tolerablen nächtlichen Überflugzahlen, die auf unterschiedlichen, jedoch nicht rein physiologischen Abschätzungsverfahren beruhen, dann findet man ebenfalls Werte, welche das vorliegende Modell bestätigen.

So gibt z. B. GRIEFAHN (1990) einen kritischen Maximalpegel von  $L_{\max} = 53 \text{ dB(A)}$  an, der u. U. bereits bei 10 Überflügen pro Nacht nicht überschritten werden sollte. Das vorgelegte Modell resultiert für diesen Wert  $L_{\max} = 53 \text{ dB(A)}$  einen tolerablen Wert von 12 nächtlichen Überflügen (Tabelle 1).

VALLET und VERNET (1993) verlangen für eine nächtliche Zahl von Überflügen zwischen 20 und 25, dass Innenraumwerte von  $L_{\max} = 40 \text{ dB(A)}$  nicht überschritten werden dürfen. Aus Tabelle 1 ist gemäß den Ergebnissen des physiologischen Modells für  $L_{\max} = 40 \text{ dB(A)}$  eine tolerable nächtliche Anzahl von 23 Überflügen abzulesen.

Letztlich lassen sich auch die Ergebnisse von MASCHKE et al., 1995, die erhöhte nächtliche Cortisolwerte nach 16 Fluglärmereignissen mit  $L_{\max} = 55 \text{ dB(A)}$  innerhalb von nur 4 Nachtstunden ermittelt haben, in das Modell einordnen. Dieses liefert bei Neuberechnung mit dem auf nur 4 Nachtstunden (statt 8 Nachtstunden) reduzierten Einwirkungsbereich für die gewählten Maximalpegel von  $L_{\max} = 55 \text{ dB(A)}$  eine tolerable Zahl von nur 8 Fluglärmereignissen. Die von MASCHKE et al., 1995 ermittelten fluglärminduzierten Anstiege des nächtlichen Cortisolspiegels sind also höchstwahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass bei diesen Experimenten doppelt so viele Ereignisse verwendet wurden als von den physiologischen Gegebenheiten her tolerabel gewesen wären.

## 6. Literatur

Barna, I.; Koenig, J. I.; Makara, G. B.

Effects of anterolateral and posterolateral cuts around the medial hypothalamus on the immunoreactive ACTH and Beta-Endorphin levels in selected brain regions of the rat.

*Brain Res. Bull.* 42 (1997) 353-357

DiNisi, J., Muzet, A., Ehrhart, J., Libert, J. P.

Comparison of cardiovascular responses to noise during waking and sleeping in humans.

*Sleep* 13 (1990) 108-120

Edeline, J.-M.; Weinberger, N. M.

Associative retuning in the thalamic source of input to the amygdala and auditory cortex: Receptive field plasticity in the medial division of the medial geniculate body.

*Behav. Neurosci.* 106 (1992) 81-105

Feldman, S.; Weidenfeld, J.

The excitatory effects of the amygdala on hypothalamic-pituitary-adrenocortical responses are mediated by hypothalamic norepinephrine, serotonin, and CRF-41.

*Brain Res. Bull.* 45 (1998) 389-393

Gomez-Sanchez, C. E.; Zhou, M. Y.; Cozza, E. N.; Morita, H.; Foeking, M. F.; Gomez-Sanchez, E. P. Aldosterone biosynthesis in the rat brain.

*Endocrinology* 13 (1997) 3369-3373

Gray, T. S.

Amygdala role in autonomic and neuroendocrine responses to stress.

In *Stress, neuropeptides and systemic disease*. Academic Press, New York, 1991, pp 37-53

Griefahn, B., Jansen, G., Klosterkötter, W.

Zur Problematik lärmbedingter Schlafstörungen – eine Auswertung von Schlafliteratur Umweltbundesamt, Berichte 4/76, Berlin, 1976

Griefahn, B.

Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz

*Z. Lärmbekämpfung* 37 (1990) 4 -14

Hofmann, W.

Vliegtuiglawaai, sleep en gezondheid. Een literatuurstudie

- Gezondheidsraad (Publikatie Nr. A91/01), Den Haag, 1991
- Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim UBA  
Beeinträchtigung des Schlafs durch Lärm  
Z. f. Lärmbekämpfung 29 (1982) 13-16
- Jansen, G.  
Grenz- und Richtwerte in der Lärmbekämpfung  
Kampf dem Lärm 3 (1973) 71-78
- Jansen, G., Linnmeier, A., Nitzsche, M.  
Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtfluglärm  
Z. f. Lärmbekämpfung 42 (1995) 91-106
- Jansen, G., Notbohm, G., Schwarze, S.  
Gesundheitsbeeinträchtigungen durch umweltbedingten Lärm.  
In *Umwelt und Gesundheit*, Rat der Sachverständigen für Umweltfragen, Hrsg., Metzler-Poeschel, Stuttgart, 1999, s. 249-343
- Keidel, W. D., Spreng, M.  
Neuro-elektrophysiologische Lärmbewertung  
Forschungsbericht BMI/UB II 5-520-01, (Techn. Inf. Biblio. AC 2890, Hannover)  
Inst. Physiologie u. Biokybernetik, Uni Erlangen, 1976
- Khachaturian, H.; Lewis, M. E.; Tsou, K.; Watson, S.J.  
Beta-endorphin, Alpha-MSH, ACTH, and released peptides.  
In : *Handbook of Chemical Neuroanatomy. Vol. 4.* Björklund, A. & Hökfelt, T., eds.  
Elsevier, Amsterdam, 1995, pp 216-272
- LaBar, K. S.; Gatanby, J. C.; Gore, J. C.; LeDoux, J. E.; Phelps, E.A.  
Human amygdala activation during conditioned fear acquisition and extinction: A mixed-trial fMRI study.  
*Neuron* 20 (1998) 937-945
- LeDoux, J. E.  
Information flow from sensation to emotion: Plasticity in the neural computation of stimulus value.  
In *Learning and Computational Neuroscience: Functions of Adaptive Networks.*  
Gabriel, M & Moore, J. eds. MIT-Press, Cambridge etc., (1990), pp 2-51
- LeDoux, J. E.  
Emotion: Clues from the brain.  
*Ann. Rev. Psychol.* 46 (1995) 209-235
- Lennartz, R. C.; Weinberger, N. M.  
Frequency-specific receptive field plasticity in the medial geniculate body induced by Pavlovian fear conditioning is expressed in the anesthetized brain.  
*Behav. Neurosci.* 106 (1992) 484-497
- Maschke, C.; Ising, H.; Arndt, D.  
Nächtlicher Verkehrslärm und Gesundheit: Ergebnisse von Labor- und Feldstudien.  
*Bundesgesundheitsblatt* 4 (1995) 130-137
- Maschke, C.; Arndt, H.; Ising, H.; Laude, D.; Thierfelder, W.; Contzens, S.  
Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner.  
G. Fischer, Stuttgart, 1995
- Maschke, C.; Pleines, F.  
Nachtfluglärmwirkungen und ihr Einfluß auf die Gesundheit.  
In (DAL, Hrsg.): *Der Luftverkehr im Spannungsfeld zwischen Gesundheit, Politik und Wirtschaft.*  
DAL Informationszentrum, Düsseldorf, 1996 S. 21-38
- Masterton, R. B.  
Role of the mammalian forebrain in hearing.  
In *Acoustical Signal Processing in the Central Auditory System.* Syka, J., ed.  
Plenum Press, New York-London, 1996, pp 1-17
- Ollerhead, J. B., Jones, C. J., Cadoux, R. E. et al.  
Report of a field study of aircraft noise and sleep disturbance.

- Civil Aviation Authority, London, 1992
- Osada, Y., Ogawa, S., Ohkubo, Ch., Miyazaki, K.  
Experimental study of sleep interference by train noise.  
*Bull. Inst. Of Public Health* 23 (1974) 171-177
- Passchier-Vermeer, W.  
Noise and Health  
Health Council of the Netherlands (Pub. A93/02E), Den Haag, 1993
- Pearson, K. S., Barber, D. S., Tabacknick, B. G.  
Analysis of predictability of noise-induced sleep disturbance  
BBN Systems and Technologies Co., Canoga Park, 1989
- Quirk, G. J., Repa, J. C., LeDoux, J. E.  
Fear conditioning enhances short-latency auditory responses of lateral amygdala neurons:  
Parallel recordings in the freely behaving rat.  
*Neuron* 15 (1995) 1029-1039
- Rövekamp, A. J. M.  
Physiological effects of environmental noise on normal and more sound-sensitive human beings.  
In *Noise as a Public Health Problem*, Vol.1, Rossi, G. ed., Edizione Tecnica (Amplifon),  
Milano, 1983, pp 605-614
- Rogan, M. T., LeDoux, J. E.  
LTP is accompanied by commensurate enhancement of auditory-evoked responses in a  
fear conditioning circuit.  
*Neuron* 15 (1975) 127-136
- Samra, J. S.; Clark, M. L.; Humphreys, S. M.; MacDonald, I. A.; Bannister, P. A.; Frayn, K. N.  
Effects of physiological hypercortisolemia on the regulation of lipolysis  
in subcutaneous adipose tissue.  
*J. clin. Endocrinol. Metab.* 83 (1998) 626-631
- Spreng, M.  
Grenzen der sensorischen Informationsverarbeitung des Menschen  
*Naturwiss. Rundschau* 29 (1976) 377-386
- Spreng, M.  
Addition verschiedener Lärmeinflüsse  
In (Berg, M. Hrsg) *Lärmschäden des Ohres*  
Thieme, Stuttgart, 1980 S. 71 - 76
- Spreng, M.  
Risikofaktor Lärm - Physiologische Aspekte  
Therapiewoche 34 (1984) 3765-3772 und  
In (von Eiff, A. W. Hrsg.): *Risikofaktoren der Umwelt*  
Schattauer-Verlag, Stuttgart-New York, 1984
- Spreng, M.  
Noise effects on auditory and vegetative control systems in man  
In *Proc. Inter-Noise '85*, Federal Inst. Occup. Safety, ed., Wirtschaftsverlag NW  
Bremerhaven, 1985, pp 969-972
- Spreng, M.  
Physiologie des Gehörs  
In (Biesalski, P; Frank, F. Hrsg) *Phoniatrie-Padaudiologie*  
Thieme, Stuttgart, 1994 S. 1 - 47
- Spreng, M.  
Gutachterliche Stellungnahme Verwaltungsrechtstreit Flughafen Hahn  
(7 C 11843/93.OVG Koblenz). Erlangen, 1996
- Spreng, M.  
Kritische Betrachtung des Schienenbonus anhand hörphysiologischer/medizinischer Fakten.  
Tagungsband: Fachseminar Schienenlärm  
Institut für Ökologische Studien, München, 1997, S. 19-29

- Spreng, M.  
Central nervous system activation by noise  
*Noise & Health* 7 (2000a) 49-57
- Spreng, M.  
Possible health effects of noise induced cortisol increase  
*Noise & Health* 7 (2000b) 59-63
- Spreng, M.  
Cortical excitation, cortisol excretion, and estimation of tolerable nightly over-flights  
*Noise & Health* (2001) in press
- Spreng, M., Leupold, S., Firsching, P.  
Gehörschäden durch Impulslärm  
Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz Fb 630  
Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1991 und  
Gehörschadensrichtige Bewertung impulsiver und tonaler Industrieschalle: Versuch  
eines Einwertzuschlags.  
*Z. f. Lärmbekämpfung* 39 (1992) 31-38
- Stevens, S. S.  
The psychophysics of sensory function  
In *Sensory Communication*, Rosenblith, W. A. ed., MIT Press and John Wiley & Sons,  
Inc., New York – London, 1961, pp. 1-33
- UBA (Umweltbundesamt)  
Gutachtliche Stellungnahme zu Lärmwirkungsbereichen (1982-1990).  
Interdisziplinärer Arbeitskreis beim Umweltbundesamt, Berlin, 1990
- Vallet, M, Vernet, I.  
Night aircraft noise index and sleep research  
In *Noise and Disease*, Ising, H., Kruppa, B, eds., Gustav Fischer Verlag,  
Stuttgart-New York, 1996, pp 467-468
- Voigt, K.  
Endokrines System  
In *Lehrbuch der Physiologie*, Klinker, R; Silbernagel, S. Hrsg., Thieme,  
Stuttgart-New York, 1994
- Yasuda, N.; Nakamura, K. (1997)  
Heterogeneity of corticotropin-releasing factor (CRF).  
*Jap. J. Physiol.* 47 (1997) 147-159

# Stresshormone und Schlafstörungen – elektrophysiologische und hormonelle Aspekte

C. Maschke<sup>1</sup>, K. Hecht<sup>2</sup>

1) Institut für Technische Akustik, TU-Berlin

2) Institut für psychosoziale Gesundheit (IPSG), Berlin

Der Tagesverlauf des Menschen ist durch zirkadiane Rhythmen aller Körperfunktionen ausgewiesen und durch drei psychobiologische Kardinalzustände [Koella 1988] gekennzeichnet.

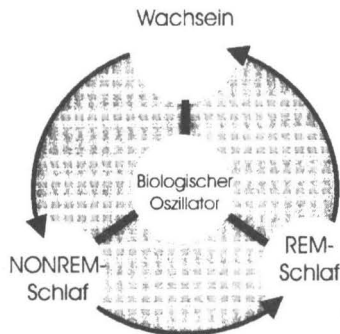


Abb.1: Wachsein, REM-Schlaf, NON-REM-Schlaf.

Die Ausgewogenheit dieser drei Kardinalzustände ist die Grundlage für Gesundheit und Lebensqualität [Koella 1988, Moore-Ede 1993, Adam et al. 1998, Fischer et al. 2000].

In zahlreichen Arbeiten [z.B. Moore-Ede 1993, Hildebrandt 1998, Zulley 1998, Fischer et al. 2000] sowie von der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin wird mit Nachdruck und Besorgnis auf die gesundheitlichen Folgen einer 24-Stunden-Nonstop-Gesellschaft aufmerksam gemacht. Eine langfristige Störung der biologischen und psychosozialen Rhythmen der Menschen ist als Gesundheitsbeeinträchtigung einzustufen.

Schlaf und Traumschlaf sind durch eine retrospektive, an die Erinnerung gebundene, Erlebnis-komponente sowie durch eine objektive, messbare biometrische Komponente charakterisiert. Mit Hilfe der biometrischen Komponente lassen sich die drei Kardinalzustände durch verschiedene Vitalparameter relativ sicher beschreiben.

## Schlaf, zirkadianer Rhythmus und Hormone

Der Schlaf ist in einen 24-Stunden-Rhythmus (zirkadianer Rhythmus) eingebettet und läuft selbst zyklisch ab. Die Verweildauer in den tiefen Schlafstadien (Slow-Wave-Sleep) nimmt aufgrund des

zirkadianer Rhythmus mit der Schlafzeit ab, die Verweildauer im REM-Schlaf mit der Schlafzeit zu. Der zyklische Ablauf der Schlafstadien ist Teil einer ultradianen Periodik. Diese Rhythmen charakterisieren auch die endokrine Regulation und sind bei den Hormonen besonders deutlich.

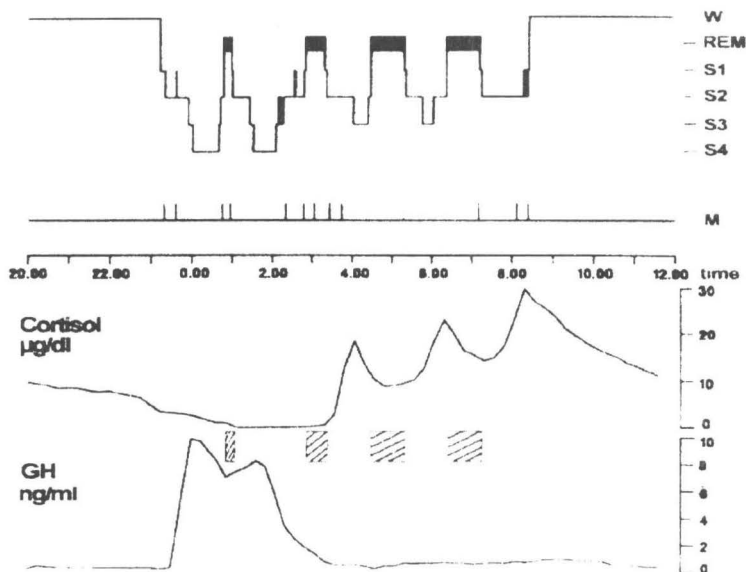


Abb. 2: Typisches Schlafzyklogramm eines jungen, gesunden Schläfers und nächtlicher Verlauf der plasma Cortisol Konzentration sowie der Wachstumshormone (GH). Die gestrichelten Kästchen markieren die REM-Schlafzeiten [Quelle: nach Born et al. 2000]

Die ACTH/Cortisolkonzentrationen erreichen im ungestörten Schlaf ein Minimum in den frühen Nachtstunden (Cortisolnadir) und steigen in der zweiten Hälfte der Nacht stark an. Die Konzentrationen erreichen ein Maximum zur Zeit des morgendlichen Erwachens, [Born et al. 1986, 1998, 2000]. Der Cortisolnadir fällt auf neuraler Ebene mit dem Auftreten von Slow-Wave-Sleep (SWS) zusammen. Die Tiefschlafphasen (SWS) während der frühen Nacht sind nicht nur mit einer minimalen Cortisolfreisetzung verbunden, sondern auch mit der höchsten Sekretion von Wachstumshormonen. Auf diese Art entsteht ein zirkadianes Muster der neuroendokrinen Regulation, das für den ungestörten Schlaf spezifisch ist [Born et al. 2000].

### Schlafpolygraphie und Lärmwirkung

Nächtlicher Lärm zeigt sich im Schlafzyklogramm bei intermittierenden Geräuschen (z.B. Fluglärm) als fragmentierter Schlafverlauf bzw. bei quasi kontinuierlichen Geräuschen (z.B. Straßenverkehrslärm) als oberflächlicher Schlaf. Beide Geräuscharten führen insgesamt zu einer Verkürzung der Tiefschlafzeiten (Stadien 3 & 4) und der REM-Phasen. Die lärmbedingte Aktivierung kann bis zum Erwachen führen. Effektschwellen für Sofortreaktionen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tab. 1: Schwellen für Sofortreaktionen bei Verkehrslärm [Quelle: Maschke et al. 1997]

Parameter	Kontinuierliche Geräusche	Intermittierende Geräusche
Gesamtschlafdauer	ab $L_{Aeq} = 45$ dB(A) verkürzt	bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Schlafstadienlatenz	Einschlaflatenz ab $L_{Aeq} = 45$ dB(A) verlängert, Tiefschlaflatenz ab $L_{Aeq} = 36$ dB(A) verlängert, Tendenz zur Verlängerung der Traumschlaflatenz	Einschlaflatenz keine Daten, Tiefschlaflatenz bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) (50 Ereignissen) verlängert, Tendenz zur Verkürzung der Traumschlaflatenz
Arousalreaktionen und Schlafstadienwechsel		ab $L_{Amax} = 45$ dB(A) induziert
Aufwachreaktionen	oberhalb von $L_{Aeq} = 60$ dB(A) erhöht	ab $L_{Amax} = 45$ dB(A) induziert
Dauer der Wachphasen	oberhalb von $L_{Aeq} = 66$ dB(A) verlängert	ab $L_{Amax} = 65$ dB(A) (15 Ereignisse) verlängert
Dauer des Leichtschlaf	oberhalb von $L_{Aeq} = 66$ dB(A) verlängert	bei $L_{Amax} = 75$ dB(A) (16 Ereignisse) verlängert
Dauer des Tiefschlaf	ab $L_{Aeq} = 36$ dB(A) verkürzt	bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Dauer des REM-Schlaf	oberhalb von $L_{Aeq} = 36$ dB(A) verkürzt	bei $L_{Amax} = 55$ dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Herzrhythmusstörungen		Häufigkeit kann durch Ereignisse mit $L_{Amax} > 50$ dB(A) erhöht werden
Herzfrequenz		ab Modulationstiefe von 7 dB(A) erhöht
Körperbewegungen	oberhalb von $L_{Aeq} = 35$ dB(A) vermehrt	bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) vermehrt und induziert
subjektive Schlafqualität	ab $L_{Aeq} = 36$ dB(A) verschlechtert	bei $L_{Amax} = 50$ dB(A) (64 Ereignisse) bereits um 25 % verschlechtert
erinnerbares Erwachen		ab $L_{Amax} = 55$ dB(A) erhöht, nimmt mit $L_{Amax}$ und Ereignisanzahl zu
Leistung	oberhalb von $L_{Aeq} = 45$ dB(A) verschlechtert	bei $L_{Amax} = 45$ dB(A) (16 Ereignisse) verschlechtert

Induziert: Reaktion in einem Zeitfenster nach dem Lärmereignis (das Zeitfenster variiert in den einzelnen Untersuchungen zwischen 30 und 90 Sekunden)

Neben dem Schallpegel ist der Informationsgehalt des Geräusches für den Schläfer bedeutsam. Die Alarmfunktion des Gehörsinnes kann bereits bei sehr leisen Geräuschen zum Erwachen führen, wenn im Geräusch auf Gefahr hindeutende Information enthalten sind. Bemerkenswert hohe Schallpegel von 90 dB(A) und mehr können besonders von Kindern überschlafen werden. Die Weckwirkung ist nicht nur von der Höhe des Schallpegels abhängig, sondern auch von dessen Abstand zum jeweiligen Grundgeräuschpegel.

### Cortisolausschüttung und Lärmwirkung

Neben den zentralnervösen und vegetativen Erregungsprozessen gehört die veränderte Ausschüttung von Aktivierungshormonen zu den markanten Charakteristika von Schlafstörungen.

Diese Aktivierungshormone, die auch als Stresshormone bezeichnet werden stellen das zentrale Bindeglied zwischen Lärm und Gesundheitsbeeinträchtigung dar [z.B. Maschke et al. 2000]. Stressorientierten Verkehrslärmuntersuchungen [Maschke 1992, Maschke et al. 1995, und Braun 1998] ist zu entnehmen, dass die mittlere Hormonkonzentration durch nächtlichen Verkehrslärm akut erhöht werden kann. Gleichzeitig ist das Schlafverhalten und die morgendliche Befindlichkeit der Versuchspersonen verschlechtert. Bereits 16 Überflüge mit Maximalpegeln von 55 dB(A) bewirkten eine signifikante Erhöhung der Stresshormonausscheidung.

## **Nächtlicher Lärm und Gesundheit**

Die entscheidende Frage, welche Auswirkung einer nächtliche Lärmbelastung vermieden werden muss, um die Gesundheit zu erhalten, ist umstritten. So bemerken Jansen et. al. [Jansen 1999], dass bis zur Klärung der Zusammenhänge zwischen physiologischen Sofortreaktionen und Gesundheit an den Kriterien von  $L_{\max} = 60 \text{ dB(A)}$  für die Aufwachschwelle und von sechsmal 60 dB(A) festgehalten werden kann. Hecht und Maschke [Hecht 1999] stellen den Schutz der Gesundheit auf einen ungestörten Schlafverlauf bzw. auf eine ungestörte Cortisolregulation ab. Auch aus Sicht des Umweltrates [SVR 1999, Tz 444] ist nicht auszuschließen, dass die beobachteten Störungen des Schlafverlaufs langfristig Gesundheit und Leistungsfähigkeit beeinträchtigen können. Im Mittelpunkt dieser Diskussion steht demzufolge der Pathogenesemechanismus, der nächtlichen Lärm mit Gesundheitsbeeinträchtigungen verbindet.

Neue Erkenntnis hat diesbezüglich die Arousalforschung geliefert.

## **Arousal – kurzzeitige lärmbedingte Aktivierung im Schlafzustand**

Lärmwirkungen können funktionelle Veränderungen hervorrufen. Dieser Prozess wird gewöhnlich als Aktivierung bezeichnet. Neben dem Begriff der Aktivierung hat sich auch der Begriff „arousal“ eingebürgert. Die Schlafmedizin bezeichnet Arousal als eine zeitlich eng begrenzte Zustandsänderung, die den Organismus von einem niedrigen Erregungsniveau auf ein höheres anhebt. Arousal stellen unter physiologischen Bedingungen einen Schutzreflex dar. Es ist zwischen vegetativen, motorischen und EEG-Arousalen zu unterscheiden.

Vegetative Arousal können sich (zeitlich begrenzt) in Erhöhung des Blutdrucks, der Herzfrequenz und Änderung der Atmung, in der zerebralen Durchblutung, oder in der endokrinen Sekretion äußern. Gewöhnlich ist ein Anstieg des Sympathikotonus gegeben. Vegetative Arousal können auch ohne EEG-Arousal auftreten!

Motorische Arousal treten bei Lagewechsel, Husten, Zuckungen der Muskeln auf und sind gewöhnlich von EEG- und/oder vegetativen Arousal begleitet.

EEG-Arousal beinhalten eine zeitliche begrenzte Reduzierung der Theta- und Deltawellen sowie eine Induzierung von Alphawellen und Betawellen.

Verschiedene Untersuchungen [Übersicht z.B. bei Maschke 1997] zeigen das (Verkehrs)Lärm vegetative, motorische und EEG-Arousal hervorrufen kann. Für EEG-Arousal ist die Datenlage der Lärmwirkungsforschung vergleichsweise groß. Die Untersuchungen wurden aber mehrheitlich vor 1980 durchgeführt und behandeln überwiegend die lärmbedingte Aufwachreaktion (Stadium

Wach) nach Rechtschaffen und Kales, die im EEG eine Arouselepisode von mindestens 30 Sekunden voraussetzt. Die American Sleep Disorder Association (ASDA) fordert für EEG-Arousal eine Episode von 3-30 Sekunden. Andere Arbeitsgruppen ziehen auch Micro-Arousal (1-3 Sekunden) in die Definition des EEG-Arousal mit ein. Die Folge ist, dass Ergebnisse aus der medizinischen Schlafforschung nur schwer mit Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung verglichen werden können.

EEG-Arousal stellen immer eine Unterbrechung des Schlafablaufs dar. Hält diese Schlafunterbrechung über einen Zeitraum von etwa 1- 4 Minuten an [Griefahn et al. 1976] geht das EEG-Arousal in ein bewusstes Wachsein über. Die Zeit ist abhängig von dem Schlafstadium aus dem das Arousal erfolgte [Hecht 1992]. Das bewusste Erwachen kann ein kognitives Arousal im Sinne sich aufräuger Gedanken darstellen. Es kann mit einem verzögerten Wiedereinschlafen verbunden sein und stellt in dieser Form eine schwerwiegende Störung des Schlafablaufs dar.

Für vegetative-Arousal ist die Datenlage der Lärmwirkungsforschung vergleichsweise gering und für endokrine-Arousal noch geringer. Das liegt auch darin begründet, dass eine Verlaufsmessung der endokrinen Reaktion im Blut den Schlafverlauf selbst erheblich beeinträchtigen kann.

Einen vereinfachten Zugriff auf die endokrinen Regulation ermöglichen Erkenntnisse aus der medizinischen Schlafforschung. So kann ein erhöhter Cortisolspiegel als eine essentielle Markersubstanz von chronischem Stress angesehen werden [Born et al. 2000]. Dies wird durch Untersuchungen mit depressiven Patienten bestätigt [Deuschle et al. 1997]. Außerdem leiden depressive Patienten an Schlafstörungen, die eine beträchtliche Abnahme an Slow-Wave-sleep und eine verminderte Sekretion von Wachstumshormonen beinhalten [Steiger et al. 1993]. Bestimmte Formen der Depression sind nachweislich auf eine chronisch gestörte zirkadiane Rhythmik zurückzuführen.

Der Cortisolspiegel (Nadir) liegt aufgrund des zirkadianen Rhythmus im ersten Teil der Nacht und die Cortisolfreisetzung im Plasma ist am Morgen um den Faktor 10 höher [Born et al. 2000]. Deshalb besteht die größte Wahrscheinlichkeit zum Nachweis von endokrinen Arousal in der ersten Nachthälfte. Weiterhin lässt sich die Problematik interindividueller Unterschiede und zirkaseptaner Rhythmen minimieren, sofern ein Cortisolquotient gebildet wird. Der Quotient aus der Cortisolkonzentration während der ersten Nachthälfte, geteilt durch die Cortisolkonzentration der zweiten Nachthälfte, weist bei einem ungestörten Schlaf einen vergleichbaren Wert von etwa 0,2 auf.

Ein weiteres wichtiges Merkmal der neuroendokrinen Regulation während des frühen Schlafs ist ihre Empfindlichkeit für anstrengende Ereignisse während des Wachzustandes. Dies konnte für akute (körperlich und psychologisch) Stressoren nachgewiesen werden [Born et al. 2000]. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass die während des frühen Schlafs erreichte minimale Cortisolkonzentration als Markersubstanz bezüglich der Stressbewältigung angesehen werden kann.

## **Gesundheitliche Bedeutung der Arousal**

Die Arousal dienen der Aufrechterhaltung der ganzheitlichen Homöostase. Sie haben die Aufgabe vitalbedrohliche Einflüsse oder Ereignisse durch Aktivierung von Kompensationsmechanismen zu verhindern.

Häufiges, durch intero- oder exterozeptive Stimulierung ausgelöstes, Auftreten von Arousal im Schlaf führt zu einer Deformation zirkadianer Rhythmen.

Die Deformation zeigt sich in einem fragmentierten Schlafverlauf ebenso wie in einem erhöhten Cortisolnadir. Nachts wird infolge der Fragmentierung des Schlafs, bzw. eines vermehrten Auftretens von Arousals der Sympathikotonus erhöht. Infolge dessen leidet die Schlafqualität und führt zur Leistungsminderung, Schläfrigkeit und Müdigkeit am Tage.

Insgesamt wirkt sich die langfristige Störung zirkadianer Rhythmen verschlechternd auf die klinische Symptomatik aus [Hanly et al. 1989, Zuberi-Khokhar 1996, Biberdorf et al. 1993, Bonnett und Arand 1995, Mercia und Gaillard 1991]. Eine Störung wird auch durch vermehrte Aufwachreaktionen angezeigt.

Lärmbedingte Wachphasen müssen deshalb als abnormal und langfristig als Gesundheitsrisiko beurteilt werden. Andererseits ist eine grobe Störung physiologischer Funktionsabläufe bereits unterhalb der Aufwachschwelle zu verzeichnen. Es ist daher wenig sinnvoll, allein aus einer mittleren experimentellen Weckschwelle einen hygienischen Grenzwert für den Schutz des Schlafes abzuleiten.

## Diskussion

Die gesundheitliche Gefährdung einer nächtlichen Lärmbelastung liegt in der Störung endogener Rhythmen. Diese Störung wird durch häufige lärmbedingte Arousal hervorgerufen. Es ist daher zu fordern, dass den lärmbedingten Arousal in der Lärmwirkungsforschung eine größere Bedeutung beigemessen wird. Das gilt sowohl für elektrophysiologische, als auch für stressorientierte Schlafuntersuchungen. So wurde in den vorliegenden Lärmstressuntersuchungen vorwiegend die Katecholamin- bzw. Cortisolkonzentration als Summenparameter aus dem Sammelharn erhoben und mit Kontrollgruppen verglichen (Übersicht z.B. bei Ising et al. 2000). Die Ergebnisse sind nicht einheitlich und zeigen sowohl (signifikante) Erhöhungen als auch Subgruppen mit erniedrigten Cortisolwerten [Hader 1998]. Zusätzlich sind starke zirkaseptane Rhythmen (Wochenrhythmen) zu beachten. Eine Unterteilung der nächtlichen Sammeldauer und eine Bestimmung des Cortisolquotienten ist zur Beurteilung gesundheitlicher Gefahren wesentlich besser geeignet, als eine Beurteilung nach Referenzwerten.

Abschließend muss noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die Ableitung von nächtlichen Schutzkonzepten nicht an einem Funktionsparameter vorgenommen werden sollte. Die Funktionssysteme sind lose gekoppelt und weisen unterschiedliche Empfindlichkeiten gegenüber exogenen und endogenen Stimuli aus.

## Literatur

- Adam B., K.A. Geißler, M. Held (Hrsg.). *Die Nonstop-Gesellschaft und ihr Preis*. Hirzel Verlag Stuttgart Leipzig
- Biberdorf D. J., R. Steens, M T. W. Millar, M. H. Kryger (1993): Benzodiazepines in congestive heart failure: effects of temazepam on arousability and Cheyne Stokes respiration. *Sleep* 16, 529-538
- Bonnet M. M., D. L. Arand (1995): 24-hour metabolic rate in insomnias and matched normal sleepers. *Sleep* 18, 581-588

- Born J., W. Kern, K. Bieber, G. Fehm-Wolfsdorf, M. Schiebe, H.L. Fehm (1986): Night time plasma cortisol secretion is associated with specific sleep stages. *Biol. Psychiatry* 21, 1415-1424
- Born J., K. Hansen, L. Marshall, M. Mölle, H.L. Fehm (1998): Timing the end of nocturnal sleep. *Nature* 397, 29-30
- Born J., H.L. Fehm (2000): The neuroendocrine recovery function of sleep. *Noise & Health* 7, 25-37
- Braun C. Nächtlicher Straßenverkehrslärm und Stresshormonausscheidung beim Menschen. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin, (1998).
- Deuschle M., U. Schweiger, B. Weber, U. Gotthardt, A. Körner, J. Schmider, H. Standhardt, C.H. Lammers, I. Heuser (1997): Diurnal activity and pulsatility of the hypothalamus-pituitary-adrenal system in male depressed patients and healthy controls. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 82, 234-238
- Fischer J., F. Raschke (2000): Die 24-Stundengesellschaft – sozialmedizinische Bedeutung. *Somnologie* 4, Suppl. 1, 7
- Griefahn B.; G. Jansen und W. Klosterkötter (1976): *Zur Problematik lärmbedingter Schlafstörungen - eine Auswertung von Schlaf-Literatur*. Umweltbundesamt Bericht 4/76
- Hanley P. J., T. W. Millar; D. G. Steljes; R. Baert; M. A. Fraiss; M. H. Kryger (1989): The effect of oxygen on respiration and sleep in patients with congestive heart failure. *Hun. Int. M.cal* 111, 777-782
- Harder J., C. Maschke und H. Ising (1998): Längsschnittstudie zum Verlauf von Streßreaktionen unter Einfluß von nächtlichem Fluglärm. Umweltbundesamt Berlin: Forschungsbericht FKZ 506 01 003.
- Hecht K., C. Maschke, H.U. Balzer, S. Bärndal, C. Czolbe, A. Dahmen, M. Greusing, J. Harder, A. Knack T., Leitmann, P. Wagner und I. Wappler(1999): Lärmmedizinisches Gutachten DA-Erweiterung Hamburg. ISF Berlin
- Hecht K. (1992): *Besser schlafen, schöner träumen*. Südwest Verlag
- Hildebrandt G. (1998): Die Missachtung der biologischen Zeitprogramme des Menschen durch Nacht- und Schichtarbeit. In: Adam B., K.A. Gußler, M. Held (Hrsg.). *Die Nonstop-Gesellschaft und ihr Preis*. Hirzel Verlag Stuttgart Leipzig
- Ising H., C. Braun (2000): Acute and chronic endocrine effects of noise: Review of the research conducted at the Institut für Water, Soil and Air Hygiene. *Noise & Health* 7, 7-24
- Jansen G., G. Notbohm, S. Schwarze (1999): *Gesundheitsbegriff und Lärmwirkungen*. Stuttgart Metzler-Poeschel.
- Koella W. P. (1988): *Die Physiologie des Schlafes*. Gustav Fischer Verlag
- Maschke, C., T. Rupp, K. Hecht (2000): The influence of stressors on biochemical reactions - A review of the present scientific findings with noise. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 203, 45-53.
- Maschke C., M. Druba und F. Pleines (1997): Kriterien für schädliche Umwelteinwirkungen: Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm - eine Literaturübersicht, Forschungsbericht 97-10501213/07. Umweltbundesamt, Berlin
- Maschke C., D. Arndt, H. Ising, D. Laude, W. Thierfelder und S. Contzens. (1995): *Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart / New York,
- Maschke C. (1992): Der Einfluß von Nachtfluglärm auf den Schlafverlauf und die Katecholaminausscheidung. Dissertation, Technische Universität Berlin,
- Mercia, H.; J. Gaillard (1991): The EEG of sleep onset period in insomnia: a discriminant analysis. *Physiol. Behav.* 52, 199-204
- Moore-Ede M. (1993): *Die Nonstopgesellschaft. Risikofaktoren und Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit in der 24-Stunden-Welt*. W. Heyne-Verlag, München
- Steiger A., U. Bardeleben, J. Guldner, C. Lauer, B. Rothe, F. Holsboer (1993): The sleep EEG and nocturnal hormonal secretion – studies on change the course of depression and on effects of CNS-active drugs. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiat.* 17, 125-137
- SVRU, Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. Sondergutachten (1999): *Umwelt und Gesundheit – Risiken richtig einschätzen*. Wiesbaden: Eigenverlag
- Zuberi-Khokar N., P. Hanley (1996): Increased mortality associated with Cheynes Stokes respiration in patients with conpestive heart failure. *Am. J. Respirat. Crit. Care Med.* 153, 272-276
- Zulley J. (1998): Menschliche Rhythmen und der Preis ihrer Missachtung. In: Adam B., K.A. Geißler, M. Held (Hrsg.). *Die Nonstop-Gesellschaft und ihr Preis*. Hirzel Verlag Stuttgart Leipzig

# **Fluglärm und Tageszeiten**

## **Möglichkeiten der Umverteilung und Beeinflussung der Lärmbelastung**

*PD Dr. Rainer Höger*

*ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt und Sozialforschung Bochum*

### **Einleitung**

Viele Anwohner einer Reihe deutscher Großflughäfen sind von der Problematik betroffen, daß ein Teil des Flugverkehrs zur Nachtzeit abgewickelt wird. Neben der Fragestellung wie sich nächtliche Belastungen durch Fluglärm auf die Anwohner auswirken, erhebt sich die Frage, in welchem Maße es sinnvoll ist, die Nachtzeit weitgehend belastungsfrei zu halten und dafür den anfallenden Flugverkehr auf den Tageszeitraum zwischen 6 und 22 Uhr zu verteilen. Eine Beantwortung dieser Frage muß die unterschiedlichen Aktivitäten des Menschen zu den verschiedenen Tageszeiten sowie tageszeitabhängige Sensibilitäten gegenüber Störungen durch Lärm berücksichtigen. Erfahrungen aus Großbritannien zu dieser Problematik zeigen, daß neben zeitlichen Aspekten einer Lärmverlagerung auch räumliche Umverteilungen des Flugverkehrsaufkommens (z.B. regelmäßiger Wechsel von Start- und Landebahnen) in die Diskussion einbezogen werden sollten.

### **Menschliche Aktivitäten und Tageszeiten**

Die Auswirkungen von Fluglärm auf den Menschen sind in Abhängigkeit von verschiedenen Tageszeiten unterschiedlich. Während tagsüber Störungen der Kommunikation und von Arbeitstätigkeiten dominieren, wird in den Abendstunden das Bedürfnis nach Rekreation und nachts das Schlafen beeinträchtigt. Bedingt durch den biologischen Rhythmus sind die Aktivitäten des Menschen und seine Belastbarkeit tageszeitabhängig. Neben einer Zunahme der Sensitivität gegenüber lärmbedingten Störungen in den Abend- und frühen Nachtstunden, zeigen Dosis-Wirkungsstudien zu Fluglärm, daß sich Personen bei gleichem Lärmpegel nachts stärker belästigt fühlen als tags (vgl. Kastka, 1999; Höger et al., 2001). In der wissenschaftlichen Diskussion haben in jüngster Zeit vor allem die sog. Tagesrandzeiten eine besondere Bedeutung erfahren (vgl. Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main, 2000). Es wird davon ausgegangen, daß in den frühen Morgenstunden zwischen 6 und 8 Uhr sowie in den frühen Abendstunden zwischen 18 und 22 Uhr besondere Aktivitäten vorherrschen, die besonders anfällig gegenüber Störungen durch Fluglärm sind. In den Morgenstunden sind dies psychophysiologische Prozesse der Leistungsanpassung des menschlichen Körpers an den Tagesrhythmus, in den Abendstunden Phasen der Rekreation und Einschlafzeiten von Kindern.



Abb. 1: Fluglärmrelevante Einteilung der Tageszeiten.

Abbildung 1 zeigt eine aktivitätsbezogene Einteilung des 24 Stunden-Tages Menschen in flughafennahen Gebieten sind in Abhängigkeit von diesen Zeitperioden in unterschiedlichem Maße von Fluglärm betroffen.

### Verteilung der Lärmbelastung auf verschiedene Tageszeiten

Neben der tageszeitlich abhängigen Störanfälligkeit einzelner Aktivitäten stellt sich die Frage nach der Verteilung der Lärmdosis über den Tag: Welche Situation ist günstiger, eine Verteilung der gleichen Lärmdosis auf viele oder wenige, dafür stark belastete, Stunden? Aufschluß hierüber gibt eine Studie von Reichart (1981). Im Rahmen einer Langzeitstudie wurden die Auswirkungen von Beschallungen über verschiedene Zeiträume untersucht. In vier jeweils 12 Tage dauernden Perioden wurden Probanden folgenden Geräuschbedingungen ausgesetzt:

1. Beschallung während des Tages, Ruhe in der Nacht,
2. Beschallung während der Nacht, Ruhe am Tage,
3. Beschallung während des Tages und Ruhe in der Nacht,
4. keine Beschallung im Verlauf von 24 Stunden (Kontrollbedingung).

Als Störgeräusch wurde ein Mix aus Straßenverkehrsgeräuschen, dem Geräusch einer Dampftramme und Geräuschen von Preßluftschlämmern verwendet. Der Mittelungspegel in den einzelnen Beschallungsbedingungen betrug jeweils 76 dB(A).

Während der Versuchsphasen mußten die Probanden alle zwei Tage zu verschiedenen Tageszeiten eine Reihe von Versuchsaufgaben bearbeiten. Hierzu gehörten Gedächtnistests, ein Test zur Prüfung logischer Schlußfolgerungen sowie ein Konzentrations- und Leistungstest (KL-Test).

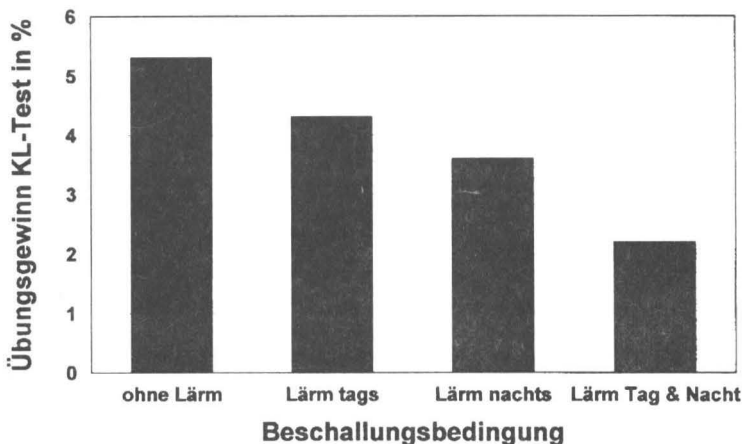


Abb. 2: Übungsgewinn im KL-Test in Abhängigkeit von den Beschallungsbedingungen.

Da die wiederholte Anwendung von Tests zu Übungseffekten und damit zu gemessenen Leistungssteigerungen führt, wurde als Untersuchungsvariable der Übungsgewinn eingeführt.

Abbildung 2 zeigt den Übungsgewinn für den Konzentrations- und Leistungstest (KL-Test) in Abhängigkeit von den verschiedenen Beschallungsbedingungen. Aus der Abbildung geht hervor, daß der Lernzuwachs ohne Beschallung am größten ist. Werden die Probanden tagsüber beschallt, so sinkt der Übungsgewinn. Bei einer ausschließlich nächtlichen Beschallung geht der Übungsgewinn weiter zurück. Die geringsten Lernzuwächse sind zu verzeichnen, wenn die Schalldosis sowohl auf den Tag als auch auf die Nacht verteilt wird. Aus den Ergebnissen ist zu schließen, daß sich eine nächtliche Beschallung ungünstiger auf das Leistungsverhalten auswirkt als die gleiche Beschallung tagsüber. Am ungünstigsten ist die Situation, wenn sich die Beschallung über den ganzen Tageszeitraum von 24 Stunden erstreckt. Eine Übertragung dieser Ergebnisse auf Fluglärm spricht für die Einhaltung beschallungsfreier Zeiträume in der Nacht.

### Sensibilität für Fluglärm tags und nachts

Durch die zunehmende „Verlärmung“ der Umwelt hat sich in der Bevölkerung ein Anspruch auf Ruhe bzw. lärmarme Erholungszeiten etabliert. Dieser Anspruch nach Ruhe bezieht sich vor allem auf die frühen Abendstunden und die Nacht. Die gesteigerte Sensibilität gegenüber Störungen durch Lärm für diese Tageszeiten läßt sich anhand öffentlich geäußerter Beschwerden ablesen. Eine Analyse der Beschwerdebhäufigkeiten im Umfeld des Frankfurter Flughafens wurde von Kastka (1999) durchgeführt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Beschwerdebhäufigkeiten jeweils zusammengefaßt für den Tages- und Nachtzeitraum in Prozent. Gleichzeitig ist in der Grafik das Flugverkehrsaufkommen für beide Zeiträume dargestellt.

Aus der Abbildung geht hervor, daß die Beschwerdebhäufigkeit nicht proportional mit einer Reduktion des Verkehrsaufkommens zur Nachtzeit einhergeht, sondern nachts überproportional ausgeprägt ist.

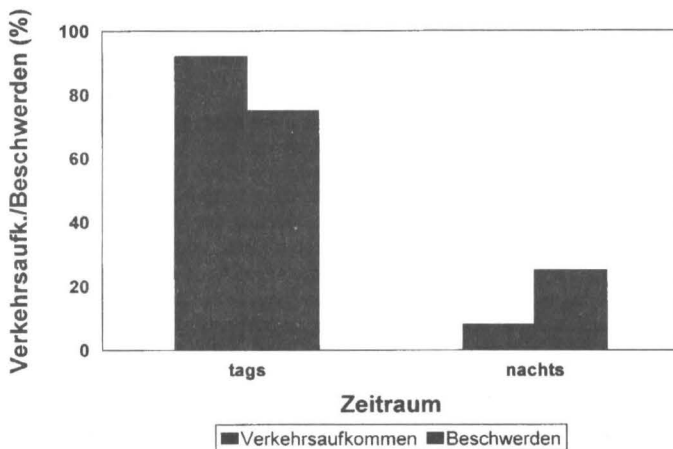


Abb. 3: Beschwerdehäufigkeiten und Flugverkehrsaufkommen am Flughafen Frankfurt für den Tages- und Nachtzeitraum.

Dieser Befund legt nahe, daß die Anwohner nachts sensibler auf Störungen durch Fluglärm reagieren als auf Belastungen, die tagsüber einwirken. Die Gründe hierfür sind zum einen in dem Anspruch nach Ruhe für die Nachtzeit, zum anderen in Aktivitäten wie z.B. dem Einschlafen zu sehen, die besonders anfällig für Störungen durch Lärm sind. Die hier dargestellte Sensibilitätsveränderung spiegelt sich auch in Dosis-Wirkungskurven für Fluglärm wider, die bei gleichen Pegeln für den Nachtzeitraum stärkere Belastungswerte liefert als für den Tageszeitraum (vgl. Höger et al., 2001). Insgesamt weisen diese Ergebnisse der Nachtzeit eine besondere Bedeutung zu, in der die Menschen empfindlicher auf Fluglärm reagieren als tagsüber.

### Möglichkeiten der Lärmverlagerung und Beeinflussung der Lärmbelastung

Aus der obigen Darstellung ergibt sich, daß es unter psychologischen Gesichtspunkten sinnvoll ist, die Nacht frei von Fluglärmbelastungen zu halten. Eine Konsequenz daraus wäre, den anfallenden Verkehr auf die Tageszeit zu verlagern. Wie aber reagieren Anwohner bei Umschichtungen auf Veränderungen der Lärmsituation?

Erste Anhaltspunkte hierzu liefert eine Studie am Londoner Großflughafen Heathrow (Flindell & Witter, 1999). In einem Feldversuch wurden die Bahnen für Starts und Landungen in regelmäßigen Intervallen gewechselt und die Anwohner über die Auswirkungen befragt. Ein alternierender Wechsel von Start- und Landebahnen führt zu einer Umverteilung der flächenhaften Lärmbelastung in dem Sinne, daß im Gegensatz zum Normalbetrieb die Lärmbelastung für einen Teil der Bevölkerung ab- und für einen anderen Teil zunimmt. Die Befragung der Anwohner ergab zwei wesentliche Befunde:

1. nur 18% der Befragten bemerkten überhaupt einen Unterschied im Hinblick auf die veränderten Betriebsbedingungen des Flughafens und die damit verbundenen Änderungen der Lärmbelastung;
2. von denjenigen Personen, die eine Veränderung bemerkten, gaben 34% eine Verbesserung, 10% dagegen eine Verschlechterung der Situation an.

Insgesamt legen die Ergebnisse nahe, daß Umschichtungen in gewissem Rahmen vorgenommen werden können, ohne daß sich die subjektive Wahrnehmung der Belastungssituation bei einem Großteil der Bevölkerung ändert. Allerdings liegen keine Daten vor, die eine Quantifizierung des Umschichtungspotentials ermöglichen. Die Frage, in welchem Ausmaß nächtlicher Flugbetrieb auf andere Tageszeiten verlagert werden kann, läßt sich aufgrund der vorhandenen Erkenntnisse nicht beantworten. Hierzu wären einschlägige Untersuchungen notwendig.

Tageszeitlich verteilte Wechsel von Start- und Landebahn sind allerdings nicht die einzigen Möglichkeiten, auf die Lärmbelastung regulierend einzugreifen. In ihrem Aufsatz zum „noise management“ an Flughäfen schlagen Flindell und Witter (1999) eine Reihe weiterer Maßnahmen vor, um die Bevölkerung vor Fluglärm – vor allem auch nachts – zu schützen:

- Führung der Flugpfade über gering besiedelte Gebiete,
- immissionspegelbezogene Optimierung von Flugpfaden,
- Festlegung von Start- und Landequoten für verschiedene Flugzeugtypen in Abhängigkeit von deren Lärmemission, speziell für Nachtzeiten,
- Festlegung der insgesamt zulässigen Starts- und Landungen während der Nacht
- Strafgebühren bei Überschreiten flugzeugtypspezifischer Emissionspegel.

Insgesamt zielen die Maßnahmen darauf ab, alle administrativen Möglichkeiten zu nutzen, um die Lärmbelastung direkt oder indirekt (z.B. durch lärmbezogene Gebühren) zu senken. Aus einem Mix der verschiedenen Regelungen lassen sich – je nach Strenge der angelegten Kriterien – bedeutsame Reduktionen der Fluglärmbelastung erzielen.

## Literatur

- Flindell, I.H. & Witter I.J. (1999). Non-acoustical factors in noise management at Heathrow Airport. *Noise & Health*, 3, 27-44.
- Höger, R., Schreckenber, D., Felscher-Suhr, U. & Griefahn, B. (2001). Night-time noise annoyance – state of the art. (unter Begutachtung)
- Kastka, J. (1999). Untersuchung der Fluglärmbelastungs- und Belästigungssituation der Allgemeinbevölkerung der Umgebung des Flughafen Frankfurt. Gutachten im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main. Düsseldorf: Heinrich-Heine-Universität.
- Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main (Hrsg.) (2000). Mediation Flughafen Frankfurt/Main. Bericht. Darmstadt: Haußmann Reprotechnik.
- Reichart, B. (1981). Experimentelle Untersuchung zur Wirkung mehrwöchigen Lärms auf das Lernverhalten und die mentale Leistung. Dissertation. TU München.

# Ansätze der Wissenschaften für Lärm-Immissionsgrenzwerte: Zur Frage der Belästigung am Tage und in der Nacht

Rainer Guski

Fakultät für Psychologie, Ruhr-Universität Bochum

## Was ist "Belästigung"?

Eine schriftliche Befragung von 68 Lärm-Expertinnen und Experten aus 7 Nationen stellte fest, dass die Mehrzahl der Experten "Belästigung" als wichtigste Wirkung des Umwelt-Lärms ansieht (Guski et al. 1999). Außerdem zeigen sich in dieser Untersuchung "Störungen intendierter Aktivitäten" und "Verärgerung" als wichtigste und zudem gleichwichtige Komponenten der Belästigung. Die Verärgerung rührt überwiegend daher, dass Betroffene Störungen ertragen müssen, ohne sie effektiv bekämpfen zu können.

Belästigungs-Urteile werden in systematischen Befragungen erhoben. Sie waren in der Vergangenheit nicht immer miteinander vergleichbar. So haben manche Autoren eher angegebene Störungen intendierter Aktivitäten (z.B. Kommunikation, Schlafen, Arbeiten) aggregiert, und die Summenvariable ist in Sekundäranalysen (z.B. Schultz 1978; Miedema & Vos 1998) als "annoyance" eingegangen, andere haben primär nach dem Ärger über Lärm gefragt, wieder andere haben Störungen und Verärgerungen gemischt. Auch die Antwortskalen waren nicht immer vergleichbar –sie hatten z.T. unterschiedliche Längen (meist 4 bis 11-stufig), sie waren z.T.

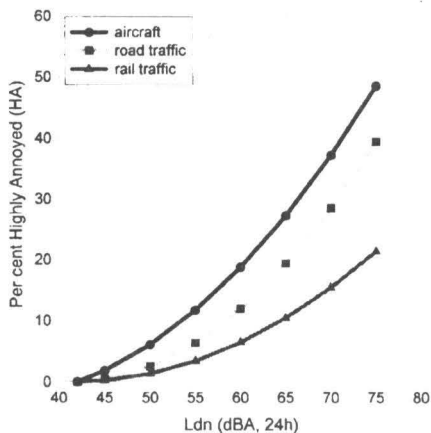


Abb. 1: Dosis-Wirkungs-Kurven nach Miedema & Vos (1998).

numerisch, z.T. verbal; im Fall verbaler Skalen waren die Antwortstufen oft nicht-äquidistant. Und schließlich wussten die Befragten teilweise nicht, ob sie bei ihrer Antwort mehr an Situationen innerhalb oder außerhalb der Wohnung denken sollten, und welcher Zeitraum zu beurteilen war. Wir wissen zwar nicht in jedem Fall genau, welchen Einfluss diese Unterschiede zwischen den Untersuchungen haben, aber zumindest gibt es inzwischen einen Vorschlag des ICBEN Team No.6 über die Art, wie die globale Belästigungs-Frage künftig gestellt werden soll (Fields et al. 2001). In dieser neuen Frage wird der Bezug auf die letzten 12 Monate, Störungen und Verärgerungen sowie drinnen und draußen gleichermaßen hergestellt.

### **Wie finden wir Grenzwerte?**

Um Grenzwerte zu begründen, bedient man sich meist einer Methode, die Schultz (1978) vorschlug: Man betrachtet nur den Prozentsatz derjenigen Personen, die angeben, individuell erheblich belästigt zu sein. Als operationales Kriterium wird pro Pegelstufe der Anteil derjenigen Personen gezählt, die mindestens 72 % der verfügbaren Skalenlänge genutzt haben - das sind z.B. bei einer 5-Punkte-Skala alle Personen, welche die Stufen "4" oder "5" gewählt haben. Dann trägt man den Prozentsatz dieser "highly annoyed persons" (HA%) über der akustischen Belastung ab und erhält bei Benutzung quadratischer Regressionen Kurven, wie sie z.B. Miedema & Vos (1998) in ihrer Synopse der Verkehrslärm-Belästigung veröffentlicht haben. Es sei angemerkt, dass die Untersuchungen, die in diese Kurven eingingen, im Durchschnitt aus dem Jahre 1980 stammen.

Es gibt Hinweise darauf, dass die durchschnittliche Bevölkerungs-Reaktion zumindest auf Fluglärm heute bei vergleichbarer Schallenergie etwas größer ist als vor 10-20 Jahren (vgl. Kastka et al. 1995; dagegen: Oliva 1998). Guski (2001) hat vorgeschlagen, möglichst nur jüngere Daten zu verwenden und für die Prognose der heutigen oder zukünftigen Belästigung aus älteren Daten anzunehmen, dass die Belästigung durch Fluglärm im Verlauf der 20 Jahre zwischen 1971 und 1991 um einen Anteil gestiegen ist, der etwa 1,5 dB(A) Tages-Mittelungspegel entspricht. Nehmen wir weiterhin an, dass sich dieser Trend auch in den auf 1991 folgenden 20 Jahren fortsetzt, so folgt daraus, dass die Pegelwerte für die durchschnittliche erhebliche Belästigung im Jahre 2011 etwa 1,5 dB unter dem Stand von 1991 liegen werden.

Für die eigentliche Grenzwert-Bestimmung müssen mindestens zwei politische Entscheidungen gefällt werden, die nicht wissenschaftlich begründbar sind:

1. Wieviel Prozent erheblich Belästigter soll die Gesellschaft derzeit tolerieren?
2. Wieviel Prozent erheblich Belästigter soll sie in Zukunft tolerieren?

Ad 1) Guski (2001) schlägt vor, für den Ist-Zustand denjenigen Tages-Pegelwert zu verwenden, bei dem nicht mehr als 25 % der Betroffenen individuell erheblich belästigt sind. Spätestens bei diesem Pegelwert müssen Lärmschutz-Maßnahmen ergriffen werden. Stehen keine Antworten zur globalen Belästigungsfrage zur Verfügung, sondern z.B. nur berichtete Störungen der Kommunikation (innen), so sollten 30 % erheblich Betroffene toleriert werden. Bei Fluglärm ergeben sich für den Ist-Zustand aus 4 Untersuchungen der Jahre 1980-1993 Tages-Mittelungspegel von ca. 61 dB(A) im Jahre 2001.

Ad 2) Die Frage, wieviel Prozent erheblich Belästigter in Zukunft toleriert werden sollen, ist noch schwieriger zu beantworten. Sie hat zudem drei höchst unterschiedliche Aspekte:

a) der erste Aspekt richtet sich auf den Zielzustand unserer Gesellschaft im Fall bestehender Lärmquellen, die selbst nicht wesentlich geändert werden. Anders ausgedrückt: hier wird danach gefragt, wie viel Lärm der Wohnbevölkerung trotz des technischen Fortschritts an bestehenden Quellen in Zukunft zugemutet werden soll. Ich schlage vor, mindestens den steigenden Trend der Fluglärm-Belästigung auszugleichen und die Grenzwerte alle 10 Jahre um 0,75 dB Mittelungspegel nach unten zu korrigieren.

b) Der zweite Aspekt betrifft die Vorsorge des Staates bzw. der Kommunen für die Vermeidung von Gesundheitsschäden im weitesten Sinne - etwa bei der Siedlungsplanung für die nächsten 20 Jahre. Ich schlage vor, hierfür Grenzwerte anzusetzen, die deutlich unter denen für aktuelle Lärmschutzmaßnahmen liegen –etwa 20 % erheblich Belästigte oder 25 % erheblich in der Kommunikation gestörte Personen. Die entsprechenden Tages-Mittelungspegel liegen dann etwa 3-5 dB unter den Werten für den Ist-Zustand.

c) Der dritte Aspekt betrifft die Planung neuer Flughäfen bzw. ihre wesentliche Erweiterung. Hierüber wissen wir noch nicht sehr viel, jedoch scheint die Bevölkerung auf wesentliche Änderungen deutlich schärfer zu reagieren als auf Grund der Analysen des quasi-stationären Zustands zu erwarten ist. Fidell & Silvati (1998) berichten, dass ein Jahr nach Eröffnung einer zweiten Startbahn am Flughafen Vancouver die Bevölkerung teilweise so reagierte, wie es erst bei 7 dB(A) mehr Mittelungspegel zu erwarten war. Niemand kann zur Zeit sagen, wie lange solche sog. "Überschuss-Reaktionen" anhalten, aber sie müssen bei Planungen berücksichtigt werden.

Hier noch ein Hinweis, warum ich die ganze Zeit nur über Belästigungen am Tage spreche und kein Wort über die Nacht-Belästigungen verliere: Belästigungs-Aussagen können nur den bewusstseinsfähigen Teil des menschlichen Erlebens reflektieren. Wir können zwar Aussagen der Betroffenen über die erlebte Schlafqualität und die Belästigung während der Nacht erheben, aber die Validität dieser Aussagen ist etwas zweifelhaft, weil diese Daten z.T. besser mit den Tages-Pegeln korrelieren als mit den Nacht-Pegeln (vgl. Scharnberg et al. 1982).

## Literatur:

- Fidell, S. & Silvati, L. (1998). Evaluation of community response to aircraft noise following completion of runway 08L/26R at Vancouver International Airport. BBN Report No. 8247, Canoga Park, CA.
- Fields, J.M., DeJong, R.G., Gjestland, T., Flindell, I.H., Job, R.F. S., Kurra, S., Lercher, P., Vallet, M., Yano, T., Guski, R., Felscher-Suhr, U. & Schuemer, R. (2001). Standardized noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation. *Journal of Sound & Vibration*, 242, 641-679.
- Guski, Rainer (2001). Stellungnahme zu den medizinischen Gutachten M8 und M9 bezüglich des Ausbaus des Flughafens Schönefeld. Bochum: Manuskript für Senatsverwaltung Berlin.
- Kastka, J., Borsch-Galetke, E., Guski, R., Krauth, J., Paulsen, R., Schuemer, R. & Oliva, C. (1995). Longitudinal study on aircraft noise. Effects at Düsseldorf Airport 1981 - 1993. *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Congress on Acoustics (ICA95)*, Trondheim, 4, 447-451.
- Miedema, H.M.E. & Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104, 3432-3445.
- Oliva, C. (1998). Belastung der Bevölkerung durch Flug- und Straßenlärm. Eine Lärmstudie am Beispiel der Flughäfen Genf und Zürich. Berlin: Duncker & Humblot.
- Scharnberg, T., Wühler, K., Finke, H.-O. & Guski, R. (1982). Beeinträchtigung des Nachtschlafs durch Lärm. Berlin: Umweltbundesamt.
- Schultz, T.J. (1978). Synthesis of social surveys on noise annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 377-405.

# Reduzierung individueller lärmbedingter Gesundheitsrisiken mit Hilfe gesundheitspsychologischen Wissens und Stressbewältigung

Prof. Dr. August Schick & Dr. Markus Meis

Institut zur Erforschung von Mensch-Umwelt-Beziehungen,

Universität Oldenburg, Postfach 2503, 26111 Oldenburg

markus.meis@uni-oldenburg.de

august.schick@uni-oldenburg.de

## Motto

Der Japan-Pionier C. Netto schrieb 1886 über einen quacksalbernden Fremdling in Tokyo: *"Auf Diagnosen ließ er sich nicht ein, der Patient mußte ihm sein Leiden selbst nennen, darauf versuchte er sein Vertrauen durch die Bemerkung, dass er selbst der nämlichen Krankheit beinahe zum Opfer gefallen wäre, zu gewinnen. Wollten seine Mittel nicht anschlagen, so tröstete er damit, dass eine Kiste mit medizinischen Büchern unterwegs sei; starb der Kranke, so hatte er sich selbst zuzuschreiben, warum hatte er nicht die Ankunft der gelehrten Kiste abgewartet."* (Papierschmetterlinge aus Japan. Leipzig 1886, S. XII)

Vorweg einige Sätze zu unserem heutigen Rollenverständnis bei diesem Workshop:

Wir sind nicht hier, um zwischen den höchst kontroversen Ansichten der Mediziner und Quasi-Mediziner zu entscheiden. Wir werden uns auch nicht äußern zu Wirkungsgrenzen. Wir sehen unterschiedliche Gruppen, welche unterschiedliche Aussagen über medizinische Wirkungen machen; sie sitzen ja teilweise hier am Tisch. Man kann sie aber nicht einfach unter einen Hut bringen.

Einigkeit besteht wahrscheinlich nach dem Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (1999) nur in folgender Aussage: Dauer-Belastungen mit Mittelungspegeln tags über 65 dB(A) müssen nach dem jetzigen Wissensstand als grundsätzlich gesundheitsschädlich, auf jeden Fall als gesundheitsgefährdend, betrachtet werden..

Wir gehen in diese Ärzte-Diskussion um den Nachtfluglärm mit der Aufgabenstellung hinein, daß am nächsten Montag Ärzte im Umfeld deutscher Flughäfen Patienten zu behandeln haben, die nach Meinung einer Expertengruppe objektiv durch Lärm geschädigt werden, oder die nach Meinung einer anderen Expertengruppe ihre Krankheiten dem Lärm subjektiv zuschreiben, oder noch anders: die gelernt haben, unter Lärm zu leiden. Sollen Ärzte solche "eingebildete Kranke" behandeln? Oder handelt es sich nach der ICD-10-Systematik um die Kategorie Z58.0 "Probleme mit Bezug auf die kommunale Umwelt: Exposition gegenüber Lärm"?

Wir fragen aber heute Sie als Umweltärzte: Was wird Ihnen von Ihren Patienten täglich vorgetragen? Wie argumentieren Ihre Patienten? Auf welche Fragen möchten Sie eine Antwort haben?

Nochmals: Was unternimmt der behandelnde Arzt, wenn in seiner Sprechstunde Patienten mit vegetativen, hormonellen und psychischen Störungen infolge von Nachtfluglärm behandelt werden

wollen? Und: Was empfiehlt er gleichzeitig einer Patientin, die sich am Arbeitsplatz überlastet fühlt? Wie überprüft er, ob sie tatsächlich überlastet ist? Was empfiehlt er einem Kind, das sich durch die Schule überlastet fühlt? Wie wird für einen Patienten eine unheilbare Krankheit erträglich? Gibt es politisch-administrativ "unheilbare" Lärmbelastungen? Wenn die Situation in München für die nächsten 10 Jahre unheilbar wäre, wäre es dann nicht sinnvoll, einmal zu überlegen, wie man diese 10 Jahre gesund überlebt?

Wenn wir über Nachfluglärm nachdenken, dann werden wir uns vergegenwärtigen, daß unsere Flughafenanwohner sich nicht allein in einem Notstand befinden. Vielmehr gibt es Deutschland- und europaweit viele Anlieger von Straßen, die noch weit größeren Lärm zu ertragen haben.

So waren in Deutschland 1998 etwa 3,5 % (2.870.000) der Einwohner durch Strassenverkehrslärm bei Nacht solchen gesundheitsgefährdenden Belastungen über 65 dB(A) Mittelungspegel ausgesetzt (Jahresbericht des Umweltbundesamtes 1999, S. 46). Die kurzfristige Reduktion dieser Belastung erscheint jedoch aus verkehrs-organisatorischer, finanzieller, administrativer, raum- und städteplanerischer und wirtschaftlicher Sicht nicht möglich.

Die Anlieger des Münchener Flughafens scheinen nach Expertenmeinung durch die Nachtflugregelung 50 dB(A) bzw. 70 dB(A)-6 Flüge ziemlich gut geschützt. Trotzdem wird es noch Betroffene geben, welche infolge persönlicher und situativer Gegebenheiten darunter leiden. Kastka (2001, S. 12) schätzt sie auf etwa 3 %. Am Tage scheinen mehr Personen betroffen, vor allem im Außenbereich. Die Anlieger anderer deutscher Flughäfen erscheinen im Schnitt nicht den gleich guten Lärmschutz zu erfahren. Durch die politischen Entscheidungen, auch das zukünftige Fluglärngesetz, wird diese Situation für die nächsten 10 Jahre sicherlich unveränderlich bleiben; es wird nicht ruhiger werden. Man kann sich nun einmal fragen, was man persönlich unternehmen kann, wenn man von dieser Realität ausgeht.

Angesichts dieser Situation erhebt sich die Frage, ob es Möglichkeiten gibt, zumindest die Gesundheitsschädlichkeit bzw. das Gefährdungsrisiko solcher Lärmbelastungen kurzfristig für einzelne Personen zu reduzieren.

## **Ausgangssituation**

Wir haben den Eindruck, daß in den vergangenen Anhörungen und Mediationsverfahren die Fragen der Umweltmediziner soweit beantwortet sind, soweit sie eben wissenschaftlich beantwortbar sind. Wir sehen keine neuen wesentlichen Erkenntnisse zwischen der Mediation in Frankfurt und Schönefeld und dem Gespräch hier. Wir nehmen hier trotzdem teil, um auf einige andere Aspekte hinzuweisen. Dabei sind wir uns wohl bewußt, daß unsere Gedanken und Vorstellungen von allen Beteiligten und Betroffenen abgelehnt werden können.

Es gibt in der Schallwirkungsforschung zwei Zugangswege: Den ersten nennen wir den physikalisch-physiologischen Zugang (Bild 1).

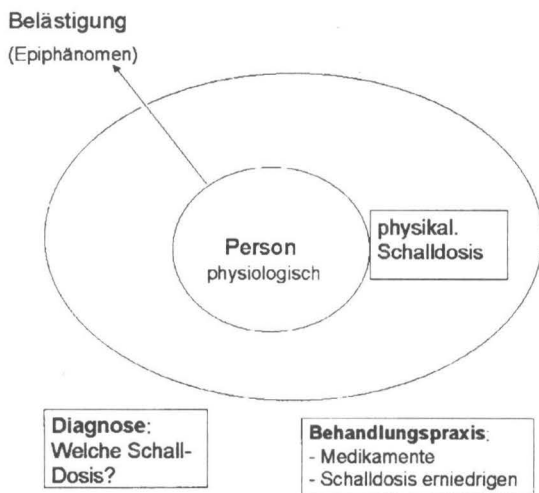


Bild 1: Physikalisch-physiologischer Zugang

Bild 1 verdeutlicht: Eine Person wird beschallt, dabei werden physiologische Parameter erhoben mit dem Hauptziel, die Grenzen zwischen Person und Schall möglichst so zu definieren, daß keine Gesundheitsschäden entstehen. *Belastigung* wird dann zu einer Art von Epi-phänomen physiologischer Zustände, welches einem Individuum zum Teil die "Grenzkontrolle" zwischen Person und Umwelt erleichtert. Die Untersuchungen von Kastka basieren auf dieser Annahme. Ähnlich dem Schmerzempfinden, indiziert das Belastigungsgefühl, daß physiologisch etwas in Unordnung geraten ist. Maschke spricht hier von *kognitivem Arousal*, andere sprechen von den *indirekten Schallwirkungen*. Im Modell von Spreng stellt die Emotion ein Epiphänomen der Tätigkeit des Nucleus Amygdala dar.

Unser ganzes Umweltschutzdenken scheint von der Idee beherrscht, sich als *Opfer* objektiver Umgebungstatsachen zu betrachten. Draußen ist die Umgebung, die ohne unser Zutun auf uns einwirkt. Deshalb kommt alles darauf an, diese Umgebung zu gestalten und diese der Kritik auszusetzen. Dies ist ein naheliegender und vernünftiger Standpunkt, auf den sich alle Umweltschutzverbände berufen. Aus dieser Grundidee ernährt sich auch das Dosis-Wirkungs-Denken. Deshalb sind wir auch nicht verwundert über die Fragen der Ärzte für vorbeugende Umweltmedizin, welche nahezu vollständig diesem Denken entsprungen sind. Die Hauptfrage lautet hier: Welche Schalldosis ist noch zuträglich? Als Therapie bleiben dem Arzt hier nicht viele Möglichkeiten: Medikamente und die Ankündigung neuer Fluglärmgrenzwerte in ferner Zukunft. Trotzdem erweist sich dieser Zugang als wichtig - insbesondere für die Planung, Verwaltung und Rechtsprechung.

Wir meinen: Dieser Standpunkt erweist sich als einseitig, wenn man nicht bedenkt, daß wir Menschen unsere Umgebung wahrnehmen, interpretieren und in diese Interpretationen schon viele Einstellungen, Erinnerungen, Gefühle bzw. Emotionen miteinbringen. Dieser Zugang stellt die Person als einen Interpreten ihrer Betroffenheit in den Mittelpunkt; sie nimmt Schall wahr, bewertet ihn, setzt sich mit auseinander. Sie sieht in ihm nicht nur das physikalische Ding, sondern ebenso den, der den Schall erzeugt, ermöglicht, gestattet, ihn zuläßt oder gedankenlos,

unbekümmert oder gar bösartig erzeugt. Sie sieht in ihm den Verwaltungsbeamten, der ihn nicht verbietet. Patienten fühlen sich durch den Schall ungerecht behandelt und bestraft; sie meinen, sie hätten dies nicht verdient und nennen besondere Gründe, die nur für sie zutreffen und die sie deshalb auch geltend machen. Unsere beiden Kollegen, Uwe Laucken und Ulrich Mees, haben dies immer wieder aus der Sicht der Sozial- und Emotionspsychologie herausgearbeitet, als sie Lärmbeschwerdebriefe analysiert hatten. Das heißt: Wir Menschen bringen von uns aus Faktoren mit ein, welche uns die Übernahme der Opferrolle erleichtern oder erschweren. Das Bild 2 will diesen zweiten Zugangsweg verdeutlichen.

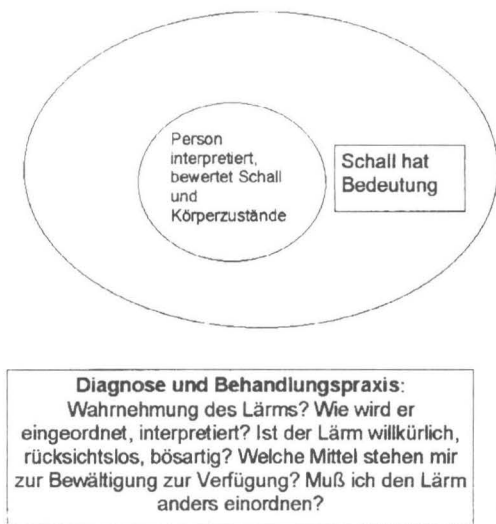


Bild 2: Zugang über Bedeutungsanalyse

In der Erörterung der Grenzwerte spielt der Begriff der Belästigung eine zentrale Rolle. Belästigung wird hier nicht nur als rein sensorisches Geschehen aufgefaßt. Belästigung wird durch sehr viele äußere Umstände und sehr differenzierte Einstellungen bedingt. Wir meinen auch, daß darüber letztlich die einzelne Person entscheidet und daß sich deshalb auch das Belästigungsgefühl schnell ändern kann, aber ebenso unveränderlich zu bleiben vermag, obwohl die äußeren Bedingungen längst keinen Anlaß mehr bieten dürften. Ärzte haben wahrscheinlich mit Patienten zu tun, die sich ihr Recht auf eine persönliche Interpretation ihrer Betroffenheit und deren Gründe nicht entmündigen lassen wollen. Ärzte behandeln immer Einzelpersönlichkeiten, keine Durchschnittsmenschen. Während die einen den Lärm als Großangriff auf ihre Person auffassen, erweisen sich andere als extrem unbekümmert.

*Noch weiter: Die Forschungen der Gesundheitspsychologie zeigen sehr deutlich, daß insbesondere auch viele körperliche Zustände von Menschen unterschiedlich interpretiert werden und letztendlich beim einen zur Krankheit führen, während andere gesund bleiben. Alex Franke aus Dortmund: Warum erkranken Menschen nicht trotz vielfältiger negativer Umwelteinflüsse? Warum werden Menschen am Flughafen München krank, während andere lebenslanglich gesund bleiben? Beobachtungen dieser Art scheinen zu zeigen: Ob ein physiologischer Wert die Grenze überschreiten kann, wird teilweise auch in die Mitwirkung der Person gestellt. Deren Situations-*

*Interpretation entscheidet mit. Sinnvollerweise wird diese Mitwirkungsmöglichkeit meistens bei immer größeren Belastungen geringer (Schick 1997, S. 30).*

Betrachtet man den Interpretationsvorgang weiter, so wird man fragen: Wer lehrt uns solche Interpretationen? Wo lernen wir sie? Welche Instanzen wollen auf die Interpretationen der Anlieger Einfluß nehmen? Hier ist zu fragen nach der Rolle

- des Arztes
- der Medien bei der Information über Umwelt-Immissionen (Nerb 2000)
- der politischen Gremien und Zuständigkeiten
- der Flughäfen
- Rolle der Wissenschaft und Forschung

Ideen dieser Art sind keinesfalls neu; aber sie werden in den Texten sehr am Rande, beinahe wie ein Tabuthema, behandelt. Lärmbekämpfer sehen sich um ihren Kampf gegen den Lärm per definitionem betrogen und fühlen sich zu Nörglern, Querulanten, Sensibelchen abgestempelt; Ärzte schwören aus Zeitnot meistens ausschließlich auf eine medikamentöse Behandlung. Den behandelnden Ärzten stellen wir hier die Frage: Wenn die Dosis-Wirkungs-Untersuchungen davon ausgehen, daß auch bei ruhigsten Bedingungen immer noch 10 % der Befragten sich als "erheblich belastigt" bezeichnen, so werden diese vielleicht zu "Problem"patienten, mit denen sich Ärzte auseinandersetzen müssen, auch wenn sie von der Dosis-Wirkungs-Forschung als eine zu vernachlässigende Gruppe betrachtet werden.

Gesundheit und Krankheit sind die beiden Pole, zwischen denen wir uns bewegen. Wir wissen, daß eine Reihe von Moderatoren die Belästigung durch Lärm steuern; man kann sich ebenso fragen, ob es auch Moderatoren gibt, welche die Gesundheit moderieren. Gesundheit ist trotz aller WHO-Definitionen ein unbestimmter Begriff.

Sind Sonderprogramme für bestimmte Anlieger-Gruppen denkbar, sozusagen Kompensationen für Alte, Kranke u.a.? Sollte man evtl. in die ICD-10 eine neue Kategorie einführen, wie "Allgemeine Reihenuntersuchung von Anliegern an Flughäfen ab 65 dB(A) Dauerbelastung"?

Seit den ersten Untersuchungen zu Beginn der 70er-Jahre wissen wir, daß Umweltbelastungen dann besonders wirksam sind, wenn man sich diesen hilflos ausgesetzt fühlt und wenn man das Gefühl hat, daß eine Auseinandersetzung nicht mehr lohnt. In der Tiroler Transitstudie (1992, S. 41 f.) finden wir einige Aussagen über solche Lärmbewältigungsstrategien. Danach verringerte sich der systolische Blutdruck statistisch merklich bei jenen Personen, die in einer Bürgerinitiative aktiv waren, nachts die Fenster schlossen und den Verkehrslärm für grundsätzlich vermeidbar hielten. Lercher u.a. bemerken dazu: Obwohl die Reduktionen klinisch bedeutungslos sind, sind sie gesundheitspolitisch doch bedeutungsvoll, "wenn sie bei vielen Menschen auftreten." Sie meinen: "Außerdem darf nicht vergessen werden, daß mehrere dieser Faktoren in einem Individuum zusammentreffen können und dann einen größeren Betrag auszumachen." (S. 42) Insofern scheint auch ohne weiteres verständlich, daß besonders Lärmbewußte unter den Betroffenen nachts die Fenster schließen und so ihre Gesundheit schonen. In diesem Sinne verhalten sich ja auch die Anlieger des Münchener Flughafens, welche die Fenster vernünftigerweise nachts schließen und so ihre Ruhe finden.

## Was schlagen wir vor?

Ein Forschungsprogramm der Gesundheitspsychologie in enger Zusammenarbeit mit den Umweltärzten, Krankenkassen, Kommunen und Flughäfen in besonders belasteten Gebieten. Wir haben ein solches Programm für den Straßenverkehrslärm für das Umweltbundesamt ausgearbeitet; da aber dort derzeit gesundheitspsychologische Forschung in die Bedeutungslosigkeit abgesunken ist, geriet dieses Vorhaben dort in die Versenkung. Wir wagen jedoch heute schon eine Prognose für das angekündigte Fluglärmggesetz: Die Klagen werden nicht abnehmen, solange man den Anliegern nicht hilft, ihre Eigenkräfte und persönlichen Interpretationen in die Bewältigung einzubringen. Der Flughafen München kann nicht einmal sicher sein, daß die Anlieger auf längere Zeit seinen Einsatz für einen guten Lärmschutz meinungs- aber auch wirkmächtig honorieren.

## Literatur

- Laucken, U.: Handlungstheoretische Analyse der Mensch-Umgebung-Beziehung. In: Schick, A. & K.P. Walcher (Hrsg.): Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls. Ergebnisse des 3. Oldenburger Symposions zur psychologischen Akustik. Bern: P. Lang 1984, S. 39-59.
- Laucken, U.; Mees, U.: Lärm in sozialem Lebenszusammenhang. Z. für Lärmbekämpfung 1987, 34, 113-116.
- Laucken, U.; Mees, U.: Logographie alltäglichen Lebens. Leid, Schuld und Recht in Beschwerdebriefen über Lärm. Oldenburg i.O.: Holzberg 1987.
- Nerb, J.: Die Bewertung von Umweltschäden. Kognitive und emotionale Folgen von Medienmeldungen. Bern: Huber 2000.
- Schick, A.: Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung. Lengerich: Pabst Science Publ. 1997.
- Umweltbundesamt: Jahresbericht 1999.

# Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen - August 1999

*Scheuch, Klaus*

*Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin  
der Medizinischen Fakultät "Carl Gustav Carus", Technische Universität Dresden*

Ich habe die undankbare Aufgabe erhalten, über etwas zu referieren, was Sie alle kennen, das Sondergutachten Umwelt und Gesundheit. Ich will versuchen, einige, aus meiner Sicht relevante Probleme hinsichtlich des Themas unseres Workshops darzustellen.

1994 hat der Umweltrat *den Versuch unternommen*, das Leitbild der Nachhaltigkeit durch den vorsorgenden Gesundheitsschutz zu ergänzen. Bis dahin bestand die Nachhaltigkeit ausschließlich aus ressourcen-ökologischen und ressourcen-Ökonomischen Betrachtungen. In dem Gutachten 1999 wurde aus meiner Sicht die erweiterte handlungsleitende Regel des Leitbildes der dauerhaft umweltgerechten Entwicklung auch auf den Lärm angewandt. Dieses Gutachten leistet einen allgemeinen Beitrag zur Abschätzung und Bewertung von Umweltrisiken. Es geht unter anderem der Frage nach, ob bei Methoden der Risikoabschätzung und -bewertung wissenschaftliche Unsicherheit, fehlendes Wissen über ursächliche Zusammenhänge ausreichend berücksichtigt wurden. Dabei hält das Gutachten an der wissenschaftlichen Begründung der Risikoabschätzung und Risikobewertung fest, tritt aber dafür ein, "sich aus pragmatischen Gründen notfalls mit einem geringeren

Maß an gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen zu begnügen und eine vorläufige Risikobewertung zum Ausgangspunkt für Maßnahmen der Vorsorge zu machen" (SGR 1999, S. 1). Dieses "notfalls" trifft aus meiner Sicht für Begrenzungen von Nachtfluglärm durch Regularien im besonderen Maße zu.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen geht davon aus, dass ein erheblicher Beratungsbedarf hinsichtlich Lärm in unserer Gesellschaft besteht. Gesundheitsbeeinträchtigungen werden nach Meinung des Rates in der Öffentlichkeit und in der Politik eher unterschätzt. Doch es geht aus meiner Sicht nicht nur um einen Beratungsbedarf, sondern vor allen Dingen auch um Forschungsbedarf, da wir zu einer Reihe von Problembereichen der Lärmwirkung erhebliche Erkenntnisdefizite verzeichnen müssen. Sieht man von einigen konkreten Ergebnissen im Zusammenhang mit der Neuformulierung von Gesetzen, z.B. dem Deutschen Fluglärmschutzgesetz ab, kann man aus meiner Kenntnis nicht von einem adäquaten Stellenwert der Lärmproblematik in unserer Gesellschaft ausgehen.

Das Kapitel 3.5.4.4 des Sondergutachtens "Beeinträchtigungen des Schlafes durch Lärm" (S. 174 - 179) ist im Vergleich zu anderen diskutierten Gegenstandsbereichen durch mangelnde Harmonisierung gekennzeichnet. Es fällt dem Umweltrat scheinbar schwer, aufgrund der vorhandenen wissenschaftlichen Datenlage eine Entscheidung zu treffen und eigene Vorschläge abzuleiten. So werden überwiegend Ergebnisse zitiert, ohne Position zu beziehen.

Einen wesentlichen Umfang dieses Kapitels nimmt eine Literaturstudie von MASCHKE et al. (1997) im Auftrag des Bundesumweltamtes ein. Hier werden 35 Studien referiert, wobei nur 5 sich speziell mit Fluglärm und 2 mit Straßen- und Fluglärm beschäftigen. Diese Tabelle ist von

MASCHKE zu diesem Kolloquium gezeigt worden (siehe Beitrag MASCHKE). Für Verallgemeinerungen dieser Untersuchungsergebnisse ist die Datenlage aus meiner Sicht zu differenziert, die einzelnen Artikel sind außerdem kaum vergleichbar. In Tab. 1 sind diese Ergebnisse unter dem Aspekt signifikanter Veränderungen aufgereiht worden. Daraus geht die Vielzahl von Indikatoren von Schlafveränderungen hervor, wobei die gleiche Bezeichnung meist durch unterschiedliche Parameter untersetzt ist. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass auch die Anzahl tatsächlich signifikanter Veränderungen in diesen Publikationen gering ist. Hinzu kommt, dass teilweise wenige Nächte untersucht worden sind, eine Reihe dieser Artikel Laboruntersuchungen umfassen, Pegel und Häufigkeiten erheblich schwanken. Der Zeitpunkt der Lärmeinwirkung in der Nacht, der - und darüber besteht Einigkeit - einen unterschiedlichen Einfluss auf die Wirkung hat, wurde nur in wenigen Beiträgen berücksichtigt. Individuelle Eigenschaften spielen eine untergeordnete Rolle, teilweise wurden nur Lärmsensible ausgewählt. MASCHKE et al. leiten jedoch aus dieser Literaturübersicht **Effektschwellen** ab, die für den äquivalenten Dauerschallpegel bei 35 bis 45 dB(A) und für den  $L_{\max}$  bei 45 bis 55 dB(A) liegen. Effektschwellen beinhalten auch die physiologische, normale Reaktion eines Lebewesens auf Belastungen. Sie sagen erst mal nur aus, dass ein Mensch reagiert. Die Reaktionen bleiben aus, wenn der Mensch krank ist. Die entscheidende Frage ist jedoch, welche der in der Tabelle von MASCHKE und in meiner Tabelle genannten Parameter Gesundheitsrelevanz besitzen. So stellt auch der Umweltrat fest, dass insbesondere nicht geklärt ist, "ob und in welchem Maße die Sofortreaktionen bei lang anhaltender Exposition eine Gesundheitsgefährdung hervorrufen" (Sondergutachten, S. 179 Tz 444 ).

Unser heutiger Wissensstand ist dadurch charakterisiert, dass wir keine Aussage machen können, welche der durch Lärm ausgelösten Effekte, die wir in der normalen Lebenswelt oder im Labor feststellen, die Gesundheit tatsächlich beeinträchtigen können. Nach JANSEN et al. (1999) ist als mögliche pathophysiologische Auslösung die Aufwachreaktion anzusehen. Der Umweltrat zitiert JANSEN, dass "bis zur Klärung der Zusammenhänge zwischen physiologischen Sofortreaktionen und Gesundheitsgefährdung an den Kriterien von  $L_{\max}$  60 dB(A) für die Aufweckschwelle und von sechsmal 60 dB(A) für lärmbedingtes Aufwachen durch informationsarme Geräusche festgehalten werden" kann

Bei diesem Kriterium handelt es sich um Maximalpegel im Innenraum, die nicht häufig oder dauernd auftreten dürfen und deren Pegel deutlich, d. h. mehr als 20 dB(A) über dem Grundwert liegen.

Unterschiedliche Auffassungen zu den Folgen schlafbedingter Lärmeffekte liegen jedoch nicht nur an der Unklarheit pathophysiologischer Prozesse und der Bedeutung der erfassbaren lärmbedingten Veränderungen. Eine wesentliche Rolle spielt auch, dass sowohl in der Lärmwirkungsforschung als auch in der Lärmdiskussion verschiedene Betrachtungsweisen durcheinander geworfen werden. Es werden "Schwelleneffekte bei Sofortreaktionen" mit "günstigen Bedingungen für den Schlaf", "Störungseffekten durch Lärm in der Nachtzeit" mit "tatsächlichen Gesundheitsbeeinträchtigungen" vermengt. Eine hierarchische Betrachtungsweise von physiologischen Prozessen und der Schwelle zu möglichen Gesundheitsbeeinträchtigungen könnte nicht nur mehr Einheitlichkeit in die Lärmdiskussion bringen, sondern auch vermeiden, dass durch unverantwortlichen Umgang mit Schwellen Risiko bei den Betroffenen erzeugt wird.

Der Umweltrat kommt hinsichtlich der Wirkungen von Lärm im Schlaf zu dem Schluss, dass "nicht auszuschließen ist, dass die beobachteten Schlafstörungen langfristig Gesundheit und Leistungsfähigkeit beeinträchtigen können".

In der Risikosicherheit, die von "bewiesen" über "anzunehmen", mit "Wahrscheinlichkeit anzunehmen", "möglich" ist, stellt diese Aussage "nicht auszuschließen" das insuffizienteste Charakteristikum unseres Wissens hinsichtlich schlafbedingter Lärmwirkungen dar. Die Wissenschaft muss sachlich den Wissensstand werten. Eine Reihe von Fragen der Ärzte des Vereins an die Lärmwirkungsforscher zu diesem Kolloquium lassen sich gegenwärtig nicht beantworten - und das muss man auch so deutlich sagen. Das enthebt jedoch nicht die Gesellschaft einschließlich der Wissenschaft von der Verantwortung zu handeln, entsprechend des eingangs genannten Prinzips der Vorsorge auch bei nicht voll gesicherter wissenschaftlicher Erkenntnis.

## **Literatur**

1. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umwelt und Gesundheit -Risiken richtig einschätzen. Sondergutachten, Metzler-Pöschel Stuttgart 1999.
2. JANSEN, G., NOTBOHM, G., SCHWARZE, S.: Gesundheitsbegriff und Lärmwirkungen. Metzler-Pöschel Stuttgart 1999.
3. MASCHKE, C., DRUBA, M. und PLEINES, F.: Kriterien für schädliche Umwelt- einwirkungen: Beeinträchtigungen des Schlafes durch Lärm - Eine Literaturübersicht - Umweltbundesamt 1997, Forschungsbericht 97- 105 101 213/07.

# Gesundheitsbezogene Aspekte der extra-auralen Lärmwirkungsforschung

W. Babisch

*Fachbereich Umwelt und Gesundheit des Umweltbundesamts, Berlin*

## Gesundheit und Lärm

Lärm stört Aktivitäten, belästigt und wird von vielen nachdrücklich abgelehnt [1-3]. Wäre es daher nicht naheliegend, die Ergebnisse sozialwissenschaftlicher Untersuchungen zur alleinigen Grundlage lärmpolitischen Handelns zu machen? Die Gesundheitsdefinition der WHO schließt die allgemeine Lebenszufriedenheit ein [4]:

*„Health is a state of complete physical, Mental, and social well-being and not merely the absence of disease or infirmity.“*

Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass Gesundheit eine ganzheitliche Betrachtung des Organismus mit seiner Umwelt verlangt. Die drückt sich noch stärker in der Europäischen Charta zu Umwelt und Gesundheit aus [5]:

*„Good health and well-being require a clean and harmonious environment in which physical, psychological, social and aesthetic factors are all given their due importance. The environment should be regarded as a resource for improving living conditions and increasing well-being.“*

Ohne die Qualitätsstandards in den WHO-Statements in ihrer Bedeutung für globale politische Zielsetzungen herabwürdigen zu wollen, so zeigt die Erfahrung, dass diese Thesen zur Forderung nach so ziemlich allen gut gemeinten Maßnahmen herangezogen werden, und damit an Argumentationskraft bei der Umsetzung spezifischer Ziele einbüßen. Die praktische Umwelt- und Gesundheitspolitik bedarf wesentlich konkreter gefasster Vorgaben und Kriterien für Entscheidungsprozesse. Sie muss innerhalb der Zwänge beschränkter Ressourcen Prioritäten setzen und Kosten/Nutzen-Betrachtungen und Güterabwägungen vornehmen, die geeignet sind im Rahmen des Möglichen ein Höchstmaß an umweltbezogenem Gesundheitsschutz herbeizuführen [6,7]. Dabei konkurriert sie mit anderen gesellschaftlichen Interessen und Zielen. Rohmann hat auf diesen Konflikt aufmerksam gemacht hat [8]:

*„Kritische Grenzen gegen Umweltstressoren sind nicht durch empirische Forschung findbar. Es handelt sich um gesellschaftliche Setzungen, die vom Wertesystem der Beteiligten abhängen. Grenzwerte sind ein normativer Akt, der aus einer komplexen Güterabwägung zwischen Nutzen, Risiko und Kosten hervorgeht.“*

Die Wertmaßstäbe in einem Gemeinwesen sind grundsätzlich fließend und von seinen ökonomischen Möglichkeiten abhängig. Gesteuerte oder unkritisch hinterfragte Einzel- und Gruppeninteressen sowie Umweltängste bestimmen dabei mitunter die Meinungsbildung.

Damit ist die Rolle der gesundheitlich ausgerichteten Lärmwirkungsforschung klar umrissen. (Anmerkung: Hier und im folgenden wird der Begriff „Gesundheit“ ausschließlich im engen somatischen Sinn körperlicher Unversehrtheit verstanden.) Wir bewegen uns in der Lärmhygiene innerhalb eines Bewertungsspektrums, dessen Ankerpunkte mit den Begriffen „Komfort“ (an Ruheigkeit) und „Gesundheit“ (somatisch) bzw. „Belästigung“ und „Krankheit“ umschrieben werden können [9-11]. Während die sozialwissenschaftliche Forschung eher die Beurteilungsmaßstäbe am unteren Ende dieses Kontinuums behandelt, ist es die Aufgabe der gesundheitsbezogenen Lärmwirkungsforschung gewissermaßen die Obergrenzen der zulässigen/akzeptierten Belastung durch Lärm abzustecken [12]. Im Bundesimmissionschutzgesetz wird bei der Formulierung von Schutzzieleen explizit zwischen der Abwehr von (Gesundheits-)Gefahren und erheblichen Nachteilen oder Belästigungen unterschieden [12,13].

Bei strenger Auslegung könnte man sagen, die sozialwissenschaftlich abgeleiteten Qualitätsziele sind in Abhängigkeit von Kosten-Nutzen-Betrachtungen variabel und „verhandelbar“, wohingegen die gesundheitlich (somatisch) abgeleiteten Qualitätsziele fixierter und „verpflichtender“ sind. Allerdings zeigt die Realität, dass auch gesundheitlich definierte Qualitätsziele dem veränderbaren Wertesystem eines Gemeinwesens unterworfen sind. Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die sozialwissenschaftlich abgeleiteten Umweltstandards sich auf niedrigere Schallpegelwerte beziehen als die gesundheitlich abgeleiteten. Werden Richt- oder Grenzwerte jedoch mit Gesundheitsrisiken begründet, so könnte z. B. die Frage gestellt werden, ob es ethisch korrekt ist, in Abhängigkeit von Gebietsnutzungen unterschiedliche Anforderungen zu stellen. Angesichts eines weit entwickelten Planungs- und Zulassungsrechts beim Verkehrs- und Gewerbelärm sind die Ergebnisse der gesundheitsbezogenen Lärmwirkungsforschung besonders für die Lärmsanierung und die Diskussion um die Fluglärmgesetzgebung von Bedeutung.

## Risiko und Risk Assessment

Der Begriff des „Risikos“ ist essenziell beim gesamten Prozess der Evaluation der gesundheitlichen Wirkungen einer potenziellen Umwelttoxine („risk assessment“, „risk evaluation“). [14]. Er schließt die folgenden drei Ebenen der Datenerhebung ein:

- 1) *Gefahrenerhebung („hazard identification“): „Welche Gesundheitswirkung ist relevant?“*
- 2) *Expositionsabschätzung („exposure assessment“): „Wie viele sind wie stark betroffen?“*
- 3) *Ableitung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung („dose-response assessment“): „Wo liegt die Wirkungsschwelle?“*

Dies ist in Abb.1 skizziert [15,16]. Als Ergebnis der Evaluation wird eine Risikobewertung vorgenommen („risk characterization“) [17]. Die Beurteilung der wissenschaftlichen Evidenz der verfügbaren Daten schließt die kritische Diskussion über die Validität der Studien (Einfluss von „chance“ und „bias“), deren Transparenz und die Prüfung der Vollständigkeit der berücksichtigten Literatur ein [14,15]. Es wird ein quantitativer Effekt-Schätzer ermittelt (z. B. Regressionskoeffizient, relatives Risiko), der bei Bevölkerungsbezug („attributable Proportion“) die Schlüsselinformation für ein sich gegebenenfalls anschließendes Risiko-Management dient [18,19].

In der öffentlichen Diskussion über Umwelt- und Gesundheitsgefahren erweist sich der Umgang mit statistischen Risiken nicht selten als ein Problem. Die synonyme Verwendung des Begriffs in

der Umgangssprache für Gefahr und Risiko erschwert die sachgerechte Auseinandersetzung mit ihm [20]. Während der Begriff „Gefahr“ sich auf den qualitativen Zusammenhang zwischen einem Belastungsfaktor und einem gesundheitlichen Ereignis bezieht, wird dieser Zusammenhang mit dem Begriff „Risiko“ quantitativ beschrieben [21]. Das statistische Risiko gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der ein bestimmter Schaden in einer bestimmten Zeit, aufgrund einer chronischen Exposition oder als Ergebnis eines akuten Ereignisses, eintritt. Das Eingehen von Risiken gehört zum Lebensalltag. Insofern schließt der Prozess der Entscheidungsfindung, auf individueller ebenso wie auf gesellschaftlicher Ebene, das Akzeptieren von Risiken prinzipiell ein [22]. Dies ist in Bezug zu den bereits besprochenen Wertesystemen und Bewertungsmaßstäben zu sehen, die in einem Gemeinwesen vorherrschen. In den WHO-Richtlinien für Trinkwasser wird z. B. ein krebsbedingtes Lebenszeit-Sterberisiko von  $1:10^5$  toleriert [23], was ein sozial akzeptiertes Hintergrundrisiko widerspiegelt [24,25]. Andererseits hat der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) die Begrenzung des Gesamtrisikos für kanzerogene Luftschadstoffe auf eine Lebenszeitrisk von 1:2500 in Anbetracht der real vorliegenden Hintergrundkonzentrationen in Ballungsräumen (in ländlichen Gebieten Lebenszeitrisk: 1:5000) als vorläufig problemadäquat eingestuft [12,26].

Angesichts unterschiedlicher Wirkungsendpunkte mit unterschiedlichen Schweregraden und unterschiedlichen Beeinträchtigungen der Lebensqualität erscheint die Vergleichbarkeit bzw. Übertragung von Risikobewertungen aus verschiedenen Umweltmedien nach dem gegenwärtigen Stand der Risikoforschung zumindest problematisch [12,27-31]. Falls vorgezogene Mortalität als Wirkungsendpunkt betrachtet wird, wären wegen der unterschiedlichen Induktions- bzw. Latenzzeiten von Krankheiten und deren Zusammenhang mit dem Alter die entgangenen Lebensjahre ein möglicher Ansatz für quantitative Risikovergleiche [9]. Die Risikodiskussion beim Lärm steht, was ein quantitatives „Risk Assessment“ anbelangt, sicherlich noch am Anfang der Entwicklung.

Der Schweregrad und die Verbreitung eines gesundheitlichen Endpunktes („outcome“) spielt bei der Risikobewertung eines Umweltfaktors und dem Setzen von Umweltstandards eine nicht unwesentliche Rolle. Dies ist in Abb. 2 skizziert, die dem Handbuch der Umweltmedizin entnommen ist [31] und auf die Lärmwirkungsfragestellung angepasst wurde [32]. Da das Bild ursprünglich auf chemische Expositionen zugeschnitten ist, wurde die unterste Ebene der Wirkungen („interne Exposition“) hier durch Belästigung („annoyance“) ersetzt. Im Gegensatz zu chemischen Noxen ist Lärm im Körper nicht direkt messbar, sondern nur seine Wirkungen. Dies ist ein Grund, warum toxikologische Bewertungsverfahren beim Lärm nur bedingt oder gar nicht angewendet werden können (z. B. „unit risk“ = „Ein-Treffer-Modell“). Die WHO definiert gesundheitlich bedenkliche Wirkungen („adverse effects“) wie folgt [33]:

*“Change in morphology, physiology, growth, development or life span of an organism, which results in impairment of the functional capacity to compensate for additional stress, or increase in susceptibility to the harmful effect of other environmental influences.”*

Die untersten beiden Wirkungsebenen in Abb. 2, „Belästigung“ und „physiologische Veränderungen von unklarer Bedeutung“ wären in diesem Sinne nicht als adverse Wirkungen anzusehen. Die Wirkungsebenen „pathologische Veränderungen“, „Morbidität“ und „Mortalität“ hingegen spiegeln einen höheren Schweregrad wider und sind als adverse Wirkung einzustufen. Die Tatsache, dass der Organismus auf einen Lärmreiz mit einer natürlichen und physiologisch gewollten Stressreaktion antwortet, ist als solches nicht gesundheitlich bedenklich. Akute Veränderungen unter Lärmbelastung, z. B. im EEG, der Fingerpulsamplitude oder bei Stress-Hormonen, also die gesamte Orientierungsreaktion [34], könnte im Sinne eines NOEL/LOEL

(„no/lowest observed effect level“) interpretiert werden. Dabei ist zu grundsätzlich zu beachten, dass aufgrund verbesserter Analytik Effektschwellen ohne realen physiologischen Hintergrund abnehmen können. Wegen der fehlenden gesundheitlichen Relevanz solcher Wirkungen wurde daher vorgeschlagen, Effekte bei solchen Wirkungsparametern in Lärmwirkungsstudien unter dem Gesichtspunkt des Überschreitens von Normalwerten auszuwerten. Dabei ist aber zu beachten, dass solche Überschreitungen nicht notwendigerweise mit gesundheitlich nachteiligen Wirkungen verbunden sein müssen. Normalwerte werden häufig auf der Grundlage von Werteverteilungen biologischer Größen definiert (Perzentile), ohne unmittelbaren Bezug zu einem Krankheitsrisiko zu haben. Dies muss für den Einzelfall geklärt werden.

Besteht andererseits jedoch für einen Wirkungsparameter die medizinisch/biologische Evidenz (z. B. aus Kohortenstudien abgeleitet), dass höhere (oder niedrigere) Werte mit pathologischen Veränderungen im Organismus einhergehen, so wird ein solcher Faktor „Risikofaktor“ per Definition genannt. Lärmbedingte Veränderungen bei solchen Wirkungsendpunkten haben unmittelbare klinische Relevanz und können im Sinne eines NOAEL/LOAEL („no/lowest observed adverse effect level“) interpretiert werden. Daraus abgeleitete Effektschwellen können die Grundlage für Vorsorgestandards sein, wobei u. U. noch (Un-)Sicherheitszuschläge berücksichtigt werden, wodurch Risikogruppen in der Bevölkerung Rechnung getragen werden soll [12,15,33,35].

### **Epidemiologische Lärmwirkungsforschung**

Die epidemiologische Forschung kann für die Ableitung von NOAEL/LOAEL's im Bereich des Lärms herangezogen werden [36,37]. Sie ermöglicht eine integrale Risikoabschätzung direkt auf der Grundlage empirischer Daten, die unter real vorliegenden Expositionsbedingungen und bei Berücksichtigung von Faktoren, die die Lärmwirkungen verstärken oder abschwächen, gewonnen wurden. Es ist eine wichtige Aufgabe der zukünftigen Lärmwirkungsforschung solche Effekt-Modifikatoren der Wirkung zu ermitteln und Risikogruppen zu identifizieren [38]. Die aus den epidemiologischen Daten abgeleiteten Dosis-Wirkungsbeziehungen stellen somit eine wichtige Grundlage für die Ableitung vom Umweltstandards, in diesem Fall von Lärmgrenzwerten, dar [39-43].

Laborexperimente am Menschen, sofern sie ethisch vertretbar sind, tragen zum Verständnis von Wirkungsmechanismen bei und können individuelle Reaktionsschwellen für akut einwirkende Lärmbelastungen aufzeigen. Sie erlauben jedoch nur bedingt Aussagen über die Langzeiteffekte chronischer Exposition und die mögliche Genese von Krankheiten. Aspekte der Adaption, Habituation und körperlichen Erschöpfung (im Sinne des Stressmodells) bleiben dabei weitgehend unberücksichtigt. Darüber hinaus beeinflusst die Laborsituation auch aufgrund einer veränderten Akzeptanz der Versuchspersonen gegenüber dem Lärmreiz die Untersuchungsergebnisse. Das subjektive Erleben der Lärmsituation mit allen Folgen der Belästigung, des Ärgers und der Störung von Aktivitäten spielt gerade beim Lärm eine wesentliche Rolle im Hinblick auf körperliche Reaktionen.

Aus demselben Grund bieten Tierexperimente, wie man sie zur Beantwortung toxikologischer Fragestellungen einsetzt, keine wirkliche Alternative. Dies gilt besonders für den Niedrigdosisbereich in der Umwelt. Im Tierexperiment werden aus Effizienzgründen physiologische Effekte zumeist durch sehr hohe Expositionsstärken provoziert. Dies kann allgemeine Irritationen im Organismus hervorrufen, die unspezifisch ablaufen und unabhängig von dem eigentlichen Belastungsfaktor sind. Da auch die eigentlichen Lärmreaktionen unspezifische

Stressreaktionen darstellen, sind die ursächlichen Wirkungen nicht immer vollständig voneinander zu trennen. Im übrigen besteht das grundsätzliche Problem der Übertragbarkeit tierexperimentell abgeleiteter Wirkungsmodelle und -schwellen auf den Menschen, weshalb quantitative Ableitungen in bezug auf den Menschen nur bedingt möglich sind.

Die Extrapolation von Lärmwirkungen im Umweltbereich (Niedrigdosisbereich) aus epidemiologischen Studien zum Arbeitslärm (Hochdosisbereich) ist ebenso fragwürdig, da nicht nur die Schallintensität, sondern auch die Zeitstruktur und das Frequenzspektrum des Geräusches, die gerade ausgeübte Tätigkeit, der Ort und der Zeitpunkt der Schalleinwirkung und die Assoziation zur Schallquelle selbst, die Lärmwirkungen beeinflussen. So wäre es nicht verwunderlich, wenn z. B. 85 dB(A) Mittelungspegel am Arbeitsplatz weniger körperliche Reaktionen hervorrufen als 40 dB(A) beim Schlafen in der eigenen Wohnung.

Herz-Kreislauf-Erkrankungen stehen im Mittelpunkt der Betrachtungen extra-auraler Lärmwirkungen. Dies ergibt sich einerseits aus den Ergebnissen der labor-experimentellen Forschung über die unspezifischen Stressreaktionen des Lärms und zum anderen aus der erheblichen gesundheitspolitischen Bedeutung dieser Krankheiten für die Volksgesundheit [44-46]. Abb. 3 gibt das Reaktionsschema wider, dass den epidemiologischen Fragestellungen und Testhypothesen in der Lärmforschung zugrunde liegt [9]. Lärm aktiviert entweder direkt oder indirekt unter Beteiligung kortikaler und subkortikaler Strukturen das sympathische und endokrine System. Dysregulatorische Stoffwechseleränderungen führen zu chronisch veränderten Werten bei biologischen Risikofaktoren, wodurch das Risiko für kardiovaskuläre Krankheiten ansteigt [47]. In der Wirkungskette ist zwischen Stressindikatoren (z. B. Stress-Hormone), Risikofaktoren (z. B. Blutdruck, Blutfette) und der manifesten Krankheiten (z. B. Myokardinfarkt) zu unterscheiden, deren klinische Bedeutung entsprechend der vorangegangenen Betrachtungen in der genannten Reihenfolge zunimmt:

- Stressindikatoren besitzen zunächst keine unmittelbare klinische Relevanz. Stressindikatoren sind jedoch für die Untersuchung von Wirkungsmechanismen geeignet, da sie kurzfristig ansprechende Reaktionsparameter sind, die in der Wirkungskette vorne an stehen.
- Risikofaktoren wird eine unmittelbare gesundheitliche Bedeutung beigemessen. Da es sich zumeist um kontinuierliche Variablen handelt, können auch kleine - nicht pathologische Veränderungen - zur Beurteilung von Wirkungszusammenhängen herangezogen werden. Allerdings müssen für eine quantitative Risikoabschätzung externe Datenquellen herangezogen werden (was bedeutet ein "x-prozentiger" Anstieg des Cholesterins für das Risiko, einen Herzinfarkt zu bekommen?).
- Die manifeste Krankheit als Wirkungsendpunkt ist von unmittelbarer gesundheitlicher Relevanz und erlaubt eine Risiko-Quantifizierung direkt auf der Grundlage der gewonnenen Daten. Da die Datengrundlage aber diskrete - seltene - Ereignisse sind, bedarf es sehr großer Untersuchungsstichproben für den statistisch gesicherten Nachweis von Effekten.

## Statistische Signifikanz

Ein Problem der Umweltepidemiologie liegt in der statistischen Absicherung kleiner statistischer Effekte. Kleine relative Risiken können andererseits jedoch wegen der großen Zahl exponierter Personen umweltpolitische Relevanz erlangen [48].

Zur Kennzeichnung der statistischen Unsicherheit von Effektschätzern wird üblicherweise der Fehler 1. Art berechnet ( $\alpha$ -Fehler, Irrtumswahrscheinlichkeit). Er beschreibt die Wahrscheinlichkeit mit der eine Prüf-Hypothese (Vorhandensein eines Zusammenhangs) gegenüber der Null-Hypothese (kein Zusammenhang) irrtümlich angenommen wird. Per Konvention wird die Nullhypothese in statistischen Analysen verworfen, wenn der  $\alpha$ -Fehler  $\leq 5\%$  beträgt [49]. Dieses Entscheidungskriterium (Signifikanzprüfung), das in technischen Bereichen der Qualitätssicherung erfolgreiche Anwendung findet, wird ebenso in der Gesundheits- und Umweltforschung angewandt. Im Hinblick auf mögliche Fehlentscheidungen beim erhöhten Schutzgut Gesundheit darf der Fehler 2. Art ( $\beta$ -Fehler) jedoch nicht außeracht gelassen werden [50]. Dieser Fehler gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der die Null-Hypothese irrtümlich beibehalten wird. Je kleiner die Irrtumswahrscheinlichkeit zur Annahme einer Prüf-Hypothese gewählt wird, desto mehr steigt die Wahrscheinlichkeit, einen wahren Zusammenhang nicht zu erkennen.

Statistische Prüfniveaus können im Prinzip je nach Fragestellung variabel gehandhabt werden [51]. So finden sich in der epidemiologischen Literatur immer wieder Artikel, in denen ein  $\alpha$ -Fehler  $\leq 10\%$  zum Maßstab von Entscheidungen gemacht wird. Dies kann sicherlich kontrovers diskutiert werden. Bei der Signifikanzdiskussion ist im übrigen zu beachten, dass statistische Tests üblicherweise „2-seitig“ durchgeführt werden. Das heißt, es werden Abweichungen von Verteilungsparametern der Teststichprobe in beide Richtungen vom Erwartungswert für möglich gehalten und getestet. Sofern jedoch berechnete Annahmen über die Richtung der Veränderung eines Wirkungsparameters unter Expositionsbedingungen besteht, z. B. aufgrund experimenteller Untersuchungen im Labor oder allgemeiner biologischer Plausibilität, kann die statistische Testung auch „1-seitig“ erfolgen. (Anmerkung: Dies entspricht der 2-seitigen Testung auf dem 10%-Niveau der Irrtumswahrscheinlichkeit).

In der Fachliteratur wird die mechanische Anwendung des Signifikanzkriteriums insbesondere für den „Public Health“-Bereich abgelehnt [52-54]. In der Umweltepidemiologie, wo es zum statistischen Nachweis von Effekten oft großer Stichprobengrößen bedarf, beruhen nicht-signifikante Ergebnisse häufig auf einer zu geringen Teststärke („power“). „Nicht signifikant“ bedeutet jedoch nicht, dass kein Zusammenhang besteht [52,55]. Stattdessen wird die Angabe von Konfidenzintervallen (z. B. 95%-Konfidenzintervall) für den Effekt-Schätzer (z. B. relatives Risiko) gefordert [56,57]. Ausdrücklich ist darauf hinzuweisen, dass der Sinn der Angabe von Konfidenzintervallen für statistische Kennwerte nicht darin besteht die Information wiederum auf die triviale Signifikanzbeurteilung zu reduzieren, sondern in der Möglichkeit einer quantitativen Beurteilung der statistischen Sicherheit des Effektschätzers eröffnet [58]. (Anmerkung: Der Einschluss des relativen Risikos von 1 in das 95%-Konfidenzintervall ist äquivalent mit einem  $\alpha$ -Fehler  $> 5\%$ .) Zum Beispiel könnte ein unerwartet großes relatives Risiko, das zwar signifikant ist, aber ein großes Konfidenzintervall umfasst, von geringerer Aussagefähigkeit sein als ein kleines relatives Risiko, das bei kleinem Konfidenzintervall die statistische Signifikanz nur knapp verfehlt.

Evidenzbetrachtungen über Zusammenhänge zwischen Belastungsfaktoren und Wirkungen werden ohnehin nicht anhand von einzelnen Studienbefunden vorgenommen, sondern erfolgen i. A. auf der Grundlage von Gesamtdarstellungen aller verfügbaren Untersuchungsergebnisse zu der Fragestellung (qualitativ mittels grafischer oder quantitativ mittels rechnerischer Methoden) [59]. Der Anlass zur Durchführung einer Meta-Analyse, z. B., könnte darin bestehen, eine Anzahl methodisch für gut erachteter Studien mit gemeinsamen Design-Merkmalen, die für sich genommen vielleicht nicht-signifikante Ergebnisse erbrachten, zusammenzufassen, um einen gemeinsamen Effekt-Schätzer zu ermitteln, dessen Konfidenzintervall aufgrund des größeren Gesamt-Stichprobenumfangs kleiner und damit im herkömmlichen Sinn möglicherweise

signifikant wird. Andererseits sollten im Rahmen einer Meta-Analyse auch Ursachen für Heterogenitäten zwischen Studien ermittelt werden [60-62].

## Verkehrslärmstudien

Im Vergleich zu anderen Umweltdisziplinen gibt es relativ wenige epidemiologische Lärmstudien aus dem Umweltbereich. Etwas besser sieht die Datenlage beim Arbeitslärm aus, obwohl viele Studien hier Fragen nach methodischen Mängeln aufwerfen [63]. Expositionsmissklassifikation, die unvollständige Kontrolle von Störvariablen („confounder“) und fehlende Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind Probleme in einigen Verkehrslärmstudien [64]. Das bedeutet aber nicht, dass nicht doch vorläufige Schlüsse aus den verfügbaren Daten gezogen werden können [24,65]. Insbesondere bei den ischämischen Herzkrankheiten als gesundheitlichem Endpunkt lassen sich, unabhängig von Signifikanzbetrachtungen, einigermaßen konsistente Untersuchungsergebnisse erkennen. Die Befunde liegen in grafisch aufbereiteter Form vor und sind in *Abb. 4* dargestellt [9]. Aufgetragen sind relative Risiken mit 95%-Konfidenzintervallen. Die dunkel markierten Balken in dem Diagramm beziehen sich auf Studien, in denen die Lärmexposition objektiv (Schallpegel), die hell markierten Balken auf Studien, in denen die Lärmbelastung subjektiv (Belästigung) erhoben wurde. Straßenverkehrs- und Fluglärmstudien werden hierbei gemeinsam betrachtet. Zum Schienenverkehr liegen keine entsprechenden Studienergebnisse vor. Wenn verschiedene Teilpopulationen berücksichtigt (Männer/Frauen) oder unterschiedliche gesundheitliche Endpunkte betrachtet wurden, taucht eine Studie in der Abbildung mehrmals auf. Falls im gleichen Jahr mehrere Studien aus einem Untersuchungsgebiet publiziert wurden, ist dies durch eine fortlaufende Nummer hinter der Jahreszahl kenntlich gemacht. (Bsp.: „Amst77/1-mpoa“ bedeutet Amsterdam, 1977, Studie 1, Männer, Angina pectoris, objektive Exposition = Schallpegel, Fluglärm).

Die meisten der Untersuchungen beziehen sich auf Straßenverkehrslärm, nur wenige auf Fluglärm. Die wenigen Fluglärmstudien bieten keine Informationen über Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge. Im Extremgruppenvergleich der Verkehrslärmbelastung lässt sich überwiegend eine Verschiebung der Schätzer für das relative Risiko zu Werten über 1 bei stärker lärmbelasteten Personengruppen erkennen (Bereich: ca. 1.1 bis 1.5). Bei vorsichtiger und kritischer Wertung der Befunde wurden die Ergebnisse so interpretiert, dass das relative Risiko für ischämische Herzkrankheiten von Personen, die in stark verkehrslärmbelasteten Wohngebieten wohnen, leicht erhöht sein könnte [9]. Die eigenen Arbeiten, die es ermöglichen die Effekte anhand abgestufter Expositions-kategorien (5-dB(A)-Klassen) zu beurteilen, deuten auf einen Tages-Mittelungspegel von 65-70 dB(A) als mögliche Schwelle für den Nachweis für gesundheitliche Lärmwirkungen durch Straßenverkehrslärm [66]. Zu höheren Belastungen hin lässt sich in den Studien ein Anstieg des relativen Risikos erkennen. Es wurde die Befürchtung geäußert, dass Menschen, die an Straßen mit Mittelungspegeln (tags) über 65-70 dB(A) wohnen, ein ca. 20 Prozent höheres Herzinfarktrisiko haben als Bewohner leiserer Gebiete [66,67].

Im Hinblick auf die Nachtflugproblematik in der Nähe von Verkehrsflughäfen gibt es derzeit keine andere Möglichkeit, als die aus Straßenverkehrslärmstudien abgeleiteten quantitativen Risikobetrachtungen näherungsweise auf den Fluglärm zu übertragen. Da Fluglärm anders als Straßenverkehrslärm auf alle Seiten eines Gebäudes einwirkt, besteht die Vermutung, dass aufgrund fehlender Ausweichmöglichkeiten innerhalb der Wohnungen und der höheren Belästigungsreaktionen bei Fluglärm die Wirkungen größer sein könnten als beim Straßenverkehr [68]. Dies gilt es jedoch in zukünftigen Studien zu überprüfen. Was den Unterschied zwischen der

Exposition tags und nachts anbelangt, so können aus den epidemiologischen Daten keine spezifischen Schlüsse gezogen werden. Da beim Straßenverkehr der Unterschied zwischen den Mittelungspegeln tags und nachts üblicherweise etwas unter 10 dB(A) liegt [69] und gesetzliche Regelwerke von Tag/Nacht-Unterschieden bei Immissionsrichtwerten von 10 dB(A) ausgehen, wird als Näherung davon ausgegangen, dass der vermutete Schwellenwert tags von 65-70 dB(A) einem Schwellenwert nachts von 55-60 dB(A) entspricht. Dies bedarf jedoch ebenfalls der empirischen bzw. experimentellen Absicherung.

## Evidenz der Befunde

Kausalität im strengen Sinn kann mit epidemiologischen Methoden niemals nachgewiesen werden [57,70,71]. Andererseits wäre eine Ablehnung von Studienergebnissen auf der Grundlage dieser allgemeinen erkenntnistheoretischen Aussage ziemlich sinnlos und würde jeden Fortschritt blockieren. Bei Kausalität und Ursache handelt sich vielmehr um graduelle Begriffe, deren Evidenz mit zunehmender Anzahl von Fakten ansteigt. In der Praxis haben sich die folgenden Gesichtspunkte als Argumente für das Vorliegen eines kausalen Zusammenhangs bewährt: Größe des Effektschätzers, Vorliegen einer Dosis-Wirkungs-Beziehung, biologische Plausibilität, Konsistenz der Studienergebnisse, Beobachtung der Effekte in verschiedenen Populationen und mit unterschiedlichen Methoden [72-75].

In den zurückliegenden Jahren wurden einige Übersichtartikel publiziert, die die Evidenz der Ergebnisse epidemiologischer Umweltlärmstudien zum Inhalt haben [15,64,76-82]. Als Beurteilungskriterien wurden zumeist die Richtlinien der „International Agency for Research on Cancer“ herangezogen [83]:

*Sufficient evidence is given if a positive relationship is observed between exposure to the agent and the health outcome (cancer), in studies in which chance, bias and confounding can be ruled out with reasonable confidence.*

*Limited evidence is given if a positive association is observed between exposure to the agent and the health outcome (cancer), for which a causal interpretation is considered by a Working Group (experts) to be credible, but chance, bias or confounding could not be ruled out with reasonable confidence.*

*Inadequate evidence is given if the available studies are of insufficient quality, consistency or statistical power to permit a conclusion regarding the presence or absence of a causal association.*

Die Autoren und Expertengruppen in den genannten Übersichtsartikel kamen zu folgenden Evidenzaussagen:

Health Council of the Netherlands, 1994 [77,81] und Passchier-Vermeer and Passchier, 2000 [80].

*“Limited” evidence for the relationship between noise (including occupational noise) and biochemical effects .*

*“Sufficient evidence for the relationship between noise (including occupational noise) and hypertension.*

*“Sufficient” evidence for a relationship between noise and ischaemic heart disease.*

Institute for Environment and Health, 1997 [79] and Porter et al.,1998 [82]

*“Inconclusive” evidence for a causal link between noise exposure and hypertension.*

*"Sufficient" evidence for a causal association between noise exposure and ischaemic heart disease.*

Health Council of the Netherlands, 1999 [78]

*"Limited" evidence for the relationship between noise (including occupational noise) and biochemical effects.*

*"Sufficient" evidence for an association between ambient noise and hypertension.*

*"Sufficient" evidence for an association between ambient noise and ischaemic heart disease (observation threshold:  $L_{eq,6-22\text{ h}}$ : 70 dB(A)).*

Babisch, 2000 [64]

*"No" scientific evidence for association between transportation noise and mean blood pressure readings (exception: in children consistently higher readings were found in the exposed groups).*

*"Little" evidence regarding the association between transportation noise and hypertension.*

*"Some" evidence regarding the association between transportation noise and ischaemic heart disease. The latter was viewed as being "sufficient" for action.*

Neus and Boikat, 2000 [15]

*"Limited" evidence regarding the association between traffic noise and ischaemic heart disease.*

Die verschiedenen Beurteilungen zur Evidenz des Zusammenhangs zwischen Verkehrslärm und Herz-Kreislauf-Wirkungen lassen sich in etwa wie folgt zusammenfassen:

Biochemische Veränderungen bei Risikofaktoren: „Limited“ Evidenz

Bluthochdruck: „Inadequate/limited“ Evidenz

Ischämische Herzkrankheiten: „Limited/sufficient“ Evidenz.

Im Interesse des vorbeugenden Gesundheitsschutzes kann dies eine Grundlage für umwelt-/gesundheitspolitisches Handeln auf dem Lärmsektor sein. Horten hat das Problem einer unvollständigen Datenlage in den Umwelt- und Gesundheitswissenschaften angesprochen und das „precautionary principle“ formuliert [84]:

*"We must act on facts, and on the most accurate interpretation of them, using the best scientific information. That does not mean that we must sit back until we have 100% evidence about everything. Where the state of the health of the people is at stake, the risks can be so high and the costs of corrective action so great, that prevention is better than cure. We must analyse the possible benefits and costs of interaction. Where there are significant risks of damage to the public health, we should be prepared to take action to diminish those risks, even when the scientific knowledge is not conclusive, if the balance of likely costs and benefits justifies it."*

## Schlussfolgerungen

Die gesundheitlich ausgerichtete Lärmwirkungsforschung muss sich ebenso wie andere Disziplinen des Umweltschutzes einer objektiven und quantitativen Risikodiskussion stellen. Der Begriff der „evidenz-basierten Medizin“ sollte in diesem Zusammenhang nicht überstrapaziert werden. Mit ihm werden Gesichtspunkte der eindeutigen und fehlerfreien Diagnostik sowie einer daraus resultierenden spezifischen und zielgerichteten Behandlung von Patienten angesprochen. In der Lärmwirkungsforschung wird nur schwer ein Punkt zu erreichen sein, der Umweltmediziner in den niedergelassenen Praxen in die Lage versetzt, den Lärm zweifelsfrei als Ursache für pathologische Beschwerden ihrer Patienten verantwortlich zu machen - eine Ausnahme stellen die auralen Wirkungen des Lärms dar. Dies ist aber auch nicht die Erwartung, die an die Lärmwirkungsforschung gestellt werden sollte. Es geht vielmehr wie bei anderen Umweltschadstoffen im Niedrigdosenbereich darum, statistische Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen zu Gesundheitsgefahren auf der Grundlage der Beobachtung von belasteten und unbelasteten Bevölkerungskollektiven anzustellen. Die extra-aurale Lärmwirkungsforschung, als Teil der allgemeinen Umwelthygiene, zielt nicht auf die Behandlung der Betroffenen (kurative Medizin), sondern auf die Regulierung der Exposition unter Vorsorgegesichtspunkten. Damit sind die Bewertungsmaßstäbe, mit denen an Untersuchungsergebnisse herangegangen werden muss, andere als in der klinischen Forschung. Anstelle der deterministischen Betrachtungsweise in der Individualmedizin steht in der Umwelthygiene die probabilistische Betrachtungsweise im Vordergrund (Gruppenmedizin).

Andererseits können lärmbedingte Änderungen physiologischer Größen allein nur schwer ein Maßstab für die Festlegung von Umweltstandards sein, wenn nicht gleichzeitig ein Gesundheitsbezug hergestellt wird. Gesundheitsbezogene Betrachtungen ihrerseits sollten nicht losgelöst von einer quantitativen Risikobewertung erfolgen. Dies betrifft den Lärm ebenso wie andere Umweltbereiche. Ob die Forderung nach einem „Null-Risiko“ durch Lärmbelastung in diesem Zusammenhang sinnvoll und vertretbar ist, kann angezweifelt werden. Es ist Aufgabe der Politik, auf der Grundlage belastbarer wissenschaftlicher Ergebnisse und sachgerechter Güterabwägungen die Obergrenzen einer zulässigen Lärmbelastung zu formulieren und durchzusetzen.

Darüber hinaus bestimmen die an der Lebensqualität ausgerichteten Ansprüche, Bedürfnisse und Wünsche der Menschen in einem Gemeinwesen den Handlungsbedarf. Dies hat mit Gesundheit im enger gefassten Sinn nichts zu tun. Besonders der Gesichtspunkt der erheblichen Belästigung spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle [13]. Zur Konsensbildung müssen die Vor- und Nachteile der Lärmquellen im Hinblick auf alle Aspekte von Lebensqualität - unter Berücksichtigung der gesundheitlichen Belange - gegeneinander abgewogen werden. Sicherlich schafft individuelle Mobilität auch weitgestreute Lebensqualität. Einzel- und Gruppeninteressen werden sich nicht immer in Einklang bringen lassen. Ruhe ist ein Gut, für das der Einzelne unter Umständen auch bereit ist, Konsumverzicht an anderer Stelle zu leisten.

Lärmschutz ist Prävention!

## Literatur

1. Miedema HME, Vos H. Exposure-response relationships for transportation noise. J. Acoust. Soc. Am. 1998;104(6):3432-3445.

2. WHO European Centre for Environment and Health. Concern for Europe's tomorrow. Health and the environment in the WHO European region. Chapter 13: Residential noise. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 1995.
3. VDI-Richtlinie 3722 B. Wirkungen von Verkehrsgeräuschen. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1988.
4. WHO. Constitution of the World Health Organization. Geneva: World Health Organization, 1948.
5. WHO Regional Office for Europe. Environment and Health: the European Charter and commentary. WHO Regional Publications, European Series, Nr. 35. Copenhagen: World Health Organization, 1990.
6. Brown S. Quantitative risk assessment of environmental hazards. *Ann. Rev. Public Health* 1985;6:247-267.
7. Cleland-Hamnett W. The role of comparative risk analysis. *EPA Journal* 1993;Jan/Feb./Mar. 1993:18-23.
8. Rohrmann B. Setzung von Grenzwerten als Risiko-Management. Risiko ist ein Konstrukt. München: Bayerische Rück-Versicherung, 1993;293-313.
9. Babisch W. Gesundheitliche Wirkungen von Umweltlärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 2000;47(3):95-102.
10. Lindström B. Quality of life: a model for evaluating health for all. Conceptual considerations and policy implications. *Soz. Präventivmed.* 1992;37:301-306.
11. Jansen G, Schwarze S, Notbohm G. Lärmbedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen unter besonderer Berücksichtigung der physiologischen Lärmempfindlichkeit. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 1996;43:31-40.
12. Fischer M. Ableitungen von Grenzwerten (Umweltstandards) - Luft. In: Wichmann H-E, Schlipkötter H-W, Fülgraff G, eds. *Handbuch der Umweltmedizin*. 16. Erg. Lfg. Landsberg/Lech: Ecomed Verlagsgesellschaft AA & Co. KG, 1999;III - 1.3.3.
13. BImSchG (Bundesimmissionsschutzgesetz). Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. *Bundesgesetzblatt*, Teil I 1990:880, 2643.
14. WHO Regional Office for Europe. Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment. Guideline document. Copenhagen: World Health Organization, 2000.
15. Neus H, Boikat U. Evaluation of traffic noise-related cardiovascular risk. *Noise & Health* 2000;7:65-77.
16. National Research Council. Risk assessment in the federal government. Managing the process. Washington DC: National Academy Press, 1983.
17. Patton DE. The ABCs of risk assessment. *EPA Journal* 1993;Jan/Feb/Mar 1993:10-15.
18. Walter SD. Attributable risk in practice. *American Journal of Epidemiology* 1998;148:411-413.
19. Jasanoff S. Relating risk assessment and risk management. Complete separation of the two processes is a misconception. *EPA Journal* 1993;Jan/Feb/Mar 1993:35-37.
20. Fülgraff G. Bedeutung von Grenzwerten. In: Wichmann H-E, Schlipkötter H-W, Fülgraff G, eds. *Handbuch der Umweltmedizin*. Landsberg/Lech: Ecomed Verlagsgesellschaft AA & Co. KG, 1992;III - 1.3.1.
21. Zeger SL. Statistical reasoning in epidemiology. *American Journal of Epidemiology* 1991;134(10):1062-1066.
22. Moghissi AA. Editorial, safe is not risk-free. *Environmental International* 1993;19:311-312.
23. WHO. Guidelines for drinking-water quality. Second edition, Volume 1: Recommendations. Geneva: World Health Organization, 1993.

24. Scheuplein RJ. Uncertainty and the "flavors" of risk. *EPA Journal* 1993;Jan/Feb/Mar/1993:16-17.
25. Dieter HH, Grohmann A. Grenzwerte für Stoffe in der Umwelt als Instrument der Umwelthygiene. *Bundesgesundhbl.* 1995;38(5):179-186.
26. BAGS. Standards zur Expositionsabschätzung, Bericht des Ausschusses für Umwelthygiene der AGLMB. Hamburg: Behörde für Arbeit, Gesundheit und Soziales, 1995.
27. Bachmann G, Konietzka R. Ableitungen von Grenzwerten (Umweltstandards) - Boden. In: Wichmann H-E, Schlipköter H-W, Fülgraff G, eds. *Handbuch der Umweltmedizin*. 16. Erg. Lfg. Landsberg/Lech: Ecomed Verlagsgesellschaft AA & Co. KG, 1999;III - 1.3.4.
28. Dieter HH. Ableitungen von Grenzwerten (Umweltstandards) - Wasser. In: Wichmann H-E, Schlipköter H-W, Fülgraff G, eds. *Handbuch der Umweltmedizin*. 16. Erg. Lfg. Landsberg/Lech: Ecomed Verlagsgesellschaft AA & Co. KG, 1999;III - 1.3.5.
29. Hapke HJ. Ableitungen von Grenzwerten (Umweltstandards) - Lebensmittel. In: Wichmann H-E, Schlipköter H-W, Fülgraff G, eds. *Handbuch der Umweltmedizin*. 16. Erg. Lfg. Landsberg/Lech: Ecomed Verlagsgesellschaft AA & Co. KG, 1999;III - 1.3.6.
30. Martignoni K, Burkart W. Ableitungen von Grenzwerten (Umweltstandards) - Strahlung. In: Wichmann H-E, Schlipköter H-W, Fülgraff G, eds. *Handbuch der Umweltmedizin*. 16. Erg. Lfg. Landsberg/Lech: Ecomed Verlagsgesellschaft AA & Co. KG, 1999;III - 1.3.7.
31. Wichmann HE, Ihme W. Quantitative Abschätzung von Risiken durch chemische Noxen. In: Wichmann H-E, Schlipköter H-W, Fülgraff G, eds. *Handbuch der Umweltmedizin*. Landsberg/Lech: Ecomed Verlagsgesellschaft AA & Co. KG, 1992;III - 1.5.1.
32. Babisch W. The noise/stress concept, risk assessment and research needs. Vortragsmanuskript zur internationalen Konferenz: Noise Pollution and Health vom 3.-8. April 2001 in Cambridge, UK 2001.
33. WHO. Assessing human health risks of chemicals. Derivation of guidance values for health based exposure limits. Geneva: World Health Organization, 1994.
34. Henry JP, Stephens PM. Stress, health, and the social environment, a sociobiologic approach to medicine. New York: Springer-Verlag, 1977.
35. Arnold et al. Die Verwendung von Unsicherheitsfaktoren in der quantitativen Risikoeinschätzung - neue Wege. *Bundesgesundhbl.* 1997;40(12):491-495.
36. Babisch W, Elwood PC, Ising H. Zur Rolle der Umweltepidemiologie in der Lärmwirkungsforschung. *Bundesgesundhbl.* 1992;35:130-133.
37. Samet JM, Schnatter R, Gibb H. Invited commentary: Epidemiology and risk assessment. *American Journal of Epidemiology* 1998;148:929-936.
38. Thompson S. Non-auditory health effects of noise: updated review. In: Hill FA, Lawence R, eds. *InterNoise 96. Proceedings of the 25th International Congress on Noise Control Engineering*, Liverpool 1996. Vol. 4. St. Albans: Institute of Acoustics, 1996;2177-2182.
39. Pearce N. Epidemiology as a population science. *International Journal of Epidemiology* 1999;28:S1015-S1018.
40. Adami H-O, Trichopoulos D. Epidemiology, medicine and public health. *International Journal of Epidemiology* 1999;28:S1005-1008.
41. Hertz-Picciotto I. Epidemiology and quantitative risk assessment: a bridge from science to policy. *American Journal of Public Health* 1995;85(4):484-491.

42. Savitz DA, Poole C, Miller WC. Reassessing the role of epidemiology in public health. *American Journal of Public Health* 1999;89(8):1158-1161.
43. Soskolne LC. Linkages between epidemiology and health policy. In: Jedrychowski W, Vena J, Maugeri U, eds. *Challenges to epidemiology in changing Europe. Proceedings of the conference, Krakow 1999*. Krakow: International Centre for Studies and Research in Biomedicine in Luxembourg, 1999;173-184.
44. Doll R. Health and the Environment in the 1990s. *American Journal of Public Health* 1992;82(7):933-941.
45. WHO Regional Office Europe. Overview of the environment and health in Europe in the 1990s. Document EUR/ICP/EHCO 02 02 05. Copenhagen: World Health Organization, 1999.
46. Statistisches Bundesamt. *Gesundheitsbericht für Deutschland, Gesundheitsberichterstattung des Bundes*. Stuttgart: Metzler Poeschel, 1998.
47. Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt. *Belästigung durch Lärm: Psychische und körperliche Reaktionen*. *Z. Lärmbekämpfung* 1990;37:1-6.
48. Neus H, Biokat U, Manikowsky Sv, Kappos A. Vergleich zwischen verkehrsbedingten Lärm- und Luftverschmutzungsfolgen: Der Beitrag der Umweltepidemiologie zu Risikoabschätzungen. *Bundesgesundheitsblatt* 1995;38:146-150.
49. Sachs L. *Angewandte Statistik*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1974.
50. Ortscheid J. Anmerkungen zu Ergebnissen epidemiologischer Lärmwirkungsforschung. *Z. Lärmbekämpfung* 1995;42:169-174.
51. Hartung J, Elpelt B, Klöser K-H. *Statistik, Lehr- und Handbuch zur angewandten Statistik*. München: R. Oldenbourg Verlag, 1995.
52. Rothman KJ. Significance questing. *Ann. Intern. Med.* 1986;105:445-447.
53. Woolson RF, Kleinman JC. Perspectives on statistical significance testing. *Annu. Rev. Public Health*. 1989;10:423-440.
54. Burton PR, Gurrin LC, Campbell MJ. Clinical significance not statistical significance: a simple Bayesian alternative to p values. *Journal of Epidemiology & Community Health* 1998;52:318-323.
55. Morrell S, Taylor R, Lyle D. A review of health effects of aircraft noise. *Australian and New Zealand Journal of Public Health* 1997;21(2):221-236.
56. Hennekens CH, Buring JE. *Epidemiology in medicine*. Boston/Toronto: Little, Brown and Company, 1987.
57. Rothman KJ. *Modern epidemiology*. Boston: Little, Brown and Company, 1986.
58. Rothman KJ, Lanes S, Robins J. *Causal Inference*. *Epidemiology* 1993;4(6):555-556.
59. Blettner M, Sauerbrei W, Schlehofer B, Scheuchenpflug T, Friedenreich C. Traditional reviews, meta-analyses and pooled analyses in epidemiology. *International Journal of Epidemiology* 1999;28:1-9.
60. Blair A, Burg J, Foran J, Gibb H, Greenland S, Morris R, Raabe G, Savitz D, Teta J, Wartenberg D, Wong O, Zimmerman R. Guidelines for application of meta-analysis in environmental epidemiology. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 1995;22:189-197.
61. Olkin I. Meta-analysis: reconciling the results of independent studies. *Statistics in Medicine* 1995;14:457-472.
62. Takkouche B, Cadarso-Suárez C, Spiegelman D. Evaluation of old and new tests of heterogeneity in epidemiologic meta-analysis. *American Journal of Epidemiology* 1999;150(3):206-215.

63. Babisch W. Epidemiological studies of the cardiovascular effects of occupational noise - a critical appraisal. *Noise & Health* 1998;1:24-39.
64. Babisch W. Traffic noise and cardiovascular disease: epidemiological review and synthesis. *Noise & Health* 2000;2000/8(8):9-32.
65. Rose G. Editorial, epidemiology and environmental risks. *Soz. Präventivmed.* 1992;37:41-44.
66. Babisch W, Ising H. Epidemiologische Studien zum Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und Herzinfarkt. *Bundesgesundhbl.* 1992;35:3-11.
67. Ising H, Babisch W, Kruppa B. Ergebnisse epidemiologischer Forschung im Bereich Lärm. In: Umweltbundesamt, ed. *Gesundheitsrisiken durch Lärm*. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 1998;35-49.
68. Ortscheid J, Wende H. Fluglärmswirkungen, Forschungsbericht. Berlin: Umweltbundesamt, 2000.
69. Ullrich S. Lärmbelastung durch den Straßenverkehr. *Z. Lärmbekämpfung* 1998;45(1):22-26.
70. Christoffel T, Teret SP. Public health and law. Epidemiology and the law: courts and confidence intervals. *American Journal of Public Health* 1991;81(12):1661-1666.
71. Schlesselman JJ. "Proof" of cause and effect in epidemiologic studies: criteria for judgment. *Preventive Medicine* 1987;16:195-210.
72. Bradford Hill AS. The environment and disease: association or causation? *Proc. Royal. Soc. Med.* 1965;58:295-300.
73. Evans AS. Causation and disease: the Henle-Koch postulates revised. *The Yale Journal of Biology and Medicine* 1976;49:175-195.
74. Morabia A. On the origin of Hill's causal criteria. *Epidemiology* 1991;2(5):367-369.
75. Weed DL, Hursting SD. Biologic plausibility in causal inference: current method and practice. *American Journal of Epidemiology* 1998;147(5):415-425.
76. Berglund B, Lindvall T. Community noise. Document prepared for the World Health Organization. Archives of the Center for Sensory Research, Vol. 2, Issue 1, 1995. Stockholm: Center for Sensory Research, 1995.
77. Health Council of the Netherlands. Noise and health. Report by a committee of the Health Council of the Netherlands. Publication No. 1994/15E. The Hague: Health Council of the Netherlands, 1994.
78. Health Council of the Netherlands. Public health impact of large airports. Report by a committee of the Health Council of the Netherlands. Publication No. 1999/14E. The Hague: Health Council of the Netherlands, 1999.
79. IEH. Workshop on non-auditory health effects of noise. Draft report. Leicester: Institute for Environment and Health, 1997.
80. Passchier-Vermeer W, Passchier WF. Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspectives* 2000;108 (suppl 1):123-131.
81. Passchier-Vermeer W. Noise and health. Publication No. A93/02E. The Hague: Health Council Of The Netherlands, 1993.
82. Porter ND, Flindell IH, Berry BF. Health effect-based noise assessment methods: a review and feasibility study. NPL Report CMAM 16. Teddington: National Physical Laboratory, 1998.

83. IARC. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans. Vol. 1 to 42, Suppl. 7. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1987.
84. Horton R. The new new public health of risk and radical engagement. The Lancet 1998;352:251-252.

## Abbildungen

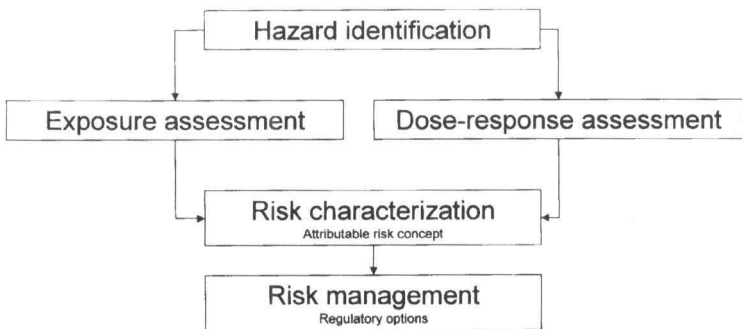


Abb 1: Prozess der Risikobewertung

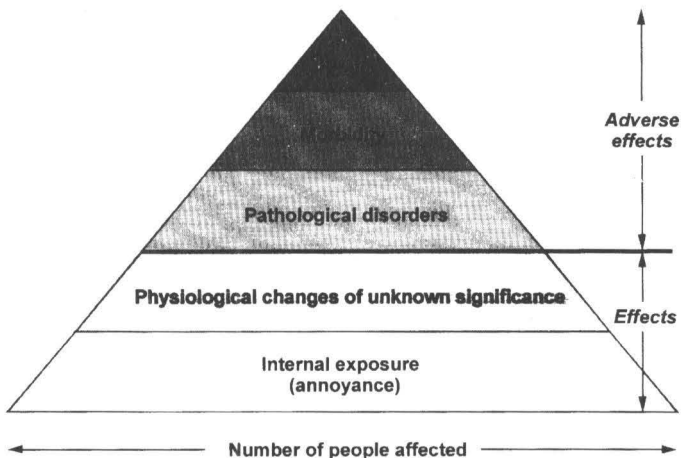


Abb. 2: Schweregrad von gesundheitlichen Lärmwirkungen

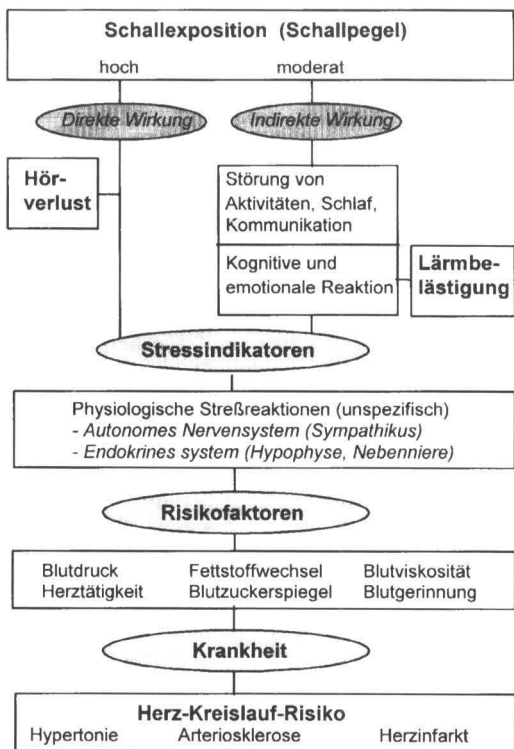
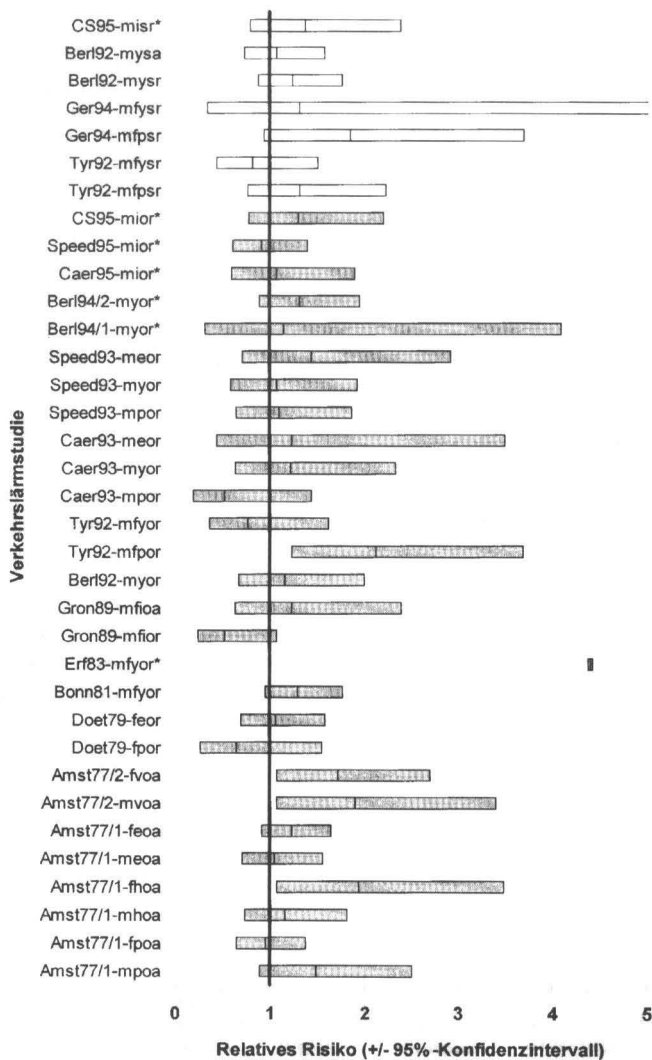


Abb. 3: Lärmwirkungsmodell aus epidemiologischer Sicht



Legende: *Geschlecht:* f Frauen, m Männer, *Lärmmessung:* o objektive (Schallpegel), dunkler Balken; s subjektiv (Belästigung), heller Balken; *Lärmart:* a Fluglärm; r Straßenverkehrslärm; *ischämische Herzkrankheit:* e EKG-ischämische Zeichen, h Herzbeschwerden, i ischämische Herzkrankheiten, p Angina pectoris, v kardiovaskuläre Beschwerden allgemein, y Herzinfarkt; *Studientyp:* Prävalenzstudien, \* = Kohorten oder Fall-Kontroll-Studien

Abb. 4: Ergebnisse Epidemiologischer Studien zum Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und ischämischen Herzkrankheiten

## RESOLUTION

Grundlage der hier vorgestellten Beurteilung ist der zwischen Tag und Nacht differenzierende Mittelungspegel ( $L_{eq3}$ , außen). Bei der Formulierung der Schutzziele wird auch dem Umstand, dass Fluglärm im Mittel eine größere Stör- und Belästigungswirkung als Straßenverkehrslärm entfaltet, durch schärfere Anforderungen Rechnung getragen.

Die globalen Wirkungsbereiche

**„Belästigung“**

und

**„Beeinträchtigung der Gesundheit“**

stehen im Vordergrund bei der Entwicklung von Schutzzielen.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Belastungsbereiche, die aus Sicht der Lärmwirkungsforschung besonders beachtet werden müssen. Bei einer Umsetzung in rechtliche Regelungen ist im Falle von neuen oder wesentlich geänderten Flughäfen oder Flugplätzen zu erwarten, dass sich die hier genannten Bereiche nach unten verschieben.

- Bei Fluglärmbelastungen von 55 dB(A) tags und 45 dB(A) nachts wird die Grenze zu erheblichen Belästigungen erreicht.
- Bei Fluglärmbelastungen von 60 dB(A) tags und 50 dB(A) nachts sind aus präventivmedizinischer Sicht Gesundheitsbeeinträchtigungen zu erwarten.

## Erklärung

Die auf dem Workshop „Die Nachtflugproblematik auf den deutschen Verkehrsflughäfen – Ärzte fragen – Lärmwissenschaftler antworten – am 16. Juni 2001 verabschiedete Resolution wird von uns – unter Beachtung der nachfolgenden Stellungnahme – unterstützt.



Prof. Dr. med. Karl Hecht



PD Dr.-Ing. Christian Maschke

## Stellungnahme

In der Neufahrmer Resolution werden Werte für den Beginn einer erheblichen Belästigung von 55 dB(A) tags und 45 dB(A) nachts genannt. Bei 60 dB(A) tags und 50 dB(A) nachts sind aus präventivmedizinischer Sicht Gesundheitsbeeinträchtigungen zu erwarten.

### Erhebliche Belästigung am Tage

Der Prozentsatz von 25% stark belästigten Anwohnern (highly annoyed) wird heute vielfach als Grenze zwischen einer Belästigung und einer erheblichen Belästigung angesehen. Diese Grenze, die bereits in früheren Arbeiten herangezogen wurde (z.B. Grandjean 1969, Tracor 1972, Rohrmann 1978), beruht auf theoretischen Überlegungen, die in der folgenden Grafik zusammengefasst sind.

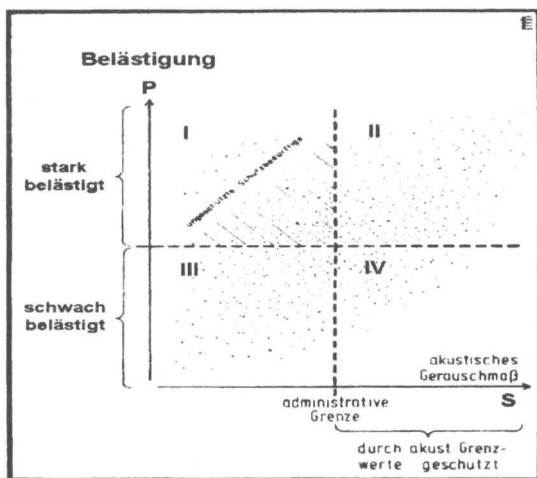


Abb. 1: Bestimmung von akustischen Grenzwerten anhand von Belastungsurteilen  
(Quelle: nach Rohrmann 1978)

Wird davon ausgegangen, dass die Belastigung von Fluglärmbeeinträchtigten mit dem Pegel ansteigt, aber große individuelle Streuungen bestehen, so kann diese Situation durch die Punktwolke in Abbildung 1 charakterisiert werden. Besteht keine (politische) Vorgabe, wie eine administrative Grenze der Belastigung zu ermitteln ist, so ist vom Mittelwert der akustischen Belastigung auszugehen. Der Mittelwert besitzt die Eigenschaft des quadratischen Minimums, d.h. es gibt keinen anderen Wert, der eine kleinere Varianz zu allen anderen Werten aufweist.

Bei dieser formalen Grenzwertsetzung werden 50% der Betroffenen geschützt (Quadranten II und IV). Unterteilen wir ferner die Betroffenen in stark belastigt und schwach belastigt und bezeichnen solche Personen als stark belastigt und schutzbedürftig, deren Belastigungsangabe den Mittelwert übersteigt (Quadranten I und II), so liegt die Grenze für einen Schutzanspruch bei dem Mittelwert der Belastigungsangaben.

Schutzbedürftige, aber ungeschützte Personen sind bei diesem Modell alle Personen, deren Belastigungsangaben im I. Quadranten liegen. Wird unterstellt, dass die Streuung groß ist (wie empirischen Belastigungsangaben zeigen), so liegen in diesem Quadranten bis zu 25% der untersuchten Personen.

Wird aus einer empirischen Untersuchung ein Pegelwert anhand von 25% stark belastigter Personen ermittelt, so wird die Grenze der akustischen Belastigung - bei großer Streuung der Belastigungsangaben - in etwa in die Mitte der unbekannten „Belastigungswolke“ gelegt, sofern unter stark belastigt eine Belastigung verstanden wird, die den Mittelwert übersteigt. Das 25%-Kriterium stellt somit eine formale Grenze dar, ab der spätestens von einem epidemiologischen Schutzbedarf ausgegangen werden muss.

Bei diesem Modell ist zu beachten, dass im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch der Begriff „highly annoyed“, der mit dem deutschen Begriff „stark belastigt“ übersetzt werden kann, auf einer abweichenden Definition beruht. Schultz schlug 1978 vor, als „highly annoyed“ diejenigen

Betroffenen zu bezeichnen, die in Befragungen auf einer kontinuierlichen Belästigungs-Skala einen Wert angeben, der 72 % der Skalenlänge überschreitet. Das Einschluss-Kriterium sollte nach der Auffassung von Schultz hoch angesetzt werden, damit nicht-akustische Einflüsse minimiert werden und die Streuungen der Ergebnisse in verschiedenen Untersuchungen bei vergleichbaren akustischen Belastungen möglichst gering ausfallen. Außerdem ging er davon aus, dass Personen, die hohe Werte auf der Belästigungs-Skala angeben "entschieden und bewusst auf Lärm reagieren" (vgl. [Guski 2000]).

Schultz entschied sich für ca. 72 % der Original-Skalenlänge, das sind z.B. im Fall einer 11 Punkte umfassenden Original-Skala die oberen 3 Antwort-Stufen. Im Fall einer 7 Punkte umfassenden Antwort-Skala verwendete er die oberen 2 Antwort-Stufen (29 % der Skalen-Länge). Dieses Verfahren wurde zwar von Kryter [1982] in verschiedener Hinsicht kritisiert, gilt aber noch heute (mit Korrekturen für nicht-äquidistante oder bipolare verbale Skalen) als internationaler Standard (vgl. [Guski 2000]).

Die Verknüpfung der "highly annoyed" Angaben mit dem epidemiologischen 25% Kriterium ist aufgrund der dargelegten Definition von "highly annoyed" nicht unproblematisch. Neben der Kategorie "highly annoyed" haben Miedema & Vos die Kategorie „annoyed“ eingeführt. Als "annoyed" werden diejenigen Betroffenen definiert, die in Befragungen auf einer kontinuierlichen Belästigungs-Skala einen Wert angeben, der 50 % der Skalenlänge überschreitet. Die Definition der Kategorie „annoyed“ steht demzufolge in deutlich engerer Beziehung zum epidemiologischen Modell als die Kategorie "highly annoyed".

Wird aus einer empirischen Untersuchung ein Pegelwert anhand von 25% belästigter (annoyed) Personen ermittelt, so wird die administrative Grenze der akustischen Belastung in etwa in die Mitte der „Belästigungswolke“ gelegt und es ergibt sich nach Untersuchungen von Miedema [1993/1998] ein äquivalenter Dauerschallpegel von ca. 55 dB(A).

Aus diesem Ansatz ist abzuleiten, dass die Grenze zur erhebliche Belästigung durch Fluglärm bei 55 dB(A) erreicht wird, sofern die administrative Grenze am Mittelwert der „Belästigungswolke“ orientiert wird.

### **Erhebliche Belästigung in der Nacht**

Die Ableitung einer erheblichen nächtlichen Belästigung aus sozialpsychologischen Untersuchungen ist mit großen Problemen verbunden. In den Untersuchungen werden in der Regel die nächtliche Belästigung sowie Störungen oder Verhaltensänderungen erfragt.

Da Belästigung aber immer eine bewusste Bewertung der Schallbelastung voraussetzt, wird das Belästigungsurteil retrospektiv durch die Nachtzeiten geprägt, in denen die Betroffenen wach sind. Das Bewusstsein ist im Schlaf weitgehend ausgeschaltet. Auch ist davon auszugehen, dass das Belästigungsurteil für die Nacht von der Tagesbelästigung beeinflusst werden kann. Aus der Schlafmedizin ist bekannt, dass subjektive Angaben über nächtliche Störungen sehr kritisch zu hinterfragen sind, weil viele subjektive Unsicherheiten die Antwort moderieren [Hecht 1989; Hecht et al. 1993; Sobanski et al. 1999]. Mehrwöchig geführte Schlafprotokolle [Hecht 1993], oder geführte Anamnese-Explorationen [Hajak & Rüther 1995] werden in der Schlafdiagnostik den Befragungen zunehmend vorgezogen.

Unabhängig von der Frage, was mit der Angabe einer nächtlichen Belästigung eigentlich skaliert wird, besteht, analog zur Belästigung am Tage, das Problem die nächtliche Belästigung oder mitgeteilte Störungen bzw. Verhaltensänderungen (z.B. Fensterschließverhalten) hinsichtlich der Erheblichkeit zu bewerten. Es muss eine Grenze zwischen einer hinnehmbaren bzw. nicht mehr hinnehmbaren nächtlichen Belästigung, Störung oder Verhaltensänderung definiert werden. Dies bleiben Ortscheid & Wende schuldig und verweisen darauf, dass oberhalb eines nächtlichen  $L_{eq}$  von 45 – 50 dB(A) außerhalb der Gebäude fluglärmbedingte Beeinträchtigungen beobachtet werden bzw. die Betroffenen Schutzmaßnahmen ergreifen [Ortscheid & Wende 2000, S. 27].

Das Qualitätsziel von 45 dB(A) nachts außerhalb der Wohnräume leiten Ortscheid & Wende aus dem 16. BImSchG ab, indem dort vorgegebenen Immissionsgrenzwerte, anhand von quellen-spezifischen Dosis-Wirkungs Beziehungen [Miedema & Vos 1998], auf den Fluglärm übertragen werden. Dies entspricht ihrer Aufgabenstellung einer Harmonisierung der Regelwerke, die Ortscheid & Wende zu bearbeiten hatten. Aus lärmmedizinischer Sicht ist dieses Vorgehen kritisch zu beurteilen, da neue Regelwerke nicht durch bestehende Regelwerke gerechtfertigt werden sollten, sondern am wissenschaftlichen Kenntnisstand der Lärmwirkungsforschung zu orientieren sind.

Die Frage nach einem nächtlichen Immissionsgrenzwert sollte u.E. am ungestörten Schlaf orientiert werden. Der zulässige Dauerschallpegel außerhalb des Gebäudes kann abgeschätzt werden, sofern eine „Schalldämmung“ für das spaltgeöffnete Fenster (Luftaustausch) vorgegeben wird. Zur Zeit gehen Maschke und Hecht von 15 dB aus [VDI 2719].

Wird von einem äquivalenten Dauerschallpegel von 30 dB(A) am Ohr des Schläfers für den ungestörten Schlaf ausgegangen (vgl. [UBA 1982; Maschke & Hecht 1996, ältere Menschen]) so ergibt sich präventivmedizinisch ein Dauerschallpegel von 45 dB(A) außerhalb des Gebäudes, der nicht überschritten werden sollte. Damit kann die Grenze zur erheblichen nächtlichen Belästigung von Ortscheid & Wende auch als Grenze für einen ungestörten Schlaf (älterer Menschen) interpretiert werden und ist in dieser Auslegung präventivmedizinisch sinnvoll.

## **Gesundheitsbeeinträchtigung am Tage**

Zu dem Problem der Gesundheitsbeeinträchtigung am Tage äußert sich u.a. auch der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SVRU) in seinem neuesten Gutachten (1999): „*Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann daher nicht abschließend dazu Stellung genommen werden, ob Umweltlärm bei der Entstehung von ischämischen Herzkrankheiten eine mitverursachende Rolle spielt. Gleichwohl ist der Umweltrat der Meinung, dass die Ergebnisse einen konsistenten Trend aufzeigen. Als Schwellenwert für mögliche lärmbedingte Infarktrisiken gelten Immissionspegel von 65 dB(A) am Tage*“ [SVRU 1999, Abs. 434].

In diese summarische Betrachtung des Umweltrates gingen sowohl Verkehrslärmstudien als auch Fluglärmstudien ein [Babisch 1998]. In den Fluglärmuntersuchungen [Knipschild 1977a, Knipschild 1977b] wurden bei Personen aus Gebieten mit Tagesimmissionspegeln von mehr als ca. 60 dB(A) im Vergleich zu geringer exponierten Prävalenzverhältnisse zwischen 1.0 und 1.9 gefunden, je nachdem, welche IHK-Endpunkte betrachtet wurden. In den Querschnittsstudien zum Straßenverkehrslärm [Eiff et al. 1981, Eiff et al. 1980, Knipschild et al. 1979, Babisch et al. 1993b, Babisch et al. 1994] zeigten sich relative Risiken zwischen 1.1 und 1.4 im Vergleich zwischen Untersuchungspersonen aus Wohngebieten mit Immissionspegeln über 65-70 dB(A) und gering

belasteten. Vereinzelt wurden auch höhere relative Risiken gefunden [Lercher 1992, Schulze et al. 1983].

Die vorliegenden epidemiologischen Ergebnisse lassen keine belastbare quellspezifische Differenzierung zu, doch ist nicht auszuschließen, dass für Fluglärm ein Malus in Betracht gezogen werden muss, wie dies bei der Belästigung der Fall ist (vgl. [Miedema & Vos 1998]). Auch beim Schlaf ist bei gleichem Dauerschallpegel von einer erhöhten Störwirkung durch Fluglärm auszugehen. Maschke & Hecht [1996] ermittelten einen Fluglärmalus in der Größenordnung von 3 dB. Die Forderung, dass fluglärmbedingte Dauerschallpegel am Tage 60 dB(A) unterschreiten sollten, um Gesundheitsrisiken zu vermeiden, lässt sich demzufolge mit einem Fluglärmalus begründen.

## Literatur

- Babisch, W., Ising, H., Elwood, P.C., Sharp, D.S., Bainton, D. (1993b): Traffic noise and cardiovascular risk: The Caerphilly and Speedwell studies, second phase. Risk estimation, prevalence, and incidence of ischemic heart disease. *Arch. Environ. Health* 48, 406-413.
- Babisch, W., Ising, H., Kruppa, B., Wiens, D. (1994): The incidence of myocardial infarction and its relation to road traffic noise: The Berlin case-control studies. *Environment International* 20, 469-474.
- Babisch, W. (1998): Epidemiological studies on cardiovascular effects of traffic noise. In: Prasher D., Luxon L. (eds): *Advances in noise research; Vol. 1, Biological effects of noise*; p 312-325. London: Whurr Publishers Ltd.
- Grandjean, E., A. Gilgen, K. Böttig (1969): Die Fluglärmbelastung. Zitiert nach: [Rohrmann 1978]
- Guski, R. (2000): Stellungnahme zu den medizinischen Gutachten M8 und M9 bezüglich des Ausbaus des Flughafens Schönefeld. Ruhr-Universität Bochum
- Hajak, G. und E. Rütger (1995): *Insomnie – Schlaflosigkeit – Ursachen, Symptomatik und Therapie*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- Hecht K., H.U. Balzer, R. Siems, J. Fietze (1989): Zeitwahrnehmung nach Erwecken aus dem Tiefschlaf in Abhängigkeit vom Blutdruck. *Wiss. Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin, Reihe Medizin* 38/4, 491-493
- Hecht, K. (1993): Schlaf und die Gesundheits-Krankheits-Beziehung unter dem Aspekt des Regulationsbegriffes von Virchow. In: K. Hecht, A. Engfer, J. H. Peter, M. Poppei (Hrsg.): *Schlaf, Gesundheit, Leistungsfähigkeit*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 3-12
- Knipschild, P.V. (1977a): Medical effects of aircraft noise: Community cardiovascular survey. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 40, 185-190.
- Knipschild, P. (1977b): Medical effects of aircraft noise: General practice survey. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 40, 191-196.
- Knipschild, P., Sallé, H. (1979): Road traffic noise and cardiovascular disease, a population study in The Netherlands. *Int. Arch. Occup. Environ. Hlth* 44, 55-59.
- Kryter, K.D. (1982): Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72, 1222-1242.
- Lercher, P. (1992): Transitverkehrs-Studie Teil I. In: Auswirkungen des Straßenverkehrs auf Lebensqualität und Gesundheit. Transitstudie - Sozialmedizinischer Teilbericht. Bericht an den Tiroler Landtag, Oktober 1992. (Major technical report in German). Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck.
- Maschke, C., K. Hecht, H.-W. Balzer (1996): Lärmmedizinisches Gutachten für den Flughafen Hamburg Fuhlsbüttel, Vorfeld II. Technische Universität Berlin
- Miedema, H. M. E. (1993): Response functions for environmental noise in residential areas. Leiden (NL): Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO, NIPG-Publikatienummer 92.021
- Miedema, H.M.E. & Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104, 3432-3445.

- Ortscheid, J., H. Wende (2000): Fluglärmwirkungen. Umweltbundesamt
- Rohrmann, B. et al. (1978): *Fluglärm und seine Wirkungen auf den Menschen*. Verlag Hans Huber
- Schulze, B., Ullmann, R., Mörsstedt, R., Baumbach, W., Halle, S., Liebmann, G., Schnieke, C., Gläser, O. (1983): Verkehrslärm und kardiovaskuläres Risiko: Eine epidemiologische Studie. (In German). Dt. Gesundh.-Wesen 38, 596-600
- Schultz, T.J. (1978): Synthesis of social surveys on noise annoyance. Journal of the Acoustical Society of America 64, 377-405
- Sobanski, R., B. Feige, D. Riemann (1999): Neue Modellvorstellungen zur Ätiologie und Pathophysiologie der psycho-physiologischen Insomnien. Somnologie 3, 247-253
- Tracor Inc (W. K. Connor, H. Patterson) (1972): Community reactions to aircraft noise around smaller city airports; zitiert nach: [Rohrmann 1978]
- UBA (1982): Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 29, S. 13-16
- VDI 2719 (1987-08): Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf
- Von Eiff, A.W.v. , Neus, H. (1980): Verkehrslärm und Hypertonierisiko. 1. Mitteilung. Münch. Med. Wschr. 122, 894-896.
- Von Eiff, A.W., Friedrich, G., Langewitz, W., Neus, H., Rüddel, H., Schirmer, G., Schulte, W. (1981): Verkehrslärm und Hypertonie-Risiko. Hypothalamus-Theorie der essentiellen Hypertonie. 2. Mitteilung. Münch Med. Wschr 123, 420-424.

## Teilnehmerliste

Herr Dr. W. Babisch, Berlin  
Herr Dr. K.-H. Bartels, Neufahrn  
Herr Dr. A. Basner, Köln  
Frau Dr. Bisping-Arnold, Freising  
Herr Dr. I. Curio, Bonn  
Frau Prof. Dr. B. Griefahn, Dortmund  
Herr Prof. Dr. R. Guski, Bochum  
Herr Prof. Dr. K. Hecht, Berlin  
Herr Dr. Hobmair, Tutzing  
Herr Prof. Dr. R. Höger, Bochum  
Herr Dr. H. Ising, DirProf a.D., Falkensee  
Herr Prof. Dr. G. Jansen, Düsseldorf  
Herr Prof. Dr. J. Kastka, Düsseldorf  
Herr Prof. Dr. C. Maschke, Berlin  
Herr Dr. M. Meis, Oldenburg  
Herr PD Dr. F. Raschke, Norderney  
Herr Dr. Rehbach, Neufahrn  
Herr Prof. Dr. K. Scheuch, Dresden  
Herr Prof. Dr. E.-H. Scheuermann  
Herr Prof. Dr. A. Schick, Oldenburg  
Herr Prof. Dr. M. Spreng, Erlangen  
Herr Redakteur M. Thureau, München  
Herr Dr. Ullner, Dorfen  
Herr Prof. Dr. Willich, Berlin

## **Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V.**

- Nr. 1\*: Stooff: Chemische und physikalisch-chemische Fragen der Wasserversorgung
- Nr. 2\*: Meinck: Englisch-deutsche und deutsch-englische Fachausdrücke aus dem Gebiete der Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung
- Nr. 3\*: Kisker: Die Überwachung der Grundstückskläranlagen
- Nr. 4\*: Kolkwitz: Ökologie der Saprobien
- Nr. 5\*: Beger: Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie
- Nr. 6\*: Meinck/Stooff/Weldert/Kohlschütter: Industrie-Abwässer
- Nr. 7\*: Lüdemann: Die Giftwirkung des Mangans auf Fische, Krebse und Fischnährtiere
- Nr. 8\*: Büsscher: Untersuchungen über den Aufwuchs in Wasserbecken und seine Bekämpfung mit Kupfersulfat
- Nr. 9\*: Meinck/Thomaschk: Untersuchungen über den anaeroben Abbau von Viskoseschlamm
- Nr. 10\*: Beyreis/Heller/Bursche: Beiträge zur Außenlufthygiene
- Nr. 11\*: Steinkohlenflugasche
- Nr. 12\*: Bethge/Löbner/Nehls/Kettner/Lahmann: Außenlufthygiene. 1. Folge
- Nr. 13\*: Bethge/Büsscher/Zinkernagel/Löbner: Außenlufthygiene. 2. Folge
- Nr. 14a\*: Kruse: Einheitliche Anforderungen an die Trinkwasserbeschaffenheit und Untersuchungsverfahren in Europa
- Nr. 14b\*: Einheitliche Anforderungen an die Beschaffenheit, Untersuchung und Beurteilung von Trinkwasser in Europa
- Nr. 15\*: Löbner: Ergebnisse von Staubbiederschlagsmessungen an verschiedenen Orten Deutschlands
- Nr. 16\*: Naumann/Heller: Probleme der Verunreinigung von Grund- und Oberflächenwasser durch Mineralöle und Detergentien. Luftverunreinigung und Abhilfemaßnahmen
- Nr. 17\*: Aurand/Delius/Schmier: Bestimmung der mit Niederschlag und Staub dem Boden zugeführten Radioaktivität (Tropfsammelverfahren)
- Nr. 18\*: Naumann: 60 Jahre Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
- Nr. 19\*: Abhandlungen aus dem Arbeitsgebiet des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene

- Nr. 20\*: Sattelmacher: Methämoglobinämie durch Nitrate im Trinkwasser
- Nr. 21\*: Vorträge auf der Jahrestagung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 1963 in Berlin
- Nr. 22\*: Langer/Kettner: Vorträge auf der Jahrestagung des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 1964 in Köln
- Nr. 23\*: Lahmann: Luftverunreinigung in den Vereinigten Staaten von Amerika
- Nr. 24\*: Mauch: Bestimmungsliteratur für Wasserorganismen in mitteleuropäischen Gebieten
- Nr. 25\*: Lahmann/Morgenstern/Grupinski: Schwefeldioxid-Immissionen im Raum Mannheim/Ludwigshafen
- Nr. 26\*: Kempf/Lüdemann/Pflaum: Verschmutzung der Gewässer durch motorischen Betrieb, insbesondere durch Außenbordmotoren
- Nr. 27\*: Neuzeitliche Wasser-, Boden- und Lufthygiene
- Nr. 28\*: Lahmann: Untersuchungen über Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr
- Nr. 29\*: Heller/Kettner: Forschungsarbeiten über Blei in der Luft und in Staubbiederschlägen
- Nr. 30\*: Meteorologie und Lufthygiene
- Nr. 31\*: Die Desinfektion von Trinkwasser
- Nr. 32\*: Rattenbiologie und Rattenbekämpfung
- Nr. 33\*: Beiträge aus dem Gebiet der Umwelthygiene
- Nr. 34\*: Gewässer und Pestizide. 1. Fachgespräch
- Nr. 35\*: Kettner: Geruchsbelästigende Stoffe
- Nr. 36\*: Durchlässigkeit von Lockersedimenten – Methodik und Kritik
- Nr. 37\*: Gewässer und Pflanzenschutzmittel. 2. Fachgespräch
- Nr. 38\*: Umweltschutz und öffentlicher Gesundheitsdienst
- Nr. 39\*: Schadstoff-Normierung der Außenluft in der Sowjetunion – MIK-Werte und Schutzzonen 1972
- Nr. 40\*: Hygienisch-toxikologische Bewertung von Trinkwasserinhaltsstoffen
- Nr. 41\*: Lufthygiene 1974
- Nr. 42\*: Immissionssituation durch den Kraftverkehr in der Bundesrepublik Deutschland
- Nr. 43\*: Schwimmbadhygiene (vgl. Nr. 58)
- Nr. 44\*: Zur Diskussion über das Abwasserabgabengesetz
- Nr. 45\*: Siedlungshygiene und Stadtplanung
- Nr. 46\*: Gewässer und Pflanzenschutzmittel. 3. Fachgespräch
- Nr. 47\*: Dulson: Organisch-chemische Fremdstoffe in atmosphärischer Luft

Nr. 48*:	Chemisch-ökologische Untersuchungen über die Eutrophierung Berliner Gewässer unter besonderer Berücksichtigung der Phosphate und Borate	
Nr. 49*:	Lahmann/Prescher: Luftverunreinigungen in der Umgebung von Flughäfen	
Nr. 50*:	Oetting: Hydrogeochemische Laboruntersuchungen an Bergmaterialien und einer Hochofenschlacke	
Nr. 51*:	Gewässer und Pflanzenbehandlungsmittel IV. 4. Fachgespräch	
Nr. 52*:	Aktuelle Fragen der Umwelthygiene	
Nr. 53*:	Luftqualität in Innenräumen	
Nr. 54*:	Limnologische Beurteilungsgrundlagen der Wassergüte (Kolkwitz-Symposium)	
Nr. 55*:	Atri: Schwermetalle und Wasserpflanzen	
Nr. 56*:	Zellstoffabwasser und Umwelt	
Nr. 57*:	Gewässerschutz – Abwassergrenzwerte, Bioteste, Maßnahmen	
Nr. 58*:	Schwimmbadhygiene II	
Nr. 59*:	Lufthygiene 1984	
Nr. 60*:	Atri: Chlorierte Kohlenwasserstoffe in der Umwelt I	
Nr. 61*:	Figge/Klahn/Koch: Chemische Stoffe in Ökosystemen	
Nr. 62*:	Chemical Water and Wastewater Treatment	
Nr. 63*:	Humanökologie – Umwelt, Innenraum- und Siedlungshygiene	
Nr. 64*:	Boden- und Grundwasserschutz	
Nr. 65*:	Umwelthygiene für Ärzte und Naturwissenschaftler	
Nr. 66*:	Atri: Chlorierte Kohlenwasserstoffe in der Umwelt II .....	65,00 DM
	ISBN 3-932816-00-5	32,50 EU
Nr. 67*:	Luftverunreinigung durch Kraftfahrzeuge .....	48,00 DM
	ISBN 3-933816-01-3	24,00 EU
Nr. 68*:	Grundwasserbeeinflussung durch Pflanzenschutzmittel	
Nr. 69*:	Smogepisoden .....	58,00 DM
	ISBN 3-932816-02-1	29,00 EU
Nr. 70*:	Atri: Chlorierte Kohlenwasserstoffe in der Umwelt IV.....	76,00 DM
	ISBN 3-932816-03-X	38,00 EU
Nr. 71*:	Haaranalyse in der Medizin und Umwelt .....	48,00 DM
	ISBN 3-932816-04-8	24,00 EU
Nr. 72*:	Legionellen	
Nr. 73*:	Atri: Nickel – Elemente in der aquatischen Umwelt I .....	54,00 DM
	ISBN 3-932816-05-6	27,00 EU
Nr. 74*:	Schwermetalle in der Umwelt (1987) .....	54,00 DM
	ISBN 3-932816-06-4	27,00 EU
Nr. 75*:	Atri: Arsen – Elemente in der aquatischen Umwelt II (1987)	44,00 DM
	ISBN 3-932816-07-2	22,00 EU

Nr. 76*:	Grenzwerte und Risikobetrachtungen in der Umwelthygiene (1987)	
Nr. 77*:	Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung	
Nr. 78:	Viren und Plasmide in der Umwelt (1988) .....	58,00 DM
	ISBN 3-932816-08-0	29,00 EU
Nr. 79*:	Pflanzenschutzmittel und Grundwasser	
Nr. 80:	Biotechnologische In-situ Sanierung kontaminierter Standorte (1988) .....	58,00 DM
	ISBN 3-932816-09-9	29,00 EU
Nr. 81:	Zusatzstoffe für Trinkwasser (1989) .....	48,00 DM
	ISBN 3-932816-10-2	24,00 EU
Nr. 82:	Halogenkohlenwasserstoffe in Wasser und Boden (1990) .....	46,00 DM
	ISBN 3-932816-11-0	23,00 EU
Nr. 83:	Bartel/Bartocha/Grohmann/Seidel: Warmsprudelbecken (1990)	56,00 DM
	ISBN 3-932816-12-9	28,00 EU
Nr. 84:	Nerger: Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (1990) .....	45,00 DM
	ISBN 3-932816-13-7	22,50 EU
Nr. 85:	Marschner: Phytotoxizitätsuntersuchungen an Wildkräutern und einer Kulturpflanze (1992) .....	46,00 DM
	ISBN 3-932816-14-5	23,00 EU
Nr. 86:	Atri/Mezger: Zink – Elemente in der aquatischen Umwelt III (1992) .....	50,00 DM
	ISBN 3-932816-15-3	25,00 EU
Nr. 87:	Hazard: Information und Beteiligung bei Gesundheitsrisiken am Beispiel eines Radonmeßprogramms (1993) .....	35,00 DM
	ISBN 3-932816-16-1	17,50 EU
Nr. 88:	Lärm und Krankheit – Noise and Disease (1993) .....	70,00 DM
	ISBN 3-932816-17-X	35,00 EU
Nr. 89:	Steinhäuser, K.G.; Hansen, P.-D.: Biologische Testverfahren (1993) .....	82,00 DM
	ISBN 3-932816-18-8	41,00 EU
Nr. 90:	Boden- und Grundwasserverunreinigungen aus Punkt- und Flächenquellen (1993) .....	40,00 DM
	ISBN 3-932816-19-6	20,00 EU
Nr. 91:	Legionellen II (1993) .....	42,00 DM
	ISBN 3-932816-20-X	21,00 EU
Nr. 92:	Müller-Wegener u.a.: Pflanzenschutzmittelauswirkungen auf Trinkwassertalsperren (1994) .....	52,00 DM
	ISBN 3-932816-21-8	26,00 EU
Nr. 93:	Biomonitore in der Gewässerüberwachung (1994) .....	50,00 DM
	ISBN 3-932816-22-6	25,00 EU
Nr. 94:	Dunkelberg/Edenharder: Toxikologie und trinkwasserhygienische Bewertung von Pflanzenbehandlungsmitteln (1994)...	35,00 DM
	ISBN 3-932816-23-4	17,50 DM
Nr. 95:	Arbeiten aus dem Gebiet der Wasser-, Boden- und Lufthygiene (1995) .....	27,00 DM
	ISBN 3-932816-24-2	13,50 EU

Nr. 96:	Maschke u.a.: Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner (1995) ISBN 3-932816-25-0	36,00 DM 18,00 EU
Nr. 97:	Poustka/Schmeck: Gesundheitsschäden bei Kindern durch Tiefflüge und andere Umwelteinflüsse (1996) ..... ISBN 3-932816-26-9	39,00 DM 19,50 EU
Nr. 98:	Schewe/Kerndorff/Kühn: Mineralölwasserstoffe als Grundwasserkontaminanten (1996) ..... ISBN 3-932816-27-7	33,00 DM 16,50 EU
Nr. 99:	Hanel: Schuljugend und laute Musik (1996) ..... ISBN 3-932816-28-5	38,00 DM 19,00 EU
Nr. 100:	Transport- und Abbauverhalten von Pflanzenschutzmitteln im Sicker- und Grundwasser (1997) ..... ISBN 3-932816-29-3	72,00 DM 36,00 EU
Nr. 101:	Aurand/Rühle: Radon und Trinkwasser (1997) ..... ISBN 3-932816-30-7	42,00 DM 21,00 EU
Nr. 102:	Grohmann: Trinkwasseranalyse: Qualifikation, Datenerfassung und Darstellung (1998) ..... ISBN 3-932816-31-5	40,00 DM 20,00 EU
Nr. 103:	Fischer: Beiträge zur umwelthygienischen Standardsetzung (1999) ..... ISBN 3-932816-32-3	32,00 DM 16,00 EU
Nr. 104:	Eikmann, Th.; Hofmann, R.: Stand von Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und -verwertung. Tagungsband zur Tagung vom 30.8. bis 1.9.1999 in Langen (1999) ..... ISBN 3-932816-33-1	69,00 DM 34,50 EU
Nr. 105:	Chorus, Ringelband, Schlag, Schmoll: Walter, Sanitation and Health, Proceedings of the International Conference held in Bad Elster, Germany, 24.-28.11.1998 (2000) ..... ISBN 3-932816-34-X	65,00 DM 32,50 EU
Nr. 106:	Lange-Asschenfeldt, Chorus, Mücke: Umwelthygiene – Standortbestimmung und Wege in die Zukunft. Tagungsband zur Tagung am 9./10.6.1999 in Berlin (2000) ISBN 3-932816-35-8	32,00 DM 16,00 EU
Nr. 107:	Fischer, Kerndorff, Kühn: Die branchenspezifische Ermittlung von Phenolen und Abschätzung ihrer Grundwassergängigkeit ..... ISBN 3-932816-36-6	25,00 DM 12,50 EU
Nr. 108:	Grohmann: Trinkwasserhygiene – ein weltweites Problem – Drinking Water Hygiene a global problem. Tagungsband des Symposiums vom 24.10.2000, deutsch, englisch, russisch; Berlin (2000) ..... ISBN 3-932816-37-4	25,00 DM 12,50 EU
Nr. 109:	Ising: Nächtlicher Straßenverkehrslärm und Streßhormonausscheidung beim Menschen – Acute and chronic endocrine effects of noise (2001) ..... ISBN 3-932816-38-2	25,00 DM 12,50 EU

- |          |  |                      |
|----------|--|----------------------|
| Nr. 110: | Eiteneyer, Helmut; u.a.<br>100 Jahre Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V.,<br>Festschrift, Berlin (2001) .....  | 30,00 DM<br>15,00 EU |
| Nr. 111: | Bartels, Karl-Hermann; Ising, Hartmut<br>Nachtfluglärmproblematik<br>Ergebnisse des Workshops in Neufahrn im Juni 2001,<br>Veranstalter: Ärzte für vorbeugende Umweltmedizin e.V. .... | 25,00 DM<br>12,50 EU |
|          | ISBN 3-932816-39-0   |                      |
|          | ISBN 3-932816-40-4   |                      |

Informationen unter [www.wabolu.de](http://www.wabolu.de)

Mit \* gekennzeichnete Nummern sind vergriffen.

