

Fluglärm 2004

Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt

Prof. Dr. Rainer Guski, Bochum

Dir. und Prof. i. R. Dr. Hartmut Ising, Falkensee

Prof. Dr. Dr. Gerd Jansen, Heiligenhaus

Prof. Dr. Peter Költzsch, Dresden

Prof. Dr. Klaus Scheuch, Dresden

Prof. Dr. August Schick, Oldenburg

Prof. Dr. Wolfgang Schöpflug, Berlin

Prof. Dr. Manfred Spreng, Erlangen

Berlin, September 2004

Inhalt

Vorwort

Kapitel 1	Mess- und Beurteilungsverfahren
Kapitel 2	Bewertung von Schallschutzmaßnahmen
Kapitel 3	Bestehende und neue bzw. wesentlich geänderte Flugplätze
Kapitel 4	Schutzbedürftige Personen und Einrichtungen
Kapitel 5	Belästigung
Kapitel 6	Kommunikation
Kapitel 7	Arbeit
Kapitel 8	Schlaf
Kapitel 9	Erholung und Rekreation
Kapitel 10	Erkrankungen
Kapitel 11	Kognitive Entwicklung
Kapitel 12	Soziale und ökonomische Auswirkungen

Frühere gutachterliche Stellungnahmen des Arbeitskreises

Vorwort

Fluglärm ist eine Folge des zivilen und militärischen Flugbetriebs. Für die Bevölkerung stellt er einen Risikofaktor dar. Deshalb sucht ihn das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm der Bundesrepublik Deutschland zu begrenzen. Eine Initiative zur Änderung des bestehenden Gesetzes gegen Fluglärm hat 1998 der Ausschuss für Verkehr des Deutschen Bundestages mit seiner Empfehlung gegeben, den Schutz vor Fluglärm zu verbessern sowie die Beurteilung von Fluglärm der Beurteilung anderer Arten von Verkehrslärm anzupassen. Die neue Gesetzgebung soll dem Erkenntnisstand der wissenschaftlichen Forschung entsprechen. Diesen Erkenntnisstand knapp und übersichtlich darzustellen, ist das Ziel der folgenden Stellungnahme.

Acht Abschnitte sind den wichtigsten Wirkungsbereichen gewidmet:

- Belästigung
- Kommunikation
- Arbeit
- Schlaf
- Erholung
- Erkrankungen
- Kognitive Entwicklung
- Soziale und ökonomische Auswirkungen.

Vorangestellt sind vier weitere Abschnitte zu bereichsübergreifenden Fragen:

- Messung und Bewertung von Schall
- Bewertung von Schallschutz
- Bestehende und neue bzw. wesentlich geänderte Flugplätze
- Schutzbedürftige Personen und Einrichtungen.

Die einzelnen Wirkungsbereichen gewidmeten Abschnitte beschreiben körperliche, psychische oder soziale Funktionen der Lärmimmission, denen eine Gefährdung, Belästigung und Benachteiligung zuzuschreiben ist (Wirkungsmechanismen). Soweit der gegenwärtige Forschungsstand dies zulässt, werden Beziehungen zwischen dem Grad der Gefährdung und Belästigung einerseits und Parametern der Lärmimmission andererseits angegeben (Dosis-Wirkungsbeziehungen).

Die Stellungnahme ist ein Beitrag zur Risikoabschätzung, nicht zur Risikobekämpfung. Sie hat insbesondere nicht die Form eines kommentierten Gesetzesentwurfs und enthält keine

ausdrücklichen Empfehlungen für die Festlegung von Höchstwerten der Schallimmission, zu deren Einhaltung administrative oder andere Maßnahmen vorzusehen sind. Die Festlegung von zulässigen Höchstwerten der Schallimmission und -emission sowie der Maßnahmen zur Einhaltung solcher Werte ist vielmehr eine politische Aufgabe. Sie verlangt die Abwägung zwischen der Schädlichkeit und Lästigkeit des Fluglärms, dem Nutzen des Flugbetriebs sowie den Kosten des Schallschutzes. Nutzen-/Kostenschätzungen und -vergleiche sind jedoch in diese Stellungnahme nicht eingegangen. Das gleiche gilt für Planungswerte noch zu genehmigender Flugplätze.

Die anstehenden politischen Aufgaben haben die Verfasser erörtert und in Entwürfen durchaus kritische Werte genannt und begründet. Praktisch bedeutsame und wissenschaftlich begründete Aussagen über die Wirkungen von Fluglärm sind durch mindestens drei Umstände erschwert. Erstens sind aus Praxis und Lärmforschung Risiken bekannt, die noch nicht in wissenschaftlich zureichender Weise unter Verwendung von Fluglärm untersucht sind. Zweitens sind Schallwirkungen recht variabel; dies ist einerseits Unterschieden zwischen betroffenen Individuen zuzuschreiben, andererseits Unterschieden in ihrer Tätigkeit, ihrer sozialen Einbettung u.Ä.. Drittens, es gibt keine eindeutigen Kriterien der Schutzbedürftigkeit; insbesondere sind die Begriffe der Gesundheit und der erheblichen Belästigung unscharf. Diesen Schwierigkeiten sucht die vorliegende Stellungnahme zu begegnen. Zum Ersten: Die Lückenhaftigkeit von Studien zur Wirkung von Fluglärm ist teilweise auszugleichen durch Heranziehung von Studien über andere Arten von Verkehrslärm oder weitere Arten von Schall. Es liegt hier im wissenschaftlichen Ermessen zu beurteilen, wie weit eine Vergleichbarkeit von Fluglärm und anderen Lärmarten gegeben ist und wie weit nachgewiesene Wirkungen anderer Lärmarten auch bei Fluglärm anzunehmen sind. Zweitens, die Streubreite von Schallwirkungen in der Bevölkerung wird - so weit gegenwärtig abzuschätzen - in der Stellungnahme ausdrücklich aufgeführt; wo möglich, werden auch die für die Entstehung der Streuung maßgeblichen individuellen und situativen Bedingungen behandelt. Drittens, es wird Übereinstimmung vorausgesetzt, dass sich die vom Immissionsschutzgesetz intendierten Schutzziele innerhalb der behandelten Wirkungsbereiche befinden. Indem die Stellungnahme Aussagen über nachweisbare Risiken innerhalb dieser Wirkungsbereiche trifft, schafft sie eine Grundlage für politische Entscheidungen zum Schutz dieser Bereiche.

Verfasst worden ist die vorliegende Stellungnahme vom Interdisziplinären Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt, Berlin. Dem Arbeitskreis gehören

Lärmforscher aus der Medizin, der Psychologie, den Ingenieur- und Naturwissenschaften an. Gemäß ihrer fachlichen Expertise haben jeweils Autorengruppen die Federführung für einzelne Abschnitte übernommen. Die Namen der federführenden Autoren sind bei den einzelnen Abschnitten vermerkt.

Mit dieser Stellungnahme beendet der Interdisziplinäre Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen seine Tätigkeit.

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Schöpflug

(Vorsitzender des Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen)

Kapitel 1 Mess- und Beurteilungsverfahren

Manfred Spreng und Peter Költzsch

Schall ist eine Energieform, die als mechanische Schwingung im hörbaren Frequenzbereich vorliegt. Bei Schallen unterscheidet man Töne, Klänge und Geräusche. Ein Ton ist physikalisch durch seine Amplitude, seine Frequenz und seine Phase charakterisiert. Die Schallenergie eines Tones löst im Gehörssystem körpereigene Erregungen aus, die vielfältige direkte physiologische Reaktionen und Informationsverarbeitungsprozesse anstoßen und nach komplexer Verarbeitung auch bewusste Empfindungen bewirken. Amplitude und Frequenz entsprechen in der Empfindung Lautheit und Tonhöhe; die Phase wird i.A. nicht wahrgenommen. Klänge sind aus mehreren Tönen zusammengesetzt; bei Geräuschen sind die Schallfrequenzen statistisch verteilt. Je nach Amplitude (Intensität), Frequenzzusammensetzung und Modulation bzw. Modulationssgeschwindigkeit beider (Schalldynamik bzw. -fluktuation) werden Schalle in der Empfindung als Lärm bewertet.

Als einfaches Maß dient der Schalldruckpegel in Dezibel (dB). Er wird mit hilfsweise eingeführten subjektiv zu schätzenden Zuschlagswerten als Beurteilungspegel zur groben Charakterisierung von Lärmbelastungen angewandt.

Derzeitige Mess- und Bewertungsverfahren, welche die Wirkungen des Lärms auf den Menschen widerspiegeln sollen, sind dazu nur eingeschränkt in der Lage. Das Sinnesorgansystem Gehör (Innenohr bis Assoziationszentren des Gehirns) - hinsichtlich des Schwellenenergiebedarfs zehnmal empfindlicher als das Auge - zeichnet sich nämlich besonders dadurch aus, dass es

- primär als orientierendes (Richtungshören) und akut warnendes bzw. sprachstrukturerkennendes und analysierendes Zeitsinnesorgan arbeitet, welches auf relativ schnelle Pegel- und Frequenzänderungen einwirkender Geräusche spezialisiert ist, und weniger der Diskrimination eingeschwungener Frequenzen bzw. der Bewertung quasi-stationärer Intensitäten dient,
- Pegelschwankungen bzw. Pegelspitzen fluktuierender Geräusche, aber auch Intensitäten von Dauergeräuschen weitgehend akut und situationsbedingt erfasst, mit vegetativen Reaktionen verknüpft und keinesfalls längerfristig Erregungen mittelnd bewertet und
- neben der kurzfristigen Erfassung der Intensität (Lautheit) und der Zeitlichkeit auch Örtlichkeit (Lokalisation) und Qualität (Bedeutungsinhalte) erfasst.

Andererseits werden die akustischen Ereignisse zusammen mit früheren Erfahrungen und Erwartungen kognitiv bewertet, was sich insbesondere in retrospektiven Aussagen von Lärmbetroffenen über die Wirkung von Schallsituationen und Lärmquellen hinsichtlich Lautheit, Störung und Belästigung äußert. Bei diesen Urteilen können sowohl besonders prägnante laute Schallereignisse, das Vorhandensein von Pausen, die Anzahl wiederholt hörbarer Schalle, die Häufigkeit und Dauer von Pausen, die gewichtete Schallintensität, das Auftreten bestimmter Schalle zu bestimmten Zeiten, der Vergleich der gegenwärtigen Schallsituation mit früheren, als auch die Erwartung der Betroffenen über die zukünftige Schallbelastung eine wichtige Rolle spielen.

Die derzeit zur Beurteilung von Lärmsituationen verwendeten Kriterien, wie Zeitbewertung 'SLOW' (s.u.), Frequenzbewertung anhand der A-Kurve (s.u.) und Mittelungspegel über mehrere Stunden (s.u.), können die perzeptive Funktion des Gehörs insbesondere bei höheren Intensitäten nur unzulänglich beschreiben. Andererseits zeigen die als Korrelat bisher weitgehend nur vorliegenden zeitlich integrierten Mittelungspegel relativ hohe Zusammenhänge zu Störungs- und Belästigungsurteilen. Ein weiterer Grund für die derzeitige Verwendung solcher vereinfachender Messverfahren liegt in der damit gewonnenen Vergleichbarkeit und leichten Erfassbarkeit.

Mittelungspegel und „Anleitung zur Berechnung“ (AzB)

An dieser Stelle ist eindringlich darauf hinzuweisen, dass das menschliche Schallverarbeitungssystem grundsätzlich nicht Mittelungspegel, sondern akut stets Maximalpegel in Erregungen umsetzt und weitgehend auch in der Wahrnehmung als einwirkenden Lärm bewertet. Daran ändert auch die einfache und allgemein anerkannte Messmethodik ebenso wenig wie die relativ gute Korrelation eines Mittelungspegels mit späteren gemittelten Befragungsergebnissen hinsichtlich Belästigungsgrad größerer Populationen. Vielmehr ist aufgrund der Mittelung auf der Ursachenseite als auch auf der (Belästigungs-) Wirkungsseite diese gute Korrelation wohl zu erwarten. Auf der anderen Seite ist es die Erinnerung an besonders prägnante Schallereignisse und auch diejenige an auffallend ruhige Phasen, die im Bewusstsein der Betroffenen über längere Zeiträume gespeichert bleiben dürfte.

Auf der Basis von Mittelungspegeln ist den Betroffenen also nicht zu vermitteln, dass z.B. zu einem Überflug pro Stunde mit 90 dB(A) problemlos in dieser Zeit ca. 200 PKW ohne ganzzahlige Erhöhung des Mittelungspegels zusätzlich erduldet werden müssen bzw. die

Reduktion von nächtlichen Kfz-Vorbeifahrten eine gesteigerte Aktivität des Schienenverkehrs erlaubt, da ja ein Mittelungspegelgrenzwert nicht überschritten wird.

Demzufolge liegt derzeit mit einer bedauerlicherweise nahezu ausschließlichen Pegelfixation und der Verwendung von nicht gehörrichtigen künstlichen Mittelungspegeln ein nicht wirkungsgerechtes Mess- bzw. Bewertungsverfahren insbesondere für vegetative, aber möglicherweise auch nicht für belästigende Lärmwirkungen vor, da z.B. qualitative Aspekte nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Es werden also nicht nur Dauergeräusche, sondern auch mehr oder weniger stark fluktuierende Geräusche längerer Einwirkdauer gern vereinfachend durch sog. äquivalente Dauerschallpegel abgebildet, wobei die Flächen unter den jeweiligen Pegel-Zeitverläufen logarithmisch zu einer Rechteckfläche mit der dann resultierenden Höhe eines 'Äquivalenzpegels' nivelliert werden. Der äquivalente Dauerschallpegel eines Geräusches errechnet sich nach:

$$L_{\text{eq},q} = x \lg \left(\frac{t \cdot 10^{\frac{L}{10}}}{T} \right) \text{ dB} = L + \frac{q}{\lg 2} \lg \left(\frac{t}{T} \right) \text{ dB}$$

wobei t = Geräuschkdauer, T = Beurteilungszeit, L = Schalldruckpegel, q = Äquivalenzparameter ($x \cdot \lg 2$). Der Wert x gibt an, welche Erhöhung des Schallpegels einer Verdopplung seiner Dauer entspricht; so ergibt sich für $q=3$ der Wert x zu $3/0.3 = 10$. Beim energieäquivalenten Dauerschallpegel oder auch Mittelungspegel L_{eq} ist $q = 3$ (3 dB Pegelerhöhung entspricht damit einer Verdopplung der Einwirkdauer).

Fluglärm wurde bisher - im Gegensatz zu anderen Lärmarten - mit $q = 4$ bewertet, wodurch abhängig von Überflugdauer, Überflugzahl, Flugplatzentfernung usw. im Vergleich zu $q = 3$ unterschiedliche Mittelungspegel resultierten. Abweichungen können aufgrund der unterschiedlichen Berücksichtigung der Dauer des Flugereignisses (s.u.) dabei in beide Richtungen erfolgen.

Es sollte insbesondere im Hinblick auf die Bewertung kombinierter Quellen beim Fluglärm der Halbierungsparameter $q = 3$ eingeführt werden, so dass beispielsweise auch die bisher zu gering (bis zu 4 dB) bewerteten Kleinflugplätze mit zwar wenigen, aber besonders an Wochenenden und in der Feierabendzeit stetig zunehmenden, niedrig kreisenden und stark belästigenden Privatflugzeugen angemessen einbezogen werden.

Ein gewisses Problem liegt in der wirkungsgerechten Festlegung der einzelnen Geräuschkauern (Überflugdauern) t_i , falls stark fluktuierende bzw. impulsartig aus dem Hintergrundgeräusch auftauchende Geräusche innerhalb der Beurteilungszeit auftreten.

Nach der AzB (s. u.) wird die sog. 10 dB-Abfallzeit bei Flugereignissen (t_{10}) verwendet. Das ist die Zeitdauer, innerhalb der der Maximalpegel um weniger als 10 dB unterschritten ist. Als Pegel wird in dieser Zeit der L_{\max} berücksichtigt, der für die gesamte Zeit als konstant angenommen wird (Rechteck über der 10 dB Abfallzeit). Bei Verwendung des Äquivalenzparameters $q = 3$ (wie z.B. in der Norm DIN 45643 beschrieben), entsprechend der internationalen Norm ISO 3891, führt die Integration über die 10 dB-Abfallzeit annähernd zu einer Dreiecksfläche. Dies wird häufig so interpretiert, als ob die effektive Dauer des Flugereignisses nur halb so lang ist ($t_{10}/2$).

Die Berechnungen von Lärmimmissionen erfolgen nach der "Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen - AzB" [1975, 1984, Entwurf 1999]. Ihr liegen Flugzeuggruppeneinteilungen zu Grunde, die trotz Ergänzung [AzB 1984] veraltet und für eine Beschreibung der aktuellen Situation nicht mehr geeignet sind. Der Entwurf aus dem Jahr 1999 wurde in einer ad-hoc-Arbeitsgruppe der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) unter Beteiligung des Umweltbundesamtes erarbeitet. Er beruht auf einem Forschungsbericht des damaligen Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung, Göttingen, und beschreibt die Eigenschaften der heute und in den nächsten 10-15 Jahren am Luftverkehr teilnehmenden Flugzeugmuster in adäquater Weise; er sollte daher auch für die lärmmedizinische Beurteilung herangezogen werden [AzB 99].

Maximalpegelkriterien

Aus medizinisch-physiologischer Sicht ist es unabdingbar, dass sich zumindest die Wertung nächtlicher Lärmwirkungen in erster Linie auf Maximalpegelkriterien stützt. Denn ein einzelnes lautes Schallereignis, welches am Tage z.B. die Belästigungsempfindung nicht nennenswert beeinflussen mag, kann in der Nacht zu zusätzlichem Aufwachen führen; die Wahrscheinlichkeit, aufgeweckt zu werden, sollte jedoch aus präventivmedizinischer Sicht minimiert werden. Andererseits sind die subkortikalen Bereiche des Gehörs auch während des Schlafes voll funktionsfähig (Warnsinnesorgan), so dass durch einzelne Pegelspitzen ohne Aufwachen hervorgerufene unbewusste Aktivierungen mit entsprechender Stresshormonausschüttung ebenfalls nicht außer Betracht bleiben dürfen und nur durch Maximalpegelkriterien eingrenzbar sind. Demzufolge sind nächtliche Lärmkonturen

grundsätzlich durch Maximalpegelkriterien zu bestimmen, die letztlich als Anzahl und Pegel (Maximalpegel-Häufigkeits-Paare: MHP-Werte bzw. MHP-Kurve), also in Form von Deckelungswerten festgelegt sein müssen bzw. sollten.

Bisher sind z.B. für Lärmkonturberechnungen stets die existierenden Maximalpegelkriterien als NAT-Werte (Number Above Threshold) angenommen worden, wobei zwar die begrenzende Anzahl berücksichtigt, aber keinerlei Angabe über das Ausmaß der erlaubten Überschreitung des angegebenen Maximalpegelwertes vorlag. Sie stehen zum Teil zahlenmäßig mit älteren Verfahrensweisen in Übereinstimmung, sind jedoch unter neueren Gesichtspunkten anzuwenden. Bei der Bewertung in konkreten Situationen sind deshalb Maximalpegel als absolute Grenze im Zusammenhang mit weiteren Belastungen zu berücksichtigen.

Werden derartige Maximalpegelkriterien als Maximalpegel-Häufigkeits-Paare (MPH-Werte) festgelegt, so besteht die Gefahr, dass unterhalb dieser Kriterien theoretisch beliebig viele Flüge mit (knapp) geringeren Maximalpegeln sich ereignen dürften. Derartiges würde dazu führen, dass bei normalem, kurzem Aufwachen (im Mittel ca. 18 mal pro Nacht) oder durch ein lärminduziertes, zusätzliches Aufwachen ein Wiedereinschlafen durch eine große Zahl weiterer leiserer Flüge, die dann bewusst wahrgenommen werden, erschwert werden würde. Damit wäre eine deutliche Reduktion der Gesamtschlafzeit verbunden, die wiederum als bedenklich eingestuft werden muss. Um das Verhindern oder Verlängern des Wiedereinschlafens infolge einer zu großen Anzahl zusätzlicher leiserer nächtlicher Überflüge innerhalb der durch die Maximalpegelkriterien bestimmten Lärmkonturen zu begrenzen, sollten bestimmte, nicht zu überschreitende L_{eq} -Werte, in die ja sämtliche Flüge eingehen, als sekundäres Schutzziel (auch für die Durchführung von Schallschutzmaßnahmen) festgelegt werden.

Zeitbewertung FAST anstelle bisheriger SLOW-Bewertung

Infolge der sehr kurzen mechanischen Einschwingzeiten des Mittelohres (30 μ s) und des Innenohres (0,3 - 3 ms) gibt nicht die SLOW-Bewertung, sondern allenfalls die FAST- bzw. IMPULS-Bewertung angenähert die Leistungsfähigkeit und damit auch die Reagibilität des Gehörs sowie das Schädigungspotential des Ohres verwertbar wieder. Das heißt, dass in Fällen deutlich impulsartiger Schalleinwirkung (z.B. auch bei hochdynamischem Fluglärm, wie er bei niedrigen Überflughöhen und insbesondere bei Militärmaschinen auftritt) eine FAST-Bewertung angeraten ist. Bei Überflügen in Flugplatznähe ergibt diese im Mittel eine

Erhöhung der Maximalpegel um ca. 1,3 dB [Spreng 2003 b], in Einzelfällen (generell bei Militärjets) bis zu 3 dB.

Schallimmissionen von tieffliegenden militärischen Strahlflugzeugen unterscheiden sich deutlich von Immissionen, welche von zivilen Verkehrsflugzeugen verursacht werden. Sie weisen extrem hohe Spitzenpegel, beachtliche hohe Anstiegssteilheiten, gehörcritische Frequenzzusammensetzungen, häufigere Pegelnachschwankungen, gelegentlich dichte Rotten- bzw. Formationsflüge auf. Stets unvorhersehbar aus relativer Ruhe auftauchend sind sie in ihrer Wirkung auf den Organismus mit anderen Umweltschallen nicht, allenfalls nur sehr bedingt vergleichbar.

Frequenzbewertung

Da das Hörempfinden frequenzabhängig ist, werden in die Schallpegelmessgeräte Filter eingebaut bzw. einprogrammiert, die mit A, B und C bezeichnet werden. Der so erhaltene Messwert, z.B. dB(A), bedeutet, dass niedrigere und höhere Frequenzen, die vom menschlichen Ohr schlechter wahrgenommen werden, anders als Frequenzen im mittleren hörbaren Frequenzbereich bewertet werden. Bei zwei energetisch gleichen Geräuschen, die in einem Falle im niederfrequenten Bereich und im anderen Falle im Hochfrequenzbereich die höchsten Lautstärkewerte aufweisen, ergeben sich bei Anwendung der A-Kurve deshalb unterschiedliche Werte. Hinsichtlich des Lautheitsempfindens ist die A-Kurve für leise, schwelennahe Geräusche repräsentativ, die B-Kurve für mittellaute und die C-Kurve für laute Geräusche. Aus medizinischer Sicht gilt das dB(A) bisher als ein annähernd empfindungsadäquates Beurteilungskriterium. Dagegen gilt es nicht als lautstärke- oder gehörrichtiges Maß für mittellaute oder sehr laute Belastungen. Je höher die Lautstärke ist, desto geringer ist die Frequenzabhängigkeit. Vor allem die Lästigkeitsempfindung wird durch die A-Bewertung für die mittellauten Geräusche besser beschrieben als durch die Bewertung mit den Filtern B und C. Deshalb sind derzeit sowohl national als auch international die Lärm-Werte in der A-Bewertung angegeben.

Was für die Belästigung Gültigkeit besitzt, muss nicht unbedingt für vegetative Lärmwirkungen in gleicher Weise gelten. Da die A-Bewertung im Messwert die deutlichste Frequenzkorrektur widerspiegelt, werden durch technische Veränderungen (z.B. Dämpfungsmaßnahmen) erzielte Energieverschiebungen in den niedrigeren Frequenzbereich auch geringere Pegelanzeigen liefern. Trotzdem wirkt ein Großteil der Energie nach wie vor auf den Organismus ein. Außerdem werden grundsätzlich tiefere Frequenzanteile von

Schallen durch Schallschutzmaßnahmen weniger gedämmt als höherfrequente, so dass auch die Beurteilung dieser anhand der A-Kurve zu Fehl- bzw. Überinterpretationen führen kann. Deshalb ist - auch aus medizinischer Sicht - zumindest an kritischen Immissionspunkten eine vergleichende C-Bewertung (Flugzeug- und LKW-Geräusche, Beurteilung von Lärmschutzwänden etc.) angeraten, um in Zukunft nach einer umfangreichen Validierung eine wirkungsgerechtere Beurteilung zu erlauben.

Berücksichtigung der Schalldynamik

Infolge der bereits erwähnten, sehr kurzen mechanischen Einschwingzeiten des Mittelohres (30 μ s) und des Innenohres (0,3 - 3 ms) spielen die Anstiegszeiten bzw. die Anstiegssteilheiten von Schallflanken zusätzlich eine wichtige Rolle [Spreng 1980, Spreng et al. 1988].

Insbesondere das Proportional-Differentialverhalten der Sinneszellen und damit eine Überbetonung der Reizdynamik ist zu berücksichtigen, denn 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. Diese Anstiegodynamik kann auch bei niedrig fliegenden Flugzeugen mit 4 – 15 dB/s gegenüber anderen Lärmarten bemerkenswert hoch sein. Beachtenswert sind überdies schnelle nervöse Verarbeitungsbahnen, welche Stammhirnteile schon nach 5 ms bzw. 7 ms aktivieren. Bei Anstiegssteilheiten um 15 dB/s lässt sich beispielweise zeigen, dass die zentralnervösen Erregungsgrößen um den Faktor 1,5 größer sind und bei 10-fach höherer Anstiegssteilheit bis um den Faktor 4 höher liegen können [Spreng 1997].

Bisher wird bei der Beurteilung von Umweltlärm die Schalldynamik nicht oder allenfalls indirekt über die Frequenzzusammensetzung einbezogen, obwohl bei den durch prägnante Emergenz gekennzeichneten intermittierenden Geräuschen, bei denen durch mehr oder weniger lange Pausen deutlich voneinander getrennte Schallereignisse wenig vorhersagbar einwirken, die Anstiegssteilheiten eine gewisse Rolle bei psychosozialen und bei vegetativen Lärmwirkungen (z.B. Erschrecken, Anstieg der Herzschlagfrequenz) spielen dürften (Bei normalen Überflügen in Flugplatznähe liegen diese bei 1,4 bis 3,3 dB/s. Allerdings treten in FAST-bewerteten Pegelschrieben ziviler Flugschallereignisse 10 dB-Sprünge, also Teilanstiegsgeschwindigkeiten von bis zu 15 dB/s, bei militärischen Tiefflügen bis über 100 dB/s auf).

Dabei rufen nicht nur Pegeländerungen (Amplitudenmodulationen), sondern auch dynamische Frequenzänderungen (Frequenzmodulationen) ohne nennenswerte Pegeländerungen

beachtliche Erregungen im Sinnesorgansystem Gehör hervor [Spreng 1980]. In beiden Fällen resultieren beachtliche und vergleichbare Erregungsgrößen, da bei der reinen Frequenzmodulation neuronale Elemente ansprechen, die eben nur auf derartige Reizänderungen spezialisiert (Spracherkennung) sind. Bei nahezu allen bisherigen Untersuchungen, Befragungen und Schallklassifizierungen der Lärmwirkungsforschung wurden zwar aus längerfristiger Mittelung resultierende, unterschiedliche Frequenzspektren teilweise beachtet (s.o.). Jedoch sind nicht nur Pegeländerungen völlig vernachlässigt worden, sondern auch reine Frequenzvariationen, die vergleichbare Erregungssteigerungen im Organismus hervorrufen können.

Um in Zukunft eine wirkungsgerechtere Beurteilung auch auf dieser Basis durchführen zu können, müssen noch umfangreiche Validierungen und geeignete längerfristige Erhebungen zur Erkennung konkret notwendiger Änderungen durchgeführt werden.

Betriebsrichtungsaufteilung

In der AzB wird für die Berechnung der Schallpegel in den sechs verkehrsreichsten Monaten von einer durchschnittlichen Aufteilung auf die unterschiedlichen Betriebsrichtungen ausgegangen. Diese durchschnittliche Aufteilung im langjährigen Mittel beträgt z.B. für den Flughafen Frankfurt etwa 19 - 26 % Ost- und 73 - 81 % Westbetrieb [Spreng 2003 b]. Damit kann eine annähernd realistische Verteilung der Lärmbelastung errechnet werden. Da jedoch in besonderen Situationen und zu bestimmten Zeiten eine Häufung von Schallereignissen nur in einer Betriebsrichtung auftreten kann, ist in der Leitlinie zur Beurteilung von Fluglärm durch die Immissionsschutzbehörden der Länder (LAI-Leitlinie) eine 100 %-ige Auslastung in den jeweiligen Betriebsrichtungen für die Erstellung von Lärmkonturen empfohlen worden.

Die getrennte Berechnung der Flugbetriebsrichtungen Ost und West bei jeweils 100 % Betriebsaufkommen und die Nutzung des jeweils höheren Beurteilungspegels zur Bewertung stellen damit eine zusätzliche Sicherheit dar. Aus medizinischer Sicht ist zwar gegen ein, auf einem unrealistischen Grenzfall beruhendes und so zu einer überhöhten Sicherheit führendes, künstliches Berechnungsverfahren nichts einzuwenden, jedoch muss auf die lärmmedizinisch bedeutsame Tatsache hingewiesen werden, dass die für Kompensationsmechanismen des belasteten Organismus wichtigen Erholungszeiten damit nicht in Rechnung gestellt sind bzw. dann übertriebenermaßen ungleich vorliegen.

Hinsichtlich dieser früher für die Betriebsrichtungsaufteilung verwendeten 100 % - Regelung [LAI-Leitlinie 1997] sind auch mehrfach Einwände wegen unrealistischer

Belastungssituationen (wenn man von der Betrachtung der Einzelnacht absieht) und international nicht vergleichbarer Festlegungen, sowie problematischer Benachteiligung von außerhalb, randständig im stärker belasteten Bereich wohnender Anrainer vorgebracht worden. In der Realität ist eine solche Situation nicht zu erwarten. Deshalb gibt es Vorschläge, die realitätsadäquater sind [Isermann et al. 2000, Spreng 2003 b]. Einmal soll eine für jede Betriebsrichtung charakteristische Auslastung verwendet werden; von den entsprechenden Prozentwerten aus den langjährigen Betriebsrichtungsstatistiken der Flugplätze ausgehend sollen zwei Konturen für beide Betriebsrichtungen berechnet und davon die Einhüllende gebildet werden. Bei der zweiten, einfacheren Überlegung wird davon ausgegangen, dass bei einer 100 %/100 % Bewegungsverteilung Personen, welche innerhalb durchschnittlich geringer überflogener Bereiche der dann resultierenden Schutzzone leben, einseitig bevorzugt, randständig im stärker belasteten Bereich lebende Personen deutlich benachteiligt werden. Deshalb sollte den tatsächlichen Gegebenheiten Rechnung getragen und die Mittelwerte der Flugbewegungen über mehrere Jahre mit ihren Standardabweichungen herangezogen werden. Die positiven Standardabweichungen der zurückliegenden langjährigen Mittel sollen beidseitig den Mittelwerten zugerechnet werden, um einen zusätzlichen Sicherheitszuschlag zu gewährleisten. Das trägt auch der bisherigen Handhabung in der Genehmigungspraxis Rechnung, bei der von der tatsächlichen Lärmbelastung ausgegangen wird.

Aus präventiver lärmmedizinischer Sicht wurde deshalb die zweite Vorgehensweise vorgeschlagen und so die Lärmkonturen nach der sog. σ -Regelung ermittelt. Diese Regelung basiert auf der statistischen Auswertung der Betriebsrichtungsaufteilung über einen längeren Zeitraum, welche Mittelwerte und Standardabweichungen berücksichtigt. Die sich aus einer solchen Auswertung ergebenden Mittelwerte für die Nutzung der einzelnen Betriebsrichtungen beschreiben demzufolge die sog. standardisierte Betriebsrichtungsaufteilung.

Bei der σ -Regelung wird nun so vorgegangen, dass die für einen Flugplatz gegebene Aufteilung (i.a. Verhältnis West- zu Ostbetrieb) $X_T:Y_T$ % für den Tag und $X_N:Y_N$ % für die Nacht und die zugehörigen Standardabweichungen $\sigma_T = x$ % für den Tag und $\sigma_N = y$ % für die Nacht herangezogen werden. Damit wird für jede der Betriebsrichtungen eine separate, charakteristische Lärmkontur ermittelt. Dabei wird der Bewegungsanteil der betrachteten Betriebsrichtung um den Wert σ erhöht, während der Bewegungsanteil der Gegenrichtung um σ vermindert wird.

Für den Flugplatz bedeutet dies, dass für Westbetrieb ein Verhältnis von $X_{T+n\sigma_T} : Y_{T-n\sigma_T} \%$ ($1 < n < 2$) für den Tag und $X_{N+n\sigma_N} : Y_{N-n\sigma_N} \%$ für die Nacht zugrunde gelegt wird. Für Ostbetrieb ergeben sich entsprechend die Verhältnisse von $X_{T-n\sigma_T} : Y_{T+n\sigma_T} \%$ für den Tag und $X_{N-n\sigma_N} : Y_{N+n\sigma_N} \%$ für die Nacht. Aus den für diese beiden realitätsnäheren und mit Sicherheitszuschlag versehenen Betriebsrichtungsaufteilungen - die jeweils einen 100-prozentigen Flugbetrieb beschreiben- berechneten Lärmkonturen wird dann eine einhüllende Kontur gebildet.

Bewertung unterschiedlicher Schallquellen (Kombinationswirkungen)

Meist wirken auf Anwohner von Flugplätzen unterschiedliche Schallquellen zeitlich parallel oder versetzt ein. Deshalb erhebt sich die Frage, ob Kombinationswirkungen dieser verschiedenen Quellen prognostizierbar bzw. bewertbar sind. Allein schon die gemeinsame Betrachtung beispielsweise der Flug- und der Bodenlärmbelastung in der Flugplatzumgebung lassen erkennen, dass es problematisch ist, eine Gesamtlärmbelastung durch einen Einzahlwert zu kennzeichnen. Für Fragen der Lärminderung sind zwar alle Lärmquellen in Betracht zu ziehen, insofern wäre es hilfreich, wenn eine Gesamtlärmbelastung auch einer Gesamtlärmwirkung entsprechen würde.

Die am häufigsten belastenden Lärmarten sind der Straßenverkehrslärm und der Luftverkehrslärm. Wie die neuesten Untersuchungen über die kombinierte Belastung durch Straßen- und Flugverkehr gezeigt haben [Oliva 1998, Stansfeld et al. 2000], sind beide Lärmquellen jedoch in ihrer Zusammensetzung und in ihrem zeitlichen Auftreten unterschiedlich, ebenso sind auch die Wirkungsweisen different. Es ist daher sinnvoll und auch wirkungsadäquat, dass beide Lärmarten getrennte Beurteilungen und unterschiedliche Immissionswerte erfordern. Auch die nächtlichen Belastungen sind unterschiedlich, wenn man das Aufwachverhalten als Kriterium heranzieht. Beim Straßenverkehrslärm liegt eine nicht unumstrittene Aufweckschwelle niedriger als beim Fluglärm. Vor allem aber sind die kognitive Verarbeitung und die davon stark beeinflusste Störwirkung von Straßen- und Fluglärm unterschiedlich stark. Auch von psychologischer Seite wird immer wieder darauf hingewiesen, dass Lärm nicht gemessen, sondern nur erlebt werden kann und daher jeder Lärmquelle infolge der einleitend erwähnten Empfindungskriterien (Intensität, Zeitlichkeit, Örtlichkeit, Qualität) eine besondere Lästigkeitswirkung potentiell innewohnt. Es sollte daher auch an der bisherigen Trennung von Regelungen zu Straßenverkehrslärm, Fluglärm, Baulärm und Industrielärm festgehalten werden.

Die physikalisch-akustische gemeinsame Betrachtung verschiedener Pegel unterschiedlicher Lärmquellen kann jedoch dann sinnvoll sein, wenn es darum geht, vorrangige Regelungen für Fragen der Lärminderung zu treffen. Hierbei sind aber die Charakteristiken der akustischen Belastung und der zeitlichen Verteilung bzw. der Struktur der Lärmbelastung zu berücksichtigen. Hinzu kommt, dass die Pegel unterschiedlicher Schallquellen unterschiedlich berechnet werden und unterschiedliche zeitliche Gültigkeit haben. Daher ist weder eine energetische noch eine sonstige Zusammenfassung möglich. Es liegt somit nahe, vorerst bei der unterschiedlichen Bewertung der verschiedenen Lärmquellen zu bleiben. vor allem kann sich so das Verursacherprinzip besser realisiert.

Zukünftige Aspekte

Zweifellos müssen bei einer zukünftigen Lärmwirkungsbeurteilung (vor allem bei Einwirken verschiedener Schallquellen) FAST-bewertete Schalle, zusätzlicher Einsatz einer C-Bewertung, genauere Analyse von momentanen Pegeln und ihrer Fluktuationen, Frequenzzusammensetzungen und insbesondere Frequenzmodulationen, sowie Ruhezeiten und Häufungen von Schallereignissen mit in die Betrachtungen aufgenommen werden. Dies ist durch Einsatz moderner Computerprogramme und Analysesysteme heutzutage durchaus möglich.

Grundsätzlich liegt eine unzureichende Belästigungserfassung infolge eindimensionaler Pegelfixation und bei Einwirkung mehrerer Quellen vor. Es zeigt sich, dass speziell hinsichtlich Belästigung erwartungsgemäß eine Vielzahl moderierender Variabler eine beachtliche Varianz der A-Posteriori-Befragungen verursacht und dass diese Moderatoren neben Personalität und Umgebungssituation auch von der Beschaffenheit der oft kombinierten Schallquellen abhängen [Guski 1997]. Es ist deshalb aus physiologisch/psychophysischer Sicht die Frage zu stellen, ob einfache Pegelbetrachtungen zur Belastungsbeschreibung ausreichen und welche Schallparameter (z.B. Quellenanordnung, Qualität, Zeitlichkeit) sowie veränderliche sensorische Einstellung eine zusätzliche Rolle spielen [Spreng 2003 a, b].

Wie ist die Wirkung zu bewerten, wenn die Schallquellen zwar gleiche Pegel, aber unterschiedliche Frequenzzusammensetzungen aufweisen (Flug und Straße)? Wie wird empfunden bzw. bewertet, wenn eine unterschiedliche Zeitstruktur der kombinierten Schallquellen vorliegt, wobei zwischen gleichförmigen, fluktuierenden und impulsiven Schallen zu unterscheiden ist?

In diesem Zusammenhang ist nochmals eindringlich auf die Bedeutung unterschiedlicher Frequenzzusammensetzung kombinierter Schalle und vor allem auch dabei auftretender Frequenzmodulationen hinzuweisen, womit z.B. auch - abhängig vom Frequenzgruppenabstand - Vorschläge für Zuschläge zur einfachen logarithmischen Intensitätsaddition begründet werden können [Spreng, 2003 a, b] und mit Sicherheit auch eine Abnahme einer Belästigungsempfindung erreicht werden kann, wenn bei Einwirkung von Umweltschallen mit zum Teil drastischen Frequenzmodulationen (sirenenähnlich, ähnlich kreischender Kreide an der Tafel) oder tonaler Komponenten (pfeifende Geräusche) diese selektiv beseitigt werden, ohne dass damit eine nennenswerte Pegelreduzierung verbunden ist.

Kritisch sind Versuche zu beurteilen, Dosis-Wirkungsbeziehungen einer Belästigung aus unterschiedlichen Belästigungsstudien quellenspezifisch zusammenzufassen und zu standardisieren. Dabei wird nicht mehr auf die Bewertung „erheblich belästigt“ bezogen, sondern als Effektgröße „belästigt“ verwendet. Außerdem wird zusätzlich zur eindimensionalen Pegelfixierung versucht, anstelle der realitätsnäheren getrennten Tag- und Nachtbewertung, neben der bisher verwendeten Größe eines Tag/Nacht-Mittelungspegels (L_{DN}), auch noch eine Art 24h-Mittelungspegel (L_{DEN}) mit Zuschlägen für die stärker lärmsensiblen Abendstunden (4h; + 5 dB(A)) und die Nachtzeit (8h; + 10 dB(A)) zu etablieren. Dies steht völlig im Gegensatz zu neueren lärmmedizinischen Erkenntnissen, wie sie z.B. aus der als Längsschnittuntersuchung durchgeführten Spandauer-Gesundheits-Studie resultieren und die eine klare Trennung zwischen Tag- und Nachtbelastung nahelegen [Maschke et al. 2002, 2003].

Es ist weiterhin bekannt, dass das Belästigungsurteil für die Nacht (wenn überhaupt dort eine der am Tage erlebbaren Belästigung vergleichbare Beeinflussung stattfindet) überdurchschnittlich durch die Tagesbelastung bestimmt zu sein scheint.

Zweifellos weisen mehrere Untersuchungen darauf hin, dass Betroffene am Abend höhere Störungs- und Belästigungswerte angeben als bei vergleichbarer Schalleinwirkung am Tag. Es bleibt allerdings weiteren Untersuchungen vorbehalten, ob solche Festsetzungen und Maße tatsächlich mit retrospektiven Belästigungsurteilen ausreichend korrelieren.

Jedenfalls entfernt man sich bei alleiniger Verwendung dieser für flächige Lärmkartierungszwecke und zur Beschreibung von Gesamtbelastungen - aber nicht als Grundlage von Lärmschutzmaßnahmen - sicher sinnvollen Methodik aus physiologisch/medizinischer Sicht mit einem derartigen „Tag/Abend/Nacht-Beurteilungsgemisch“ immer mehr von einer gehörrichtigen, wirkungsgerechten und wohl

auch wahrnehmungsgerechten Beurteilung, die ja bereits durch die Verwendung des sinnesphysiologisch als grob vereinfachend zu bezeichnenden Mittelungspegels an sich schon nicht ausreichend gegeben ist. Andererseits ist wohl die durch eine Einzahl-Angabe erreichbare Informationsverdichtung auch in Zukunft wirkungsgerecht und dem Verständnis der Öffentlichkeit angepasst anzustreben und mit entsprechenden Forschungsaktivitäten voranzutreiben.

Fazit

Derzeitige Mess- und Bewertungsverfahren, welche die Wirkungen des Fluglärms auf den Menschen korrekt widerspiegeln sollen, sind dazu nur bedingt in der Lage. Der Grund für die Verwendung vereinfachender Verfahren liegt einerseits in der Vergleichbarkeit und leichteren Erfassbarkeit der Ergebnisse, andererseits sind das Verständnis und der Umgang mit einer Ein-Zahl-Angabe in der Öffentlichkeit von Bedeutung.

Bei Schallmessungen werden fluktuierende Geräusche vereinfachend durch sogenannte äquivalente Dauerschallpegel abgebildet. Für den Fluglärm, bei dem der äquivalente Dauerschallpegel bisher mit dem Äquivalenzparameter $q=4$ berechnet wurde, sollte zweckmäßigerweise - wie auch bei anderen Lärmarten üblich - der Parameter $q=3$ für die Energieäquivalenz eingeführt werden.

Aus medizinisch-physiologischer Sicht muss sich die Bewertung nächtlicher Lärmwirkungen in erster Linie auf Maximalpegelkriterien beziehen, festgelegt durch Anzahl und Pegel von Lärmereignissen. Eine mögliche große Anzahl zusätzlicher leiserer nächtlicher Überflüge sollte durch L_{eq} -Werte als sekundäres Schutzziel begrenzt werden.

In Fällen deutlich impulsartiger Schalleinwirkung (z.B. bei niedrigen Überflughöhen) ist die FAST-Bewertung angeraten. Schallimmissionen von tieffliegenden Militärflugzeugen unterscheiden sich deutlich von Immissionen durch zivile Verkehrsflugzeuge.

Die A-Bewertung gilt medizinisch als ein annähernd empfindungsadäquates Beurteilungskriterium. Deshalb werden Lärm-Werte national und international A-bewertet angegeben. Für sehr laute Belastungen gilt jedoch die A-Bewertung nicht als das lautstärke- oder gehörrichtige Maß. Deshalb, und im Zusammenhang mit der Wirkung von Schallschutzmaßnahmen, ist an kritischen Immissionspunkten eine vergleichende C-Bewertung vorzunehmen.

Die Anstiegsdynamik des Schallereignisses kann bei niedrig fliegenden Flugzeugen gegenüber anderen Lärmarten außergewöhnlich hoch sein. Diese Anstiegssteilheiten können eine Rolle bei psychosozialen und vegetativen Lärmwirkungen spielen, und zwar insbesondere durch die damit verknüpften hochdynamischen Pegel- und Frequenzänderungen.

Bisher wird für die Festlegung von Lärmkonturen eine 100 %-ige Auslastung in jeder Betriebsrichtung empfohlen. Realitätsnäher sollten als Belastungsgrundlage die Mittelwerte der Flugbewegungen über mehrere Jahre mit ihren Standardabweichungen herangezogen werden.

Es erweist sich als problematisch, die Kombinationslärmwirkungen für Anwohner in der Flugplatzumgebung in Form einer Gesamtlärmbelastung durch einen Einzahl-Wert zu kennzeichnen. Für die beiden häufigsten Lärmarten, Straßen- und Luftverkehrslärm, werden deshalb getrennte Beurteilungen und unterschiedliche Immissionswerte angewandt. Da aber für die praktische Lärmbekämpfung (Verursacherprinzip) eine Aussage zur Gesamtbelastung verlangt werden muss, sollten die unterschiedlichen Bewertungen der verschiedenen Lärmquellen derart angelegt werden, dass erforderlichenfalls eine Zusammenfassung möglich wird.

Hinsichtlich einer zukünftigen Lärmwirkungsbeurteilung sind FAST-bewertete Schalle, der zusätzliche Einsatz der C-Bewertung, eine genauere Analyse von momentanen Pegeln und deren Fluktuationen sowie die Zeitstruktur des Auftretens der Schallereignisse mit in die Betrachtungen aufzunehmen. Kritisch sind einerseits Versuche zu beurteilen, quellenspezifische Dosis-Wirkungsbeziehungen zusammenzufassen und zu standardisieren sowie andererseits einen 24h-Mittelungspegel (L_{DEN}) mit Zuschlägen für die stärker lärmsensiblen Abendstunden und die Nachtzeit zu etablieren.

Andererseits ist wohl die durch eine Ein-Zahl-Angabe erreichbare Informationsverdichtung auch in Zukunft wirkungsgerecht und dem Verständnis der Öffentlichkeit angepasst anzustreben und mit entsprechenden Forschungsaktivitäten voranzutreiben.

Literatur

AzB, Anleitung zur Berechnung (1975). Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vom 30. März 1971 (BGBl. I S. 282) - Anleitung zur Berechnung (AzB) - vom 27.02.1975 (GMBL. Nr. 8 S. 162-227)

- AzB, Anleitung zur Berechnung (1984). Ergänzung der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen - AzB - vom 27.02.1975 (GMBI. S. 126) vom 20.02.1984, Der Bundesminister des Innern, U II 4 - 560 120/43
- Guski, R. (1997). Interference of activities and annoyance by noise from different sources: Some new lessons from old data. In: Schick, A., Klatte, M. (Eds.): Contributions to Psychological Acoustics, 239-258 BIS, Uni-Oldenburg
- Isermann, U., Koppe, E., Müller E. A., Schmid, R. (2000). Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Flugbetriebsrichtungen auf Flughäfen bei der Beurteilung von Fluglärm. 9. Konferenz Verkehrslärm, Hamann Consult, Dresden
- LAI, Länderausschuss für Immissionsschutz (1997). Leitlinie zur Beurteilung von Fluglärm durch die Immissionsschutzbehörden der Länder 14. 05.1997
- Maschke, Ch., Wolf, U., Leitmann, Th. (2002). Epidemiologische Untersuchungen zu Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose, Forschungsbericht 298 62 515, Umweltbundesamt Berlin
- Maschke, Ch., Wolf, U., Leitmann, Th. (2003). Epidemiologische Untersuchungen zu Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose, WaBoLu-Hefte Nr. 01/03, Umweltbundesamt, Berlin
- Oliva, C. Belastungen der Bevölkerung durch Flug- und Straßenlärm. Eine Lärmstudie am Beispiel der Flughäfen Genf und Zürich. Berlin, Duncker & Humblot
- Spreng, M. (1980). Objective neuro-electrophysiological evaluation of noise effects. In: (Tobias, J. V., Jansen, G., Ward, W. D. (Eds)) Noise as a Public Health Problem. ASHA Report 10, 254-260, Rockville
- Spreng, M. (1997). Kritische Betrachtung des Schienenbonus anhand hörphysiologischer/medizinischer Fakten. Tagungsband: Fachseminar Schienenlärm, 19-29, Institut für Ökologische Studien, München
- Spreng, M. (2003 a). Physiologisch/psychophysische Aspekte der kombinierten Einwirkung unterschiedlicher Geräusche. 2. Neufahrner Workshop Lärmwirkungen (im Druck)
- Spreng, M. (2003 b). Lärmmedizinisches Gutachten C8; Verlängerung der Start-/Landebahn des Flughafens Frankfurt-Hahn. ULR: <http://www.hahnplus.de> (März 2004)

- Spreng, M., Leupold, S., Emmert, B. (1988). Mögliche Gehörschäden durch Tieffluglärm.
UBA-Forschungsbericht 10501213/04, Umweltbundesamt, Berlin
- Stansfeld, St., Haines, M., Brown, B. (2000). Noise and health in the urban environment.
Reviews on Environmental Health 15, No. 1 – 2

Weiterführende Literatur

- Beckenbauer, T., Schreiber, L. (1997a). Wie unterscheidet sich der äquivalente Dauerschallpegel nach dem Fluglärmsgesetz von dem (energie-) äquivalenten Dauerschallpegel oder Mittelungspegel nach DIN 45641? Zeitschrift für Lärmbekämpfung 44, 97-99
- Beckenbauer, T.; Schreiber, L. (1997b). Erratum, Zeitschrift für Lärmbekämpfung 44, 160

Kapitel 2 Bewertung von Schallschutzmaßnahmen

Hartmut Ising und Peter Költzsch

Schallschutzmaßnahmen können an der Quelle, auf dem Wege zwischen Quelle und Empfänger und am Empfänger eingesetzt werden. Neben technischen Maßnahmen kann die Lärmimmission durch planerische und administrative Maßnahmen reduziert oder vermieden werden.

Lärminderung an der Quelle, auch als primärer Schallschutz bezeichnet, wird realisiert

- durch Beeinflussung der Schallentstehung (z.B. Bypass-Triebwerke bei Flugzeugen),
- durch Beeinflussung der Schallausbreitung und Schallabstrahlung im unmittelbaren Quellbereich (asymmetrisches Triebwerkseinlaufgehäuse mit ungleichförmiger Richtcharakteristik der Schallabstrahlung),
- durch technische Maßnahmen direkt in oder an der Lärmquelle, z.B. durch schallabsorbierende Auskleidungen in den Triebwerkskanälen bzw. ganz allgemein durch Kapselung der Schallquelle oder durch Anbau eines Schalldämpfers,
- durch aktive Maßnahmen der Schallbeeinflussung im Quellbereich, z.B. durch Einspeisung von phasenverschobenen Schallenergiekomponenten zur Minderung des tonalen Triebwerkslärms.

Schallschutz zwischen Quelle und Empfänger wird als sekundärer Schallschutz bezeichnet (z.B. durch Schallschutzwände oder Schallschutzfenster). Sekundärer Schallschutz ist möglich an Flugplätzen oder Wohnbauten in Nähe der Flugplätze (z.B. Abschirmwände bezüglich Warmlaufen der Triebwerke, Abschirmungen wegen des Straßenverkehrs am Flugplatz, schalldämmende Fenster für angrenzende Wohnbauten).

Schallschutzwände führen an unterschiedlichen Immissionsorten zu unterschiedlichen Pegelreduzierungen. Da Schallschutzwände für den von oben einwirkenden Fluglärm unwirksam sind, verbleiben hierfür nur schalldämmende Außenwände, Dachkonstruktionen, Wohnungstrennwände und Fenster, die den Empfänger nur im Innenraum schützen. Zum gesunden Wohnen gehört aber auch die Möglichkeit, die Fenster öffnen und bei geöffnetem Fenster schlafen zu können. Da sich durch das Öffnen eines Fensters der Schallschutz erheblich verringert und damit die Lärminderung deutlich reduziert wird, sind zur Verminderung des lärmbedingten Risikos für Krankheiten Lüftungseinrichtungen mit Schalldämpfern für Wohn- und Schlafräume (ein sogenannter belüfteter Schallschutz) erforderlich.

Wie eingangs erwähnt, gibt es neben den technischen Schallschutzmaßnahmen auch organisatorische, planerische, administrative Maßnahmen zur Minderung der Lärmeinwirkung auf die Wohnumwelt. Im Bereich des Fluglärms gehören zu dieser Kategorie von Lärminderungsmaßnahmen die sog. operationellen Maßnahmen, z.B. lärmarme Ab- und Anflugverfahren, sowie verkehrspolitische und organisatorisch-administrative Lärminderungskonzepte, z.B. lärmabhängige Start- und Landeentgelte, Nachtflugbeschränkungen bzw. Nachtflugverbote, flugzeugbezogene Lärmpegel-Begrenzungen, administrative Verkehrsverlagerungen u. a. m..

Die oben aufgeführten Schallschutzmaßnahmen primärer, sekundärer und administrativer Art sind hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, ihrer Einsatzmöglichkeit und ihrer prinzipiellen Verfügbarkeit in konkreten Lärmbelastungssituationen unterschiedlich zu beurteilen.

Grundsätzlich gilt: Primärer Schallschutz schützt am umfassendsten und ist deshalb vorrangig und uneingeschränkt zu realisieren.

Maßnahmen an der Schallquelle, also Auslegung, Konstruktion und Erprobung lärmgeminderter Flugzeuge bzw. lärmgeminderter Flugzeugkomponenten, werden in jahre-, wenn nicht jahrzehntelanger Forschungs- und Entwicklungsarbeit in den Forschungszentren der Luftfahrtindustrie und an den Hochschulen und Universitäten entwickelt. Ihre praktische Umsetzung am Flugzeug unterliegt jedoch nicht nur Aspekten der Geräuschminderung, sondern auch Gesichtspunkten der technischen Sicherheit, der Leistungsfähigkeit des Flugzeuges und der Kosten. So ist die Geräuschemission von Flugzeugen in den letzten 40 Jahren um etwa 25 dB, in den letzten 10 Jahren um etwa 6 dB vermindert worden. Diese Minderung bezieht sich weitestgehend auf die Reduzierung des Triebwerkslärms.

Für die Minderung des Fluglärms werden gegenwärtig folgende Zielgrößen diskutiert:

- Pegelminderung von zukünftigen Flugzeugen um etwa 10 dB innerhalb von 10 Jahren und um 20 dB innerhalb von 25 Jahren, jeweils gegenüber Flugzeugen, die 1997 in Betrieb genommen worden sind.
- Zukünftige Anstrengungen werden gleichermaßen Lärminderungen für die Teilquellen Strahlärm, Fanlärm, Umströmungslärm und im Blickpunkt aktueller Forschungen auch des Brennkammerlärms der Triebwerke erfordern.

Schallschutz, der mit operationellen sowie verkehrspolitischen und organisatorisch-administrativen Maßnahmen verknüpft ist, bedarf gleichfalls jahrelanger Vorbereitung und Erprobung, internationaler Abstimmung bzw. gesetzlicher Festlegungen. Diese Art von

Schallschutzmaßnahmen sind in praktisch vorliegenden Belastungsfällen nicht von heute auf morgen realisierbar.

Obwohl also keinesfalls die primären Schallschutzmaßnahmen an der Quelle und die aktive Beeinflussung durch operationelle und organisatorische Maßnahmen zur Minderung der Fluglärmwirkung auf die Wohnumwelt unterschätzt werden sollen, bleibt praktisch im konkreten Fall meist nur der sekundäre Schallschutz am Baukörper, also die optimale Schalldämmung für die Außenhaut von Wohn- und Arbeitsgebäuden.

Welcher Schallschutz ist nötig, welche Begrenzung der Lärmeinwirkung muss realisiert werden, damit erhebliche Störungen und Gesundheitsgefährdungen ausgeschlossen werden können? Nach der Studie „Akzeptanz von baulichen Lärmschutzmaßnahmen“ [BUWAL 2000] führen Lärmschutzmaßnahmen auch dann zu deutlich verringerter Belästigung, wenn die Pegelminderungen weniger als 3 dB(A) betragen (siehe Abb. 2.1). Ortscheid und Wende [2004] geben eine Übersicht über Auswirkungen verschiedener Lärmschutzmaßnahmen. So führte eine Pegelminderung von knapp einem dB(A) durch eine Schallschutzwand zu einer Verringerung der Lärmbelästigung um 10 %.

Organisatorische Maßnahmen verringern ebenfalls die Lärmbelästigung. Eine Minderung z.B. um 3 dB(A) wird durch eine Halbierung des Verkehrsaufkommens erreicht und deutlich als Schallschutzmaßnahme wahrgenommen. Durch Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h in der Nachtzeit wurde eine mittlere Pegelreduzierung von 1,4 dB(A) erreicht und der Anteil der stark und äußerst stark Belästigten um 26% gesenkt. Ein Nachtfahrverbot für Fahrzeuge über 2,8 t mit Ausnahme von Anliegerverkehr und geräuscharm eingestuften Lkw's bewirkte eine Pegelminderung von 1,0 dB(A) und eine Verringerung des Anteils von stark und äußerst stark Belästigten von 44 % [Ortscheid & Wende 2004].

Die Lärmbelästigung der Betroffenen wird nach BUWAL [2000] durch den Außenlärmpegel bestimmt. Die Innenraumsituation ist bei offenem Fenster für die Belästigung relevanter als die Situation bei geschlossenem Fenster. Diese Schlussfolgerung basiert auf den Ergebnissen einer Faktorenanalyse, nach der folgende beiden Determinanten den Belästigungssachverhalt am besten charakterisieren:

- Die Störung in der Wohnung tags bei offenem Fenster
- Die Störung tags im unmittelbaren Außenbereich der Wohnung (Balkon, Garten).

Müssen die Betroffenen nachts die Fenster geschlossen halten, um vor Lärmstörungen geschützt zu sein, so wird bereits dieser Zwang zum Fensterschließen als Störung aufgrund des Außenlärms empfunden. Liegt dagegen bei spaltgeöffnetem Fenster der Innenraumpegel im schlafgünstigen Bereich ($L_{eq} < 30 \text{ dB(A)}$, $L_{max} < 40 \text{ dB(A)}$), so kann die Lärmsituation als akzeptabel gelten. Um die Akzeptanz auch bei den Betroffenen zu erreichen, müssen die geeigneten technischen Vorrichtungen an den exponierten Schlafräumen installiert sein.

Bei gekippten Fenstern sind Pegeldifferenzen zwischen Außen- und Innenraum von 8 bis 18 dB(A) gemessen worden. Diese Differenz hängt praktisch von zahlreichen Größen ab: Kippwinkel, Schalleinfallswinkel, Frequenzspektrum, Verhältnis der gekippten Fenstergröße zur Außenwandfläche und zum Raumvolumen u. a. m. [Kötz 2004]. Da diese Einflussgrößen häufig nicht im Detail bekannt sind und von Wohnung zu Wohnung (bzw. Haus zu Haus) stark unterschiedlich sein können und da in der Praxis die Pegeldifferenz meist im oberen Teil des angegebenen Pegelbereiches liegt, sollte für allgemeine Abschätzungen ein Wert von $(15 \pm 3) \text{ dB(A)}$ für die Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenraum verwendet werden.

Bei geschlossenen Fenstern ist die Belüftungsmöglichkeit für Wohn- und Schlafräume nur eingeschränkt möglich. Ein Wohn- oder Schlafräum mit ständig geschlossenen, schallgedämmten Fenstern und schallgedämmter Belüftungsanlage stellt, wie o. a., eine erhebliche Einschränkung der Wohnqualität dar.

Neben der Belästigung bzw. Gefährdung durch Fluglärm im Falle geöffneter oder gekippter Fenster wird - u. U. auch bei geschlossenen Fenstern - durch die Fluglärmbelastung die sprachliche Kommunikation sowie die Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnik in den Wohnräumen empfindlich gestört (s. Kapitel 6 Kommunikation). Zur Vermeidung derartiger Störungen ist bei der Dimensionierung des baulichen Schallschutzes zu berücksichtigen, dass durch die Außenbauteile tieffrequente Spektralanteile des Lärms am wenigsten gedämmt werden. Gegebenenfalls ist eine Bewertung der Dämmung oder eine Messung der Innenraumpegel zusätzlich mit der C-Bewertung erforderlich (s. Kapitel 1 Mess- und Beurteilungsverfahren).

Tieffrequente Schallenergiekomponenten können zudem durch aktive Schallbeeinflussung gemindert werden. Derartige Maßnahmen für Fenster mit Mehrfachverglasungen sind gegenwärtig im Forschungs- und Entwicklungsstadium, so dass in einigen Jahren mit entsprechenden technischen Realisierungen für tieffrequente Fluglärmbelastung gerechnet werden kann.

Veränderung der Lärmbelastung durch Lärmschutzmaßnahmen [$\Delta L < 3\text{dB(A)}$]

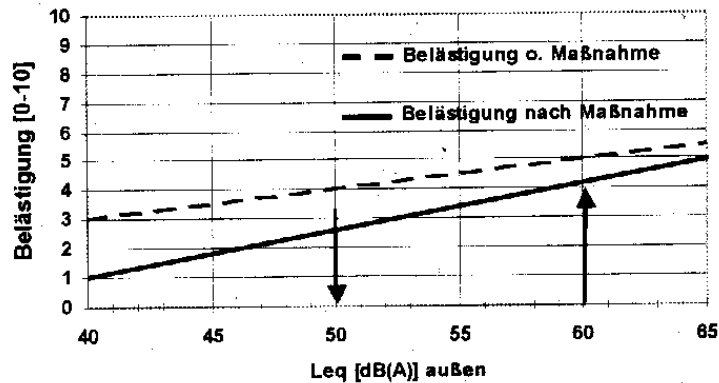


Abb. 2.1 Verringerung der Lärmbelastung durch eine Lärmschutzmaßnahme, durch die der Schallpegel um weniger als 3 dB (A) reduziert wurde, in Abhängigkeit vom Schallpegel [Ortscheid & Wende 2004]

Fazit

Schallschutzmaßnahmen können primär an der Quelle sowie sekundär auf dem Wege zwischen Quelle und Empfänger und am Empfänger eingesetzt werden. Außer durch technische Maßnahmen kann die Lärmimmission auch durch planerische, organisatorische und administrative Maßnahmen reduziert werden. Alle diese Maßnahmen sind hinsichtlich ihrer Wirksamkeit, ihrer Einsatzmöglichkeit und ihrer prinzipiellen Verfügbarkeit in konkreten Lärmbelastungssituationen unterschiedlich zu beurteilen.

Primärer Schallschutz schützt am umfassendsten und ist deshalb vorrangig und uneingeschränkt zu realisieren. Er ist allerdings meist nur langfristig realisierbar.

Sekundärer Schallschutz wird im Innenraum durch schalldämmende Außenwände, Dachkonstruktionen, Wohnungstrennwände und Fenster erreicht. Zum gesunden Wohnen gehört aber auch die Möglichkeit, Fenster öffnen zu können und bei geöffnetem Fenster zu schlafen. Wenn das Öffnen wegen hoher Lärmbelastung nicht möglich ist, sind Lüftungseinrichtungen mit Schalldämpfern für Wohn- und Schlafräume erforderlich.

Bauliche Lärmschutzmaßnahmen führen auch dann zu deutlich verringerter Lärmbelastung, wenn die Pegelminderungen nur wenige Dezibel betragen. Das gilt in gleicher Weise für die Auswirkungen von organisatorischen Lärmschutzmaßnahmen. Jedoch stellt ein Wohn- oder

Schlafraum mit ständig geschlossenen, schallgedämmten Fenstern und schallgedämmter Belüftungsanlage eine erhebliche Einschränkung der Wohnqualität dar.

Literatur

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (2000). Akzeptanz von baulichen Lärmschutzmaßnahmen, Bern

Kötz, W.-D. (2004). Zur Frage der effektiven Schalldämmung von geöffneten Fenstern - Ein klärendes Wort zur Schallpegeldifferenz außen/innen bei Fenstern in Kippstellung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 51 (2004) 21-26

Ortscheid, J. und Wende, H. (2004). Sind 3 dB wahrnehmbar? Eine Richtigstellung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 51 (2004) 80-85

Weiterführende Literatur

Müller, G., Möser, M. (Hrsg.) (2004). Taschenbuch der Technischen Akustik (3. Auflage). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg

Kapitel 3 Bestehende und neue bzw. wesentlich geänderte Flugplätze

Rainer Guski und Wolfgang Schönflug

Der Neubau sowie der Ausbau von Flugplätzen hat in der Regel eine Reihe von Änderungen in der umliegenden Region zur Folge. Dazu zählen u.a.: eine Zunahme der Anzahl von Überflügen, der Flugbetriebsdauer sowie eine Zunahme des Straßenverkehrs. Sofern andere Flugzeuge zum Einsatz gelangen, kann sich auch der Schallpegel je Überflug verändern. Daraus ergibt sich eine Mehr- oder eine Minderbelastung, deren kurz- und langfristige Auswirkungen sich nicht ohne Kenntnis bestehender Reaktionstrends und spezifischer Änderungseffekte vorhersagen lassen.

Kurzfristige Wirkungen von Änderungen im Schallverlauf

Untersuchungen über die Beurteilung kurzzeitiger Schalle haben ergeben, dass die Höhe der subjektiven Belastung nicht nur von der jeweiligen Intensität, Häufigkeit und Dauer von Schallepisoden abhängt, sondern auch von ihrer Reihenfolge [Ariely & Loewenstein 2000, Höger et al. 1988, Schreiber & Kahneman 2000]. Steigt die Lautheit des Lärms zum Ende eines Zeitintervalls an, so wird das gesamte Zeitintervall als lästiger beurteilt, nimmt die Lautheit zum Ende des Intervalls ab, sinkt die beurteilte Lästigkeit des Intervalls. Bei gleich langer Betriebszeit von Flugplätzen, gleicher Zahl und gleicher Lautstärke von Überflügen sind deshalb höhere Lästigkeitsurteile zu erwarten, wenn sich die lauterer Überflüge am Ende der Betriebszeit häufen, jedoch geringere subjektive Lästigkeit bei einer Häufung lauterer Überflüge zu Beginn. Je länger die Dauer der Lärmbelastung ist, desto höher ist auch der Grad der subjektiven Belästigung. Nicht eindeutig geklärt ist, ob die Belästigung mit der Dauer des Lärms stärker steigt, wenn der Lärm lauter ist (Fächer-Effekt). Nach ersten Ergebnissen hängt das Auftreten des Fächer-Effekts vom Beurteilungszusammenhang ab. Beurteilen Personen die Lästigkeit in Zusammenhang mit Entscheidungen (z.B. der Wahl des Wohnorts), erhöht die Dauer die Lästigkeit lauterer Lärms mehr als die Lästigkeit leiseren Lärms. Denken Beurteiler jedoch nicht an bestimmte Konsequenzen, dann erhöht die Dauer des Lärms die beurteilte Lästigkeit bei höheren und niedrigeren Pegeln um den gleichen Betrag.

Die Befunde geben Aufschlüsse über das Zustandekommen von Urteilen über die Lästigkeit von Lärm. Auch für die Vorhersage von Auswirkungen des Neu- und Ausbaus von Flugplätzen dürften sie in Zukunft praktische Bedeutung erlangen. Sie zeigen den möglichen

Nutzen von neueren Urteils- und Entscheidungstheorien für die Lärmwirkungsforschung. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erscheint ihre Anwendung auf aktuelle Probleme jedoch verfrüht.

Langfristige Wirkungen geänderter Lärmsituationen

Die meisten der 521 Untersuchungen im Fields-Katalog der Feldstudien über berichtete Lärmwirkungen [Fields 2001] betreffen quasi-stationäre Belastungen, d.h. Lärmsituationen, die sich in den vor der Untersuchung liegenden Monaten zumindest nicht abrupt geändert haben und denen auch keine abrupte Änderung in naher Zukunft bevorsteht. Die unter diesen Bedingungen erhaltenen Dosis/Wirkungs-Beziehungen sind relativ stabil und lassen sich - zumindest bei derselben Schallquelle zwischen verschiedenen Untersuchungen - weitgehend miteinander vergleichen. Diese stabile Situation ändert sich jedoch, wenn der Betrieb der Schallquelle abrupt geändert wird: es kommt dann zu sog. „Überschuss-Reaktionen“, d.h., die Betroffenen reagieren anders, als durch die zum Zeitpunkt der Untersuchung herrschende physikalische Belastung unter stationären Bedingungen zu erwarten war. Im Fall einer deutlichen Entlastung kommt es zu „Unter-Reaktionen“, die Bevölkerung reagiert weniger belästigt als unter stationären Bedingungen zu erwarten war, und im Fall einer deutlichen Belastungs-Erhöhung kommt es zu „Über-Reaktionen“, die Bevölkerung reagiert stärker belästigt als unter stationären Bedingungen zu erwarten war [vgl. die Übersichten von Fields et al. 2000, Horonjeff & Robert 1997, Job & Hatfield 2003, Raw & Griffiths 1990, Schuemer & Schreckenbergs 2000, Van Kamp & Brown 2003].

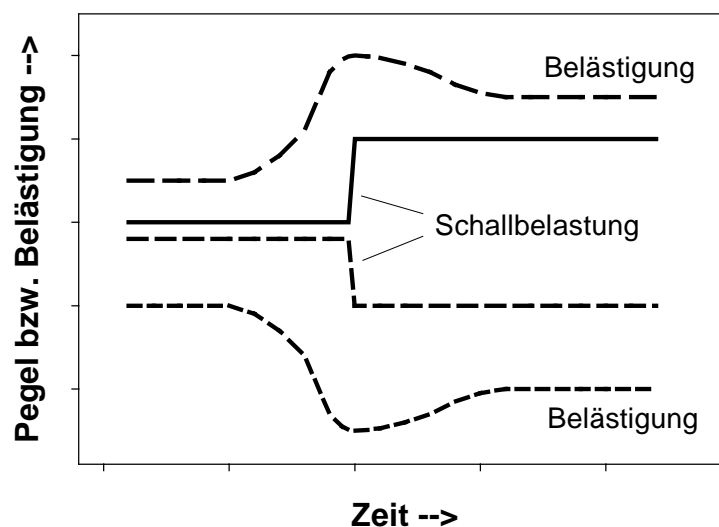


Abb. 3.1 Schematische Darstellung der sog. "Überschuss-Reaktion"

Was ist ein „wesentlich geänderter“ Flugplatz?

Im Rahmen der deutschen Lärmschutzpolitik gelten Lärmsituationen in Anlehnung an die 16. BImSchV dann als wesentlich geändert, wenn sich die von der Anlage verursachten Schall-Immissionen (Beurteilungspegel) durch die Änderung der Lage, der Beschaffenheit oder des Betriebs der Anlagen um 3 dB(A) oder mehr verändern, oder wenn die Immissionsrichtwerte durch die Geräusche der Anlage erstmals oder zusätzlich überschritten werden. Bei der wesentlichen Änderung nach der 16. BImSchV ist zu beachten, dass bereits eine Pegelerhöhung um 2,1 dB(A) das 3 dB-Kriterium aufgrund der vorgeschriebenen Rundungsregel erfüllt.

Die grobe 3-dB-Regel ist kritisierbar, weil sie Änderungen der Häufigkeitsverteilung der Ereignisse innerhalb des Bezugszeitraums nicht berücksichtigt, die sich nicht auf den Beurteilungspegel auswirken und dennoch von der Bevölkerung als wesentlich erlebt werden können [vgl. Kötter & Kühner 1986], gleichwohl wird sie zunächst als ein Kriterium für „wesentliche Änderung“ im Fall der Erhöhung der Fluglärmbelastung akzeptiert, zumal sie mit Erkenntnissen der Fluglärm-Belästigungsforschung korrespondiert (s.u.). Das bedeutet aber nicht, dass nicht auch andere akustische Kriterien in Frage kommen, wie z.B. die Änderung der Ruhezeiten oder die Änderung der Ereignis-Häufigkeit. Nach den bisherigen Untersuchungen muss eine sprunghafte Belastungs-Erhöpfung mindestens 3 dB (L_{eq} oder L_{dn}) betragen, um zu signifikanten Änderungen der globalen langfristigen Bevölkerungs-Reaktionen zu führen. Änderungen unterhalb von 3 dB(A) werden bei Fluglärm von der Bevölkerung meist deshalb nicht registriert, weil sie im Bereich der ohnehin stattfindenden Tages- und Saison-Schwankungen liegen [Horonjeff & Robert 1997].

Ein weiteres Kriterium für eine „wesentliche Änderung“ bezieht sich auf die Dauer der Änderung: Offenbar werden vorübergehende Erhöhungen der akustisch-energetischen Belastung zwar von der Bevölkerung bemerkt, gehen aber nicht in die langfristigen (z.B. auf ein ganzes Jahr bezogenen) Belästigungsurteile ein. Nach Bugge [1994], Fidell et al. [1981] sowie Gjestland et al. [1990] muss die Änderung mindestens zwei Monate andauern, bis sie langfristige Belästigungsurteile verändert.

Daten zu neuen oder wesentlich geänderten Flugplätzen

Flugplatz-Neubau. Erstmals berichtete Francois [1979] über eine Untersuchung der Auswirkungen eines Flugplatz-Neubaus (Paris-Roissy) auf die Belästigung der Wohnbevölkerung. Dieser Flughafen wurde 1974 eröffnet, und knapp 700 Anwohner wurden

vor der Eröffnung befragt, ein Teil davon ein Jahr nach Eröffnung (1975), und davon wiederum ein Teil dreieinhalb Jahre nach Eröffnung (1977). Gleichzeitig mit der zweiten Befragung in Roissy wurden knapp eintausend Anwohner von Paris-Orly befragt, einem Flughafen, der nur einen allmählichen Anstieg der Flugbewegungen verzeichnete. Die Schlussfolgerung des Autors, es gäbe keinen Unterschied zwischen den Dosis/Wirkungs-Beziehungen aus Orly 1975, Roissy 1975 und Roissy 1977, beruht vor allem auf dem Anteil der Personen, die die höchste Antwortstufe (sehr oft belästigt) beim Tages-Lärm gewählt hatten. Diese Anteile sind bei fast allen Pegelstufen zwischen den verschiedenen Flugplätzen und Zeitpunkten vergleichbar, ein Effekt des Neubaus wurde hier also nicht gefunden. Etwas anders verhalten sich die Antworten zur Belästigung durch Nachtflüge: Hier wird im Verlauf der Jahre ein allmählicher Rückgang der Belästigung konstatiert. Ob es sich dabei um das Nachlassen einer „Überschuss-Reaktion“ handelt, kann leider nicht geprüft werden, weil ein Vergleich zu einem gar nicht geänderten Flugplatz ebenso fehlt wie ein Vergleich der mittleren Belästigung zwischen den verschiedenen Zeitpunkten und Flugplätzen.

Die zweite und vorerst letzte Untersuchung zum Effekt der Eröffnung eines neuen Flugplatzes steht nur in Form eines kurzen Kongressberichts zur Verfügung [Miyahara 1990]. Darin geht es um die Eröffnung von drei japanischen Flughäfen zwischen 1971 und 1975 auf Kyushu (Oita, Kagoshima und Nagasaki), die u.a. mit Hilfe von wiederholten Bevölkerungs-Befragungen zu verschiedenen Zeitpunkten und in unregelmäßigen Abständen untersucht wurde. Die Erstbefragung an Erwachsenen fand 1, 2 oder 4 Jahre nach Eröffnung statt, die Zweitbefragung 3, 6 und 10 Jahre nach Eröffnung; weiterhin wurde eine dritte Befragung an zwei Flughäfen 6 bzw. 10 Jahre nach Eröffnung durchgeführt. Leider scheint es keine globale Belästigungsfrage gegeben zu haben; es wurden jedoch verschiedene Störungen intendierter Tätigkeiten abgefragt. Diese Störungen zeigen eine im Verlaufe der Zeit abnehmend starke Korrelation mit (einem nicht näher definierten) Maximalpegel der Überflüge. Den dargestellten Modellen der Bevölkerungs-Reaktion ist zu entnehmen: Miyahara konstatiert eine starke Überschuss-Reaktion im ersten Jahr nach der Eröffnung - ohne einen Vergleich mit einem nicht-geänderten Flugplatz vorzulegen -, die im Verlauf des zweiten Jahres verschwindet. Bestimmte - hier nicht näher bezeichnete - Reaktionen sind aber auch acht Jahre nach Eröffnung nicht stabil.

Aufgrund der beiden Veröffentlichungen erscheint es unklar, ob und in welchem Ausmaß bei Eröffnung eines neuen Flugplatzes mit einem Überschuss-Effekt zu rechnen ist. Andererseits gibt es aus Straßen- und z.T. auch Schienenverkehrslärm-Untersuchungen so viele Hinweise

auf einen Überschuss-Effekt beim Neubau der Lärmquelle, dass ein Ausbleiben dieses Effektes bei Neubau eines Flugplatzes wenig wahrscheinlich ist. Allerdings ist damit zu rechnen, dass bei Neubau oder wesentlicher Änderung jeder Lärmquelle psychologische Faktoren eine noch größere Rolle spielen als sonst ohnehin schon bei Lärm üblich ist [vgl. Job 1988, Schuemer & Schreckenber 2000], so dass die Vorhersage der Bevölkerungsreaktionen allein auf Grund der Pegeländerung unsicherer wird als im quasi-stationären Betrieb. Bei einer baulich und zeitlich so aufwändigen Maßnahme wie der Errichtung eines neuen Flugplatzes ist in stärkerem Umfang mit organisierten Protesten und mit dem Wegzug Betroffener schon vor der Inbetriebnahme zu rechnen als bei den meist kleineren Neubauten für Straßen- und Schienenverkehr.

Wesentliche Änderung durch Inbetriebnahme einer zusätzlichen Start- und Landebahn.

Obwohl dieses Problem sehr viele (vor allem internationale) Flughäfen betrifft und schon viele Umweltverträglichkeits-Gutachten beschäftigt haben müsste, lässt sich derzeit nur eine einzige empirische Untersuchung dazu anführen. Sie fand am Flughafen Vancouver statt (vgl. den Hauptbericht von Fidell & Silvati [1998]); eine zweite Untersuchung (am Flughafen Sydney) ist noch im Gange. Von dieser zweiten Untersuchung [Hatfield et al. 2002] soll hier zumindest erwähnt werden, dass „Überschuss-Reaktionen“ bereits vor Änderung des Flugbetriebs auftreten: Anwohner, die eine Erhöhung der Fluglärmbelastung erwarten, haben bei vergleichbarer akustischer Belastung einen signifikant schlechteren selbst berichteten Gesundheitszustand als jene, die keine Änderung oder gar eine akustische Entlastung erwarten.

Am Flughafen Vancouver wurde 1996 eine zusätzliche Start- und Landebahn gebaut, die insgesamt 17 % mehr Flugbewegungen gestattete, gleichzeitig wurde ein Nachtflugverbot durchgesetzt. Ein Jahr vor der Eröffnung der Start- und Landebahn fand eine erste telefonische Befragung an 1000 Betroffenen in 7 Wohngebieten (DNL 44-71 dB) statt, die zweite erfolgte 2 Jahre nach Eröffnung in denselben Wohngebieten (DNL = 44-70 dB). Es gab keine Kontrollgruppe ohne Belastungsänderung an einem anderen Flugplatz, jedoch fand in drei der sieben Untersuchungsgebiete keine Belastungsänderung statt. Im Interview wurden insgesamt zehn Fragen gestellt, unter denen sich auch eine zur globalen Belästigung durch Fluglärm befand. Als „hoch belästigt“ wurden diejenigen Personen bezeichnet, die eine der beiden oberen Skalenstufen (von insgesamt vier) gewählt hatten. Hier die wichtigsten Ergebnisse:

- Generell war der Prozentsatz hoch belästigter Personen in der ersten Untersuchung etwas niedriger als nach den (älteren) Dosis/Wirkungs-Kurven unter quasi-stationären Bedingungen zu erwarten war.
- Nach Eröffnung der zusätzlichen Startbahn stieg der Prozentsatz der hoch belästigten Personen besonders in den Wohngebieten stark an, deren DNL-Werte um mehr als 2 dB zugenommen hatten – im Extremfall auf das Fünffache und ca. 41 % mehr als unter quasi-stationären Bedingungen zu erwarten war.
- Allerdings lagen die meisten Belästigungswerte noch im Streubereich der Vergleichswerte aus quasi-stationären Untersuchungen; eine Ausnahme bildete die Gruppe von Anwohnern, die eine Änderung von 7 dB erlebt hatten.

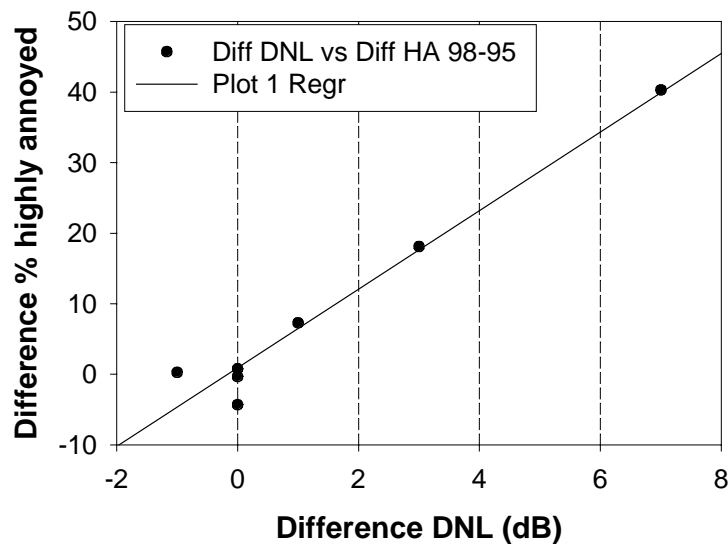


Abb. 3.2 Ausmaß der Überschuss-Reaktion in der globalen Belästigung nach Eröffnung einer neuen Startbahn am Flughafen Vancouver [nach Fidell & Silvati 1998]

- Der Überschuss-Effekt ist weder konstant noch vom absoluten Niveau der akustischen Belastung abhängig, sondern linear von der relativen Zunahme (ab 1 dB), vgl. Abb. 3.2.
- Der durchschnittliche Zuwachs der Belästigung entspricht ca. 6 dB DNL gegenüber dem quasi-stationären Zustand.
- Aussagen über die Dauer des Überschuss-Effektes können aus dieser Untersuchung nicht getroffen werden.

Zur Prognose von Belästigungsreaktionen an wesentlich geänderten Flugplätzen

Die Planung von Änderungen des bestehenden Flugbetriebs geschieht in der Regel langfristig, die Änderung wird erst in Zukunft wirksam; zum Teil können mehrere Jahre zwischen Planung und Realisierung vergehen. Für die Vorhersage der Bevölkerungsreaktionen (z.B. im Hinblick auf die Belästigung durch Fluglärm) ist es nicht ausreichend, nur auf Daten aus früheren Untersuchungen ohne Bezug zu ihrer Entstehungszeit zurückzugreifen. Vielmehr ist es wesentlich, erstens den auch ohne Änderung existierenden Trend der Bevölkerungsreaktionen zu kennen, und zweitens die zusätzlichen Effekte durch die Erwartung und Ausführung der Änderung [Guski 2004] zu berücksichtigen. Die Daten zu Trends können aus Zeitreihenanalysen von Belästigungsdaten an nicht wesentlich geänderten Flugplätzen gewonnen werden, ergänzt durch einen Vergleich der an dem zur Änderung vorgesehenen Flugplatz erhobenen aktuellen Belästigungsdaten mit Daten international vergleichbarer Flugplätze. Die Erwartungs- und Änderungs-Effekte müssen aus Daten vergleichbarer Änderungsprojekte geschätzt werden.

Fazit

Kurzfristige und langfristige Änderungen des Flugbetriebs an einem Flugplatz haben Auswirkungen, die nicht einfach aus Ergebnissen von Untersuchungen mit quasi-stationärem Betrieb abgelesen werden können, da zeitliche Trends der Bevölkerungsreaktionen (auch ohne Änderung) zu berücksichtigen sind und zusätzlich Erwartungs- und Änderungseffekte auftreten können. Wenn hier vorläufig eine Fluglärmpegel-Erhöhung von ca. 3 dB_{Leq,tags} (im Jahresmittel) als „wesentlich“ definiert wird, muss man damit rechnen, dass die Bevölkerung (je nach Art und Umfang der Änderung) auch langfristig stärker belästigt reagiert, als aus Daten im quasi-stationären Betrieb zu erwarten ist. Insofern erscheint es gerechtfertigt, an neue oder wesentlich geänderte Flugplätze höhere Schutzansprüche zu stellen als an unverändert bestehende.

Literatur

Ariely, D., Loewenstein, G. (2000). When does duration matter in judgment and decision making? *Journal of Experimental Psychology: General* 129, 508-523

- Bugge, J. J. (1994). Community response to noise from short term military aircraft exercises at airports serving both civil and military traffic. Proceedings of Internoise 94, 243-246, Yokohama, Japan
- Fidell, S., Horonjeff, R., Teffeteller, S., Pearsons, K. (1981). Community sensitivity to changes in aircraft noise exposure. NASA Contractor Report 3490, Langley Research Center, NASA
- Fields, J. M. (2001). An updated catalog of 521 social surveys of residents' reactions to environmental noise (1943-2000). NASA/CR-2001-211257, Washington, D.C., National Aeronautics and Space Administration
- Fields, J. M., Ehrlich, G. E., Zador, P. (2000). Theory and design tools for studies of reactions to abrupt changes in noise exposure. NASA / CR-2000-210280, Langley Research Center, Hampton, Va., NASA
- Francois, J. (1979). Les répercussions du bruit des avions sur l'équilibre des riverains des aéroports: Etude longitudinal autour de Roissy, 3ème phase. Paris, IFOP/ETMAR
- Gjestland, T., Liasjø, K. H, Granøien, I. L. N. & Fields, J. M. (1990). Response to noise around Oslo Airport Fornebu. Trondheim: Elab-Runit Sintef Gruppen. Acoustics Research Center. Report STF40 A90189
- Guski, R. (2004). How to forecast community annoyance in planning noisy facilities?. Noise & Health 6, 59-64
- Hatfield, J., Job, S., Faunce, G., Carter, N., Peploe, P., Taylor, R., Morrell, S. (2002). The effect of changed levels at Sydney Airport on health outcomes II: The role of anticipation and reaction. Proceedings of Forum Acusticum, Paper NOI-05-006
- Höger, R., Matthies, E., Letzing, E. (1988). Physikalische versus psychologische Reizintegration: Der Mittelungspegel aus wahrnehmungspsychologischer Sicht. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 35, 163-167
- Horonjeff, R. D. & Robert, W. E. (1997). Attitudinal responses to changes in noise exposure in residential communities. Hampton, VA, NASA CR-97-205813
- Job, R. F. S. (1988). Over-reaction to changes in noise exposure: The possible effect of attitude. Letter to the editor. Journal of Sound and Vibration 126, 550-552

- Job, R. F. S., Hatfield, J. (2003). A model of responses to changes in noise exposure. Proceedings of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem, 232-234, Rotterdam, NL
- Kötter, J., Kühner, D. (1986). Quantifizierung der Begriffe "ständig einwirkendes Fremdgeräusch" und "wesentliche Änderung". Zeitschrift für Lärmbekämpfung 33, 160-165
- Miyahara, K. (1990). An investigation of secular change of social response to aircraft noise. In: B. Berglund & T. Lindvall (Eds.): Noise '88. Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem (1988), Part 2, 415-420
- Raw, G. J., Griffiths, I. D. (1990). Subjective response to changes in road traffic noise: a model. Journal of Sound and Vibration 141, 43-54
- Schreiber, Ch. A., Kahneman, D. (2000). Determinants of the remembered utility of aversive sounds. Journal of Experimental Psychology: General 129, 27-42
- Schuemer, R., Schreckenber, D. (2000). Änderung der Lärmbelästigung bei Maßnahme bedingter, stufenweise veränderter Geräuschbelastung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 47, 134-143
- Van Kamp, I., Brown, A. L. (2003). Response to changed dose of environmental noise: Diverse results and explanations in the literature. Proceedings of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem, 266-267, Rotterdam, NL

Kapitel 4 Schutzbedürftige Personen und Einrichtungen

Gerd Jansen

Risikogruppen

Risikoabschätzungen und Schutzmaßnahmen sind vorwiegend auf die Allgemeinbevölkerung ausgerichtet. Es sind jedoch auch Personengruppen mit erhöhtem Risiko zu berücksichtigen, die einer besonderen Beurteilung und eines besonderen Schutzes bedürfen. Hierzu zählen Schwangere, Ältere, Kranke und Kinder. Die für sie geschaffenen Einrichtungen (Kindergärten, Schulen, Krankenhäuser) sollen von Lärmbelastungen möglichst frei sein. In experimentellen Studien zur Belästigung durch Lärm und zu dessen Auswirkungen auf die Gesundheit, ja sogar in den Stichproben einiger einschlägiger Felduntersuchungen dürften übrigens die genannten Risikogruppen unterrepräsentiert sein; es mangelt außerdem an einschlägigen Studien in den für sie geschaffenen Einrichtungen.

Personen mit chronisch erhöhter Sensibilität für Lärm bilden eine weitere, gesondert zu berücksichtigende Risikogruppe. Diese wird zwar in den Stichproben der Felduntersuchungen erfasst, doch werden die Reaktionen von Sensiblen mit denen der Lärmtoleranten abgeglichen. Dies ergibt korrekte Populationskennwerte, trägt jedoch der Streubreite individueller Schutzbedürftigkeit nicht Rechnung.

Schwangere und Kinder

Über Lärmwirkungen bei Schwangeren und Kindern liegen nur wenige Untersuchungen vor. Das schallreizbedingte Verhalten bei Schwangeren untersuchte Arens [1976]. Er konnte Vasokonstriktionen (Gefäßverengungen) bei Schwangeren und Einflüsse auf die Herzfrequenzen feststellen. Bei Belastungen mit 80 dB(A) ergaben sich allerdings drei unterschiedliche Reaktionstypen. 30 % der Untersuchten reagierten indifferent, d.h. es ergab sich keinerlei Veränderung der Durchblutung. Eine jeweils ausgeprägte Vasokonstriktion wiesen weitere 30 % auf, während die restlichen 40 % Vasodilatationen (Gefäßerweiterungen) zeigten. Bei 90 dB(A) dagegen trat bei Schwangeren eine prägnante Vasokonstriktion in 72 % aller Messungen deutlich in den Vordergrund. Bei den Embryos zeigten sich sowohl bei einer Belastung mit 80 dB(A) als auch mit 90 dB(A) Gleichverteilungen der Reaktionen und keine intensitätsabhängige Differenzierung. Diese Befunde sind die Grundlage für frühere Empfehlungen gewesen, für schwangere Arbeitnehmerinnen den zulässigen mittleren Maximalpegel auf 80 dB(A) zu begrenzen. Die Dämmfähigkeit des Uterus ist übrigens

erheblich. Bei 1 000 Hz beträgt er 39 dB, bei 3 000 Hz 85 dB, so dass vor allem hohe Töne nicht bis zum Föten gelangen.

Bei Säuglingen, Kleinkindern, Kindergartenkindern und Schulkindern wurden von Matthias [1961] Messungen des peripheren Blutvolumens durchgeführt. Die Autorin fand entweder keine oder nur sehr schwache Vasokonstriktionen. Signifikant wurden die Vasokonstriktionen erst bei Jugendlichen ab dem 12. Lebensjahr. Besonders prägnant fielen die Vasokonstriktionsreaktionen bei Erwachsenen zwischen 20 und 45 Jahren aus. Weiterhin wurden in Studien an Schulkindern [Hygge et al. 1996, s.a. Kapitel 11 Kognitive Entwicklung] auch Bestimmungen von Stresshormonen vorgenommen. Dabei ergab sich: Die mit zunehmendem Alter eintretenden Veränderungen physiologischer Funktionen (z.B. Kreislauffunktion) und Sinnesorgane (Hörfähigkeit für hohe Töne usw.) schlagen sich auch im Prozess der Lärmverarbeitung nieder und beeinflussen damit die Zusammenhänge zwischen Lärm und extraauralen Reaktionen.

Kindertagesstätten und Kindergärten sind ebenfalls untersucht worden. Houché [1996] fand in Kindergärten Schallpegel zwischen 69 und 74 dB(A) (Mittelungspegel). Andere Quellen geben auch deutlich höhere Pegel an. Es sind Pegel, bei denen schon für die Passivbeteiligten (Anwohner) erhebliche Belästigungen zu erwarten sind. Dies stimmt mit der Praxis überein, wonach aus der Nachbarschaft von Kindergärten sehr häufig Beschwerden kommen. Kinder sind zwar lärmfreudig, reagieren aber im Hinblick auf vegetativ-hormonale Reaktionen auf Lärm nicht empfindlicher als Erwachsene.

In Schulen ist somit vor allem die Kommunikation zu schützen (s.a. Kapitel 6 Kommunikation). Dies gilt auch für Kindergärten; zusätzlich sind dort Ruheräume zu erhalten (s. a. Kapitel 9 Rekreation).

Lärmempfindliche

Schon früh war aufgefallen, dass psychische Eigenschaften und Persönlichkeitsmerkmale eines Menschen auf die somatische Verarbeitung von Schallreizen messbare Einflüsse ausüben. So ergab sich, dass Personen, die nach dem Freiburger Persönlichkeitsinventar (FPI) als Probanden mit hohem Neurotizismus ermittelt wurden, in mittellauten Belastungsbereichen unterschiedliche Reaktionen in der Kreislaufregulation aufwiesen. Bei starker Schallbelastung, etwa im Bereich der Schädlichkeit (z.B. lärmbedingte Schwerhörigkeit), war kein Unterschied mehr zwischen den Probanden vorhanden. Im weniger lauten Bereich gibt es Unterschiede in der lärmbedingten Reaktion zwischen

normalen (stabilen) und labilen (empfindlichen) Probanden, während bei sehr hohen Schallreizen sowohl stabile als auch labile Personen in gleicher Art und Weise reagieren.

Frühere Schätzungen gehen davon aus, dass in der Bevölkerung etwa 10-15 % der Menschen als lärmempfindlich zu bezeichnen sind [Griefahn 1991]. Nach Untersuchungen zur physiologischen Empfindlichkeit von Jansen et al. [1996] bestand bei 6,25 % der Untersuchten Lärmempfindlichkeit. Da in dieser physiologischen Untersuchung die psychologischen und soziologischen Aspekte der Lärmempfindlichkeit nur ansatzweise berücksichtigt wurden, kann das Ergebnis noch nicht verallgemeinert werden. Die physiologische Lärmempfindlichkeit darf jedoch bei der Beurteilung von Lärmwirkungen nicht ausgespart werden. Ein erhebliches Defizit in der Forschung besteht immer noch. Griefahn [1985] meinte, dass Persönlichkeitsmerkmale einen deutlich höheren Effekt auf Lärmwirkungen haben als Schallmerkmale. Für Belästigungen ist dem durchaus zuzustimmen, nicht dagegen in Bereichen, in denen Beeinträchtigungen der körperlichen Gesundheit zu erwarten sind.

Kranke

Es ist einsichtig, dass höhere Belastungen, die bei Gesunden noch keine Gesundheitsbeeinträchtigungen hervorrufen, bei Kranken schon gesundheitsgefährdend wirken können. Für sie ist also der zulässige Wert erheblich niedriger anzusetzen. Jeder weiß, dass lautes Sprechen und ausgelassene Stimmung im Zimmer von Schwerst- und Schwerkranken fehl am Platze sind, so dass leise und gedämpfte Sprache (ca. 30-40 dB(A)) im Krankenzimmer üblich sind. Auf wissenschaftlicher Basis hat sich Griefahn [1982] mit dieser Problematik eingehend befasst. In Zusammenarbeit mit internistisch - neurologischen und HNO-Kliniken wurden die Erkrankungen der Patienten von den zuständigen Fachärzten in leichte, schwerere und schwerste Krankheitsbilder eingestuft. Die experimentelle Lärmbelastung variierte zwischen 50-90 dB(A) (unter Beachtung ethischer Grundsätze). Hochdruckkranke, Infarktpatienten u.a. zeigten stärkere Reaktionen als Gesunde. Die Reaktionen der Kranken waren schon bei geringen Belastungen deutlich auslösbar und wiesen Ausmaße aus, die denen bei Gesunden mit sehr viel höheren Geräuschbelastungen vergleichbar waren. Auch bei Patienten mit labilem Hochdruck fanden sich ähnliche Reaktionsweisen. Griefahn [1982] folgerte, dass das Krankheitsgeschehen im negativen Sinne durch Lärm beeinflusst und die Regenerationsprozesse gehemmt und verzögert werden könnten.

Die Empfindlichkeit von leicht Erkrankten gegenüber Gesunden war in diesen Untersuchungen um 11 dB(A) höher. Dieser Wert erhöhte sich auf 21 dB(A), wenn es sich um schwerere Krankheitsbilder handelte. Für schwerste Krankheitsfälle wurde eine Empfindlichkeitssteigerung um 32 dB(A) ermittelt. Zur Ermittlung von gesundheitlich ungefährlichen Belastungen bei Kranken wären die Tag- und Nachtwerte entsprechend niedriger zu legen. Da in Krankenhäusern die Differenzierung zwischen leichten und in dieser physiologischen Untersuchung schwersten Krankheiten fließend und zeitlich uneinheitlich ist, auch der Zustand bei einzelnen Patienten stark wechselt, sollte bei der Entwicklung von Kriterien davon ausgegangen werden, dass die Empfindlichkeitssteigerung für Schwersterkrankungen zur Grundlage von Präventionsmaßnahmen in Krankenhäusern gemacht werden. Es ist einsichtig, dass Gefährdungswerte deutlich zu unterschreiten sind. Es sind daher für Krankenhäuser weitere und deutliche Absenkungen der Pegel erforderlich.

Altenheime

In Altenheimen erfordern die Lärmbelastungen schon deshalb eine besondere Beurteilung, weil hier neben den ohnehin empfindlicheren gesunden älteren, in ihrer Hörfähigkeit häufig beeinträchtigten Menschen, sich auch solche Personen mit chronischen gesundheitlichen Leiden (z.B. Altersdiabetes) aufhalten. Die Werte für Altenheime bedürfen einer differenzierten Beurteilung bei der konkreten Anwendung. Es ist aber zu unterscheiden zwischen Seniorenwohntzentren und Pflegeheimen. Für die Seniorenwohntzentren sollten Mittelungspegel für die Rekreation und Erholung gelten, die eindeutig unter den Werten für Kommunikationsstörungen innen und außen gelten (s.a. Kapitel 9 Rekreation und 6 Kommunikation).

Fazit

Bei der Bestimmung der Schutzbedürftigkeit sind Risikogruppen besonders zu berücksichtigen. Dazu zählen Schwangere, Kindern, Kranke, Alte sowie sensible Personen in der Allgemeinbevölkerung. Eine ausreichend geringe Lärmbelastung ist insbesondere für Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser und Altenheime zu gewährleisten; dazu sind ggf. Bestimmungen für einzelne Objekte vorzunehmen.

Literatur

- Arens, H. (1976). Untersuchungen zur Ermittlung Lärmgrenzwerten für erwerbstätige Schwangere. Dissertation, Essen
- Griefahn, B. (1982). Grenzwerte vegetativer Belastbarkeit. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 29 (1982) 131-136
- Griefahn, B. (1985). Schlafverhalten und Geräusche. Enke Verlag, Stuttgart
- Griefahn, B. (1991). Lärmempfindlichkeit - ein Prädiktor lärmbedingter Gesundheitsschäden. Verh. der Dtsch. Ges. Arb. Med. Stuttgart. Gentner Verlag 30 (1991) 73-79
- Houchè, A. (1996). Lärmbelastung von Kindergartenpersonal. Dissertation Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
- Hygge, S., Evans, G., Bullinger, M. (1996). The Munich airport noise study: Cognitive effects on children from before to after the change-over of airports. Proc. Internoise '96, Vol. 5. St. Albans: Institute of Acoustics, 2189-2194, 1996
- Jansen, G., Schwarze, S., Notbohm, G. (1996). Lärmbedingte Gesundheitsbeeinträchtigungen unter besonderer Berücksichtigung der physiologischen Lärmempfindlichkeit. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 43 (1996) 31-40
- Matthias, S. (1961). Zur Frage der peripheren Durchblutung unter Lärmeinwirkung bei Kindern. Dissertation, Würzburg

Kapitel 5 Belästigung

Rainer Guski und August Schick

Das Konzept der Belästigung

Nach Auffassung der überwiegenden Mehrheit schriftlich befragter Lärmwirkungsforscherinnen und Lärmwirkungsforscher stellt die Belästigung breiter Bevölkerungskreise die Hauptwirkung des Umweltlärms dar [Guski et al. 1999]. Schick [1997] bezeichnet die Lästigkeit sogar als einen Schlüsselbegriff der Umweltforschung, der die Bedeutung eines negativ bewerteten Umweltfaktors für Betroffene umfassend beschreibt - was historische Spuren sowohl in der Lärmwirkungsforschung als auch der Rechtsprechung hinterlassen hat. Die Bezeichnungen Hauptwirkung und Schlüsselbegriff weisen darauf hin, dass die Belästigung erstens statistisch sehr häufig und sehr zuverlässig durch Umweltlärm hervorgerufen wird, zweitens sehr systematisch mit akustischen Eigenschaften des Lärms korreliert und drittens eine ganze Reihe von psychologischen Komponenten der Auseinandersetzung zwischen Mensch und Lärm umfasst.

Die Definition der Lästigkeit (engl. annoyance) ist allerdings nicht einheitlich und ihre Erfassung in Bevölkerungsbefragungen noch weniger. In der Vergangenheit hat vor allem die Auffassung von Lindvall & Radford [1973] eine große Rolle gespielt, wonach die Belästigung als ein Gefühl des Missfallens definiert wird, das mit einem Agens oder einer Bedingung assoziiert ist, von dem oder der eine Person oder eine Personengruppe meint, negativ beeinflusst zu sein. Als Erhebungsmethoden kommen nach Lindvall & Radford [1973] gleichermaßen Bevölkerungsbefragungen, spontane Beschwerden, physiologische Daten und Wanderungsbewegungen der Bevölkerung in Frage. Nach der semantischen Analyse von Guski et al. [1999] halten Lärm-Experten die Belästigung für ein vielschichtiges, wenngleich integratives Konzept, das sowohl Verhaltens- als auch evaluative Komponenten enthält. Unter den Verhaltenskomponenten wird vor allem die Störung intendierter Tätigkeiten genannt, unter den bewertenden Komponenten vor allem der Umstand, dass die Betroffenen wiederholt (meist andauernd) einer akustischen Belastung ausgesetzt werden, die sie nicht haben möchten und gegen die sie sich nicht angemessen wehren können. Die Experten betonten weiterhin, dass die Ausprägung der Belästigung zwar notwendigerweise durch akustische Belastungsvariablen determiniert ist, jedoch spielen die akustischen Aspekte der Situation oft nicht die wichtigste Rolle. Entscheidend ist vielmehr der Aspekt des psychologischen Stress, d.h. einer negativ bewerteten Situation ausgesetzt zu sein, die nicht angemessen bewältigt

werden kann. Handelt es sich um eine dauerhafte Situation, wie an großen Verkehrsflughäfen, so bedeutet dieser Stress eine starke Einschränkung der Lebensqualität.

Die Operationalisierung der Belästigung

In der Vergangenheit wurde die Belästigung der Bevölkerung auf sehr unterschiedliche Weise erhoben. Wir beschränken uns hier auf systematische Bevölkerungsbefragungen, bei denen Betroffene im Interview das Ausmaß ihrer Belästigung angaben und Akustiker das Ausmaß der akustischen Belastung der Betroffenen feststellten. Trotz dieser Einschränkung verbleiben Unterschiede der Lästigkeits-Erfassung vor allem in Bezug auf (a) Direktheit vs. Indirektheit der Fragen, (b) der Anzahl der verwendeten Unter-Fragen, (c) des räumlichen Bezugs der Fragen, (d) des zeitlichen Bezugs der Fragen und (e) des Antwort-Formats. Einen Teil der methodischen Unterschiede hat Guskı [1997] diskutiert; hier soll nur auf einige Konsequenzen hingewiesen werden: (a) wird die Belästigung indirekt erfasst (z.B. durch Summierung von Störungen), folgt sie insbesondere in Änderungssituationen stärker der akustischen Belastung als bei direkter Erfassung [vgl. Raw & Griffiths 1990]; (b) wird die Belästigung durch mehrere ähnliche Fragen erhoben, ist sie zeitlich stabiler und stärker an die akustische Belastung geknüpft als bei Erfassung durch Einzel-Fragen; (c) wird ein räumlicher Bezug explizit zu den Außenräumen der Wohnung bzw. des Hauses hergestellt, so fallen Störungs- und Belästigungs-Angaben höher aus als ohne Bezug bzw. mit Bezug zu den Innenräumen; (d) bezieht sich die Belästigungsangabe auf kurzfristige Situationen (z.B. einzelne Überflüge), so kann die Reaktion nicht mit langfristig integrierenden Belästigungsangaben verglichen werden [Felscher-Suhr et al. 1996]; wird ein zeitlicher Bezug explizit langfristig zum Sommer hergestellt, fallen Belästigungs- und Störungsangaben höher aus als ohne Bezug bzw. mit langfristigem Bezug zum Winter [Ortscheid 2003]; (e) werden verbale Antwortskalen mit höherer Differenzierung der Antwortstufen im höheren Intensitätsbereich gegenüber dem niedrigen Intensitätsbereich verwendet, so resultieren im Mittel höhere Intensitätsangaben. Zur Verringerung solcher Effekte hat das Team No. 6 der International Commission for the Biological Effects of Noise (ICBEN), vgl. Fields et al. [2001], inzwischen Frageformulierungen und Antwortskalen zur Erfassung der Lästigkeit vorgelegt, die künftig zumindest eine größere Vergleichbarkeit der Daten ermöglichen werden.

Zusammenhänge zwischen Belästigung und Variablen der akustischen Belastung

Trotz der mitunter geringen Vergleichbarkeit der Lästigkeits-Angaben haben verschiedene Autoren [u.a. Schultz 1978, Fidell et al. 1991, Finegold et al. 1994, Miedema & Vos 1998, Miedema & Oudshoorn 2001] Dosis/Wirkungs-Kurven für verschiedene Lärmarten vorgestellt. Daraus geht hervor, dass die langfristige Belästigung mit zunehmendem Dauerschallpegel ab ca. 45 dB(A) - das ist die untere Untersuchbarkeitsgrenze für „öffentliche“ Lärmquellen - kontinuierlich zunimmt, und dass Fluglärm bei gleicher integrierter Energie wesentlich lästiger wirkt als Straßen- oder Schienenverkehrslärm. Die international derzeit am häufigsten diskutierten Kurven [Miedema & Vos 1998] sind in Abbildung 6.1 wiedergegeben.

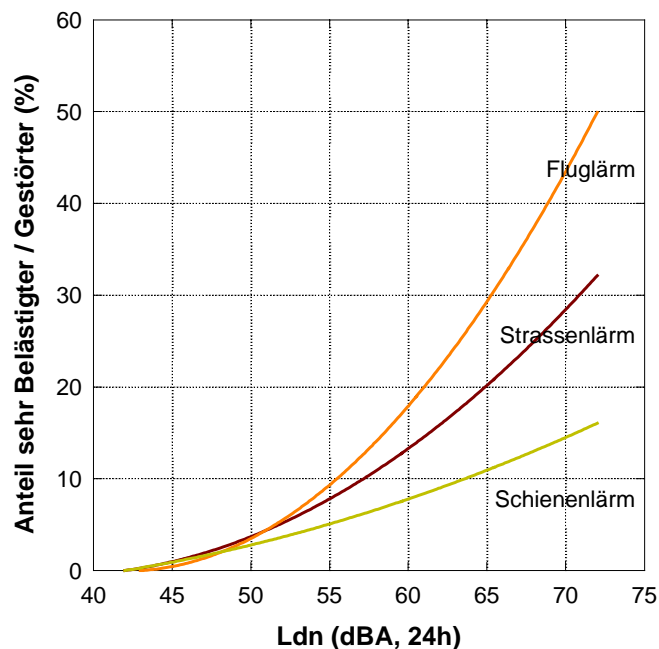


Abb. 6.1 Zusammenfassende Dosis/Wirkungs-Kurven entsprechend der multilevel-procedure nach Miedema & Vos [1998]

Die Fluglärm-Daten für diese Abbildung stammen aus zwanzig Fluglärm-Untersuchungen, die zwischen 1965 und 1992 unter quasi stationären Bedingungen stattfanden, d.h. die Fluglärm-Belastung hatte sich in den Monaten vor der Untersuchung an den jeweiligen Flughäfen nicht abrupt geändert. Die Daten sind im Durchschnitt mehr als zwanzig Jahre alt. Die Abbildung verzichtet auf eine Angabe der Streuungen und gibt nur die über verschiedene Untersuchungen ermittelte zentrale Tendenz wieder. Als akustische Bezugsgröße wurde hier der amerikanische L_{dn} verwendet, ein 24-Stundenpegel, der im Falle sehr geringen

Verkehrsaufkommens während der Nacht etwa dem Tages-Mittelungspegel entspricht. Als Reaktionsgröße wurde hier der Anteil „sehr gestörter“ bzw. „sehr belästigter“ Personen verwendet, d.h. Personen, die einen Wert im oberen Drittel der Reaktionsskala (genauer: zwischen 20 und 40 %) wählten.

Es sei hier darauf hingewiesen, dass die Bezeichnung „starke Belästigung“ nicht mit der Bezeichnung „erhebliche Belästigung“ gleichgesetzt werden darf. Letztere wird üblicherweise im juristischen Kontext verwendet, während die erste eher die Konvention der Lärmwirkungsforschung berührt, den Prozentsatz von Personen hervorzuheben, die auf der Reaktionsskala hohe Antwortpositionen wählen. Diese Personen werden im Englischen als „highly annoyed“ bezeichnet.

Gegen die unkritische Verwendung der Kurven aus Abb. 6.1 spricht vor allem im Fall des Fluglärms das Alter der Daten. Immerhin hat sich der Flugverkehr an den meisten Verkehrsflughäfen in den letzten dreißig Jahren mehr als verdoppelt, und es gibt inzwischen mehrere Untersuchungen, die plausibel machen, dass die Anzahl der Flugbewegungen oberhalb eines bestimmten Pegels stärker mit Belästigungs-Reaktionen korreliert als die integrierte Schallenergie [z.B. Björkman et al. 1992, Kastka & Faust 2000].

Darüber hinaus hat Guskı [2003, 2004] gezeigt, dass die von Miedema & Vos [1998] publizierten Belästigungsreaktionen für Fluglärm einem mit der Zeit steigenden Trend unterliegen (Abb. 6.2): Betrachten wir nur die Pegelwerte, die in den publizierten Untersuchungen mit jeweils 25 % stark gestörte/belästigte Personen assoziiert sind, so ergibt sich ein Abfall von ca. 8 dB zwischen 1965 und 1995. Anders ausgedrückt: Derselbe Anteil stark durch Fluglärm gestörter/belästigter Personen wird nach 30 Jahren bei einem Mittelungspegel erreicht, der ca. 8 dB unter dem Pegel von 1965 liegt – im Durchschnitt ergibt sich heute für dasselbe Belästigungskriterium ein Mittelungspegel von 60 dB(A). In der Abb. 6.1 sind dagegen 25 % stark gestörte/belästigte Personen mit ca. 63 dB(A) assoziiert.

Obwohl bei statistischer Betrachtung energieäquivalente Dauerschallpegel, mittlere Maximalpegel und die Anzahl lauter Fluggeräusche an vielen Verkehrsflughäfen so hoch miteinander korrelieren, dass eine getrennte Analyse der Zusammenhänge zwischen Belästigungsurteilen einerseits und verschiedenen akustischen Variablen andererseits kaum unterschiedliche Ergebnisse erwarten lässt, erscheint es notwendig, einen entsprechenden Versuch zu unternehmen, wenn, wie im Eckpunktepapier des BMU [2000] vorgesehen, militärischer und ziviler Flugbetrieb, Linien- und Privatflugzeuge zusammen betrachtet

werden sollen. Militärmaschinen erzeugen wesentlich höhere Maximalpegel als Linien- und Privatflugzeuge, dafür sind sie seltener zu hören, Privatflugzeuge sind ebenfalls seltener als Linienmaschinen, dafür fliegen sie meist niedriger und langsamer; Freizeitflieger sind darüber hinaus primär im Sommer und an den Wochenenden aktiv.

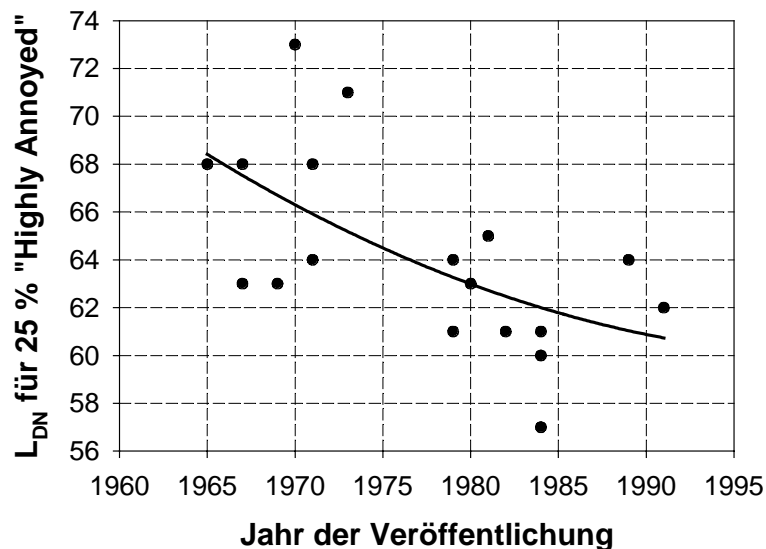


Abb. 6.2 Zeitlicher Trend des Fluglärm-Pegels (L_{DN} in dB(A)), der mit einem konstanten Anteil von 25 % stark gestörter/belästigter Personen verbunden ist. Daten nach Miedema & Vos [1998], Guski [2003, 2004]

Aus den relativ wenigen Untersuchungen, die zur relativen Bedeutung der Maximalpegel und der Häufigkeit von Überflügen veröffentlicht wurden, ergibt sich kein einheitliches Bild: Hall et al. [1985] zeigen, dass der Maximalpegel von Überflügen die langfristige Belästigung etwas stärker determiniert als der Mittelungspegel; nach Rylander & Björkman [1988] sowie Björkman et al. [1992] determinieren sowohl der Maximalpegel als auch die Anzahl der Überflüge bis zu einem gewissen Sättigungspunkt die langfristige Fluglärm-Belästigung stärker als der Mittelungspegel; Rylander & Björkman [1997] meinen, dass an kleinen Flugplätzen nur der Maximalpegel oberhalb 70 dB(A) die Fluglärm-Belästigung stärker determiniert als der Mittelungspegel, die Anzahl der Ereignisse jedoch keine Rolle spielt; Kastka & Faust [1998, 2000] berichten, dass kurzfristige und spontane Belästigungsreaktionen auch bei einem großen Verkehrsflughafen stärker durch den Maximalpegel determiniert sind als durch den Mittelungspegel, allerdings zeigt sich bei den langfristigen Belästigungsreaktionen kein Unterschied zum Mittelungspegel.

Im Hinblick auf militärischen Fluglärm macht Flindell [1999] deutlich, dass der unregelmäßige und meist sehr laute Betrieb wohl starke akute Schreck-, Störungs- und Belästigungsreaktionen hervorrufen kann, jedoch unklar ist, wieweit diese Reaktionen mit der langfristigen Belästigung vergleichbar sind, wie sie an Verkehrsflughäfen üblicherweise auftritt. Deshalb ist auch die Aussage von Ising et al. [1990], militärischer Tieffluglärm sei lästiger als ziviler Fluglärm bei vergleichbaren Mittelungspegeln, vorsichtig zu betrachten, zumal sich diese Aussage eher auf Störungs- als auf Belästigungsangaben stützt. Andererseits haben die Betroffenen in hoch belasteten militärischen Tieffluggebieten signifikant mehr Ohrschadens-Symptome angegeben als Personen in geringer belasteten Gebieten. Die neueren japanischen Untersuchungen [z.B. Hiramatsu et al. 1997, Miyakita et al. 2002], in denen dramatische Folgen des militärischen Fluglärms geschildert werden, weisen zwar auch in Richtung einer höheren Belästigung durch militärischen Fluglärm, lassen jedoch keine generalisierbaren Schlüsse zu, da es sich hier überwiegend um Fluglärm handelt, der von einer fremden Nation im eigenen Land verursacht wird. Insgesamt geben die Untersuchungen Hinweise darauf, dass militärischer Fluglärm spezifische Störungs- und Belästigungsreaktionen auslöst, die mit den langfristigen Belästigungsreaktionen an Verkehrsflughäfen kaum zu vergleichen sind. Wenn dennoch militärischer und ziviler Flugbetrieb auf der Basis der energieäquivalenten Belastung verglichen werden soll, ergeben sich zumindest keine Hinweise darauf, dass militärischer Fluglärm weniger lästig sei als ziviler Fluglärm.

Fraglich ist auch die Vergleichbarkeit der Belästigung durch kleine Flugplätze bzw. Privatflugzeuge gegenüber großen Verkehrsflughäfen. Allerdings weist die Datenlage insgesamt auf eine höhere Lästigkeit des privaten Flugbetriebs bei vergleichbaren Mittelungspegeln hin: Sowohl die Ergebnisse von Fidell et al. [1985], Lambert et al. [2003], Lloyd [2000] als auch Rohrmann [1976] lassen diesen Schluss zu. Der Unterschied der Belästigung besteht vor allem darin, dass Privatflugzeuge üblicherweise an Wochenenden und Feiertagen aktiv sind, d.h. in Zeiten, in denen die Anwohner Ruhe und Entspannung suchen. Eine Ausnahme zu dieser Auffassung bildet Schomer [1983], der nach einer Untersuchung an einem reinen Privatflugplatz meinte, dass die Belästigungsreaktionen hier mit denen an großen Verkehrsflughäfen vergleichbar seien.

Fazit

Die Belästigung breiter Bevölkerungskreise wird von Lärmwirkungsforscherinnen und Lärmwirkungsforschern als Hauptwirkung des Umweltlärms angesehen. Sie kann mit standardisierter Methodik in systematischen Bevölkerungsbefragungen erhoben werden und zeigt dort regelmäßig einen hochsignifikanten statistischen Zusammenhang zum Grad der (berechneten) akustischen Belastung. Bei vergleichbaren akustischen Belastungen ergeben sich generell höhere Belästigungswerte für Fluglärm als für andere Verkehrslärmarten. Zieht man die an Verkehrsflughäfen zwischen 1965 und 1995 erhobenen Daten heran, so zeigt sich beispielsweise bei 65 dB Tages-Beurteilungspegeln ein Anteil von 30 % stark belästigter Personen. Es gibt Hinweise darauf, dass dieser Anteil an heutigen Verkehrsflughäfen trotz gesunkener Maximalpegel bei vergleichbaren Beurteilungspegeln deutlich höher ist. Weniger gut untersucht sind die Verhältnisse an militärischen Flugplätzen und Flugplätzen mit überwiegend privatem Betrieb. Im erstgenannten Fall scheint die Belästigung bei vergleichbaren Beurteilungspegeln etwa gleich hoch zu sein wie bei zivilen Verkehrsflughäfen, im letztgenannten Fall liegt sie höher.

Literatur

- Björkman, M., Åhrlin, U., Rylander, R. (1992). Aircraft noise annoyance and average versus maximum noise levels. *Archives of Environmental Health* 47, 326 -329
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. (2000). Eckpunkte der Novelle des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm. Bonn/Berlin
- Felscher-Suhr, U., Guski, R., Hunecke, M., Kastka, J., Paulsen, R., Schümer, R., Vogt, J. (1996). Eine methodologische Studie zur aktuellen Erfassung von Alltagstätigkeiten und deren Störungen durch Umweltlärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 43, 61-68
- Fidell, S., Barber, D. S. & Schultz, T. J. (1991). Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America* 89, 221-233
- Fidell, S., Horonjeff, R., Mills, J., Baldwin, E., Teffeteller, S., Pearsons, K. S. (1985). Aircraft noise annoyance at three joint air carrier and general aviation airports. *Journal of the Acoustical Society of America* 77, 1054-1068

- Fields, J. M., De Jong, 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 and Vibration* 242, 641-679
- Finegold, L. S., Harris, C. S., von Gierke H. E. (1994). Community annoyance and sleep disturbance: Updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people. *Noise Control Engineering Journal* 42, 25-30
- Flindell, I. H. (1999). Military aircraft noise and health - Methodological issues in research. *Proceedings of 137th ASA Meeting / Forum Acusticum / 25th DAGA Conference. Abstract in Acta Acustica* 85, Suppl. 1, 351
- Guski, R. (1997). Conceptual, methodological and dose-response problems related to annoyance and disturbance. *Proceedings of Internoise 97, Vol. 2*, 1077-1082
- Guski, R. (2003). Neuer Fluglärm gleich alter Fluglärm? Kritische Anmerkungen zu einer Expertenmeinung und ein Vorschlag zur Prognose-Berechnung der erheblichen Belästigung bei wesentlich geänderter Fluglärm-Belastung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 50, 14-25
- Guski, R. (2004). How to forecast community annoyance in planning noisy facilities?. *Noise & Health* 6, 59 -64
- Guski, R., Schuemer, R., Felscher-Suhr, U. (1999). The concept of noise annoyance: how international experts see it. *Journal of Sound and Vibration* 223, 513-527
- Hall, F. L., Taylor, S. M., Birnie, S. E. (1985). Activity interference and noise annoyance. *Journal of Sound and Vibration* 103, 237-252
- Hiramatsu, K., Yamamoto, T., Taira, K., Ito, A., Nakasone, T. (1997). A survey on health effects due to aircraft noise on residents living around Kadena air base in the Ryukus. *Journal of Sound and Vibration* 205, 451 -460
- Ising, H., Rebentisch, E., Poustka, F., Curio, I. (1990). Annoyance and health risk caused by military low-altitude flight noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 62, 357-363
- Kastka, J., Faust, M. (1998). Vorhersage von Belästigungsreaktionen auf Fluglärm durch Pegelüberschreitungshäufigkeitsmasse. *Fortschritte der Akustik – DAGA 98*, 36-37

- Kastka, J., Faust, M. (2000) Differences in day and night annoyance at Frankfurt Airport. Proceedings of Internoise 2000, Abstracts, 60. Nice, France
- Lambert, J., Champelovier, P., Bruyère, J.C. (2003). Annoyance from leisure aviation noise. Proceedings of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem, 357-359, Rotterdam
- Lindvall, T., Radford, E.P. (1973). Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors. Environmental Research 6, 1-36
- Lloyd, D. (2002). The mosquito effect: Community reaction to noise from a general aviation airport. Proceedings of Internoise 2000, Abstracts, 301-302, Nice, France
- Miedema, H. M. E., Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. Journal of the Acoustical Society of America 104, 3432-3445
- Miedema, H. M., Oudshoorn, C.G. (2001). Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure Metrics DNL and DENL and their confidence intervals. Environmental Health Perspectives 109, 409-416
- Miyakita, T., Matsui, T., Ito, A., Tokuyamas, T., Hiramatsu, K., Osada, Y., Yamamoto, T. (2002). Population-based questionnaire survey on health effects of aircraft noise on residents living around US airfields in the Ryukus. Part I: An analysis of 12 scale scores. Journal of Sound and Vibration 250, 129 -137
- Ortscheid, J. (2003). Weniger Lärmbelästigung in der Wohnung und am Arbeitsplatz (?). Zeitschrift für Lärmbekämpfung 50, 12-13
- Raw, G. J., Griffiths, I. D. (1990). Subjective response to changes in road traffic noise: a model. Journal of Sound and Vibration 141, 43-54
- Rohrman, B. (1976). Die Störwirkung des Flugbetriebs an Landeplätzen - eine empirische Studie. Kampf dem Lärm 23, 6-11
- Rylander, R., Björkman, M. (1988). Maximum noise levels as indicators of biological effects. Journal of Sound and Vibration 127, 555 -563
- Rylander, R., Björkman, M. (1997). Annoyance by aircraft noise around small airports. Journal of Sound and Vibration 205, 533-537
- Schick, A. (1997). Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung. Lengerich, Pabst Science Publishers

Schomer, P. (1983). A survey of community attitudes toward noise near a general aviation airport. *Journal of the Acoustical Society of America* 74, 1773-1781

Schultz, T. J. (1978). Synthesis of social surveys on noise annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 377-405

Weiterführende Literatur

Anderson, G. S., Horonjeff, R. D., Menge, C. W., Miller, N. P., Robert, W. E., Rossano, C., Sanchez, G., Baumgartner, R. M., McDonald, C. (1993). Dose-Response Relationships Derived from Data Collected at Grand Canyon, Haleakala and Hawaii Volcanoes National Parks. Technical Report PB94-151941, Washington, NTIS

Fields, J. M., Ehrlich, G. E., Zador, P. (2000). Theory and design tools for studies of reactions to abrupt changes in noise exposure. NASA / CR-2000-210280, Langley Research Center, Hampton, Va., NASA

Navrud, S. (2002). The State-of-The-Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to the European Commission DG Environment. URL: <http://europa.eu.int/comm/environment/noise/020414noisereport.pdf> (5.6.2003)

Kapitel 6 Kommunikation

Manfred Spreng

Kommunikationsstörungen in Innenräumen

Bewertungsverfahren der Kommunikationsstörung (Hörerbelastung) und Sprechpegel.

Eine Störung der Kommunikation kann dann vorliegen, wenn unter Lärmeinfluss Informationsverluste entstehen, Kommunikationsdauern verlängert werden (Nachfragen, Wiederholen), Gedankenketten abreißen und besondere Anstrengungen beim Hörer (stärkere Konzentration) und Sprecher (Anheben der Stimme) auftreten.

Gängige Bewertungsverfahren (Sprachperzeptionsschwelle, Speech Reception Threshold: SRT = 50 % Erkennungsleistung); Artikulationsindex: AI; 'Speech interference level': SIL; Sprachübertragungsindex: STI/RASTI) sind zwar geeignet für Beurteilung von Sprachübertragungskanälen (z.B. Räumlichkeiten), sie erfassen jedoch weniger die individuelle Kommunikationsbeeinträchtigung, insbesondere spezifischer Gruppen, wie z.B. von Kleinkindern und Schulkindern sowie von Schwerhörigen und Hörgeräteträgern. Bezüglich des Einflusses des Störgeräuschpegels zeigen sehr einfache Messungen der Sprachperzeptionsschwelle (ohne Berücksichtigung anderer Einflussgrößen wie beispielsweise Raumbeschaffenheit oder visuelle Zusatzinformationen), dass oberhalb von Sprachpegeln von 20 dB dann noch eine 50 %-ige Satzverständlichkeit gegeben ist, wenn die gesprochenen Sätze gerade 8 dB (entspricht $AI = 0,4$ und $STI = AI + 0,1 = 0,5$) und nicht weiter unter dem Störgeräuschpegel präsentiert werden. Eine in der experimentellen Situation gegebene Satzverständlichkeit zwischen 80 und 90 %, die mit befriedigend bis gut zu bezeichnen ist, verlangt dann ein Signal/Störgeräuschverhältnis, welches mindestens bei 0 bis +3 dB liegt. Bei dieser Minimalforderung liegt die Verständlichkeit von kontextfreien einsilbigen Worten allerdings erst zwischen 50 und 70 %.

Bewertung der Kommunikationsgüte unter Berücksichtigung von Hörer- und Sprecherbelastung. Von besonderer Wichtigkeit ist sowohl die Herausstellung der Sprecher- als auch der Hörerbelastung in realen, komplexen sprachlichen Kommunikationssituationen unter Störgeräuscheinfluss, wobei neben den Sprach-, Geräusch- und Raumeigenschaften auch Alter, Sprachvertrautheit und Hörvermögen eine Rolle spielen. Nach Lazarus [1986] kann die sprachliche Kommunikation dabei nicht besser sein, als durch die Belastung eines der Kommunikationspartner gegeben. Soll eine adäquate Kommunikation sichergestellt sein,

so muss eine Balance zwischen der Anstrengung des Sprechers und der Behinderung des Hörers vorliegen. Aufgrund von Benotungsbeurteilungen ihrer jeweiligen Sprech- bzw. Verstehensgüte werden Bewertungskurven angegeben [Lazarus 1990], welche die Abhängigkeit zwischen Störgeräuschpegel und Sprecher-Hörer-Abstand beinhalten. Damit sind eine Vielzahl von Situationen beurteilbar, bei denen unter Störgeräuscheinfluss sowohl der Sprecher seine Stimmlautstärke anhebt, als auch der Hörer die Entfernung zum Sprecher verringert. Ebenso können Situationen beurteilt werden, in denen der Abstand zwischen Sprecher und Hörer nicht veränderbar und größer als die Standardentfernung (1 m) ist (z.B. haushaltstätige Mutter und ortsfestes Kleinkind).

Epidemiologische Erhebungen hinsichtlich Kommunikationsstörungen durch Lärmeinfluss. Grundsätzlich ist bei der Bewertung epidemiologischer Erhebungen zu berücksichtigen, dass die erlebten lärmbedingten Kommunikationsstörungen neben der direkten Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit und den damit unmittelbar verbundenen Anstrengungen für Sprecher und Hörer z.B. auch psychische und soziale Störungen nach sich ziehen [u.a. Berglund et al. 1999, Guski 1987, Spreng 1994].

So geben in den USA 39 % der befragten Personen in Großstädten mit gemischten Geräuschemissionen an, sich durch die Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit gestört zu fühlen. Wird nur die Störung durch den Straßenverkehrslärm betrachtet, dann wird bei einem Außenmittelungspegel (6 - 22 Uhr) zwischen $L_m = 50$ und 75 dB(A) ein Anteil wesentlich Gestörter (Störungen der Unterhaltung und Gestörtheit beim Radio- bzw. TV-Hören vor allem auch infolge irreversiblen Informationsverlust) ermittelt, welcher von 20 - 75 % der Bevölkerung reicht. Im unteren Intensitätsbereich wirken Schienen- und Straßenverkehrslärm hinsichtlich der Kommunikationsstörung praktisch gleich, während Autobahnverkehrs- und Fluglärm in diesem Pegelbereich $\{L_m = 55 - 60$ dB(A) $\}$ die Angaben für starke Belästigung auf das Doppelte gegenüber Schienen- und Straßenverkehrslärm ansteigen lassen.

Bezüglich Momentanpegeln sind keine detaillierten Untersuchungen bekannt, so dass eventuell auf ältere Angaben über Sprachverständlichkeit in Arbeitsstätten unter Einbezug von Störgeräuschen [DIN 33410, 1981] orientierend zurückgegriffen werden muss. Dort wird eine Sprachverständlichkeit noch angenommen, wenn in Innenräumen ein $L_{ASmax} \leq 60$ bzw. 54 dB(A) für Abstände von 1 m bis 4 m (z.B. TV-Hören) gegeben ist und einmal (1 m) ruhig/normale $\{57$ dB(A) $\}$ und zum anderen – gegebenenfalls durch geräteseitige Lautstärkeanhebung - normal/angehobene $\{63$ dB(A) $\}$ Sprechweise vorausgesetzt wird.

Fasst man alle Angaben über Kommunikationsstörungen durch die verschiedenen Umweltstörgeräusche zusammen, dann ist zu konstatieren, dass schon bei einem mittleren Außenschallpegel von 50 - 55 dB(A) ca. 10 % der Befragten starke Kommunikationsstörungen angeben, wobei eine Verdopplung der Lautstärke von Flugzeuggeräuschen (10 dB Pegelanstieg) in Laborversuchen auch zu einer Verdopplung der Unzufriedenheit infolge von Kommunikationsstörungen führte [Langdon et al. 1974]. Neuere Befragungsergebnisse zeigen jedoch, dass eher ein etwa 5 dB(A) niedrigerer Wert anzusetzen ist [Berglund & Lindvall 1995, Fidell & Silvati 1998, Jong et al. 1992, Kurra et al. 1999]. Durch diese Untersuchungen wird vor allem der stärkere Belästigungseindruck für Störungen des Radio- und TV-Hörens infolge Schienenverkehrslärms herausgestellt, durch den beispielsweise im Pegelbereich 60 dB(A) (24 h Mittelungspegel) 30 -40 % mehr wesentlich gestörte Personen zu verzeichnen sind als bei Straßenverkehrslärm. Diese erhöhte Prozentzahl ergibt sich sogar für den gesamten Pegelbereich, wenn die Fluglärmwirkung betrachtet wird (bereits bei einem Tag/Nacht-Fluglärmpegel von $L_{DN} = 60$ dB(A) bezeichnen sich über 50 % der befragten Personen in ihrer Kommunikation gestört, vgl. Fidell & Silvati [1998]).

Eine Übersicht über mehrere, im Zeitraum 1980 bis 1998 in verschiedenen Ländern durchgeführte Feldstudien an Flughäfen hinsichtlich der Wirkung von Fluglärm auf die Kommunikation ergibt, dass bei einem Tagesmittelungspegel von $L_{eq, 16h} = 60,2$ dB(A) etwa 30 % der Betroffenen stark gestört bzw. 50 % gestört sind. Dem entsprechen nach Rylander et al. [1980] Maximalpegelangaben zwischen $L_{max} = 75$ dB(A) (Radio/TV) und $L_{max} = 78,5$ dB(A) (Telefonieren).

Lärminduzierte Kommunikationsstörungen Normalhörender und besonderer Personengruppen. Legt man das für Normalhörende für gutes bis sehr gutes Sprachverständnis (Artikulations-Index: $AI = 0,6 - 1,0$; Speech Transmission Index $STI = 0,7 - 1,0$) notwendige Signal/ Störverhältnis von 6 bis 18 dB (Mittel 12 dB) [Lazarus & Lazarus-Mainka 1979, Houtgast 1980, Steeneken & Houtgast, 1980, Lazarus 1993] zugrunde, dann muss ein Innengeräuschpegel herrschen von 45 dB(A) für enge Kommunikation (1 m Abstand) und 39 dB(A) für familiäre Kommunikation (4 m Abstand), da im letztgenannten Fall zusätzlich der Sprechpegel um 12 dB (4-facher Abstand) vermindert am Ohr des Hörers eintrifft. Damit ergeben sich die in Tabelle 1 (siehe unten) in der ersten Zeile angegebenen Werte von tolerablen Innenraum-Störpegeln für gutes bis sehr gutes Sprachverständnis normalhörender Personen [Spreng 1994].

Für bestimmte Personengruppen resultieren - wie in der Folge dargelegt - andere Signal/Störverhältnisse, wodurch sich die weiteren in Tabelle 1 angeführten Werte errechnen.

Säuglinge und Kleinstkinder sind in ihren Sensibilisierungs- und Anpassungsprozessen durch Lärm deutlich benachteiligt; sie benötigen ein ca. 6 dB günstigeres Signal/Störgeräuschverhältnis als Erwachsene, also 12 - 24 dB (im Mittel 18 dB, Tabelle 6.1) [Nozza et al. 1990].

Kleinkinder sind in den Spracherwerbsphasen I und II [Spreng 2003] ebenfalls besonders sensibel gegenüber Lärmstörungen. Untersuchungen an Kindern im Alter von 4 - 5 Jahren lassen erkennen, dass das Diskriminationsvermögen dieser Kinder wesentlich schlechter ist als das von Erwachsenen, wobei die Angaben für das für die Kinder nötige bessere Signal/Störgeräuschverhältnis von 5 - 10 dB bis hin zu 15 - 22 dB (im Mittel 13 dB) schwanken. Sie benötigen also Verbesserungswerte von 19 - 31 dB (im Mittel 25 dB: Tabelle 6.1) [Schwarz & Goldman 1974, Hall & Grose 1991, Papso & Blood 1989].

Schulkinder zeigen bis zum Alter von etwa 13 Jahren eine gegenüber Erwachsenen verringerte Diskriminationsleistung. Berücksichtigt man weiterhin die übliche Halligkeit von Schulräumen und Störgeräusche aus den Schulräumen selbst, so müssen gegenüber Erwachsenen verbesserte Signal/Störgeräuschverhältnisse um 5 bzw. 7 dB gefordert werden, also insgesamt 12 - 20 dB (im Mittel 18 dB: Tabelle 6.1) [Elliot 1979, Neumann & Hochberg 1983, Yacullo & Hawkins 1987, Hygge 1993]. Für Klassenzimmer würde dies einen Störgeräuschpegel von $L_{NA} = 35$ dB bei einem Sprachschallpegel von $L_{SA} = 45$ dB am Ohr des Hörenden bedeuten.

Schwerhörige (ca. 15 Millionen in der Bundesrepublik Deutschland) erfahren durch eine störrauschhaltige Umgebung eine nicht unerhebliche Erhöhung ihres Leidensdruckes. Sowohl Störgeräusche als auch Hallsituationen vermindern die Modulation der Sprachumhüllenden, so dass eine Beeinträchtigung der Spracherkennung durch letztere zusätzlich gegeben ist. Tritt beides auf, dann füllt das Störgeräusch die weniger intensiven Zeitbereiche der Sprache, Halligkeit verschmiert das Sprachsignal im Zeitbereich. Unter diesen ungünstigen Bedingungen muss ein um 3 - 9 dB (im Mittel 6 dB) verbessertes Signal/Störgeräuschverhältnis für die Hörgeschädigten verglichen zum Normalhörenden verlangt werden (also 12 - 24 dB, im Mittel 18 dB: Tabelle 6.1) [Dreschler & Leeuw 1990], um gleiche Satzverständlichkeit aufzuweisen [Plomb & Duquesnoy 1982, Festen & Plomp 1990, Smoorenburg 1990].

Altersschwerhörige weisen insbesondere Hörverluste im Bereich zwischen 2 und 4 kHz auf. Diese bewirken einen beachtlichen Verständlichkeitsverlust, der mit einem ca. 12 dB besseren Signal/Störgeräuschverhältnis bei Altersschwerhörigkeit gegenüber dem Normalhörenden kompensiert werden müsste (also 18 - 30 dB, im Mittel 24 dB, Tabelle 6.1), während bei jüngeren gleichgradig Schwerhörigen eine Verbesserung um 6 dB die gleiche Anhebung der Verständlichkeit bereits bewirkt. Zu gleichen Werten (Signal/Störgeräuschverbesserungen zwischen 11 und 13 dB) kommen andere Untersuchungen bei 76 - 86jährigen in Gegenwart von gefilterter und verhallter Sprache [Gordon-Salant 1987, Humes & Christopherson 1991].

Hörgeräteträger erleben in den meisten Fällen keine Wiederherstellung des normalen Hörvermögens, sondern allenfalls eine Teilkompensation. Da sowohl Sprachschall und Störschall durch das Hörgerät verstärkt werden, ergibt sich keine Verbesserung des Sprachverständnisses im Lärm, sondern die Verständlichkeit sinkt von Werten um 90 % auf Werte unter 50 %. Um lärminduzierte Verschlechterungen der Sprachdiskriminationsleistung zu kompensieren, sind Verbesserungen des Signal/Störgeräuschverhältnisses um 15 - 27 dB (im Mittel 21 dB, Tabelle 6.1) für Hörgeräteträger wünschenswert bzw. notwendig [Peterson et al. 1990, Müller 1993].

Angaben über tolerable mittlere Innengeräuschpegel

Allgemein zusammenfassend werden in Tabelle 6.1 für die verschiedenen Personengruppen mittlere Bereiche des Signal/Störgeräuschverhältnisses und damit tolerable mittlere Innengeräuschpegel für gutes bis sehr gutes Sprachverstehen zusammengestellt. Dabei wird unterschieden zwischen

- enger Kommunikation (1 m Abstand, ruhige/normale Stimme: $L_{SA} = 57$ dB)
- familiärer Kommunikation (4 m Abstand, normale/angehobene Stimme: $L_{SA} = 63$ dB)
- schulischer Kommunikation (10 m Abstand, angehobene/laute Stimme: $L_{SA} = 69$ dB).

(L_{SA} = A-bewerteter Sprechpegel)

Aus den für die jeweilige Gruppe in der Literatur gefundenen Angaben über - gegenüber dem Normalhörenden - zu verbessernde Signal/Störgeräuschverhältnisse (s.o.) werden derartige Bereiche ermittelt durch Addition zum notwendigen Signal/Störgeräuschverhältnis des Normalhörenden für gute bis sehr gute Verständlichkeit. Der daraus bestimmbare Mittelwert und die jeweils für die gewählten Situationen angesetzten Sprechlautstärken ergeben den tolerablen Mittelwert der Störpegel in Innenräumen. Für den Schallpegelabfall mit zunehmender Entfernung sind 6 dB pro Verdopplung der Entfernung angenommen (je nach

Raumbeschaffenheit u. U. nur 3 dB oder auch weniger; andererseits können sog. „private“ Sprechpegel wiederum 3 dB niedriger vorliegen).

Für die Kommunikation in Wohnninnenbereichen von Flugplatzanrainern ist mindestens eine gute Sprachverständlichkeit bei normaler, allenfalls angehobener Sprechweise für familiäre Kommunikation anzustreben.

	1	2	3
	enge Kommunikation 1m Abstand ruhig/normal [L _S = 57 dB(A)]	familiäre Kommunikation 4 m Abstand normal/angehoben [L _S = 63dB(A)]	schulische Kommunikation 10 m Abstand angehoben/laut [L _S = 69 dB(A)]
Normalhörende	6-18 [45 dB(A)]	6-18 [39 dB(A)]	10 [41 dB(A)]
Säuglinge	12-24 [39 dB(A)]	12-24 [33 dB(A)]	—
Kleinkinder	19-31 [32 dB(A)]	19-31 [26 dB(A)]	—
Schulkinder	12-24 [39 dB(A)]	12-24 [33 dB(A)]	10-20 [36 dB(A)]
Schulkinder (HG)	—	—	30 [21 dB(A)]
Schwerhörige	12-24 [39 dB(A)]	12-24 [33 dB(A)]	16 [35 dB(A)]
Altersschwerhörige	18-30 [33 dB(A)]	18-30 [27 dB(A)]	22 [29 dB(A)]
Hörgeräteträger	15-27 [36 dB(A)]	15-27 [30 dB(A)]	—

Tabelle 6.1 Signal/Störverhältnis-Bereiche und mittlerer tolerabler Innengeräuschpegel [in eckiger Klammer] für bestimmte Personengruppen in enger, familiärer und schulischer Kommunikationssituation unter Berücksichtigung eines jeweils entsprechenden Sprachpegels [nach Spreng1994]

Fasst man ohne Einbezug der Normalhörenden, die für enge Kommunikation in Tabelle 6.1 für besondere Gruppen angegebenen restlichen Werte als Mittelwert zusammen, so kann man

einen Störschallschwellenwert in Innenräumen postulieren, der ebenfalls eine anpassbare, familiäre Kommunikation (Tab. 6.1, Spalte 2) ermöglicht.

Um eine gute bis sehr gute Sprachverständlichkeit bei enger Kommunikation (1 m) bzw. eine gute Sprachverständlichkeit bei 2 m Abstand zu gewährleisten, wird nach dem Kriterium der Sprachverständlichkeit ein höchstens zumutbarer, kritischer Störschallpegel von $L_{NA} = 45 \text{ dB(A)}$ (Tabelle 6.1, Spalte 1) im Innenraum gefordert.

Es ist eine offene Frage, wie viel kommunikationsstörende Ereignisse {z.B. L_{\max} über 70 dB(A) } pro Stunde in hoch belasteten Wohngebieten höchstens auftreten dürfen. Inwieweit eine kommunikationsfördernde passive Schalldämmung sich dann nicht nach den Tages-Mittelungspegeln, sondern bei ausgesprochen häufigen hohen Momentanpegelspitzen nach diesen richten müsste, ist zu diskutieren.

Für die durch Fluglärm in der Kommunikation besonders gestörten Personengruppen wie Kinder, ältere Menschen, Schwerhörige und Hörgeräteträger müssen gemäß Tabelle 6.1 und auch nach Empfehlungen der WHO [Berglund & Lindvall 1995] niedrigere Störschallpegel als bei erwachsenen Normalhörenden angesetzt werden. Es ergeben sich so z.B. (Tabelle 6.1, Spalte 3) für schulische Kommunikation Mittelungspegel im Innenraum von $L_{NAeq} = 36 \text{ dB}$, bzw. bei im Mittel geringerem Abstand als 10 m von $L_{NAeq} = 40 \text{ dB}$. In Seniorenwohnanlagen, Seniorenheimen bzw. Pflegeheimen für ältere Menschen sollten die gleichen Sprachverständlichkeits-Anforderungen gelten [Spreng 2004].

Kommunikationsstörungen in Außenwohnbereichen

Es ist nicht zuzumuten, dass bei höheren Pegeln einerseits die Fenster zu Innenräumen überwiegend geschlossen bleiben und andererseits die Benutzung der Außenwohnbereiche (Terrasse, Balkon, Garten) eingeschränkt wird. Es erscheint weiterhin bis zu einem gewissen Grade gerechtfertigt, bei Kommunikation in Außenwohnbereichen höhere Sprechpegel als in Innenräumen, sowie durch Abstandsvariation anpassbares Kommunikationsverhalten vorauszusetzen. Wenigstens sollte aber eine ausreichende Sprachverständlichkeit über 1 bis 2 m gewährleistet sein. Nach dem Grundsatz gleicher Anstrengung bei Sprecher und Hörer müsste für den Sprecher eine laute Sprechweise veranschlagt werden. Nach Lazarus-Mainka & Tkocz [1988] bewerten Hörer eine laute Sprechweise auf Dauer jedoch als unangenehm. Deshalb darf dem Sprecher im Außenbereich nicht mehr als eine angehobene Sprechweise zugemutet werden.

Des Weiteren kann bei Fluglärm im Gegensatz zu permanentem Straßenverkehrslärm auf gewisse Lärmpausen hingewiesen werden, innerhalb derer eine ungestörte Kommunikation relativ problemlos möglich ist. Dem ist andererseits entgegenzuhalten, dass die zeitweise völlige Unterbrechung der Unterhaltung bei stark fluktuierendem Lärm (Überflug einzelner sehr lauter Flugzeuge) als belastend oder ärgerlich erlebt wird. Die erzwungene Unterbrechung führt dazu, dass bei den Gesprächspartnern Gedankenketten abreißen und eine flüssige Kommunikation dadurch beeinträchtigt wird. Darüber hinaus muss bei längerfristiger Kommunikation mit angehobener ($L_{SA} = 66 \text{ dB}$) Stimme der Gesichtspunkt der Sprecherbelastung erwähnt werden. Dessen Kommunikationssituation kann bei diesem Wert des Sprechpegels nicht mehr als gut, sondern muss eher als befriedigend bezeichnet werden.

Betrachtet man für die Außenwohnbereiche eine ausgewogene und befriedigende Sprecher/Hörersituation als Anhaltswert für eventuell noch tolerierbare Nutzung (enge Kommunikation) dieser Außenwohnbereiche, so findet man dafür Grenzwerte für Störpegel von $L_{NA} = 68 \text{ dB}$ [Lazarus 1990, Spreng 1994]. Geht man von einem Sprecher-Hörer-Abstand von 4 m im Außenbereich (familiäre Kommunikation) bei einem Störpegel von 56 dB(A) aus, dann ist noch eine befriedigende Kommunikationssituation für den Hörer gegeben, wenn der Sprecher infolge Stimmanhebung nur noch seine Situation als ausreichend empfindet. Dies kann für Außenbereiche akzeptiert und als grobe Festlegung ein Mittelwert zwischen den beiden befriedigenden/ausreichenden Situationsgegebenheiten (0,5 m und 4 m) bzw. den entsprechenden Störpegeln von 68 und 56 dB(A) als Grenzwert genannt werden. Demzufolge kann als oberer kritischer Wert für befriedigende/ausreichende kommunikative Nutzung von Außenbereichen (befriedigende/ ausreichende Sprecher/Hörer-Situation) ein Störpegel von $L_{NA} = 62 \text{ dB}$ angegeben werden.

Bei gemittelten Außenpegelwerten in dieser Größenordnung sind gemäß Angaben des Umweltbundesamtes [UBA 1989] in den um ca. 10 - 15 dB (i. a. bei gekippten Fenstern) weniger lauten Innenräumen jedoch bereits ca. 10 - 15 % in ihrer Kommunikation wesentlich gestört. Die Oslo-Untersuchung von Gjestland et al. [1990] (Abb. 6.1) ergibt jedoch bei einem Außenpegel von 62 dB(A) einen Prozentsatz Gestörter (allerdings nicht wesentlich Gestörter) beim 'Sprechen draußen' von immerhin ca. 60 % der befragten Personen an. Es empfiehlt sich deshalb, einen Richtwert für Kommunikationsstörungen im Außenbereich festzusetzen, der mindestens 3 dB niedriger, also bei 59 dB(A) festzulegen ist. Dieser Wert liegt genau zwischen dem ermittelten Wert für befriedigende bis ausreichende familiäre Außen-

Kommunikationssituation von 56 dB(A) und dem Wert von 62 dB(A), der in vielen Fällen unter dem Gesichtspunkt der entfernungsvariablen Anpassbarkeit noch tolerabel ist.

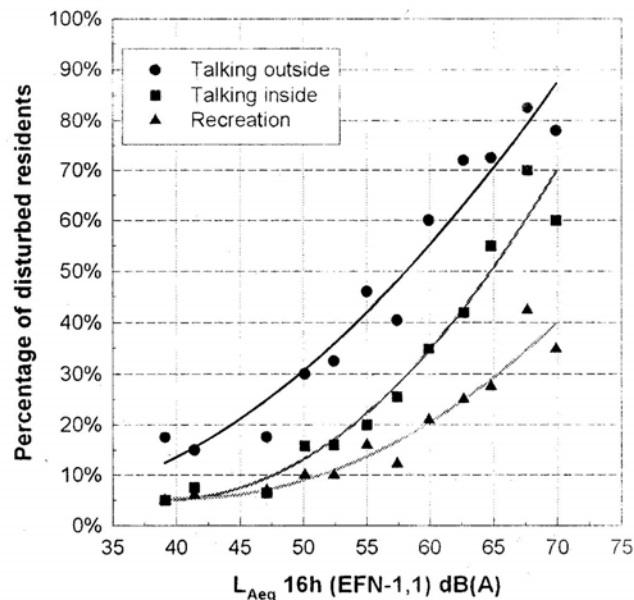


Abb. 6.1 Ergebnisse der Oslo-Befragungsstudie hinsichtlich Prozentanteil gestörter Personen bei Sprechen im Außenbereich und im Innenbereich, sowie bei der Erholung [Gjestland et al. 1990]

Selbstverständlich ist im Zusammenhang mit der Kommunikationsstörung in den Außenbereichen ebenfalls die Frage zu diskutieren, inwieweit die Häufigkeit besonders lauter Einzelereignisse auch dann als besonders störend aufzufassen ist, wenn der Tages-Mittelungspegel unter dem hier angegebenen Wert von 62 dB(A) bleibt.

Fazit

Fluglärm bewirkt ab Tages-Mittelungspegeln $L_{eq,16h} > 60$ dB(A) bei etwa 30 % der Betroffenen starke und bei ca. 50 % generell Störungen der Kommunikation (Unterhaltung, Radio-/TV-Hören).

Gutes bis sehr gutes Sprachverstehen bei - den Sprecher wenig belastende - normaler, allenfalls angehobener Sprechweise, sollte für familiäre Kommunikation (4 m Abstand) noch gegeben sein.

Gute enge Kommunikation (1 m Abstand) und weitgehend auch abstandsvariabel anpassbare familiäre Kommunikation ist für besondere Gruppen (Säuglinge, Kleinkinder, Schwerhörige, Altersschwerhörige, Hörgeräteträger) zu fordern.

Störpegel in Außenbereichen sind so anzustreben, dass unter der Voraussetzung anpassbaren Kommunikationsverhaltens sowie zumutbarer ausgewogener und befriedigender Sprecher-/Hörsituation Kommunikation noch durchführbar ist.

Literatur

Berglund, B., Lindvall, T. (1995). Community Noise. Arch Center Sensory Res, Vol 2, Issue 1, Stockholm University and Karolinska Institute

Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D. H. [eds] (1999). Guidelines for community noise. World Health Organization, Geneva

DIN 33410 (1981) Sprachverständigung in Arbeitsstätten unter Einwirkung von Störgeräuschen - Begriffe, Zusammenhänge. Berlin, Beuth-Verlag

Dreschler, W. A., Leeuw, A. R. (1990). Speech reception in reverberation related to temporal resolution. J. Speech Hear. Res. 33, 181-187

Elliot, L. L. (1979). Performance of children aged 9 to 17 years on a test of speech intelligibility in noise using sentence material with controlled word predictability. J. Acoust. Soc. Am. 66, 651-653

Festen, J. M., Plomp, R. (1990). Effects of fluctuating noise and interfering speech on the speech-reception threshold for impaired and normal hearing. J. Acoust. Soc. Am. 88, 1725-1736

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, California, USA

Gjestland, T., Liasjo, K., Granoien, I., Fields J. M. (1990). Response to noise around Oslo Airport Fornebu. ELAB-RUNIT Report No. STF40 A90189. Trondheim

Gordon-Salant, S. (1987). Age-related differences in speech recognition performance as a function of test format and paradigm. Ear and Hearing 8, 277-282

Guski, R. (1987). Lärm. Wirkungen unerwünschter Geräusche. Bern, Huber

- Hall, J. W., Grose, J. H. (1991). Notch-noise measurements of frequency selectivity in adults and children using fixed-marker-level and fixed-signal-level presentation. *J. Speech Hear. Res.* 34, 651-660
- Houtgast, T. (1980). Indoor speech intelligibility and indoor noise level criteria In: (Tobias, J. V., Jansen, G., Ward, W.D., eds.) *Noise as a Public Health Problem*. ASHA Report 10, 172-183, Rockville
- Humes, L. E., Christopherson, L. (1991). Speech identification difficulties of hearing-impaired elderly persons: The contribution of auditory processing deficits. *J. Speech Hear. Res.* 34, 686-693
- Hygge, S. (1993). Classroom experiments on the effects of aircraft, traffic and verbal noise on long-term recall and recognition in children aged 12 - 14 years, including a follow-up study on aircraft noise presented at lower dBA-levels. In: (Schick, A., ed.) *Contributions to Psychological Acoustics*, BIS, Oldenburg
- Jong de, R. G., Jurriens, A. A., Groot, B. et al. (1992). *Geluidhinder in relatie tot gezondheid*. Projectbureau Noordrand Rotterdam, Rotterdam
- Kurra, S., Morimoto, M., Maekawa, Z. I. (1999). Transportation noise annoyance - a simulated-environment study for road, railway and aircraft noises. Part 2: Acitivity disturbance and combined results. *Journal of Sound and Vibration* 220, 279-295
- Langdon, L. E., Gabriel, J.F., Coreman, L. R. (1974). Judged acceptability of noise exposure during TV viewing. *Journal of Sound and Vibration* 9, 263-275
- Lazarus, H. (1986). A model of speech communication and its evaluation under disturbing conditions. In: (Schick, A., Höge, H., Lazarus-Mainka, G.; eds.) *Contributions to Psychological Acoustics*, BIS, Oldenburg
- Lazarus, H. (1990). New techniques for describing and assessing speech communication under conditions of interference. In: (Berglund, B., Lindvall, T., eds.) *Noise as a Public Health Problem - Part I*, 197-226. Swedish Council Building Research, Stockholm
- Lazarus, H. (1993). Recognition of danger signals and speech communication - State of standardisation. In: (Vallet, M. ed.) *Noise & Man '93-Noise as a Public Health Problem*, 185-222, INRETS, Nice

- Lazarus, H., Lazarus-Mainka, G. (1979). Sprachverständlichkeit und Mithörschwellen verrauschter Sätze unterschiedlichen Materials. *Acustica* 42, 281-294
- Lazarus-Mainka, G., Tkocz, N. (1988). Sprechen und Sprechanstrengung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 35, 157-162
- Müller, R. J. (1993). „..Ich höre - nicht alles. Dissertation TU Berlin
- Neumann, A. C., Hochberg, I. (1983). Children's perception of speech in reverberation. *J. Acoust. Soc. Am.* 73, 2145-2149
- Nozza, R. J., Rossman, R. N., Bond, L. C., Miller, S. L. (1990). Infant speech-sound discrimination in noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 87, 339-350
- Papso, C. F., Blood, I. M. (1989). Word recognition skills of children and adults in background noise. *Ear & Hearing* 10, 235-236
- Peterson, M. E., Feeney, M. P., Yantis, P. A. (1990). The effect of automatic gain control in hearing-impaired listeners with different dynamic ranges. *Ear Hear.* 11, 185-194
- Plomp, R., Duquesnoy, A. J. (1982). A model for speech reception threshold in noise without and with a hearing aid. In (Pederson, O. J., Poulsen, T., ed.) *Binaural effects in normal and impaired hearing. Scand. Audiol., Suppl.* 15,95-111
- Rylander, R., Björkman, M., Åhrlin, U. (1980). Aircraft noise annoyance contours: Importance of overflight frequency and noise level. *Journal of Sound and Vibration* 69, 583-595
- Schwartz, A. H., Goldman, R. (1974). Variables influencing performance on speech-sound discrimination test. *J. Speech Hear. Res.* 17, 25-32
- Smooenburg, G. F. (1990). Hearing handicap assessment for speech perception using pure tone audiometry. In: (Berglund, B., Lindvall, T, eds.) *Noise as a Public Health Problem, New Advances in Noise Research, Part I*; 245-254, Swedish Council Building Research, Stockholm
- Spreng, M. (1994). Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm. Forschungsbericht 105 01 213/06, Umweltbundesamt, Berlin

- Spreng, M. (2003). Die Wirkung von Lärm und unerwünschten Geräuschen auf die Sprachentwicklung von Kindern. In: (Schick, A.; Klante, M.; Meis, M.; Nocke, Ch.; Hrsg.) Beiträge zur psychologischen Akustik: Hören in Schulen. BIS, Universität Oldenburg, 117-148
- Spreng, M. (2004). Lärmmedizinisches Gutachten C8 - Verlängerung der Start- und Landebahn des Flughafens Frankfurt-Hahn. URL: http://www.hahnplus.de/allgemein/page_haupt.htm (März 2004)
- Steeneken, H. J. M., Houtgast, T. (1980). A physical method for measuring speech-transmission quality. J. Acoust. Soc. Am. 67, 318-326
- UBA (Umweltbundesamt) (1989). Lärmbekämpfung '88: Tendenzen-Probleme-Lösungen. Berlin, E. Schmidt-Verlag
- Yacullo, W. S., Hawkins, D. B. (1987). Speech recognition in noise and reverberation by school-age children. Audiology 26, 235-246

Weiterführende Literatur

- Hansen, M. (2000). Einfluss von Kompressionszeitkonstanten auf subjektive Sprachverständlichkeit und Klangqualität von Hörgeräten. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (Hrsg). Fortschritte der Akustik - DAGA 2000, 260-261, Oldenburg
- Hygge, S., Evans, G. W., Bullinger, M. A. (2002). Prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in school children. Psychological Science 13 (5) 469-474
- Matheson, M. P., Stansfeld, S. A., Haines, M. M. (2003). The effect of chronic aircraft noise exposure on children's cognition and health: 3 field studies. Noise & Health (5) 19, 31-40
- Meis, M. (1998). Zur Wirkung von Lärm auf das Gedächtnis. Explizite und implizite Erinnerungsleistungen fluglärmexponierter Kinder im Rahmen einer medizinpsychologischen Längsschnittstudie. Hamburg, Kovac
- Pearsons, K. S, Bennett, R. L., Fidell, S. (1977). Speech levels in various noise environments. Washington, DC: EPA - 600/1-77-025

Richtberg, W. (2000). Schwerhörigkeit und Alltagsbewältigung - Was muss neben der Hörgeräteversorgung für Schwerhörige noch getan werden? In (Plath, P., Hrsg.): Neue Techniken - neue Chancen. 10. Multidisziplinäres Kolloquium der Geers-Stiftung, Schriftenreihe Band 13, 127-133

Kapitel 7 Arbeit

Wolfgang Schönplflug und Klaus Scheuch

Arbeit wird im Folgenden verstanden als Erwerbs-, Haus- und Freizeitarbeit. Ziele der Arbeitsgestaltung sind:

- Zweckmäßige Planung und Durchführung der beabsichtigten Tätigkeit,
- Produktivität (Menge und Güte von Leistungen),
- Unfallfreiheit (Vermeiden von Personen-, Betriebs- und Umweltschäden),
- Aufwandsminderung (sparsamer Einsatz von personellen und materiellen Ressourcen) sowie
- Prävention von arbeitsbedingten Erkrankungen und psychischen Störungen, Gesundheits- und Persönlichkeitsförderung.

Lärm kann diese Ziele gefährden. Deshalb ist Arbeit vor unzumutbarem Lärm zu schützen.

Arbeit und Fluglärm

Arbeit wird in großem Umfang in Industrie-, Gewerbe- und Verwaltungsbetrieben geleistet. Für diesen Bereich gibt es eigene Regelwerke zum Lärmschutz - vor allem die Arbeitsstättenverordnung und die UVV Lärm (BGV B3). Die Einhaltung der in betrieblichen Regelungen vorgesehenen Begrenzungen des Lärms liegt in der Verantwortung der Arbeitgeber, jedoch nur, soweit sie den Lärm beeinflussen können. Der Arbeitgeber hat jedoch nach der Arbeitsstättenverordnung die „von außen einwirkenden Geräusche“ zu berücksichtigen. Fluglärm ist grundsätzlich vom Arbeitgeber nicht beeinflussbar.

Nicht durch betriebliche Regelungen geschützt ist die Haus- und Freizeitarbeit sowie die Erwerbsarbeit in Wohngebieten, die - u.a. angesichts der gegenwärtigen Entwicklung der Arbeitsorganisation und -technik - im Wachsen begriffen ist. Bisher existierende Verkehrslärmregelungen (z.B. die Verkehrslärmschutzverordnung) sehen unterschiedliche Begrenzungswerte für Wohn- und Gewerbegebiete vor.

Über spezielle Auswirkungen von Fluglärm auf die Arbeit in Überfluggebieten sind keine wissenschaftlichen Studien bekannt. Es gibt jedoch zahlreiche Untersuchungen mit anderen Arten von Schallen, welche Aufschluss über die Auswirkungen von Lärm auf Arbeitsablauf und Arbeitsleistung geben. Von diesen Studien werden im Folgenden Verallgemeinerungen auf die Wirkung von Fluglärm vorgenommen.

Arbeit und andere Wirkungsbereiche

Die Wirkungen von Lärm auf die Arbeit stehen in Beziehung zu dessen Auswirkungen auf die Belästigung, die laut-sprachliche Kommunikation, die Erholung, die kognitive Entwicklung sowie die Gesundheit. Auf die entsprechenden Abschnitte dieser Stellungnahme sei verwiesen. Sprachliche Kommunikation ist Voraussetzung für den ungestörten Ablauf sowie den Erfolg der Arbeit, sofern diese sich kooperativ mit anderen Partnern vollzieht. Ähnliche Probleme ergeben sich aus der akustischen Mensch-Maschine-Kommunikation. Spracheingaben vonseiten der Nutzer sowie sprachlicher Output vonseiten der Maschinen spielen dabei noch eine vergleichsweise geringe Rolle. Wichtig ist dagegen das Erkennen akustischer Signale sowie das Verfolgen von Maschinengeräuschen, welche Betriebsablauf und -störungen anzeigen. Insbesondere kann das Überhören von Warnsignalen die Sicherheit gefährden. Konkrete Hinweise zur Sicherung der Wahrnehmung akustischer Signale, Warnrufen oder Gefahr ankündigender Geräusche sind in der DIN EN 457 und der DIN 33404, Teil 3 aufgenommen, die im übertragenen Sinne auch für Schalleinwirkungen von außen zu berücksichtigen sind.

Lärmbedingte Erschwerungen, Störungen und Misserfolge bei der Arbeit schlagen sich kurzfristig in vegetativen und hormonellen Reaktionen nieder. Wiederholt auftretend können sie einen Beitrag zu Beeinträchtigungen der Gesundheit leisten. Die Arbeitsstörungen und -belastungen nehmen dabei zu, wenn Lärm die Erholung in Arbeitspausen verzögert. Insgesamt dürften Lärmwirkungen auf die Arbeit sich in der Arbeitszufriedenheit niederschlagen; nach Kjellberg & Sköldström [1991] spiegeln Urteile über die subjektive Lästigkeit von Lärm wahrscheinlich zu einem nicht geringen Teil die Erfahrung geminderter Arbeitszufriedenheit wider. Veränderungen der Leistungen von Schülern unter Lärm lassen sich schließlich als Folgen dauerhafter Arbeitsstörungen betrachten, wie sie auch bei der erwachsenen Bevölkerung auftreten können. Doch gebührt dem Problem der kognitiven Entwicklung im Schulalter eine besondere Beachtung (s. Kapitel 11 Kognitive Entwicklung).

Mechanismen der Schallwirkung

Das Konzept des Arbeitsgedächtnisses hat sich auch für die Lärmforschung als fruchtbar erwiesen. Als Arbeitsgedächtnis versteht die kognitive Psychologie ein Funktionssystem, das (a) aufgenommene Informationen kurzzeitig speichert, (b) diese analysiert und interpretiert, (c) auf der Grundlage von (b) zu Entscheidungen und Handlungsentwürfen gelangt und (d) Informationen aus dem Langzeitgedächtnis zur Beschleunigung und Verbesserung von (b) und

(c) abruff. Lärm kann das Arbeitsgedächtnis ebenso aktivieren wie andere Umweltreize und Aufgaben; dann lenken schallerzeugende Ereignisse die Aufmerksamkeit von der Arbeit ab. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses ist jedoch begrenzt. Lärm während der Arbeit bindet damit Kapazität, welche der Arbeit entzogen wird. Nach diesem Modell lassen sich drei Arten von Lärmeinflüssen erklären [Baddeley 1986, Battmann 1984, Hockey 1970, Klatte et al. 2002, Salamé & Baddeley 1982, Schulz 1979, Smith 1985, Wilding et al. 1982]:

- Verschlechterungen des kurzfristigen Behaltens
- Präferenzen für einfachere Verarbeitungsstrategien - Bevorzugung von Routinen, Zuwendung zu globalen Merkmalen unter Vernachlässigung von Details, Verkürzung der Planung von Tätigkeiten sowie der Vorbereitung von Arbeitsabläufen, Einschränkung der Aufmerksamkeit auf die Mitte des Blickfelds oder den Ort häufigster Ereignisse.
- Die Selbstkontrolle mindert sich. Besonders auffällig ist der Verzicht auf Leistungsrückmeldungen.

Bei erhaltener Leistungsmotivation suchen Personen Leistungsverschlechterungen durch erhöhte Anstrengung zu vermeiden. Drei Formen der Anstrengungssteigerung sind zu beobachten [Schulz & Schönpflug 1982]:

- Anstrengung als Akt der Selbstregulierung. Es werden Kapazitätsreserven aktiviert, um trotz gesteigerter Inanspruchnahme durch Lärm die Leistung zu sichern.
- Anstrengung als kompensatorische Tätigkeit. Kompensatorische Tätigkeiten sind dazu bestimmt, Fehlern vorzubeugen, aufgetretene Fehler zu korrigieren oder Ausfälle durch Wiederholung auszugleichen (z.B. das - z.T. wiederholte - Nachschlagen vergessener Personaldaten bei Verwaltungstätigkeiten).
- Anstrengung zugunsten von Schutzmaßnahmen.

Oft sinkt die Leistungsmotivation unter Lärm. Bereits in Erwartung bzw. nach Ankündigung einer Lärmbelastung sinken die Erfolgserwartung und das Anspruchsniveau. Die Betroffenen verlieren an Selbstvertrauen [Jones 1984] und setzen sich niedrigere Ziele [Jones et al. 1980].

Arten, Phasen, Dauer von Tätigkeiten

Je nach den Anforderungen der Arbeit bringt - wie Gawron [1982] sowie Schulz & Battmann [1980] belegt haben - die gleiche Schallimmission unterschiedliche Wirkungen hervor. Insofern hängen Lärmwirkungen nach Art und Stärke von dem Anforderungsprofil der jeweiligen Tätigkeit ab.

Bei der Bestimmung des Anforderungsprofils sind übrigens Arbeitsplatz und -organisation zu berücksichtigen. Technische Routinen können durch Lärm gefährdete Teile der Arbeitsabläufe übernehmen (z.B. Fehlerkontrolle). Dadurch wird die Arbeit resistenter gegen Lärmbelastung; jedoch entstehen technisch bedingte Tätigkeiten, die ihrerseits anfällig für lärmbedingte Störungen werden (z.B. Ablesefehler).

Innerhalb der gleichen Tätigkeit können die Anforderungen erheblich wechseln. Störanfällig sind dann vor allem die Phasen hoher Inanspruchnahme. Eine Störung solcher Phasen kann den Abbruch der jeweiligen Tätigkeit zur Folge haben. Mit der späteren Wiederaufnahme der Tätigkeit ist ein Zeitverlust verbunden, der seinerseits zu Zeitdruck führt. Insofern können nach Schönplugg [1984] auch kurzzeitige Lärmeinflüsse nachhaltig wirken.

Mit der Dauer einer Tätigkeit wächst die Übung. Durch Übung sinken die Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis. Routinetätigkeiten sind daher weniger anfällig für lärmbedingte Störungen. Insofern ist beim Lärmschutz zwischen Arbeiten mit hohem und niedrigem Wiederholungsgrad zu unterscheiden. In der Arbeitsstättenverordnung werden deshalb unterschiedliche Beurteilungspegel für „einfache oder überwiegend mechanisierte Bürotätigkeiten und vergleichbare Tätigkeiten“ {70 dB(A)} und „überwiegend geistige Tätigkeiten“ {55 dB(A)} festgelegt. Eine Trennung zwischen überwiegend geistigen Arbeiten von körperlichen Tätigkeiten entspricht freilich nicht dem modernen Arbeitsprozess. Auch körperlich auszuführende Arbeiten (z.B. Transport-, Montagetätigkeiten) können kognitiv aufwändig sein und bedürfen eines entsprechenden Schutzes. Im übrigen lassen sich gegenwärtig keine Aussagen über spezifische Lärmwirkungen bei motorischen und sensumotorischen Tätigkeiten machen. Studien dazu sind selten, obwohl die psychologische Untersuchung der Sensumotorik beachtliche Fortschritte gemacht hat.

Mit fortgesetzter Tätigkeit geht ein Verbrauch von inneren Ressourcen einher. Dieser steigt an, wenn eine Kompensation von Belastungen durch erhöhte Anstrengung (s.o.) erfolgt. Arbeitspausen geben Gelegenheit zur Erholung. Andererseits verzögert Lärm in den Pausen die Erholung [Wieland & Schönplugg 1980].

In der Arbeitsstättenverordnung gibt es nur Regelungen für Erholungs- und Erste-Hilfe-Räume; vorgesehen ist die Einhaltung eines Pegels von 55 dB(A).

Schallpegel, Überflüge und Arbeitsleistung

An Versuchen, eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Lärm und Leistung zu ermitteln, hat es in der Lärmforschung nicht gefehlt [z.B. Broadbent 1979, Smith 1989]. Prototypische oder

repräsentative Kurven sind nicht das Ergebnis dieser Bemühungen. Jedoch gibt es konsensuelle Befunde:

- Mit steigenden Pegelwerten wächst die Wahrscheinlichkeit einer Beeinträchtigung der Arbeit. Belege für die Beeinträchtigung der Arbeit durch Lärm häufen sich bei Pegelwerten >70 dB(A). Bei Pegeln $>60/<80$ sind teilweise gegenüber Ruhe unveränderte, teilweise geminderte, teilweise sogar gesteigerte Leistungen zu beobachten. Minderungen sind auf Ablenkungen der Aufmerksamkeit von der Arbeitsaufgabe, Steigerungen sind auf kompensatorische Strategien (s.o.) zurückzuführen. Schall < 60 dB(A), sogar schwelennaher Schall, kann die Arbeit stören, falls dieser die Orientierungstätigkeit anregt [Schulz & Schönflug 1982].
- Vor allem sind es schnelle und unerwartete Pegeländerungen, welche als Orientierungs- und Handlungsanlässe gedeutet werden und Aufmerksamkeit von den aktuellen Arbeitsaufgaben abziehen. Im allgemeinen ist daher intermittierender Lärm belastender als kontinuierlicher.
- Besondere Bedeutung kommt der Bedeutung des Schalls zu. Der Schall repräsentiert Episoden in der Umwelt des Hörers; schnelle Pegeländerungen zeigen Veränderungen in der Umgebung an. Die aus der Wahrnehmung von Episoden (z.B. Trittsgeräusche, Notsignale) erwachsenden Orientierungs- und Handlungsbedürfnisse sind letztlich die Ursachen für tatsächliche oder sich anbahnende Unterbrechungen laufender Arbeitstätigkeiten [Jones 1984, Smith 1989]. Einzelne Überflüge kommen ebenfalls als ablenkende Episoden in Frage, insbesondere wenn ihr Zeitpunkt und ihre Schallcharakteristik von Erwartungen der Hörer abweichen.

Schallpegel, Überflüge und Arbeitszufriedenheit

Erlebte oder erwartete Misserfolge bei der Arbeit sowie erhöhte Anstrengung bei der Arbeit, unzureichende Erholung von der Arbeit sowie die Belastung durch Mehr- und Nacharbeit haben emotionale Belastung und kognitive Beanspruchung zur Folge; diese beeinträchtigen die Arbeitszufriedenheit [Schulz 1980]. In dem Maße, in dem emotionale Belastung und kognitive Beanspruchung bei der Arbeit auf Lärm zurückgeht, mindert Lärm die Arbeitszufriedenheit.

Fazit

Überflüge sind in den geltenden Regelungen zum Lärmschutz am Arbeitsplatz nicht berücksichtigt. Zudem gelten die Regelungen nur für Betriebe, nicht für die Bereiche der Heim- und Freizeitarbeit. Der Schutz vor Fluglärm ist grundsätzlich in allen Bereichen, in denen Arbeit geleistet wird, zu gewährleisten. Der Schutzbedürftigkeit ist in Ermangelung von Studien über den Zusammenhang von Arbeit und Fluglärm gegenwärtig nur aufgrund der bekannten Zusammenhänge zwischen Arbeit und anderen Lärmarten abzuschätzen.

Lärm führt zu Arbeitsunterbrechungen, Fehlern und erhöhtem Sicherheitsrisiko. Zur Vermeidung von Unterbrechungen und Fehlern wird die Anstrengung erhöht oder das Leistungsziel gesenkt; das Verfehlen von Zielen erzeugt Verstimmung. Die Wahrscheinlichkeit und die Stärke von Lärmwirkungen hängt von der Art und Schwierigkeit der Arbeitstätigkeit ab. Da nachhaltige Arbeitsstörungen durch kurze Lärmepisoden entstehen können, kommt der Häufigkeit von Überflügen ebenso Bedeutung zu wie dem Dauerpegel des Fluglärms.

Die bei der Arbeit auftretenden kognitiven und emotionalen Belastungen dürften maßgeblich zum Urteil über die Belästigung durch Lärm sowie zu Gefährdungen der Gesundheit beitragen.

Literatur

Arbeitsstättenverordnung, Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV) vom 20. März 1975, BGBl I 1975, 729, zuletzt geändert durch Art. 281 V v. 25.11.2003 I 2304

Baddeley, A. D. (1986). Working Memory. Oxford, Clarendon

Battmann, W. (1984). Planungsstrategie, Lärmbelastung und Anstrengung. In: A. Schick & K. P. Walcher (Hrsg.). Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls, 295. Bern, Lang

BGV B3. Unfallverhütungsvorschrift Lärm vom 1. Oktober 1990 in der Fassung vom 1. Januar 1997 Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, BG-Vorschrift

Broadbent, D. E. (1979). Human performance and noise. In: C. S. Harris (Ed.), Handbook of Noise Control, 2066. New York, McGraw-Hill

- DIN 33404-3. Gefahrensignale für Arbeitsstätten; Akustische Gefahrensignale; Einheitliches Notsignal; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung, Ausgabe:1982-05
- DIN EN 457. Sicherheit von Maschinen; Akustische Gefahrensignale; Allgemeine Anforderungen, Gestaltung und Prüfung, Ausgabe:1992-04
- Gawron, V. J. (1982). Performance effects of noise intensity, psychological set and task type complexity. *Human Factors* 24, 22
- Hockey, G. R. J. (1970). Signal probability and signal location as possible bases for increased selectivity in noise. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 22, 37
- Jones, D. M. (1984). Performance effects. In: D. M. Jones & A. J. Chapman (Eds.) *Noise and Society*, 155. Chichester, Wiley
- Kjellberg, A., Sköldström, B. (1991). Noise annoyance during the performance of different nonauditory tasks. *Perceptual and Motor Skills* 73, 39
- Klatte, M., Lee, N., Hellbrück, J. (2002). Effects of irrelevant speech and articulatory suppression on serial recall of heard and read material. *Psychologische Beiträge* 44, 166
- Krenauer, M., Schönplflug, W. (1980). Regulation und Fehlregulation im Verhalten. III. Zielsetzung und Ursachenbeschreibung unter Belastung. *Psychologische Beiträge* 22, 414
- Salamé, P., Baddeley, A. D. (1982.) Disruption of short-term memory by unattended speech: implications for the structure of working memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 21, 150
- Schönplflug, W. (1984). Zeitstruktur von Schallimmissionen und Zeitstruktur von menschlichen Tätigkeiten. In: A. Schick & K. P. Walcher (Hrsg.) *Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls*, 307. Bern, Lang
- Schulz, P. (1979). Regulation und Fehlregulation im Verhalten. II. Stress durch Fehlregulation. *Psychologische Beiträge* 21, 597
- Schulz, P. (1980). Regulation und Fehlregulation im Verhalten. V. Die wechselseitige Beeinflussung von mentaler und emotionaler Beanspruchung. *Psychologische Beiträge* 22, 633

- Schulz, P., Battmann, W. (1980). Die Auswirkungen von Verkehrslärm auf verschiedene Tätigkeiten. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie* 27, 592
- Schulz, P., Schönflug, W. (1982). Regulatory activity under states of stress. In: W. Krohne & L. Laux (Eds.) *Achievement, Stress and Anxiety*, 51. Washington, DC, Hemisphere
- Smith, A. P. (1985). The effects of noise on the processing of global shape and local detail. *Psychological Research* 47, 103
- Smith, A. P. (1991). Noise and effects of attention. *British Journal of Psychology* 82, 313
- Wieland, R., Schönflug, W. (1980). Regulation und Fehlregulation im Verhalten. IV. Entspannung bei Angst und Lärmbelastung. *Psychologische Beiträge* 22, 521
- Wilding, J., Mohindra, N., Breen-Lewis, K. (1982). Noise effects in free recall with different orienting tasks. *British Journal of Psychology* 73, 479

Weiterführende Literatur

- Schönflug, W. (1983). Coping efficiency and situational demands. In: G. R. J. Hockey (Ed.), *Stress and Fatigue in Human Performance*, 299. Chichester, Wiley
- Smith, A. (1989). A review of the effects of noise on human performance. *Scandinavian Journal of Psychology* 30, 185

Kapitel 8 Schlaf

Gerd Jansen und Hartmut Ising

Obwohl der Schlaf zu den am häufigsten untersuchten Problemkreisen gehört, sind seine Ursachen, Mechanismen und Funktionen weitgehend ungeklärt. Ganz offensichtlich stellt er jedoch ein essenzielles Bedürfnis und eine unabdingbare Voraussetzung für die Gesundheit dar. Während des Schlafes finden spezifische, für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit entscheidende, im Einzelnen jedoch noch unbekannte Veränderungen statt. Unbestritten ist die Annahme einer Erholung, d.h. die Beseitigung physiologischer, neuronaler und psychischer Ermüdung.

Schlaf, Schlafstadien und Schlafstruktur

Der Schlaf läuft zyklisch ab. Nach Rechtschaffen und Kales [1968] werden fünf Schlafstadien unterschieden, deren zeitliche Abfolge als Schlafzyklogramm aufgetragen werden. Zusätzlich werden die Zeiten erhöhter Muskelaktivität (M) eingetragen. Das Schlafzyklogramm eines jungen gesunden Schläfers ist im oberen Teil von Abb. 8.1 dargestellt.

Der Schlaf beginnt mit dem Übergang vom Wachzustand in das Schlafstadium 1. Nach jeweils wenigen Minuten werden die Schlafstadien 2 und 3 durchlaufen und anschließend das Stadium 4 erreicht, falls der Schläfer nicht gestört wird. Die Schlafstadien 3 und 4 werden auch als Tiefschlaf bezeichnet. Die Weckschwelle nimmt mit jeder Schlafvertiefung zu, die vier Schlafstadien auf der Ordinate spiegeln die "Weckbarkeit" wider. Eine weitere Schlafphase bildet der als Balken verzeichnete REM-Schlaf (Traumschlaf). Im Traumschlaf ist eine EEG-Tätigkeit zu beobachten, die dem Wachzustand sehr ähnlich ist. In diesem Schlafstadium finden heftige Bewegungen der Augäpfel unter den geschlossenen Lidern statt (Rapid Eye Movements), daher die Bezeichnung REM-Schlaf. Die Abfolge "Flach-, Tief- und REM-Schlaf" wird auch als "Schlafzyklus" bezeichnet.

Auf das REM-Stadium folgt im ungestörten Schlaf eine Schlafvertiefung sowie eine schnelle Schlafverflachung. Während einer 8-stündigen Nacht folgen bis zu fünf solcher Schlafzyklen aufeinander. Im Laufe der Nacht nimmt die Verweildauer in den tiefen Schlafstadien ab, während die Verweildauer im REM-Schlaf zunimmt. Ein gesunder Erwachsener mittleren Alters verbringt 40-50 % der Gesamtschlafzeit im Stadium 2, 10-20 % in den Stadien 3 und 4 sowie ca. 20-25 % im REM-Schlaf.

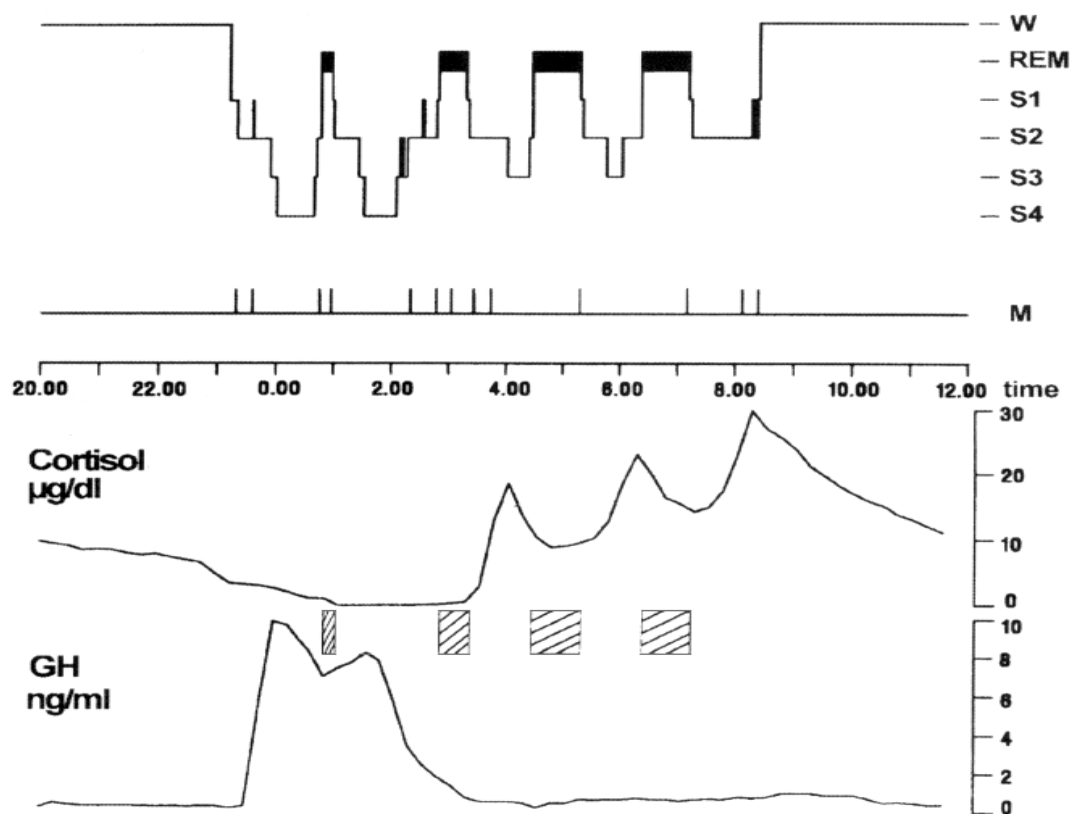


Abb. 8.1 Typisches Schlafzyklogramm eines jungen, gesunden Schläfers und nächtlicher Verlauf der Plasma Konzentrationen von Cortisol und Wachstumshormonen (GH) (Die schraffierten Kästchen markieren die REM-Schlafzeiten [nach Born & Fehm 2000])

Für die physische Erholung ist im wesentlichen der Tiefschlaf (Stadium 3 und 4) und für die psychische Erholung der REM-Schlaf verantwortlich. Neuere Theorien aus der Neurobiologie unterstützen diese Erkenntnis [Winson 1991]. Im Gesamtschlafverlauf während der Nacht sind Änderungen der vegetativen und hormonalen Aktivitäten erkennbar. So erreicht die Cortisolkonzentration meist zwischen zwei und drei Uhr morgens ein Minimum und steigt bis zum frühen Morgen dann in zyklischen Phasen wieder an, die Zusammenhänge mit den Schlafphasen erkennen lassen [Born et al. 1986].

In der Zeit minimaler Cortisolkonzentration erreichen die Konzentrationen der Wachstumshormone ein Maximum (Abb. 8.1). Für eine normale Erholung und die Formierung von Gedächtnisprozessen im Schlaf ist ein ausgeprägtes Minimum der Cortisolkonzentration im Blutplasma während der ersten Hälfte der Nacht günstig [Born &

Fehm 2000]. Bei älteren Menschen verschiebt sich das Minima der Cortisolkonzentration in den früheren Teil des Schlafes. Die Verschiebungen kann bis zu 1,5 Std. betragen.

Auswirkungen von Lärm auf den Schlaf

Störungen des Schlafes werden in Primär- und Sekundärreaktionen unterteilt. Zu den Primärreaktionen gehören kurzfristige Änderungen im EEG (Nullreaktionen), Verflachung der Schlaftiefe (Stadienwechsel) bis hin zu Aufwachreaktionen, Änderungen der Schlafstadienverteilung, Verlängerungen der Einschlafzeit, Zunahme der Körperbewegungen, Verkürzung der Gesamtschlafzeit und vegetative Reaktionen wie: Änderungen der Herzfrequenz, der Atemfrequenz, der peripheren Durchblutung und der Hormonausschüttung. Sekundärreaktionen sind reversible Beeinträchtigungen des Allgemeinzustandes nach dem Erwachen. Zu ihnen gehören Beeinträchtigungen der physischen und psychischen Verfassung, des Schlaferlebens, des Wohlbefindens, der Leistung, der Konzentration [Griefahn & Gros 1986, Ohrström 1999].

Während die primären Akutreaktionen im Schlaf zweifelsfrei durch Fluglärm verursacht sein können, resultieren die über die Nacht erfassten Globalreaktionen (Gesamtzahl aller Wachphasen, ausgeschiedene Stresshormone) bereits aus der Einwirkung qualitativ unterschiedlicher Stressoren, deren einzelne Beiträge zur Gesamtreaktion bisher nur im Gruppenmittel quantifizierbar sind. Zu den wichtigsten endogenen Einflussfaktoren des Schlafes zählen: Alter, Regulationsfähigkeit, Einstellung zum Lärm, psychische und physische Verfassung, Persönlichkeitsmerkmale, Geschlecht, Hörfähigkeit und Lärmempfindlichkeit.

Mittelungspegel oder Maximalpegel?

Zur Bewertung von Lästigkeit oder Gehörbeeinträchtigungen durch Geräusche ist es üblich, die in einem bestimmten Zeitraum bestehende, durchschnittliche Belastung durch Geräusche heranzuziehen. Es lag daher nahe, auch lärmbedingte Schlafstörungen anhand von Mittelungspegeln zu beurteilen, wie dies im deutschen Fluglärmgesetz geschehen ist. Dieses Gesetz weist zudem noch die Besonderheit auf, dass die Geräuschbelastungen durch Flugzeuge über 24 Stunden mit einem Einzahl-Mittelungswert beurteilt werden. Eine solche Beurteilung geht jedoch an den Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung vorbei. Die akuten Belastungen durch Geräusche im Schlaf weisen enge Beziehungen zur Stärke der Einzelschallereignisse auf und sind darüber hinaus noch von der Häufigkeit der

Schallereignisse in einer Nacht abhängig [Basner et al. 2001, Griefahn et al. 2002]. Wiederholte oder andauernde Schallreize im Schlaf bewirken eine Aktivierung des Nervensystems, die sich im Schlafzyklogramm bei intermittierenden Geräuschen als fragmentierter Schlafverlauf (Zerstörung der Schlafzyklen) bzw. bei quasi kontinuierlichen Geräuschen als oberflächlicher Schlaf zeigt. Beide Geräuscharten können zu einer mehr oder weniger starken Verkürzung der Tiefschlafzeiten (Stadien 3 und 4) sowie der Dauer von REM-Phasen führen. Bei einer wiederholten oder bei einer ständigen Verkürzung der Tiefschlafzeiten und/oder des REM-Schlafes ist mit einer Störung der Schlafperiodik zu rechnen.

Bei lärmbedingten Schlafstörungen galt und gilt auch weiterhin [Basner et al. 2001] die Aufwachreaktion als Indikator von gesundheitlich relevanten Schlafstörungen. Maschke et al. [1997] vertreten die Auffassung, dass das alleinige Abstellen auf Aufwachreaktionen weder die Schlafstadienverteilung noch die Zerstörung der Zeitstruktur des Schlafes noch die nachteiligen Wirkungen einer Kompensation berücksichtigt. Dem ist insoweit zuzustimmen, als die Lärmeinflüsse tatsächlich die Zeitstruktur des Schlafverlaufs und die Schlaftiefe beeinflussen können. Der schlafende Organismus ist jedoch bestrebt, innerhalb der für den Schlaf charakteristischen trophotropen Reaktionslage ein Gleichgewicht zu erhalten, was als ein kontinuierlicher Reaktionsprozess aufzufassen ist. Erst wenn es dem Organismus nicht mehr gelingt, diese "Homöostase" aufrecht zu erhalten, kommt es zu einer (für den Tag charakteristischen) ergotropen Reaktionslage, was sich als bewusste oder erinnerbare Aufwachreaktion äußert.

Schwellen für Primär- und Sekundärreaktionen

Schallpegel, bei denen im Vergleich zu Kontrollgruppen erstmals lärmbedingte Veränderungen einzelner Primär- und Sekundärreaktionen beobachtet wurden, werden als Schwellen bezeichnet. Hierbei handelt es sich um "Effektschwellen" im physiologischen Sinn im Unterschied zu den Schwellenwerten im administrativen oder juristischen Sinne, die je nach Definition "handlungsauslösend" sind.

Die Effektschwelle für eine Verkürzung der Gesamtschlafdauer und der Dauer des Tiefschlafs liegt für intermittierenden Verkehrslärm bei $L_{\max} = 45 \text{ dB(A)}$ (50 Ereignisse). Bei dem gleichen Pegel - ohne Angabe von Ereignissen - liegt auch die Schwelle für Arousalreaktionen und Schlafstadienwechsel. Die Dauer des REM-Schlafs wird bei $L_{\max} = 55 \text{ dB(A)}$ (50 Ereignisse) verkürzt. Eine Übersicht dieser und anderer Ergebnisse von experimentellen

Verkehrslärm-Studien wurde von Maschke et al. [1997] vorgelegt. Zur Abschätzung der gesundheitlichen Relevanz derartiger Effektschwellenwerte sind sowohl die quantitativen Aspekte der Verkürzung der gesundheitsrelevanten Tiefschlaf- und REM-Phasen als auch die Anzahl der Schlafstadienwechsel und auch die Anzahl der Arousalreaktionen in Labor- und in Feldversuchen zu berücksichtigen. In Feldversuchen ergeben sich nach den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen flachere Dosis-Wirkungszusammenhänge als in Laborversuchen, so dass die Ergebnisse von Laborversuchen die gesundheitliche Relevanz lärmbedingter Schlafstörungen in der Regel überschätzen. Das Risiko aufzuwachen, ist besonders groß in der empfindlichsten Schlafstufe REM [Griefahn 1992] sowie im Schlafstadium 2 [Basner et al. 2001] und bei dem ältesten Zehntel der Bevölkerung [Griefahn 1990].

Zusammenhänge zwischen der Aufwachreaktion und der Lärmbelastung zeigt Abb. 8.2. In der Abbildung dargestellt ist die Extrapolation der Zwischenergebnisse der groß angelegten laborexperimentellen Untersuchungen von Basner et al. [2001] zusammen mit den Ergebnissen der Metaanalysen von Griefahn [1990] und Maschke et al. [2001].

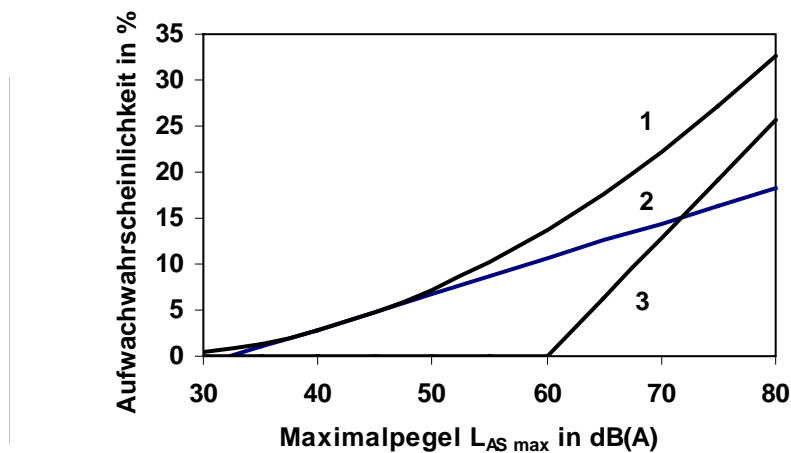


Abb.8.2 Lärminduzierte Aufwachwahrscheinlichkeit im Labor in Abhängigkeit vom Maximalpegel eines Überflugeräusches nach der logistischen Regressionsanalyse der Ergebnisse von Basner et al. [2001] (1), nach Metaanalysen von Maschke et al. [2001] (2) und Griefahn [1990] (3)

Die Ergebnisse von Basner et al. stimmen mit der Metaanalyse von Maschke et al. bis $L_{max} = 55$ dB (A) überein. Bei höheren Pegeln wird die Aufwachwahrscheinlichkeit durch Maschkes Metaanalyse unterschätzt. Erst bei Pegeln über 73 dB(A) stimmen die Ergebnisse von Basner et al. besser mit der Metaanalyse von Griefahn als mit der von Maschke überein. Aus den

Ergebnissen von Basner et al. [2001] folgt beispielsweise, dass bei 13 Überflügen mit $L_{\max} = 50$ dB(A) bzw. bei 4 Überflügen mit $L_{\max} = 80$ dB(A) mit jeweils einer zusätzlichen lärmbedingten Weckreaktion zu rechnen ist.

Langfristige Auswirkungen von Schlafstörungen

Aus medizinisch-physiologischer Sicht muss sich die Beurteilung nächtlicher Lärmeinwirkungen in erster Linie auf Maximalpegel stützen, weil einzelne laute Schallereignisse zusätzliches Aufwachen und durch die Aktivierung der subkortikalen Bereiche des Gehörs die Ausschüttung von Stresshormonen und die Induzierung vegetativer Veränderungen bewirken können. Lärmbedingte Aufwachreaktionen müssen daher langfristig als ein Gesundheitsrisiko beurteilt werden [Griefahn 1990, Jansen et al. 1995]. Lärmbelastungen, die zwar nicht zu Aufwachreaktionen aber zu einer erhöhten Ausschüttung von Cortisol, insbesondere in der ersten Hälfte der Nacht führen, könnten langfristig die Gesundheit beeinträchtigen (s. Kapitel 10 Erkrankungen). Mit Gesundheitsbeeinträchtigungen wäre dann zu rechnen, wenn die obere Normgrenze eindeutig und anhaltend überschritten wird. Sofern die lärmbedingten Erhöhungen im Normbereich liegen, greift das von Spreng [2001] vorgestellte Ergebnis von noch tolerablen Pegelhäufigkeitskombinationen. Spreng bestimmte unter Berücksichtigung der zirkadianrhythmisch auftretenden Cortisolsekretion die für eine Nacht gerade noch tolerable Zunahme der Cortisolausscheidung und errechnete die jeweils zulässigen Maximalpegel für eine vorgegebene Anzahl von Geräuschen innerhalb eines Nachtzeitintervalls, bei denen die gesamte Ausscheidung von Cortisol den Normbereich nicht überschreitet. Für den Maximalpegel von 60 dB(A) ergibt sich dabei eine tolerable Häufigkeit von 8 Lärmereignissen.

Die Konzentration von Cortisol im Blut weist eine Zirkadianrhythmik auf und durchläuft in der ersten Hälfte der Nacht ein Minimum (s.o.). Erhöhungen der Konzentration von Cortisol in dieser Zeit beeinträchtigen auch ohne Aufwachreaktionen die Erholungsfunktion des Schlafs [Born & Fehm 2000] und die Konsolidierung des Gedächtnisses [Plihal & Born 1998]. Aus dem Befund ist aber nicht ohne weiteres auf die nächtliche Lärmbelastung zu schließen.

Fazit

Der Schlaf wird in vier Stadien unterschiedlicher Schlaftiefe eingeteilt. Ein weiteres Schlafstadium bildet der Traum- oder REM-Schlaf. In der ersten Nachthälfte verbringt der normale Schläfer mehr Zeit im Tiefschlaf als im REM-Schlaf. In der zweiten Hälfte kehren sich die Verhältnisse um. Parallel zum Tiefschlaf durchläuft die 24-Stunden-Rhythmik der Cortisolkonzentration im Blutplasma ein Minimum. Für die physische Erholung ist im wesentlichen der Tiefschlaf und für die psychische Erholung der REM-Schlaf verantwortlich.

Eine normale Erholung im Schlaf setzt einen ungestörten und regelmäßigen Ablauf der Schlafzyklen voraus. Die vegetativen Funktionen sind hierbei durch eine für die Nacht charakteristische "trophotrope" (aufbauende) Reaktionslage gekennzeichnet. Diese kann durch Lärmreize so gestört werden, dass sich dann eine "ergotrope" (aktivierende) Reaktionslage einstellt, die für den Ablauf vegetativer Funktionen am Tag charakteristisch ist. Lärmbedingtes Aufwachen ist ein Ausdruck dieser ergotropen Reaktionslage. Diese wird in gleicher Weise erreicht, wenn es zu einer lärmbedingten, die obere Grenze des Normbereiches überschreitenden Cortisolkonzentration kommt. Kennzeichnend für eine normale, hormonale Reaktionslage im Schlaf wird ein ausgeprägtes Minimum der Cortisolkonzentration während der ersten Hälfte der Nacht angesehen. Lärmereignisse, insbesondere Fluglärmereignisse mit entsprechend hohen Pegeln und Häufigkeiten führen zu einer Verflachung des Schlafs und schließlich zu erinnerbarem Erwachen. Lärmbedingte Aufwachreaktionen müssen daher als unphysiologisch und langfristig als Gesundheitsrisiko beurteilt werden. Zusammenhänge von lärmbedingten Schlafstörungen und Krankheiten sind im Kapitel 10 Erkrankungen dargestellt.

Literatur

- Basner, M., Buess, H., Luks, N., Maaß, H., Mawet, L., Müller, E.W., Muller, U., Piehler, C., Plath, G., Quehl, J., Rey, E., Samel, A., Schulze, M., Vejvoda, M., Wenzel J. (2001). Nachtfluglärmwirkungen - eine Teilauswertung von 64 Versuchspersonen in 832 Schlaflabornächten. Forschungsbericht 2001-26, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Köln.
- Born, J., Kern, W., Bieber, K., Fehm-Wolfsdorf, G., Schiebe, M., Fehm, H. L. (1986). Night time plasma cortisol secretion is associated with specific sleep stages. *Biol. Psychiatry* 21, 1415-1424

- Born, J., Fehm, H. L. (2000). The neuroendocrine recovery function of sleep. *Noise & Health* 7, 25-37
- Griefahn, B. (1990). Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 37, 7-14
- Griefahn, B. (1992). Noise control during night. *Acoust Austral.* 20, 43-47
- Griefahn, B., Gros, E. (1986). Noise and sleep at home. *Journal of Sound and Vibration* 105, 373 –383
- Griefahn, B., Jansen, G., Scheuch, K., Spreng, M. (2002). Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept bei wesentlichen Änderungen oder Neuanlagen von Flughäfen/Flugplätzen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 49, 171–175
- Jansen, G., Linnemeier, A., Nitzsche, M. (1995). Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtfluglärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 42, 91-106
- Maschke, C., Druba, M., Pleines F. (1997). Kriterien für schädliche Umwelteinwirkungen: Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm - Eine Literaturübersicht. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 97-10501213/07. Umweltbundesamt Berlin
- Maschke, C., Hecht, K., Wolff, U. (2001). Nächtliches Erwachen durch Fluglärm. *Bundesgesundheitsblatt* (44) 10, 1001-1010
- Öhrström, E. (1999). Sleep disturbances caused by road traffic noise. *J. Acoust. Soc. Amer.* 105, 1218
- Plihal, W., Born, J. (1998). Memory consolidation in human sleep depends on inhibition of glucocorticoid release. *Neuroreport* 10,2741-2747
- Rechtschaffen, A., Kales, A. (1968). A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subject. Public Health Service, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Spreng, M. (2001). Lärmreduzierte nächtliche Cortisolausschüttung und tolerable Überflüge. *Schriftenreihe Wa Bo Lu* 111, 75 –90, Berlin
- Winson, J. (1991) *Neurobiologie des Träumens*. Spektrum der Wissenschaft, Januar

Weiterführende Literatur

de Jong, R. G. (1992). Extraaurale Wirkungen von Fluglärm auf die Gesundheit – eine Literaturübersicht. Bundesgesundheitsblatt 35, 126-129

Finegold, S., Muzet, A., Bernard, F. B. (2004). Sleep disturbances due to transportation noise exposure. Handbook noise and vibration control. John Wiley & Sons, New York

Kapitel 9 Erholung und Rekreation

Gerd Jansen und Rainer Guski

Die Begriffe Erholung und Rekreation

Die Störungen der Erholung bzw. der Rekreation durch Lärm werden sehr häufig genannt [z.B. Finke et al. 1980]. Allerdings werden die Begriffe „Erholung“ und „Rekreation“ in den hierzu vorliegenden Untersuchungen teilweise unterschiedlich verwendet: Wenn Lärmbetroffene in systematischen Befragungen gebeten werden, das Ausmaß ihrer Störung beim Erholen zu skalieren, denken sie meist an die Abend- und Wochenendzeiten, in denen sie zu Hause solchen Tätigkeiten nachgehen, die nicht zum Pflichtprogramm gehören und dennoch zentrale Funktionen des Wohnens erfüllen, z.B. Entspannen durch Nichtstun, eigene Hobbys ausüben usw.. In diesen Zeiten kann Fluglärm mit dem Anspruch der Betroffenen auf Ruhe und Lärmfreiheit konfliktieren [vgl. Guski 1991, Guski et al. 1989, Kastka et al. 2002]. Ein anderer Erholungsbegriff betont Erholungstätigkeiten, die nicht zu Hause, sondern in speziell für die Erholung ausgewiesenen Gebieten ausgeführt werden (z.B. Kurgebiete, Wälder, Parkanlagen). Hier kann Fluglärm mit dem ausgewiesenen und von den Betroffenen erwarteten Gebietscharakter konfliktieren. Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Fluglärm und Erholung muss folglich die zwei Arten der Erholung unterscheiden.

Störungen der Erholung zu Hause

Systematische Bevölkerungsbefragungen in Wohngebieten mit unterschiedlichen Fluglärmbelastungen zeigen, dass die individuellen Angaben der Betroffenen zu Störungen der Ruhe und Entspannung zwar systematisch mit dem Tages-Mittelungspegel des Fluglärms korrelieren [z.B. $r = 0,42$ nach Rohrmann 1974], jedoch ist dieser statistische Zusammenhang deutlich kleiner als z.B. der zwischen angegebenen Kommunikationsstörungen und dem Tages-Mittelungspegel. Dies liegt vermutlich u.a. daran, dass der Tages-Mittelungspegel die für die Erholung notwendigen zusammenhängenden Zeiten der Lärmpausen deutlich schlechter reflektiert als spezielle akustische Ruhe-Variablen [vgl. Finke 1980, Guski 1988]. Andererseits zeigen Mittelungspegel, die nur die Abendzeiten (etwa zwischen 18 und 21 Uhr) beschreiben, einen höheren Zusammenhang zu Lästigkeits- und Gestörtheits-Angaben als der übliche Tages-Mittelungspegel, der die Gesamtzeit des Tages beschreibt [Andersen et al. 1983, Bullen & Hede 1983, Guski 1991, Miedema et al. 2000, Vallet et al. 1978]. Auf Grund

solcher Erkenntnisse wird in der Europäischen Union inzwischen als Beurteilungspegel der sog. L_{DEN} verwendet, der die Abendstunden mit 5 dB Aufschlag gewichtet.

Die Mittelwerte der Angaben über Rekreations- bzw. Erholungs-Störungen liegen bei Fluglärm zwar in mehreren Untersuchungen niedriger als andere Störungs-Angaben bei vergleichbaren Mittelungspegeln [vgl. Finke et al. 1980, Gjestland et al. 1990], jedoch ist zu berücksichtigen, dass es sich meist um Untersuchungen an Flugplätzen mit wenig internationalem Verkehr handelt. Dagegen berichtet Kastka [1999] vom Flughafen Frankfurt, dass spontane Beschwerden wegen Störungen der Rekreation in den Abendstunden am häufigsten seien. Hierbei ist anzunehmen, dass die Betroffenen auch die Einschlafstörungen zu den Rekreationsstörungen zählen.

Die Arbeit von Gjestland et al. [1990] in der Umgebung des Flughafens Oslo ist eine der wenigen Untersuchungen, die neben den quantifizierten Zusammenhängen für Innen- und Außenkommunikation (vgl. hierzu auch Kapitel 6 Kommunikation Abb. 6.1) auch solche für Erholung enthalten. Hierbei zeigte sich für die Erholung, dass im Bereich von 38 - 50 dB(A) die Prozentsätze gestörter Personen unter 10 % lagen. Von 50 - 57 dB(A) lagen sie zwischen 10 % und 15 %. Ab 58 dB(A) stiegen die Prozentsätze gestörter Personen dann linear stärker an und zwar von 15 % auf 42 % bei 67 dB(A). Ab einem Wert von $L_{eq} = 57$ dB(A) steigt somit der Prozentsatz der durch Lärm in ihrer Erholung gestörten Personen überproportional an.

Es sei darauf hingewiesen, dass die in diesem Kapitel gewählte Formulierung „zu Hause“ nicht als Einschränkung auf die Innenbereiche des Hauses zu verstehen ist. Häusliche Erholungsfunktionen werden auch in den Außenbereichen der eigenen Wohnung bzw. des Hauses gesucht, z.B. auf Balkons oder in Gärten.

Störungen der Erholung in Kurgebieten und naturnahen Anlagen

Zu den wichtigsten Motiven, einen Naturpark aufzusuchen, gehört die Suche nach Ruhe [Dickinson 2002, Knopf 1987]. Dabei bedeutet „Ruhe“ nicht „Stille“, sondern vor allem die Abwesenheit von Maschinen- und menschlichen Geräuschen. In der Nähe von mitteleuropäischen Flugplätzen befinden sich vielfach Wälder, die von Touristen und Anwohnern aus der Region als Wander- und Erholungsgebiete genutzt werden. Hier kann Fluglärm die Erholung wesentlich beeinträchtigen.

Anderson et al. [1993] führten eine Befragung an 772 Besuchern von 4 US-amerikanischen Nationalparks bei gleichzeitiger Messung der Hintergrund- und Überflugpegel durch. Dabei wurden die statistischen Beziehungen zwischen „Belästigung“ und „Störung der Ruhe“ einerseits und der Differenz zwischen Überflug- und Hintergrundpegel sowie der prozentualen Dauer hörbarer Flugzeuge in der Form von Dosis / Wirkungskurven dargestellt [vgl. Miller 1998, 2001]. Es zeigte sich, dass bis zu 42 Prozent der Befragten eine Interferenz mit der erwarteten Ruhe schon bei 0 dB Pegeldifferenz zwischen Hintergrund- und Fluggeräuschen erlebten, und etwa 90 Prozent bei 50 dB Differenz; belästigt waren jedoch etwas weniger (ca. 25 % bei 0 dB und 70 % bei 50 dB Differenz). Weiterhin stellten sich große Unterschiede zwischen den verschiedenen Parks bei vergleichbaren Pegeln heraus, die teilweise auf die Art des Parks, teilweise auf die Dauer des Aufenthalts zurückgeführt werden.

Fidell et al. [1996] berichten über eine Befragung an Besuchern von zwölf amerikanischen Nationalparks, die teilweise von Hubschraubern, teilweise von kleineren Propellermaschinen und teilweise von Strahlflugzeugen überflogen werden. Hier stellte sich heraus, dass bis zu 32 % der Besucher der stark überflogenen Parks durch Fluglärm belästigt waren. Ein Hauptgrund für die Belästigung war die Störung der intendierten Erholung, ein anderer war der Umstand, dass die Flugzeuggeräusche von den Betroffenen als nicht in den Kontext der Natur passend beurteilt wurden [vgl. Weiler et al. 1981]. Eine Dosis/Wirkungsanalyse konnte leider nicht durchgeführt werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in der Folgezeit vor allem von Vertretern der Forstbehörden und der Nationalparks als alarmierend diskutiert. Staples [1998] schlug vor, für Nationalparks und vergleichbare Erholungsgebiete schärfere Lärmauflagen als sonst üblich zu machen und u.a. getrennte (d.h. kontextabhängige) Dosis/Wirkungskurven zu bestimmen, um der Erholungsfunktion der Parks und Wälder stärker Rechnung zu tragen.

Die kontextabhängige Bewertung von Fluglärm in naturnahen Settings ist bisher nur im Labor untersucht worden [Mace et al. 1999]: Beim Betrachten von Grand-Canyon-Fotos sollten Versuchspersonen verschiedene Urteile abgeben (u.a. über die Schönheit der Natur, die Natürlichkeit und Präferenz für die Landschaft) und wurden dabei unterschiedlichen Geräuschen (u.a. Vogelzwitschern und Fluglärm) mit unterschiedlichen Pegeln ausgesetzt. Es stellte sich heraus, dass schon bei der kleinsten Pegelstufe des Hubschraubergeräusches alle Bewertungsvariablen signifikant verschlechtert waren. Dies wird als Hinweis darauf interpretiert, dass Fluglärm die Erholungsqualität in der Natur beeinträchtigt.

Fazit

Im Unterschied zu anderen Bereichen der Lärmwirkungsforschung, in denen quantifizierte Dosis - Wirkungsbeziehungen ermittelt werden konnten (z.B. Kommunikation, aurale Beeinträchtigungen) enthalten die Forschungen und die Felduntersuchungen zu dem Bereich Erholung und Rekreation der Lärmwirkung nur vereinzelt quantitative Angaben. Gemeinsam ist aber allen Erhebungen, dass der Lärm und speziell der Fluglärm qualitativ zu teilweise erheblichen Störungen führt. Die quantifizierten Angaben von Gjestland [1990] geben einen Begriff von der Größenordnung der Lärmbelastungen, bei denen Störungen der Erholung und Rekreation zu erwarten sind.

Literatur

- Andersen, T. V., Kühl, H. & Relster, E. (1983). Reactions to railway noise in Denmark. *Journal of Sound and Vibration*, 87, 311-314.
- Anderson, G. S., Horonjeff, R. D., Menge, C. W., Miller, N. P., Robert, W. E., Rossano, C., Sanchez, G., Baumgartner, R. M. & McDonald, C. (1993). Dose-Response Relationships Derived from Data Collected at Grand Canyon, Haleakala and Hawaii Volcanoes National Parks. Technical Report PB94-151941, Washington: NTIS.
- Bullen, R. B., Hede, A. J. (1983). Time-of-day corrections in measures of aircraft noise exposure. *Journal of the Acoustical Society of America*, 73, 1624-1630.
- Dickinson, P. J. (2002). Outdoor recreational noise - An overview. *Internoise 2002*, Paper IN02334, Dearborn, (MI, USA).
- Fidell, S., Silvati, L., Howe, R., Pearsons, K. S., Tabachnick, B., Knopf, R. C., Gramann, J., Buchanan, T. (1996). Effects of aircraft overflights on wilderness recreationists. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100, 2909 -2918.
- Finke, H.-O. (1980). Messung und Beurteilung der "Ruhigkeit" bei Geräuschmissionen. *Acustica*, 46, 141-148.
- Finke, H.-O., Guski, R., Rohrman, B. (1980). Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. Bericht über eine interdisziplinäre Untersuchung. *Forschungsbericht 80-105 01 301*, Umweltbundesamt, Berlin.

- Gjestland, T., Liasjø, K. H, Granøien, I. L. N., Fields, J.M. (1990). Response to noise around Oslo Airport Fornebu. Trondheim: Elab-Runit Sintef Gruppen. Acoustics Research Center. Report STF40 A90189.
- Guski, R. (1988). Können Ruhepausen im Lärm wahrgenommen werden?. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 35, 69-73.
- Guski, R. (1991). Concerning residents' claim for quietness. In A. Schick; J. Hellbrück & R. Weber (eds.). Contributions to Psychological Acoustics. Results of the 5th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics Oldenburg: Bibliotheks- und Informationssystem der Universität, 34-44.
- Guski, R., Probst, W., Neuschwinger, B., Schlebusch, P., Van den Brulle, P, Gerlinger, H. (1989). Störwirkungen von Sportgeräuschen im Vergleich zu Störwirkungen von Gewerbe- und Arbeitsgeräuschen. Eine interdisziplinäre Felduntersuchung über Freizeit- und Gewerbegeräusche in Wohngebieten . Forschungsbericht 105 01 317/02 Umweltbundesamt, Berlin.
- Kastka, J. (1999). Analyse und Bewertung von vorliegenden Beschwerdedateien zu Flugbewegungen am Flughafen Frankfurt im Hinblick auf die Abhängigkeit vom Überflugpegel und anderen Bedingungen. Düsseldorf: Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt. URL: http://www.mediation-flughafen.de/gutachte/oe4_g/gutacht.pdf
- Kastka, J., Anduleit, N., Hofbauer, U., Borsch-Galetke, E. (2002). Untersuchungen zu Kriterien und Richtwerten für die erhebliche Belästigung von Anwohnern durch Fluglärm an den Flughäfen Frankfurt, Düsseldorf und München. Fortschritte der Akustik, DAGA 2002, 326-327
- Knopf, R. C. (1987). Human behavior, cognition, and affect in the natural environment. In D. Stokols & I. Altman (eds.). Handbook of Environmental Psychology. New York: Wiley, 783-825.
- Mace, B. L., Bell, P. A., Loomis, R. J. (1999). Aesthetic, affective, and cognitive effects of noise on natural landscape assessment. Society & Natural Resources, 12, 225-242.
- Miedema, H. M. E., Vos, H., DeJong, R. (2000). Community reaction to aircraft noise: Time-of-day penalty and tradeoff between levels of overflights. Journal of the Acoustical Society of America, 107, 3245 -3253.

- Miller, N. P. (1998). The effects of aircraft overflights on visitors to U.S. National Parks. Recreational Noise Symposium, Queenstown, NZ. URL: <http://www.hmmh.com/presentations.html>. (01.09.2004)
- Miller, N. P. (2001). Effects of military aircraft overflights on recreational users of national parks. *Internoise 2001*, Paper IN01338, The Hague, NL
- Rohrmann, B. (1974). Die interdisziplinären Analysen. In: DFG-Forschungsbericht Fluglärmwirkungen, Band 1, Kap. 8, Boppard: Harald Bolt.425 -500.
- Staples, S. L. (1998). Comment on "Effects of aircraft overflights on wilderness recreationists", *Journal of the Acoustical Society of America*, 100, 2009-2918, *Journal of the Acoustical Society of America*, 104, 1726-1728.
- Vallet, M., Maurin, M. A., Favre, B., Pachiaudi, G. (1978). Annoyance from and habituation to road traffic noise from urban expressways. *Journal of Sound and Vibration*, 60, 423-440.
- Weiler, E. M., Mortimer, E., Stuebing, R. C., Pavlakos, C. (1981). A further study of described context effect and noise annoyance ratings. *Journal of Auditory Research*, 21, 155-158.

Kapitel 10 Erkrankungen

Hartmut Ising, Klaus Scheuch und Manfred Spreng

Der Begriff der Erkrankung und der Nachweis von Risikofaktoren

Krankheit wird in diesem Kapitel als ein körperlicher oder geistiger Zustand behandelt, der zur Arbeitsunfähigkeit führt oder eine ärztliche Behandlung notwendig macht. Ziel dieses Abschnitts ist die Darstellung und Diskussion der Beziehungen zwischen Lärm und Erkrankungen. Der Untersuchung solcher Beziehungen dienen epidemiologische und physiologische Verfahren. Die epidemiologische Methode erhebt statistische Zusammenhänge zwischen Lärm und Erkrankungen. Die physiologische Methode widmet sich dem Nachweis körperlicher Veränderungen als Folge von Lärmeinwirkungen. Beide Methoden sollten - nach dem Stand der Forschung angewandt - in ihren Ergebnissen konvergieren. In einem weiteren Schritt ist festzustellen, wie weit die durch Lärm bedingten körperlichen Veränderungen als pathologisch zu bewerten sind und/oder wie weit sie zu Erkrankungen führen. Bei der Einschätzung des Lärms als Risikofaktor ist zu berücksichtigen, dass Erkrankungen oft multifaktoriell bedingt sind; ein etwaiger Beitrag des Lärms zur Erkrankung ist daher stets gegenüber dem Anteil anderer Faktoren abzuwägen.

Aurale Lärmkrankheiten

Wissenschaftlich eindeutig erwiesen sind kausale Beziehungen zwischen Lärm und Krankheit für Schäden am Ohr. Das trifft für die Lärmschwerhörigkeit infolge Dauerbelastung sowie für die akute mechanische Zerstörung von Teilen des Hörorgans durch Lärm hoher Intensität zu. Akustische Überlastungen mit hoch-dynamischen Pegeländerungen führen zu Schädigungen des Innenohrs. Im Umweltbereich treten Belastungen dieser Größenordnung in der Regel jedoch nicht auf. Extreme Belastungen durch niedrige Direktüberflüge von militärischen Strahlflugzeugen [Spreng 1994] mit extremen Pegelanstiegsgeschwindigkeiten führten früher in seltenen Fällen zu Ohrschmerzen und damit korrelierenden bleibenden Hörschwellenanhebungen [Ising & Rebentisch 1993]. Seit im Jahr 1990 die Tiefflugmindesthöhe in der Bundesrepublik Deutschland von 75 m auf 300 m angehoben wurde, sind solche akustischen Überbelastungen nur noch an wenigen Übungsplätzen bekannt geworden.

Für Anwohner eines zivilen Flugplatzes besteht - wenn keine sonstigen nennenswerten, die Erholungszeiten des Gehörs mindernden Lärmbelastungen vorliegen - keine Gefahr für eine

Gehörschädigung, weil durch die anderen Schutzziele solche möglichen Schäden mit abgedeckt werden. Eine Gefährdung wäre bei einem $L_{\text{eq } 24\text{h}} = 80 \text{ dB(A)}$ und bei Maximalpegeln von $L_{\text{max}} = 115 \text{ dB(A)}$ unter Berücksichtigung der Anstiegssteilheit anzunehmen. Unter präventiven Gesichtspunkten sollten deutlich niedrigere Werte angestrebt werden.

Extraaurale lärmbedingte Erkrankungen

Pathophysiologische Mechanismen. Zweifelsohne ist Lärm, wie auch andere Belastungen des Menschen, ein unspezifischer Stressor, der vielfältige Anpassungsvorgänge auslöst. Die Hypothese, dass jahrelange Lärmbelastung das Risiko für Herz-Kreislauf- und andere Erkrankungen erhöht [Björntrop 1997, Ising & Kruppa 2004], leitet sich aus dem allgemeinen Stressmodell [Selye 1953, Henry 1992] ab. Jeder die Hörschwelle überschreitende Schall stellt hinsichtlich seinem zeitlichen Ablauf und seiner Pegel- bzw. Frequenzänderung einen Reiz für den Organismus dar, der nicht nur durch das spezifische Sinnesorgan Ohr aufgenommen und an die entsprechend zugeordneten Hirnzentren weitergeleitet und dort bewusst wahrgenommen wird, sondern alle aufgenommenen Reize vermögen auch das weitgehend subkortikale Aktivierungsniveau des Organismus zu ändern.

Weiterhin werden auch die bewusst wahrgenommenen Reize vom Individuum in Relation zu den Bedürfnissen, Motiven und Handlungsmöglichkeiten des Einzelnen bewertet, wodurch Aufmerksamkeitssteuerung und Emotionen auslösbar sind, die ebenfalls ein breites Wirkungsspektrum auf die Funktion von Organen haben. In diese Prozesse sind alle Anpassungssysteme - auch Sensibilisierungsprozesse - des Organismus einbezogen, so dass beispielsweise vegetative, hormonelle Stoffwechselprozesse sowie motorische, immunologische Veränderungen nachweisbar sein können. Einige Hormone und ihre Regulationssysteme spielen dabei eine besondere Rolle. Dazu gehört die Regulationsachse Hirnstamm (Retikulärformation) - Hypothalamus - Nebennierenmark. Aus dem Nebennierenmark werden die sogenannten Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin freigesetzt.

Ein zweites Regulationssystem ist die Hypothalamus - Hypophyse - Nebennierenrinde - Verbindung mit der Freisetzung von Cortisol (mit einer gegenüber den Katecholaminen ca. 5 bis 8 mal längeren Abbau- bzw. Verweilzeit und beachtlich höherer Durchdringungsfähigkeit aller Zellmembranen des Organismus) aus der Nebennierenrinde. Lärmbelastung kann zu akuten und länger dauernden Veränderungen dieser Stresshormonregulation führen. Für die

Auslösung von Stresshormonfreisetzungen sind häufig Informationen, die mit den Geräuschen verbunden sind, wichtiger als deren Schallpegel. Die dazu erforderliche schnelle Signalerkennung erfolgt in einem subkortikalen Bereich, der Amygdala, der entscheidend für die Bahnung schneller, reflexartiger, endokriner und motorischer Reaktionen bei Gefahren und auch für Sensibilisierungseffekte [Spreng 2000] verantwortlich ist. Deshalb können auch im Schlaf Geräusche als Gefahrensignale erkannt und mit der Freisetzung von Stresshormonen, insbesondere Cortisol, sowie vielfältigen vegetativen Reaktionen auch unterhalb einer Aufwachschwelle beantwortet werden.

Auf der Grundlage dieser physiologisch ablaufenden Prozesse wird postuliert, dass durch dauerhaft an oder über den Normwerten liegende Substanzkonzentrationen eine große Anzahl physiologischer Regulationsmechanismen überspielt bzw. destabilisiert werden, wodurch unterschiedliche chronische Funktionsstörungen bzw. Krankheiten entstehen können. Zur Sicherung dieser Hypothese ist die erste Frage zu beantworten, ob es bei alltäglichen, immer wiederkehrenden Schalleinwirkungen durch Verkehr zu relevanten Hormon- oder anderen Veränderungen kommt.

Dazu können einige neuere Feldexperimente herangezogen werden: Harder et al. [1999] bestimmten die Ausscheidung von freiem Cortisol in drei Nächten ohne Lärm und 37 Nächten mit über Lautsprecher in die Schlafzimmer eingespieltem Fluglärm ($L_{eq} = 42 \text{ dB(A)}$, $L_{max} = 65 \text{ dB(A)}$, $n = 32$ pro Nacht). Im Gruppenmittel war nur eine akute Erhöhung der Cortisolausscheidung in der zweiten und dritten Nacht mit Lärmbelastung zu erkennen. Danach normalisierte sich die Cortisolausscheidung im Mittel, wobei eine Schwankung mit einem 7-Tagesrhythmus überlagert war. Bei der Mehrzahl der Versuchspersonen führte die Lärmbelastung erst nach drei Wochen zu einer Beeinträchtigung der Stresshormonregulation, wobei zum Teil signifikante Zunahmen der Häufigkeit von Normalwertüberschreitungen für die Cortisolausscheidung in den letzten zehn Tagen mit Nachtlärmbelastung auftraten. Es sei aber betont, dass neben Erhöhungen auch deutliche, lärmbedingte Minderungen der Cortisolausscheidung beobachtet wurden [Maschke et al. 2001]. Evans et al. [2001] untersuchte durch Straßenverkehr mäßig belastete Kinder (Außenpegel tags: $L_m > 60 \text{ dB(A)}$) im Vergleich zu ruhig wohnenden Kindern (Außenpegel tags: $L_m < 50 \text{ dB(A)}$) und fand Erhöhungen von freiem Cortisol und einem Cortisolmetaboliten. Die Katecholamine waren unverändert.

In einer Studie an Kindern mit starker Lkw-Lärmbelastung tags und nachts [M. Ising 2003] wurden bei 6 von 23 Kindern deutliche Erhöhungen von freiem Cortisol und

Cortisolmetaboliten nach behutsamem Aufwecken durch die Eltern in der ersten Nachthälfte, nicht aber in der zweiten Nachthälfte gefunden. Bei den lärmbelasteten Kindern war im Vergleich mit ruhiger wohnenden Kindern vor allem die zirkadiane Rhythmik des Cortisols gestört. Nach einer Hypothese von Born und Fehm [2000] beeinträchtigen Erhöhungen von Cortisolkonzentrationen besonders in der ersten Hälfte der Nacht die Erholungs- und Gedächtnisfunktion des Schlafes und könnten damit langfristig eine Gesundheitsgefahr sein.

In Untersuchungen über die Wirkung von Schall auf sogenannte Stresshormone zeigten sich bei den Katecholaminen Adrenalin und Noradrenalin Anstiege von 34 bis 40 % (ca. je zur Hälfte signifikant und nicht signifikant) ansonsten ein Gleichbleiben oder Absinken. Wurden Untersuchungen an mehreren Tagen durchgeführt, kam es meist nach anfänglichem Anstieg zu einem Abfall. Von den 33 Studien mit Cortisolbestimmung unter Lärm führten 6 zu einer signifikanten und 3 zu einer nichtsignifikanten Erhöhung, 21 beschrieben ein weitgehendes Gleichbleiben, 3 eine Senkung des Cortisols. Von den 9 Steigerungen waren 4 Studien mit Lärm über 80 dB(A). Demnach ist die erste Frage, ob es bei alltäglichen, immer wiederkehrenden Schalleinwirkungen durch Verkehr zu relevanten Hormonveränderungen kommt, mit unserem gegenwärtigen Wissensstand nicht eindeutig zu beantworten.

Pathophysiologische Relevanz von Hormonveränderungen. Eine zweite wichtige Frage ist, welche pathophysiologische Bedeutung evtl. auftretende Veränderungen hormoneller Parameter unter chronischer, alltäglicher Schalleinwirkung haben. Dass stark erhöhte oder stark erniedrigte Werte der Stresshormone pathologische Bedeutung haben und entsprechende Krankheiten auslösen, steht außer Zweifel. Doch bewegen sich die belastungsbedingten akuten oder längerfristigen Effekte, auch wenn Überschreitungen von Normwerten nachgewiesen werden, nicht in derartigen Bereichen. Zwar ist eine einfache Übertragung von Effekten pathologischer oder medikamentöser Dosen auf physiologische Erhöhungen direkt nicht möglich, jedoch kann bereits bei (lärmbedingter) langfristiger - wenn auch geringfügiger - Normwertüberschreitung ein präventives Handeln angeraten sein. Überdies ist jedes Hormon im Kontext des gesamten Hormonhaushalts zu bewerten. Insofern sollte der Parameter Cortisolkonzentration beim gegenwärtigen Stand der wissenschaftlichen Forschung und aus praktischen Erkenntnissen nicht zum alleinigen Kriterium für die Festlegung einer Gesundheitsgefährdung durch Lärm genutzt werden.

Generell nehmen allerdings die Hormone in den belastungsbedingten pathophysiologischen Vorstellungen eine Schlüsselrolle ein. Mit vegetativen, meist kurzzeitigen Wirkungen über

den Parasympathikus und den Sympathikus beeinflussen sie Stoffwechsel-, immunologische, Gerinnungs-, blutbildende und andere Prozesse. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang z.B. Blutdruck, Herztätigkeit, Blutfette (Cholesterol, Triglyzeride, freie Fettsäuren), Blutzucker, hämostatische Faktoren (z.B. Fibrinogen), die die Fließeigenschaften des Blutes beeinflussen (Plasma-Viskosität) und Elektrolytveränderungen (Kalzium, Magnesium, Zink). Da es sich bei den genannten Faktoren um klassische (endogene) Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Krankheiten handelt, wird Lärm als (exogener) Risikofaktor für die Entwicklung von Bluthochdruck und ischämische Herzkrankheiten einschließlich Arteriosklerose und Herzinfarkt angesehen. In wenigen epidemiologischen Studien wurde der Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und solchen endogenen Risikofaktoren für den Herzinfarkt untersucht, z.B. in den Caerphilly & Speedwell Herzinfarktstudien [Babisch et al. 1993], wobei sich nur für die Plasmaviskosität in beiden Studien ein signifikantes bzw. grenzwertig signifikantes relatives Risiko größer 1,0 ergab. Das Gesamt-Cholesterol, Blutdruckparameter, Gesamttriglyceride, Glucose und andere Parameter zeigten kein gleichgerichtetes Verhalten in beiden Studien bei der groben Belastungseinteilung.

In einer Studie an Kindern mit starker Lkw-Lärmbelastung [M. Ising 2003] wurden Gesundheitsgefahren theoretisch abgeleitet und durch die Ergebnisse einer neuen Feldstudie in derselben Gegend [Ising et al. 2003] bestätigt. Bei Kindern, die langfristig nachts einer starken Lkw-Lärmbelastung ausgesetzt waren, war - im Vergleich zu weniger belasteten Kindern - in der ersten Hälfte der Nacht die Ausscheidung von Cortisol und morgens die Konzentration von Cortisol im Speichel deutlich erhöht; korreliert mit den Cortisolserhöhungen war eine deutliche Zunahme der Häufigkeit von Arztbesuchen wegen Bronchitis innerhalb der letzten 5 Jahre.

Trotz dieser ersten empirischen Ergebnisse, und obwohl physiologische Kausalitäten zwischen Erregungen der Hörbahn und Aktivierungen vegetativer Regulationszentren zweifellos existieren, ist ein eindeutiger Beweis einer pathophysiologischen Kausalkette von hormonellen und vegetativen Veränderungen hin zu Risiken im Stoffwechsel u.a. Funktionssystemen des Organismus bisher wissenschaftlich nicht erbracht worden. Als wissenschaftlich fruchtbar dürfte sich jedoch die Untersuchung von Interaktionen zwischen verschiedenen Risikofaktoren bei der Entstehung vor allem von Herz-Kreislaufkrankungen erweisen.

Herz- Kreislaufkrankheiten. Im Gegensatz zu der eingeschränkten Aussagekraft von Studien zum Zusammenhang von chronischem Lärmstress und Veränderungen von Stresshormonen ergaben einige neuere Studien einen dosisabhängigen und teilweise signifikanten Zusammenhang zwischen chronischer Verkehrslärmbelastung und dem Risiko für Herz-Kreislaufkrankheiten. Dabei ist hinsichtlich gesundheitlicher Beeinträchtigungen derzeit noch ungeklärt, ob die über die Schallenergie definierte mittlere Dosis die eigentliche Ursache für gesundheitlich relevante Wirkungen ist, oder ob die durch Momentanpegel und deren Häufigkeit bedingten Erregungen des vegetativen Systems eher als unmittelbar verursachend anzusehen sind.

Für die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Verkehrslärm und ischämischen Herzkrankheiten (IHK) wurde je nach Studie die Prävalenz von Angina pectoris, Myokardinfarkt, ischämische Zeichen im EKG bzw. die Inzidenz von akutem Myokardinfarkt ermittelt und in Abhängigkeit von der Lärmbelastung außerhalb der Wohnungen betrachtet. Zwar erreichten nur wenige Studien die statistische Signifikanz (d. h., die Vertrauensbereiche für den Schätzer des relativen Risikos schließen zumeist das relative Risiko von 1,0 ein), insgesamt lässt sich jedoch für den Vergleich zwischen mehr und weniger lärmbelasteten Untersuchungspersonen eine recht konsistente Verschiebung der relativen Risiken zu Werten über 1,0 vermuten. Dies ist in dem Balkendiagramm der Abb. 10.1 dargestellt. Für die verschiedenen auf der Ordinate aufgeführten Studien sind relative Risiken (RR) mit statistischen Streubereichen (95%-Konfidenzintervalle) aufgetragen [Babisch 2000].

In niederländischen Fluglärmuntersuchungen [Knipschild 1977] wurden bei Personen aus Gebieten mit Tagesimmissionspegeln von mehr als 60 dB(A) im Vergleich zu geringer exponierten Personen relative Risiken zwischen 1,0 und 1,9 gefunden, je nachdem, welche ischämischen Herzkrankheits-Endpunkte betrachtet wurden. In den Querschnittsstudien zum Straßenverkehrslärm [v. Eiff & Neus 1980, v. Eiff et al. 1981, Knipschild & Salle 1979, Babisch et al. 1993, 1994] zeigten sich relative Risiken zwischen 1,1 und 1,4 für den 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]. Anders als beim Hypertonierisiko liegen zu der hier angesprochenen Wirkungsfragestellung auch Ergebnisse aus prospektiven Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien vor [Babisch et al. 1992, 1995, 1999]. Die entsprechenden Effektschätzer führten auf Werte zwischen ca. 1,2 und 1,6 für das relative Risiko. Die relativen Risiken stiegen dann an, wenn moderierende Einflussfaktoren der Exposition, wie die

Fensterausrichtung von Wohn- und Schlafräum, das Fensteröffnungsverhalten und die Wohndauer in den Auswertungen Berücksichtigung fanden. Einige dieser Untersuchungen erlauben Dosis-Wirkungs-Betrachtungen über gleichmäßig abgestufte Schallpegelkategorien hinweg [Babisch et al. 1994, 1999].

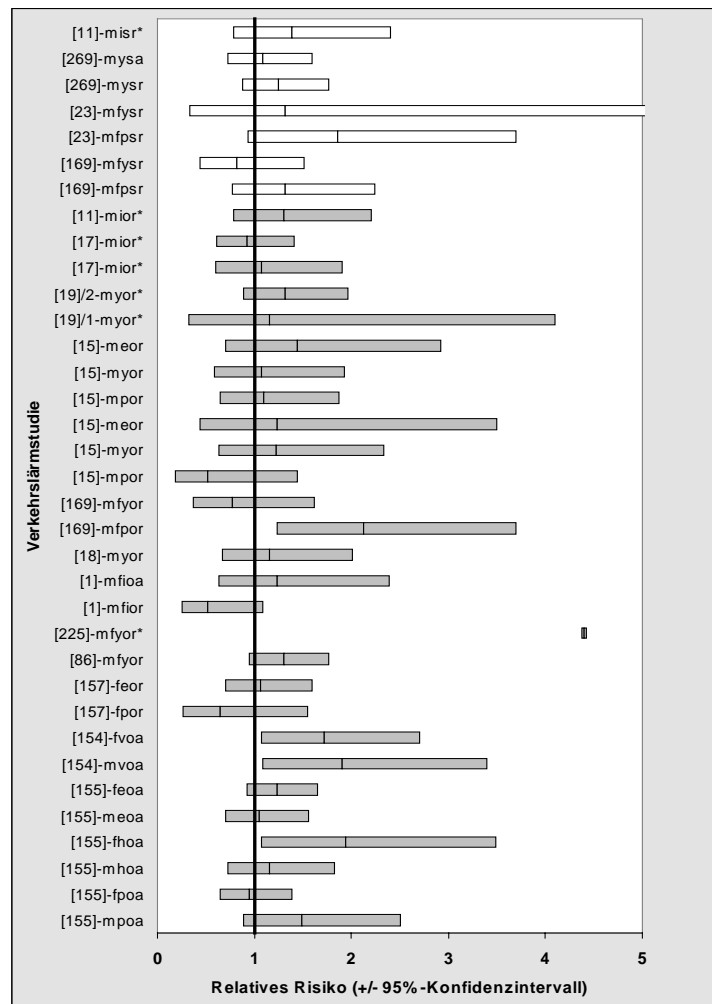


Abb. 10.1 Statistischer Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und ischämischen Herzkrankheiten [Babisch 2000]

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

Nach rechts verschobene Balken mit RR über 1 lassen erkennen, dass ischämische Herzkrankheiten häufiger in Gebieten mit höherer Verkehrslärmbelastung auftreten als in solchen mit geringerer Belastung. Liegt der gesamte Streubereich oberhalb von 1, so ist der

Unterschied statistisch signifikant. 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. Die einzelnen Studien sind durch ein Kürzel identifiziert, das die Quelle und die untersuchte Bevölkerungsgruppe angibt (s. Legende Abb. 10.1).

Außerdem liegt jetzt der Endbericht einer Studie an insgesamt 4115 Patienten zum Zusammenhang von chronischer Lärmbelastung und Myokardinfarkt (MI) vor [Keil et al. 2003, Babisch 2004 a]. Wegen methodischer Bedenken werden hier lediglich die Ergebnisse von Babisch [2004 a] berücksichtigt. Danach ergab sich in der Teilstichprobe von Männern, die 10 Jahre lang nicht umgezogen waren, eine signifikante Zunahme des Risikos für Myokardinfarkt um 33 % bei Straßenverkehrslärmbelastungen tags >65 dB(A) im Vergleich zu einer Referenzgruppe mit ≤ 60 dB(A). Bei der Berechnung wurden folgende Kontrollvariablen im Modell berücksichtigt: Diabetes mellitus, Hypertonie, MI-Familiengeschichte, Rauchen, Body Mass Index, Familienstatus, Schichtarbeit, Schulausbildung und Lärmempfindlichkeit. Das MI-Risiko für Männer beginnt nach dieser Studie bei Tages-Mittelungspegeln größer 60-65 dB(A) trendmäßig anzusteigen, wird jedoch erst oberhalb 70 dB(A) signifikant (Abb. 10.2). Für Frauen wurde kein solcher Trend festgestellt.

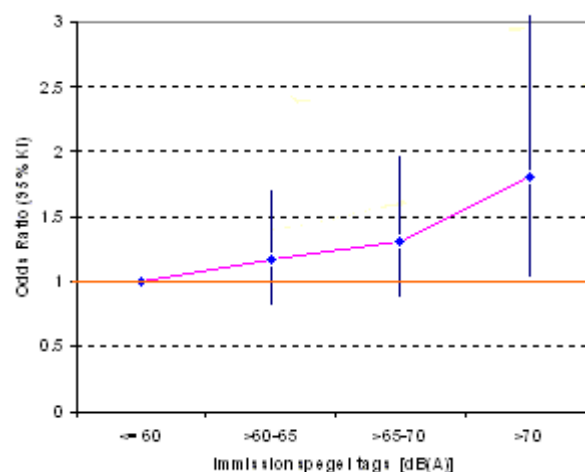


Abb. 10.2 Zusammenhang zwischen Straßenverkehrslärm-Immissionspegel und Herzinfarkt-Inzidenz in der Teilstichprobe der Männer mit Wohndauer >10 Jahre [Babisch 2004 a]

Einige Studienergebnisse lassen vermuten, dass die nächtliche Lärmbelastung und die damit verbundenen Schlafstörungen einen engeren Zusammenhang mit den Herz-Kreislauf-Wirkungen zeigen als die Lärmbelastung am Tage [Babisch et al. 1995, 1996, Maschke et al. 1995, 2003]. So konnte in einer retrospektiven Querschnittstudie [Maschke et al. 2003] gezeigt werden, dass die Behandlungen von Hypertonie dosisabhängig und signifikant mit der nächtlichen Verkehrslärmbelastung anstiegen (Abb. 10.3), während kein solcher Zusammenhang mit der Lärmbelastung am Tage vorlag. Bei Fluglärm keine Beziehung nachgewiesen werden.

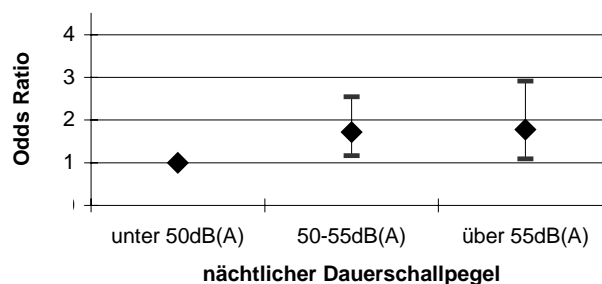


Abb. 10.3 Odds Ratios und 95 % Konfidenzintervalle für die Lebenszeit-Prävalenz von Bluthochdruckbehandlungen in Abhängigkeit vom äquivalenten Dauerschallpegel durch Straßenverkehr in der Nacht (Gesamtstichprobe, N = 1351) [Maschke et al. 2003] (Odds Ratio > 1 weist auf ein Erkrankungsrisiko hin.)

Ergebnisse von Studien ausschließlich über Wirkungen von Straßenverkehrslärm sind nur bedingt auf Wirkungen von Fluglärm übertragbar. Hinsichtlich subjektiver Belästigungsreaktionen führt Fluglärm zu den gleichen Angaben betroffener Personen wie Straßenverkehrslärm mit ca. 5 dB(A) höheren Außenschallpegeln [Miedema & Vos 1998], wobei jedoch fraglich ist, ob akute lärminduzierte vegetative Reaktionen sich ebenso verhalten wie Angaben zur subjektiven Belästigung. Neben technisch-akustischen Gründen (z.B. Fensterausrichtung) spielt nämlich die Einstellung der betroffenen Bevölkerung und die bei Fluglärm fehlende Rückzugsmöglichkeit eine entscheidende Rolle. Ein Zusammenhang von Belästigung durch Straßenverkehrslärm, Fluglärm und Krankheit ist aus Ergebnissen der oben bereits erwähnten Studie von Babisch [2004 a] zu entnehmen, wobei allerdings - die Aussagekraft mindernde - unterschiedlich tendierende Resultate für Männer und Frauen in der Nacht vorliegen (s. Tab. 10.1).

Lärmbelästigung (5-stufige Skala)	Relatives MI-Risiko (OR, 95%-KI) pro Skaleneinheit			
	Frauen Tag	Frauen Nacht	Männer Tag	Männer Nacht
Straßenverkehrslärm	1,03 (0,90 - 1,18)	0,98 (0,84 - 1,14)	1,04 (0,97 - 1,12)	1,10 (1,01 - 1,20)
Fluglärm	1,13 (0,97 - 1,32)	1,28 (1,01 - 1,63)	1,01 (0,93 - 1,10)	1,05 (0,93 - 1,19)

Tabelle 10.1 Zusammenhang (OR's, signifikante Werte fett) zwischen Lärmbelästigung und Herzinfarktrisiko [Babisch 2004 a]

Andere Faktoren, wie soziale Schicht, genetische und/oder familiäre Belastung, Ernährungsgewohnheiten, Verhaltensweisen, Bewegungsmangel, Diabetes mellitus, Rauchen, Übergewicht stellen weitaus signifikantere Einflussfaktoren für eine ischämische Herzkrankheit als Lärm dar. Nach einer Übersicht von Omura et al. [1996] sind mittlerweile rund 177 Risikofaktoren identifiziert worden, denen eine mitverursachende Rolle bei der Genese von kardiovaskulären Erkrankungen zugeschrieben wird. Lärm kann, wie alle anderen Belastungen, in dem unspezifischen Stressgeschehen einer multifaktoriellen Genese von Herz-Kreislaufkrankungen eine Rolle spielen; mehr ist bisher nicht bewiesen. So kommen die wesentlichen wissenschaftlichen Übersichtsarbeiten bis zum Jahr 2002 zur Aussage, dass wissenschaftlich eine direkte Kausalbeziehung zwischen Umweltlärm und Herz-Kreislaufkrankungen nicht bewiesen ist, und dass die empirischen Belege für einen solchen Zusammenhang als „begrenzt bis hinreichend“ einzustufen sind [Übersicht siehe Babisch 2004 b]. Nicht zu beantworten ist gegenwärtig jedoch die Frage, inwieweit bestimmte individuelle Risikokonstellationen für Herz-Kreislauf-Erkrankungen eine besondere Gefährdung in Lärmgebieten darstellen.

Weitere Krankheiten. Ein möglicher Einfluss von Lärm wurde auf weitere gesundheitliche Störungen untersucht: Psychiatrische Erkrankungen, Medikamentenverbrauch, Schwangerschaftsanomalien, Tinnitus, allergische Erkrankungen, vorzeitige Sterblichkeit u.a.. In einer Zusammenfassung kommen Stansfeld et al. [2000] zu dem Ergebnis, dass es keine gesicherten Beziehungen, beispielsweise zwischen Lärm und psychiatrischen Erkrankungen,

gibt. Aus Schweden ist bekannt [Grotvedt 1990], dass psychische Erkrankungen zum Nachbarschaftslärm in einer engeren Beziehung stehen, jedoch nicht zu anderen Lärmquellen.

Dass Lärm über die Belästigung in vielen Fällen zu einem erhöhten Medikamentenverbrauch, insbesondere zu einem erhöhten Schlafmittelverbrauch führt, und dass eine Beziehung zwischen Lärmbelastung und häufigerem Arztbesuch existiert, bedarf noch zwingender Beweise. Dagegen sind die subjektiven Beschwerdekongstellationen oder die über Fragebögen erfassten Angstsituationen sehr viel enger mit dem Lärmerleben bzw. mit der langfristigen Lärmbelastung in einen Zusammenhang zu bringen.

Die Mehrzahl aller wissenschaftlichen Übersichtsarbeiten kommen auch zur Einschätzung, dass Verkehrslärm, speziell Fluglärm (eine besondere Rolle spielen Tiefflugereignisse) keinen wesentlichen Einfluss auf Schwangerschafts- oder Geburtsparameter haben, obwohl theoretisch ein Einfluss auf das vegetativ-ovarielle System denkbar ist.

Zusammenhänge zwischen Lärm und Immunerkrankungen sind bisher ebenso nicht bewiesen, obwohl theoretisch über die Beeinflussung des vegetativ - hormonellen Systems Einflüsse auf das Immunsystem nicht ausgeschlossen werden können. Auch hier besteht ein erhebliches Forschungsdefizit. Es gibt bisher keine fundierten Hinweise, dass bei der Bevölkerung in lärmbelasteten Wohngebieten die Immunabwehr reduziert ist, dadurch gehäuft Erkrankungen, von Erkältungskrankheiten bis zu Immundefiziterkrankungen, auftreten.

Nach einer Studie von Ising et al. [2002] an 400 Kindern soll die Ausprägung von chronischen Haut- und Atemwegserkrankungen nicht nur von der Höhe der Belastungen durch Luftschadstoffe sondern auch von der Höhe der Lärmbelastungen abhängen, wobei die Höhe der jeweiligen Belastungen von den Autoren zunächst nicht gemessen, sondern von den Eltern und von den Kindern erfragt wurden. In einer Folgestudie [Ising et al. 2004] wurden die Belastungen objektiv ermittelt und die bisherigen Ergebnisse bezüglich Atemwegserkrankungen bestätigt.

Nach einer Befragungsstudie der WHO an über 1200 Kindern [Niemann & Maschke 2004] besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und ärztlich diagnostizierter Bronchitis (erfasst über die befragten Teilnehmer). Bei Kindern mit lärmbedingten Schlafstörungen war der Zusammenhang stärker als bei Lärmbelastung am Tage ausgeprägt. In dieser Studie wurde mit gleicher Methodik auch bei über 4300 Erwachsenen der Zusammenhang zwischen Belästigung durch Verkehrslärm (Summe aus Straßen-, Schienen- und Fluglärm) und Erkrankungen erfragt. Personen, die sich in den letzten

zwölf Monaten stark belästigt fühlten, litten signifikant häufiger an Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen sowie an Depressionen. Eine Einzelauswertung für starke Belästigung allein durch Fluglärm ergab ebenfalls einige signifikante Risikoerhöhungen - allerdings bei recht geringen Fallzahlen. Die deutlichsten Risikoerhöhungen für die genannten Erkrankungen lagen bei Personen vor, die sich in den letzten vier Wochen durch Verkehrslärm im Schlaf gestört fühlten. Bei dieser Untersuchung wurden folgende Einflussfaktoren berücksichtigt: Alter, Geschlecht, Sozialstatus, Alkohol, Rauchen, Sport, Übergewicht; Einflüsse in der Wohnung: Feuchtigkeit, Luftqualität, Wintertemperatur, Tageslicht; Einflüsse im Wohnumfeld: Grünflächen, Zufriedenheit mit der Wohngegend, Stadt in Europa, mittlere Außentemperatur und mittlere relative Feuchtigkeit [Niemann & Maschke 2004].

In einer Studie zur Häufigkeit ärztlicher Behandlungen in Abhängigkeit von der Verkehrslärmbelastung der Probanden in Berlin-Spandau realisieren Maschke et al. [2003] einen interessanten Ansatz, in dem sie zwischen Tages- und Nachtlärmbelastung in den Wohngebieten differenzierten. Sie beschreiben bei Bezug zum nächtlichen äquivalenten Dauerschallpegel über 55 dB(A) ein tendenziell erhöhtes Risiko für ärztliche Behandlungen wegen erhöhter Blutfette und eine signifikante Erhöhung für Behandlungen wegen Asthma bronchiale. Im Gegensatz zum nächtlichen Verkehrslärmpegel wies der äquivalente Dauerschallpegel am Tage (6.00 bis 22.00 Uhr), obwohl in gewissem Maße mit der berichteten Tagesbelästigung korrelierend, einen deutlich geringeren und stets nicht signifikanten Zusammenhang mit der Häufigkeit ärztlicher Behandlungen auf.

Fazit

Zweifelsohne kann Lärm zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen, auch wenn die Mechanismen derzeit noch nicht genau bzw. vollständig bekannt sind. Unter Vorsorgegesichtspunkten ist Handeln erforderlich. Unabhängig von Begrenzungswerten müssen deshalb lärmindernde Strategien prinzipielle gesellschaftliche Strategien sein.

Die Gegenregulationsmechanismen organismischer Funktionen sind jedoch erheblich wirksamer und anpassungsfähiger als vielfach angenommen. Dies trifft aber nur für Gesunde zu. Eine Gefährdung resultiert nicht aus einer isolierten Betrachtung einer Reaktion des Organismus oder einer isolierten Betrachtung einer Belastungsform, z.B. des Lärms, sondern

es müssen zusätzlich weitere Komponenten als Risikofaktoren oder -konstellationen hinzukommen.

Die dargestellten statistischen Zusammenhänge zwischen Lärm, hormonellen Stressreaktionen und Krankheiten sind lediglich schwach ausgeprägt. Der Nachweis eines Zusammenhangs zwischen Fluglärmbelastung und Hormonveränderungen ist daher als "begrenzt" (limited) zu bezeichnen. Für die oben genannten weiteren Erkrankungen ist zum Teil wegen der geringen Zahl von Untersuchungen dieser Nachweis zur Zeit „unzulänglich (inadequat) bis begrenzt“. Dagegen wird der Nachweis des Zusammenhangs von chronischer Fluglärmbelastung und erhöhtem Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen als „begrenzt bis hinreichend (sufficient)“ eingestuft.

Begrenzungswerte für den Fluglärm sollten unter dem Gesichtspunkt der Verhütung des Entstehens lärmbedingter Erkrankungen festgelegt werden. Dabei sind keine unterschiedlichen Werte für verschiedene Erkrankungen erforderlich, da die unspezifischen Mechanismen weitgehend übergreifend sind. Sofern die Fluglärmbelastung so begrenzt wird, dass diese keine langfristig wiederholten Schlafstörungen oder langfristig starke Belästigungen bewirkt, ist damit auch die Vorbeugung des Entstehens von Erkrankungen weitgehend abgedeckt.

Literatur

- Babisch, W. (2000). Gesundheitliche Wirkungen von Umweltlärm. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 47, 95
- Babisch, W. (2004 a). Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt, Ergebnisse der „NaRoMi“-Studie. WaBoLu-Hefte 02/04, Umweltbundesamt, Berlin
- Babisch, W. (2004 b). Health Aspects of Extra-Aural Noise Research. Noise & Health Bd.6 Nr.22, 69
- Babisch, W., Ising, H., Elwood, P. C., Scharp, D. C., Bainton, D. S. (1993). Traffic noise and cardiovascular risk: the Caerphilly and Speedwell studies, second phase. Risk estimation, prevalence, and incidence of ischemic heart disease. Archives of Environmental Health Bd.48, 406

- Babisch, W., Fromme, H., Beyer, H., Ising, H. (1996). Katecholaminausscheidung im Nachturin bei Frauen aus unterschiedlich verkehrsbelasteten Wohngebieten. WaBoLu-Hefte 9/96, Umweltbundesamt, Berlin
- Babisch, W., Gallacher, J., Ising, H. (1995). Schallpegel oder subjektive Störung? Lärmexpositionsmaße in Wirkungsstudien am Beispiel einer Kohortenstudie. Bundesgesundheitsblatt 38, 137
- Babisch, W., Ising, H., Kruppa, B., Wiens, D. (1992). Verkehrslärm und Herzinfarkt, Ergebnisse zweier Fall-Kontroll-Studien in Berlin. WaBoLu-Hefte 2/92, Umweltbundesamt, Berlin
- 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 Bd.20, 469
- 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 Bd.54 Nr.3, 210
- Björntorp, P. (1997). Stress and cardiovascular disease. Acta Physiol. Scand. Bd.161 (suppl. 640) 144
- Born, J., Fehm, H. (2000). The neuroendocrine recovery function of sleep. Noise & Health Bd.7, 25
- Eiff, A. W. v., Neus, H., Friedrich, G., Langewitz, W., Rüdell, H., Schirmer, G., Schulte, W., Thönes, M., Brüggemann, E., Litterscheid, C., Schröder, G. (1981). Feststellung der erheblichen Belästigung durch Verkehrslärm mit Mitteln der Stressforschung (Bonner Verkehrslärmstudie). Forschungsbericht 81-105 01 303. Umweltbundesamt, Berlin
- Eiff, A. W. v., Neus, H. (1980). Verkehrslärm und Hypertonie-Risiko. 1. Mitteilung, Verkehrslärm und Hypertonie-Risiko. In: Münch. med. Wschr. Bd.122 Nr.24, 893
- Evans, G., Lercher, P., Meis, M., Ising, H., Kofler, W. (2001). Typical community noise exposure and stress in children. Journal of the Acoustical Society of America Bd.109 Nr.3, 1023
- Grotvedt, L. (1990). Neighbour Noise Annoyance and psychiatric Diseases. Environment International Bd.16, 543

- Harder, J., Maschke, C., Ising, H. (1999). Längsschnittstudie zum Verlauf von Stressreaktionen unter Einfluss von nächtlichem Fluglärm. WaBoLu-Hefte 04/99, Umweltbundesamt, Berlin
- Henry, J. P. (1992). Biological basis of the stress response. Integrative Physiological and Behavioral Science Bd.27, 66
- Hill, A. B. (1965). The environment and disease: Association or causation? Proc Roy Soc Med, Bd. 58 Nr.7, 295
- Ising, M. (2003). Nächtlicher Straßenverkehrslärm und Stresshormonstörungen bei Kindern. In: H. Ising (Hrsg.) Verstärkung der Schadwirkungen von Kraftfahrzeug-Abgasen durch lärmbedingte Erhöhung von Stresshormonen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V. Nr. 112. Berlin: WaBoLu-Verein
- Ising, H., Kruppa, B. (2004). Health Effects caused by Noise: Evidence in the Literature from the Past 25 Years. Noise & Health Bd. Nr.22, 5
- Ising, H., Lange-Asschenfeldt, H., Lieber, G. F., Weinhold, H., Eilts, M. (2002). Auswirkungen langfristiger Expositionen gegenüber Straßenverkehrs-Immissionen auf die Entwicklung von Haut- und Atemwegserkrankungen bei Kindern. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz Bd. 45, 807
- Ising, H., Lange-Asschenfeldt, H., Eilts, M. (2003). Atemwegserkrankungen von Kindern unter Belastung durch Straßenverkehrslärm und Abgase – Felduntersuchung. In: H. Ising (Hrsg.) Verstärkung der Schadwirkungen von Kraftfahrzeug-Abgasen durch lärmbedingte Erhöhung von Stresshormonen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V. Nr. 112. Berlin: WaBoLu-Verein
- Ising, H., Lange-Asschenfeldt, H., Lieber, G. F., Moriske, H-J., Weinholdt, H. (2004). Exposure to Traffic Related Air Pollution and Noise and the Development of Respiratory Diseases in Children. Journal of Children's Health (in print)
- Ising, H., Rebentisch, E. (1993). Ergebnisse einer Tieffluglärmstudie in der Bundesrepublik Deutschland: Aurale Wirkungen. In: Ising, H. Kruppa, B. (Hrsg.) Lärm und Krankheit S.339. Stuttgart: Gustav Fischer
- Keil, T., Stallmann, M., Wegschneider, K., Willich, S. N. (2003). Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt: Die NaRoMi-Studie (Noise and risk of Myocardial Infarction). WaBoLu-Hefte 02/04, Umweltbundesamt, Berlin

- Knipschild, P. V. (1977). Medical effects of aircraft noise: community cardiovascular survey. Int. Arch. Occup. Environ. Hlth. Bd.40, 185
- Knipschild, P., Sallé, H. (1979) Road traffic noise and cardiovascular disease. Int. Arch. Occup. Environ. Hlth. Bd.44, 55
- Lercher, P. (1992). Auswirkungen des Straßenverkehrs auf Lebensqualität und Gesundheit. Transitverkehrs-Studie, Teil I. Bericht an den Tiroler Landtag. Amt der Tiroler Landesregierung: Innsbruck
- Maschke, C., Harder, J., Ising, H., Hecht, K., Thierfelder W. (2001.) Stress hormone changes in persons under simulated night noise exposure. Noise & Health, Bd.5 Nr.17, 35
- Maschke, C., Hecht, K. (2003). Literaturrecherche über geeignete Parameter einer Längsschnittuntersuchung zum Einfluss von Fluglärm auf Herz-Kreislaufkrankungen. In: Müller-BBM (Hrsg.) Öko-Institut e.V.: Darmstadt
- Maschke, C., Ising, H., Arndt, D. (1995). Nächtlicher Verkehrslärm und Gesundheit: Ergebnisse von Labor- und Feldstudien. Bundesgesundheitsblatt Bd.38 Nr.4 S.130
- Maschke, C., Wolf, U., Leitmann, T. (2003). Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose WaBoLu-Hefte 01/03, Umweltbundesamt, Berlin
- Miedema, H. M. E., Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. Journal of the Acoustical Society of America Bd.104 S. 3432
- Niemann, H., Maschke, C. (2004). WHO-LARES Final report: Noise effects and morbidity. www.euro.who.int/Document/NOH/WHO_Lares.pdf (Juli 2004)
- Omura, Y., Lee, A. Y., Beckmann, S. L., Simon, R., Lorberboym, M., Duvvi, H., Heller, S. I., Urich, C. (1996). 177 cardiovascular risk factors, classified in 10 categories, to be considered in the prevention of cardiovascular diseases: an update of the original 1982 article containing 96 risk factors. Acupunct Electrother Res Bd.21, 21
- Schulze, B., Ullmann, R., Mörstedt, R., Baumbach, W., Halle, S., Liebmann, G., Schnieke, C., Gläser, O. (1983) Verkehrslärm und kardiovaskuläres Risiko - Eine epidemiologische Studie. Dt. Gesundh.-Wesen Bd.38 Nr.15, 596
- Selye, H. (1953). The stress of life. New York: McGraw-Hill

Spreng M. (1994). Gehörschädigungsmöglichkeiten durch Tiefflugschallereignisse. In: Dieroff, H.-G. Lärmschwerhörigkeit S. 202 Jena: Gustav Fischer

Spreng, M. (2000). Central nervous system activation by noise. Noise & Health Bd.7 S. 29

Stansfeld, S. A., Haines, M. M., Burr, M., Berry, B., Lercher, P. (2000). A Review of Environmental Noise and Mental Health. Noise & Health Bd.8 S.1

Weiterführende Literatur

Babisch, W., Ising, H., Rebentisch, E. (1997). Physikalische Faktoren Teil 1: Lärm. In: D. Eis, A. Beyer (eds.) Praktische Umweltmedizin - Klinik, Methoden, Arbeitshilfen. Heidelberg: Springer-Verlag

Dieroff, H.-G. (1994). Lärmschwerhörigkeit. Jena: Gustav Fischer

Ising, H. Kruppa, B. Babisch, W. Gottlob, D., Guski, R., Maschke, C., Spreng, M. (2001). Kapitel VII-1 Lärm, In: Wichmann, Schlipkötter, Fülgraff (eds.) Handbuch der Umweltmedizin. Erg. Lfg.7/01 Landsberg: Ecomed

Rebentisch, E., Lange-Asschenfeldt, H., Ising, H. (1994). Gesundheitsgefahren durch Lärm. bga Schriften 1/94, MMV München: Medizinverlag

Kapitel 11 Kognitive Entwicklung

August Schick

Mit Beginn der Neunzigerjahre kann man ein wachsendes Interesse an den Umweltbelastungen der Kinder erkennen, weil man sich bewusster wurde, dass Kinder ebenso wie Erwachsene ständigen Belastungen durch Lärm ausgesetzt sind, aber noch über keine ausgeprägten Bewältigungsmechanismen und -möglichkeiten bei Schallbelastungen verfügen und dadurch beim Erwerb und der Einübung verschiedener kognitiver Grundfertigkeiten und Kulturtechniken behindert werden. Die nachfolgend genannten Studien beschäftigen sich teilweise mit Umgebungslärm, Verkehrslärm und Fluglärm. Eine Darstellung differenzierbarer Wirkungen einzelner Verkehrslärmquellen scheint beim derzeitigen Forschungsstand nicht möglich. Deshalb beschränken sich die nachfolgenden Ausführungen auf einige grundsätzliche Wirkungsmechanismen, die sich bisher als bedeutsam erwiesen haben.

In Feldstudien zum Fluglärm, in denen die Leistungen von stärker lärmbelasteten Kindern mit denen geringer belasteten Kontrollgruppen verglichen wurden, zeigten sich wiederholt Beeinträchtigungen von Aufmerksamkeits-, Gedächtnis- und Leseleistungen sowie der Leistungsmotivation bei den lärmbelasteten Kindern. Aufgrund der methodischen Einschränkungen derartiger Querschnittsstudien sowie der Vielzahl der moderierenden Einflussfaktoren sind die Ergebnisse jedoch insgesamt inkonsistent. Als relativ robuster Effekt erwies sich die Beeinträchtigung der Leseleistungen bei den lärmbelasteten Kindern.

Eine klassische Arbeit, welche den Einfluss des Verkehrslärms beim Wohnen auf das Wortverständnis und das Verständnis des gelesenen Inhaltes zum Gegenstand machte, stammt von Cohen et al. [1973]. Sie untersuchten Schulkinder aus vier Hochhäusern in Manhattan mit jeweils 32 Stockwerken; diese Häuser lagen an einer sehr befahrenen Schnellstraße; der durchschnittliche Geräuschpegel betrug an den Häuseraußenseiten $L_{eq}=84$ dB(A); für eine Straße ist dieser Wert recht hoch; der Schallpegel verringert sich mit aufsteigender Etage, von 66 dB(A) innerhalb der Wohnungen der 8. Etage zu 55 dB(A) innerhalb der Wohnungen auf der 32. Etage.

Bei der Gruppe, die vier und mehr Jahre dort wohnte, ergab sich eine hochsignifikante Beziehung zwischen auditorischer Unterscheidungsfähigkeit und der Schallbelastung bzw. Lage des Stockwerks ($r = 0,48$). Die Leseleistung der in höheren Stockwerken wohnenden

Kinder war deutlich besser als jene der tiefer wohnenden Kinder. Als unbedeutend erwies sich dieselbe Beziehung bei jenen Kinder, die drei und weniger Jahre dort wohnten ($r = -0,06$). Als entscheidend zeigte sich die Wohndauer. Eine Anpassung in Form einer positiven Bewältigung des Lärms hat hier nicht stattgefunden; vielmehr entsteht eher der Eindruck, dass nach Jahren erst die volle Wirkung des Lärms zum Tragen kommt; der Anpassungsmechanismus scheint zusammengebrochen zu sein.

Die besondere Anfälligkeit von Leseleistungen für negative Lärmwirkungen ist möglicherweise durch zugrundeliegende Störungen der Sprachwahrnehmung bedingt. In der eben genannte Studie von Cohen et al. [1973] sowie in einer Untersuchung von Evans & Maxwell [1997] zeigten die lärmbelasteten Kinder schlechtere Leistungen beim Verstehen von Wörtern im Störgeräusch und beim Unterscheiden ähnlich klingender Laute. Derartige Sprachwahrnehmungsdefizite erschweren den Aufbau distinkter Lautrepräsentationen im Langzeitgedächtnis, sie werden als wesentliche Ursache von Lese-/Rechtschreibstörungen angesehen [Schulte-Körne 2001].

Die hier berichteten Befunde wurden an Extremgruppen verkehrslärmbelasteter Kinder gewonnen. Sie sind daher nicht repräsentativ. Über die Auswirkungen des „normalen“ Alltagslärms auf die kognitive Entwicklung gibt es kaum gesicherte Erkenntnisse. Laborexperimentelle Befunde zeigen jedoch, dass akuter Lärm sich auf die Leistungen von Kindern sehr viel stärker auswirkt als bei Erwachsenen. Kinder sind wesentlich schlechter in der Lage, sprachliche und nichtsprachliche Signale zu erkennen, wenn Störgeräusche vorhanden sind.

Diese Beeinträchtigung durch Störgeräusche ist bei Kindern mit Lernbehinderungen und Aufmerksamkeitsstörungen noch stärker ausgeprägt. Lärm führt daher bei Kindern zu besonders massiven Einschränkungen des Hörverstehens und des kommunikativen Austauschs. Dieser ist jedoch für die kognitive Entwicklung, nicht nur im Hinblick auf den Spracherwerb, von maßgeblicher Bedeutung. Man kann davon ausgehen, dass Lärm sowohl in frühen als auch in den späteren sensiblen Phasen des Spracherwerbs die Ausbildung wichtiger auditiv-phonologischer sowie propriozeptiv-taktiler Rückkopplungsschleifen verzögern kann. Dass Lärm die Entwicklung des auditorischen Kortex retardieren kann, wurde unlängst in Tierexperimenten aufgezeigt.

Auch die Beeinträchtigung des phonologischen Kurzzeitgedächtnisses durch Lärm (vgl. „Irrelevant Sound Effect“) ist bei Kindern um ein Vielfaches größer als bei Erwachsenen.

Nach derzeitigem Forschungsstand ist das phonologische Kurzzeitgedächtnis für den Laut- und Schriftspracherwerb von maßgeblicher Bedeutung. Es ist daher anzunehmen, dass andauernde Lärmbelastung auch bei moderaten Pegeln zu einer Störung des phonologischen Kurzzeitgedächtnisses und hierüber zu Beeinträchtigungen der laut- und schriftsprachlichen Entwicklung führt. Diesbezügliche Untersuchungen liegen jedoch bislang nicht vor.

Die Entwicklung der Sprachkompetenz kann in entscheidender Weise durch schlechte Raumakustik in Schulen und Kindertagesstätten beeinträchtigt werden. Diese Einrichtungen zeichnen sich oft durch ungewöhnlich hohe Hintergrund-Geräuschpegel und lange Nachhallzeiten aus. Dies wirkt sich nachteilig auf die Sprachverständlichkeit und auf die Leistungsfähigkeit der Kinder aus.

In einer Untersuchung zur Lebenssituation von Kindern im Gesundheitsbericht Rhein-Neckar-Kreis/Heidelberg konnten Haffner et al. [2001] zeigen, dass auch Lärm überhaupt als nachteiliger Entwicklungsfaktor wirksam ist. Tatsächlich vermuten einige Autoren, dass chronischer Lärm zu Störungen von Aufmerksamkeitsfunktionen führen kann. Ihrer Ansicht zufolge entwickeln lärmbelastete Kinder eine generelle Unachtsamkeit gegenüber akustischen Reizen, auch der Lautsprache. Störungen der laut- und schriftsprachlichen Entwicklung sowie die häufig beklagte Unfähigkeit, konzentriert zuzuhören, könnten die Folge sein.

Fazit

Die Erforschung der Einflüsse von Lärm auf die kognitive Entwicklung hat erst vor kurzem begonnen. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass bei stärkerem Lärm im Unterricht und in häuslichen Lernsituationen mit Beeinträchtigungen der Sprache, des Gedächtnisses und der Aufmerksamkeit zu rechnen ist.

Literatur

- Cohen, S., Glass, D. C. & Singer, J. D. (1973). Apartment noise, auditory discrimination and reading ability in children. *Journal of Experimental and Social Psychology* 9, 407-422
- Evans, G. W., Maxwell, L. (1997). Chronic noise exposure and reading deficits: The mediating effects of language acquisition. *Environment and Behavior* 29 (5), 638-656

Haffner, J., Parzer, P., Raue, B., Steen, R., Münch, H., Giovannini, S., Esther, C., Klett, M., Resch, F. (2001). Lebenssituation und Verhalten von Kindern im zeitlichen Wandel. Gesundheitsbericht Rhein-Neckar-Kreis / Heidelberg, Band 2

Schulte-Körne, G. (2001). Lese-/Rechtschreibstörung und Sprachwahrnehmung. München, Waxmann.

Weiterführende Literatur

Baddeley, A. D., Gathercole, S. E., Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review* 105 (1), 158-173

Berndt, J., Schönwälder, H. G., Ströver, F., Tiesler, G. (2003). Belastung und Beanspruchung von Lehrerinnen und Lehrern. In: Schick, A., Klatt, M., Meis, M. & Nocke, C. (Hrsg.). Beiträge zur Psychologischen Akustik. Ergebnisse des Neunten Oldenburger Symposiums zur Psychologischen Akustik. Hören in Schulen, 289-314, Oldenburg, BIS

Bistrup, M. L., Hygge, S., Keiding, L., Passchier-Vermeer, W. (2001). Health effects of noise on children and perception of the risk of noise. Copenhagen: National Institute of Public Health.

Bradlow, A., Kraus, N., Hayes, E. (2003). Speaking clearly for children with learning disabilities. Sentence perception in noise. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 46, 80-97

Chang, E. F., Merzenich, M. M. (2003). Environmental noise retards auditory cortical development. *Science* 300 (5618), 498-502

Elliott, E. M. (2002). The irrelevant speech effect and children: Theoretical implications of developmental change. *Memory & Cognition* 30 (3), 478-487

Evans, G., Hygge, S., Bullinger, M. (1995). Chronic noise and psychological stress. *Psychological Science* 6, 333-338

Evans, G., Lepore, S. J. (1993). Non-auditory effects of noise on children. *Children's Environment* 10, 31-51

Geffner, D., Lucker, J. R., Koch, W. (1996). Evaluation of auditory discrimination in children with ADD and without ADD. *Child Psychiatry and Human Development* 26 (3), 169-179

- Grimm, H. (2001). SETK 3-5. Sprachentwicklungstest für drei- bis fünfjährige Kinder. Manual. Göttingen: Hogrefe
- Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Job, R. F., Berglund, B., Head, J. (2001). Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychological Medicine* 31, 265-277
- Hasselhorn, M., Tiffin-Richards, M. C., Woerner, W., Banaschewski, T., Rothenberger, A. (2000). Spielt der phonologische Speicher des Arbeitsgedächtnisses eine bedeutsame Rolle für die Differentialdiagnose von Lese-/Rechtschreibschwierigkeiten? In: Hasselhorn, M. (Hrsg.). *Diagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten* Göttingen, Hogrefe
- Hygge, S., Evans, G., Bullinger, M. (2002). A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in school children. *Psychological Science* 13 (5), 469-474
- Johnson, C. E. (2000). Children's phoneme identification in reverberation and noise. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 43, 144-157
- Klatte, M., Janott, C. (2002). Zum Einfluss der Sprachverständlichkeit auf kognitive Leistungen. In: Huber, L., Kahlert, J., Klatte, M. (Hrsg.). *Die akustisch gestaltete Schule. Auf der Suche nach dem guten Ton.* Göttingen
- Klatte, M., Meis, M., Nocke, C., Schick, A. (2003). Können Sie denn nicht zuhören?! Akustische Bedingungen in Schulen und ihre Auswirkungen auf Lernende und Lehrende. In: Schick, A., Klatte, M., Meis, M., Nocke, C. (Hrsg.). *Beiträge zur Psychologischen Akustik. Ergebnisse des Neunten Oldenburger Symposiums zur Psychologischen Akustik. Hören in Schulen*, 233-252, Oldenburg, BIS
- MacKenzie, D. J., Airey, S. (1999). Classroom acoustics. A research project. Summary report. Edinburgh: Heriot-Watts University, Department of Building Engineering and Surveying
- Meis, M., Hygge, S., Evans, G. W., Lercher, P., Bullinger, M., Schick, A. (2000). The effects of chronic and acute transportation noise on task performance of school children. In: Cassereau, D. (Ed.). *Internoise 2000. 29th International Congress on Noise Control Engineering.* Nice, France, 27-30 August, 2000. Vol. 1, 347-352

- Oh, E. L., Wightman, F., Lutfi, R. A. (2001). Children's detection of pure-tone signals with random multitone maskers. *Journal of the Acoustical Society of America* 109 (6), 2888-2895
- Picard, M., Bradley, J. S. (2001). Revisiting speech interference in classrooms. *Audiology* 40, 221-244
- Spreng, M. (2002). Die Wirkung von Lärm auf die Sprachentwicklung des Kindes. In: Huber, L., Kahlert, J., Klatt, M. (Hrsg.). *Die akustisch gestaltete Schule. Auf der Suche nach dem guten Ton*, 64-77, Göttingen

Kapitel 12 Soziale und ökonomische Auswirkungen

Rainer Guski und Wolfgang Schönflug

In den Achtzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts war die sozialwissenschaftliche Literatur zu sozialen Auswirkungen des Lärms gekennzeichnet durch Berichte über das Nachlassen prosozialen Verhaltens auf den Bürgersteigen verkehrsreicher Straßen [vgl. Jones et al. 1981, Cohen & Scapacan 1984, Moser 1987, 1994]. Aus diesen experimentellen Untersuchungen haben Fluglärm-Betroffene die Befürchtung abgeleitet, Lärm würde generell „aggressiv machen“ und gravierende Auswirkungen auf die soziale Entwicklung von Jugendlichen haben - so im Mediationsverfahren zum Flughafen Frankfurt. Diese Befürchtungen haben sich nicht bestätigt [vgl. Bullinger et al. 2003].

Die Forschung ist inzwischen andere Wege gegangen. Zunächst hat sie sich der Frage gewidmet, ob die Beeinträchtigung durch Lärm mit der sozioökonomischen Stellung in Zusammenhang steht. Dafür gibt es deutliche Hinweise. Psychiatrische Symptome finden sich in Wohngebieten am Rande von Flughäfen vornehmlich bei Personen aus ärmeren Schichten [Kryter 1990]. Personen aus der Mittelschicht geben erhöhte Urteile über ihre Beeinträchtigung durch Lärm ab [Swart 2003]. Diese Befunde legen die Umkehrung der Fragestellung nahe: Hat die dauerhafte Lärmexposition eine Verschlechterung der sozialen Stellung zur Folge? Diese Frage ist vor allem so spezifiziert worden: Folgt eine soziale Segregation, wenn Wohn-Immobilien durch Lärm entwertet werden?

Das Problem der sozialen Schlechterstellung durch vermehrte Umweltbelastung stellt sich nicht nur für Lärm, sondern auch für andere als negativ bewertete Umweltfaktoren (z.B. Deponien, Luftverschmutzung); es wird unter den Begriffen „environmental justice“ oder „environmental fairness“ diskutiert [vgl. z.B. Evans & Kantrowitz 2002, Waller et al. 1999]. Hier wird regelmäßig festgestellt, dass die Vorteile und die Nachteile einer bestimmten Umwelt-Gegebenheit (z.B. Autobahn oder Flugplatz) über verschiedene soziale Schichten der Bevölkerung ungleich verteilt sind. In der Regel haben nicht diejenigen Bevölkerungsteile die meisten Vorteile von einem Umweltfaktor, die auch die meisten Nachteile davon haben. In dieser Situation ergibt sich z.B. die sozialpolitische Frage, ob und wie diejenigen Personen, die sich Ruhe finanziell nicht leisten können, für ihr Verbleiben in lauten Wohngebieten entschädigt werden können [vgl. Knetsch 1994].

Sowohl für Straßenverkehrslärm als auch Fluglärm gibt es seit den Sechzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts Versuche, den Wertverlust von Wohnhäusern in Relation zum energieäquivalenten Dauerschallpegel zu setzen. Beispiele für Übersichtsartikel bieten z.B. Lambert et al. [1998], Vainio [2001] und Navrud [2002]. Die Autoren betonen dabei, dass es für dieses Vorhaben sehr unterschiedliche Ansätze gibt, darunter „Hedonic Pricing“ (HP) und „Contingent Valuation“ (CV). Beide Methoden beruhen auf dem Konzept der „Willingness To Pay“ (WTP), der Frage, wie viel Geld Einzelpersonen oder Kommunen auszugeben bereit sind, um die Belästigung durch Verkehrslärm zu verringern. Die erste Methode beobachtet vor allem den Zusammenhang zwischen der akustischen Belastung und realen Immobilienpreisen; die zweite Methode befragt Betroffene, wie viel Geld sie in bestimmten hypothetischen Szenarien für weniger Lärm bzw. weniger Belästigung ausgeben würden.

Das „Hedonic Pricing“ wird heute bevorzugt, weil diese Methode nicht die Vorstellungskraft von Untersuchungspersonen hinsichtlich der Frage strapaziert, wie viel Geld sie für ein nur abstrakt beschriebenes Haus unter der abstrakt beschriebenen Bedingung von z.B. 50 % weniger Belästigung ausgeben würden (wie bei der Contingent Valuation), sondern reale Preise miteinander vergleicht. Sie hat allerdings den Nachteil, dass im Extremfall Luxus-Villen mit spartanischen Laubhütten verglichen werden, und schon der Bericht der Roskill-Commission [1970] hat gezeigt, dass Fluglärm teure Häuser stärker entwertet als billige. Nach der Übersicht von Navrud [2002] über 29 HP-Untersuchungen zum Fluglärm (zwischen 1960 und 1996) ergibt sich ein Mittelwert von 0,87 % pro dB (L_{DN}), wobei die beiden europäischen Untersuchungsergebnisse 1,51 und 2,30 % betragen. (Leider finden sich in der neuen Untersuchung des Schweizer Bundesamtes für Raumentwicklung [2001] keine Angaben zu Fluglärm). Die von Navrud [2002] angegebene Mittelwerte bedeuten z.B., dass ein Haus, das in einem Gebiet mit 55 dB(A) L_{DN} Fluglärmbelastung liegt und 200.000 € kostet, bei 65 dB(A) durchschnittlich nur noch 182.600 € Wert ist - in Europa wären es nur etwa 162.000 €. Der Mittelwert der HP-Untersuchungen zum Straßenlärm liegt nach Navrud [2002] etwas niedriger (bei 0,71 % pro dB L_{eq} oder L_{dn}).

Auch wenn der Preis für ein Haus im realen Immobilienmarkt von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst wird und Lärm dabei selten die wichtigste Rolle spielt, ist doch deutlich, dass die Personen, die finanziell in der Lage sind, sich Wohneigentum zu kaufen, für weniger Fluglärm auch mehr Geld ausgeben, während weniger begüterte Personen mit mehr Fluglärm leben müssen. Wenn wir bedenken, dass die meisten Immobilienbesitzer ihr Haus auf Kredit kaufen und bis zu 15 Jahren abzahlen, dann wird verständlich, warum sich gerade dieser

Personenkreis gegen Pläne zur Erweiterung von Flugplätzen bzw. die Erhöhung der Fluglärmbelastung wehrt: Die Furcht vor einem deutlichen Wertverlust ist realistisch und stellt eine dauerhafte Verminderung der Wohn- und Lebensqualität der Betroffenen dar.

Fazit

Es gibt deutliche Hinweise darauf, dass die Beeinträchtigung durch Lärm mit der sozio-ökonomischen Stellung der Betroffenen in Zusammenhang steht. Beispielsweise finden sich psychiatrische Symptome am Rande von Flughäfen vornehmlich bei Personen aus ärmeren Schichten, und Personen aus der Mittelschicht geben erhöhte Urteile über ihre Beeinträchtigung durch Lärm ab. Begleitet werden diese Zusammenhänge durch die reale oder befürchtete Entwertung von Immobilien in der Nähe von Flugplätzen. Nach einer neueren Übersicht über 29 Untersuchungen mit der Methode des Hedonic Pricing zum Fluglärm ergibt sich ein Mittelwert von 0,87 % pro dB (L_{DN}), wobei die beiden europäischen Untersuchungsergebnisse 1,51 und 2,30 betragen. Das bedeutet für Europa, dass ein Haus, das in einem Gebiet mit 55 dB(A) L_{DN} Fluglärmbelastung liegt und 200.000 € kostet, bei 65 dB(A) durchschnittlich nur noch 162.600 € Wert ist.

Literatur

- Bullinger, M., Von Mackensen, S., Eickmann, T., Herr, C., Seitz, H., Höger, R., Machunsky, M., Schmaus, I., Schreckenberger, D., Guski, R. (2003). Machbarkeitsstudie Fluglärm und Lebensqualität. Endbericht im Auftrag des Regionalen Dialogforums Frankfurt. Bochum, ZEUS GmbH
- Bundesamt für Raumentwicklung (Schweiz) (2001). Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern, Best. Nr. 812.011
- Cohen, S., Spacapan, S. (1984). The social psychology of noise. In: D. M. Jones & A. J. Chapman (Eds.): Noise and society, 221-245, Chichester: Wiley
- Evans, G. W., Kantrowitz, E. (2002). Socioeconomic status and health: The potential role of environmental risk exposure. Annual Review of Public Health, 23, 303-331
- Jones, D. M., Chapman, A. J., Auburn, T. C. (1981). Noise in the environment: a social perspective. Journal of Environmental Psychology 1, 43-59

- Knetsch, J. L. (1994). Environmental valuation: Some problems of wrong questions and misleading answers. *Environmental Values* 3, 351-368
- Kryter, K. D. (1990). Aircraft noise and social factors in psychiatric hospital admission rates: a re-examination of some data. *Psychological Medicine* 20, 395-411
- Lambert, J., Kail, J. M., Quinet, E. (1998). Transportation noise annoyance: An economic issue. *Proceedings of Noise-Effects 98: 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem Vol. 2*, 749-754
- Moser, G. (1987). Surcharge environnementale et conduite d'aide. *Psychologie Francaise* 32, 45-54
- Moser, G. (1994). Environmental stress and urban behaviour. *European Review of Applied Psychology – Revue, Europeenne de Psychologie Appliquee* 44, 149-154
- Navrud, S. (2002). The State-of-The-Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to the European Commission DG Environment. URL: <http://europa.eu.int/comm/environment/noise/020414noisereport.pdf> (5.6.2003)
- Roskill-Commission (1970). Commission on the third London airport. Papers and proceedings. London: Her Majesty's Stationary Office
- Swart, E. (2003). Gesundheitliche Auswirkungen von Lärmexpositionen: Welche Rolle spielen Indikatoren der sozialen Stellung? *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 50, 116-121
- Vainio, M. (2001). Comparison of hedonic price and contingent valuation methods in urban traffic noise context. *Proceedings of Internoise 2001*, Paper IN 01_545
- Waller, L. A., Louis, T. A., Carlin, B. P. (1999). Environmental justice and statistical summaries of differences in exposure distributions. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 9, 56-65

Frühere gutachterliche Stellungnahmen des Arbeitskreises

Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm (1982). Zeitschrift für Lärmbekämpfung 29, 13-16

Wirkungen von Lärm auf die Arbeitseffektivität (1983). Zeitschrift für Lärmbekämpfung 30, 1-3

Die Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm (1985). Zeitschrift für Lärmbekämpfung 32, 95-99

Belästigung durch Lärm: Psychische und körperliche Reaktionen (1990). Zeitschrift für Lärmbekämpfung 37, 1-6

Berücksichtigung des Informationsgehaltes von Schallen bei der Beurteilung von Lärm (1998). Zeitschrift für Lärmbekämpfung 45, 193-195