Umwelt Bundes Amt
für Mensch und Umwelt

Jens Ortscheid, Heidemarie Wende

Fluglärmwirkungen

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex. 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: http://www.umweltbundesamt.de
Bearbeitung: Fachgebiet II 2.5 Lärmwirkungen
Dr. Jens Ortscheid

Berlin, 2000

UMWELTBUNDESAMT

Fluglärmwirkungen

Jens Ortscheid
Heidemarie Wende

Inhalt

Zusammenfassung 5

Vorbemerkung 6

Qualitätsziele zur Vermeidung von Beeinträchtigungen und Belästigungen durch Fluglärm 8

Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch Fluglärm 8

Gesundheitsschäden: Gehörschädigungen 8

Gesundheitsschäden: Herz-Kreislaufsystem 9

Gesundheitsschäden: Nachtschlaf 11

- Physiologische Untersuchungen zu Schlafstörungen 11
- Sozialpsychologische Untersuchungen über Schlafstörungen durch Fluglärm 16

Extraaurale Gesundheitsschäden: Psychiatrisch relevante Störungen bei Kindern 19

Zusammenfassung: Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit 20

Beeinträchtigung und Belästigung durch Fluglärm 21

Kommunikationsstörungen 28

Maximalpegel vs. Mittelungspegel 28

Dimensionierung des baulichen Schallschutzes zum Schutz gegen Fluglärm 29

Zusammenfassende Bewertung von Fluglärmbelastungen: Qualitätsziele 31

- Tabellarische Darstellung der Belastungsbereiche, unterhalb derer spezifische Wirkungen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht auftreten 32

Bibliographie 33

Zusammenfassung

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

Die globalen Wirkungsbereiche
„**Belästigung**“
und
„**Beeinträchtigung der Gesundheit**“
stehen im Vordergrund bei der Entwicklung von Schutzzielen.

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

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

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

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

Vorbemerkung

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

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

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

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

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

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

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

[1] Dt. Bundestag Drucksache 13/11140, 36.6.1998

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

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

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

im Vordergrund stehen.

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

Qualitätsziele zur Vermeidung von Beeinträchtigungen und Belästigungen durch Fluglärm

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

Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit durch Fluglärm

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

- Risiken für Gehörschädigungen
- Risiken für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und anderer vegetativer Erkrankungen
- Beeinträchtigungen des Nachtschlafes
- Psychiatrisch relevante Störungen

Gesundheitsschäden: Gehörschädigungen

Die Untersuchungsergebnisse zu Auswirkungen hoher Fluglärmbelastung auf das menschliche Gehör sind heterogen. [2] In einer Reihe von Studien finden sich keine oder nicht signifikante Veränderungen des Hörvermögens, andere Studien zeigen Hörschwellenverschiebungen, die auf bleibende Schädigungen des Gehörs hindeuten könnten.
Analog den Ergebnissen der UBA - Tiefflugstudie (Spreng et al., 1988) wird folgendes Qualitätsziel vorgeschlagen:

2

Coles u. Knight, 1959	Untersuchungen (mil. Fluglärm; exp. Feld) an militär. Personal (Flugdeck); bei hoher Belastung (mehr Starts u. Landungen) ca. 5 dB Hörverlust. Keine Belastungsangaben. Nachuntersuchung von Knight u. Coles 1966 zeigt Gehörerholung des milit. Personals (N=22)
Wu et al. 1989	20 Vpn (mil. Fluglärm, Labor) wurden F 16 - Startgeräuschen (ground-runnig-up noise) ausgesetzt mit Pegeln von 117 - 128 dB(A). TTS2 (nach 2 Minuten) betrug max. 13 dB bei 4kHz. Gehörerholung in tieferen Frequenzbereichen erfolgte sehr schnell (weniger als 1h); im hohen Frequenzbereich nach 24 h noch nicht abgeschlossen
Nixon et al. 1993	30 Vpn (mil. Fluglärm, Labor) wurden Überflügen von 115 bis 130 dB(A) (Phase I), bzw. 8 Überflügen mit jeweils 90s Pause mit L_{Amax} = 130 dB, bzw bis TTS von 10 dB erreicht war, ausgesetzt.(Phase 2) Das linke Ohr trug Gehörschutz, rechte nicht. Ergebnisse: keine signifikanten Veränderungen
Ising et al. 1993	Epidemiologische cross-sectional Studie (mil. Fluglärm, Feld) . Gehörverluste bei 6 - 7 - Jährigen. Signifikante Unterschiede zwischen unterschiedlich belasteten Gebieten.
Ising 1998, 1999	116 Vpn, TTs durch Fluglärm erreicht Maximum 15-60 min. nach Expositionsende. Schnell ansteigender Fluglärm wirksamer als langsam ansteigender. 15% der Ohren haben TTS > 10 dB bei 6-13 kHz nach Belastung mit L_{Amax} = 124 dB(A) und einer effektiven Dauer von 0,5 sec.
Andrus et al. 1975	Untersuchten 3000 Schulkinder(ziv. Fluglärm,Feld) aus der Umgebung des Logan Airport in Boston (USA) Lärmbelastung über Entfernung zum Flughafen abgeschätzt, ohne andere Lärmquellen zu berücksichtigen. 158 Schulkinder wiesen Gehörverluste (>25 dB bei zwei Frequenzen bei einem Ohr, bzw. >35 bei 1 Frequenz des anderen Ohres) auf. Kein signifikanter Unterschied zwischen hoch und geringer Belasteten.
Fisch 1981	Keine Unterschiede bei Hörschwelle von 100 Kindern (ziv. Fluglärm,Feld), die im Umkreis von 1 Meile um den Heathrow Airport wohnen zu 100 Kindern, die in ruhiger Umgebung leben. Autoren halten Stichprobe für zu klein.
Green et al. 1982	Untersuchten Hörverluste bei Kindern (ziv. Fluglärm, Feld). Vergleich von 200 Kindern mit dauerhaftem beidohrigem Hörverlust im Hochfrequenzbereich (>25 dB) mit 208 Kontrollkindern. Fluglärmbelastung wurde über Anschrift (Fluglärmbereich) abgeschätzt. Es fand sich positiver, aber nicht sign. Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Hörverlust. Konfundierende Effekte bezüglich genetischer Faktoren zur Hörschädigung konnten nicht ausgeschlossen werden.
Ward et al. 1976	Setzte Vpn (ziv. Fluglärm, Labor) 6 Stunden lang Start- und Landegeräuschen (1 Start pro 1.5 oder 3 Minuten) aus Peak Level= 111 dB(A) Durchschnitt der TTS2 (nach 2 Minuten) lag unter 5 dB, aber einige Vpn, die die Starts alle 1.5 Minute eingespielt bekamen, wiesen eine TTS2 (nach 2 Minuten) von mehr als 10 dB auf.

- Für einzelne, seltene Überflüge sind keine akuten Schädigungen des Gehörs zu erwarten, wenn der Maximalpegel 115 dB(A) (am Ohr) nicht übersteigt und die Anstiegssteilheit des Pegels unter 60 dB(A) pro s liegt.
- Treten Überflüge mit hoher Anstiegssteilheit in dichter Folge oder großer Häufigkeit auf, sollten die Maximalpegel (am Ohr) höchstens 105 dB(A) betragen.
- Bei anhaltender Lärmbelastung sind (analog ISO 1999) bleibende Minderungen der Hörfähigkeit nicht zu erwarten, wenn die auf eine Beurteilungszeit von 24 h bezogenen Mittelungspegel am Ohr der Betroffenen unter 70 dB(A) liegen.

Gesundheitsschäden: Herz-Kreislaufsystem

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

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

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

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

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

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

---

[3]

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

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

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

Gesundheitsschäden: Nachtschlaf

Physiologische Untersuchungen zu Schlafstörungen

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

Geräuscheinwirkungen während des Schlafes können sich direkt auswirken als

- Änderungen der Schlaftiefe mit und ohne Aufwachen
- Erschwerung und Verzögerung des Einschlafens und Wiedereinschlafens
- Verkürzung der Gesamtschlafzeit, der Tiefschlafzeit oder der Traumschlafzeit
- vegetative Reaktionen (z. B. Herzfrequenz, Blutdruck, Fingerpulsamplitude)
- biochemische Reaktionen
- Körperbewegungen

---

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

[6]

- Die durchschnittliche nächtliche Schlafdauer hat nach Erkenntnissen der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) in den vergangenen 20 Jahren um 30 Minuten abgenommen.
- Fast jeder zweite klagt darüber, dass sein Schlaf zuwenig erholsam sei.
- Fast doppelt so viele Frauen wie Männer ab 40 Jahren klagen über schlechten Schlaf.
- Jeder dritte fühlt sich tagsüber hundemüde und würde nachts gern länger schlafen.
- Jeder vierte hat abends Schwierigkeiten beim Einschlafen und wacht öfter wieder auf.
- Jeder Zehnte leidet extrem unter Schlafstörungen. Knapp die Hälfte aller schwer Schlafgestörten konsultiert einen Arzt.
- Die Kosten der Schlafstörungen - verursacht durch Unfälle in Folge von Übermüdung - werden auf 20 Milliarden Mark im Jahr geschätzt.
- 320 Millionen Mark zahlen die Krankenkassen jährlich für Schlaftabletten. Betroffene geben rund 400 Millionen Mark dafür aus - eine Steigerung um 100 Prozent seit 1988. Mehr als zwei Millionen Deutsche nehmen mittlerweile jeden Abend künstliche Einschlafhelfer. 45 Prozent der Patienten geben an, die Medikamente würden nichts mehr nützen - und schlucken trotzdem weiter.

oder indirekt als

- Minderung der subjektiven Schlafqualität
- Beeinträchtigung der Arbeitseffektivität am nächsten Tag.

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

- Schlafstufe bei Geräuscheinwirkung
- Alter und Geschlecht
- physischer und psychischer Zustand (Müdigkeit, Gesamtbelastung, Gesundheit)
- Informationsgehalt des Geräusches (Quellenart, Gewöhnung).

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

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

- Bei den einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen der Lärmwirkungsforschung (physiologische Schlafforschung oder psychologische Schlafforschung) bestehen unterschiedliche Vorstellungen darüber, welche Lärmfolgen bedeutsam und welche Untersuchungen daher aussagekräftig sind.
- Es ist schwierig, die Veränderungen im Schlafablauf, die ursächlich auf den Lärm zurückzuführen sind, aus der Vielzahl der Befunde herauszuarbeiten.

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

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

- an der EEG-Antwort; hier wäre beispielsweise Griefahn zu nennen
- an der Ausschüttung von Stresshormonen; etwa Maschke
- oder am nächtlichen Motilitätsverhalten; wie z.B. Ollerhead

erfasst und bewertet werden.

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

- Primärreaktionen, i.e. Änderungen des natürlichen Schlafablaufs (z. B. Verzögerung des Einschlafens, Schlaftiefenänderungen, Herz-Kreislauf-Reaktionen, Körperbewegungen)
- Sekundärreaktionen, i.e. subjektive Bewertung der Schlafqualität, Änderungen der subjektiven Befindlichkeit und des Leistungsverhaltens am nächsten Tag, die nach Beendigung der Exposition wieder verschwinden
- Tertiärreaktionen in Form gesundheitlicher Beeinträchtigungen, die sich nach Ende der Exposition nicht mehr oder nur langsam zurückbilden.

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

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

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

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

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

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

[8] Im Gerichtsverfahren zum Planfeststellungsverfahren für den Flughafen München II wurde unter Hinweis auf die Argumentation von Griefahn die Entscheidung der Planfeststellungsbehörde, die Maximalpegel im Innenraum auf 55dB(A) - unter Sicherstellung einer ausreichenden Lüftung - zu begrenzen, nicht beanstandet. Ähnliche, z.T. etwas schärfere Anforderungen finden sich im Urteil des OVG Rheinland-Pfalz (7C11843/93.OVG, 1.7.1997)

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

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

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

Maschke interpretiert diese Effekte mit Hinweis auf die Existenz dreier unterschiedlicher Adaptationsmuster. Die Ergebnisse der Feldstudie deuten seiner Ansicht nach Adaptationsprozesse an, die sowohl mit einem langfristigen Anstieg, aber auch mit einem Abfall der Cortisolausscheidung verbunden sein können. Die steigende Cortisolausscheidung mit Überschreitung des medizinischen Normbereiches und das Reaktionsmuster mit fallendem Cortisolspiegel wird von Maschke als „Schutzhemmung“ interpretiert. Beide Adaptationsformen stellen nach Maschke eine Gefährdung der Gesundheit dar und betreffen schätzungsweise 2/3 der 16 Probanden. [9]
Maschke fasst seine Untersuchungsergebnisse zu folgendem Qualitätsziel zusammen: Die Untersuchungen zeigen, dass aus präventivmedizinischer Sicht eine Begrenzung der nächtlichen Maximalpegel am Ohr des Schlafenden auf unter 55 dB(A) zu fordern ist. Zusätzlich sollte bei Fluglärm ein nächtlicher Mittelungspegel von 32 dB(A) (innen) nicht überschritten werden.

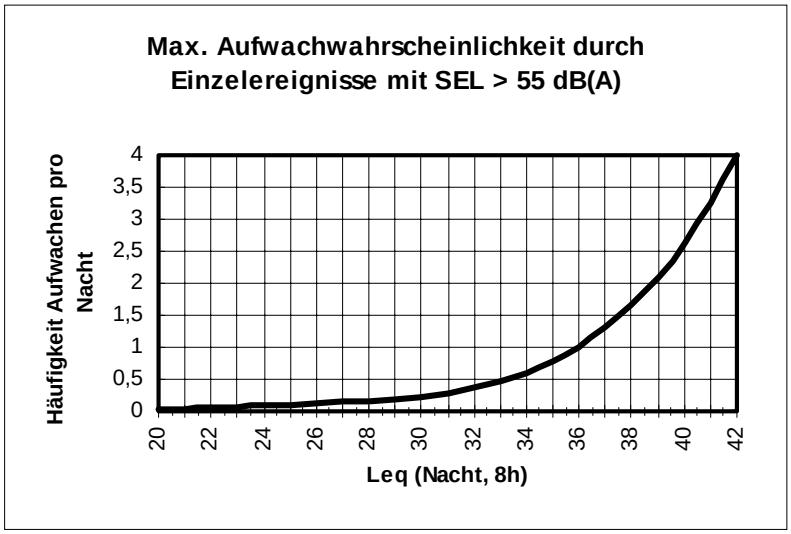
In einer in England durchgeführten Feldstudie (Ollerhead 1992), bei der als neue Untersuchungsmethode zur Feststellung von Schlaftiefenänderungen (einschließlich Aufwachreaktionen) kleine Bewegungsmessgeräte an den Handgelenken eingesetzt wurden, hat sich gezeigt, dass die mit dieser Methode ermittelten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

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

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

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

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



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

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

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

[10] Für Belastungen oberhalb Leq(Nacht) von 40 dB(A) sollte diese Kurve allerdings nicht herangezogen werden.

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

Sozialpsychologische Untersuchungen über Schlafstörungen durch Fluglärm

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

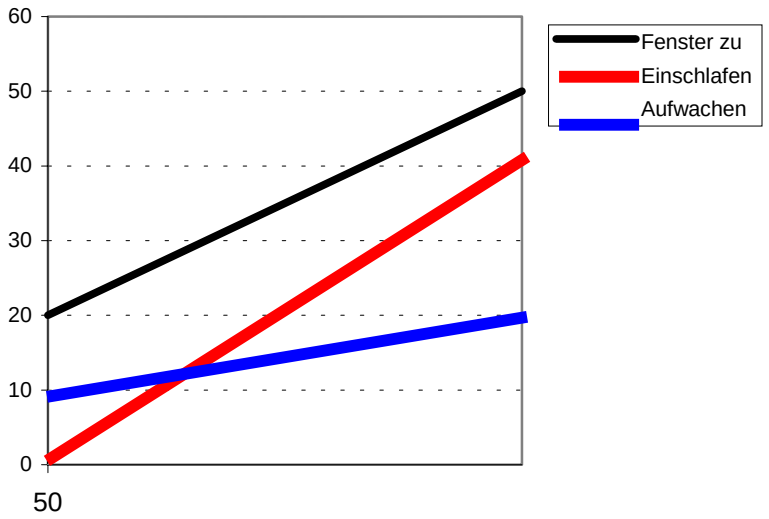
Eine umfassende Studie über Schlafstörungen durch Fluglärm wurde Ende der 70er Jahre in der Umgebung der Londoner Flugplätze Heathrow und Gatwick durchgeführt (DORA 1980). Sie umfasst mehr als 3000 schriftliche Interviews in 22 Gebieten mit unterschiedlich starker Fluglärmbelastung. Die objektiven Belastungsdaten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

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

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

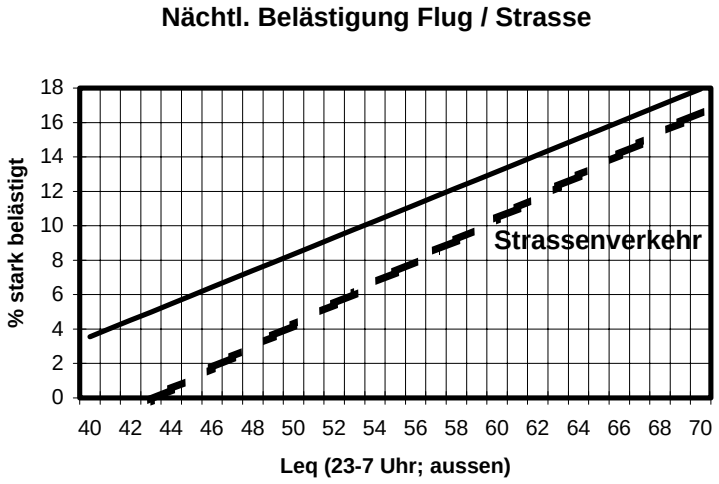
- Der Anteil der Befragten, die das Fenster nachts geschlossen hielten, stieg mit dem Mittelungspegel an, von ca. 20% bei 50 dB(A) außen auf 50% bei 70 dB(A) außen.
- 60 bis 70% der Befragten hatten aus verschiedensten Gründen in den zurückliegenden Monaten nahezu unabhängig von der Fluglärmsituation Einschlaf-

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



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

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



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

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

der DIN 18005 Teil 1 (Beiblatt) für eine angemessene Berücksichtigung des Schallschutzes für Gebiete mit Wohnnutzungen in der städtebaulichen Planung. [11]

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

Bezüglich der Störungen des Nachtschlafes lässt sich folgendes festhalten:

- Einzelereignisse oberhalb 50 dB(A) (L_{max}, innen) führen zu Veränderungen des Schlafablaufes bzw. zum Aufwachen.
- Bei Dauerschallpegeln (L_{eq} < 30 dB(A), innen) dürfte ein weitgehend ungestörter Nachtschlaf noch möglich sein.
- Bei Dauerschallpegeln (L_{eq} > 50 dB(A), außen) ist mit zunehmenden Belästigungserleben der Betroffenen zu rechnen.

[11] In dem Entwurf vom 21. 6. 1999 zur Lärmschutzverordnung der Schweiz werden in Art. 39 (Grundsätze) weitgehende Nachtflugbeschränkungen vorgesehen.

Extraaurale Gesundheitsschäden: Psychiatrisch relevante Störungen bei Kindern

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

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

12

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

Zusammenfassung: Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit

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

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

Beeinträchtigung und Belästigung durch Fluglärm

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

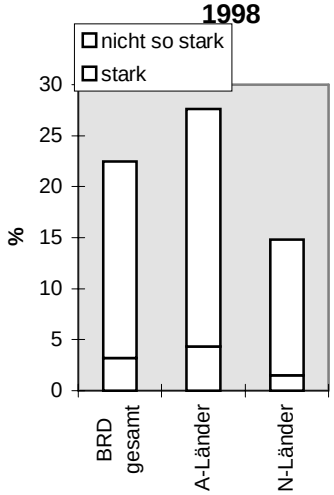
Belästigung durch Lärm ist der wichtigste Indikator für die Entscheidung, welche Geräuschbelastungen als erheblich oder unzumutbar angesehen werden müssen. Der Belästigung durch Lärm kommt deshalb im Rahmen des BImSchG eine Schlüsselrolle zu, da mit ihr sowohl Schutzkriterien als auch Vorsorgekriterien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

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

Fluglärm hat große Bedeutung als Ursache für Belästigungen. Repräsentativen Befragungen zufolge ist der Flugverkehr in Deutschland nach dem Straßenverkehr die Hauptursache für Belästigungen. Stark belästigt durch Flugverkehr wurden 1998 3,2% der Bevölkerung. Nicht so stark belästigt wurden 19,3% . Die Einwohner der alten Bundesländer litten dabei häufiger unter Fluglärm als die Bewohner der neuen Bundesländer, wie die Abbildung zeigt.

Im Jahr 2000 wurde die Belästigung der Bevölkerung durch Fluglärm unter Verwendung einer international abgestimmten Frage [13] erhoben.

Belästigung durch Luftverkehr 1998



Umweltbundesamt,FG II 2.5; 2000

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

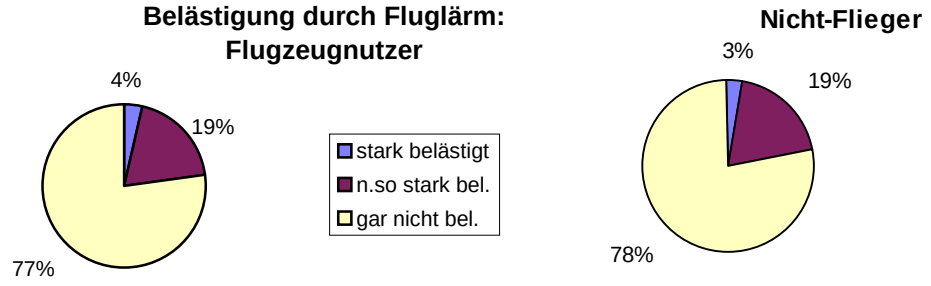
Hierbei ergab sich:

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

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

Belästigung durch Fluglärm	Anteil belästigter Einwohner in %
Bundesland	**Befragungsjahr: 1998**
Bremen	7,7
Sachsen	8,5
Brandenburg	11,4
Saarland	14,3
Sachsen-Anhalt	14,5
Schleswig-Holstein	15,2
Thüringen	16,4
Mecklenburg-Vorpommern	18,2
Baden-Württemberg	18,8
Nordrhein-Westfalen	25,1
Niedersachsen	26,4
Bayern	28,7
Hessen	33,6
Berlin	38,5
Hamburg	41,2
Rheinland-Pfalz	44,0
Umweltbundesamt,FG II 2.5; 2000	

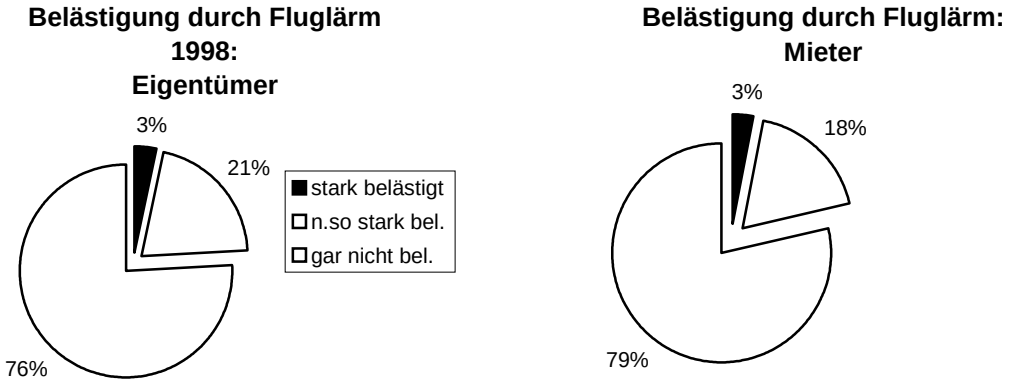
Belästigungsurteile bilden sich im allgemeinen aus längerfristigen Erfahrungen in und mit der Belastungssituation aus. Sie variieren individuell stark (z. B. aufgrund von Persönlichkeitsmerkmalen oder Einstellungen) und werden von situationsspezifischen Einflüssen (z. B. Tätigkeiten, gesamte Alltagssituation,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



Umweltbundesamt,FG II 2.5; 2000; Datenbasis 1998

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

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



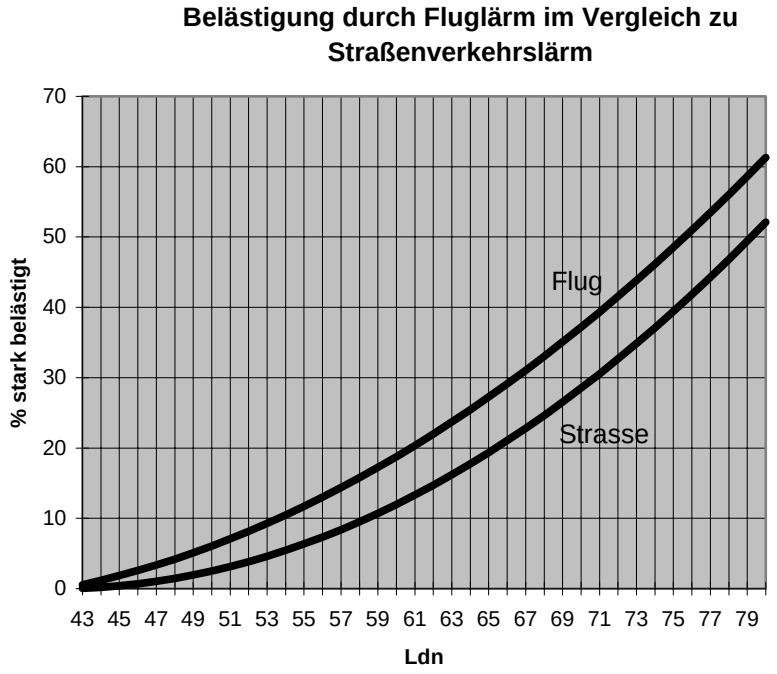
Umweltbundesamt,FG II 2.5; 2000; Datenbasis 1998

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

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

[14] Verkehrslärmschutzverordnung, 16. BImSchV, Sportanlagenlärmschutzverordnung, 18. BImSchV, Technische Anleitung Lärm - TALärm, Allgemeine Verwaltungsvorschrift Baulärm, DIN 18005 Teil 1 "Schallschutz im Städtebau“

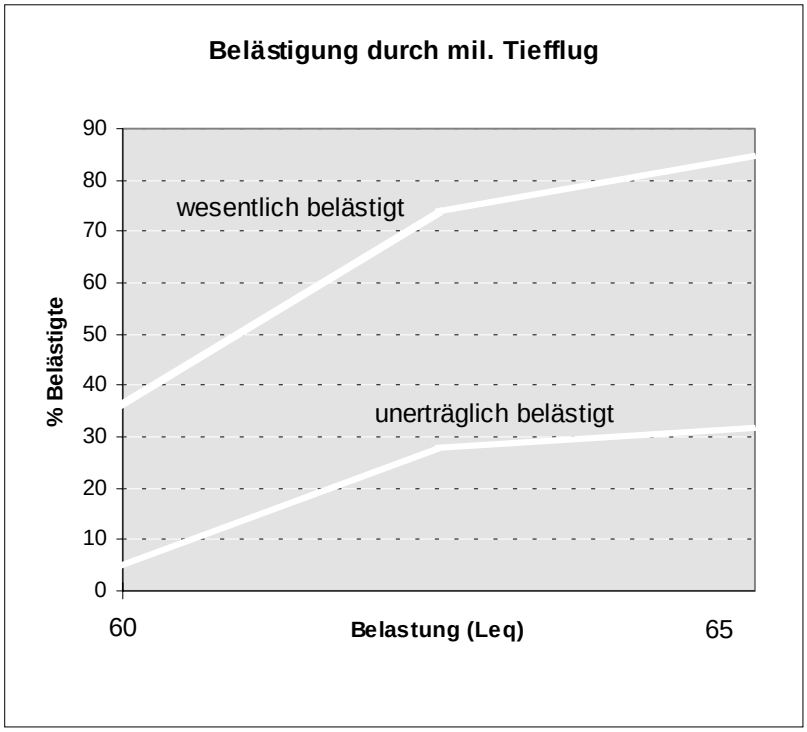
Das niederländische Health Council (1994) hat Daten veröffentlicht, nach denen der Fluglärm im Vergleich zum Straßenverkehrslärm mit einem Malus von rund 5 dB zu beaufschlagen wäre.



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

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

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



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

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

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

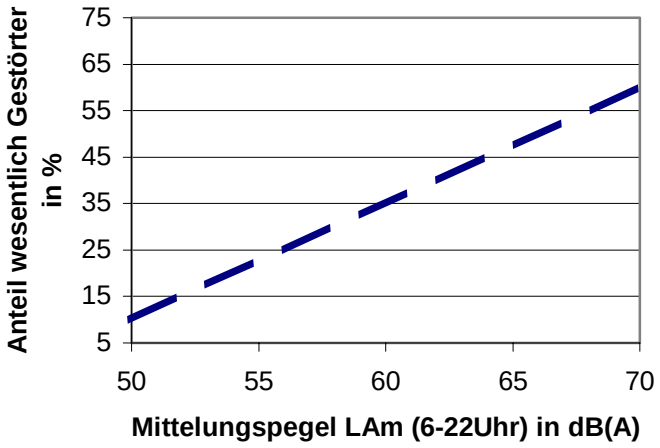
[15] Eine zusätzliche Berücksichtigung der flugfreien Wochenenden oder des früheren Betriebsschlusses im Beurteilungsverfahren verbietet sich deshalb. Wenn statt des L_{eq} tags (16h) eine Beurteilungsgröße, die 24 Stunden umfasst, die 4 Abendstunden mit einem Zuschlag von 5 dB und 8 Nachtstunden mit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

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

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

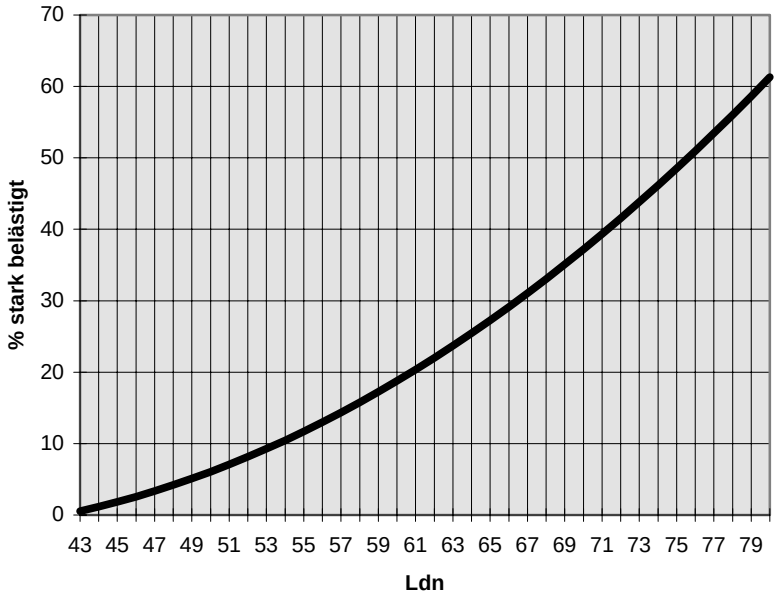
In der Richtlinie VDI 3722 Blatt 1 "Wirkungen von Verkehrsgeräuschen" sind Dosis-Wirkungskurven für verschiedene Verkehrsgeräusche angegeben, die einen Zusammenhang zwischen den an der Wohnung gemessenen Mittelungspegeln und dem Prozentsatz der Betroffenen beschreiben, die sich in dieser Belastungssituation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

Zusammenhang zwischen dem Prozentsatz
der durch Fluglärm tags wesentlich Gestörten
und dem Mittelungspegel LAm
(6-22Uhr, außen; nach VDI 3722)



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

Belästigung durch Fluglärm



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

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

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

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

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

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

Kommunikationsstörungen

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

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

Maximalpegel vs. Mittelungspegel

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

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

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

Dimensionierung des baulichen Schallschutzes zum Schutz gegen Fluglärm

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

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

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

---

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

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

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

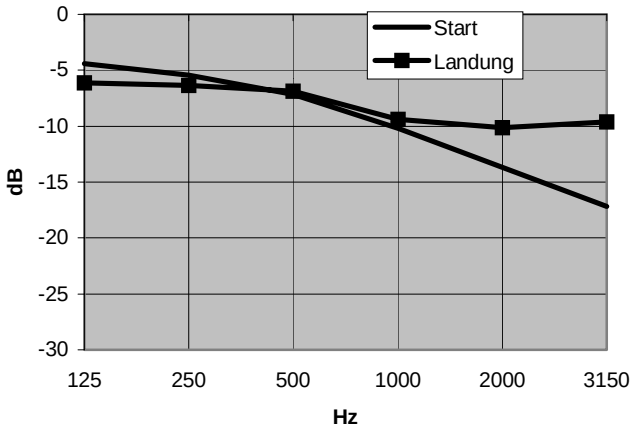
Belästigung	N	%
ja, belästigt	194	77,6
nein, nicht belästigt	52	20,8
k. A.	4	1,6

Kommunikation - definiert nach dem Artikulationsindex von Kryter in Höhe von AI = 0.5, was einer Einsilberverständlichkeit von 75% entspricht - gewährleistet ist.

Bezogen auf dieses Kriterium ergab sich:

- Bei den Landungen darf der Überflugpegel innen 42,6 dB(A) im Mittel - die Standardabweichung betrug 1,2 - nicht überschreiten, um eine ungestörte Kommunikation zu ermöglichen.
- Bei den Starts kann der Überflugpegel innen 2 dB höher liegen; erst oberhalb von im Mittel 44,6 dB(A) - bei einer Standardabweichung von 1,4 - wurde der Artikulationsindex von AI = 0,5 unterschritten.

Relative Oktavpegel Start / Landung



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

Umweltbundesamt,FG II 2.5; 2000

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

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

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

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

[18] SSK = Schallschutzklasse

Zusammenfassende Bewertung von Fluglärmbelastungen: Qualitätsziele

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

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

- Bei Fluglärmbelastungen (außen) von **55dB(A)** tags und **45dB(A)** [19] nachts wird die Grenze zu erheblichen Belästigungen erreicht. Bei Fluglärmbelastungen deutlich unterhalb von 55 dB(A) tags und 45 dB(A) nachts dürften nennenswerte Beeinträchtigungen weitgehend ausgeschlossen sein [20].
- Bei Fluglärmbelastungen (außen) von **60dB(A)** tags und **50dB(A)** nachts sind Gesundheitsbeeinträchtigungen nicht mehr auszuschließen.
- Bei Fluglärmbelastungen oberhalb (außen) **65dB(A)** tags und **55dB(A)** nachts sind Gesundheitsbeeinträchtigungen in Form von Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu erwarten. Gebiete mit diesen Belastungen sind grundsätzlich zum Wohnen ungeeignet.

Daraus leitet sich Folgendes ab:

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

---

[19] L_{Aeq}(3); 16 h tags; 8 h nachts.

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

[21] Etwa analog 24. BImSchV oder VDI-Richtlinie 2719. Gebietsübergreifend einheitliche Innenpegel nach Nutzungsart sind anzustreben.

[22] etwa analog VLärmSchR 97

Tabellarische Darstellung der Belastungsbereiche, unterhalb derer spezifische Wirkungen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht auftreten [23]

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

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

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

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

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

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

[24] Jeweils L_{eq}(3)

Bibliographie

Abel, S. M. (1990): The extra-auditory effects of noise and annoyance: an overview of research. Journal of Otolaryngology Supplement 1, 1-13.
Abey-Wickrama, I., Brook, M. F., Gattoni, F. E. G. & Herridge, C. F. (1969): Mental hospital admissions and aircraft noise. Lancet II, 1275- 1277.
Alexandre, A. (1970): Prediction of annoyance due to noise around airports and speculations on the means of controlling it. Anthropol. Appl. Doc. A. A .28/70
Altena, K. & Beersma, D. G. M. (1993): Sleep, noise and immunospression. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. 575-578.
Ando, Y. & Hattori, H. (1973): Statistical studies on the effects of intense noise during human fetal life. Journal of Sound and Vibration 27, 101-110.
Ando, Y. & Hattori, H. (1974): Effects of aircraft noise during fetal and post-natal life in humans. Practica Otologica, Kyoto 67, 122.
Andren, L. (1982): Cardiovascular effects of noise. Acta Medica Scandinavica Supplement 657, 1-45.
Andren, L., Hansson, R., Eggertsen, R., Hedner, T. & Karlberg, B.E. (1983): Circulatory effects of noise. Acta Medica Scandanavica 213, 3, 1-35.
Andren, L., Lindstedt, G., Bjorkman, M., Borg, K.O. & Hansson, L. (1982): Effects of noise on blood pressure and „stress" hormones. Clinical Science 62, 137-141.
Andrus, W.S, Kerrigan, M.E. & Bird, K.T. (1975): Hearing in para-airport children. Aviation, Space and Environmental Medicine 46, 740-742.
Arndt, D. (1995): In: Maschke, C., et al. Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner. Gustav Fischer Verlag Stuttgart; S. 127-129
Bartels, K. (1989): Medizinische/psychosomatische Auswirkung von Tieffluglärm. Kinder und Tiefflug. Dokumentation des Expertenforums zu den Auswirkungen des Tieffluglärms auf Kinder. Bonn, 12. Juni, 18-22.
Baxter, J. D., West, R. & Miller, A. (1989): Will the increased military low-level flying activity in Labrador be detrimental to the hearing of humans in the region? Journal of Otolaryngology 18, 68-73.
Berglund, B., Berglund, U., Karlsson, J. & Lindvall, T. (Eds.1995). Performance, Behaviour, Animal, Combined Agents and Community Responses. Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden. 103- 108.
Berglund, B., Lindvall, T. & Nordin, S. (1990): Adverse effects of aircraft noise. Environmental International 16, 315-338.
Berglund, B., T. Lindvall (1995): Community Noise. Archives of the Center for Sensory Research, University and Karolinska Institute, Stockholm
Berry, B.F. & Harris, A.L. (1990): Military aircraft noise prediction and measurement. In: Proceedings of the Institute of Acoustics 12(12), 19-26.
Berry, B.F., Payne, R.C. & Harris, A.L. (1991): Noise levels of military aircraft at lowaltitude: exercise "Luce Belle". National Physical Laboratory RSA 14.
Berry, B.F., Payne, R.C. & Harris, A.L. (1991): Noise levels of USAF aircraft in exercise "Luce Belle" . National Physical Laboratory RSA 16.
Bjorkman, M., Ahrlin, U. & Rylander, R. (1992): Aircraft noise annoyance and average versus maximum noise levels. Archives of Environmental Health 47(5), 326-329.
Bly, S., Goddard, M. and McLean, J. (1993): A review of the effects of noise on the immune system. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. 509-512.
Borsky, P. N. (1983): Integration of multiple aircraft noise exposures over time by residents living near U.S. Air Force Bases, In: Noise as a Public Health Problem. Turin; S. 1049-1060
Borsky, P. N. (1984): The influence of fear on community annoyance with aircraft noise. In: Proceedings 2nd Intern. Symposium on Univ. Res. in Transportation noise, Raleigh 1984
Bradley, J. S. (1994): On dose response curves of annoyance to aircraft noise. In: Inter-Noise 94.Proceedings. The 1994 International Congress on Noise Control Engineering Vol. 1. Yokohama Japan; S. 235-238
Brendel, E. & Wendland, H.-H. (1998): Leitlinien des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) zur Beurteilung von Fluglärm an Verkehrsflughäfen und an Landeplätzen. Z. f. Lärmbekämpfung, 45, 181 - 184
Brenner, H., Oberacker, A., Kranig, W. & Buchwalsky, R. (1993): A field study on the immediate effects of exposure to low-altitude flights on heart rate and arrhythmia in patients with cardiac diseases. International Archives of Occupational and Environmental Health 65(4), 263-268.
Bullen, R.B., Hede, A.J. & Kyriacos, E. (1986): Reaction to aircraft noise in residential areas around Australian airports. Journal of Sound and Vibration 108, 199-225.
Bullinger, M. (1995): Die Münchener Fluglärmstudie: Ein Kurzbericht über die Studienergebnisse. Institut für Medizinische Psychologie, Maximilian Universität München
Chowns, R. H. (1970): Mental hospital admissions and aircraft noise. Lancet i, 467-468.
Cohen, S., Evans, G.W., Krantz, D.S. & Stokols, D. (1980): Physiological, motivational, and cognitive effects of aircraft noise on children: moving from the laboratory to the field. American Psychologist 35, 231 -243.
Cohen, S., Evans, G.W., Krantz, D.S., Stokols. D. & Kelly, S. (1981): Aircraft noise and children: Longitudinal and cross-sectional evidence on adaptation to noise and the effectiveness of noise abatement. Journal of Personality and Social Psychology 40, 331 -345.
Cohen; S. (1980): Aftereffects of stress on human performance and social behaviour: A review of research and theory. Psychological Bulletin 88; S. 82-108
Coles, R.R.A. and Knight, J.J. (1959): Effect of jet aircraft noise on hearing. Nature 184, 1803.
Dejoy, D.M. (1984): A report of the status of research on the cardiovascular effects of noise. Noise Control Engineering Journal 23, 32-39.

Delta Acoustics & Vibration (1995): Metrics for environmental noise in Europe. Danish comments on INRETS Report LEN 9420, Report AV 837/95
Diamond, I. D.& J. G. Walker (1986): An international study of the influence of residual noise on community disturbance due to aircraft noise, In: R. Lotz (eds.): Inter-Noise 86 Vol. 2; S. 941-946
DORA (1980): Aircraft noise and sleep disturbance. Civil Aviation Authority, Cheltenham.
Eberhardt, J. (1990): The disturbance by road traffic noise of the sleep of prepubertal children as studied in the home. In: Noise as a Public Health Problem 2 (5); S. 65-74
Edmonds, L.D., Layde, P.M. & Erickson, J.D. (1979): Airport noise and teratogenesis. Archives of Environmental Health, 242-247.
Evans et al. (1998): Chronic noise exposure and physiological response: a prospective study of children living under environmental stress. Psychological Science, Vol 9 No. 1 January 1998
Evans, G. W., Hygge, S. & Bullinger, M.(1995): Chronic Noise and Psychological Stress. Department of Design and Environmental Analysis
Felscher-Suhr, U., Guski, R. , Hunecke, M., Kastka, J., Paulsen, R., Schümer, R. & Vogel, J.(1995): Störungen von Alltagstätigkeiten durch Flug- und Straßenverkehrslärm. Bochum, Ruhr-Universität, Arbeitskreis "Ökologische Lärmforschung"
Felscher-Suhr, U., Guski, R. , Hunecke, M., Kastka, J., Paulsen, R., Schümer, R. & Vogel, J.(1996): Eine methodologische Studie zur aktuellen Erfassung von Alltagstätigkeiten und deren Störungen durch Umweltlärm. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 43; S. 61-68
Fewtrell, W. & Kay, D. (1995): The impacts of military low-altitude flights, Centre for research into environment and health, Dyfed.
Fidell, S. & Jones G. (1975): Effects of cessation of late-night flights on an airport community, J. of Sound and Vibration 42 (4); S. 411-427
Fidell, S., Barber, D. S. & Schultz, T. J.(1991): Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise, JASA 89; S. 221-233
Fidell, S., R. , Horonjeff, Mills, J., Baldwin, E., Teffeteller, S. & Pearsons K. (1985): Aircraft noise annoyance at three joint air carrier and general aviation airports, Journal of the Acoustical Society of America 77; S. 1054-1068
Fields, J. M. & Hall, F. L. (1987): Community Effects of Noise. In: Nelson, P. M.(eds.): Transportation noise reference Book. Butterworth 3/1-3/27; London
Fields, J.M. & Powell, C.A. (1987): Community reactions: results from an experimental study of helicopter noise. Journal of the Acoustics Society of America 82, 479-497.
Finegold, L.S. (1993): US air force research program on the effects of aircraft noise on humans: current status and future directions. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. 229-232.
Finke, H.-O., Guski. R. & Rohrmann, B. (1980): Betroffenheit einer Stadt durch Lärm, UBA - Forschungsbericht 80 - 105 01301-
Fisch, L. (1981): Aircraft noise and hearing impairment in children. British Journal of Audiology 15, 231-240.
Frerichs, R.R., Beeman, B.L. & Coulson, A.H. (1980): Los Angeles airport noise and mortality - faulty analysis and public policy. American Journal of Public Health 70(4), 357-362.
Garcia, A., L., Faus, J., Garcia, A.-M.(1993): The Community Response to Aircraft Noise Around Six Spanish Airports. Journal of Sound and Vibration 164 (1); S. 45-52
Garcia, A.M. & Garcia, A. (1992) Relationship between arterial pressure and exposure to noise at work. Med. Clin. Barc. 98, 5-8.
Gattoni, F. & Tarnopolsky, A. (1973): Aircraft noise and psychiatric morbidity: Preliminary communication. Psychological Medicine 3, 516-520.
Gierke et al. (1993): Effects of Noise on People. NOISE/NEWS International, Juni 1993
Gjestland, T., Granoien, I.L.N., Liasjo, K.H. & Bugge, J.J. (1993): Community response to noise from a short term military aircraft exercise. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume2. Vallet,M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. 589-592.
Gjestland, T., K. Liasjö, I. Granöien, H. E. Böhn & A. Gaustad (1990): A noise survey around Oslo airport Fornebu, In: H. G. Jonasson (eds.): Inter'Noise 90. Proceedings 1990 International Conference on Noise Control Engineering Vol. I. Gothenburg-Sweden; S. 451-454
Gjestland, T., Liasjö, K. , Granöien, I., Fields J.M. (1990): Response to noise around Oslo Airport Fornebu, Trondheim: Elab-Runit Sintef Gruppen. Acoustics Research Center. Report STF 40 A90189
Globus, G., G. et al. (1973): The effects of aircraft noise on sleep electrophysiology as recorded in the home. In: Ward, W.D.: Proccedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem 1973
Gottlob, D. (1994): Regulations for community noise. Proceedings Inter-Noise 94, Yokohama, 1994 S. 43-56
Gottlob, D. (1995): Regulations for community noise. Noise/News International. Vol 3, 4, 1995, S. 223 - 236
Grandjean, E. et al. (1973): A survey of aircraft noise in Switzerland. In: Noise as Public Health Problem. Dubrovnik Yugoslavia; S. 645-659
Grandjean, E., Graf, P., Lauber, A., Meier, H. P. & Müller, R. (1976): Survey on the effects of aircraft noise around three civil airports in Switzerland. Inter-Noise 1976; S. 85-90
Green, K. B., Pasternack, B. S. & Shore, R. E. (1982): Effects of aircraft noise on reading ability of school-age children, Arch. Environm. Health 37 (1); S. 24-31
Green, K.B., Pasternack, B.S. & Shore, R.E. (1982) Effects of aircraft noise on hearing ability of school-age children. Archives of Environmental Health 37, 284-289.
Griefahn, B. & Gros, E. (1986): Noise and sleep at home, a field study on primary and after effects. Journal of Sound and Vibration 105 (3); S. 373-383
Griefahn, B. & Gros, E. (1983): Disturbances of sleep - Interaction between noise, personal, and psychological variables. In: Noise as a Public Health Problem 2; S. 895-904

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

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

Kull, R.C. & Finegold, L.S. (1990): Strategic plan for research on effects of aircraft noise on human health. In: Proceedings of the Institute of Acoustics 12(12), 45-54.
Kull, R.C. (1993): Feasibility of a study on the effects of military aircraft noise. In: Noise and Disease. Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 393-394.
Kutscheidt, E. (1993): Lärmprobleme, Probleme mit dem Lärm. Tagungsband Parabel. InfoSy Lärm, Lärmkontor, Hamburg, Update 2000
Lambert, J. (1994): Noise Quality Criteria, Current Regulatory Policies. Draft Report, Bron Cedex,
Lang, T., Fouriaud, C. & Jacquinet-Salord, M.C. (1992): Length of occupational noise exposure and blood pressure. Lnternational Archives of Occupationaland Environmental Health 63, 369-372.
Lawton, B.W. & Robinson, D.W. (1990): Risk to hearing from overflight noise of military aircraft. Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton.
LeBlanc, M.M., Lombard, C., Massey, R., Klapstein, E. & Lieb, S. (1991): Behavioural and physiological responses of horses to simulated aircraft noise. Armstrong Laboratory, Wright-Patterson AFB, Ohio. AL-TR-1991-0123.
Lukas, J. S. & Kryter, K. D. (1970): Awaking effects of simulated sonic boom and subsonic aircraft noise. In: B. L. Welch,. A. S. Welch (eds.) (1970): Physiological effects of noise. Plenum Press New York and London; S. 283-293
Lukas, J.S. (1975): Noise and sleep: a literature review and a proposed criterion for assessing effect. Journal of the Acoustical Society of America 58, 1232-1242.
Maschke et al. (1997): Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm. UBA – Forschungsbericht .97-105 01 213/07
Maschke, C. (1992): Der Einfluß von Nachtfluglärm auf den Schlafverlauf und die Katecholaminausscheidung. TU Berlin (Dissertation)
Maschke, C. et al. (1996): Lärmmedizinisches Gutachten für den Flughafen Hamburg, TU Berlin
Maschke, C., Arndt, D. & Ising, H. (1995): Nächtlicher Fluglärm und Gesundheit. Ergebnisse von Labor- und Feldstudien. Bundesgesundheitsblatt 3
Maschke, C., Arndt, D., Ising, H., Laude, G., Thierfelder W. & Contzen, S. (1995): Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner. Gustav Fischer Verlag.
Maschke, C., Arndt, D., Ising, H., Laude, G., Thierfelder W. & Contzen, S. (1995): Der Einfluß von Nachtfluglärm auf die _tresshormonausscheidung von Flughafenanwohnern. Abschlußbericht DFG Nr. Gr 452/8-2; Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, New York
Maschke, C., Arndt, D., Ising, H., Laude, G., Thierfelder, W. & Contzen, S. (Hrsg.) (1995): Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 96; S. 1-140
Maschke, C., Breinl, S., Grimm, R. & Ising, H. (1992): Der Einfluß von Nachfluglärm auf den Schlaf und die Katecholaminausscheidung. Bundesgesundheitsblatt 35 (3); S. 119-122
Maschke, C., Breinl, S., Grimm, R. & Ising, H. (1993): The influence of nocturnal aircraft noise on sleep and on catecholamine secretion. In: Noise and Disease. Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 402-407.
Maschke, C., Druba, M. & Pleines, F. (1997): Beeinträchtigung des Schlafes durch Lärm – Eine Literaturübersicht – UBA-Forschungsbericht 97-105 01 213/07
Maschke, C., Ising, H., Arndt, D. (1995): Nächtlicher Verkehrslärm und Gesundheit: Ergebnisse von Labor- und Feldstudien. Bundesgesundheitsblatt 38 (4); S. 130-137
McLean, E. & Tarnopolsky, A. (1977): Noise, discomfort and mental health. Psychological Medicine 7, 19-62.
Meecham, W.C. & Shaw, N. (1979): Effects of jet noise on mortality rates. British Journal of Audiology 13, 77-80.
Meecham, W.C. & Shaw, N.A. (1993): Increase in mortaility rates due to aircraft noise. In: Noise and Disease. Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437-441.
Meecham, W.C. & Smith, H.G. (1977): Effect of jet aircraft noise on mental hospital admissions. British Journal of Audiology 11, 81-85.
Michalak, R., Ising, H. & Rebentisch, E. (1990): Acute circulatory effects of military low-altitude flight noise. International Archives of Occupational and Environmental Health 62(5), 365-372.
Miedema, H. M. E. (1984): Hinder in de woonomgeving door cumulatie van omgevingsgeluid; een literaturstudie. VROM, Leidschendam
Miedema, H. M. E. (1987): Beoordelingsmethode voor hinder in de woonomgeving door cumulatie van omgevingsgeluid.
Miedema, H. M. E. (1992): Response functions for environmental noise in residential areas. Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO Leiden (NL), NIPG-Publikatienummer 92.021
Miedema, H.M.E. & Vos, H. (1998) : Exposure-response relationships for transportation noise. J. Acoust. Soc. Am., 104 (6), 1998, S 3423 – 3445
MIL Research (1971): Second Survey of aircraft noise annoyance around London (Heathrow) Airport, Rep. No. SS 394. Her Majesty´s Stationery Office London
Moch, A. & Maramotti, I. (1993): Multi-dimensional approach to noise effects and to noise aftereffects. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. 543-546.
Mosskov, J.I . & Ettema, J.H. (1977): Extra-auditory effects in short-term exposure to aircraft and traffic noise. Lnternational Archive of Occupational and Environmental Health 40, 165173.
Niemtzow, R.C. (1993): Loud noise and pregnancy. Military Medicine 158(1), 10-12.
Nixon, C.W., West, D.W. & Allen, N.K. (1993) Human auditory response to aircraft flyover noise. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 2. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. 101 – 104.
Nordic Council of Ministers (1997): Noise effects. Final report of the Nordic Research Group on Noise Effects 1991 – 1996, Copenhagen.
Ohkubo, Ch., Miyazaki, K., Osada, Y. (1976): Response of finger pulse amplitude to intermittent noise. Bull. Inst. Publ. Health 25, 1976, 1-8.

Oliva, C. (1993): Kurzbericht über die akustische und soziologische Feldstudie. Populärfassung der Lärmstudie 90: Belastung und Betroffenheit der Wohnbevölkerung durch Flug- und Straßenverkehrslärm in der Umgebung der internationalen Flughäfen der Schweiz. Schlieren-Zürich: Büro Dr. Carl Oliva
Oliva, C. (1998): Belastung der Bevölkerung durch Flug- und Straßenlärm. Duncker u. Humbold, Berlin
Oliva, C. u. Hüttenmoser, Cornelia (2000): Die Abhängigkeit der Schallbewertung vom Geräuschkontext. Z. f. Lärmbekämpfung, 47, 47 - 56
Ollerhead, J. B. & Diamond, I. (1993): Social surveys of night time effects of aircraft noise. In: Noise as Public Health Problem 3; S. 373-376
Ollerhead, J. B. & Jones, C. J.(1993): Aircraft noise and sleep disturbance: A UK field study. In: Noise as a Public Health Problem 3; S. 353-358
Ollerhead, J. B. & Jones, C.J. (1993): Aircraft noise and sleep disturbance: a UK field study. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 3. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. pp. 353 -358.
Ollerhead, J. B. et al. (1992): Report of a field study of aircraft noise and sleep disturbance. UK Department of Transport.
Ortscheid, J. (2000): Präferierte Fensterstellung und Belästigung. In Vorbereitung
Passchier-Vermeer, W. (1993): Noise and Health. Health Council of the Netherlands. Publication no. A93/02E The Hague
Porter, N. D., Flindell, I. H. & Berry, B. F. (1998): Health effects-based noise assesment methods: a review and feasibility study. NPL Report CMAM 16
Poustka, F. & Schmeck, K. (1990): über die Auswirkungen von militärischer Tiefflugaktivität auf Kinder. Z. f. Kinder- und Jugendpsychiatrie 18 (1990) 61-70
Rai, R.M., Singh, A.P., Upadhyay, T.N., Patil, S.K.B. & Nayar, H.S. (1981): Biochemical effects of chronic exposure to noise in man. International Archives of Occupational and Environmental Health 48, 331-337.
Rehm, S. & Jansen, G. (1978): Aircraft noise and premature birth. Journal of Sound and Vibration 59(1), 133-135.
Rohrmann, B (1976): Die Störwirkung des Flugbetriebs an Landeplätzen - Eine empirische Studie. Kampf dem Lärm 23; S. 6-11
Rohrmann, B. et al. (1974): Fluglärmwirkungen, eine interdisziplinäre Untersuchung über die Auswirkungen des Fluglärms auf den Menschen. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn Bad Godesberg
Rohrmann, B., Finke, H.-O., Guski, R., Schümer, R.& Schümer-Kohrs, A. (1978): Fluglärm und seine Wirkungen auf den Menschen. Verlag Hans Huber Bern
Ronnebaum, T., Schulte-Fortkamp, B. & Weber, R. (1996): Literaturstudie zur Gesamtlärmbewertung. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Rylander, R. et al. (1972): Annoyance reaction from aircraft noise exposure. Joint Report from the Institute of Hygiene Stockholm Schweden
Rylander, R., Bjorkman, M., Ahrlin, U., Sorensen, S. & Berglund, K. (1980): Aircraft noise annoyance contours: importance of overflight frequency and noise level. Journal of Sound and Vibration20, 527-530.
Rylander, R., Sorensen, S. & Kajland, A. (1972): Annoyance reactions from aircraft noise exposure. Journal of Sound and Vibration 24, 419-444.
Rylander, R., Sorensen, S., Andrae, B.O., Chatelier, G., Espmark, Y., Larsen, T. & Thackray, R.I. (1974): Sonic boom exposure effects: A field study of humans and animals. Journal of Sound and Vibration 33, 471-486.
Schell, L. (1981): Environmental noise and human placental growth. American Journal of Physical Anthropology 56, 63-70.
Schmeck, K. & Poustka, F. (1993): Psychophysiological and psychiatric tests with children and adolescents in a low-altitude flight region. In: Noise and Disease. Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.). Fischer Verlag, Stuttgart.
Schomer, P. (1983): A survey of community attitudes toward noise near a general aviation airport, JASA 74; S. 1773-1781
Schulte, W. & Otten, H. (1993): Results of a low-altitude flight noise in Germany: long-term extraaural effects. In: Noise and Disease. Ising, H. and Kruppa, B. (Eds.). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 332-338.
Schultz, T. J. (1978): Synthesis of social surveys on noise annoyance, JASA 64; S. 377-405
Schuster, M. (1980): Die Wirkungen von Fluglärm auf den Schlaf des Menschen unter Feldbedingungen. TU München (Dissertation)
Schwarze, S. & Thompson, S.J. (1993): Research on non-auditory physiological effects of noise since 1988: review and perspectives. In: Noise and Man '93. Noise as a Public Health Problem. Proceedings of the 6th International Congress. Volume 3. Vallet, M. (Ed.). Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite. 252-259.
Schweizer Bundesrat: (1999) Lärmschutz-Verordnung, Entwurf vom 21. Juni 1999 für die Vernehmlassung
Smith, A. P. & Stansfeld, S. (1986): Aircraft noise exposure, noise sensitivity, and everyday errors. Environment and Behaviour 18 (2); S. 214-226
Speng, M. (2000b): pers. Mitteilung
Spreng et al. (1994): Beeinträchtigung der Kommunikation durch Lärm. UBA- Forschungsbericht 94-105 01 213/06
Spreng, M. (1990): Effects of noise from military low-level flights on humans. In: Berglund, B., T. Lindvall (eds.) Proceedings 5th international congress on Noise as a Public Health Problem. Swedish Council for Building Research, Stockholm; S. 293-303
Spreng, M. (1992): Spezielle Merkmale des militärischen Tieffluglärms: Kriterien für ein Hörschadensrisiko. Bundesgesundheitsblatt 3/92; S. 140-142
Spreng, M. (1994): Gehörschädigungsmöglichkeiten durch Tiefflugschallereignisse in: H. G. Dieroff: Lärmschwerhörigkeit. Gustav Fischer Verlag;
Spreng, M. (1996): Gutachterliche Stellungnahme Verwaltungsrechtsstreit Flughafen Hahn (7 C 11843/93.OVG). Erlangen
Spreng, M. (1998): Kritische Betrachtung des Schienenbonus anhand hörphysiologisch/medizinischer Fakten. Tagungsband Fachseminar „Schienenbonuns“, Frankfurt 1997. Institut für ökologische Studien, München, 1998.
Spreng, M. (2000): Periphere und zentrale Aktivierungsprozesse. In Handbuch der Umweltmedizin VII.4.4.1, im Druck

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