

## ÜBERSICHTSARBEIT

# Gesundheitliche Auswirkungen von Fluglärm

Martin Kaltenbach, Christian Maschke, Rainer Klinke

## ZUSAMMENFASSUNG

**Einleitung:** Wegen des ständig zunehmenden Flugverkehrs ist die ärztliche Beurteilung von Fluglärmwirkungen anhand aktueller Studien erforderlich.

**Methode:** Selektive Literaturrecherche epidemiologischer Studien zum Fluglärm der Jahre 2000 bis 2007 hinsichtlich Erkrankungen, Belästigungen und Lernstörungen.

**Ergebnisse:** Fluglärmbedingte Dauerschallpegel im Wohnumfeld außerhalb von Gebäuden von 60 dB(A) tagsüber und 45 dB(A) in der Nacht sind mit einer Zunahme von arterieller Hypertonie assoziiert, die bei zunehmendem Fluglärmpegel weiter ansteigt. Die Verordnung blutdrucksenkender Medikamente ist mit einem nächtlichen Fluglärmpegel von etwa 45 dB(A) assoziiert, die ebenfalls dosisabhängig ist. Bei einem Pegel von 55 dB(A) tagsüber fühlen sich heute 25 % der Bevölkerung hochgradig belästigt. Lärmpegel ab 50 dB(A) tagsüber (außen) sind mit relevanten Lernstörungen bei Schulkindern assoziiert.

**Diskussion:** Aus den epidemiologischen Studien sind Außenrichtwerte für den Tag von 60 dB(A) und für die Nacht von 50 dB(A) zum Erhalt der Gesundheit abzuleiten. Um auch empfindlichere Gruppen wie Kinder, Ältere und chronisch Kranke zu schützen sowie erhebliche Belästigungen zu vermeiden, sind Vorsorgewerte von 55 dB(A) tags und 45 dB(A) nachts anzustreben. Gegenüber dem Fluglärmgesetz und der Publikation „Synopsis“, liegen diese Werte um 5 bis 10 dB(A) niedriger.

Dtsch Arztebl 2008; 105(31–32): 548–56  
DOI: 10.3238/arztebl.2008.0548

**Schlüsselwörter:** Fluglärm, Lärmbelästigung, Hypertonie, Herzinfarkt, Umweltbelastung

Aufgrund der stetigen Zunahme des Flugverkehrs wird die ärztliche Beurteilung von Fluglärmwirkungen zunehmend wichtiger. Dabei ist das Auftreten von organischen Erkrankungen, Belästigungen oder Funktionsstörungen zu beachten. Für die Beurteilung eignen sich Feldstudien unter den Bedingungen des täglichen Lebens. Laboruntersuchungen sind nur begrenzt aussagefähig, weil Phänomene wie Gewöhnung, Sensibilisierung, Konditionierung und Erschöpfung nicht erfasst werden. Schlafstörungen in Form von Aufwachreaktionen (1) sind für die Bewertung ebenfalls wenig geeignet, weil deren Vermeidung für die Prävention langfristiger Gesundheitsgefahren nicht ausreicht (2).

Die epidemiologische Forschung auf dem Gebiet der Lärmwirkung hat in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte gemacht. Deshalb ist eine Standortbestimmung aufgrund der neuen Untersuchungen unerlässlich. Viele der bis zum Jahr 2000 publizierten epidemiologischen Studien weisen methodische Defizite auf. Häufig wurden vereinfachend Extremgruppen betrachtet oder die Studienpopulation anhand eines Schallpegelkriteriums in „belastet“ und „unbelastet“ unterteilt. Diese Studien lassen nur einen Trend zu erhöhten Gesundheitsrisiken ab Dauerschallpegeln von 65 dB(A) erkennen (3). Neue Ergebnisse liegen vor allem bezüglich Hypertonie, Belästigung und Lernstörungen vor (*Kasten 1*).

## Methode

Für die Jahre 2000 bis März 2007 erfolgte eine Recherche zu epidemiologischen Studien in den Datenbanken von DIMDI und PubMed. Gesucht wurde mit den Stichworten noise und epidemiol\*\*\* (Deutsch und Englisch), ergänzt durch Literatur aus dem Bestand der Autoren. Elektronisch ausgeschlossen wurden Arbeiten mit den Begriffen occupational, work und tinnitus. In einem zweiten Schritt wurden Arbeiten ausgeschlossen, die offensichtlich keinen Bezug zur Fragestellung aufwiesen, zum Beispiel Untersuchungen zu Auswirkungen auf Gehör oder Sprache. Im dritten Schritt wurden aufgrund von Fragestellung (zum Beispiel Tag oder Nacht), Design (Aussagefähigkeit), Größe (Vermeidung zufälliger Fehler) sowie der Wahrscheinlichkeit systematischer Fehler (Bias) aus 81 verbleibenden Publikationen 10 Primärstudien identifiziert (*Tabelle 1*). Einschlusskriterien hierbei waren Fallzahlen von mehr als 1 000 oder über 5 000 Einzelmesswerte im Fall der Zeitreihenuntersuchung, adressbezogene Erfassung der Fluglärmexposition sowie eine standardisierte Erfassung der Wir-

Frankfurt: Prof. Dr. med. Kaltenbach

Berlin: PD Dr.-Ing. Maschke

Frankfurt: Prof. (em.) Dr. med. Klinke

kungsendpunkte beziehungsweise erfragte ärztliche Diagnosen bei Erkrankungen. Nicht berücksichtigt wurden Übersichts- und Sekundärpublikationen sowie Studien mit anderen Wirkungsendpunkten. Die so ermittelten Primärstudien wurden im Hinblick auf Erkrankungen, Lärmbelastung und Lernstörungen ausgewertet.

Bezüglich Myokardinfarkt wird darüber hinaus eine Straßenverkehrslärmstudie erwähnt (4), weil keine Fluglärmstudien zu diesem Thema vorliegen. Mit Lernstörungen befasst sich eine Studie aus dem Jahr 1995 (16); hierzu gibt es keine neuen Längsschnittbeobachtungen (Tabelle 1).

## Ergebnisse

Die aussagekräftigsten neuen Studien liegen zu den Themen Hypertonie, Belästigungen und Lernstörungen vor. Soweit aus den Befunden zu entnehmen, wurden absolute Risikoveränderungen angegeben. Eine Studie über Straßenverkehrslärmbelastung sowie eine Metaanalyse zeigten eine signifikante, lärmbedingte Zunahme von Myokardinfarkten ab Tagesdauerschallpegeln von 60 dB(A) (4, 5). Studien über einen Zusammenhang mit Fluglärm liegen nicht vor. Deshalb wird auf diese Assoziation nicht näher eingegangen. Zweifellos kann aber jede Vermehrung der arteriellen Hypertonie zu mehr Infarkten und Schlaganfällen führen.

## Blutdruckkrankheit

Pathophysiologisch wird die Entstehung einer lärmbedingten Hypertonie als Folge gestörter Erholungsprozesse angesehen. Durch lang anhaltenden Lärmstress können Kompensationsmechanismen erschöpft werden, sodass die Regulationsfähigkeit des Organismus nachlässt. Infolgedessen treten gesundheitliche Auswirkungen von chronischem Lärmstress häufig erst nach 5 bis 15 Jahren auf (6). Die chronische arterielle Hypertonie betrifft einen großen Teil der Bevölkerung und ist ein wichtiger Risikofaktor für Herzinfarkt und Schlaganfall. Mindestens jeder dritte Erwachsene hat Blutdruckwerte, die über dem optimalen Bereich liegen und schon die Erhöhung vom „optimalen“ zum noch normalen Blutdruck führt zu einer Verdoppelung des Risikos, einen Schlaganfall oder Herzinfarkt zu erleiden (7).

Rosenlund fand 2001 mithilfe adressgenauer Fluglärmexpositionen für 2 959 Erwachsene eine Assoziation zwischen der Zunahme von Bluthochdruck und einem 24-h-Dauerschallpegel (FBN) über 55 dB(A) sowie bei Maximalpegeln über 72 dB(A) (8).

Eriksson et al. untersuchten 2 037 Männer in der Altersgruppe von 40 bis 60 über einen Zeitraum von 10 Jahren (9, e1). Die Dauerschallpegel (FBN) wurden mit einem Geoinformationssystem (GIS-Technik) adressgenau ermittelt. Der Hypertoniebefund wurde durch wiederholte ärztliche Untersuchungen, einschließlich Blutdruckmessungen erhoben und durch Befragungen über kardiovaskuläre Behandlungen sowie Risikofaktoren ergänzt. Eine Fluglärmbe-

### KASTEN 1

#### Wie laut sind Dauerschallpegel?

Dauerschallpegel sind energetische Mittelwerte über eine lange Beurteilungszeit, die nicht gehört werden können. Nur momentane Schallereignisse sind wahrnehmbar. Ist allerdings die Schallenergie über die Beurteilungszeit konstant, hat der Dauerschallpegel den gleichen Wert wie der momentane Schallpegel. Der Dauerschallpegel, mit Zu- oder Abschlägen zum Beispiel für die Tageszeit, ist ein Einzahlwert der ausschließlich die langfristigen Auswirkungen einer Geräuschsituation skalieren soll. In Deutschland ist es üblich, zwischen dem Tagesdauerschallpegel (6:00 bis 22:00 Uhr) und dem Dauerschallpegel für die Nacht (22:00 bis 6:00 Uhr) zu unterscheiden. Die Maßeinheit ist das dB(A). Sie berücksichtigt, dass das menschliche Gehör für verschiedene Frequenzen unterschiedlich empfindlich ist. Der Umstand, dass Fluglärm gegenüber Straßenverkehrslärm und Schienenverkehrslärm belastender empfunden wird, fließt hingegen nicht ein. In Wohngebieten um zivile Verkehrsflughäfen beträgt der fluglärmbedingte Dauerschallpegel heute bis über 65 dB(A). Mit einem Tagesdauerschallpegel von 55 dB(A) und mehr sind zum Beispiel um den Frankfurter Flughafen circa 200 000 Bewohner belastet, die in Orten entlang der Flugkorridore teilweise mehr als 20 km vom Flughafen entfernt wohnen.

### KASTEN 2

#### Lärmschutzbereiche

Im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in der Fassung vom 30. Oktober 2007 werden durch Dauerschallpegel sowie nächtliche Maximalpegelkriterien Lärmschutzbereiche (LSB) festgelegt. Für neue oder wesentlich geänderte Flughäfen beginnen die Schutzbereiche am Tag bei einem Dauerschallpegel von 60 dB(A). Dies entspricht LSB 1. In der Nacht beginnt der Schutzbereich bei einem Dauerschallpegel von 53 dB(A), ab 2011 von 50 dB(A). Aus diesen Werten ergeben sich Entschädigungsansprüche für passiven Schallschutz. Es ist bislang nicht geklärt, welche Konsequenzen das jüngst verabschiedete Fluglärmgesetz für in der Umgebung wohnende Personen hinsichtlich des Anspruchs auf aktiven Schallschutz hat. Ekardt und Seidel vertreten die Auffassung, dass die dort enthaltenen Grenzwerte nur Mindeststandards darstellen, die strengeren Vorgaben im Rahmen der planerischen Abwägung und aus der Perspektive des grundrechtlich gesicherten Schutzes der Gesundheit haben die dargestellten Ergebnisse eine hohe Relevanz. Das Fluglärmgesetz basiert weitgehend auf dem wissenschaftlichen Erkenntnisstand des Jahres 1999, als der erste Entwurf für die Novelle erarbeitet wurde.

TABELLE 1

Darstellung der ausgewählten Primärstudien

Erstautor (Stud. Name)	Jahr	Studien-design	Personen	Exposition (Erfassung)	Endpunkt und Erfassung	Stratifizierungs- bzw. Kontrollvariablen	Ergebnisse (ausgewählte Endpunkte)	Kommentar (Limitierung)
M. Rosenlund (8)	2001	Querschnittstudie	2 959 Erwachsene, 19–80 Jahre	Fluglärm (Fluglärmkonturen)	erfragte Hypertoniediagnosen	Alter, Geschlecht, Rauchen, Bildung, körperliche Aktivität, Obstverzehr, Haustyp	OR 1,3 (95%-KI: 0,8–2,2) für Trend per 5 dB; OR 1,6 (95%-KI: 1,0–2,5) für FBN > 55 dB(A). Prävalenz Referenzgruppe 14 % (FBN < 55 dB [A])	Zufallsstichprobe, hohe Antwortquote (wenige Fälle bei hohen Pegeln)
C. Eriksson (9)	2007	Kohortenstudie (Follow-up-Studie)	2 037 Männer 35–56 Jahre	Fluglärm (GIS-Technik)	ärztliche Hypertoniediagnosen mithilfe von BP-Messungen und Anamnese	Alter, Rauchen, BMI, körperliche Inaktivität, HL, SES, Familiengeschichte (Diabetes), beeinträchtigte Glucosetoleranz, Lärmbelastigung	RR 1,1 (95%-KI: 1,01–1,2) für Trend per 5 dB; RR 1,2 (95%-KI: 1,03–1,4) für FBN > 50 dB(A); Inzidenz Referenzgruppe 27 % (FBN < 50 dB [A])	Zufallsstichprobe, 10-Jahres-follow-up-Periode, BP 140/90 mm Hg (nur Männer)
L. Jarup (HYENA) (10)	2007	Querschnittstudie	4 861 Erwachsene, 45–70 Jahre	Fluglärm getrennt für Tag und Nacht (Straßenlärm)	Hypertoniediagnosen mithilfe von BP-Messungen sowie ärztlicher Behandlung	Land, Alter, Geschlecht, BMI, Alkohol, körperliche Aktivität, Bildung	Für Zunahme des nächtlichen $L_{eq}$ um 10 dB OR 1,14 (95%-KI: 1,01–1,29); Prävalenz in den Ländern 49–57 %	Fluglärm für Tag und Nacht erhoben, BP 140/90 mm Hg (niedrige Antwortquote); wenige Fälle bei hohen Pegeln
E. Öhrström (LERUM-Studie) (11)	2005	Querschnittstudie	1 953 Erwachsene, 18–75 Jahre	Straßen-, Schienen-, Fluglärm (GIS-Technik)	erfragter Medikamentenverbrauch sowie Hypertoniediagnosen	Alter, Geschlecht, Rauchen, BMI, Bildung, Familienstand, Arbeitslärm	Hypertonie: OR 1,1 bei 50–55 dB(A) bis OR 4,0 (95%-KI: 1,3–13) bei 60–70 dB(A) ( $L_{eq}$ , 24 h) Medikamente: OR 1,6 bei 50–55 dB(A) bis OR 5,3 (95%-KI: 1,5–19) bei 60–70 dB(A) ( $L_{eq}$ , 24 h)	Medikamentenverbrauch und Hypertoniediagnosen gleichzeitig erfragt, Zufallsstichprobe, hohe Antwortquote (wenige Fälle bei hohen Pegeln)
E. A. M. Franssen (12)	2004	Querschnittstudie	11 812 Erwachsene über 18 Jahre	Fluglärm (Postleitzahlen)	Medikamentenverbrauch (Herz-Kreislauf, Schlaf)	Alter, Geschlecht, Rauchen, Bildung, Urbanisierung, Volkszugehörigkeit	Trend pro 10 dB Lden ab 50 dB(A): Herz-Kreislauf Medikamente OR 1,30 (95%-KI: 1,06–1,6) Schlafmittel (verschreibungsfrei) OR 2,34 (95%-KI: 1,63–3,35)	großer Stichprobenumfang (erhöhte Expositionsunsicherheit, niedrige Antwortquote)
E. Greiser (Köln-Bonn-Flughafen-Studie) (13)	2006	Querschnittstudie	809 379 Versicherte jeden Alters	nächtlicher Fluglärm (GIS-Technik)	Medikamentenverordnungen (Herz-Kreislauf-Medikamente und andere)	Alter, Geschlecht, Sozialhilfe-Häufigkeit, Altenheim-Dichte, Interaktionsterm von Fluglärm und Sozialhilfe-Häufigkeit, nächtlicher Straßen- und Schienenverkehrslärm	Trend pro 1 dB ab 39 dB(A) ( $L_{eq}$ , 3–5 h), höchstes Sozialhilfe-Quartil: Antihypertensiva Frauen OR 1,049 (95%-KI: 1,042–1,056); Männer OR 1,020 (95%-KI: 1,014–1,026) Cardiaca Frauen OR 1,049 (1,042–1,056); Männer 1,022 (95%-KI: 1,014–1,030)	mehr als 800 000 Versicherte, 43,2 % der Studienpopulation, kein „response bias“, kein „recall bias“ (keine personenbezogenen Kontrollvariablen)
Y. Aydin (14)	2007	Zeitreihenstudie (3 Monate)	53 Erwachsene 14–76 Jahre	Fluglärmänderungen von Tag zu Tag	8 266 Messungen von Blutdruck, Herzfrequenz und der Wahrnehmung des Fluglärms	Alter, Geschlecht, BMI, Rauchen, Arzneimittel, Fensterstellung in der Nacht (parallelierte Gruppen)	mittlerer RR in Westgruppe (50 dB [A] in 75 % der Zeit) um 10/8 mm HG signifikant höher als Ostgruppe (50 dB [A] in 25 % der Zeit); lärmarme von lauten Perioden in Westgruppe nicht mehr unterscheidbar	kleine Gruppen aber > 8 000 Einzelmessungen, akute Fluglärm-effekte, Kreuzkorrelationsanalysen (Freiwillige)
W. Babisch (NaRoMI-Studie) (4)	2004	Fall-Kontrollstudie	4 115 Erwachsene 20–69 Jahre	Straßenlärm höchste belastete Facade (RLS 90)	Herzinfarktpatienten (Krankenhauseinweisung)	Alter, Geschlecht, Rauchen, Bildung, BMI, Arbeitsstatus, Familienstand, Schichtarbeit, LE, Diabetes mellitus, HBP, Familiengeschichte (MI), Cholesterin	Infarktrisiko (Männer, $L_{eq}$ , Tag, Wohndauer > 10 Jahre): OR 1,17 bei 60–65 dB(A) bis OR 1,8 (95%-KI: 1,02–3,21) > 70 dB(A). OR 1,4 (1,0–2,0) > 65 dB(A) vs. < 65 dB(A)	alle MI-Einweisungen in 3 Jahren in 32 Berliner Krankenhäusern (Dauerschallpegel nur 6–22 Uhr)
S. A. Stansfeld (RANCH-Studie) (15)	2005	Querschnittstudie (3-Nationen-Studie)	2 844 Kinder, 9–10 Jahre	Fluglärm (GIS-Technik, Fluglärmkonturen)	Leseverstehen, Gedächtnisleistungen, Belästigung	Alter, Geschlecht, Nation, SES, Bildung der Mutter, chron. Kinderkrankheiten, Muttersprache, elterliche Hilfe bei Schularbeiten, Fenstertyp/Verglasung in der Schule	mit zunehmendem Fluglärm: Abnahme des Leseverstehens (n = 2 010) Beta = –0,008; p = 0,0097 Abnahme Wiedererkennung (n = 1 998) Beta = –0,018; p = 0,0141 Anstieg der Belästigung (nichtlinear) p = 0,018	internationale Studie an 89 Schulen standardisiertes Methodeninventar (sehr kleiner Altersbereich)
D. Schreckenberg (RDF-Studie) (18)	2006	Querschnittstudie	2 312 Erwachsene über 18 Jahre	Fluglärm (GIS-Technik)	Belästigung (ICBEN-Skalen), Lebensqualität	Alter, Geschlecht, SES, verschiedene akustische Kenngrößen	Dosis-Wirkungs-Bezug zum Dauerschallpegel; in der Pegelklasse 50–52,5 dB(A) (bzw. 47,5–50 Realverteilung 25 % der Bevölkerung „hochgradig belästigt“	Zufallsstichprobe, externe Qualitätskontrolle, standardisierte Erhebung der Belästigung (keine Adjustierung)

BMI, Body-Mass-Index; HL, Hörverlust; HBP, Bluthochdruck; MI, Myokardinfarkt; LE, Lärmempfindlichkeit; BP, Blutdruck; FBN, Tag-Nacht-Dauerschallpegel; SES, sozio-ökonomischer Status; GIS, Geo-Informationssystem; RLS 90, Deutsche Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen; OR, Odds Ratio; RP, Relatives Risiko; 95%-KI, 95%-Konfidenzintervall

**TABELLE 2**

**Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Zahl neu an Hypertonie Erkrankter (HT)**

Lärmbelastung*1	n	HT	HT (%)	RR*2	95%-KI
per 5 dB*3	2 020	626	31	1,10	1,01–1,19
< 50 dB (A)	1 610	478	29,7	1	–
≥ 50 dB (A)	410	148	36,1	1,19	1,03–1,37

Ärztliche Untersuchungen einschließlich Blutdruckmessungen ergänzt durch Befragungen über kardiovaskuläre Behandlungen sowie Risikofaktoren. Angegeben sind das Relative Risiko (RR) sowie das 95%-Konfidenzintervall (95%-KI) für adjustierte Daten (nach 9).

Ein relatives Risiko ist statistisch signifikant, wenn das zugehörige Konfidenzintervall (95%-KI) den Wert 1 nicht einschließt.

Beim FBN erhält der Dauerschallpegel am Abend (19–22 Uhr) einen Zuschlag von 5 dB und der Dauerschallpegel in der Nacht (22–7 Uhr) einen Zuschlag von 10 dB.

Untersuchungszeitraum: 10 Jahre; Inzidenz in der Referenzgruppe (< 50 dB (A)) 26,7 %;

n, Personen mit vollständigen Angaben zur Schallbelastung und den Kontrollvariablen;

\*1 24-h-Dauerschallpegel (FBN); \*2 adjustiert für Alter und Body-Mass-Index; \*3 Die Beziehung gilt ab FBN 50 dB(A).

tung über 50 dB(A) (FBN) war mit einem signifikant um 20 % erhöhten Hypertonierisiko verbunden (Tabelle 2).

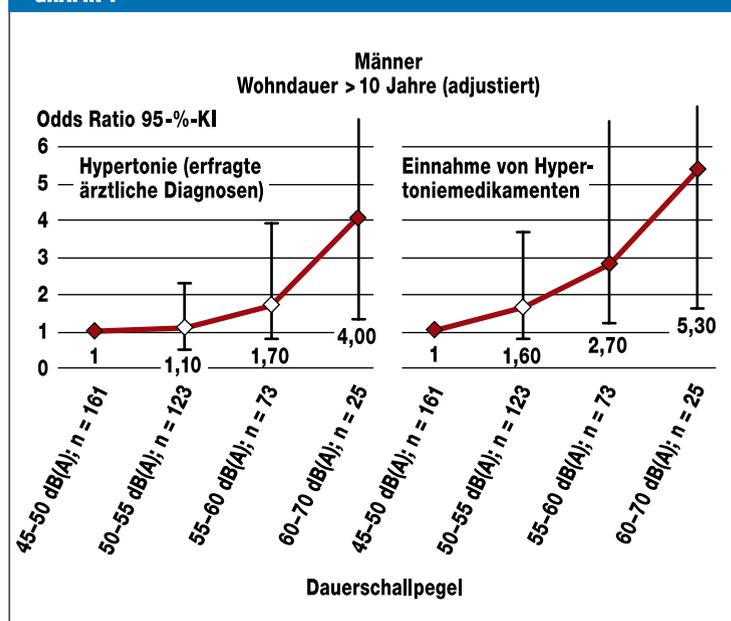
Die besondere Bedeutung der nächtlichen Lärmbelastung für die Entwicklung einer Hypertonie kann der HYENA-Studie entnommen werden (10, e2). Hier wurden im Umfeld von 6 europäischen Flughäfen 4 861 Erwachsene im Alter von 45 bis 70 Jahren untersucht. Die Dauerschallpegel wurden getrennt für den Tag und die Nacht mit einer Genauigkeit von 1 dB adressgenau ermittelt. Der Hypertoniebefund wurde durch wiederholte Blutdruckmessungen erhoben und durch Befragungen über kardiovaskuläre Behandlungen ergänzt. Die alters- und geschlechtskorrigierte Hypertonieprävalenz lag in den beteiligten Ländern zwischen 49 und 57 %. Die Chance zu erkranken, war in der Nacht bei einer Zunahme des Dauerschallpegels um 10 dB signifikant mit einem 14-prozentigen Anstieg assoziiert. Die erste signifikante Pegelklasse lag bei 40 bis 44 dB(A). Für Dauerschallpegel am Tage stieg die Chance zu erkranken ebenfalls leicht an, war aber statistisch nicht signifikant.

Eine schwedische Untersuchung (11, e3) zeigte eine enge Assoziation zwischen Lärmpegel, Hypertonie und der Einnahme blutdrucksenkender Medikamente (Grafik 1). Aus einer Zufallsstichprobe wurden 1 953 Probanden im Alter von 18 bis 75 Jahren untersucht. Die Rücklaufquote lag bei 71 %. Alle Probanden waren durch einen verkehrsbedingten Dauerschallpegel (Straße, Schiene, Flugverkehr) über 24 h von mindestens 45 dB(A) belastet. Die Lärmbelastung wurde adressgenau ermittelt (GIS-Technik) und mit erfragten ärztlichen Hypertoniediagnosen abgeglichen (Grafik 1).

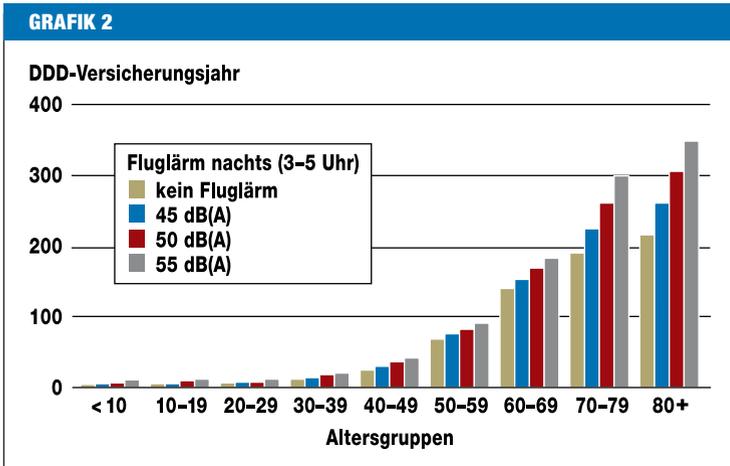
Ein erhöhter Medikamentenverbrauch, der mit Fluglärmbelastung assoziiert war, ergab auch eine Niederländische Untersuchung mit 11 812 Teilnehmern. In dieser Studie wurde die Exposition durch Postleitzahlen allerdings nur grob erfasst (12). Die deutlichste Zunahme des Verbrauchs war hier mit dem abendlichen Lärm verbunden, was damit zusammenhängen könnte, dass in Amsterdam der Nachtflugbetrieb gesetzlich eingeschränkt ist.

Die umfangreichste Studie zur Medikamenteneinnahme wurde im Umkreis des Flughafens Köln/Bonn unternommen. Hierbei wurden Krankenkassendaten von 809 379 Versicherten mit der Exposition durch Flug- und Straßenverkehrslärm adressgenau (GIS-Technik) bestimmt (13, e4). Die Studie ergab signifikante Beziehungen zwischen der Intensität des Fluglärms und der pro Patient verordneten Zahl blutdrucksenkender Medikamente. Die Zunahme der Medikamentenverordnung korrelierte mit dem nächtlichen Fluglärm zwischen 3 bis 5 Uhr am deutlichsten,

**GRAFIK 1**

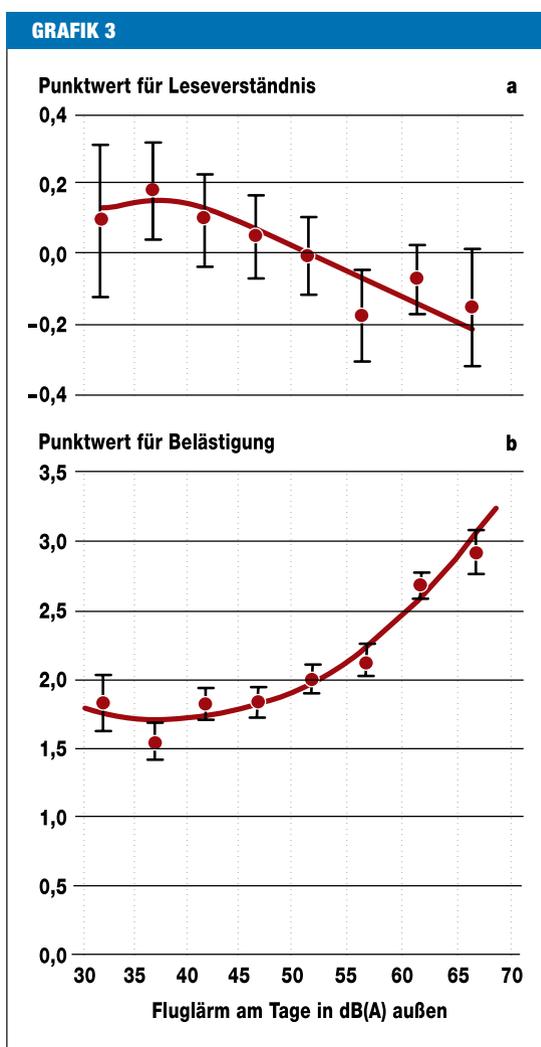


Odds Ratio für Hypertonie und die Einnahme von blutdrucksenkenden Medikamenten bei Männern mit einer Wohndauer von mindestens 10 Jahren in Abhängigkeit von der Schallbelastung durch Straßen-, Flug- und Schienenverkehr. Adjustiert für Alter, Geschlecht, Rauchen, Body-Mass-Index, Familienstatus, Schulbildung sowie Lärm am Arbeitsplatz. Eine Odds Ratio ist hier statistisch signifikant, wenn das zugehörige 95%-Konfidenzintervall (T-Balken) den Wert 1 nicht einschließt. Signifikante Odds Ratios sind in der Studie hinsichtlich der Medikamenteneinnahme ab 55 bis 60 dB(A) ( $L_{Aeq, 24h}$ ) zu verzeichnen, ( $L_{Aeq, 24h}$  = 24 Stunden Dauerschallpegel) nach (11).



Verordnung blutdrucksenkender Medikamente in Bezug auf zunehmende nächtliche Fluglärmbelastung bei Frauen im Vergleich zu Frauen ohne Fluglärm in ruhiger Wohnlage mit einem Straßen- und Schienenverkehrslärm nachts von < 35 dB(A). Adjustiert für Häufigkeit von Sozialhilfe, Dichte von Altenheimplätzen, Zusammenwirken von Sozialhilfe und Fluglärm, Möglichkeit zur Beantragung von Schallschutzmaßnahmen. Die Prävalenz in der Gesamtgruppe der Frauen beträgt 24 % (Männer 19,3 %). Bereits ab 45 dB(A) ist eine Zunahme der Verordnungen erkennbar. (DDD = Tagesdosen) (13) (DDD-Versicherungsjahr ist ein Zahlenwert für die durchschnittliche Medikamentenverordnung im Versicherungsjahr).

Assoziation von Fluglärm und Leseverständnis. a) Mit zunehmendem Fluglärm kommt es zu einem linearen Abfall der Fähigkeit zum Leseverständnis durch stilles Lesen „reading comprehension“. b) Das Ausmaß der subjektiven Belästigung steigt in logarithmischer Form an. Die Beziehungen sind nach Berücksichtigung der sozioökonomischen Daten signifikant (nach [15]).



wobei am Kölner Flughafen in dieser Zeit die stärkste nächtliche Fluglärmbelastung herrscht. Blutdrucksenkende Arzneimittel wurden in diesem Zeitfenster bei Frauen bereits bei einem fluglärmbedingten Dauerschallpegel zwischen 40 bis 45 dB(A) signifikant um 27 % und bei 46 bis 61 dB(A) signifikant um 66 % häufiger verordnet. Für Männer betrug die signifikante Zunahme der Verordnungen 24 % bei Dauerschallpegeln von 46 bis 61 dB(A).

Es ergaben sich signifikante Assoziationen zwischen Dosis und Wirkung, das heißt, je mehr Lärm, desto mehr Medikamente wurden verordnet (Grafik 2).

Bezüglich der Vorstadien einer chronischen Blutdruckkrankheit zeigte eine Zeitreihenstudie im Umkreis des Frankfurter Flughafens, dass auch im physiologischen Bereich ein Zusammenhang zwischen dem von Tag zu Tag wechselnden Fluglärm und dem morgendlichen Blutdruck besteht. Es wurden 3 Monate lang zwei Gruppen untersucht, die einem nächtlichen Fluglärm von 50 dB(A) außerhalb von Gebäuden ausgesetzt waren: die Westgruppe in 75 % der Zeit, die Ostgruppe in 25 % der Zeit. Die Auswertung von insgesamt 8 266 Blutdruckmessungen von 53 Personen ergab in der Westgruppe im Mittel einen um 10/8 mm Hg statistisch signifikant höheren Blutdruck als in der Ostgruppe. Zusätzlich fand man in der Westgruppe eine verminderte Entspannungsfähigkeit, indem die „lärmermeren“ Perioden als Folge des Lärmstress nicht mehr als solche wahrgenommen wurden (14).

Es gibt keine epidemiologischen Studien, deren Ergebnisse einer Zunahme von Hypertonie aufgrund von Fluglärm widersprechen.

**Lernstörungen**

Lärm kann die geistige Leistungsfähigkeit des Menschen beeinträchtigen, ohne dass organische Schädigungen nachweisbar sind. Stansfeld et al. untersuchten 2 844 Kindern im Alter von 9 bis 10 Jahren an 89 Schulen. Sie zeigten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Verschlechterung des Leseverstehens beim stillen Lesen sowie bestimmten Gedächtnisleistungen und zunehmender Fluglärmbelastung an den Schulen (15). Das Leseverstehen fiel mit steigendem Lärm linear ab (Grafik 3 a), während die subjektive Belästigung einen logarithmisch verlaufenden Anstieg aufwies (Grafik 3 b).

Eine frühere Längsschnitt-Untersuchung an 9- bis 13-Jährigen in München kam zu ähnlichen Ergebnissen (16, e5, e6), während eine Studie an 11-Jährigen aus dem Jahr 2002 (e7) ergab, dass sozioökonomische Faktoren für die Lernbeeinträchtigungen verantwortlich sein könnten. In der Untersuchung von Stansfeld blieben die dargestellten Beziehungen nach Korrektur für die häusliche Erziehung, soziodemographische Faktoren, länger dauernde Erkrankungen sowie Schalldämmung der Klassenräume statistisch signifikant (15). Der Rückstand betrug pro Zunahme des Fluglärmpegels um 5 dB(A) ein bis zwei Monate (15, e8–e10). Es gibt keine Studien, die diesen Ergebnissen widersprechen.

## Belästigung

Die Belästigung durch Fluglärm wird in Europa überwiegend anhand von Metaanalysen beurteilt, wie sie von Miedema und Mitarbeitern vorgelegt wurden (17, e11). Die zugrunde liegenden Studien sind jedoch, bezogen auf das Jahr 2007, durchschnittlich mehr als 25 Jahre alt.

Der in diesen Studien untersuchte Flugverkehr sowie die damaligen Flugzeugtypen sind mit der heutigen Situation an Verkehrsflughäfen kaum noch zu vergleichen. Eine neue Studie in der Umgebung des Frankfurter Flughafens ergab, dass sich 64 % der Befragten durch Fluglärm mittelmäßig bis äußerst gestört fühlten, gegenüber nur 23 % der Bevölkerung im übrigen hessischen Raum. Die Befragten gaben Fluglärm als die wichtigste störende Lärmquelle an (18, 19, e12): Je höher der Fluglärmpegel war, desto größer war die Belästigung (Grafik 4).

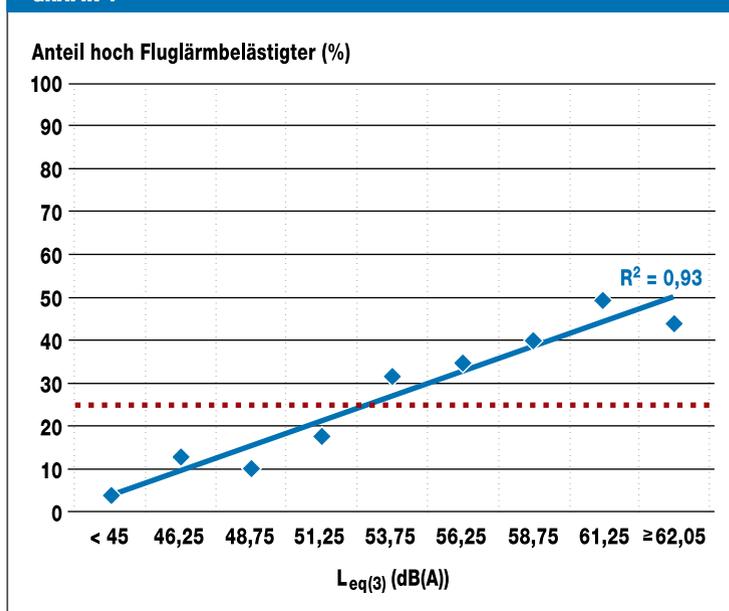
Bei einem Tagesdauerpegel von 53 dB(A) außen fühlten sich 25 % der Anwohner hochgradig belästigt. Dieser Prozentsatz wird in der Rechtsprechung als Beginn einer erheblichen Belästigung angesehen (e13). Der Vergleich der 25 %-Belästigungskurve von Frankfurt mit der anderer europäischer Flughäfen zeigt, dass die Frankfurter Werte im mittleren Bereich neuerer Untersuchungen liegen. Eine starke Überbewertung des Lärms durch den erwarteten Ausbau ist demnach nicht anzunehmen (Grafik 5). Der Fluglärm wurde in der Nacht und in den Randstunden, also morgens und abends, als besonders lästig empfunden. Darüber hinaus wurde Fluglärm an den Wochenenden als lästiger erlebt als während der Woche (19) (Grafik 5).

Die Grenze zur erheblichen Belästigung liegt heute bei deutlich niedrigeren fluglärmbedingten Dauerschallpegeln als in früheren Studien. Guski et al. haben bereits 2004 darauf hingewiesen, dass sich der Dauerschallpegel bei gleicher Belästigung in den Jahren von 1960 bis 1995 um circa 8 dB(A) vermindert hat (20). Heute liegt die Grenze, bei der sich 25 % der Durchschnittsbevölkerung hochgradig belästigt fühlen um weitere circa 8 dB(A) niedriger. Als Ursachen für diese Absenkung werden hohe Bewegungszahlen, Sensibilisierung infolge jahrelanger Belastung sowie die verfeinerte Methodik der Untersuchungen diskutiert.

## Nächtlicher Lärm

Eine behandlungsbedürftige Blutdruckerhöhung war in der HYENA-Studie signifikant mit einem nächtlichen Flugverkehrsdauerschallpegel ab 40 bis 44 dB(A) assoziiert, im Vergleich mit einer Belastung von unter 35 dB(A). Bei Erikson (9) war in der Probandengruppe im Alter von 40 bis 60 Jahren eine Risikoerhöhung mit einem nächtlichen Fluglärmpegel ab etwa 40 dB(A) assoziiert, unter der Annahme von Nachtfluganteil 8 %, Abendfluganteil 20 %. Die Kölner Medikamentenstudie erbrachte ähnliche Schwellenwerte. Hier stand eine signifikante Zunahme der Verordnungen an blutdrucksenkenden Medikamenten bei

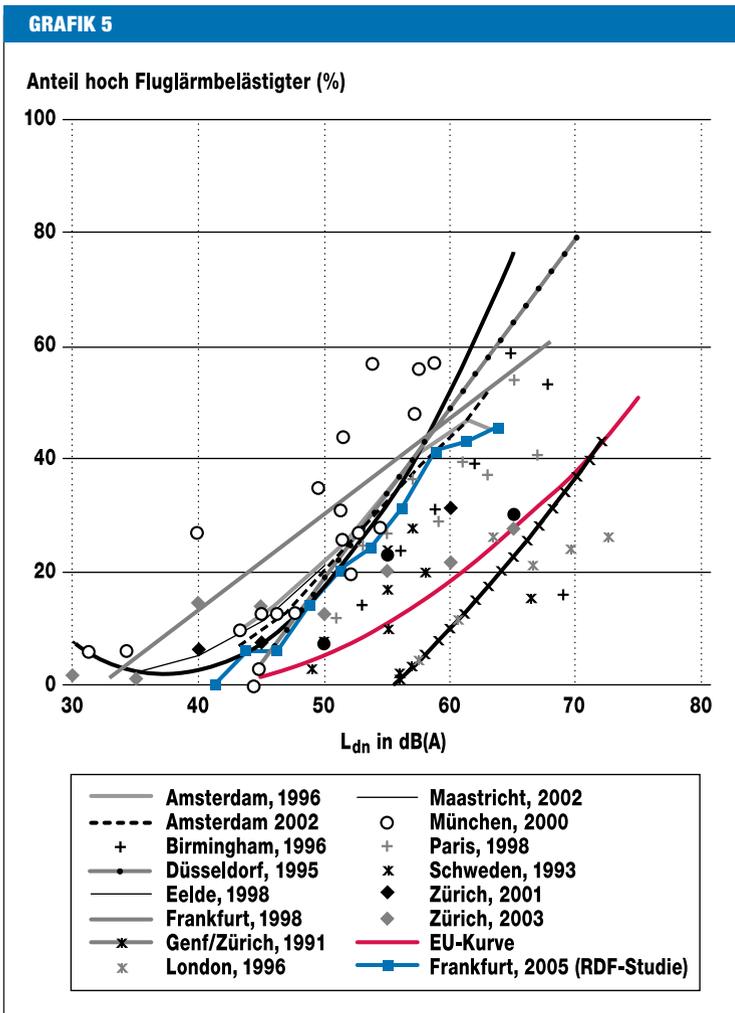
GRAFIK 4



Anteil hochgradig Fluglärm-belästigter in Abhängigkeit vom Tages-Dauerschallpegel ( $L_{eq, 16h}$ ) berechnet nach der 100%-Regel (19). Bei der 100%-Regel wird eine Umhüllende aus den Lärmwerten bei Ost- und Westbetrieb der sechs verkehrsreichsten Monate (in Frankfurt in der Regel Mai bis Oktober) gebildet. Es ist eine Darstellung des jeweils ungünstigsten Falles (Worst-Case-Situation) einer mittleren Ost- und einer mittleren Westsituation, unabhängig von der Häufigkeit des Auftretens. Die Probanden antworteten auf die Frage: „Wie stark haben Sie sich in den letzten 12 Monaten durch den Fluglärm insgesamt gestört oder belästigt gefühlt?“. Als hochgradig belästigt wurden Personen bezeichnet, die einen Wert in den oberen 28 % der Befragungsskala von „gar nicht“ bis „äußerst“ angaben. Der Schnittpunkt der durchgezogenen Linie mit der gestrichelten Linie markiert den zugehörigen Pegelbereich, bei dem sich 25 % der Befragten als hochgradig fluglärm-belästigt einstufen. Die Spannweite der Pegelklassen betrug 1,25 dB(A).  $R^2$  ist das Quadrat des Korrelationskoeffizienten  $r$  und ist ein Maß für die Enge der Korrelation, wobei 1 der höchste erreichbare Wert ist (18).

Frauen bereits im Bereich von 40 bis 45 dB(A) nachts sowie von 46 bis 61 dB(A) bei Männern mit einer Exposition zwischen 3 und 5 Uhr in Verbindung. Die Gesundheit wird demnach spätestens bei einem nächtlichen Fluglärm-Dauerschallpegel von 50 dB(A) beeinträchtigt. Ab diesem Wert sind organische Erkrankungen und Funktionsstörungen mit positiver Dosis-Wirkungs-Beziehung zu erwarten. In Analogie zu anderen Umwelttoxinen muss von diesem Pegel ein gewisser Sicherheitsabstand gewahrt werden. Im Jahr 2001 wurde von der großen Mehrheit der deutschen Lärmforscher (21) als prophylaktischer Wert ein Nachtpegel von 45 dB(A) empfohlen. Die neuen epidemiologischen Studien bestätigen diese Einschätzung.

Während früher eine nächtliche Gesundheitsgefährdung anhand von Aufwachreaktionen beurteilt wurde, muss heute das mit dem Nachtlärm verbundene vermehrte Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen in den Vordergrund gerückt werden (2). Die Beurteilung der Gefährdung nur anhand von Aufwachreaktionen ist nicht zulässig, weil damit langfristige Gesundheitsschäden nicht ausgeschlossen werden können (2).



Dosis-Wirkungs-Daten von 11 Studien zum Anteil hoher Fluglärm-belästigung (18, e17). Es wurden Studien ausgewählt, die unter Zugrundelegung von  $L_{dn}$ -Pegeln durchgeführt wurden. Der  $L_{dn}$  ist ein 24-h-Dauerschallpegel, bei dem der Dauerschallpegel in der Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr) einen Zuschlag von 10 dB erhält.

**Lärm während des Tages**

Auch für die Lärmbelastung am Tage sind Assoziationen feststellbar. Eine vermehrte Einnahme blutdrucksenkender Medikamente war in der Pegelklasse  $L_{eq}$ , 16 h bei circa 57,5 bis 61,5 dB(A) tagsüber signifikant (11). Die Einschränkung kognitiver Fähigkeiten von Schulkindern war dosisabhängig und begann bei Fluglärm-dauerschallpegeln oberhalb von 45 dB(A) außerhalb von Gebäuden (16). Fluglärmpegel, die bei 25 % der Durchschnittsbevölkerung zu hochgradiger Belästigung führen, gelten in Deutschland als obere Grenze der zumutbaren Lärmbelastung. In der Frankfurter Studie zur Lärmbelästigung wurde die Grenze zur erheblichen Belästigung bei einem Tagesdauerschallpegel von 53 dB(A) ermittelt. Die Gefahr gesundheitlicher Beeinträchtigungen beginnt damit spätestens bei Dauerschallpegeln von 60 dB(A) tagsüber. Tagesrandzeiten sind in der Empfindlichkeit zwischen den Tag- und den Nachtwerten einzustufen.

**Diskussion**

Die ermittelten Richtwerte stehen in Übereinstimmung mit Befunden und Empfehlungen der deutschen und internationalen Lärmforschung (2, 21). Ein Publikationsbias ist nach Ansicht der Autoren unwahrscheinlich, weil die großen Studien in der Regel schon während ihrer Durchführung, bevor Resultate ermittelt wurden, bekannt sind. Wesentliche Abweichungen zeigt die im Auftrag der Frankfurter Flughafengesellschaft erstellte „Synopsis“ (22, 23). Da bei juristischen Abwägungen diese zusammenfassende Beurteilung häufig als aktueller Stand des Wissens angesehen wird, ist in der *Tabelle 3* ein Vergleich mit den aktuellen epidemiologischen Befunden dargestellt.

Die „Synopsis“ geht unter anderem von folgenden Definitionen aus:

- Ein kritischer Toleranzwert besagt, dass Gesundheitsgefährdungen oder -beeinträchtigungen nicht mehr auszuschließen sind.
- Ein präventiver Richtwert definiert, wann Gesundheitsgefährdungen weitgehend auszuschließen sind (*Tabelle 3*).

In ihrer Publikation von 2007 sehen die Autoren der Frankfurter „Synopsis“ keinen Grund dafür, von den früheren Angaben abzuweichen (23).

Die höheren Werte einer noch akzeptablen Lärmexposition erklären sich größtenteils dadurch, dass dort weiterhin die weniger geeigneten, meist alten Laborstudien und das Auftreten nächtlicher Aufwachreaktionen als maßgeblich herangezogen wurden. Aufgrund der neuen epidemiologischen Studien dürfen zur weitgehenden Vermeidung von Gesundheitsschäden Tagesdauerschallpegel in Wohngebieten im Außenbereich von 60 dB(A) und Nachtpegel von 50 dB(A) nicht überschritten werden. Empfindliche Gruppen, besonders Kinder, Ältere und chronisch Kranke, können schon unterhalb des von Durchschnittsmenschen tolerierten Pegels betroffen sein. Ein prophylaktischer Wert von außen 55 dB(A) tags und 45 dB(A) nachts ist daher aus ärztlicher Sicht anzustreben. Bei etwa 55 dB(A) am Tag ist davon auszugehen, dass sich 25 % hochgradig belästigt fühlen.

Die Belästigung des wachen Menschen kann nur durch eine Verminderung des Fluglärms verhindert werden (18, 19). Das Gleiche gilt vermutlich für die Verhütung organischer Erkrankungen und von Lernstörungen. Maßnahmen des passiven Lärmschutzes wie schalldichte Fenster reichen nicht aus. Auch muss das Schlafen mit geschlossenen, schalldichten Fenstern als hygienisch bedenklich angesehen werden (24). Die Luftwechselraten streben bei geschlossenen Fenstern gegen null. Die Normen DIN 1946-2 und DIN 1946-6 legen als Obergrenze für CO<sub>2</sub>-Konzentration in Wohnräumen 0,15 Volumenprozent (1 500 ppm) fest (e14–e16). Dieser Wert wird bei geschlossenen Fenstern schon nach den ersten Schlafstunden überschritten (*Kasten 2*).

Gesundheitsgefährdungen durch Fluglärm lassen sich am sichersten aus epidemiologischen Feldstudien erkennen. Die Untersuchungen der letzten Jahre

**TABELLE 3**

**Gegenüberstellung von Frankfurter „Synopsis“ und epidemiologischen Befunden**

Synopsis 2001/2007		Epidemiologische Befunde 2000–2007	
<b>Schutzziel: Gesundheit</b>			
kritischer Toleranzwert 6 bis 22 Uhr außen	70 dB(A)	65 dB(A)	bei Männern mit Wohndauer > 10 Jahre signifikant erhöhtes Infarktrisiko bei Tages-Dauerschallpegeln von Straßenlärm > 65 im Vergleich mit < 65 dB(A) (4)
kritischer Toleranzwert 22 bis 6 Uhr außen	–	50 dB(A)	obere Grenze der ersten signifikanten Pegelklasse bei 44 dB(A) nach (10). In der Nachtzeit von 3–5 h signifikante Zunahme der Verschreibung blutdrucksenkender Medikamente bei Frauen ab 40–45 dB(A), bei Männern ab 46–61 dB(A) (13)
präventiver Richtwert 6 bis 22 Uhr außen	65 dB(A)	60 dB(A)	Beginn der Risikoerhöhung für Myokardinfarkt bei 60 dB(A) Straßenlärm (5). Bei 55 dB(A) FBN Fluglärm signifikante Erhöhung der Hypertoniehäufigkeit (8); bei 50 dB(A) FBN Fluglärm für vulnerable Gruppe (9)
präventiver Richtwert 22 bis 6 Uhr außen	–	45 dB(A)	untere Grenze der ersten signifikanten Pegelklasse bei 40 dB(A) (10). Bei 50 dB(A) Blutdruckerhöhung in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer (14). In der Nachtzeit von 3–5 h signifikante Zunahme der Verschreibung blutdrucksenkender Medikamente bei Frauen ab 40–45 dB(A) (13).
<b>Schutzziel: Vermeidung erheblicher Belästigung</b>			
kritischer Toleranzwert 6 bis 22 Uhr außen	65 dB(A)	55 dB(A)	obere Grenze der Pegelklasse mit 25 % hochgradig Belästigten (19)
präventiver Richtwert 6 bis 22 Uhr außen	62 dB(A)	52,5 dB(A)	untere Grenze der Pegelklasse mit 25 % hochgradig Belästigten (19)
<b>Schutzziel: Vermeidung von Lernstörungen</b>			
kritischer Toleranzwert Schulzeit	–	55 dB(A) außen	obere Grenze der Pegelklasse mit signifikant erhöhter Belästigung gegenüber 35–40 dB(A). Deutliche Einschränkung der „reading comprehension“ (16)
präventiver Richtwert Schulzeit	40 dB(A) innen entspr. 55 dB(A) außen	50 dB(A) außen	untere Grenze der Pegelklasse mit signifikant erhöhter Belästigung gegenüber 35–40 dB(A). Spätester Beginn der Einschränkung von Leseverständnis (16)

FBN, 24-h-Dauerschallpegel

zeigen deutlich niedrigere Richtwerte für Gesundheitsgefährdungen, Lernstörungen und Belästigungen als frühere Annahmen, die auch dem Fluglärmgesetz zugrunde liegen. Vor diesem Hintergrund muss aus ärztlicher Sicht vor einer weiteren Zunahme der Volkskrankheit Hypertonie durch Lärm gewarnt werden.

**Interessenkonflikt**

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

**Manuskriptdaten**

eingereicht: 10. 7. 2007, revidierte Fassung angenommen: 19. 3. 2008

**LITERATUR**

- Basner M, Samel A, Isermann U: Aircraft noise effects on sleep: application of the results of a large polysomnographic field study. *J Acoust Soc Am* 2006; 119: 2772–84.
- WHO Night Noise Guideline –Team of experts: Short term effects of transportation noise on sleep with specific attention to mechanism and possible health impact. Report on the second meeting on night noise guidelines. World Health Organization Regional Office for Europe, 2004.
- Babisch W: Traffic noise and cardiovascular disease: epidemiological review and synthesis. *Noise Health* 2000; 2: 9–32.
- Babisch W, Beule B, Schust M, Kersten N, Ising H: Traffic noise and risk of myocardial infarction. *Epidemiology* 2005; 16: 33–40.
- Babisch W (Hrsg.): Transportation noise and cardiovascular risk. Review and synthesis of epidemiological studies – dose-effect curve and risk estimation. WaBoLu-Hefte 01/06, Umweltbundesamt Berlin, 2006.
- Graff C, Bockmühl F, Tietze V: Lärmbelastung und arterielle (essentielle) Hypertoniekrankheit beim Menschen. In: Nitschkoff S, Kriwizkaja G: Lärmbelastung, akustischer Reiz und neurovegetative Störungen. Stuttgart: Georg-Thieme Verlag, 1968; 112–26.
- Zipes DP, Libby P, Bonow RO, Braunwald E: Heart disease. 7<sup>th</sup> ed, Philadelphia: Elsevier Saunders 2005.
- Rosenlund M, Berglund N, Pershagen G, Järup L, Bluhm G: Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise. *Occup Environ Med* 2001; 58: 769–73.
- Eriksson C, Rosenlund M, Pershagen G, Hilding A, Ostenson C-G, Bluhm G: Aircraft noise and incidence of hypertension. *Epidemiology* 2007; 18: 716–72.
- Jarup L, Babisch W, Houthuijs D et al.: Hypertension and exposure to noise near airports – the HYENA study. *Environmental health perspectives*. 2008; 116: 329–33.

11. Öhrström E, Barregård L: Undersökning av hälsoeffekter av buller från vägtrafik, tag och flyg i Lerums kommun (Untersuchung von Gesundheitsbeeinträchtigungen hervorgerufen durch Straßenverkehrs-, Zug- und Fluglärm in der Gemeinde Lerum). Technical Report, Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum & Sahlgrenska akademien. Gothenburg, Sweden, 30. 5. 2005.

12. Franssen EAM, van Wiechen CMAG, Nagelkerke NJD, Lebrecht E: Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. *Occup Environ Med* 2004; 61: 405–13.

13. Greiser E, Greiser C, Janhsen K: Night-time aircraft noise increases prevalence of prescriptions of antihypertensive and cardiovascular drugs irrespective of social class – the Cologne-Bonn Airport study. *J Public Health* 2007; 15: 327–37.

14. Aydin Y, Kaltenbach M: Noise perception, heart rate and blood pressure in relation to aircraft noise in the vicinity of Frankfurt airport. *Clin Res Cardiol* 2007; 96: 347–58.

15. Stansfeld SA, Berglund B, Clark C et al.: Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet* 2005; 365: 1942–9.

16. Bullinger M, Gray WE, Hygge S, Evans G: Chronic noise and psychological stress. *Psychological Science* 1995; 6: 333–8.

17. Miedema, HME, Vos H: Exposure-response relationships for transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1998; 104: 3432–45.

18. Schreckenber D, Meis M: Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens. Gutachten im Rahmen des Regionalen Dialogforum Flughafen Frankfurt. ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung, Bochum; Hörzentrum Oldenburg GmbH, Oldenburg, 30. 6. 2006.

19. Schreckenber D: Stellungnahme zum Antrag der Landesregierung betreffend Verordnung über die Änderung des Landesentwicklungsplans (LEP) Hessen 2000 – Erweiterung Flughafen Frankfurt/Main (Drucksache 16/6057). Bochum: ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung, 2007.

20. Guski R, Ising H, Jansen G et al.: Fluglärm 2004. Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt. Berlin 2004.

21. Bartels KH, Ising H (Hrsg.): Nachtflyglärmproblematik. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene Berlin: Eigenverlag WaBoLu 2001; Band 111.

22. Griefahn B, Jansen G, Scheuch K, Spreng M: Synopse im Auftrag der Fraport AG 2001. Dieselben: Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept bei wesentlichen Änderungen oder Neuanlagen von Flughäfen/Flugplätzen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 2002; 49: 171–5.

23. Scheuch K, Spreng M, Jansen G: Fluglärmkonzept der so genannten Synopse auf dem Prüfstand neuer Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung sowie gesetzlicher Rahmenbedingungen. *Lärmbekämpfung* 2007; 2: 135–42.

24. Klinke R, Klinke O: Schlafen bei geschlossenen Fenstern – ein angemessener Schutz vor Fluglärm? *Hessisches Ärzteblatt* 2005; 66: 242–3.

25. Ekardt F, Seidel J: Fluglärm zwischen neuerer Rechtsprechung, aktueller Bundesgesetzgebung und dem Europarecht, *Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht* 2007, 423: 421–4.

**Anschrift für die Verfasser**

Prof. Dr. med. Martin Kaltenbach  
Falltorweg 8  
63303 Dreieich  
E-Mail: martinkaltenbach@arcor.de

**SUMMARY**

**Health Consequences of Aircraft Noise**

**Introduction:** The ever-increasing level of air traffic means that any medical evaluation of its effects must be based on recent data. **Methods:** Selective literature review of epidemiological studies from 2000 to 2007 regarding the illnesses, annoyance, and learning disorders resulting from aircraft noise. **Results:** In residential areas, outdoor aircraft noise-induced equivalent noise levels of 60 dB(A) in the daytime and 45 dB(A) at night are associated with an increased incidence of hypertension. There is a dose-response relationship between aircraft noise and the occurrence of arterial hypertension. The prescription frequency of blood pressure-lowering medications is associated dose-dependently with aircraft noise from a level of about 45 dB(A). Around 25% of the population are greatly annoyed by exposure to noise of 55 dB(A) during the daytime. Exposure to 50 dB(A) in the daytime (outside) is associated with relevant learning difficulties in schoolchildren. **Discussion:** Based on recent epidemiological studies, outdoor noise limits of 60 dB(A) in the daytime and 50 dB(A) at night can be recommended on grounds of health protection. Hence, maximum values of 55 dB(A) for the day and 45 dB(A) for the night should be aimed for in order to protect the more sensitive segments of the population such as children, the elderly, and the chronically ill. These values are 5 to 10 dB(A) lower than those specified by the German federal law on aircraft noise and in the report "synopsis" commissioned by the company that runs Frankfurt airport (Fraport).

*Dtsch Arztebl* 2008; 105(31–32): 548–56  
DOI: 10.3238/arztebl.2008.0548

Key words: aircraft noise, noise exposure, hypertension, myocardial infarction, environmental pollution



Mit „e“ gekennzeichnete Literatur:  
[www.aerzteblatt.de/lit08548](http://www.aerzteblatt.de/lit08548)

The English version of this article is available online:  
[www.aerzteblatt-international.de](http://www.aerzteblatt-international.de)

## ÜBERSICHTSARBEIT

# Gesundheitliche Auswirkungen von Fluglärm

Martin Kaltenbach, Christian Maschke, Rainer Klinko

## eLITERATUR

- e1. Bluhm GL; Nordling EK: Community noise and blood pressure – a review of recent Swedish studies on aircraft – and road traffic noise. Proceedings of the Internoise 2006. Honolulu, Hawaii, USA.
- e2. Jarup L, Dudley M-L, Babisch W et al.: Hypertension and exposure to noise near airports (HYENA): study design and noise exposure assessment. *Environmental Health Perspectives* 2005; 113: 1473–8.
- e3. Öhrström E, Barregård L, Andersson E, Skånberg A, Svensson H, Ångerheim P: Annoyance due to single and combined sound exposure from railway and road traffic. *J Acoust Soc Am* 2007; 122: 2642–52.
- e4. Greiser E, Janhsen K, Greiser C: Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes Nov 2006.
- e5. Evans W, Bullinger M, Hygge S: Chronic noise exposure and physiological response: A prospective study of children living under environmental stress. *Psychological Science* 1998; 9: 75–7.
- e6. Hygge S, Evans GW, Bullinger M: A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in school children. *Psychological Science* 2002; 13: 469–74.
- e7. Haines MM, Stansfeld SA, Head J, Job RFS: Multi-level modelling of aircraft noise on performance tests in schools around Heathrow, London Airport. *International Journal of Epidemiology and Community Health* 2002; 56: 139–44.
- e8. Clark C, Martin R, van Kempen E et al.: Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project. *American journal of epidemiology* 2006; VOL 163: 27–37.
- e9. Haines MM, Stansfeld SA, Brentnall S, Head J, Berry B, Jiggins M, Hygge S: The West London Schools Study: The effects of chronic aircraft noise exposure on child health. *Psychological Medicine* 2001; 31: 1385–96.
- e10. Haines MM, Stansfeld SA, Job SFR, Berglund B, Head J: Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychological Medicine* 2001; 31: 265–77.
- e11. Miedema HME: Relationships between exposure to single or multiple transportation noise sources and noise annoyance. WHO – Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health, Paper 5038933–2002/5 (2002).
- e12. Zeus GmbH: Lärmbelastigung in Hessen 2006 – Ergebnisse einer repräsentativen landesweiten Telefonbefragung. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (2006) ([www.hlug.de/medien/laerm/dokumente/Laemumfrage\\_Hessen\\_2006\\_061123.pdf](http://www.hlug.de/medien/laerm/dokumente/Laemumfrage_Hessen_2006_061123.pdf), 24.09.07).
- e13. BVerwG, Bundesverwaltungsgericht: Urteilsbegründung Planfeststellung Flughafen Schönefeld. BVerwG 4 A 1075.04.
- e14. DIN 1946-2: Raumluftechnik – Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln). Berlin: Beuth Verlag, Januar 1994.
- e15. DIN 1946-6: Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen; Anforderungen, Ausführung, Abnahme (VDI-Lüftungsregeln). Berlin: Beuth Verlag, Oktober 1998.
- e16. DIN 1946-6, Norm-Entwurf: Raumluftechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen; Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung. Berlin: Beuth Verlag, Dezember 2006.
- e17. Kempen v EEMM, Kamp v I: Annoyance from air traffic noise. Possible trends in exposure-response relationships. Report 01/2005 MGO EvK, RIVM, Bilthoven 2005.