

IMM

INTERDISZIPLINÄRE MEDIZIN



Zur Novelle des Fluglärmschutzgesetzes 2017:

**Gesundheitsschäden, Belästigungen und Lernstörungen durch Fluglärm
Stand der aktuellen Lärmwirkungsforschung und gesetzgeberische Konsequenzen**

„Schutz und Verbesserung der menschlichen Gesundheit“



www.stop-fluglaerm.de

IMPRESSUM:

Verlag (zugleich Anschrift der Verantwortlichen)
Otto Hoffmanns Verlag GmbH /
Interdisziplinäre Medizin
Arnulfstr. 10, 80335 München
Tel.: 089/54 58 45-0, Fax: 089 54 58 45-20

V.i.S.P.: Klaus Rehning
Geschäftsführer:
Dr. med. Henning Große-Nordhaus

Gesamtherstellung:
W.B. Druckerei GmbH
Dr.-Ruben-Rausing-Straße 10
65239 Hochheim am Main

Sponsoren dieser Ausgabe:
RMI Rhein-Main-Institut e.V.
Zukunft Rhein-Main
Stop-Fluglärm e.V.
c/o Gartencenter Hofmann
Bischofsweg 12, 60598 Frankfurt am Main
info@stop-fluglaerm.de

Helfen auch Sie, Umwelt, Natur und Menschen
gegen Fluglärm und Luftverschmutzung zu
schützen.

Spendenkonto der gemeinnützigen Vereine:
RMI Rhein-Main-Institut e.V.
IBAN: DE05 5008 0000 0450 0167 00
Stop-Fluglärm e.V.
IBAN: DE78 5105 0015 0156 0396 61

RMI Wissenschaftsforum in Kooperation mit Zukunft Rhein-Main

Novelle des Fluglärmschutzgesetzes

Neues Regelwerk für Fluglärm 2017

unter Berücksichtigung des Forschungsstandes und der Befunde
der Noise Related Annoyance and Health (NORAH) Studie

Montag, 11. Juli 2016, 10:00 – 16:00 Uhr

10.00 – 10.10	<i>Begrüßung</i> - 15 Jahre RMI: Beiträge zur Regional- und Lärmwirkungsforschung	<i>Prof. Dr. Martin Führ</i> Vorstand Rhein-Main-Institut
10.10 – 10.20	<i>Grußwort</i> - Fluglärm als gesundheitsgefährdende Belastung für die Stadt Frankfurt und die Rhein-Main-Region	<i>Peter Feldmann</i> Oberbürgermeister der Stadt Frankfurt
	<i>Moderation:</i> Prof. Dr. Martin Führ, Prof. Dr. Friedrich Thießen	
	I. Aktueller Stand der Lärmwirkungsforschung	
10.30 – 10.40	Belästigung und Schlafstörungen. Stand der internationalen Lärmwirkungsforschung einschl. NORAH	<i>Dr. habil. Christian Maschke</i> , Berlin
10.40 – 10.50	<i>Diskussion</i>	
10.50 – 11.00	Lernstörungen durch Fluglärm bei Schulkindern NORAH und sonstige Studien	
11.00 – 11.10	<i>Diskussion</i>	
11.10 – 11.30	Kaffeepause	
11.30 – 11.40	Veränderung der Fluglärm-Belästigung in der Zeit von 1970 bis 2014	<i>Prof. Dr. Rainer Guski</i> , Bochum
11.40 – 11.50	<i>Diskussion</i>	
11.50 – 12.00	Fluglärm und Depressionen	<i>Prof. Dr. Eberhard Greiser</i> , Musweiler
12.00 – 12.10	<i>Diskussion</i>	
12.10 – 12.20	Vermehrte Herzinfarkte durch Fluglärm? Ergebnisse von NORAH und anderen Studien	<i>Prof. Dr. Martin Röösli</i> , Basel
12.20 – 12.30	<i>Diskussion</i>	
12.30 – 12.40	Fluglärm, Bluthochdruck und Arteriosklerose - Stand der Forschung und NORAH	<i>Prof. Dr. Thomas Münzel</i> , Mainz
12.40 – 12.50	<i>Diskussion</i>	
12.50 – 13.50	Mittagspause	
	II. Schlussfolgerungen: gesetzgeberische Vorgaben für Fluglärmgrenzen	
13.50 – 14.00	Evaluation des Fluglärmschutzgesetzes 2007	<i>Thomas Myck</i> , Umweltbundesamt
14.00 – 14.10	<i>Diskussion</i>	
14.10 – 14.20	Anmerkungen zum Evidenz-Update der WHO	<i>Prof. Dr. Peter Lercher</i> , Innsbruck
14.20 – 14.30	<i>Diskussion</i>	
14.30 – 14.40	Konsequenzen für die Fluglärmgesetznovelle 2017 und die EU-Umgebungslärm-Richtlinie	<i>RA Franziska Heß</i> , Leipzig
14.40 – 14.50	<i>Diskussion</i>	
	III. Schlussbemerkungen	
14.50 – 15.00	Zusammenfassung und Schlusswort: Anpassung des Regelwerkes erforderlich?	<i>Prof. Dr. Martin Führ</i> Vorstand Rhein-Main-Institut

Ort: Bürgerhaus SAALBAU im Südbahnhof, Hedderichstraße 51, 60594 Frankfurt/Main

Veranstalter: Rhein-Main-Institut e.V. Darmstadt, stop-fluglaerm.de e.V. Frankfurt/M.

Anmeldungen an: stop-fluglaerm.de e.V., c/o Gartencenter, Bischofsweg 12, 60598 Frankfurt/M.,
eMail: kr@stop-fluglaerm.de, Fax: (069) 65 007 03 103, Telefon: (069) 65 007 03 100

Gesundheitsschäden, Belästigungen und Lernstörungen durch Fluglärm

Stand der aktuellen Lärmwirkungsforschung und gesetzgeberische Konsequenzen

Martin Kaltenbach, Christian Maschke, Franziska Heß, Hildegard Niemann & Martin Führ¹

Kurzfassung

Der Artikel bespricht die Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung hinsichtlich fluglärmbedingten gesundheitlichen Beeinträchtigungen, Belästigung sowie Lernstörungen und zeigt Konsequenzen für Behörden als auch für die Legislative auf.² Der Zusammenhang zwischen Fluglärm und einer erhöhten Häufigkeit chronischer arterieller Hypertonie ist in mehreren groß angelegten epidemiologischen Studien gezeigt worden. Die identifizierten Risiken betragen bis zu 20% pro 10 dB Zunahme des Tag-Abend-Nacht-Pegels (oberhalb von 50 dB(A)) und liegen für die nächtliche Lärmbelastung in einem Bereich von 19 bis 34% je 10 dB Zunahme (oberhalb von 30-35 dB(A)). Die ermittelten Risiken für blutdrucksenkende Medikamente waren zum Teil noch höher. Auch eine lärmbedingte Erhöhung der Schlaganfälle ist in den neueren epidemiologischen Studien dokumentiert und wird als eine Folge der Hypertonie verstanden. Das gleiche gilt für die Herzinsuffizienz. Ebenso hat sich eine Zunahme der Herzinfarkte in den neueren Studien mit großen Populationen bestätigt. Darüber hinaus zeigt die Übersichtsarbeit, dass die Belästigung durch Fluglärm in den letzten 15 Jahren erheblich unterschätzt wurde. Im Vergleich zu dem EU-Positionspapier von 2002 ist der Schallpegel bei gleichem Ausmaß der Belästigung (25% HA) mindestens 10 dB niedriger. Die Beeinträchtigung der kognitiven Leistungsfähigkeit bei Kindern, deren Schulen einer hohen Fluglärmbelastung ausgesetzt sind, wurde bis zum Jahr 2014 in zahlreichen nationalen und internationalen Studien nachgewiesen. Als Folge des gegenwärtigen Kenntnisstandes in der Lärmwirkungsforschung müssen rechtliche und politische Maßnahmen dafür Sorge tragen, dass eine Fluglärmbelastung während des 24-Stunden-Tages einen L_{den} von 50 dB(A) und während der Nacht einen L_n von 45 dB(A) nicht überschreiten.

Keywords: Lärmforschung; Hypertonie; Herzinfarkt; Schlaganfall; Gesundheitsstörungen; Ärger; Lernstörungen

Inhalt

I.	Einleitung	6
II.	Akustik und der besondere Charakter von Fluglärm	7
	A) Wie lässt sich die Lärmbelastung, einschließlich des Fluglärms, messen?	7
	B) Schutz gegen Fluglärm	8
	C) Die Wirkung von Fluglärm im Vergleich	8
III.	Systematische Auswertung der Untersuchungsergebnisse	10
	A) Allgemeine Aspekte	10
	B) Hypertonie	10
	C) Herzinfarkt	14
	D) Herzinsuffizienz (Herzschwäche)	16

¹ martinkaltenbach@arcor.de; christian.maschke@lfu.brandenburg.de; hess@baumann-rechtsanwaelte.de; hildegard.niemann@tu-berlin.de; martin.fuehr@h-da.de

² Die Erstveröffentlichung in englischer Sprache ist erschienen in: International Journal of Environmental Protection Jan. 2016, Vol. 6 Iss. 1, PP. 15-46. Die hier vorliegende deutsche Fassung ist redaktionell bearbeitet und unter Berücksichtigung der NORAH-Studie aktualisiert. Die Autoren danken Martin Röösl und Eberhard Greiser für wertvolle Hinweise.

E) Schlaganfall	16
F) Depression	18
G) Belästigung	18
1) Wirkungsbeziehungen zur Belästigung nach 2006	19
2) Schlussfolgerungen für die Belästigung durch Fluglärm	22
H) Lernstörungen	23
I. Studien vor 2006	23
II. Studien nach 2006	24
IV. Belastungsgrenzwerte aus heutiger Sicht	26
A) Feinstaubproblematik	26
B) Fluglärmbezogene Belastungsgrenzwerte	26
C) Schallpegel in Innenräumen	27
D) Schlussfolgerung zur Lärmwirkungsforschung	28
V. Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf rechtliche Vorgaben zum Lärmschutz in der Europäischen Union	28
A) Primärrechtliche Vorgaben	29
B) Die Umgebungslärmrichtlinie (UL-RL)	29
1) Vorgaben für die Mitgliedstaaten	29
2) Lärmkartierung auf Basis definierter Lärmindizes	30
3) Lärmbewertung	30
C) Umsetzung der Umgebungslärm-Richtlinie auf EU-Ebene	31
1) Das Projekt CNOSSOS-EU	31
2) Bericht der Kommission (KOM/2011/0321)	31
D) Das 7. Umweltaktionsprogramm der Europäischen Union	31
E) Rechtliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der vorliegenden Synopse	32
1) Lärmindex für Gesundheitsschutz und erhebliche Belästigung	32
2) Aktualisierung der Dosis-Wirkungskurven der EU	32
3) Umfassendere Lärmkartierung	32
4) Europäische Lärmgrenzwerte	33
5) Europäische Auslösewerte und Alarmschwellen für die Lärmaktionsplanung	33
6) Durchsetzung der Verpflichtungen der Mitgliedstaaten aus der Umgebungslärmrichtlinie	34
VI. Literatur	34

I. Einleitung

Zahlreiche Übersichtsarbeiten über die Auswirkungen von Lärm wurden in den letzten Jahren veröffentlicht [1-10]. Im Allgemeinen behandeln diese Arbeiten nur einzelne Aspekte der vielschichtigen Lärmwirkung wie Hörschäden, Gesundheitsbeeinträchtigungen, Belästigung, Schlaf- oder Lernstörungen. Eine verlässliche Beurteilung kann jedoch nur anhand einer ganzheitlichen Betrachtung der wichtigsten Lärmwirkungen vorgenommen werden.

Hörschäden können in Form einer Innenohrschädigung bei langer Einwirkungsdauer der Schallbelastung ab etwa 80 dB(A) äquivalentem Dauerschallpegel oder bei Pegelspitzen über $L_{\text{peak}} = 140$ dB(A) auftreten [11]. Im Fall des Luftverkehrs treten solche hohen Lärmbelastungen in der Regel nicht in Wohngebieten auf.

Ein Anstieg in der Häufigkeit von chronischem Bluthochdruck aufgrund lang anhaltender Lärmbelastung wurde seit 1968 in vielen Studien beschrieben [12, 13]. Als Folge einer chronischen Hypertonie treten vermehrt Herzinfarkte auf. Als Pathogenese-Mechanismus wird Stress diskutiert. Die Beeinträchtigung der Gefäßreaktionen während der Beschallung mit Fluglärm kann einen Link zur Entstehung von arteriosklerotischen Läsionen darstellen [14]. Daher erscheint ein positiver Zusammenhang mit der Lärmbelastung plausibel und wurde mehrfach in groß angelegte Studien mit statistischer Signifikanz dokumentiert. Chronischer Bluthochdruck ist darüber hinaus der vorherrschende Risikofaktor für Schlaganfälle. Jenseits der positiven Assoziation in neueren Studien ist ein kausaler Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und vermehrtem Auftreten von Schlaganfall daher medizinisch plausibel. Dies gilt auch für Herzversagen.

Eine erhöhte Häufigkeit von Depression als Folge chronischer Lärmbelastung wurde von mehreren Autoren beschrieben [6, 15-17]. Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Depressionen und der Lärmbelastung ist plausibel, wenn die Depression als ein Prozess verstanden wird, der „abhängig von internalen und externalen Bedingungen abläuft und mit der Entwicklung des Gefühls der Hilflosigkeit und Hoffnungslosigkeit verbunden ist“ [18]. In diesem Kontext kann die Fluglärmbelastung als typisch für die Entstehung einer Depression angesehen werden, insbesondere, wenn die Menschen nicht in der Lage sind, ihre Häuser zu verlassen.

Lärmbelästigung ist eine der am besten dokumentierten Lärmwirkungen. Der Dauerschallpegel, der den Beginn einer erheblichen Belästigung markiert (25% HA), ist in den letzten Jahren deutlich gesunken (z.B. [19]). Von 1960 bis 1995 ist eine Reduktion um ca. 8 dB zu verzeichnen [20]. Bis 2011 ist der Beginn der erheblichen Belästigung mindestens um weitere 8 dB (A) gesunken. Lärmbedingte Belästigung ist mit Schlafstörungen, „negativ emotionalen Reaktionen“, „vegetativ-hormonellen Regulationsstörungen“ und mit einem erhöhten Erkrankungsrisiko verbunden [21-23].

Die Stärke der lärmbedingten Schlafstörungen ist grundsätzlich abhängig von der Intensität und der Anzahl der Schallreize sowie von deren Zeitstruktur, aber ebenso von der Schlaftiefe (Schlafstadium) des Schlafers und dem Informationsgehalt des Geräusches. Ungestörter Schlaf von ausreichender Dauer ist für den Menschen eine biologische Notwendigkeit und längerfristig gestörter Schlaf ein Gesundheitsrisiko [6]. Nachtflug ist die gefährlichste Form der Fluglärmbelastung.

Leistungsbeeinträchtigungen infolge von Lärm sind fast jedem aufgrund persönlicher Erfahrung bekannt. Sie sind eine der häufigsten Ursachen von Lärmbeschwerden. Grundsätzlich können alle mentalen Leistungen und körperliche Tätigkeiten, die einer besonderen geistigen Kontrolle bedürfen, durch Lärm beeinträchtigt werden [24]. Demzufolge sind kindliche Lernstörungen infolge hoher Fluglärmbelastung an Schulen oder am Wohnort zu erwarten und wurden in wissenschaftlichen Studien nachgewiesen [25]. Eine der wichtigsten Frage hinsichtlich der lärmbedingten Lernstörungen bei Kindern ist, ob es sich nur um eine vorübergehende Einschränkung der Lernfähigkeit, die später nachgeholt werden kann, oder um eine bleibende Schädigung handelt.

II. Akustik und der besondere Charakter von Fluglärm

A) Wie lässt sich die Lärmbelastung, einschließlich des Fluglärms, messen?

Um Lärmbelastungen objektiv beschreiben und vergleichen zu können, sind definierte akustische Kenngrößen erforderlich. Die Einheit des Schalldruckpegels ist das Dezibel (dB). Im direkten Vergleich zweier Geräusche ist ein Pegelunterschied von ca. 1 dB gerade wahrnehmbar. Schall besteht aus verschiedenen Frequenzkomponenten. Die Einheit der Frequenz ist das Hertz (1 Hz = 1 Schwingung/s). Um die Wirkung auf den Menschen durch den Schalldruckpegel zu beschreiben, muss der Schalldruckpegel an das menschliche Hörvermögen angepasst werden. Das geschieht vereinfachend durch eine standardisierte Frequenzbewertung (A-Bewertung). Diese „gehörbezogene“ Frequenzbewertung wird im Formelzeichen mit dem Index A oder in Verbindung mit der Messwertangabe als dB(A) dokumentiert (A steht für auriculum, das Ohr).

In der Regel sind Umgebungsgeräusche jedoch nicht konstant, sondern ändern sich mit der Zeit. Das wichtigste Maß zur Kennzeichnung von zeitlich schwankenden Geräuschen ist der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel (vgl. [26]) der auch als Mittelungspegel (L_m) bezeichnet wird. Dieser Dauerschallpegel ist der Schallpegel eines fiktiven Dauergeräusches, das die gleiche Schallenergie enthält, wie das zeitlich schwankende Geräusch. Dementsprechend ist der Dauerschallpegel ein Einzahlwert, der ausschließlich die Auswirkungen einer Geräuschsituation im Beurteilungszeitraum beschreibt, nicht aber gehört werden kann.

Der äquivalente Dauerschallpegel ist in der Regel nicht ausreichend, um die Auswirkung einer Geräuschsituation auf den Menschen umfassend zu beschreiben, da weitere Faktoren wie Tonhaltigkeit, Impulshaltigkeit des Geräusches oder die erhöhte Empfindlichkeit in der Abend- bzw. in der Nachtzeit zu beachten sind. Diese Einflüsse werden pauschal durch Zuschläge berücksichtigt.

Akustische Parameter zur Kennzeichnung der Fluglärmexposition sind der Tag-Nacht-Pegel (L_{dn}), der in vielen internationalen Untersuchungen Verwendung findet, der Tag-Abend-Nacht-Pegel (L_{den}) der Europäischen Union (ergänzt durch L_{night}) sowie die Beurteilungspegel (L_r) für den 16-Stunden-Tag und die 8-Stunden-Nacht, die in Deutschland zur Anwendung kommen. Erschwerend kommt hinzu, dass Tag-Nacht-Pegel (L_{dn}) bzw. Tag-Abend-Nacht-Pegel (L_{den} , FBN³) nicht ohne weiteres ineinander und nicht in Beurteilungspegel (L_r) für den Tag und die Nacht umgerechnet werden können. Die

³ Der FBN ist ein schwedischer Tag-Abend-Nachtpegel.

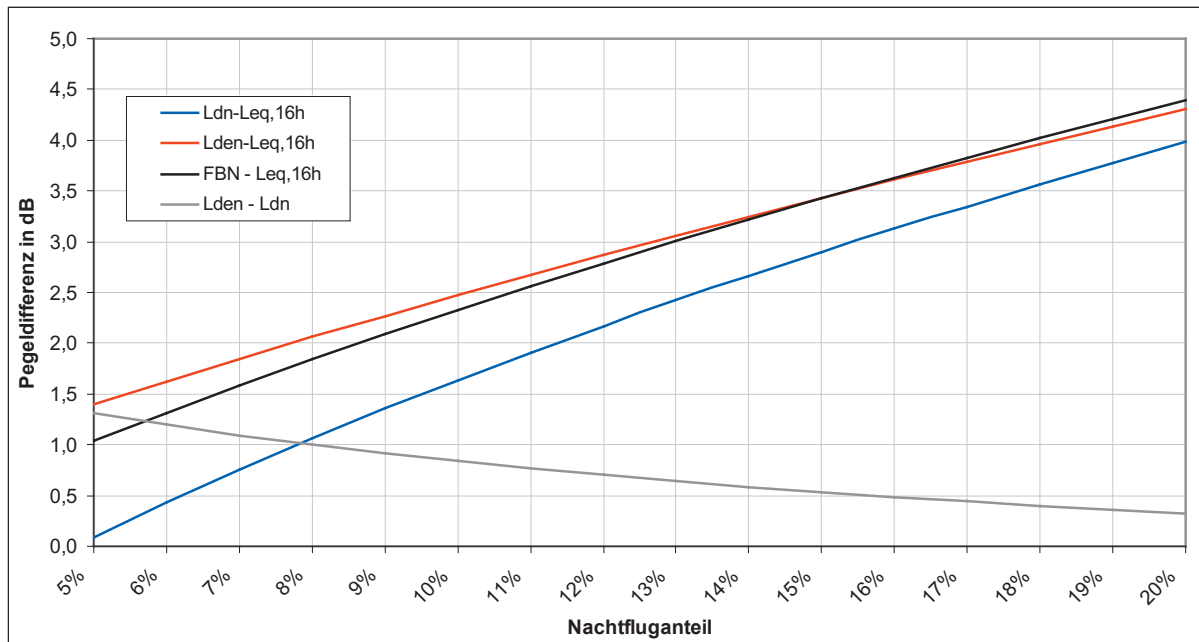


Abbildung 1: Schallpegelunterschiede zwischen L_{den} , FBN, L_{dn} und L_{Aeq} , 16 h (Y-Achse) in Abhängigkeit vom Nachtfluganteil (X-Achse). Gleicher Flugzeugmix am Tag und in der Nacht. Der Dauerschallpegel während des 4- oder 3-Stunden-Abend-Zeitraums entspricht (ohne Zuschläge) dem Dauerschallpegel für den 12-Stunden-Tag. Das Diagramm zeigt beispielsweise, dass bei einem Nachtfluganteil von 8% der L_{den} ca. 1 dB höher ist als der L_{dn} .

erforderlichen akustischen Informationen fehlen in der Regel und so können zum Vergleich von internationalen Studien oft nur Abschätzungen herangezogen werden. Solche Abschätzungen können z.B. anhand des Nachtfluganteils vorgenommen werden (siehe Abbildung 1) und kommen in Abschnitt IV zur Anwendung.

Dauerschallpegel (mit Zuschlägen) enthalten keine Information über die Zeitstruktur des Geräusches. Dies kann ein Problem für stark intermittierende Geräusche wie Fluglärm, insbesondere zur Nachtzeit sein (siehe Abschnitt IV).

Fluglärm wird in der Regel mit akzeptablen Vereinfachungen berechnet (z.B. Integrated Noise Model, 2. FlugLSV) [27]. Die Berechnungsfehler für Dauerschallpegel im näheren Umfeld der Flughäfen sind bei guten Eingangsdaten nicht größer als Fehler, die bei Messungen auftreten.

B) Schutz gegen Fluglärm

Als Schallschutzmaßnahmen werden bei Straßen- bzw. Schienenverkehr häufig Schallschutzwände zwischen Geräuschquelle und Empfänger errichtet. Bei Fluglärm ist eine solche Abschirmung i.d.R. nicht möglich, da der Fluglärm von oben kommt und häufig einen hohen Anteil an tieffrequentem Schall enthält, der schlecht abgeschirmt werden kann. Lärm-mindernde Maßnahmen an den Flugzeugen sind in der Vergangenheit durch den Anstieg der Flugbewegungen und die Verwendung von größeren Flugzeugen überkompensiert worden (siehe z.B.

[28]). Veränderte Flugrouten stellen oft nur eine Umverteilung des Fluglärms dar. Lärm-mindernde Flugverfahren wie das Gleitanflugverfahren (Continuous Descent Approach – CDA) oder steilere Endanflüge (Steeper Approaches) können nur in begrenztem Umfang angewendet werden, da sie zu Flugkapazitätsbeschränkungen führen können. Die Verwendung von hoch isolierenden Schallschutzfenstern oder Ohrschützern kann hilfreich sein, ist aber für viele Menschen mit erheblichen Unannehmlichkeiten verbunden. Bei geschlossenen Fenstern sind zur Vermeidung überhöhter CO_2 -Konzentrationen (Leitvariable für Schadstoffabfuhr) Belüftungseinrichtungen erforderlich [29]. Der häufig vorgenommene Einbau von dezentralen Zuluftgeräten ist nur dann angemessen, wenn im Rahmen einer fachkundigen Lüftungsplanung eine kontrollierte Abluftführung erfolgt und beim Einbau thermische Behaglichkeitskriterien beachtet werden (vgl. z.B. [30]).

C) Die Wirkung von Fluglärm im Vergleich mit anderen Verkehrslärmquellen

Bei gleichen Dauerschallpegeln gibt es in Bezug auf die Wirkung verschiedener Verkehrslärmquellen deutliche Unterschiede. Das zeigt sich z.B. wenn die Belästigung oder Schlafstörungen durch Fluglärm mit der Belästigung oder Schlafstörungen durch Straßenverkehrslärm und Schienenlärm verglichen wird. Bei gleichen Pegelwerten zeigt Fluglärm die höchste und Schienenlärm die geringste Beeinträchtigung, Straßenverkehrslärm liegt dazwischen. Bei Fluglärm ist darüber hinaus zu beachten, dass in jüngeren Untersuchungen (1996 bis 2006) bei gleichen

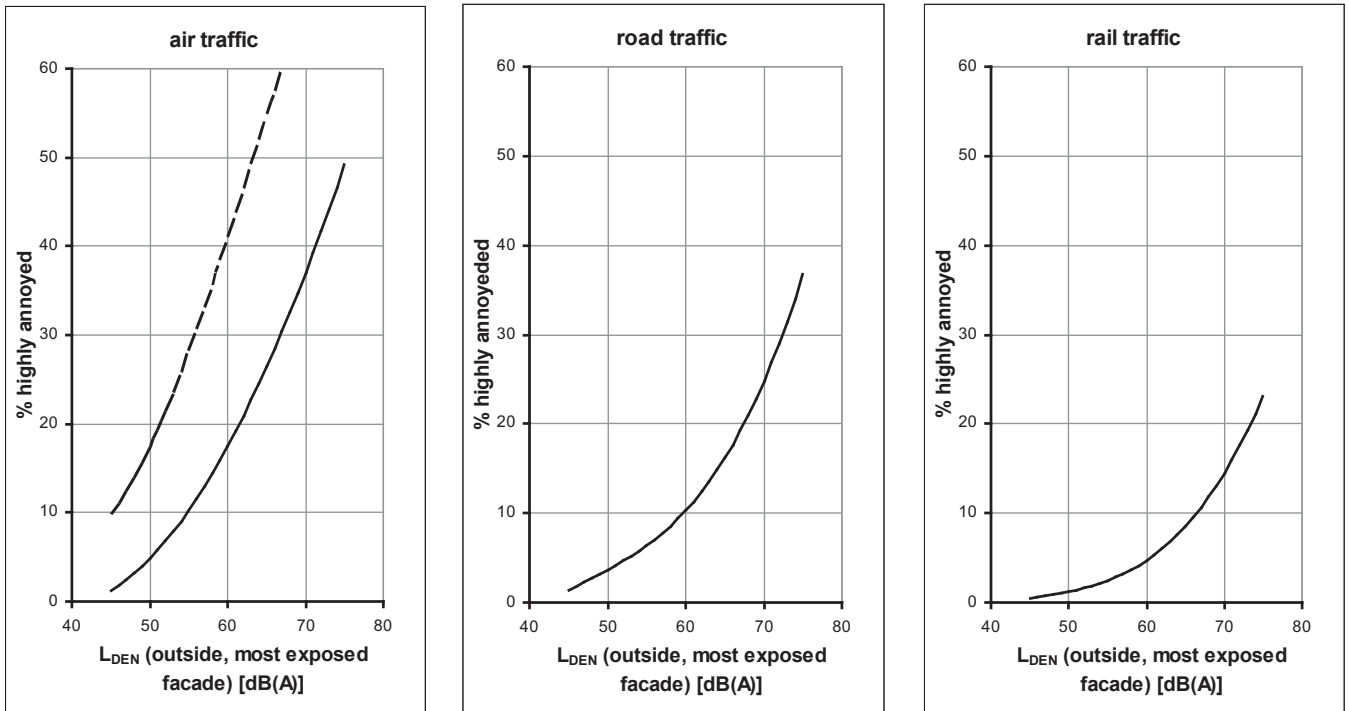


Abbildung 2: Belästigung: Exposition-Wirkungs-Beziehungen für hochgradige Belästigung (% highly annoyed) bezogen auf den Tag-Abend-Nacht-Pegel (L_{den}) der am höchsten belasteten Fassade für Flugverkehr (linke Abbildung), Straßenverkehr (mittlere Abbildung) und Schienenverkehr (rechte Abbildung) (nach [32]). Beim Flugverkehr ist zusätzlich eine Exposition-Wirkungs-Beziehung gestrichelt eingezeichnet, die nur neuere Studien berücksichtigt, die von 1996 bis 2006 publiziert wurden (nach [31])

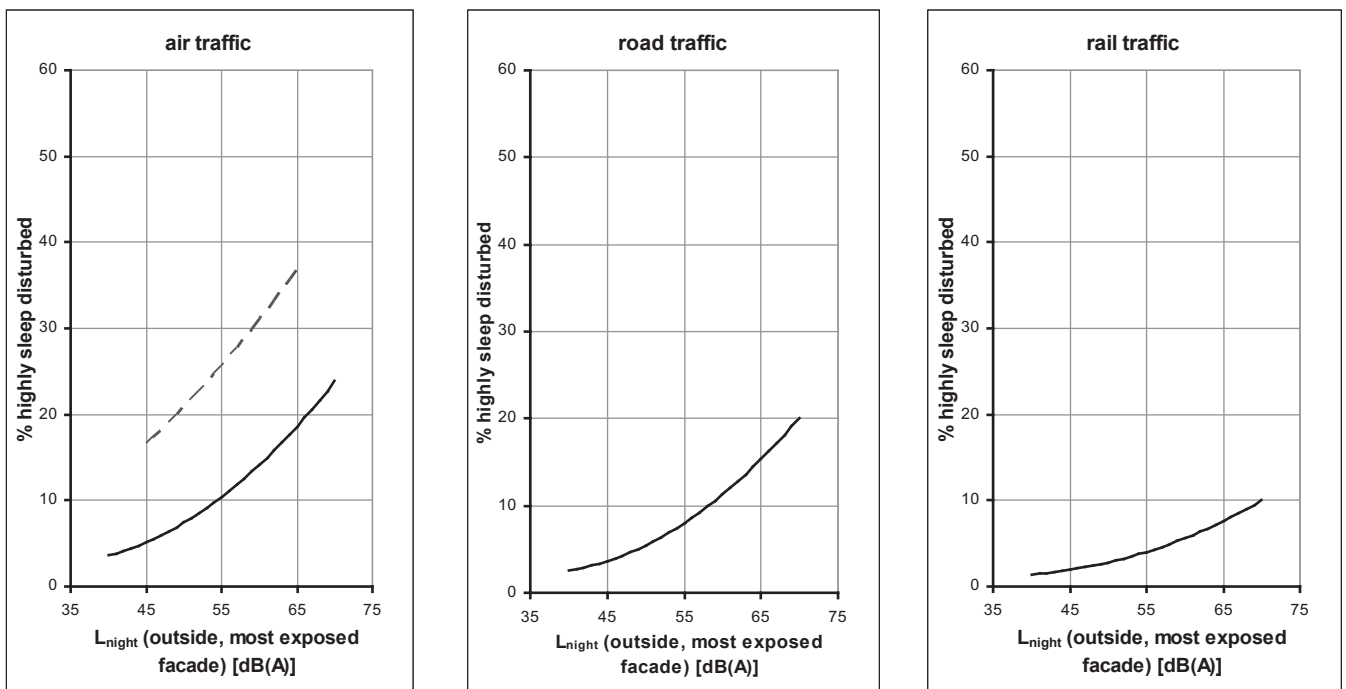


Abbildung 3: Schlafstörungen: Exposition-Wirkungs-Beziehungen für selbstberichtete hochgradige Schlafstörungen (% highly sleep disturbed) bezogen auf den Tag-Abend-Nacht-Pegel (L_{den}) der am höchsten belasteten Fassade für Flugverkehr (linke Spalte), Straßenverkehr (mittlere Spalte) und Schienenverkehr (rechte Spalte) (nach [6]). Beim Flugverkehr ist zusätzlich eine Exposition-Wirkungs-Beziehung gestrichelt eingezeichnet, die nur neuere Studien berücksichtigt, die von 1996 bis 2006 publiziert wurden (nach [31])

Pegelwerten eine deutlich höhere Beeinträchtigung vorliegt, als in älteren Untersuchungen [31]. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen Exposition-Wirkungs-Beziehungen der Europäischen Kommission (EU-Kurven) [32] und der Weltgesundheitsorganisation (Night Noise Guidelines) [6].

Die Exposition-Wirkungs-Beziehungen in Abbildung 2 und 3 machen deutlich, dass Fluglärm hinsichtlich seiner Wirkung nicht mit Straßenverkehrslärm (oder Schienenlärm) gleichgesetzt werden sollte.

III. Systematische Auswertung der Untersuchungsergebnisse

A) Allgemeine Aspekte

Die Auswirkung von Lärm auf Belästigung, Gesundheit und kognitive Leistungsfähigkeit kann verlässlich nur mit Hilfe epidemiologischer Studien im Lebensalltag der Bevölkerung ermittelt werden. Experimentelle Ergebnisse sind nur im Hinblick auf mögliche Entstehungsmechanismen von Bedeutung. Die direkte Übernahme von Laborergebnissen in die Praxis ist nicht möglich, weil viele Bedingungen, die in der realen Welt zur Lärmbelastung beitragen, nicht im Labor simuliert werden können und gesundheitliche Beeinträchtigungen häufig erst nach Jahren der Exposition auftreten.

Statistische Ergebnisse aus epidemiologischen Studien werden in der Regel als relatives Risiko (RR) oder Odds Ratio (OR) angegeben. Ein Risiko-Kennwert mit einem Wert größer als 1, zeigt einen positiven Zusammenhang zwischen dem untersuchten Risikofaktor, zum Beispiel der Lärmbelastung und dem betrachteten Gesundheitsendpunkt an. Ein statistisch signifikant erhöhtes Risiko liegt vor, wenn der Vertrauensbereich (95% CI) des Risiko-Kennwertes den Wert 1 nicht einschließt. Durch fortgeschrittene statistische Methoden kann nur das OR berechnet werden. OR und RR sind miteinander vergleichbar, wenn die Wahrscheinlichkeit zu erkranken, gering ist. Das trifft in der Regel auf umweltbedingte Risikofaktoren zu.

Ausgewertet wurden Untersuchungen (ziviler Fluglärm) an Erwachsenen, die zwischen 2000 und 2014 publiziert wurden. Gesucht wurde in den Datenbanken des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI) und PubMed mit den Stichworten „Belästigung“, „Herzkreislauferkrankungen“, „Bluthochdruck“, „Herzinfarkt“, „Schlaganfall“, „Depression“, „kognitive Leistung“ und „Lesefähigkeit“ jeweils in Kombination mit „Lärm“, in deutscher und englischer Sprache. Die Suche wurde ergänzt durch Literatur aus den Literaturverzeichnissen der relevanten Artikel und durch Literatur aus dem Bestand der Autoren. Der Fokus lag auf epidemiologischen Studien, aber auch andere Untersuchungen wurden be-

rücksichtigt, wenn sie die Grundlagenforschung betrafen oder dazu geeignet waren, die epidemiologischen Befunde besser zu verstehen. Relevante Artikel die veröffentlicht wurden während die Übersichtsarbeit entstand, wurden ebenso wie die Ergebnisse der NORAH-Studie einbezogen. Ausgeschlossen wurden Arbeiten mit den Begriffen occupational, work und tinnitus. In einem weiteren Schritt wurden Arbeiten ausgeschlossen, die offensichtlich keinen Bezug zur Fragestellung aufwiesen oder aufgrund von Design (Aussagefähigkeit) bzw. Größe (Vermeidung zufälliger Fehler) nicht in Betracht kamen. Es wurde darauf geachtet, dass möglichst alle Untersuchungen mit negativen Ergebnissen eingeschlossen wurden.

B) Hypertonie

Pathophysiologisch wird die Entstehung einer lärmbedingten Hypertonie als Folge gestörter Erholungsprozesse angesehen. Wenn die Regulationsfähigkeit des Organismus erschöpft ist, kommt es zur bleibenden Blutdruckerhöhung. Die Bluthochkrankheit als Folge von chronischem Lärmstress tritt häufig erst nach einer Exposition von 5 bis 15 Jahren auf [12, 33]. Die chronische arterielle Hypertonie betrifft einen großen Teil der Bevölkerung und ist ein wichtiger Risikofaktor für Herzinfarkt und Schlaganfall. [34] Weil es sich um eine „Volkskrankheit“ handelt, ist auch eine prozentual geringe Zu- oder Abnahme von großer praktischer Bedeutung.

Rosenlund fand 2001 mithilfe adressgenauer Fluglärmexpositionen für 2.959 Erwachsene (Resp.-Rate > 70%) eine signifikante Assoziation (OR 1,6 95% CI 1,0-2,5) zwischen der Zunahme von Hypertonie und dem schwedischen Tag-Abend-Nacht-Pegel (FBN) über 55 dB(A) sowie bei Maximalpegeln über 72 dB(A) im Umfeld des Flughafens Stockholm-Arlanda [35].

Eine schwedische Untersuchung von Öhrström et al. zeigte eine enge Assoziation zwischen Lärmpegel, Hypertonie und der vermehrten Einnahme blutdrucksenkender Medikamente [36]. Aus einer Zufallsstichprobe wurden 1.953 Probanden im Alter von 18 bis 75 Jahren untersucht. Die Response-Rate lag bei 71%. Alle Probanden waren durch einen verkehrsbedingten Dauerschallpegel (Straße, Schiene, Flugverkehr) über 24 h von mindestens 45 dB(A) belastet. Die Fluglärmbelastung ($L_{eq,24h} = 45-70$ dB(A)) wurde adressgenau ermittelt (GIS-Technik) und mit erfragten ärztlichen Endpunkten abgeglichen. Für Männer ergaben sich monoton-steigende Exposition-Wirkungs-Beziehungen sowohl für die Hypertonie-Diagnosen als auch für die Einnahme von Antihypertensiva. Bei den Hypertonie-Diagnosen war die erste signifikante Pegelklasse (ausgehend vom niedrigsten Pegel) bei $L_{eq,24h} = 60-70$ dB(A) zu verzeichnen (OR 4,0 95% CI 1,3-13), bei den Antihypertensiva bei $L_{eq,24h} = 55-60$ dB(A) (OR 2,7 95%CI 1,1-6,6). Es ist zu beachten, dass die oberen Pegelklassen in dieser Teilauswertung nur gering besetzt waren.

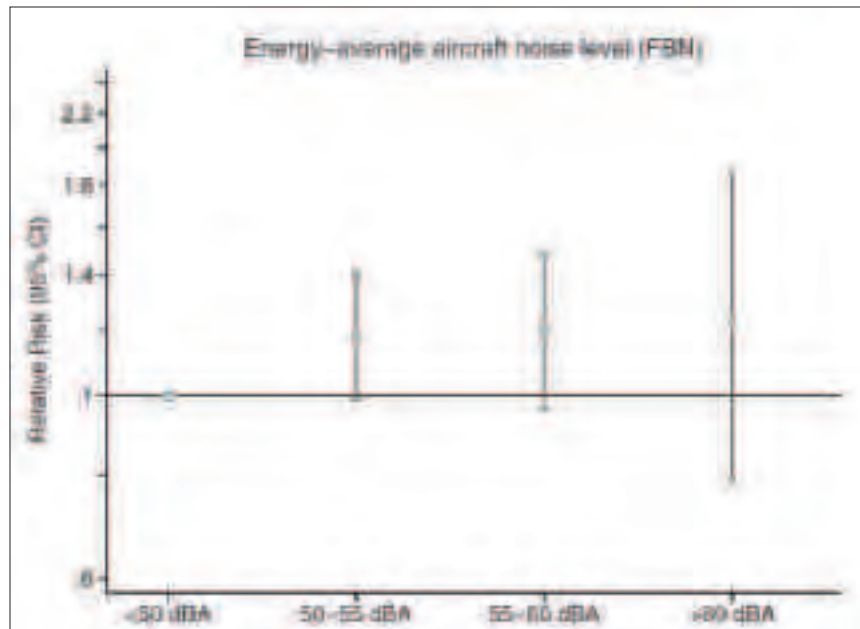


Abbildung 4: Relative Risken für Hypertonie bei Männern in Stockholm in Abhängigkeit vom Tag-Abend-Nacht-Pegel (FBN) kontrolliert für Alter und BMI. Die Fehlerbalken bezeichnen 95% CIs für die kategoriale Analyse [41]

Einen erhöhten Medikamentenverbrauch, der mit Fluglärm-belastung assoziiert war, ergab auch eine Niederländische Untersuchung mit 11.812 Teilnehmern (Response-Rate 39%). In dieser Studie wurde die Exposition anhand von Postleitzahlen allerdings nur grob erfasst [37]. Die deutlichste Zunahme des Medikamentenverbrauch war hier mit dem Tag-Abend-Nacht-Pegel 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 [38]. Die Studie ergab signifikante Beziehungen zwischen der Intensität des Fluglärms und der pro Patient verordneten Anzahl blutdrucksenkender Medikamente. Die Zunahme der Medikamentenverordnungen korrelierte mit dem nächtlichen Fluglärm zwischen 3 und 5 Uhr am deutlichsten, 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 43 dB(A) signifikant um 29% und in dem Pegelbereich von 48 bis 61 dB(A) signifikant um 48% häufiger verordnet. Für Männer betrug die signifikante Zunahme der Verordnungen 12% bei Dauerschallpegeln von 40 bis 43 dB(A) und 32% bei 48 bis 61 dB(A) [39].

Bezüglich der Vorstadien einer chronischen Blutdruckkrankheit zeigte eine Zeitreihenstudie im Umkreis des Frankfurter Flughafens, dass auch in dem noch physiologischen Blutdruckbereich ein Zusammenhang zwischen Fluglärm und dem mor-

gendlichen Blutdruck besteht [40]. Es wurden drei 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 mmHg statistisch signifikant höheren Blutdruck als in der Ostgruppe.

Eriksson et al. untersuchten in Schweden 2.037 Männer in der Altersgruppe von 40-60 Jahren über einen Zeitraum von 10 Jahren hinsichtlich von Hypertonie-Neuerkrankungen (Inzidenz) [41]. Der Hypertoniebefund wurde durch wiederholte ärztliche Untersuchungen, einschließlich Blutdruckmessungen erhoben und durch Befragungen über kardiovaskuläre Behandlungen sowie Risikofaktoren ergänzt. Eine Fluglärmbelastung über 50 dB(A) (FBN) war mit einem signifikant um 19% erhöhten Hypertonierisiko verbunden (RR 1,19 95% CI 1,11-1,50) (vgl. Abbildung 4).

Die besondere Bedeutung der nächtlichen Lärmbelastung für die Entwicklung einer Hypertonie kann der HYENA-Studie entnommen werden [42]. 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 adressbezogen erhoben. Der Blutdruck wurde durch wiederholte Messungen ermittelt und durch Befragungen über kardiovaskuläre Behandlungen ergänzt.

Die alters- und geschlechtskorrigierte Hypertonieprävalenz lag in den beteiligten Ländern zwischen 49 und 57%. Die Chance

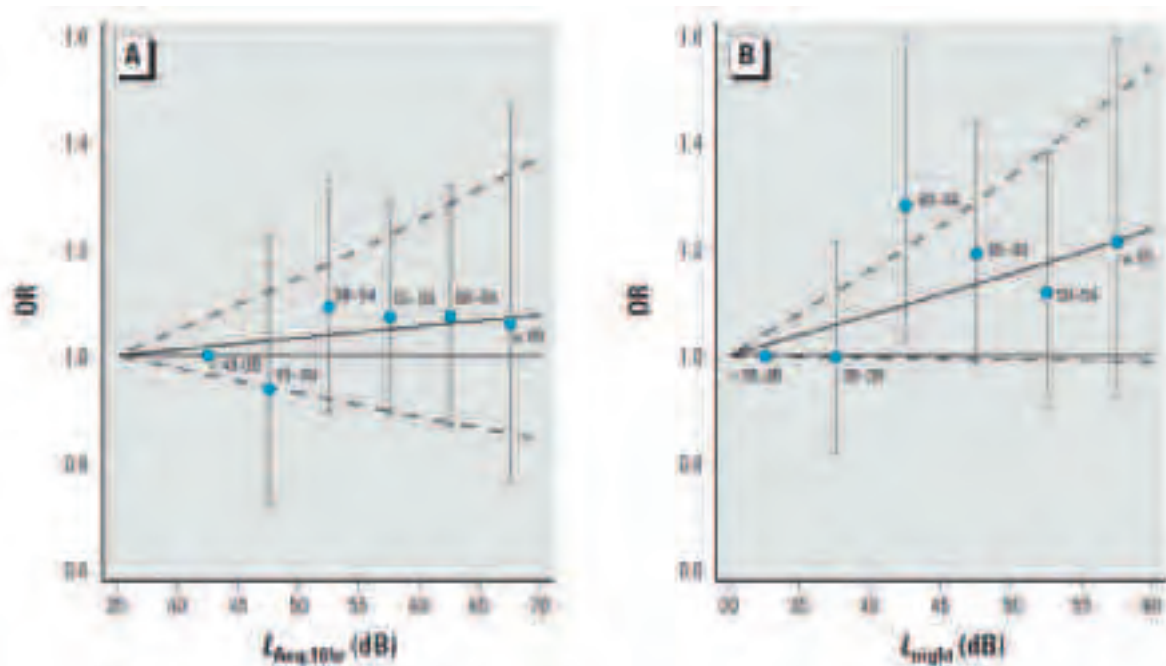


Abbildung 5: Odds Ratios für Hypertonie in Abhängigkeit vom Dauerschallpegel (5 dB Kategorien) für den Tag ($L_{Acq,16\text{ hr}}$) [A] sowie in Abhängigkeit vom Dauerschallpegel für die Nacht (L_{night}) [B], kontrolliert für Land, Alter, Geschlecht, BMI, Alkoholeinnahme, Bildung sowie Bewegung. Die Fehlerbalken kennzeichnen die 95% Vertrauensbereiche für die kategorische Analyse (5 dB-Klassen), die durchgezogenen und gestrichelten Linien zeigen die ORs und entsprechende 95% Vertrauensbereiche für die kontinuierliche Analyse [42]

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 in dem Pegelbereich von 40 bis 44 dB(A). Für Dauerschallpegel am Tage stieg die Chance zu erkranken ebenfalls an. Dieser Anstieg war jedoch statistisch nicht signifikant. Die wesentlichen Ergebnisse enthält Abbildung 5.

Eine italienische Studie fand in einer kleinen Studiengruppe keinen statistisch bedeutsamen Zusammenhang zwischen der adressgenauen 24-Stunden-Fluglärmbelastung (> 75 dB(A) vs. < 65 dB(A)) und Hypertonie (RR 0.72, 95% CI 0.36-1.45) [43]. Untersucht wurden 578 Erwachsene im Alter von 45 bis 70 Jahren, die für mindestens fünf Jahre im Studienbereich gelebt hatten. Die Response-Rate lag bei 50%. Die Auswertemethodik (adjusted regression models) bleibt unklar und Kontrollvariablen wurden außer dem Straßenverkehr (indirekt) nicht eingesetzt oder mitgeteilt.

In einer weiteren schwedischen Studie konnte in der Gesamtstichprobe der Effekt einer adressgenauen Fluglärm-Belastung auf das Hypertonie-Risiko nicht gesichert werden [22]. In dieser Studie wurden die Hypertonie-Inzidenzraten von 4.721 Erwachsenen untersucht (35-56 Jahre baseline), die in der Umgebung von Stockholm lebten (8-10 Jahre Follow-up). Das Inzidenzrisiko in der Pegelklasse $L_{den} \geq 50$ dB betrug 1.02 (95% CI: 0.90-1.15). Die Hälfte der Studienteilnehmer hatten jedoch eine Familiengeschichte hinsichtlich Diabetes, was die

Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse beeinflusst haben kann. Die Auswertung von Personen, die während der Blutdruckmessungen nicht rauchten, ergab für Männer eine signifikante Risikozunahme ab einem Tag-Abend-Nacht-Pegel von 50 dB(A) L_{den} (RR 1.21 (95% CI 1.05-1.39) pro 5 dB) sowie ein erhöhtes Hypertonierisiko für Männer mit einer Fluglärmexposition ≥ 50 dB(A) vs. < 50 dB(A) (RR 1.25 (1.04-1.51)). Sowohl Frauen als auch Männer, die eine erhöhte Fluglärm-Belastung angaben, wiesen ein deutlich erhöhtes Hypertonierisiko auf (RR 1.42 (95% CI 1.11-1.82)).

Greiser et al. haben die Abschlussdiagnosen nach Krankenhausentlassung von über 500.000 Versicherten ausgewertet, die älter als 40 Jahre waren und im Umfeld des Flughafen Bonn-Köln lebten [44]. Die individuelle Lärmbelastung wurde anhand der Wohnadressen ermittelt und getrennt nach verschiedenen Zeitfenstern ausgewertet. Auf die Nachtzeit wurde besonders geachtet, weil der Flughafen Köln-Bonn einen besonders hohen Nachtfluganteil aufweist. Es ergaben sich signifikante Assoziationen zwischen Dosis und Wirkung ab einem $L_{eq,3-5\text{ h}}$ von 39 dB(A), das heißt, je mehr Lärm, desto mehr Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

Der Zusammenhang zwischen Fluglärm- sowie Straßenlärm-Belastung und ärztlich verordneten Medikamenten (blutdrucksenkende Mittel, Antazida, angstlösende Mittel, Schlafmittel, Antidepressiva und Asthmamittel) wurden von Floud et al. im Umfeld von sechs Europäischen Flughäfen untersucht [45]. Es

Tabelle 1: Auswahl internationaler Fluglärmstudien zu Bluthochdruck (Hypertonie) sowie Herz-Kreislauf Medikamenten bzw. Diagnosen

Nr.	Erstautor (Studienname)	Jahr der Publ.	Studiendesign	Personen	Exposition, (Erfassung, NA in %)	Endpunkte, und deren Erfassung	Stratifizierungs- bzw. Kontrollvariablen	Ergebnisse für ausgewählte Endpunkte
1	Rosenlund, M.	2001	Querschnitt-Studie	2.959 Erw. (f, m) 19-80 Jahre	Fluglärm (Fluglärmkonturen, 4-7%)	Erfragte Hypertoniediagnosen	Alter, Geschlecht, Rauchen, Bildung, körperliche Aktivität, Obstverzehr, Hauttyp	Hypertonie (Resp.-Rate > 70%): Odds Ratio 1,3 (0,8-2,2) für Trend per 5 dB ab 50dB(A) FBN; OR 1,6 (1,0-2,5) für FBN > 55dB(A) vs. FBN < 55dB(A)
2	Franssen E.A.M	2004	Querschnitt-Studie	11.812 Erw. (f, m) > 18 Jahre	Fluglärm (Postleitzahlen, 8%)	Medikamentenverbrauch (Herz-Kreislauf-Endpunkte)	Alter, Geschlecht, Rauchen, Bildung, Urbanisierung, Volkszugehörigkeit	Medikamente (Resp.-Rate 39%): Trend pro 10dB L _{den} ab 50dB(A) OR 1,30 (1,06-1,6) 1. sign. Pegelklas. L _{den} = 50-55dB(A)
3	Öhrström, E. (LERUM-Studie)	2005	Querschnitt-Studie	1.953 Erw. (f, m) 18-75 Jahre	Straßen-, Schienen-, Fluglärm (GIS-Technik, 4-7%)	Erfragter Medikamentenverbrauch sowie Hypertoniediagnosen	Alter, Geschlecht, Rauchen, BMI, Bildung, Familienstand, Arbeitslärm	Hypertonie (nur Männer) (Resp.-Rate 71%) Wohndauer > 10 Jahre: OR 1,1 (0,5-2,3) bei 50-55dB(A) bis OR 4,0 (1,3-13) 60-70 dB(A) (L _{eq,24h}) Medikamente (Resp.-Rate 71%): OR 1,6 (0,7-3,6) bei 50-55 dB(A) bis OR 5,3 (1,5-19) bei 60-70 dB(A) (L _{eq,24h}) (1. sign. Pegelklasse 55-60 dB(A))
4	Greiser, E. (Köln-Bonn-Flughafen-Studie)	2006	Querschnitt-Studie	809,379 Versicherte jeden Alters (f, m)	Nächtlicher Fluglärm (GIS-Technik, 15-20%)	Medikamentenverordnungen (Herz-Kreislauf-Medikamente und andere)	Alter, Geschlecht, Sozialhilfe-Häufigkeit, Altenheim-Dichte, Interaktionsterm Fluglärm und Sozialhilfe-Häufigkeit, nächtlicher Straßen- und Schienenverkehrs-lärm	Antihypertensiva (Nacht 3 bis 5 Uhr): Männer: OR 1,117 (1,029-1,212) bei 40-43 dB(A); Trend pro 1dB ab 39dB(A) 1,020 (1,014-1,026) Frauen: OR 1,297 (1,206-1,395) bei 40-43 dB(A); Trend pro 1 dB ab 39 dB(A) 1,049 (1,042-1,056) (jeweils höchstes Sozialhilfe-Quantil)
5	Aydin, Y.	2007	Zeitreihen-Studie (3 Monate)	53 Erw. (f, m) 14-76 Jahre	Fluglärmänderungen von Tag zu Tag, 12%	8,266 Messungen von Blutdruck, Herzfrequenz und der Wahrnehmung des Fluglärms	Alter, Geschlecht, BMI, Rauchen, Arzneimittel, Fensterstellung in der Nacht (parallelisierte Gruppen)	Mittlerer RR in Westgruppe (L _{eq,0h} = 50dB(A) in ¼ der Zeit) um 10/8 mmHg signifikant höher als in Ostgruppe (50 dB(A) in ¼ der Zeit). Lärmarme von „lauten“ Perioden in Westgruppe nicht mehr unterscheidbar.
6	Eriksson, C.	2007	Kohortenstudie (Follow up-Studie)	2.037 Männer 35-56 Jahre	Fluglärm (GIS-Technik, 4-7%)	Ärztliche Hypertoniediagnosen mit Hilfe von BP-Messungen und Anamnese	Alter, Rauchen, BMI, körperliche Inaktivität, HL, SES, Familiengeschichte (Diabetes), verminderte Glucosetoleranz	Hypertonie-Inzidenz für Männer (Response-Rate ~69%): Trend pro 5 dB RR 1,1 (1,01-1,2) ab FBN 50 dB(A) RR 1,2 (1,03-1,4) für FBN ≥ 50dB(A) vs. FBN < 50dB(A) BP-Messungen für Personen die während der Messung nicht rauchten
7	Jarup, L. (HYENA study)	2008	Querschnitt-Studie	4.861 Erw. (f, m) 45-70 Jahre	Fluglärm, Straßenlärm (GIS, 4-5% im Mittel) getrennt für Tag und Nacht	Hypertoniediagnosen mit Hilfe von BP-Messungen sowie ärztlicher Behandlungen	Land, Alter, Geschlecht, BMI, Alkohol, körperliche Aktivität, Bildung	Hypertonie (Resp.-Rate ~40%); Nächtlicher Trend pro 10 dB OR 1,14 (1,01-1,29) a 35 dB(A); 1. sign. Pegelklasse 40-44 dB(A) Trend für den 16-Stunden-Tag 0,928 (0,829-1,038)
8	Ancona C. (Campino Airport study)	2009	Querschnitt-Studie	478 Erw. (f, m) 45-70 Jahre	Fluglärm (GIS-Technik)	Hypertoniediagnosen mit Hilfe von BP-Messungen	Straßenverkehr (indirekt)	Hypertonie (Gruppenvergleich): L _{eq,24h} <65; 65-74; > 74 dB(A) Hypertonie (Extremgruppenvergleich) RR 0,72 (0,36-1,45) Erhöhter Blutdruck am Abend, nicht am Morgen für L _{eq,24h} >n/74 dB
9	Greiser E. (Köln-Bonn-Krankenhausstudie)	2010	Fall-Kontroll-Studie	~550.000 Versicherte (f, m) > 40 Jahre	Nächtlicher Fluglärm (GIS-Technik, 15-20%)	Herz-Kreislauf (Krankenhaus-entlassungs-diagnosen)	Alter, Geschlecht, Sozialhilfe-Häufigkeit Straßenverkehrs-lärm Schienenverkehrs-lärm	Ergebnisse nur in grafischer Form. Zunahme der Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit dem nächtlichen Dauerschallpegel (23-1 Uhr) für Frauen und Männer ab 40dB(A)
10	Eriksson C. (Stockholm County study)	2010	Kohorte (follow up)	4.721 Erw. (f, m) 35-56 Jahre baseline	Fluglärm (GIS-Technik, 4-7%)	Hypertonie-diagnosen mit Hilfe von BP-Messungen	Alter, Geschlecht, SES, Rauchen, BMI.	Hypertonie Inzidenz (Männer): (Response-Rate ~72%) Trend pro 5 dB RR 1,21 (1,05-1,39) ab L _{den} 50dB (A) RR 1,25 (1,04-1,51) für L _{den} ≥ 50 dB(A) vs. L _{den} < 50 dB(A) BP-Messungen für Personen die während der Messung nicht rauchten
11	Floud (HYENA study)	2011	Querschnitt-Studie	4.641 Erw. (f, m) 45-70 Jahre	Fluglärm, Straßenlärm (GIS, 4-5% im Mittel) getrennt für Tag und Nacht	Medikamentenverordnungen (Herz-Kreislauf, Medikamente und andere Arzneimittel)	Alter, Geschlecht, BMI, Alkohol, körperliche Aktivität, Bildung	Antihypertensiva: Nächtliche Risikoerhöhung pro 10 dB OR 1,34 (1,14-1,57) in UK, OR 1,19 (1,02-1,38) in den Niederlanden, jeweils ab L _{night} ab 30 dB(A). Risikoerhöhung am 16-Stunden-Tag pro 10 dB OR 1,35 (1,13-1,60) in UK, Risikoabnahme pro 10 dB in Italien OR 0,82 (0,71-0,96) ab L _{eq,0h} 35 dB(A)

NA in % = geschätzter Nachtfluganteil in Prozent; Erw. = Erwachsene; BMI = Body Mass Index; BP = Body Mass Index; BP = Blutdruck; HL = Hörverlust; SES = Sozio-ökonomischer Status; GIS = Geo-Informationssystem

handelt sich um eine Auswertung von Daten, die in der HYE-NA-Studie erhoben wurden. Am Tage war das Risiko bei einer Zunahme der Fluglärmbelastung um 10 dB in Großbritannien signifikant erhöht (OR 1,35 (95% CI: 1,13-1,60)); in der Nacht ebenfalls in Großbritannien (1,34 (95% CI: 1,14-1,57)) und in den Niederlanden (1,19 (95% CI: 1,02-1,38)). In Italien wurde für den Tag ein signifikant protektiver Effekt ermittelt. In den anderen Ländern konnte eine Risikozunahme statistisch nicht abgesichert werden. Für Personen, die sich durch Fluglärm belästigt fühlten, ergaben sich signifikant erhöhte Risiken (Tag und Nacht) für die Einnahme von blutdrucksenkenden und angstlösenden Mitteln.

Zusammenfassend kann ein kausaler Zusammenhang zwischen der Lärmexposition und Hypertonie als wissenschaftlich bestätigt angesehen werden. Der Studienteil „Blutdruck“ der NORAH-Studie ist nicht geeignet, den aufgezeigten wissenschaftlichen Kenntnisstand in Frage zu stellen. Diese Blutdruckuntersuchung leidet an gravierenden methodischen Problemen, und erfüllt nicht die geforderten Einschlusskriterien (siehe Kapitel III#). So wurde die Studie unter dem erweiterten Frankfurter Nachtflugverbot (23-05 Uhr) durchgeführt. Die Exposition wurde demzufolge im Wesentlichen vom Abendpegel (18-23 Uhr) bestimmt, aber der Morgenblutdruck gemessen. Das Problem wird in der Arbeit weder beachtet noch diskutiert!

C) Herzinfarkt

In den meisten westlichen Ländern haben die Häufigkeit des Herzinfarkts und die Sterblichkeit in den letzten 10-20 Jahren deutlich abgenommen. Ein Zusammentreffen verschiedener Faktoren ist dafür verantwortlich, wie verstärktes Gesundheitsbewusstsein mit Verminderung des Zigarettenrauchens bei den am meisten betroffenen Männern im Alter über 50 Jahre, veränderte Essgewohnheiten, mehr Bewegung sowie verbesserte

medizinische Behandlung. Dennoch treten z.B. in Deutschland noch immer jährlich mehr als 50.000 neue Infarkte auf [47]. Es handelt sich also weiterhin um eine „Volkskrankheit“, deren Vermeidung alle Bemühungen rechtfertigt. Neben den individuellen und zum Teil persönlich beeinflussbaren Risikofaktoren gewinnen zivilisatorische Einflussfaktoren wie Lärm und Feinstaub, die vom Einzelnen nicht beeinflusst werden können, zunehmend an Bedeutung.

Bis vor wenigen Jahren gab es nur Hinweise auf einen kausalen Zusammenhang mit Lärm. Im Jahr 2005 hat das Umweltbundesamt in Zusammenschau aller verfügbaren Studien den Zusammenhang zwischen vermehrtem Auftreten von Herzinfarkten und Lärm als wahrscheinlich, nicht aber als erwiesen angesehen. Im Jahr 2010 hat sich diese Beurteilung geändert und der Zusammenhang wurde als gesichert eingestuft [48]. Die veränderte Beurteilung basierte hauptsächlich auf der vom Umweltbundesamt geförderten großen Studie im Bereich des Flughafens Köln-Bonn, die vom UBA finanziert wurde [16, 17].

Es wurden die Daten von über 500.000 in gesetzlichen Krankenkassen Versicherter analysiert, indem die individuellen Lärmbelastungen mit der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Erkrankungen verglichen wurden. Es fand sich eine statistisch signifikante Zunahme der Infarkthäufigkeit. Beim Vergleich zwischen Ausmaß der Lärmbelastung und Zunahme der Häufigkeit war eine „Dosis-Wirkungs-Beziehung“ (je mehr Lärm desto mehr Infarkte) festzustellen. Es zeigte sich eine besonders deutliche Beziehung zum Ausmaß des nächtlichen Fluglärms. Die Daten wurden von Greiser weiter analysiert und eine deutliche Altersabhängigkeit der Lärmwirkung beschrieben [49].

Wesentlicher Kritikpunkt an der Untersuchung von Greiser ist das Fehlen individueller Risikofaktoren. Falls diese sich mit dem Fluglärm assoziiert verändern, kann der kausale Zusammenhang in Frage gestellt sein. Für den bekannten Risikofak-

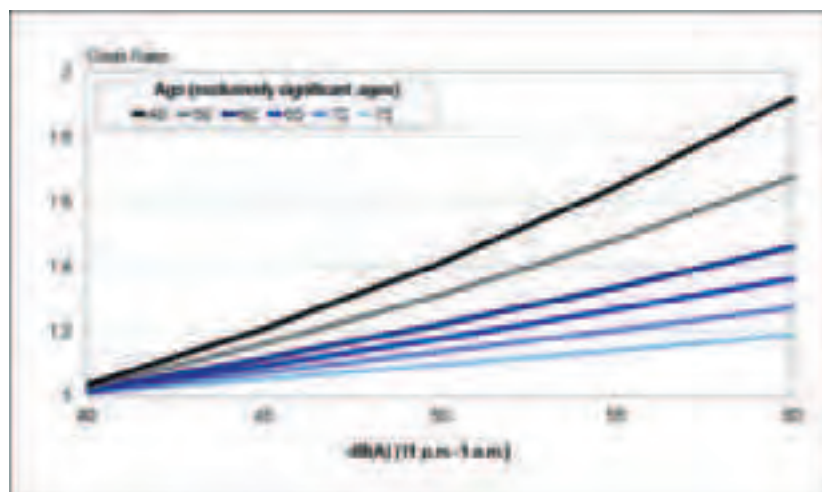


Abbildung 6: Einfluss nächtlichen Fluglärms (Dauerschallpegel 23.00 bis 01.00 Uhr) auf das Erkrankungsrisiko hinsichtlich Herz-Kreislauf-Erkrankungen in Abhängigkeit vom Alter – Männer und Frauen (Gesamtpopulation) [49]

tor Zigarettenrauchen ist diese Einschränkung z.B. nicht auszuschließen. Eine erhöhte Prävalenz von Zigarettenrauchen in der von Fluglärm belasteten Region müsste sich jedoch auch in einem erhöhten Risiko von Bronchial-Carcinom in Abhängigkeit von Fluglärm zeigen. Eine entsprechende Sensitivitätsanalyse von Greiser zeigte keinen Zusammenhang zwischen Fluglärm und Bronchial-Carcinom.

In einer anderen großen Studie wurden die Sterberegister von 4,6 Millionen Personen – entsprechend der gesamten schweizerischen Bevölkerung ab dem 30. Lebensjahr – über einen Zeitraum von fünf Jahren ausgewertet [33]. In der Beobachtungszeit traten 15.523 Todesfälle an Herzinfarkt auf. Die Häufigkeit der Todesursache Herzinfarkt war mit der individuellen Lärmbelastung assoziiert, wobei mit zunehmendem Lärm die Häufigkeit der Todesfälle an Herzinfarkt zunahm. Beim Vergleich von Personen mit häuslichen Lärmbelastungen bis zu 45 dB(A) mit solchen, die Lärmbelastungen von 60 oder mehr dB(A) ausgesetzt waren, betrug die Zunahme 30%. Bei Personen, die 15 oder mehr Jahre am selben Ort wohnten, war die Zunahme statistisch signifikant und betrug nahezu 50%. Die Autoren gehen von einem kausalen Zusammenhang aus, weil sich aus den Befunden eine klare Exposition-Wirkungs-Beziehung ergibt.

Es sei darauf hingewiesen, dass solche Studien zur Sterblichkeit mit Studien zur Erkrankungshäufigkeit nur bedingt vergleichbar sind. Die im vorliegenden Fall beschriebene Zunahme kann damit zusammen hängen, dass die Sterblichkeit des akuten Herzinfarktes, sofern auch die Todesfälle vor dem Eintreffen ins Krankenhaus berücksichtigt wurden, sehr hoch ist. Sie liegt bei etwa 30%.

Eine weitere große Studie verfolgte insgesamt 3,6 Millionen Londoner im Umfeld des Großflughafen Heathrow über fünf Jahre hinsichtlich Erkrankungshäufigkeit und Sterblichkeit durch Herzinfarkt, Schlaganfall und Herz-Kreislauf-Erkrankungen [50]. Dabei erfolgte eine Unterteilung in 12 110 kleine Gebiete mit jeweils ca. 300 Einwohnern. Erfasst wurden sämtliche Krankenhauseinweisungen mit den Diagnosen Herzinfarkt, Schlaganfall und kardiovaskuläre Erkrankungen.

In dem Untersuchungszeitraum traten 64.448 Herzinfarkte, 16.983 Schlaganfälle und 48.347 kardiovaskuläre Erkrankungen auf. Die Häufigkeiten dieser Diagnosen in den jeweiligen geographischen Arealen wurden mit den Dauerschallpegeln für den Tag und für die Nacht verglichen, die in einem Raster von 10x10 m zur Verfügung standen. Es zeigte sich eine mit der Fluglärmbelastung linear ansteigende Häufigkeit aller drei Diagnosen.

Die Anzahl der Todesfälle durch Herzinfarkt betrug 22.613 und durch Schlaganfälle 9.803. Auch zu der Anzahl der Todesfälle fanden sich in dieser Studie, ähnlich wie zu den Erkran-

kungshäufigkeiten, signifikante Korrelationen mit der Intensität des Fluglärms.

Die Autoren untersuchten darüber hinaus weitere (vom Fluglärm unabhängige) Risikofaktoren, die in den Kleingebieten ungleich verteilt sein könnten. Dazu gehörten die ethnische Zugehörigkeit, die in England mit der Infarkthäufigkeit korreliert, und die Rauchgewohnheiten. Das Rauchverhalten wurde indirekt erfasst, indem die Häufigkeit an Lungenkrebskrankungen als „Surrogatparameter“ in die Berechnungen einbezogen wurde. Unter Berücksichtigung der erfassten zusätzlichen Einflussfaktoren war der Zusammenhang zwischen Lärm und Erkrankungs- bzw. Sterblichkeitshäufigkeit quantitativ geringer, blieb aber statistisch signifikant und dosisabhängig erhalten. Beim Vergleich zwischen Nacht- und Taglärm fanden sich keine Differenzen. Allerdings waren die beiden Größen im vorliegenden Fall sehr eng miteinander korreliert.

Im Jahr 2013 wurde eine große amerikanische Studie über gesundheitliche Auswirkungen von Fluglärm publiziert [51]. Die Autoren stellen fest, dass dies die erste große amerikanische Studie zu Fluglärmwirkungen seit dreißig Jahren ist. Eingeschlossen wurden mehr als 6 Millionen (6.027.363) Menschen, die in der Umgebung von 89 Flughäfen wohnten. Es handelte sich um Versicherte aus dem Programm der Medicare, einer Versicherung, die ab einem Alter von 65 Jahren allen Amerikaner offen steht. Geprüft wurde, ob zwischen der Intensität der Fluglärmbelastung und der Häufigkeit von Krankenhausaufnahmen aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen ein statistischer Zusammenhang besteht. Die wichtigsten und häufigsten Einzeldiagnosen waren Herzinsuffizienz, Herzinfarkt und Schlaganfall. Zusätzlich wurden Krankenhauseinweisungen aufgrund von Herzrhythmusstörungen und peripheren Gefäßerkrankungen berücksichtigt. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Anstieg der kardiovaskulären Erkrankung von 3,5% pro Zunahme des Tag-Nacht-Pegels (L_{dn}) um 10 dB.

Mit dieser Studie wurde der Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Herz-Kreislauf-Erkrankungen erneut an einem sehr großen Patientenkollektiv bestätigt. Der Anstieg der Erkrankungen in der US-Studie ist jedoch nicht sehr groß. Im Vergleich dazu wird in der neusten Übersichtsarbeit von Basner et al. ein Bereich von 7-17% pro 10 dB (L_{dn}) für fluglärmbedingte kardiovaskuläre Erkrankungen angegeben [8]. Wird jedoch der von Greiser beschriebenen Altersgang der Lärmwirkung berücksichtigt, so widerspricht der Wert in der US-Studie den vorliegenden Befunden nicht (siehe Abbildung 6). Bei den 75-Jährigen, die etwa der mittleren amerikanischen Altersklasse entspricht, lag die Zunahme bei einigen Prozent, bei Jüngeren betrug sie dagegen bis über 30% pro Zunahme um 10 dB Dauerschallpegel (nachts 23-01 Uhr). Greiser führt die altersbedingte Abnahme der Lärmwirkung auf die zunehmend verbreitete Schwerhörigkeit im Alter zurück.

Andererseits ist zu beachten, dass in der US-Studie die Abschätzung der Lärmbelastung mit Hilfe von Postleitzahlen die individuelle Belastung nur unzureichend erfasste, sodass eine statistisch bedingte Unterschätzung der Häufigkeitszunahme wahrscheinlich ist.

Eine Meta-Analyse aller bis Januar 2014 publizierten epidemiologischen Studien zu Verkehrslärm und Herzinfarkt fand basierend auf zehn Studien ab 50 dB eine Risikozunahme von 6% (95% Konfidenzintervall: 3-9%) pro 10 dB Anstieg in der chronischen Lärmbelastung [52]. Die Risiken waren ähnlich für Flug- und Straßenlärm und waren bezüglich letzterem ähnlich wie bei einer Meta-Analyse von Babisch [53], der eine 8-prozentige Zunahme (95% Konfidenzintervall 4-13%) pro 10 dB Anstieg ab 52 dB fand.

In die NORAH-Studie wurden rund 1 Million Erwachsene über 40 Jahre eingeschlossen, die bei einer von drei großen Krankenkassen versichert waren, was etwa 23,3 % der über 40-Jährigen in der Studienregion entsprach. Für Herzinfarkt stieg das Risiko ab einem 24-Stunden-Dauerschallpegel von 35 dB für Fluglärm mit 3.2% (95% KI: -5.6 bis 7.1%) an, für Straßenverkehrslärm mit 2.8% (95% KI: 1.2 bis 4.5%) und für Schienenverkehrslärm mit 2.3% (95% KI: 0.5 bis 4.2%). Bei der nicht signifikanten Risikozunahme hinsichtlich Fluglärms ist zu beachten, dass die Analysen bei Fluglärm an sehr gering besetzten höheren Pegelklassen über 55 dB leiden. Auf der anderen Seite fand sich ein statistisch signifikanter Anstieg für die Sterblichkeit an Myokardinfarkt mit steigendem Fluglärmpegel bei 24h-Dauerschallpegel zwischen 40 und 50 dB(A) und in der Pegelklasse ab 60 dB(A) mit 170% (95% KI: 8 bis 574%) sowie bei nächtlichem Lärmpegel (23-5 Uhr) bei einem Lärmpegel von 55-<60 dB(A) mit 180% (95% KI: 29-507%).

Die Autoren stellen zusammenfassend fest: „Die Ergebnisse unserer sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie stehen grundsätzlich im Einklang mit der Literatur“ (Seidler et al., Herzinfarktrisiko durch Flug-, Straßen- und Schienenlärm [102]). Hinsichtlich des für die Infarktzunahmen offenbar besonders wichtigen Nachtlärms lagen die kritischen Stunden im Umkreis des in der NORAH-Studie untersuchten Frankfurter Flughafens zwischen 5 und 7 Uhr morgens, im Umkreis des Köln-Düsseldorfer Flughafens (Greiser) dagegen in den ersten Stunden nach Mitternacht. In dieser Differenz spiegelt sich möglicherweise die zeitlich verschiedene Konzentration der Flugbewegungen im Flughafen Köln-Düsseldorf und Frankfurt wider. Die Autoren weisen auch auf den Forschungsbedarf hinsichtlich einer Verlaufskontrolle hin, wie sie derzeit in der RAN-(Recurrence and Noise)-Studie durchgeführt wird.

Insgesamt kann unter Berücksichtigung der großen neuen Studien die Einschätzung des Umweltbundesamtes und der WHO, dass von einem gesicherten Zusammenhang zwischen

Fluglärmbelastung und Häufigkeit des Herzinfarktes auszugehen ist, bestätigt werden.

D) Herzinsuffizienz (Herzschwäche)

Herzschwäche ist eine der häufigsten Todes- und Erkrankungsursachen. Die Morbidität (stationäre Krankenhausaufnahmen) hat in Deutschland im Zeitraum 1995-2011 von 275 auf 465 je 100.000 Einwohner zugenommen [47]. Eine Zunahme der Herzinsuffizienz ist die unvermeidliche Folge einer Zunahme von chronischem Bluthochdruck. Ein Zusammenhang zwischen Herzschwäche und Lärm ist daher medizinisch plausibel.

In den meisten Studien wird die Herzschwäche unter Herz-Kreislauf-Erkrankungen eingeordnet. Es gibt nur wenige Studien, in denen die Herzinsuffizienz als Einzeldiagnose untersucht wurde. So fand Greiser eine Zunahme bei Männern schon ab einem 24-Stunden-Dauerschallpegel von 35 dB(A). Diese betrug etwa 3% pro dB(A) mit deutlich stärkerer Ausprägung in nächtlichen Zeitfenstern [16].

In der NORAH-Krankenkassenstudie [13] stieg das Risiko für Herzinsuffizienz ab einem 24-Stunden-Dauerschallpegel von 35 dB für Fluglärm signifikant mit 1.6% (95% KI: 0.3 bis 3.0%) an, für Strassenverkehrslärm mit 2.4% (95% KI: 1.6 bis 3.2%) und für Schienenverkehrslärm mit 3.1% (95% KI: 2.2 bis 4.1%).

E) Schlaganfall

Der Schlaganfall ist die häufigste Ursache für Pflegebedürftigkeit. Pro Jahr treten in Deutschland etwa 150.000 neue Fälle auf. [55]. Als Todesursache ist der Schlaganfall nach Herz-Kreislauserkrankungen und Krebs mit 15% die dritthäufigste Krankheit. Die leichtere Form, der ischämische Insult, der durch mangelhafte Durchblutung entsteht, ist mit 80% weit häufiger, als die schwere durch Einblutung (Massenblutung) bedingte Form.

In der bereits erwähnten Studie von Greiser war die Diagnose Schlaganfall mit der Intensität des Fluglärms in den Nachtstunden signifikant, dosisabhängig und altersabhängig verbunden [16, 17]. In der britischen Studie aus dem Jahr 2013 wurden sowohl zur Diagnose als auch zur Sterbeursache Schlaganfall eine dosisabhängige, signifikante Beziehung gefunden [50].

In der großen amerikanischen Medicare-Studie, war der Schlaganfall eine der drei Hauptdiagnosen [51]. Auch in dieser Studie ergab sich eine signifikante Häufigkeitszunahme.

In der NORAH-Krankenkassenstudie [13] wurde für Schlaganfälle ein Risikoanstieg nur für Strassenverkehrs- (1.7% pro 10 dB; 95% KI: 0.3 bis 3.2%) und Schienenverkehrslärm (1.8%

Tabelle 2: Auswahl internationaler Fluglärmstudien zu koronaren Herzkrankheiten und Schlaganfall

Nr.	Erstautor (Stud.-Name)	Jahr der Publ.	Studien-Design	Personen	Exposition (Erfassung)	Endpunkt und deren Erfassung	Stratifizierungs- bzw. Kontrollvariablen	Ergebnisse (ausgewählte Endpunkte)
1	Huss A. (Schweizer Sterberegister)	2010	Kohortenstudie (Follow up-Studie)	4,6 Mill. Schweizer (ab 30 Jahre)	Fluglärm, Straßenlärm, Feinstaub (GIS-Technik)	Todesursache aus amtlichem Sterberegister	Geschlecht, Bildung, sozioökonomischer Status der Gemeinde	Mortalität an Herzinfarkt Fluglärm 60 dB(A) 24 h hazard ratio 1,3
2	Hansell AL. (small area study)	2013	Kohortenstudie (Follow up-Studie)	2,6 Mill. Erw. (f, m) Umfeld Flughafen Heathrow	Fluglärm (GIS-Technik)	Krankenhausaufnahmen	Alter Geschlecht, ethnische Zugehörigkeit, mangelnde Versorgung (Deprivation) Rauchen (indirekt)	Stroke: < 51 dB(A) vs. > 63 dB(A) 1,24 (1,08-1,43) Coronary artery disease: 1,21 (1,12-1,31)
3	Correia AW. (multi-airport retrospective study)	2013	Querschnitt-Studie	6.027.363 Senioren (f, m) (ab 65 Jahre)	Fluglärm (Postleitzahlen)	Krankenhausaufnahmen (Medicare)	Alter, Geschlecht, Rasse	Zunahme kardiovaskulärer Erkrankungen um 3,5% pro 10 dB Pegelanstieg ab L_{dn} 45 dB(A)
4	Floud S. (HYENA study)	2013	Querschnitt-Studie	4.712 Erwachsene	Fluglärm, Straßenlärm	Selbstberichtete Herzkrankheiten & Schlaganfälle	Alter, Geschlecht, Risikofaktoren	Zunahme signifikant bei mehr als 20-jähriger Wohndauer 25% pro 10 dB (L_{night})

Tabelle 3: Auswahl internationaler Fluglärmstudien zur Depression

Nr.	Erstautor (Stud.-Name)	Jahr der Publ.	Studien-Design	Personen	Exposition (Erfassung)	Endpunkt und deren Erfassung	Stratifizierungs- bzw. Kontrollvariablen	Ergebnisse (ausgewählte Endpunkte)
1	Greiser, E. (Köln- Bonn Flughafen Studie)	2006	Querschnitt-Studie	809.379 Versicherte jeden Alters (f, m)	Nächtlicher Fluglärm (GIS-Technik)	Medikamentenverordnungen (Herz-Kreislauf, Medikamente und andere Arzneimittel)	Alter, Geschlecht, Sozialhilfe-Häufigkeit, Altenheim-Dichte, Interaktionsterm Fluglärm und Sozialhilfe-Häufigkeit, nächtlicher Straßen- und Schienenverkehrs-lärm	Depression: Trend pro 1 dB ab 39dB(A) ($L_{eq,3-5,h}$, höchstes Sozialhilfe-Quartil)
2	Greiser E. (Köln-Bonn Krankenhausstudie)	2010	Fall-Kontroll-Studie	~ 550.000 Versicherte (f, m) > 40 Jahre	Nächtlicher Fluglärm (GIS-Technik)	Herz-Kreislauf (Krankenhausausschreibungen)	Alter, Geschlecht, Sozialhilfe-Häufigkeit, Straßenverkehrs-lärm, Schienenverkehrs-lärm	Ergebnisse nur in grafischer Form. Zunahme von Depressionen mit dem nächtlichen Dauerschallpegel (23-01 Uhr) für Frauen ab 40 dB(A)

pro 10 dB; 95% KI: 0.1 bis 3.4%) beobachtet. Auch hier ist zu beachten, dass die Analysen in der NORAH-Krankenkassenstudie bei Fluglärm an sehr gering besetzten höheren Pegelklassen über 55 dB leiden.

Somit ist von übereinstimmenden Befunden hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Fluglärm und der Häufigkeit von Schlaganfällen auszugehen. Die Schweizer Studie von Huss und Mitarbeitern zeigte dagegen hinsichtlich der Sterblichkeit durch Schlaganfall keinen Zusammenhang mit dem Fluglärm [33]. Dass in dieser Studie keine Zunahme der Sterblichkeit gefunden wurde, könnte damit zusammen hängen, dass bei der häufigsten Form des Schlaganfalls, dem ischämischen Insult, die Mortalität relativ gering ist.

F) Depression

In früheren Studien wurde auf ein gehäuftes Auftreten von Depressionen unter Fluglärm hingewiesen [6]. Aufgrund des vermehrten Gebrauchs von Sedativa und Schlafmitteln ist ein Zusammenhang plausibel. In der Studie von Greiser wurde eine statistisch gesicherte Häufigkeitszunahme bei Frauen bestätigt [16]. Unter Berücksichtigung des Altersganges fand sich eine Zunahme sowohl bei Frauen als auch bei Männern [49].

In der NORAH-Fall-Kontroll-Studie zu Krankheitsrisiken [13] fand sich für Fluglärm in Abhängigkeit vom 24-Stunden-Dauerschallpegel pro 10 dB(A)-Anstieg eine Risiko-Erhöhung um 8,9% (95% KI: 7,4 bis 10,4%).

G) Belästigung

Fluglärm stellt im Umfeld von Verkehrsflughäfen häufig die am stärksten belästigende Verkehrslärmquelle dar. Dies zeigt auch eine Untersuchung 2006 im Umfeld des Flughafens Frankfurt. 64% der Einwohner gaben Fluglärm als die am stärksten störende Lärmquelle an, während im Bundesland Hessen nur 23% diese Angabe machten [56].

Nach der Auswertung von 55 zwischen 1967 und 1993 in Europa, Nordamerika und Australien durchgeführten Querschnittstudien, veröffentlichten Miedema und Vos verallgemeinerte Dosis-Wirkungskurven zur Belästigung durch Fluglärm [57]. Nach mehreren Aktualisierungen wurden diese Wirkungskurven vom Expertennetzwerk der Europäischen Kommission zum Standard für die Europäische Union erklärt [32].

Die Gültigkeit dieser Wirkungsbeziehung (EU-Kurve) wird durch neuere Studien in Frage gestellt. Abbildung 7 enthält Europäische Studien die zwischen 1991 und 2006 durchgeführt wurden. Die Studien lassen mehrheitlich bei gleichen Tag-Nacht-Pegeln (L_{dn}) höhere Belästigungswerte erkennen, als der rot eingezeichneten EU-Kurve zu entnehmen ist.

Im Jahr 2009 veröffentlichten Janssen et al. eine verallgemeinerte Exposition-Wirkungs-Beziehung zur Belästigung durch Fluglärm aus 7 europäischen Studien (Schweiz, Deutschland, Niederlanden), die zwischen 1991 und 2006 durchgeführt wurden [31]. Die Wirkungskurve zeigt bei gleichem Expositionspegel eine signifikante Zunahme der fluglärmbedingten

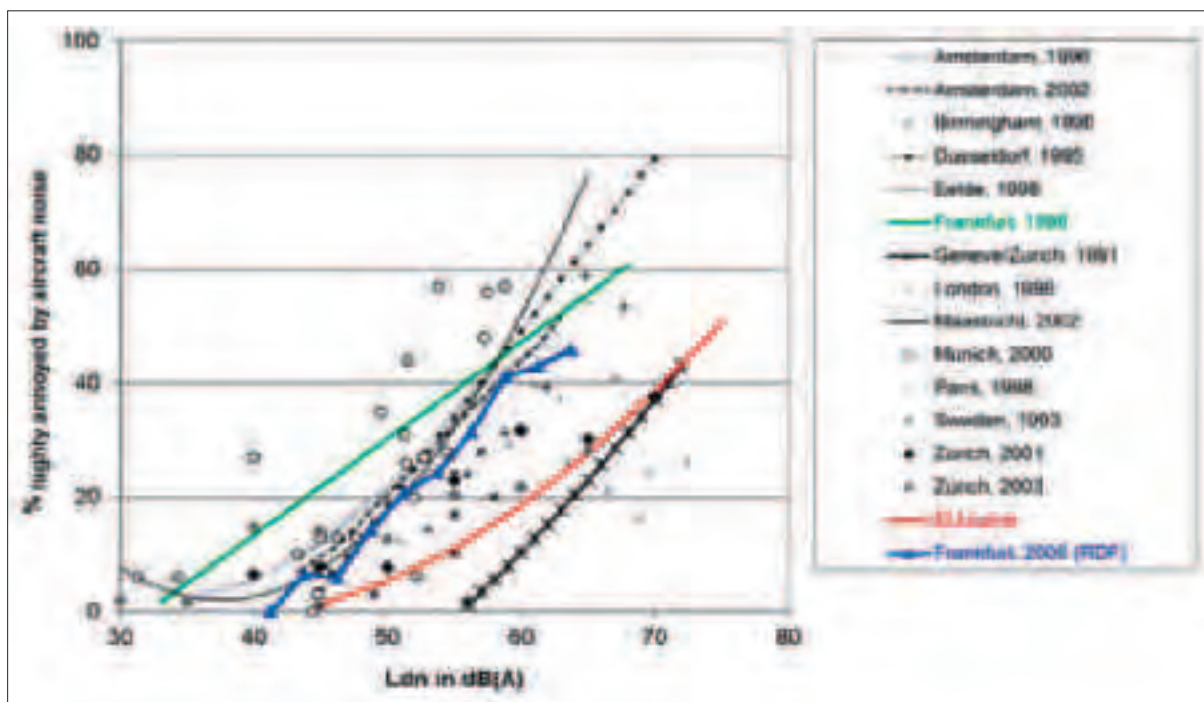


Abbildung 7: Wirkungsbeziehungen zwischen hochgradiger Fluglärmelastung [in %] und dem Tag-Nacht-Pegel (L_{dn}), für 11 neuere Studien, einschließlich der EU-Kurve [32] (rot) [58]

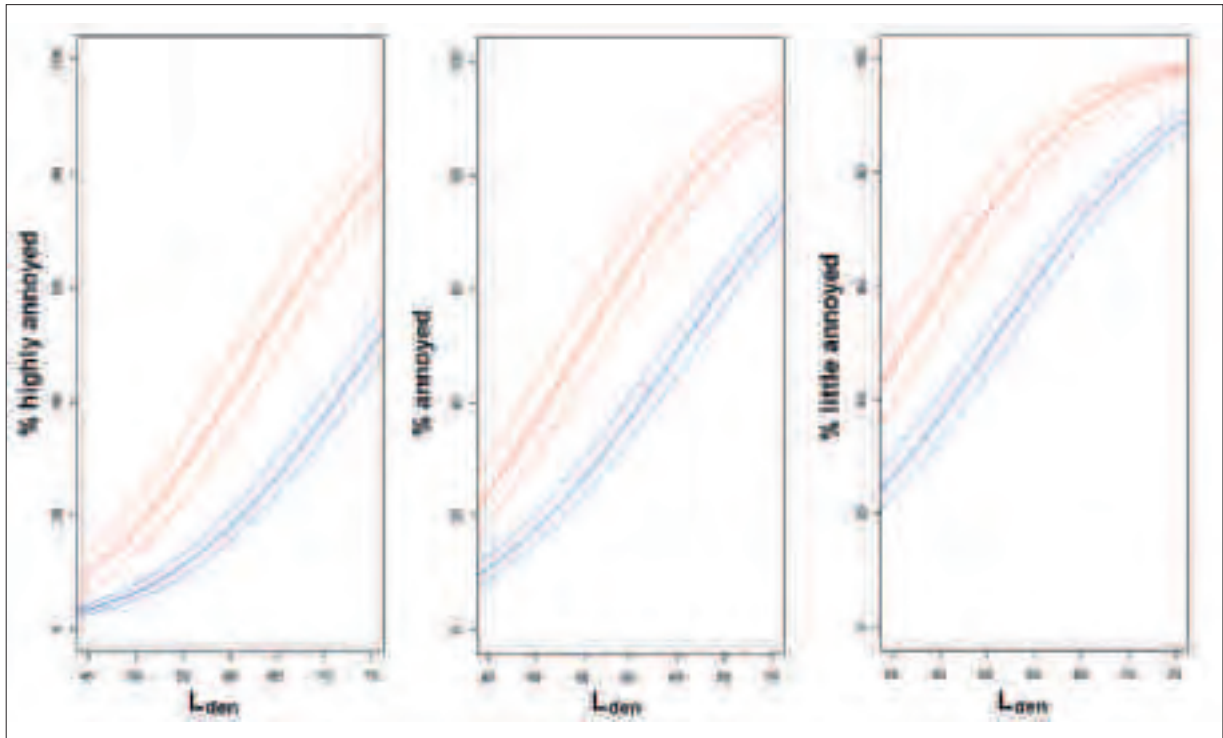


Abbildung 8: Hochgradige Belästigung (% HA), Belästigung (% A) und leichte Belästigung (% LA) für die älteren Studien bis 1993 (blau) and für die neueren Studien zwischen 1996 und 2006 (rot) mit ihren 95%-Vertrauensbereichen (gestrichelte Linien) [31]

Belästigung (Abb. 8) und bestätigte die Auflistung der Studien in Abb. 7. Bei 25% hochgradig Belästigten (25% HA) – dem Beginn der erheblichen Belästigung – ist eine Pegeldifferenz von ca. 11 dB zu verzeichnen [59].

1) Wirkungsbeziehungen zur Belästigung nach 2006

Die ANASE Studie (Attitudes to Noise from Aviation Sources in England) umfasst zwei Phasen [60]. Phase 1 bestand aus einer Serie von Pilotstudien, während Phase 2 aus einem Survey zu den Einstellungen gegenüber Fluglärm einschließlich Belästigung bestand. Die Studie wurde in der Nähe der zehn wichtigsten britischen Flughäfen durchgeführt und die Fluglärmbelastung mit Hilfe des Dauerschallpegels (L_{Aeq}) ermittelt. Die Belästigung wurde mit der fünfstufigen ICBEN-Skala (International Commission on Biological Effects of Noise) erhoben. An der Umfrage beteiligten sich 2.132 Personen über 18 Jahre (18-32 Jahre 32%; über 65 Jahre 18%); 47% der Befragten waren Frauen. Die Response-Rate betrug 49%.

Die letzte größere Studie hinsichtlich der Einstellungen zum Fluglärm einschließlich der Belästigung wurde in Großbritannien im Jahr 1982 durchgeführt und im Jahr 1985 publiziert. Dies war die ANIS-Studie (United Kingdom aircraft noise index study) [61]. Der Vergleich der Ergebnisse der ANASE Studie mit denen der ANIS-Studie erlaubt Aussagen über die zeitliche Konstanz der Belästigungsreaktion. Die Abbildung 9 ordnet die Ergebnisse (Regressionsgeraden) der ANASE sowie

der ANIS-Studie in ausgewählte neuere Studien ein (vgl. Abbildung 7).

Bemerkenswert ist die Konsistenz zwischen den neueren Studien (ANASE, Paris, Amsterdam, Frankfurt). Gleichzeitig ist ein klarer Unterschied zu den alten Wirkungsbeziehungen nach ANIS (Trend) und der EU Kurve zu erkennen. Der Vergleich der ANASE sowie der ANIS Studien verdeutlicht, wie sich die Belästigung im Lauf der Zeit im gleichen kulturellen Umfeld verändert hat.

In der HYENA Studie wurde neben der Hypertonie (vgl. Absatz Hypertonie) auch die Belästigung durch Flug- und Straßenverkehrslärm in der Umgebung von 6 großen Europäischen Flughäfen an 4.861 Personen (2.467 Frauen und 2.404 Männer im Alter von 45 bis 70 Jahren) erhoben [63]. Die Belästigung wurde nach ICBEN mit einer 11-stufigen Skala erhoben. In der Studie wurde zwischen der Belästigung am Tage (L_{den}) und der Belästigung in der Nacht (L_{night}) unterschieden. Ortslagen die durch andere Lärmquellen stark belastet waren (Schiene, Industrie, usw.) wurden weitgehend ausgeschlossen. Die Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse der HYENA-Studie im Vergleich zu den verallgemeinerten Exposition-Wirkungs-Beziehungen nach Janssen (Studien 1996 bis 2006) und der EU-Kurve (Studien 1967 bis 1993).

Auch die HYENA-Studie zeigt bei gleichem Tag-Abend-Nacht-Pegel eine signifikante Zunahme der fluglärmbedingten

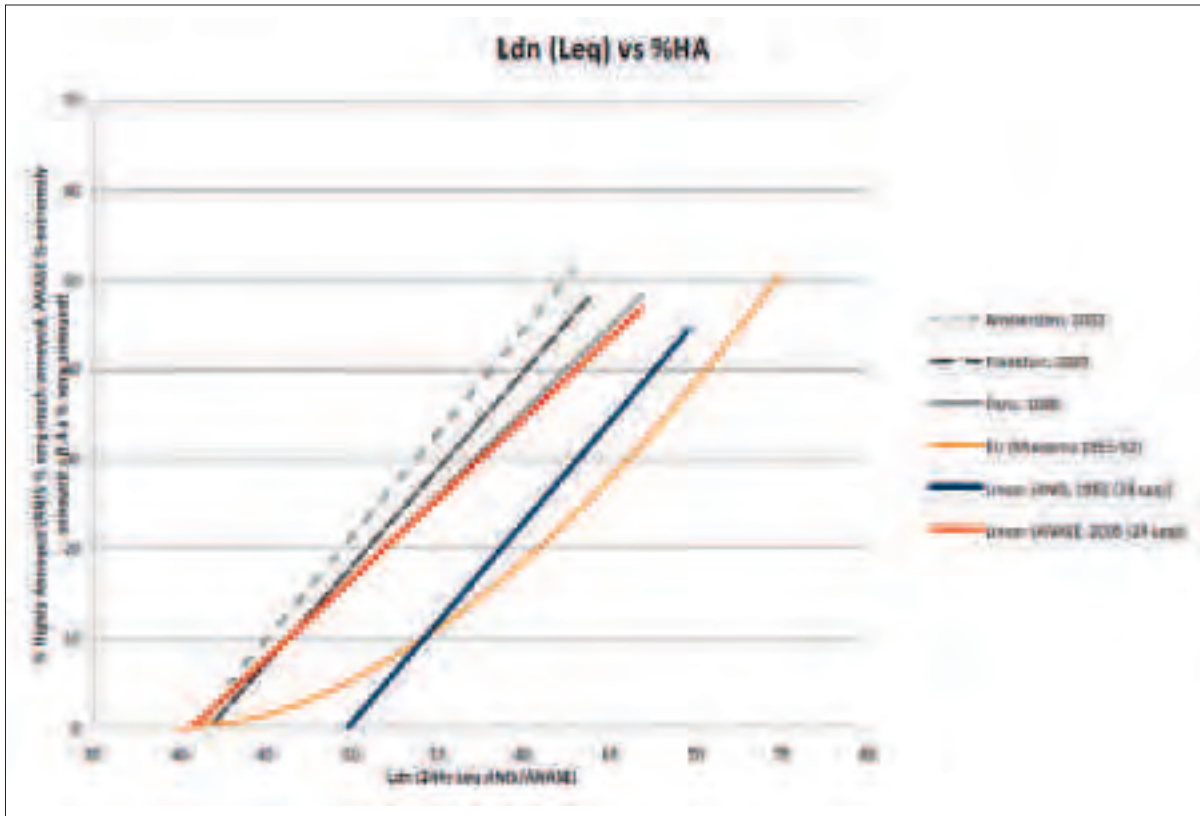


Abbildung 9: Wirkungsbeziehungen (Regressionsgeraden) zwischen Fluglärm (L_{dn}) und hochgradiger Belästigung [in %] für ausgewählte Fluglärmstudien (einschließlich ANASE und ANIS), verglichen mit der EU-Kurve [62]

Belästigung gegenüber der EU-Kurve. Bei 25% hochgradig Belästigten (25% HA) ist eine Pegeldifferenz (bei einem Trend 3. Ordnung) von ca. 9 dB zur verallgemeinerten Exposition-Wirkungs-Beziehung der EU zu verzeichnen.

Von besonderer Bedeutung für das Ergebnis der HYENA-Studie zum Fluglärm ist die zusätzliche Erhebung der Belästigung hinsichtlich Straßenverkehrslärm. Wie der Abbildung 11 entnommen werden kann, unterscheidet sich die in der HYE-

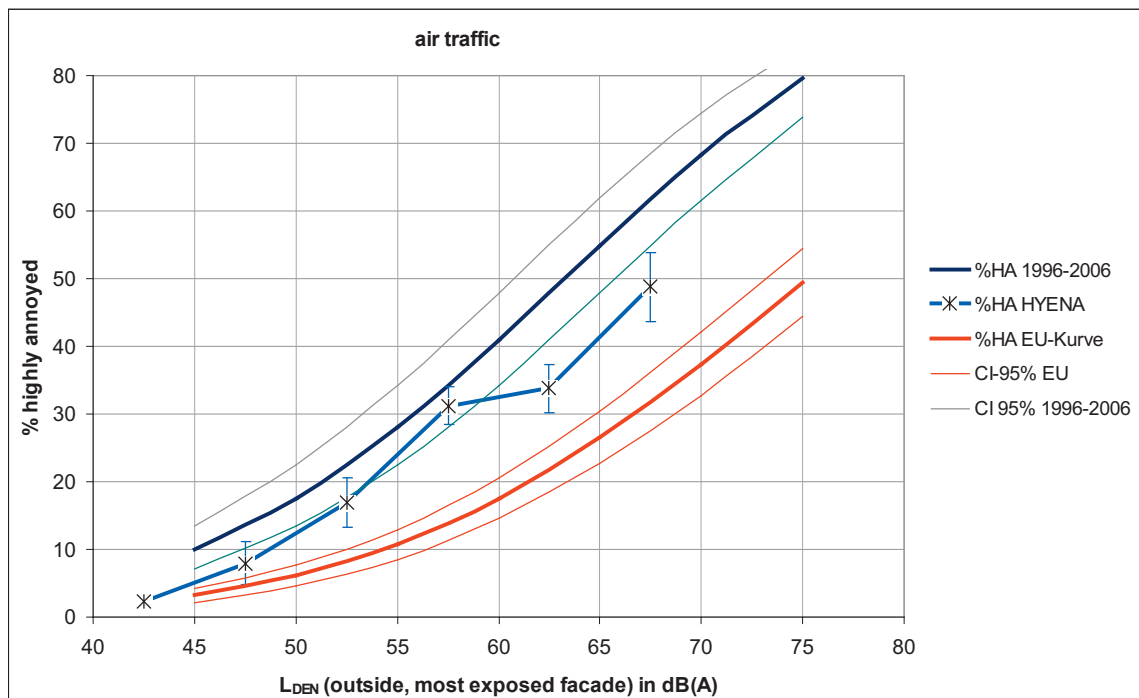


Abbildung 10: Wirkungsbeziehungen zwischen Fluglärm (L_{den}) und hochgradiger Belästigung [in %]. Abgebildet sind die Janssen-Kurve, die EU-Kurve und die HYENA-Kurve (ohne Athen und Mailand), mit 95% Vertrauensbereichen

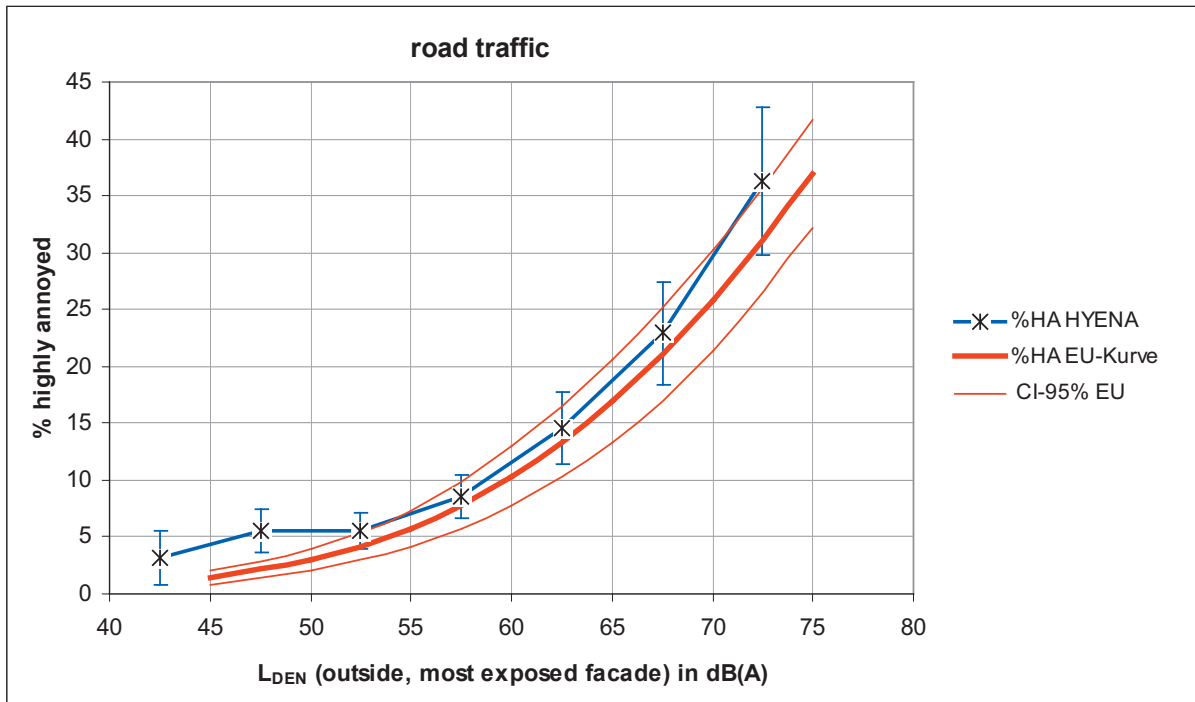


Abbildung 11: Exposition-Wirkungs-Beziehungen für Straßenverkehrslärm (L_{den}) und hochgradiger Belästigung [in %] mit 95% Vertrauensbereichen. Die EU-Kurve und die HYENA Kurve (ohne Athen und Mailand) sind nahezu identisch

NA-Studie erhobene Belästigung durch den Straßenverkehr statistisch nicht von der EU-Kurve für Straßenverkehr. Nur die Belästigung durch Fluglärm hat sich nach den Ergebnissen der HYENA-Studie in den letzten 20 Jahren signifikant verändert.

Auch in der NORAH-Studie wurde die Belästigung durch Flug- und Straßenverkehrslärm in der Umgebung des Frankfurter Flughafens an mehr als 7.000 Anwohnern sowie an drei weiteren Deutschen Verkehrsflughäfen untersucht [64]. Die

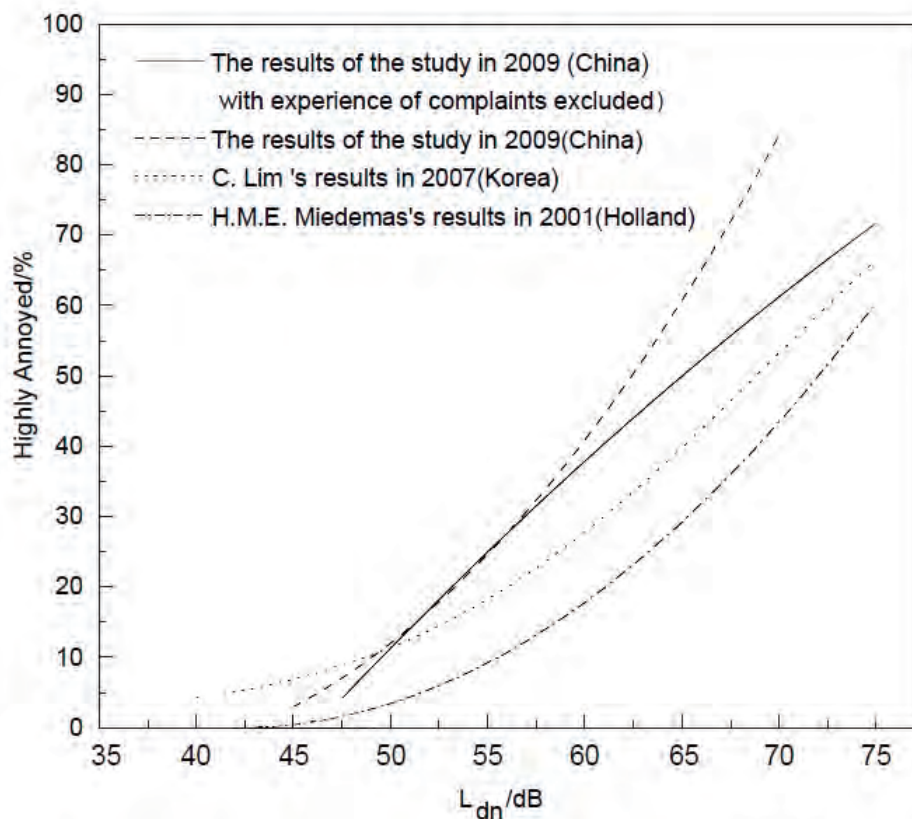


Abbildung 12: Wirkungsbeziehungen zwischen Fluglärm (L_{dn}) und hochgradiger Belästigung [in %] im Bereich von 40 bis 75 dB (A) in China (Guoqing), in Korea (Lim) und nach Miedema [EU-Kurve] (nach [65])

Belästigung wurde jeweils nach ICBEN mit der 5-stufigen Skala erhoben. Im vorliegenden Abschlussbericht sind Exposition-Wirkungskurven nur für den 24-Stunden-Dauerschallpegel ($L_{Aeq,24h}$) bzw. für den 16-Stunden-Tagesdauerschallpegel ($L_{Aeq,06-22h}$) publiziert. Die Exposition-Wirkungskurven für den L_{den} bzw. L_{night} , die eine Einordnung in den internationalen Kenntnisstand erlauben, sollen noch 2016 veröffentlicht werden. Die vorliegenden Ergebnisse der NORAH-Studie lassen erkennen, dass die EU-Kurve die heute erfragte Belästigung der Anwohner enorm unterschätzt und die Belästigung im Umfeld des Frankfurter Flughafens bei gleicher Exposition gegenüber 2005 [58] weiter angestiegen ist.

Exposition-Wirkungs-Beziehungen zur Belästigung liegen auch aus Asien vor [65]. Die Belästigung von 764 Anwohnern im Umfeld des internationalen Flughafens Hangzhou Xiaoshan wurde mit der 11-stufigen Skala nach ICBEN erhoben (Response Rate 51%). 55% der Teilnehmer waren Frauen. Der Fluglärm (effective perceived noise level (LEPN)) wurde an 39 Messstationen über eine Woche gemessen und die Beziehung zwischen der hochgradigen Belästigung (% HA) und der Fluglärmexposition mittels logistischer Regression bestimmt. Die chinesische Wirkungsbeziehung ist mit Ergebnissen aus Korea [66] und der EU-Kurve [67] in der Abbildung 12 über dem Tag-Nacht-Pegel (L_{dn}) dargestellt.

Bei gleichem Tag-Nacht-Pegel (L_{dn}) zeigen sowohl die chinesische als auch die koreanische Studie eine höhere fluglärmbedingte Belästigung als nach der EU-Kurve zu erwarten wäre. Der Wirkungsbeziehung für den chinesischen Flughafen

Hangzhou Xiaoshan ist zu entnehmen, dass bei einem Tag-Nacht-Pegel von $L_{dn} = 55,0$ dB(A) (LWECPN 68.1 dB) 25% der Anwohner hochgradig belästigt sind [65]. Aus der Koreanischen Wirkungsbeziehung ist für 25% hochgradig Belästigte (% HA) ein Tag-Nacht-Pegel von $L_{dn} \sim 58$ dB(A) abzulesen.

2) Schlussfolgerungen für die Belästigung durch Fluglärm

Die nach 2006 publizierten Wirkungsbeziehungen aus größeren epidemiologischen Studien belegen, dass die EU-Kurve die heute erfragte Belästigung der Anwohner systematisch unterschätzt. Für die Fachplanung sollten verallgemeinerten Wirkungsbeziehungen herangezogen werden, die aus Studien stammen, die nach 1996 durchgeführt wurden.

Für Aussagen zwischen hochgradiger Belästigung und nationalen Kenngrößen (z.B. 16-Stunden-Tages-Dauerschallpegel), kann (solange eine Metaanalyse für Deutschland nicht vorliegt) auf Wirkungsbeziehungen, die im Umfeld des Frankfurter Flughafens ermittelt wurde, zurückgegriffen werden. Die Exposition-Wirkungs-Beziehungen hinsichtlich des A-bewerteten Dauerschallpegels für den 16-Stunden-Tag zeigt die Abbildung 13. In den Studien wurde die 5-stufige ICBEN Skala eingesetzt.

Wird der 25% Anteil der hochgradig belästigten Personen (% HA) ermittelt, so ist der NORAH-Studie ein 16-Stunden-Dauerschallpegel (06-22 Uhr) unter 45 dB(A) zu entnehmen, der

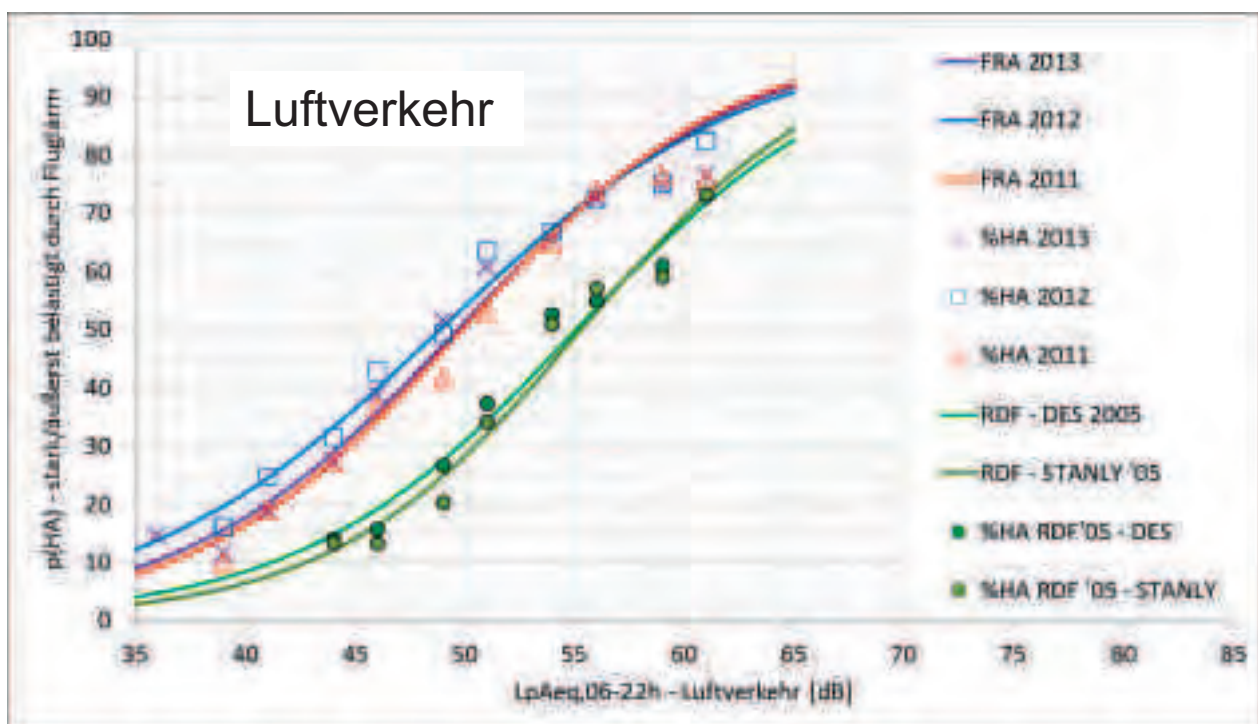


Abbildung 13: Exposition-Wirkungs-Beziehungen zwischen hochgradiger Belästigung [in %] und Fluglärm ($L_{Aeq,06-22h}$) während des 16-Stunden-Tages. In den beiden Studien wurde die 5-stufige ICBEN-Skala eingesetzt [64, S. 403]

RDF-Studie von 2005 ein 16-Stunden-Dauerschallpegel (06-22 Uhr) von 48-49 dB(A).

Gegen die Verwendung der Frankfurter Exposition-Wirkungs-Beziehungen wird häufig eingewandt, dass die Befragungen zu Zeitpunkten stattfanden, in der eine Flughafen-erweiterung bevorstand bzw. gerade abgeschlossen war. Die gegenüber der EU-Kurve erhöhten Belästigungswerte seien im Wesentlichen auf den Änderungskontext zurückzuführen.

Eine starke Beeinflussung der Belästigung hinsichtlich des Änderungskontextes ist im Vergleich mit den nach 2006 publizierten Exposition-Wirkungs-Beziehungen und den im Rahmen der NORAH-Studie an anderen deutschen Flughäfen ermittelten Exposition-Wirkungskurven jedoch nicht zu erkennen.

H) Lernstörungen

I. Studien vor 2006

In einer frühen Kohortenstudie wurde das Lernvermögen von Grundschulkindern bei sich ändernden Fluglärmbelastungen untersucht [68-69]. Im Rahmen der Eröffnung des neuen Münchener Flughafens „Franz-Josef-Strauß“ im November 1992 und der Schließung des alten Flughafens „München-Riem“ wurden Kinder im Umfeld beider Standorte sowie jeweils Kontrollgruppen ohne Fluglärm untersucht (parallelisiert hinsichtlich des sozioökonomischen Status). Insgesamt 326 Kinder (mittleres Alter = 10,4 Jahre) nahmen an drei Datenerhebungen teil, eine vor und zwei nach der Inbetriebnahme des neuen Flughafens „Franz-Josef-Strauß“.

Nach der Verlagerung des Flugbetriebs auf den neuen Flughafen waren die Motivation, das Langzeitgedächtnis sowie die Leseleistung in der fluglärmbelasteten Gruppe im Umfeld des neuen Flughafens beeinträchtigt und in der ehemals fluglärmbelasteten Gruppe im Umfeld des alten Flughafens verbessert.

Auch das Kurzzeitgedächtnis verbesserte sich in der ehemals fluglärmbelasteten Gruppe.

Die Studie legt nahe, dass es einer Fluglärmbelastung über einige Jahre bedarf, bis sich Defizite voll entwickeln. Sofern die Fluglärmbelastung entfällt, bilden sich die Beeinträchtigungen innerhalb von einigen Jahren zurück.

Weitere epidemiologische Studien zu den Auswirkungen von Fluglärm an Grundschulkindern wurden zwischen 2000 und 2003 vorwiegend in Großbritannien durchgeführt (vgl. Tab. 4).

Eine nachfolgende internationale Studie, die in England, Spanien und den Niederlanden durchgeführt wurde, untersuchte die kognitive Leistung und die Gesundheit von Grundschulkindern an fluglärmbelasteten Schulen (RANCH Study) [74]. Insgesamt waren 2.844 Kinder im Alter von 9 bis 10 Jahren aus 89 Schulen an der Untersuchung beteiligt. Die Kinder wurden anhand der Fluglärm- sowie der Straßenverkehrslärmbelastung der Schulen ausgewählt, parallel wurden Kontrollschulen mit vergleichbarem sozio-ökonomischen Status ermittelt (matched schools). Die Fluglärmbelastung an den Schulen variierte zwischen 30 und 77 dB(A), die Straßenverkehrslärmbelastung zwischen 32 und 71 dB(A).

Die Ergebnisse der RANCH-Studie zeigen eine signifikante lineare Beziehung zwischen der Intensität einer chronischen Fluglärmbelastung und dem Leseverständnis (reading comprehension), der Erinnerungsleistung (recognition memory) sowie eine signifikante nicht-lineare Beziehung zur Lärmbelastung, statistisch kontrolliert für die Bildung der Mutter, den sozio-ökonomischen Status der Eltern, langwierige Krankheiten der Kinder sowie für die Schalldämmung der Klassenzimmer (vgl. Abbildung 14). Eine um 5 dB höhere Fluglärmbelastung ($L_{eq,16h}$) entsprach in Großbritannien im Mittel einer Verzögerung von zwei Monaten im Lesealter und in den Niederlanden von einem Monat [75].

Tabelle 4: Epidemiologische Studien zu den Auswirkungen von Fluglärm auf die kognitiven Fähigkeiten von Grundschulkindern

Erstautor Jahr	Name Design	Untersuchungsort	Kinder	Ausgewählte Ergebnisse
Haines 2001 [70]	West-London-School-Studie Querschnitt	Umfeld Flughäfen in London	451 Kinder (8-11 Jahre)	verminderte Leseleistung
Haines 2001 [71]	London-Heathrow-Studie Querschnitt	Umfeld Flughafen Heathrow	380 Kinder (8-11 Jahre)	höhere Lärmbelastung, schlechteres Leseverständnis
Haines 2002 [72]	London-School-Performance-Studie Querschnitt	Umfeld Flughafen Heathrow	11.000 Kinder (11 Jahre)	verminderte Leseleistung, schlechtere Leistung in Mathematik ohne Kontrolle SES
Hiramatsu 2003 [73]	Okinawa-Studie Querschnitt	Umfeld Militär-flughafen Okinawa	2.269 Kinder (8-11 Jahre)	Beeinflussung Langzeitgedächtnis

SES = sozio-ökonomischer Status

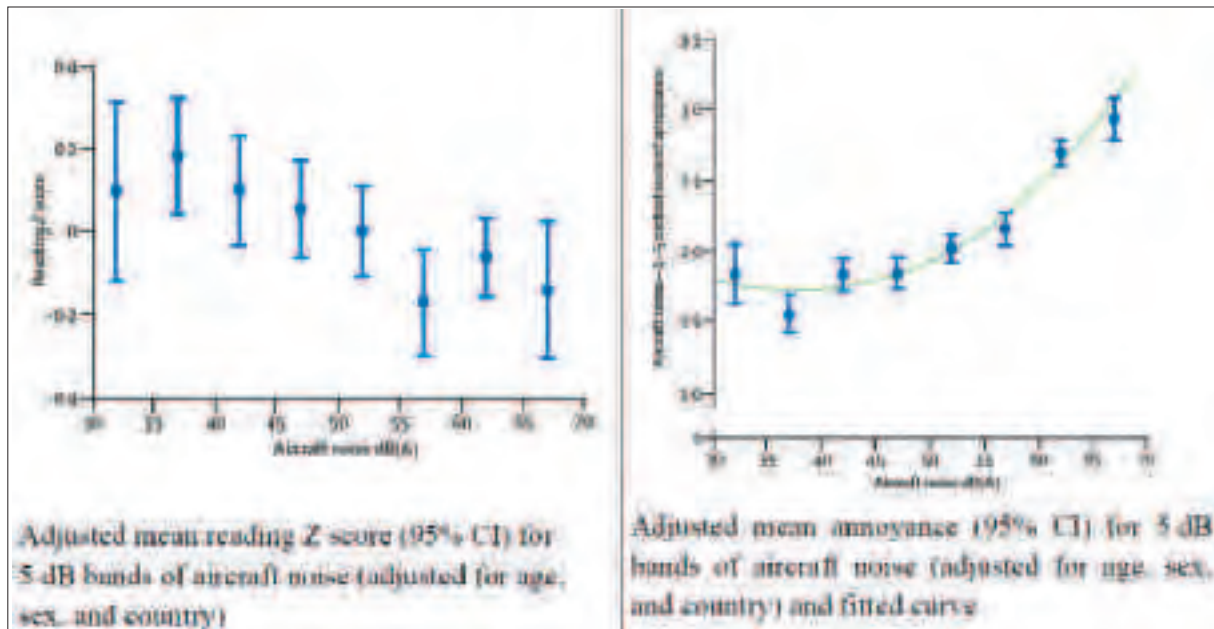


Abbildung 14: (linkes Bild) Mit zunehmendem Fluglärm kommt es zu einer linearen Abnahme des Leseverständnisses „reading comprehension“; (rechtes Bild) Die Belästigung steigt nichtlinear mit zunehmendem Fluglärm an. Die Zusammenhänge bleiben nach Berücksichtigung der sozioökonomischen Daten signifikant (nach [74])

Für Straßenverkehrslärm konnte kein Zusammenhang mit dem Leseverständnis abgesichert werden. Weder Fluglärm noch Straßenverkehrslärm beeinflussten in der RANCH-Studie die selbstberichtete Gesundheit oder die allgemeine seelische Gesundheit (overall mental health).

II. Studien nach 2006

Die Niederländischen Daten der RANCH-Studie wurden einer weitergehenden Auswertung unterzogen, um den Zusammenhang zwischen der Fluglärmbelastung und dem prozentualen Anteil an Kindern zu ermitteln, die ein geringes Leseverständnis aufweisen [76]. Die Angabe einer mittleren Lerneinbuße (vgl. Ergebnisse der RANCH-Studie) ist problematisch, da Kinder mit Schreib-, Lese- oder Sprachschwierigkeiten wesentlich stärker von Lärm beeinflusst werden als „normale“ Kinder (vgl. z.B. [77, 78]).

Da keine Richtlinien vorlagen, welches Testergebnis einem geringen Leseverständnis entspricht, ermittelte van Kempen eigene Richtwerte an „Kontrollschulen“ [76]. Kinder, deren Schulen einer geringen Fluglärmbelastung ausgesetzt waren, wurden als Referenzgruppe herangezogen und ein geringes Leseverständnis auf der Grundlage der standardisierten Verteilung der Testergebnisse dieser Kinder festgelegt. Als Grenze für ein geringes Leseverständnis wurden die Prozentränge (Perzentile) von 20%, 10% und 5% in der Kontrollgruppe ausgewählt. Auf diese Weise konnte van Kempen jedem Kind ein gutes oder schlechtes Leseverständnis zuordnen.

Die Beziehung zwischen der Fluglärmbelastung an der Schule (L_{Aeq} 7-23 h) und der Wahrscheinlichkeit für ein geringes Leseverständnis wurde mit einer mehrstufigen logistischen Regression bestimmt. Die Berechnungen wurden sowohl mit kontinuierlicher Fluglärmbelastung als auch in 2,5 dB breiten Pegelklassen durchgeführt. Die Kontrollvariablen waren die gleichen wie in der RANCH Studie.

Die erweiterte Auswertung von van Kempen zeigt, dass eine steigende Fluglärmbelastung an der Schule signifikant mit einem zunehmenden Anteil an Kindern mit geringem Leseverständnis verbunden war (vgl. Abbildung 15).

Seabi et al. untersuchten am Durban International Airport in Südafrika 437 Grundschulkindern (9-14 Jahre), die einer starken Fluglärmbelastung ausgesetzt waren (Testgruppe), und 337 Grundschulkindern gleichen Alters, die in einer ruhigen Gegend wohnten (Kontrollgruppe, 48%) [79, 80]. 151 Schüler der Testgruppe sprachen Englisch als Muttersprache (first language, EFL), 162 sprachen Englisch als erste Fremdsprache (second language, ESL). In der Kontrollgruppe war die Aufteilung vergleichbar (191 EFL zu 156 ESL). Das Leseverständnis wurde wie in der RANCH-Studie mit der Suffolk Reading Scale Level 2 erhoben. Schallpegelmessungen wurden während der Testzeit (8 bis 10 Uhr) durchgeführt.

In der Testgruppe wurde an den Schulen ein Dauerschallpegel von 69 dB(A) mit Maximalpegeln bis zu 95 dB(A) gemessen und in der Kontrollgruppe ein Dauerschallpegel von 40 dB(A) mit Maximalpegeln bis zu 54 dB(A).

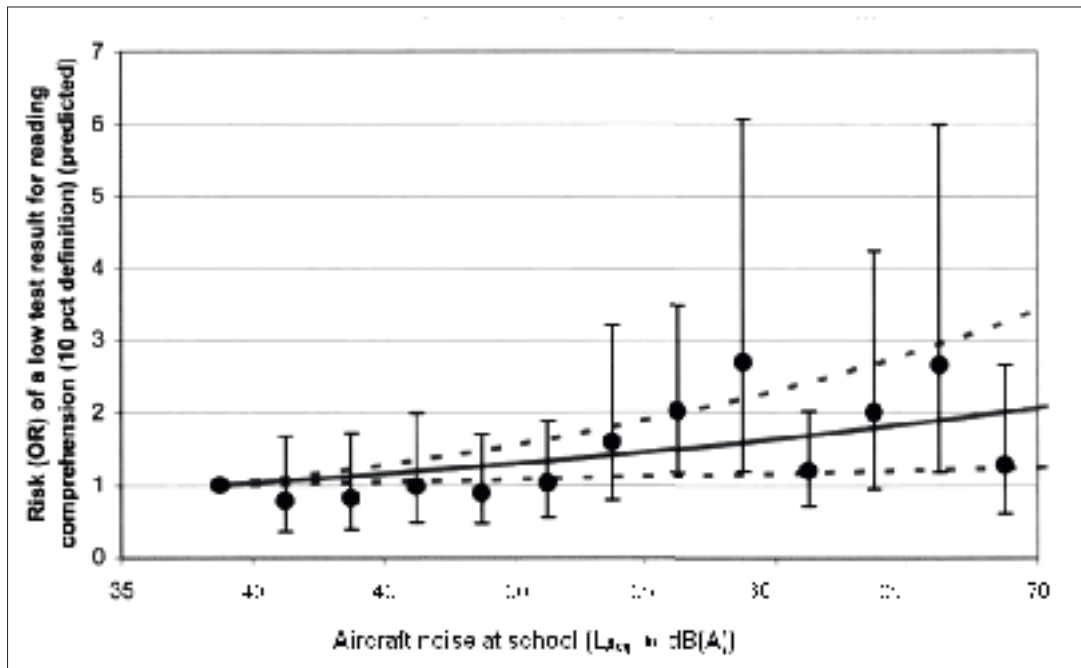


Abbildung 15: Adjustierte Odds Ratios und 95% Vertrauensintervalle für die Wahrscheinlichkeit eines niedrigen Testergebnisses für das Leseverständnis (basierend auf dem 10%- Perzentil), sowohl für die kontinuierliche Variable als auch für 2,5 dB breite Schallpegelklassen [76]

Die Auswertung der Studie ergab, dass die Schüler der Testgruppe ein signifikant schlechteres Leseverständnis aufwiesen, als die Schüler der Kontrollgruppe. Der Unterschied war jedoch kleiner als erwartet (Effektgröße 0,35).

Schüler mit Englisch als Muttersprache erzielten ein signifikant besseres Ergebnis im Leseverständnis-Test (Effektgröße 0,46) als Schüler mit English als erster Fremdsprache.

Ein signifikanter Interaktionsterm zeigte eine Verschlechterung des Leseverständnisses unter Fluglärm (Effektgröße 0,87) für Schülern mit Englisch als Muttersprache. Dabei ist zu beachten, dass das Leseverständnis der südafrikanischen Schüler bedeutend niedriger war (im Mittel 35,27), als das Leseverständnis der britischen Schüler in vergleichbaren Studien (im Mittel 98,2). Im Vergleich mit den britischen (europäischen) Schülern wiesen die südafrikanischen Schüler unabhängig vom Lärm ein geringes Leseverständnis auf [79].

Die folgende Studie von Clark et al. ist eine Weiterführung des RANCH-Projektes [81]. Es wurden sechs Jahre nach der RANCH-Studie (2001-2003) 461 Schüler im Alter von 15 bis 16 Jahren untersucht, die 2001-2003 eine der Schulen besuchten, die an der RANCH-Studie teilnahmen (Response Rate 45%). An den Grund- und weiterführenden Schulen wurde der 16-Stunden-Dauerschallpegel (07-23 Uhr) im Außenbereich anhand der jeweiligen Postleitzahl bestimmt. Das Leseverständnis wurde mit der Suffolk Reading Scale 2 ermittelt, Level 2 in der RANCH-Studie und Level 3 in der Folgestudie. Die Belästigung wurde mit der 5-stufigen ICBEN-Skala

erhoben. Die Kontrollvariablen waren die gleichen wie in der RANCH-Studie.

Vor der statistischen Kontrolle soziodemografischer Faktoren war die Zunahme der Fluglärmexposition um 1 dB mit einer signifikanten Abnahme des Leseverständnisses (-0,008) und mit einer signifikanten Zunahme der Belästigung (0,017) verbunden. Nach der statistischen Kontrolle für die soziodemografischen Faktoren verblieb nur eine signifikante Zunahme der Fluglärmbelästigung.

Für die summarische Fluglärmbelastung von Grund- und weiterführender Schule zeigte sich vor der statistischen Kontrolle für die soziodemografischen Faktoren eine signifikante Abnahme des Leseverständnisses (-0,014) und eine signifikante Zunahme der Belästigung (0,030). Die Abnahme des Leseverständnisses lag hier in einer vergleichbaren Größenordnung wie in der RANCH-Studie. Nach der statistischen Kontrolle für die soziodemografischen Faktoren verblieb auch hier nur eine signifikante Zunahme der Fluglärmbelastigung.

Die Ergebnisse zeigen, dass Kinder, die eine stark fluglärmbelastete Grundschule besuchten, auch nach sechs Jahren eine höhere Lärmbelastigung angaben, als Kinder die eine weniger stark fluglärmbelastete Grundschule besuchten.

Als Teil der NORAH Studie wurde eine Untersuchung über den Einfluss von Fluglärm auf die kognitive Leistungsfähigkeit und Lebensqualität von Schulkindern veröffentlicht [25]. Die Studie wurde im Jahr 2012 durchgeführt und umfasste

85 Klassen der 2. Klassenstufe aus 29 Grundschulen, die in der Umgebung des Frankfurter Flughafens einem Fluglärm zwischen 39 und 59 dB(A) aufwiesen. An der Studie nahmen 1.243 Kinder, 1.185 Eltern und 85 Lehrern teil.

Ein Anstieg der Fluglärmbelastung um 10 dB war mit einer verminderten Leseleistung, entsprechend einer Verzögerung von einem Monat, verbunden. Darüber hinaus beschreiben die Autoren einen unerwartet deutlichen Einfluss auf die Lebensqualität und die kindliche Motivation zum Lernen. Eltern von Kindern stark belasteter Schulen berichteten über vermehrte Schlafstörungen und eine vermehrte Einnahme verschreibungspflichtiger Medikamente.

Die Ergebnisse früherer Studien werden im Wesentlichen bestätigt. Die wichtige Frage wie lange die Effekte anhalten, wurde nicht untersucht. Solange keine anderen Informationen zur Verfügung stehen, muss von einem länger anhaltenden Defizit ausgegangen werden.

IV. Belastungsgrenzwerte aus heutiger Sicht

Mit diesem Artikel soll die Notwendigkeit von angemessenen Lärmschutz- und Lärminderungsstrategien für die öffentliche Gesundheit unterstrichen werden. Es ist nach den vorliegenden Erkenntnissen dringend erforderlich, die Fluglärmbelastung zu regulieren und zu mindern (idealerweise an der Quelle). Um dieses Ziel zu erreichen, sind Belastungsgrenzwerte unverzichtbar.

Beim Überschreiten solcher Grenzwerte sind Gesundheitsbeeinträchtigungen nicht mehr auszuschließen. Daraus ergibt sich die Pflicht, die vorgefundene Lärmsituation zu überprüfen und Maßnahmen zur Minderung der Belastung einzuleiten.

Bei der Ableitung derartiger Belastungsgrenzwerte ist zu beachten, dass nicht nur Fluglärm auf das Herz-Kreislauf-System einwirkt. Studienergebnisse zeigen, dass auch der allgegenwärtige Feinstaub mit kardiovaskulären Erkrankungen verbunden ist.

A) Feinstaubproblematik

Lärmbelastung aus dem Straßenverkehr geht in aller Regel mit der Belastung durch Feinstaub einher. Chronische oder akute Feinstaubbelastungen – insbesondere mit sehr feinem Staub von einer Partikelgröße unter 2,5 Mikrometer – können zu erhöhten kardiovaskulären Erkrankungsrisiken führen [82, 83, 84]. Die Diagnosen hinsichtlich kardiovaskulärer Erkrankungen, überdecken sich teilweise mit den lärmbedingten Erkrankungen. Bei Studien zum gesundheitsschädlichen Einfluss von Lärm ist daher die gleichzeitige Belastung mit Feinstaub

zu beachten. In epidemiologischen Studien zum Straßenverkehrslärm ist die gleichzeitige Feinstaubbelastung von der reinen Lärmbelastung jedoch nur schwer zu trennen, selbst wenn gleichzeitig Messungen der Feinstaubbelastung durchgeführt werden.

Im Luftverkehr erfolgen die staubförmigen Emissionen dagegen in relativ großer Höhe. Hier werden die Partikel durch die Luftströmung großräumig verteilt und Partikelbelastung und Lärmbelastung kovariieren nicht mehr systematisch am Immissionsort. Bei epidemiologischen Studien zum Fluglärm ist die Einwirkung des Feinstaubes als gleichzeitige Gesundheitsbelastung daher wenig wahrscheinlich. Von einer Verfälschung der besprochenen Studienergebnisse durch Feinstaub ist daher nicht auszugehen.

B) Fluglärmbezogene Belastungsgrenzwerte

Obwohl in den meisten epidemiologischen Untersuchungen Risiken erst in den höheren oder höchsten Belastungskategorien, im Vergleich mit gar nicht oder niedrig belasteten Bevölkerungsgruppen, signifikant werden (z.B. [33, 42]), bedeutet dies jedoch nicht zwingend, dass bei geringeren Belastungen die Risiken auf Null zurückgehen [85]. Die Annahme einer Wirkungsschwelle kann in diesem Sinn ein Artefakt der statistischen Auswertung sein. Bei der Ableitung der folgenden Belastungsgrenzwerte wurde dennoch von einer Wirkungsschwelle ausgegangen.

Im Jahr 2016 haben sich die Erkenntnisse über Belastungsgrenzen gegenüber den vergangenen 10 Jahren in zweifacher Hinsicht verändert.

Der wissenschaftliche Nachweis, dass Lärm zu Gesundheitsschäden führen kann, hat sich dahingehend verdichtet, dass nicht nur ein vermehrtes Auftreten von chronischem Bluthochdruck, sondern auch von Herzinfarkt und Schlaganfall nicht mehr umstritten ist. Der nächtliche Fluglärm hat sich dabei als die gefährlichste Lärmbelastung erwiesen.

Der Schallpegel, bei dem sich 25% der Bevölkerung hochgradig belästigt fühlen (highly annoyed), hat sich in den letzten 10 Jahren um annähernd 10 dB(A) verringert. Er liegt nach Auswertung der neueren Studien (vgl. Abschnitt 4.G) bei einem Tag-Abend-Nacht-Pegel (L_{den}) von etwa 56 dB(A) bzw. bei einem 16-Stunden-Dauerschallpegel (6 bis 22 Uhr) von etwa 50 dB(A). Werden nur die neueren Studien in Europa betrachtet, so liegen die Pegel noch etwas niedriger. Die Absenkung betrifft den Fluglärm, nicht aber den Straßenverkehrslärm. Als Grenzwerte für die Vermeidung von erheblicher Belästigung durch Fluglärm sollte in Europa ein L_{den} von 55dB(A) und für den 16-Stunden-Dauerschallpegel am Tag ein L_{eq} von 50 dB(A) herangezogen werden.

Die Ableitung eines Belastungsgrenzwertes für das Risiko einer chronischen Blutdruckerhöhung aufgrund von Fluglärm gestaltet sich schwierig, da die Studien deutliche Qualitätsunterschiede aufweisen (z.B. Studiendesign, Stichprobengröße, Response-Raten, Kontrollvariablen), manche Studien nur mit Männern durchgeführt wurden [41] oder nur für Männer signifikante Ergebnisse liefern [36, 22]. Darüber hinaus gibt es einige nationale Studien, die keine Risikoerhöhung ermittelten [43, 86].

Wird die international anerkannte HYENA-Studie herangezogen und die erste signifikante Pegelklasse in der Nacht betrachtet, so ergibt sich bei einem Nachtfluganteil von 4 bis 5% ein Tag-Abend-Nacht-Pegel (L_{den}) von 54 bis 55 dB(A) [42]. Dies korrespondiert mit den Ergebnissen von Rosenlund [35] sowie Eriksson [22, 41], bei deren Studien ein deutlicher Risikoanstieg mit einem L_{den} von 50-55 dB(A) verbunden war. In diesem Pegelbereich ist auch eine signifikant erhöhte Medikamentenverschreibung bzw. Medikamenteneinnahme zu verzeichnen. Das Hypertonierisiko ist um etwa 10-20% erhöht [22, 35, 36, 41]. Zur Vermeidung von Erkrankungen muss auf die untere Pegelgrenze abgestellt werden.

Nach heutigem Kenntnisstand ist daher für Fluglärm ein L_{den} von 50 dB(A) als Belastungsgrenzwert zur Vermeidung eines erhöhten Hypertonierisikos im 24-Stunden-Tag anzusehen (vgl. [87]). Der nächtliche Fluglärm darf dabei nicht höher als $L_{night} = 45$ dB(A) sein (vgl. [42] siehe auch [88]). Als mittelfristiges Ziel ist zum Schutz der Anwohner eine achtstündige Nachtruhe ohne Fluglärm in der Zeit von 22 bis 6 Uhr anzustreben (vgl. [89], Randnummer 190).

Für den 16-Stunden-Tagespegel kann aus den Studien, die den L_{den} oder den $L_{eq,24h}$ als akustische Kenngröße nutzen, kein verlässlicher Belastungsgrenzwert abgeleitet werden, da die ermittelten Risikoerhöhungen für den 24-Stunden-Tag immer auch die gesicherte nächtliche Risikoerhöhung enthalten [88, 90, 91]. Der Stress der lärmgestörten Nachtruhe kann die Lärmbewältigung am Tag stark beeinflussen und der Lärmstress am Tage wird mit in die Nacht genommen. In der HYENA Studie, die den 16-Stunden-Tagespegel untersuchte, konnte eine leichte Risikoerhöhung in Abhängigkeit vom $L_{eq,16h}$ ermittelt, aber statistisch nicht abgesichert werden [42]. Der Konsum von Antihypertensiva weist (mit Ausnahme Italiens) eine Zunahme mit dem 16-Stunden-Tagespegel auf, die aber nur in England signifikant war [45]. Lediglich aus der Okinawa-Studie [92, 93]) lassen sich Hinweise über die Auswirkungen von Fluglärm im 16-Stunden-Tag auf das Hypertonierisiko entnehmen. In der Studie wurden 2.8781 Personen im Umfeld von drei Luftwaffenstützpunkten in Okinawa untersucht (militärischer Fluglärm). Nächtliche Flüge fanden nur sehr selten statt und auch in den Tagesrandstunden war nur ein geringer Flugbetrieb zu verzeichnen. Die niedrigste Pegelklasse bei der ein signifikant

erhöhtes Hypertonierisiko ermittelt wurde, war ein L_{dn} von 60 bis 65 dB(A). Das Hypertonierisiko war in diesem Pegelbereich um etwa 10% erhöht. Zur Vermeidung von Erkrankungen durch zivilen Fluglärm mit Bewegungsspitzen in den Tagesrandzeiten ist von der unteren Pegelklasse ein Sicherheitsabstand einzuhalten (vgl. [94]). Nach heutigem Kenntnisstand sollte für Fluglärm ein $L_{eq,16h}$ von 55-60 dB(A) als Belastungsgrenzwert zur Vermeidung erhöhter Hypertonierisiken angesehen werden, wenn sich die Fluglärmexposition im Wesentlichen auf den 16-Stunden-Tag beschränkt. Bei heute üblichen Nachtfluganteilen an zivilen Flughäfen ist eine 24-Stunden-Bewertung mit Hilfe des Tag-Abend-Nacht-Pegels der europäischen Union (L_{den}) der getrennten Beurteilung des Tages vorzuziehen.

C) Schallpegel in Innenräumen

Bei der Umrechnung von prognostizierten Freifeld-Außenschallpegeln in Innenraumpegel wird für Fluglärm vereinfachend von einer typischen Schallpegeldifferenz (außen-innen) ausgegangen. Von besonderer Bedeutung ist die Schallpegeldifferenz des gekippt-geöffneten Fensters, die 15 dB betragen soll. Dieser Ansatz wird z.B. im Deutschen Fluglärmgesetz, in Planfeststellungsverfahren sowie in der Fachliteratur verwendet (z.B. [95]). Zur Rechtfertigung der Schallpegeldifferenz von 15 dB wird in Deutschland auf die VDI 2719, Nummer 10.2 verwiesen. In der VDI wird ausgeführt, dass „Fenster in Spaltlüftstellung nur ein bewertetes Schalldämm-Maß von ca. $R_w = 15$ dB erreichen. Bei dieser Aussage ist zu beachten, dass in der VDI-Richtlinie nicht auf eine Kippstellung des Fensters, sondern auf eine Spaltlüftung Bezug genommen wird und dass ferner nicht von einer Pegeldifferenz von 15 dB, sondern von einem bewerteten Schalldämm-Maß $R_w = 15$ dB gesprochen wird. Die Schallpegeldifferenz eines gekippt geöffneten Fensters kann grundsätzlich errechnet werden. In Abbildung 16 ist die Standard-Schallpegeldifferenz außen – innen ($L_a - L_i$) über dem Öffnungsspalt am oberen Rand des Fensters dargestellt. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass eine Freifeld-Schallpegeldifferenz von 15 dB nur bei sehr kleinen Spaltbreiten auftritt.

Eine MONTE-CARLO-Simulation, in der alle Parameter der Freifeld-Schallpegeldifferenz mittels Zufallsauswahl aus geeigneten Wertekombinationen variiert wurden, ergab nach dem Durchlaufen von 50.000 Varianten (bei quasi-gleichverteilter Variation der Parameter) und einem üblichen Fensterspalt von 110 mm eine Verteilung mit einem Mittelwert von 12 dB [97]. Dies konnte auch durch Messungen bestätigt werden [98]. Darüber hinaus darf in einem Schutzkonzept nicht auf den Mittelwert einer Normalverteilung abgestellt werden (50% aller Fälle liegen unter dem Mittelwert und werden ungenügend geschützt). Soll in 90-95% aller Fälle die Schallpegeldifferenz nicht unterschritten werden, so muss mit einer Schallpegeldif-

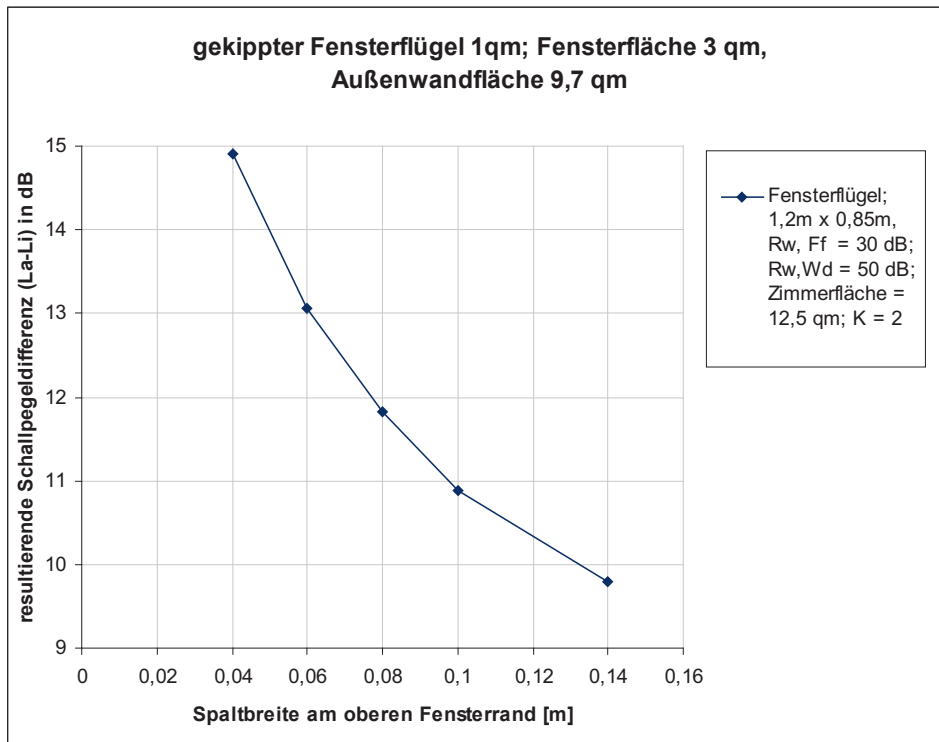


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen der resultierenden Standard-Schallpegeldifferenz (außen-innen) und dem Öffnungsspalt am oberen Rand des Fensters (3 m²) mit einem gekippt-geöffneten Fensterflügel von 1 m², berechnet nach VDI-Richtlinie 2719 in Verbindung mit Beiblatt 1 zu DIN 4109-2, Abschnitt 11 (R'_w, Wand = 50 dB; R'_w, Fensterfläche = 30 dB, Fensterflächenanteil 30%; Zimmerfläche 12,5 m²; K = 2 nach Kötz [96])

ferenz (außen-innen) von 10 dB für das gekippt geöffnete Fenster gerechnet werden.

Eine ausschließliche Orientierung an den Schallpegeln in Innenräumen ist jedoch nicht sinnvoll. Die Fluglärmexposition im Außenbereich muss Ausgangspunkt für die lärmmedizinische Beurteilung sein, da die langjährigen Auswirkungen von Lärm für die Außenlärmbelastung im Wohnumfeld dokumentiert wurden.

D) Schlussfolgerung zur Lärmwirkungsforschung

Zum Schutz der Flughafenanwohner sollte es rechtlich normierte Immissionsgrenzwerte für Fluglärmbelastungen geben. Dies fordern u.a.:

- die WHO (Night noise guidelines for Europe, 2009 [6])
- der Deutschen Ärzteschaft (Entschließung: Fluglärm, 2012 [99]) und
- der Deutsche Sachverständigenrat für Umweltfragen (Fluglärm reduzieren: Reformbedarf bei der Planung von Flughäfen und Flugrouten, 2014 [89] Randnummer 189).

Zur Vermeidung von Gesundheitsgefährdungen, erheblichen Belästigungen und kognitiven Einschränkungen lassen sich aus den verfügbaren Studien Immissionsgrenzwerte von 50 dB(A) L_{den} für den 24-Stunden-Tag und 45 dB(A) L_{nicht} für die Nacht ableiten. Die Einhaltung einer achtstündigen Nachtruhe

von 22 bis 6 Uhr ist dringend erforderlich, um lärmbedingte Schlafstörungen in der Nacht zu vermeiden.

V. Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf rechtliche Vorgaben zum Lärmschutz in der Europäischen Union

Die vorangestellte Zusammenschau wissenschaftlicher Forschungsergebnisse macht deutlich, dass rechtliche und politische Anstrengungen erforderlich sind, um die negativen Auswirkungen von Fluglärm zu vermeiden. Dies betrifft zunächst die rechtlichen Vorgaben zum Lärmschutz in der Europäischen Union. Eine Auseinandersetzung mit dem Lärmschutz in Deutschland erfolgt in einer Ergänzung zur deutschen Fassung.

Lärmschutz – gerade auch vor Fluglärm – hat in unterschiedlicher Gestalt Eingang in das Europarecht gefunden. Dabei ist zunächst auf die Vorgaben des Primärrechts einzugehen (Abschnitt 5.a). Anschließend sind die Festlegungen der Umgebungslärm-Richtlinie aufzuzeigen; und zwar sowohl im Hinblick auf die Verpflichtungen der Mitgliedstaaten (5.b) als auch hinsichtlich der Aufgaben, die an die Europäische Kommission übertragen wurden (5.c). Unter Berücksichtigung der Aussagen im 7. Umweltaktionsprogramm (5.d) sind abschließend – so

wohl de lege lata als auch de lege ferenda – Schlussfolgerungen aus den lärmmedizinischen Befunden zu ziehen (5.e).

A) Primärrechtliche Vorgaben

Schutz und Verbesserung der menschlichen Gesundheit sind ein wichtiges Ziel der Europäischen Union, das nach den primärrechtlichen Grundlagen in erster Linie mittels der Durchführung von Maßnahmen zur Unterstützung, Koordinierung oder Ergänzung der Maßnahmen der Mitgliedstaaten verfolgt werden soll (Art. 6 Buchstabe a AEUV). Lärmschutz als Bestandteil der Umweltpolitik der Union nach Art. 191 Abs. 1 AEUV soll neben der Erhaltung und dem Schutz der Umwelt sowie der Verbesserung ihrer Qualität auch zum Schutz der menschlichen Gesundheit erfolgen. Nach Art. 191 Abs. 2 AEUV beruht die Umweltpolitik der Union „auf den Grundsätzen der Vorsorge und Vorbeugung, auf dem Grundsatz, Umweltbeeinträchtigungen mit Vorrang an ihrem Ursprung zu bekämpfen (rectified at source), sowie auf dem Verursacherprinzip“.

Nach Art. 3 Abs. 1 EU-Grundrechte-Charta hat jede Person das Recht auf körperliche und geistige Unversehrtheit, der Schutz der eigenen Gesundheit in Form der körperlichen und geistigen Integrität steht zugleich jedem Unionsbürger als Unionsgrundrecht zur Seite.⁴ Zugleich gewährleistet Art. 8 Abs. 1 EMRK als völkerrechtlicher Vertrag, dem die Union nach Art. 6 Abs. 2 des Vertrages über die Europäische Union (EVU) beigetreten ist und dessen Garantien als allgemeine Grundsätze des Unionsrechts gelten (Art. 6 Abs. 3 EUV) einen Anspruch auf Schutz vor Lärm im eigenen Lebensumfeld als Bestandteil des Rechts auf Achtung des Privat- und Familienlebens.⁵

B) Die Umgebungslärmrichtlinie (UL-RL)

Seit dem 5. Umweltaktionsprogramm der Gemeinschaft aus dem Jahr 1992 (ABl. EG Nr. 138 vom 17.5.1993, Seite 1 ff.) zählt der Lärmschutz zum eigenständigen Ziel der Europäischen Union. Das hierauf folgende Grünbuch „Künftige Lärmschutzpolitik“ (KOM [1996]540 endg., ABIEG Nr. C 200, vom 30.6.1997) fasste im Wesentlichen die in der Gemeinschaft bisher unternommenen, in erster Linie quellenbezogenen Anstrengungen zusammen und verstand sich als Auftakt für ein Aktionsprogramm, das zunächst über eine umfängliche Datenerfassung ein klareres Bild von der Lärmsituation liefern und zugleich mögliche Maßnahmen zur Lärminderung einschließen soll. Ausweislich Art. 7 des 6. Umweltaktionsprogramms der Gemeinschaft wird eine erhebliche Verringerung der An-

zahl von Personen angestrebt, die langfristigen andauernden mittleren Lärmpegeln – insbesondere Verkehrslärm – ausgesetzt sind, die gemäß wissenschaftlichen Studien eine gesundheitsschädigende Wirkung haben.⁶

1) Vorgaben für die Mitgliedstaaten

Mit Erlass der Richtlinie 2002/49/EG⁷ wurde die Erhebung von Daten zur Lärmbelastung in Form der Erstellung von strategischen Lärmkarten für die Mitgliedstaaten verbindlich geregelt (Art. 7) und den Mitgliedstaaten zugleich auferlegt, Aktionspläne zur Bekämpfung der Lärmbelastung (Art. 8) zu erstellen.

Im Unterschied zur früheren Rechtslage in den meisten Mitgliedstaaten ist die UL-RL auf eine ganzheitliche Betrachtung des Lärms angelegt: Alle Lärmarten sind nach jeweils einheitlichen Bewertungskriterien zu erfassen und ein umfassendes Bild der Lärmbelastung zu generieren, das einer Bewertung nach vergleichbaren Methoden zugeführt werden kann. Zu diesem Zweck sollen „Daten über Umgebungslärmpegel auf Grundlage gemeinschaftsrechtlich vorgegebener, harmonisierter Indizes und Bewertungsmethoden sowie Kriterien für die Erstellung von Lärmkarten erfasst, zusammengestellt und gemeldet werden“ (Erwägungsgrund 7 UL-RL).

Grundlage dieser Datenerhebung ist der Begriff des „Umgebungslärms“. Dieser wird in Art. 3 Buchstabe a UL-RL definiert als „unerwünschte oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien, die durch Aktivitäten von Menschen verursacht werden. Eingeschlossen ist auch Lärm, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr sowie Bereichen für industrielle Tätigkeiten (...)“⁸ ausgeht“.

Art. 1 Abs. 1 Satz 1 UL-Richtlinie verfolgt das Ziel, ein gemeinsames Konzept festzulegen, „um vorzugsweise schädliche Auswirkungen, einschließlich Belästigung, durch Umgebungslärm zu verhindern, ihnen vorzubeugen oder sie zu mindern.“ Die in Art. 1 Abs. 1 Satz 2 UL-RL vorgesehenen Maßnahmen der Lärmkartierung, der Aufklärung der Öffentlichkeit über Umgebungslärm und seine Auswirkungen und die Annahme von Aktionsplänen durch die Mitgliedstaaten auf Basis der erstellten Lärmkarten sind folglich als erste Ansätze einer fort-

⁴ EuGH, Slg. 1999, I-5251 – Lucaccioni; Slg. 1996, I-5501 ff. – Royale belge SA zur Geltung gegenüber Gemeinschaftsorganen.

⁵ EGMR, Urteil vom 02.10.2001, Hatton u.a. gegen Großbritannien, Nr. 36022/97; abgedruckt in ÖJZ 2003, 72; restriktiver EGMR (Große Kammer), Urteil vom 08.07.2003, Hatton u.a. gegen Großbritannien, Nr. 36022/97; abgedruckt in NVwZ 2004, 1465.

⁶ Beschluss Nr. 1600/2002/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juli 2002 über das 6. Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft, ABIEG L 242, S. 1.

⁷ Richtlinie 2002/49/EG vom 25.6.2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (ABIEG Nr. L 189, S. 12 ff. – sog. Umgebungslärm-Richtlinie (UL-RL)).

⁸ Tätigkeiten gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (ABIEG L 257 vom 10.10.1996, S. 26, nunmehr Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24.11.2010 über Industrieemissionen (Integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung), ABIEG L 343, S. 17).

zu entwickelnden europäischen Strategie zur Bekämpfung des Umgebungslärms zu verstehen.

Auf die Verhinderung und Minderung von Umgebungslärm insbesondere in den Fällen gesundheitsschädlicher Auswirkungen aber auch auf die Erhaltung einer bereits zufrieden stellenden Lärmsituation soll zwar bereits durch die Erstellung von Lärmaktionsplänen hingewirkt werden. Dennoch belegt Art. 1 Abs. 2 UL-RL, dass erst die Grundlage für Maßnahmen der Gemeinschaft zur Lärminderung bei den wichtigsten Lärmquellen geschaffen werden soll und auf Basis der in Art. 10 Abs. 1 UL-RL vorgesehenen Berichte der Mitgliedstaaten an die Kommission weitere Rechtsetzungsvorschläge folgen sollen.

Mit der UL-Richtlinie steht die EU erst am Anfang ihrer Bemühungen. Ein umfassend verstandener Lärmschutz, der die primärrechtlichen Ziele und Grundsätze mit verbindlichen Vorgaben ausfüllt, ist damit noch nicht erreicht. Vielmehr handelt es sich um einen ersten Schritt; weitere Schritte sind in der UL-Richtlinie bereits vorgezeichnet.

Verbindliche, europaweit einheitliche Grenzwerte für Lärm gibt die Umgebungslärmrichtlinie konsequenterweise nicht vor, vielmehr sind die Mitgliedstaaten nach Art. 5 UL-RL verpflichtet, anhand einheitlicher Bewertungsmethoden (so genannter Lärmindizes) selbstständig Lärmwerte festzulegen.

2) Lärmkartierung auf Basis definierter Lärmindizes

Nach Art. 5 Abs. 1 UL-RL sind für die Lärmkartierung die Lärmindizes L_{den} und L_{night} nach Anhang I zu verwenden. Als L_{den} bezeichnet Art. 3 Buchstabe f UL-RL einen Tag-Abend-Nacht-Lärmindex für die allgemeine Belästigung, als L_{night} den Lärmindex für Schlafstörungen, wobei eine nähere Konkretisierung jeweils durch Anhang I erfolgt. Als zusätzliche Indizes, deren Verwendung freiwillig ist, werden ein Lärmindex für die Belästigung während des Tages und ein Lärmindex für die Belästigung am Abend angegeben (Art. 3 Buchstabe g und h, Art. 5 Abs. 1 und 4 UL-RL). Der Tag entspricht laut Anhang I einem Zeitraum von 12 Stunden, der Abend einem Zeitraum von 4 Stunden und die Nacht einem Zeitraum von 8 Stunden, wobei der Abend zugunsten Tag oder Nacht um höchstens 2 Stunden verkürzt werden darf, sofern dies für sämtliche Lärmquellen einheitlich geregelt ist. Für viele Mitgliedstaaten, darunter auch die Bundesrepublik Deutschland, ist hiermit die Einführung eines bisher in den Regelwerken nicht vorgesehenen Abendzeitraums verbunden, dessen konkrete Schutzwürdigkeit auch unionsrechtlich erst noch ausgeformt werden muss.

3) Lärmbewertung

Die Bewertung der Lärmindizes, also die jeweilige Methode zur Berechnung, Vorhersage, Einschätzung oder Messung des Wertes des Lärmindex oder der damit verbundenen gesundheitsschädlichen Auswirkungen (Art. 3 Buchstabe e UL-RL), ist gemäß Art. 6 Abs. 1 UL-RL im Anhang II für die Messung und Berechnung vorgegeben, wobei bis zur Annahme gemeinsamer Methoden nach Art. 13 Abweichungen auf Grundlage eigener Berechnungs- oder Messmethoden der Mitgliedstaaten unter den Voraussetzungen des Art. 6 Abs. 2 UL-RL zulässig sind. Soweit es um die Einschätzung der konkreten Lärmwerte und damit die Frage der Bewertung der Gesundheitsrelevanz bestimmter Lärmpegel geht, wird gemäß Art. 6 Abs. 3 in Verbindung mit Anhang III für die Bewertung der Auswirkungen von Lärm auf die Bevölkerung empfohlen, Dosis-Wirkungs-Relationen, mindestens für die Relation zwischen Belästigung und L_{den} sowie zwischen Schlafstörung und L_{night} , jeweils für Straßenverkehrs-, Eisenbahn- und Fluglärm sowie für Industrie- und Gewerbelärm, anzuwenden.

Nicht vorgegeben wird, ab welchen konkreten Lärmpegel ein Aktionsplan erstellt werden muss.⁹ Die Umgebungslärmrichtlinie überlässt dies der näheren Ausgestaltung durch die Mitgliedstaaten, in der Bundesrepublik Deutschland wurden abgesehen von der 34. BImSchV über die Lärmkartierung keine weiteren Vorschriften zur Konkretisierung des Art. 8 Abs. 1 UL-RL erlassen.

Nach Art. 8 Abs. 1 Unterabsatz 2 UL-RL sind die „in den Plänen genannten Maßnahmen in das Ermessen der zuständigen Behörden gestellt.“ Daraus kann man den Schluss ziehen, für die Pflicht zur Erstellung eines Aktionsplans komme es auf konkrete Immissionswerte ohnehin nur insoweit an, als eine Entscheidung darüber getroffen werden muss, welche Maßnahmen im Rahmen eines Aktionsplans vorrangig zu ergreifen sind oder in welchen Gebieten wegen kritischer Lärmsituation besonders schnell gehandelt werden muss (so [100]). Lediglich für die Konkretisierung der „Orte in der Nähe von Hauptverkehrsstraßen“ bzw. den sonstigen in Art. 7 Abs. 1 und 2 UL-RL genannten Infrastrukturen seien Schwellenwerte notwendig [100]. Andere Autoren gehen davon aus, dass die Pflicht zur Aufstellung eines Aktionsplans nur besteht, wenn Lärmprobleme und Lärmauswirkungen der Regelung bedürfen. Dies soll bei Überschreitung nationaler Grenzwerte der Fall sein.¹⁰

Jedenfalls herrscht in den Mitgliedstaaten eine gewisse Unsicherheit über die konkrete Anwendung von Art. 8 UL-RL.

⁹ Hansmann in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Bd. III, BImSchG, § 47d Rn. 4; Jarass, BImSchG, § 47d Rn. 4 m.w.N., die für die Frage der Grenzwerte auf das nationale Recht verweisen.

¹⁰ Hansmann in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Bd. III, BImSchG, § 47d Rn. 8 f.; Jarass, BImSchG, § 47d Rn. 4 m.w.N.

Die Europäische Kommission stellte fest, dass nur 20 Mitgliedstaaten Aktionspläne übermittelt haben, davon lediglich 5 innerhalb der zeitlichen Vorgabe bis zum 18.1.2009, wobei die übermittelten Daten sehr unterschiedlich und nur schwer vergleichbar waren (KOM/2011/0321 endg.; Nr. 4.3.4, S. 7).

C) Umsetzung der Umgebungslärm-Richtlinie auf EU-Ebene

Die Umgebungslärm-Richtlinie enthält nicht nur Vorgaben für die Mitgliedstaaten, sondern weist in Art. 6 Abs. 2 sowie 10 bis 12 auch der Europäischen Kommission Aufgaben zu. Sie hat gemeinsame Bewertungsmethoden festzulegen, die bestehenden, auf Quellen von Umgebungslärm bezogenen Gemeinschaftsmaßnahmen zu überprüfen und einen Bericht über bisherige Durchführung der Richtlinie vorzulegen, der auch der Frage nachgeht, „ob weitere Maßnahmen der Gemeinschaft gegen Umgebungslärm erforderlich sind“ (Art. 11 Abs. 2 UL-RL). Bereits am 10.03.2004 erstattete die Kommission gemäß Art. 10 Abs. 1 UL-RL 2002/49/EG Bericht an das Europäische Parlament und den Rat über bestehende Gemeinschaftsmaßnahmen in Bezug auf Quellen von Umgebungslärm.¹¹

1) Das Projekt CNOSSOS-EU

Im Jahr 2008 begann die Europäische Kommission ihrem aus Art. 6 Abs. 2 UL-RL folgenden Auftrag nachzukommen, gemeinsame Bewertungsmethoden für Lärmpegel zu entwickeln, umzusetzen und hat zu diesem Zweck des Projekt „CNOSSOS-EU“ (Common Noise Assessment Methods in Europe) unter der Federführung der Gemeinsamen Forschungsstelle ins Leben gerufen. Dieses Projekt soll die technischen Grundlagen für eine Überarbeitung des Anhangs II der Richtlinie schaffen und damit sicherstellen, dass die Lärmkartierungen in Europa nach einheitlichen Methoden erfolgen und damit eine Vergleichbarkeit erreicht wird.

Der im Jahr 2012 veröffentlichte Bericht weist für Fluglärm als Berechnungsgrundlage das ECAC.Doc. 29, angereichert durch Elemente der deutschen Anleitung zur Berechnung von Lärm-schutzbereichen (AzB 2008) aus (vgl. [101]). Die auf EU-Ebene angestrebte Vereinheitlichung der Berechnungsgrundlagen kann dazu beitragen, auch die Beurteilung von Fluglärm zu vereinheitlichen und hierdurch eine einheitliche Bewertung zu erleichtern.

2) Bericht der Kommission (KOM/2011/0321)

Im Jahr 2011 hat die Europäischen Kommission dem Europäischen Parlament außerdem den ersten Bericht auf

Grundlage von Art. 11 UL-RL vorgelegt.¹² Dieser Bericht (KOM/2011/0321 endg., S. 1) soll den Bedarf an weiteren Maßnahmen der EU gegen Umgebungslärm (Art. 11 Abs. 2 UL-RL) untersuchen und die akustische Umgebungsqualität in der EU auf der Grundlage der von den Mitgliedstaaten übermittelten Daten überprüfen (Art. 11 Abs. 3 UL-RL).

Im Rahmen ihrer Bestandsaufnahme stellt die Kommission zu Lärmindizes und Grenzwerten fest, dass 22 Mitgliedstaaten rechtlich bindende Lärmgrenzwerte festgelegt haben (hiervon drei noch in Überarbeitung), lediglich vier Mitgliedstaaten sehen nur Richtwerte vor. Überschreitungen normierter Lärmgrenzwerte ohne Durchführung ausreichender Maßnahmen zu deren Einhaltung wurden häufig festgestellt, wobei Anhaltspunkte dafür bestehen, dass das Ergreifen von Maßnahmen teilweise unabhängig vom Bestehen einer Bindungswirkung des jeweiligen Lärmwertes ist.

Die Kommission sah sich mit einem breiten Spektrum an Grenz-, Auslöse- und Richtwerten konfrontiert, wobei nur fünf Mitgliedstaaten ausdrücklich angaben, dass sie bei der Erstellung der Lärmgrenzwerte gesundheitsbasierte Bewertungsmethoden verwendet oder auf gesundheitsbasierte Bewertungsmethoden der WHO zurückgegriffen hatten (KOM/2011/0321 endg., S. 4).

Trotz dieser Unterschiede lehnte die Europäische Kommission im Jahre 2011 die Einführung obligatorischer Lärmgrenzwerte oder Lärmzielwerte auf EU-Ebene unter Hinweis auf den Grundsatz der Subsidiarität ab, da die nationalen und regionalen Behörden dann über weniger Flexibilität verfügen würden, um das Schutzmaß und die Aktionspläne und Maßnahmen an ihre spezifischen Situationen anzupassen. Ausdrücklich in Erwägung gezogen wurden hingegen die Festlegung von Lärm-Auslösewerten in der EU, Mindestanforderungen oder EU-Empfehlungen. Solche Ansätze sind nach Auffassung der Kommission vorteilhafter, da sie als Mindestschwelle für die Auslösung von Schutzmaßnahmen dienen könnten, zugleich aber strengere Anforderungen im Einzelfall nicht verhindern würden (KOM/2011/0321 endg., S. 11).

D) Das 7. Umweltaktionsprogramm der Europäischen Union

Im 7. Umweltaktionsprogramm der Europäischen Union¹³ ist Lärmschutz nach Art. 2 Abs. 1 Buchstabe c das prioritäre Ziel

¹² KOM/2011/0321 endg., abrufbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:52011DC0321>.

¹³ Durch Art. 1 des Beschlusses Nr. 1386/2013/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2013 über ein allgemeines Umweltaktionsprogramm der Union für die Zeit bis 2020 „Gut leben innerhalb der Belastbarkeitsgrenzen unseres Planeten“ wurde das 7. Umweltaktionsprogramm der Gemeinschaft festgelegt, das bis zum 31.12.2020 gültig ist (abrufbar unter <http://bookshop.europa.eu/de/allgemeines-umweltaktions-programm-der-union-fuer-die-zeit-bis-2020-pbKH0113833/>).

¹¹ KOM/2004/0160 endg., abrufbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52004DC0160&from=DE>.

im Rahmen des allgemein angestrebten Schutzes der Unionsbürger vor umweltbedingten Belastungen, Gesundheitsrisiken und Risiken für die Lebensqualität.

Das Programm enthält insgesamt 106 Punkten zur Umweltstrategie in Europa bis zum Jahr 2020. Zur Lärmbelastung wird unter Punkt 49 festgestellt, dass verfügbare Daten über die langfristige durchschnittliche Belastung zeigen, dass 65% der Europäer in größeren städtischen Gebieten hohen Lärmpegeln und mehr als 20% nächtlichen Lärmpegeln ausgesetzt sind, bei denen Gesundheitsschädigungen häufig auftreten. Als „hoher Lärmpegel“ wird ein Lärmpegel oberhalb 55 dB am Tag (L_{den}) und 50 dB nachts (L_{night}) definiert.

Das 7. UAP stellt damit fest, dass es in der EU zu lärmbedingten „Gesundheitsschädigungen“ kommt. Dementsprechend soll das 7. UAP nach Punkt 54 b) sicherstellen, dass „bis 2020 die Lärmbelastungen in der Union wesentlich zurückgegangen sind und man sich den von der WHO empfohlenen Werten nähert.“ Um dieses Ziel zu erreichen, erachtet Punkt 54 ii) die Umsetzung einer aktualisierten Unionspolitik zur Lärmbekämpfung als erforderlich, die an den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen ausgerichtet ist, und die Umsetzung von Maßnahmen zur Lärmbekämpfung an der Quelle, einschließlich Verbesserungen bei der Stadtgestaltung einschließt (7. UAP, S. 48 und 51).

E) Rechtliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der vorliegenden Synopse

Wie sich aus den vorstehenden Ausführungen ergibt, sind die Anstrengungen der Europäischen Union klar darauf ausgerichtet, in Europa ein Lärmschutzniveau zu realisieren, das sich an den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen ausrichtet und langfristig den Empfehlungen der WHO entspricht. Die vorliegende Synopse zeigt, dass die Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung die Richtigkeit des ganzheitlichen Ansatzes der europäischen Lärmschutzpolitik, der in der Umgebungslärm-Richtlinie erstmals umfassend kodifiziert wurde, in mehrfacher Hinsicht belegen. Zugleich zeigen sie Nachbesserungsbedarf auf, der bei künftigen Anpassungen der Umgebungslärm-Richtlinie umgesetzt werden sollte, um das angestrebte Schutzniveau zu gewährleisten und die primärrechtlichen Vorgaben zu erfüllen. Die von den Organen der EU identifizierten „Gesundheitsschädigungen“ geben aber auch Veranlassung für Maßnahmen auf nationaler oder regionaler Ebene.

1) Lärmindex für Gesundheitsschutz und erhebliche Belästigung

Dies betrifft zunächst die Verwendung eines Lärmindex für den 24-Stunden-Tag anstatt einer Unterteilung in einen Pegel für

den Tag und einen Pegel für die Nacht. So hat die vorliegende Synopse insbesondere aufgezeigt, dass gerade die gesundheitlichen Effekte der Lärmbelastung, wie z.B. Hypertonie, allein über einen Pegel für den 16-Stunden-Tag nur schwer abgebildet werden können, da Gesundheit oder der gesunde Mensch sich nicht in Tag und Nacht unterteilen lassen. Vielmehr hängt die Bewältigung einer Lärmbelastung am Tage untrennbar mit den zugleich an Körper und Seele gestellten Herausforderungen zur Nacht zusammen. Dies gilt für die erhebliche Belästigung entsprechend. Ein Lärmindex, der lediglich einen 16-Stunden-Zeitraum erfasst, ist deshalb nur bei Flughäfen ohne Nachtflugbetrieb überhaupt für die Beschreibung einer Schwelle für Gesundheitsgefährdungen geeignet. Da ein großer Teil der zivilen Flughäfen in Europa auch zur Nachtzeit betrieben wird, ist der von der Umgebungslärmrichtlinie eingeführte Lärmindex eines Tag-Abend-Nacht-Pegels aus Sicht der Autoren die vorzugswürdigere Größe. Wegen der besonderen Gesundheitsrelevanz der nächtlichen Lärmbelastung ist die zusätzliche Heranziehung des L_{night} unabdingbar.

Sinnvoll wäre es deshalb, diese Lärmindizes nicht nur für die Ermittlung der Lärmbelastung, sondern auch als Grundlage für die Bewertung der gesundheitlichen Folgen ergänzend im bisherigen Art. 6 Abs. 3 UL-RL festzuschreiben.

2) Aktualisierung der Dosis-Wirkungskurven der EU

Die Synopse hat ferner gezeigt, dass die aus dem Jahr 2002 stammenden Dosis-Wirkungskurven der Europäischen Kommission die heutige Fluglärmbeanspruchung nicht mehr angemessen wiedergeben. Zur Verbesserung der Vergleichbarkeit der Lärmbewertung und zur Konkretisierung UL-RL in Art. 6 Abs. 3 und Anhang III sollten Anwendungsempfehlungen für Dosis-Wirkungskurven unter Auswertung der in der vorliegenden Synopse besprochenen Untersuchungen erarbeitet werden.

Dazu sollten europäische Studien seit dem Jahr 2000 ausgewertet werden, wie dies Janssen et al. bereits 2009 für neuere europäische Studien (Schweiz, Deutschland, Niederlande), die zwischen 1991 und 2006 durchgeführt wurden, vorgelegt hat [31]. In die Auswertung sollten auch die Ergebnisse der laufenden NORAH-Studie einbezogen werden.

3) Umfassendere Lärmkartierung

Im Zusammenhang mit der Lärmkartierung werden für die Lärmindizes L_{den} und L_{night} bereits aktuell verbindliche Untergrenzen in Form konkreter Lärmwerte genannt. Es handelt sich um die einzige Formulierung eines „verbindlichen“ Lärmwertes in der Umgebungslärmrichtlinie. Anhang VI Nummer 1.5 und 1.6 sowie Nummer 2.5 und 2006 UL-RL sehen eine Kartierungspflicht bei einem L_{den} von 55 dB(A) und einem L_{night} von

50 dB(A) vor, für den Nachtwert ist eine zusätzliche Kartierung ab 45 dB(A) freigestellt.

Die vorliegende Synopse hat herausgearbeitet, dass nach heutigem Kenntnisstand für Fluglärm ein L_{den} von 50 dB(A) als Immissionsgrenzwert zur Vermeidung erhöhter Hypertonierisiken im 24-Stunden-Tag anzusehen ist und der nächtliche Fluglärm dabei nicht höher als $L_{night} = 45$ dB(A) sein darf. Es ist folglich unter dem Gesichtspunkt des Gesundheitsschutzes erforderlich, eine Pflicht zur Lärmkartierung bereits bei diesen Lärmwerten einsetzen zu lassen, um den für die menschliche Gesundheit gefährlichen Lärm zu erfassen. Eine Kartierung ab $L_{den} = 50$ dB(A) und $L_{night} = 45$ dB(A) ist deshalb zwingend erforderlich. Insoweit erscheint eine Überarbeitung der Umgebungslärm-Richtlinie unbedingt angezeigt.

Unter Berücksichtigung des Vorsorgegrundsatzes sollte Anhang VI aber idealerweise künftig vorsehen, bei der Erstellung von Lärmkarten Lärmbelastungen bereits bei einer um weitere 5 dB(A) verminderten Pegelhöhe zu erfassen und auszuweisen. Fluglärm sollte deshalb ab einem L_{den} von 45 dB(A) und einem L_{night} von 40 dB(A) kartiert werden.

Ein signifikanter Mehraufwand ist hiermit nicht verbunden, da die Aufnahme weiterer auszuweisender Schallpegelbereiche dann über bloße weitere Rechengänge möglich ist. Zugleich würde die Investition in ein noch unvollständiges Messstellennetz es auch ermöglichen, ruhige Gebiete datenmäßig zu erfassen und damit, wie von der Richtlinie in Art. 8 Abs. 1 vorausgesetzt, in Aktionspläne mit aufzunehmen.

Eine derartige Ausdehnung der Kartierungspflicht hat die Europäische Kommission in ihrem Bericht nach Art. 11 UL-RL bereits angedacht (vgl. KOM/2011/0321 endg., Nr. 15).

4) Europäische Lärmgrenzwerte

Im Hinblick auf die Frage, ob verbindliche europäische Grenzwerte für Lärm festgelegt werden sollen oder können, ist zunächst der Begriff des Grenzwertes selbst maßgeblich. Grenzwerte können zunächst als Werte verstanden werden, die strikt verbindlich sind und damit nicht überschritten werden dürfen. Im Zusammenhang mit Fluglärm sind solche „echten“ Grenzwerte nur vereinzelt anzutreffen, im Regelfall wird unter dem Begriff des Grenzwertes ein Wert verstanden, ab dessen Überschreiten das Ergreifen bestimmter Maßnahmen notwendig ist, sei es durch Abstellen oder Vermindern der Lärmquelle selbst, sei es durch Schutzmaßnahmen am betroffenen Schutzobjekt.

Nach Auffassung der Europäischen Kommission sind verbindliche Lärmgrenzwerte oder Lärmzielwerte (verstanden als anzustrebende Lärmobergrenzen) wegen des Grundsatzes der Subsidiarität kein geeignetes Mittel der künftigen Lärmschutzpolitik

der Europäischen Union. Zugleich befürchtet die Kommission, dass hierdurch die Bewältigung der jeweiligen landesspezifischen Lärmsituation erschwert werden könnte.

Dem ist jedenfalls insoweit beizupflichten, als die Einführung verbindlicher europäischer Lärmgrenzwerte zum jetzigen Zeitpunkt insbesondere diejenigen Länder überfordern könnte, in denen bisher nur wenige Lärmschutzmaßnahmen realisiert wurden, da hierdurch erhebliche Sanierungslasten anfallen können. Diese könnten den von der entstehenden Kostenlast regelmäßig betroffenen Flughäfen einen empfindlichen Wettbewerbsnachteil verschaffen. Hier vermögen eine deutliche Präzisierung der Pflicht der Mitgliedstaaten zur Erhaltung der Ruhigen Gebiete sowie ein im Grundsatz geltendes, generelles Verbot der Verschlechterung der Lärmsituation zu verhindern, dass bereits erreichte Lärmstandards wieder abgeschwächt werden. Zugleich sollte allen Mitgliedstaaten die Möglichkeit geboten werden, beim Lärmschutz aufzuholen. Verbindliche Lärmwerte auf europäischer Ebene erscheinen deshalb jedenfalls beim derzeit noch sehr begrenzten Harmonisierungsstand nicht als sinnvoll.

In Anbetracht des hohen Gewichts, das dem Lärmschutz nach Auffassung aller EU-Organe zukommt, und auch unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen und sozialen Folgekosten sollten die Anstrengungen der Mitgliedstaaten bei der Lärm-minderungsplanung aber entgegen der Auffassung der Europäischen Kommission gerade wegen der neueren Zielsetzung aus dem 7. Umweltaktionsprogramm der Union bereits jetzt auf ein konkretes Lärmziel ausgerichtet werden.

Umgehend sollte ein Belastungswert L_{den} von 55 dB(A) und ein L_{night} von 45 dB(A) europarechtlich verankert werden. Auf Basis der WHO-Empfehlung erscheint es darüber hinaus geboten, als langfristigen Zielwert für die Umgebungslärmplanung einen L_{den} von 50 dB(A) und einen L_{night} von 40 dB(A) vorzusehen.

5) Europäische Auslösewerte und Alarmschwellen für die Lärmaktionsplanung

Außerdem sollten die Mitgliedstaaten im Wege einer Konkretisierung der Vorgaben des Art. 8 UL-RL verpflichtet werden, bei Lärmwerten, für deren Überschreitung gesundheitliche Effekte nachgewiesen wurden, Lärmaktionspläne aufzustellen und konkrete Maßnahmen mit dem Ziel der Minderung der Lärmbelastung an der Quelle oder am Immissionsort zu ergreifen. Hier sollten Auslösewerte und Alarmschwellen festgelegt werden.

Auslösewerte für die Pflicht zur Erstellung eines Lärmaktionsplanes sollten nach den Erkenntnissen der vorliegenden Synopse bei Fluglärm bei einem L_{den} von 50 dB(A) und einem

L_{night} von 45 dB(A) zur Vermeidung von Belästigungen, Gesundheitsgefährdungen und kognitiven Einschränkungen und folglich zur Erfassung aller Schutzgüter der Umgebungslärmrichtlinie festgelegt werden.

Als Alarmschwelle, verstanden als ein Wert, ab dem in einem aufzustellenden Lärmaktionsplan Maßnahmen mit dem Ziel der Absenkung des Lärmwertes oder der Minderung der Belastung am Immissionsort vorzusehen sind, ist ein L_{den} von 55 dB(A) und ein L_{night} von 50 dB(A) vorzusehen. Lärmaktionspläne könnten also stärker an den Luftreinhalte- und Aktionsplänen orientiert werden.¹⁴

6) Durchsetzung der Verpflichtungen der Mitgliedstaaten aus der Umgebungslärmrichtlinie

Wie die Europäische Kommission festgestellt hat, verfügt die Richtlinie bisher über keine klaren Durchsetzungsbestimmungen, in denen die Grenzwertüberschreitungen in den Aktionsplänen direkt mit möglichen Sanktionen in Verbindung gebracht werden. Dies gilt ausdrücklich auch für Mitgliedstaaten, die auf nationaler Ebene rechtlich verbindliche Grenzwerte eingeführt haben. Konsequenz ist nach Darstellung der Europäischen Kommission eine oft scheinbar folgenlose Grenzwertüberschreitung. Die Kommission hält es deshalb für möglich, eine klare Festlegung der Zielsetzungen, des Inhalts und der Umsetzung der Aktionspläne in Betracht zu ziehen (KOM/2011/0321 endg., Nr. 16).

Da Lärmaktionspläne das Ziel verfolgen, zum Schutz der menschlichen Gesundheit und zur Verringerung erheblicher Belästigungen beizutragen, sollten konkrete Möglichkeiten der Lärminderung als Inhalte für Lärmaktionspläne vorgesehen werden. Des Weiteren sind eine Pflicht zur Festlegung konkreter zeitlicher Vorgaben für die Erreichung bestimmter Minderungsziele verbunden mit Vorgaben zur Überprüfung der Ergebnisse geeignet, die praktische Wirksamkeit der Lärmaktionspläne zu verbessern. Die Mitgliedstaaten sollten zugleich verpflichtet werden, in geeigneter Weise sicherzustellen, dass die in Lärmaktionsplänen vorgesehenen Maßnahmen nicht durch die Planungen anderer Planungsträger konterkariert werden. In der Bundesrepublik Deutschland sind die in Lärmaktionsplänen festgelegten Maßnahmen seitens anderer Planungsträger im Rahmen einer von ihnen zu treffenden Abwägung lediglich als einfacher Abwägungsbelang zu berücksichtigen (vgl. § 47d Abs. 6 i.V.m. § 47 Abs. 6 Satz 2 BImSchG) und entfalten damit eine vergleichsweise geringe Durchsetzungskraft.

¹⁴ Vgl. dazu Art. 2 Nr. 9 und 10 UL-RL 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.5.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, ABIEG L 152, S. 1, wobei die Definition der Alarmschwelle hier abweicht.

Des Weiteren sollte wegen des unmittelbaren unionsgrundrechtlichen Bezugs der festzulegenden Auslösewerte und Alarmschwellen sichergestellt werden, dass Einzelne sich hierauf auch berufen können. Die Entwicklung des Umweltrechts in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten hat gezeigt, dass gerade die Zuerkennung eigener Rechte an die Unionsbürger einen erheblichen Umsetzungsdruck auf die Mitgliedstaaten ausübt und damit in besonderem Maße geeignet ist, die Lärm-schutzziele der Europäischen Union zu befördern. Mitglieder der von Umgebungslärm betroffenen Öffentlichkeit¹⁵ sollten deshalb die Möglichkeit erhalten, vor den Gerichten ihres jeweiligen Mitgliedstaates sowohl die Aufstellung von Lärmaktionsplänen als auch die Aufnahme und Durchsetzung konkreter Lärminderungsmaßnahmen einzufordern.

Literatur

- [1] M. P Matheson, S. A Stansfeld and M. M Haines, "The effects of chronic aircraft noise exposure on children's cognition and health: 3 field studies", *Noise Health*, vol. 5, pp. 31-40, 2003.
- [2] W. Babisch, "Transportation noise and cardiovascular risk. Review and synthesis of epidemiological studies – dose-effect curve and risk estimation", German Federal Environment Agency, Berlin, WaBoLu- booklet vol. 1, 2006.
- [3] M. Kaltenbach, C. Maschke and R. Klinke, "Health consequences of aircraft noise", *Dtsch Arztebl Int*, vol. 105 (31-32), pp. 1-9, 2008.
- [4] M. Kaltenbach and C. Maschke, "Er macht doch krank", *Dtsch Arztebl*, vol. 108(A 2), letter to the editor and response, 2011.
- [5] W. Babisch and I. van Kamp, "Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension", *Noise Health*, vol. 11, pp.161-168, 2009.
- [6] World Health Organisation, *Night Noise Guidelines for Europe*, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2009.
- [7] H. Davies and I. van Kamp, "Noise and cardiovascular disease: a review of the literature 2008-2011", *Noise Health*, vol. 14, pp. 287–291, 2012.
- [8] M. Basner, W. Babisch, A. Davis, M. Brink, C. Clark, S. Janssen and S. Stansfeld, "Auditory and non-auditory effects of noise on health", *The Lancet*, vol. 383, No.

¹⁵ Zum Begriff der betroffenen Öffentlichkeit siehe Art. 2 Nr. 5 des Übereinkommens über den Zugang zu Informationen, die Öffentlichkeitsbeteiligung an Entscheidungsverfahren und den Zugang zu Gerichten in Umweltangelegenheiten vom 25.6.1998 sowie Art. 1 Abs. 2 der Richtlinie 2003/35/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26.5.2003 über die Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Ausarbeitung bestimmter umweltbezogener Pläne und Programme und zur Änderung der Richtlinien 85/337/EWG und 96/61/EG des Rates in Bezug auf die Öffentlichkeitsbeteiligung und den Zugang zu Gerichten.

- 9925, pp. 1325-1332, April 2014. Online: doi:10.1016/S0140-6736(13)61613-x.
- [9] M. Kamrath and M. C. Vigeant, "Gaps in the literature on the effects of aircraft noise on children's cognitive performance", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 136, pp. 2304, Oct. 2014.
- [10] D. Huang, X. Song, Q. Cui, J. Tian, Q. Wang and K. Yang, "Is there an association between aircraft noise exposure and the incidence of hypertension? A meta-analysis of 16784 participants", *Noise Health*, vol. 17, pp. 93-97, Mar.-Apr. 2015.
- [11] G. Schuschke and C. Maschke C, "Lärm als Umweltfaktor", in W. Dott, H. F. Merk, J. Neuser and R. Osieka, *Lehrbuch der Umweltmedizin*, Stuttgart Germany: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, 2002.
- [12] C. Graff, F. Bockmühl and V. Tietze, "Lärmbelastung und arterielle (essentielle) Hypertoniekrankheit beim Menschen", in S. Nitschkoff and G. Kriwizkaja, *Lärmbelastung, akustischer Reiz und neurovegetative Störungen*, Leipzig, Germany: Georg-Thieme Verlag, 1968.
- [13] A. Seidler, M. Wagner, M. Schubert, P. Dröge, J. Hegewald, "Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld; Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung" Bericht zur NORAH-Studie, Band 6, Kelsterbach, Oct. 2015.
- [14] F. P. Schmidt, F. Schmidt, K. Kollé, K. Kreuder, B. Schnorbus, P. Wild, M. Hechtner, H. Binder, T. Gori and T. Münzel, "Nighttime aircraft noise impairs endothelial function and increases blood pressure in patients with or at high risk for coronary artery disease", *Clin Res Cardiol* vol. 104(1), pp. 23-30, Jan. 2015. Online: doi:10.1007/s00392-014-0751-x.
- [15] A. Tarnopolsky, G. Watkins and D. J. Hand, "Aircraft noise and mental health: Prevalence of individual symptoms", *Psychol Med.*, vol. 10(4), pp. 683-698, Nov 1980.
- [16] E. Greiser, "Risikofaktor nächtlicher Fluglärm. Abschlussbericht über eine Fall- Kontroll-Studie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn", Umweltbundesamt, Berlin, Subsidy code 3708 51 101, 2010.
- [17] E. Greiser, "Risikofaktor nächtlicher Fluglärm. Konsequenzen für ein Gesundheitsmonitoring im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main", Epi.Consult GmbH, Musweiler, & Institute for Public Health and Care Research, University of Bremen, 2010.
- [18] H. Bleichmar, "Some subtypes of depression, their interrelations for psychoanalytic treatment", *Int J Psychoanal.*, vol. 77(5), pp. 935-961, Oct 1996.
- [19] E. E. M. M. van Kempen and I. van Kamp, "Annoyance from air traffic noise: Possible trends in exposure-response relationships", National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven, Report 2005 MGO EvK, Jan. 2005.
- [20] R. Guski, H. Ising, G. Jansen, P. Költch, K. Scheuch, A. Schick, W. Schönplflug and M. Spreng, "Fluglärm", Position of the interdisciplinary working group for issues of the effects of noise, Umweltbundesamt, Berlin, 2004.
- [21] H. Niemann, C. Maschke and K. Hecht, "Lärmbedingte Belästigung und Erkrankungsrisiko. Ergebnisse des paneuropäischen LARES-Survey", *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforsch. Gesundheitsschutz*, vol. 48 (3), pp 315-328, Mar. 2005.
- [22] C. Eriksson, G. Bluhm, A. Hilding, C. G. Östenson and G. Pershagen, "Aircraft noise and incidence of hypertension – Gender specific effects", *Environ Res.*, vol. 110(8), pp. 764-772, Nov. 2010. Online: doi:10.1016/j.envres.2010.09.001.
- [23] W. Babisch, G. Pershagen, J. Selander, D. Houthuijs, O. Breugelmans, E. Cadum, F. Vigna- Taglianti, K. Katsouyanni, A. S. Haralabidis, K. Dimakopoulou, P. Sourtzi, will S. Floud, A. L. Hansell, "Noise annoyance – A modifier of the association between noise level and cardiovascular health?", *Sci Total Environ.*, vol. 50-7, pp. 452-453, 2013. Online: doi:10.1016/j.scitotenv.2013.02.034.
- [24] C. Sust, "Geräusche mittlerer Intensität – Bestandsaufnahme ihrer Auswirkungen", Publication Series of the German Federal Institute for Occupational Safety and Health, Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW, 1987.
- [25] M. Klätte, K. Bergström and T. Lachmann, "Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children", *Front Psychol.*, vol. 4, p. 578, 2013. Online: doi:10.3389/fpsyg.2013.00578.
- [26] DIN 45641, "Mittelung von Schallpegeln", Deutsche Industrienorm, Berlin, Beuth Verlag, 1990.
- [27] Anleitung zur Berechnung von Fluglärm. Bundesanzeiger, No. 195a, 23 Dec., 2008.
- [28] Der Sachverständigenrat für Umweltfragen, *Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels*, Hrs. Berlin, Germany: Erich Schmidt Verlag, 2008.
- [29] R. Klinke, O. Klinke, "Schlafen bei geschlossenen Fenstern – Ein angemessener Schutz vor Fluglärm?", *Hessisches Ärzteblatt*, vol. 66, pp. 242-243, 2005.
- [30] DIN 1946-6, "Raumluftechnik", Deutsche Industrienorm, Berlin, Beuth Verlag, 2009.
- [31] S. A. Janssen and H. Vos, "A comparison of recent surveys to aircraft noise exposure-response relationships", Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Report TNO-034-DTM-2009-01799, 2009.
- [32] European Commission (EC), Position paper on dose response relationships between transportation noise and

- annoyance, Luxemburg, Office for Official Publications of the European Communities, 2002.
- [33] A. Huss, A. Spoerri, M. Egger and M. Rössli, "Aircraft noise, air pollution, and mortality from myocardial infarction", *Epidemiology*, vol. 21(6), pp. 829-836, 2010. Online: doi:10.1097/EDE.0b013e3181f4e634.
- [34] R. E. Schmieder, "Hypertoniebedingte Endorganschäden", *Deutsches Ärzteblatt*, vol. 107(49), pp. 866-873, 2010
- [35] M. Rosenlund, N. Berglund, G. Pershagen, L. Järup and G. Bluhm, "Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise", *Occup Environ Med.*, vol. 58, pp. 769-773, 2001.
- [36] E. Öhrström and L. Barregård, "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]", West Gothland Environmental Medical Centre & Sahlgren Academy. Gothenburg, Technical Report GU-MMED-R-2005/1-SE, 2005.
- [37] E. A. M. Franssen, C. M. A. G. van Wiechen, N. J. D. Nagelkerke and E. Lebet, "Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use", *Occup Environ Med*, vol. 61, pp. 405-413, 2004.
- [38] E. Greiser, K. Janhsen and C. Greiser, "Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen", Umweltbundesamt (UBA), Berlin, Subsidy code 205 51 100, 2006.
- [39] E. Greiser, C. Greiser and K. Janhsen "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*, vol. 15, pp. 327-337, 2007.
- [40] Y. Aydin and M. Kaltenbach, "Noise perception, heart rate and blood pressure in relation to aircraft noise in the vicinity of Frankfurt Airport", *Clin Res Cardiol*, vol. 96, pp. 347-358, 2007.
- [41] C. Eriksson, M. Rosenlund, G. Pershagen, A. Hilding, C-G. Ostenson and G. Bluhm, "Aircraft noise and incidence of hypertension", *Epidemiology*, vol. 18, pp. 716-772, 2007.
- [42] L. Jarup, W. Babisch, D. Houthuijs, G. Pershagen, K. Katsouyanni, E. Cadum, M-L. Dudley, P. Savigny, I. Seiffert, W. Swart, O. Breugelmans, G. Bluhm, J. Selander, A. Haralabidis, K. Dimakopoulou, P. Sourtzi, M. Velonakis and F. Vigna-Taglianti, "Hypertension and exposure to noise near airports – the HYENA Study", *Environmental Health Perspectives*, vol. 116(3), pp. 329-333,
- [43] C. Ancona, C. Badaloni, V. Fano, T. Fabozzi, F. Forastiere and C. Perucci, "Aircraft Noise and Blood Pressure in the Populations Living Near the Ciampino Airport in Rome", *Epidemiology*, vol. 20(6), pp. 125-126, 2009.
- [44] E. Greiser and G. Glaeseke, "Soziale und ökonomische Folgen nächtlichen Fluglärms im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main", *Gesundheitswesen*, vol. 75(3), pp. 127-133, 2013.
- [45] S. Floud, F. Vigna-Taglianti, A. Hansell, M. Blangiardo, D. Houthuijs, O. Breugelmans, E. Cadum, W. Babisch, J. Selander, G. Pershagen, M. C. Antoniotti, S. Pisani, K. Dimakopoulou, A. S. Haralabidis, V. Velonakis and L. Jarup, "Medication use in relation to noise from aircraft and road traffic in six European countries: Results of the HYENA Study", *Occup Environ Med*, vol. 68(7), pp. 518-524, 2011.
- [46] T. Eikmann, A. zur Nieden, A. Lengler, S. Harpel, D. Ziedorn, M. Bürger, "Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld; Wirkung chronischer Lärmbelastung auf den Blutdruck bei Erwachsenen" Bericht zur NO-RAH-Studie, Band 5, Kelsterbach, Sept. 2015.
- [47] (2013) 25. Deutscher Herzbericht. Deutsche Herzstiftung. Online: <http://www.herzstiftung.de/pdf/presse/herzbericht-2013-dhs-morbiditaet-mortalitaet.pdf>
- [48] (2010) Fluglärm macht krank, Presseinformation Nr. 09/10. Umweltbundesamt. Online: www.umweltbundesamt.de/presse/presseinformationen/fluglaerm-macht-krank.
- [49] E. Greiser, "Gesundheitsgefährdung durch nächtlichen Fluglärm. Neuere epidemiologische Befunde zu einer drängenden Umweltbelastung", *Ärzteblatt Rheinland-Pfalz*, vol. 3, pp. 25-29, 2013.
- [50] A. L. Hansell, M. Blangiardo, L. Fortunato, S. Floud, K. De Hook, D. Fecht, R. E. Ghosh, H. Laszlo, C. Pearson, L. Beale, S. Beevers, J. Gulliver, N. Best, S. Richardson and P. Elliott, "Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow Airport in London: Small Area Study", *BMJ*, 347:f5432, 2013. Online: doi:10.1136/bmj.f5432.
- [51] A. W. Correia, J. L. Peters, J. I. Levy, S. Melly and F. Dominici, "Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases: Multi-airport retrospective study" *BMJ*, 347: f5561, 2013. Online: doi:http://dx.doi.org/10.1136/bmj.f5561.
- [52] D. Vienneau, C. Schindler, L. Perez, N. Probst-Hensch and M. Rössli, "The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis". *Environ Res*, 138, 372-380, 2015.
- [53] W. Babisch, "Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: a meta-analysis". *Noise Health*, 16(68), 1-9, 2014. Online: doi:10.4103/1463-1741.127847

- [54] S. Floud, M. Blangiardo, C. Clark, K. De Hoogh, W. Babisch, D. Houthuijs, W. Swart, G. Pershagen, K. Katsouyanni, M. Velonakis, F. Vigna-Taglianti, E. Cadum and A. Hansell, "Exposure to aircraft and road traffic noise and associations with heart disease and stroke in six European countries: A cross-sectional study", *Environ Health*, 16;12:89, 2013. Online: doi:10.1186/1476-069X-12-89.
- [55] P. U. Heuschmann, O. Busse, M. Wagner, M. Endres, A. Villringer, J. Röther, P. L. Kolominsky-Rabas, K. Berger, "Schlaganfallhäufigkeit und Versorgung von Schlaganfallpatienten in Deutschland", *Akt Neurol*, vol. 37(7), pp. 333–340, 2010. Online: doi:org/10.1055/s-0030-1248611.
- [56] D. Schreckenberg, "Lärmbelästigung in Hessen 2006 – Ergebnisse einer repräsentativen landesweiten Telefonbefragung". Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz. Zeus GmbH, Bochum.
- [57] H. M. E. Miedema and H. Vos, "Exposure-response relationships for transportation noise", *J Acoust Soc Am.*, vol. 104, pp. 3432-3445, 1998.
- [58] D. Schreckenberg and M. Meis, "Lärmbelästigung und Lebensqualität in der Bevölkerung am Frankfurter Flughafen, Lärmbekämpfung", vol. 2(6), pp. 225-233, 2007.
- [59] S. A. Janssen and H. Vos, "Dose-response relationship between DNL and aircraft noise annoyance: Contribution of TNO", Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Report TNO-060-UT-2011-00207, 2011.
- [60] P. Le Masurier, J. Bates, J. Taylor, I. Flindell, D. Humpheson, C. Pownall, W. Pownall and M. V. A. Alice, "Attitudes to noise from aviation sources in England (ANASE)", Final Report for Department for Transport, Norwich, UK, 2007.
- [61] United Kingdom Aircraft Noise Index Study: Main Report. CAA Publication, London, DR Report 8402, 1982.
- [62] I. Flindell, P. L. Masurier and D. Schreckenberg, "Aircraft noise assessment – alternative approaches", in Proc. 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTERNOISE 2013), Innsbruck, Austria, 2013.
- [63] W. Babisch, D. Houthuijs, G. Pershagen, E. Cadum, K. Katsouyanni, M. Velonakis, M-L. Dudley, H-D. Marohn, W. Swart, O. Breugelmans, G. Bluhm, J. Selander, F. Vigna-Taglianti, S. Pisani, A. Haralabidis, K. Dimakopoulou, I. Zachos, and L. Järup, "Annoyance due to aircraft noise has increased over the years – Results of the HYENA study", *Environment International*, vol. 35(8), pp. 1169-1176, 2009.
- [64] D. Schreckenberg, F. Faulbaum, R. Guski, L. Ninke, C. Peschel, J. Spilski, J. Wothge, "Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld; Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität" Bericht zur NO-RAH-Studie, Band 3, Kelsterbach, Sept. 2015.
- [65] D. Guoqing, L. Xiaoyi, S. Xiang, L. Zhengguang and L. Qili, "Investigation of the relationship between aircraft noise and community annoyance in China", *Noise Health*, vol. 14, pp. 52- 57, 2012.
- [66] C. Lim, J. Kim, J. Hong, S. Lee and S. Lee "The relationship between civil aircraft noise and community annoyance in Korea", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 299(3), pp. 575-586, Jan. 2007.
- [67] HME Miedema and CGM. Oudshoorn, "Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals", *Environmental Health Perspectives*, vol. 109 (4), pp. 409-416, 2001.
- [68] G. W. Evans, M. Bullinger and S. Hygge, "Chronic noise exposure and physiological response: A prospective study of children living under environmental stress", *Psychological Science*, vol. 9(1), pp. 75-77, 1998.
- [69] S. Hygge, G. W. Evans and M. Bullinger, "A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in school children", *Psychological Science*, 13(5), pp. 469-474, 2002.
- [70] M. M. Haines, S. A. Stansfeld, S. Brentnall, J. Head, B. Berry, M. Jiggins and S. Hygge, "West London Schools Study: Aircraft noise at school and child performance and health", *Psychological Medicine*, vol. 31, pp. 1385-1396, 2001.
- [71] Haines MM, Stansfeld SA, Job SFR, Berglund B, Head J. (2001b): Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychological Medicine*, vol. 31, pp. 265-277.
- [72] M. M. Haines, S. A. Stansfeld, J. Head and S. F. R. Job, "Multilevel modelling of air-craft noise on performance tests in schools around Heathrow Airport London", *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 56, pp. 139-144, 2002.
- [73] K. Hiramatsu, T. Tokuyama, T. Matsui, T. Miyakita, Y. Osada and T. Yamamoto "The Okinawa Study: Effect of chronic aircraft noise exposure on memory of school children", in Proc. 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), pp. 179-180, 2003.
- [74] S. A. Stansfeld, B. Berglund, C. Clark, I. Lopez-Barrio, P. Fischer, E. Ohrström, M. M. Haines, J. Head, S. Hygge, I. van Kamp and B. F. Berry, "Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: A cross-national study", *The Lancet*, vol. 365 (9475), pp. 1942-1949, 2005.

- [75] C. Clark, R. Martin, E. M. M. van Kempen, T. Alfred, J. Head, H. W. Davies, M. M. Haines, I. L. Barrio, M. Matheson and S.A. Stansfeld, "Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension – The RANCH Project", *American Journal of Epidemiology*, vol. 163 (1), pp. 27-37, 2006.
- [76] E. E. M. M. van Kempen, "Transportation noise exposure and children's health and cognition", thesis, University of Utrecht, Netherlands, 2008.
- [77] J. C. Ziegler, C. Pech-Georgel, F. George, F. Alario and C. Lorenzi, "Deficits in speech perception predict language learning impairment", *PNAS*, vol. 102 (39), pp. 14110-14115, 2005.
- [78] M. Klatte, "Auswirkungen der akustischen Bedingungen in Schulräumen auf Kinder – Ergebnisse aus Labor- und Felduntersuchungen", *Lärmbekämpfung*, vol. 2, pp. 41-46, 2006.
- [79] J. Seabi, K. Cockcroft, P. Goldschagg and M. Greyling, "The impact of aircraft noise exposure on South African children's reading comprehension: The moderating effect of home language", *Noise Health*, vol. 14, pp. 244-252, 2012.
- [80] J. Seabi, "An epidemiological prospective study of children's health and annoyance reactions to aircraft noise exposure in South Africa", *Int J Environ Res Public Health*, vol. 10 (7), pp. 2760-2777, 2013.
- [81] C. Clark, J. Head and S. A. Stansfeld, "Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: A six-year follow-up of the UK RANCH cohort", *Journal of Environmental Psychology*, vol. 35, pp. 1-9, 2013.
- [82] D. W. Dockery "Epidemiologic Evidence of Cardiovascular Effects of Particulate Air Pollution", *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, Supplement 4, pp. 483-486, Aug. 2001.
- [83] A. Peters, "Air quality and cardiovascular health: Smoke and pollution matter", *Circulation*, vol. 120 (11), pp. 924-927, 2009.
- [84] R. D. Brook, "Cardiovascular effects of air pollution", *Clin Sci (Lond)*, vol. 115 (6), pp. 175-187, 2008.
- [85] R. Guski, M. Basner, M. Brink, T. Myck, D. Schreckenber, U. Isermann, W. Babisch, U. Müller and C. Maschke, "Kernaussagen im Fachgespräch vom 16.11.2012 über gesundheitliche Auswirkungen von Fluglärm unter besonderer Berücksichtigung des Nachtfluglärms", *Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen*, 2012.
- [86] K. Goto and T. Kaneko, "Distribution of blood pressure data from people living near an airport", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 250 (1), pp. 145-149, 2002.
- [87] EEA Technical report 11, "Good practice guide on noise exposure and potential health effects", *European Environmental Agency*, Copenhagen, 2010.
- [88] F. P. Schmidt, M. Basner, G. Kroger, S. Weck, B. Schnorbus, A. Muttray, M. Sariyar, H. Binder, T. Gori, A. Warnholtz and T. Munzel, "Effect of night-time aircraft noise exposure on endothelial function and stress hormone release in healthy adults", *Eur Heart J*, vol. 34, pp. 3508-3514, 2013.
- [89] Der Sachverständigenrat für Umweltfragen, "Fluglärm reduzieren: Reformbedarf bei der Planung von Flughäfen und Flugrouten", *Wiesbaden, Eigenverlag*, 2014.
- [90] A. S. Haralabidis, K. Dimakopoulou, F. Vigna-Taglianti, M. Giampaolo, A. Borgini, M-L. Dudley, G. Pershagen, G. Bluhm, D. Houthuijs, W. Babisch, M. Velonakis, K. Katsouyanni and L. Jarup, "Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports", *Eur Heart J*, vol. 29(5), pp. 658-664, Mar 2008. Online: doi:10.1093/eurheartj/ehn013.
- [91] T. Münzel, T. Gori, W. Babisch and M. Basner, "Cardiovascular effects of environmental noise exposure", *European Heart Journal*, 2014. Online: doi:10.1093/eurheartj/ehu030.
- [92] T. Matsui, T. Uehara, T. Miyakita, K. Hiramatsu, Y. Osada and T. Yamamoto, "Association between blood pressure and aircraft noise exposure around Kadena Airfield in Okinawa", in *Proc. International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*, 2001, pp. 1577-1582.
- [93] T. Matsui, T. Uehara, T. Miyakita, K. Hiramatsu, Y. Osada and T. Yamamoto, "The Okinawa Study: Effects of chronic aircraft noise on blood pressure and some other physiological indices", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 277, pp. 469-470, 2004.
- [94] W. Babisch, "Health aspects of extra-aural noise research", *Noise Health*, vol. 6, pp. 69-81, 2004.
- [95] B. Griefahn, G. Jansen, K. Scheuch and M. Spreng, "Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept bei wesentlichen Änderungen oder Neuanlagen von Flughäfen/Flugplätzen", *Lärmbekämpfung*, vol. 49 (5), pp. 171-175, 2002.
- [96] D. Kötz, "Zur Frage der effektiven Schalldämmung von geöffneten Fenstern – Ein klärendes Wort zur Schallpegeldifferenz außen/innen bei Fenstern in Kippstellung", *Lärmbekämpfung*, vol. 51, pp. 21-26, 2004.
- [97] E. Augustin, J. Feldmann and C. Maschke, "Zur Berechnung des „maßgeblichen Außenlärmpegels“ und des „maßgeblichen Innenlärmpegels“ sowie der Schallpegeldifferenz „außen/innen“ bei Fluglärm in Anlehnung an DIN 4109, VDI 2719, DIN EN ISO 140-5 und DIN EN ISO 717", *Lärmbekämpfung*, vol. 53 (4), pp. 118-121, 2008.

- [98] C. Maschke, R. Volz, A. Jakob und E. Augustin, "Pegeldifferenz gekippt-geöffneter Fenster bei Fluglärm-Messungen nach DIN EN ISO140-5 Gesamt-Lautsprecher-Verfahren", in Proc. Fortschritte der Akustik – DAGA 2010.
- [99] Deutscher Ärztetag, Entschließung VI-81 Fluglärm, 115. Deutscher Ärztetag, Nürnberg, 2012.
- [100] P. Cancik, "Die Pflicht zur Aufstellung von Aktionsplänen zur Lärminderung und ihre Kopplung an Auslösewerte", NVwZ, pp. 167-170, 2008.
- [101] (2012) S. Kephalopoulos, M. Paviotti and F. A. Lédée, "Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS EU) EUR 25379 EN, Luxemburg", Publications Office of the European Union. Online: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/26390/1/cnossos%20jrc%20reference%20report_final_on%20line%20version_10%20august%202012.pdf; pp. 101 ff.
- [102] A. Seidler et al., Deutsches Ärzteblatt 113, S. 407-414.