

**Risikofaktor nächtlicher Fluglärm
Abschlussbericht über eine Fall-Kontroll-Studie
zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen
im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn**

Prof. Dr. Eberhard Greiser,
Dipl.-Ing. Claudia Greiser, M.P.H.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes
(FKZ 3708 51 101)

Musweiler, 21.11.2009

Epi.Consult GmbH, Ortsstr. 1 A, 54534 Musweiler
Geschäftsführer: Prof. Dr. Eberhard Greiser, Dipl.-Ing. Claudia Greiser, M.P.H.
Handelsregister Wittlich HRB 40 797
Bankverbindung: Postbank Stuttgart (BLZ 600 100 70) Konto 181 111 707
Steuer-Nummer 43 665 06983 (Finanzamt Bernkastel-Wittlich)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Material und Methoden	4
2.1 Lärmdaten	4
2.2 Adressdaten	6
2.3 Aggregierte Strukturdaten	6
2.4 Verarbeitung von Lärm- und Strukturdaten	6
2.5 Daten der gesetzlichen Krankenkassen	7
2.6 Statistische Methoden	8
3. Ergebnisse	11
3.1 Verteilung des Fluglärms	11
3.2 Ergebnisse der multivariaten logistischen Regressionen	15
3.2.1 Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs	15
3.2.2 Psychische Erkrankungen	20
3.2.3 Confounder	20
4. Diskussion	21
4.1 Kausalbeziehung zwischen Fluglärm und Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs	22
4.2 Psychische Erkrankungen	35
5. Limitierungen der vorliegenden Fall-Kontroll-Studie	37
5. Zusammenfassung	40
6. Wissenschaftlicher Beirat	41
7. Kooperierende gesetzliche Krankenkassen	41

1. Einleitung

Die Vermutung, dass Fluglärm zu einem erhöhten Krankheitsrisiko bei Herz- und Kreislaufkrankheiten führen könnte, ist zuerst von Knipschild¹ 1977 in mehreren Untersuchungen, durchweg Querschnittsstudien, um den Amsterdamer Flughafen Schiphol plausibel gemacht worden. Er fand in stärker mit Fluglärm belasteten Gemeinden in unmittelbarer Nähe zum Flughafen einen erhöhten Verbrauch von blutdrucksenkenden Arzneimitteln² als auch eine vermehrte Häufigkeit von Bluthochdruck und von Beschwerden von Herz- und Kreislaufkrankheiten.

In jüngster Zeit haben sich vor allem durch eine Untersuchung in Schweden und durch eine multizentrische europäische Studie die Verdachtsmomente verdichtet, dass infolge von Fluglärm, vor allem, wenn er des Nachts auftritt, die Häufigkeit von Bluthochdruck in der Allgemeinbevölkerung dramatisch erhöhen könnte.

Rosenlund und Koautoren³ fanden bei Anwohnern des Stockholmer Flughafens Arlanda im Vergleich zu Personen aus einer Region ohne Fluglärmbelastung eine signifikante Erhöhung der Häufigkeit von ärztlich diagnostiziertem Bluthochdruck bei Männern und Frauen. Dieser Effekt fiel bei Schwerhörigen deutlich niedriger aus.

Im Rahmen der HYENA-Studie⁴ wurde die Häufigkeit von Bluthochdruck bei einer Stichprobe von über 5.000 Anwohnern in der Umgebung von sechs europäischen Großflughäfen untersucht. Als Folge einer Belastung mit nächtlichem Fluglärm ab 35 dB(A) Dauerschallpegel fand sich eine Erhöhung des Risikos für Bluthochdruck um 14 % je 10 dB(A)-Anstieg des Fluglärms. Fluglärm am Tage beeinflusste in dieser Studie die Häufigkeit von Bluthochdruck nicht. Dagegen zeigte Lärm von Straßenverkehr ebenfalls einen signifikanten, wenngleich geringeren Anstieg des Bluthochdruck-Risikos. An einer kleinen Unterstichprobe wurde der Einfluss von Lärmereignissen auf den aktuell gemessenen Blutdruck ermittelt.

¹ Knipschild P. Medical effects of aircraft noise: Community cardiovascular survey. *Int Arch Occup Environ Health* 1977; 40: 185-190.

² Knipschild P. Medical effects of aircraft noise. Drug survey. *Int Arch Occup Environ Health* 1977; 197-200.

³ Rosenlund M, Berglind N, Pershagen G, Järup L, Bluhm G. Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise. *Occup Environ Med* 2001; 58: 769-773.

⁴ Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Cadum E, Dudley ML, Savigny P, Seifert I, Swart W, Breugelmans O, Bluhm G, Selander J, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Sourtzi P, Velonakis M, Vigna-Taglianti F on behalf of the HYENA study team. Hypertension and exposure to noise near airports: The HYENA Study. *Environ Health Perspect* 2008; 116: 329-333.

Haralabidis und Koautoren berichteten⁵ das jedes akute Lärmereignis über 35 dB(A) zu einer signifikanten Steigerung des systolischen und des diastolischen Blutdrucks führen könnte.

In einer im Auftrage des Umweltbundesamtes durchgeführten epidemiologischen Studie um den Flughafen Köln-Bonn⁶ fanden sich schließlich mit zunehmendem Dauerschallpegel ansteigende Verordnungshäufigkeiten von blutdrucksenkenden Arzneimitteln und von anderen Arzneimitteln zur Behandlung von Herz- und Kreislauferkrankungen. Die dabei beobachteten Effekte waren bei Frauen stärker ausgeprägt als bei Männern und waren bei der Analyse der Folgen nächtlichen Fluglärms ausgeprägter als nach Fluglärm am Tage. Bei Frauen fanden sich zudem erhöhte Verordnungsmengen für Schlaf- und Beruhigungsmittel, sowie für Arzneimittel zur Behandlung von Depressionen.

Diese Ergebnisse rechtfertigten die Durchführung einer weiteren Studie, in der auf der Basis der Daten von mehr als 1.020 Millionen Versicherten gesetzlicher Krankenkassen im Rahmen einer Fall-Kontroll-Studie analysiert werden sollte, ob und in welchem Ausmaß Fluglärm das Erkrankungsrisiko für solche Erkrankungen erhöhen könnte, die eine stationäre Krankenhausbehandlung erforderlich machen. Als Zielkrankheiten wurden kardiovaskuläre Erkrankungen und psychische Erkrankungen definiert.

2. Material und Methoden

2.1 Lärmdaten

A. Fluglärmdaten

Die Flughafen Köln/Bonn GmbH hat Daten über sämtliche Flugbewegungen des Kalenderjahres 2004 nach Luftfahrzeug, Zeitpunkt und Flugroute zur Verfügung gestellt. Diese Einzelflugdaten wurden von der AVIA-Consult, Strausberg, in ein Datenerfassungssystem (DES) überführt und auf der Basis der sechs verkehrsreichsten Monate des Jahres unter Verwendung einer modifizierten „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“ (AzB 99 – Leq₍₃₎) in geokodierte Dauerschallpegel für definierte Zeitfenster umgerechnet:

⁵ Haralabidis AS, Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampolo M, Borgini A, Dudley ML, Pershagen G, Bluhm G, Houthuijs D, Babisch W, Velonakis M, Katsouyanni K, Jarup L; HYENA Consortium. Acute effects of nighttime noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *Eur Heart J* 2008; 29:658-664.

⁶ Greiser E, Greiser C, Janhsen K. Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen. Forschungsprojekt im Auftrage des Umweltbundesamtes. Publikationen des Umweltbundesamtes. Berlin, November 2006.

- Für die gesamte Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr),
- für den gesamten Tag (6.00 bis 22.00 Uhr),
- für die Nachtstunden 23.00 bis 1.00 Uhr,
- für die Nachtstunden 3.00 bis 5.00 Uhr.

Die Zeitfenster der Nacht entsprechen der Haupt-Landezeit für Frachtflugzeuge (23-1 Uhr) und der Haupt-Startzeit für Frachtflugzeuge (3-5 Uhr). Die Dauerschallpegel wurden für einen Pegelbereich von 40 dB(A) aufwärts berechnet.

An weiteren Daten hatte der Flughafen Köln/Bonn eine Datei zur Verfügung gestellt, die sämtliche Anschriften enthielt, deren Bewohner die Finanzierung von baulichen Lärmschutzmassnahmen durch den Flughafen beantragen konnten. Die von der Flughafen Köln/Bonn GmbH zur Verfügung gestellten Daten erlauben die Unterscheidung von Versicherten, die Anspruch auf bauliche Lärmschutzmassnahmen im Rahmen des freiwilligen Schallschutzprogramms des Flughafens haben und denjenigen, die nicht unter dieses Programm fallen. Es liegen aber keine Daten darüber vor, ob die anspruchsberechtigten Versicherten ihre Ansprüche tatsächlich realisiert haben. Aller Erfahrung nach lässt aber ein großer Teil der Anspruchsberechtigten bauliche Lärmschutzmaßnahmen vornehmen.

B. Verkehrslärmdaten

Vom Landesumweltamt des Landes Nordrhein-Westfalen wurde im Rahmen eines sogenannten Screening-Projektes eine Lärmkartierung des gesamten Bundeslandes erstellt (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen: Screening der Geräuschbelastung in NRW.11.2.2000). Für Zwecke des Forschungsprojektes wurden Rasterdaten zu Verfügung gestellt, die den Bereich der Stadt Köln, des Rheinisch-Bergischen Kreises und des Rhein-Sieg-Kreises umfassten. Für Straßen und Schienenwege waren Dauerschallpegel für den Tag (6.00 bis 22.00 Uhr) und für die Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr) verfügbar; die Dauerschallpegel lagen für einen Pegelbereich von 35 dB(A) aufwärts vor.

Die Rasterdaten wurden für die Stadt Köln vom Umwelt- und Verbraucherschutzamt der Stadt Köln in geokodierte Daten umgesetzt. Für die beiden Kreise erfolgte dieses durch AVIA-Consult. Zusätzlich stellte die Stadt Köln Daten ihres eigenen differenzierten

Lärmkatasters zur Verfügung. Diese Daten umfassen im Wesentlichen die rechtsrheinischen Stadtteile.

2.2 Adressdaten

Adressdaten für das Forschungsprojekt entstammen verschiedenen Datenquellen:

- Die Stadt Köln lieferte Adressdaten für sämtliche Gebäude innerhalb des Stadtgebietes und stellte gleichzeitig die Lärmdaten (Fluglärm, Verkehrslärm) gelinkt zu den Adressdaten zur Verfügung.
- Für die beiden Kreise standen geokodierte Adressdaten des Landesvermessungsamtes zur Verfügung.
- Daten zur Verbindung von Straßen bzw. Adressen zu einzelnen Ortsteilen waren in der Adressdatenbank der Stadt Köln bereits vorhanden.
- Für die beiden Kreise mussten diese Informationen aus verschiedenen z.T. disparaten Datenquellen erschlossen werden.

2.3 Aggregierte Strukturdaten

Für Zwecke des Forschungsprojektes waren Daten über die Sozialstruktur von Ortsteilen bzw. Stadtteilen erforderlich. Es wurde entschieden, hierfür die Anteile von Sozialhilfe-Empfängern an der Gesamtbevölkerung heranzuziehen, da diese Daten offenkundig als einzige in identischer Form für alle Gemeinden verfügbar waren.

Zusätzlich ist die Dichte von Alten- und Pflegeheim-Plätzen bezogen auf die über 64-jährige Bevölkerung der Städte und Gemeinden (im Falle der Stadt Köln bezogen auf Stadtteile) ermittelt worden.

2.4 Verarbeitung von Lärm- und Strukturdaten

Sämtliche Lärm- und Strukturdaten sind mit den insgesamt 376.223 Adressen der gesamten Untersuchungsregion verbunden worden. Diese Datenbank enthielt schließlich neben der Postleitzahl den Namen der Gemeinde, Strasse, Hausnummer und Hausnummern-Zusatz sowie einen Charakterstring mit den die Lärm- und Strukturdaten.

2.5 Daten der gesetzlichen Krankenkassen

Von acht gesetzlichen Krankenkassen sind die Daten von insgesamt 1.020.508 Versicherten zur Verfügung gestellt worden, deren Hauptwohnsitz in der Studienregion (Stadt Köln, Rhein-Sieg-Kreis, Rheinisch-Bergischer Kreis) lag. Dieses entspricht ca. 55 % der

Gesamtpopulation der Studienregion. Die Zeiträume, für die Daten zur Verfügung gestellt wurden, variierten zwischen 2 und 6 Jahren. Insgesamt 3.69 Millionen Versicherungsjahre resultierten daraus.

Von den kooperierenden Krankenkassen wurden folgende Einzel-Daten aus verschiedenen Datenbanken in faktisch anonymisierter Form zur Verfügung gestellt:

A. Stammdaten

- pseudonymisierte Id-Nummer,
- Geburtsjahr,
- Geschlecht,
- Postleitzahl des Wohnortes,
- Beginn und Ende eines Versicherungsverhältnisses,
- Beitragsbemessungsgrundlage bei Pflichtversicherten, die noch im Erwerbsleben standen,
- Status als Stamm- bzw. Familienversicherter,
- Zuordnung mit Familienversicherten zum Stammversicherten.

B. Daten über stationäre Krankenhausbehandlung

- pseudonymisierte Id-Nummer
- Beginn und Ende der stationären Behandlung
- Hauptdiagnose und bis zu 8 Nebendiagnosen bei Entlassung

C. Lärm- und Strukturdaten

Die Krankenkassen erhielten die Adress-Datenbank der gesamten Studienregion mit den Lärm- und Strukturdaten. Auf der Basis der Anschriften der einzelnen Versicherten wurde ein Linkage für jeden Versicherten durchgeführt. Für das Forschungsprojekt wurde sodann für jeden Versicherten die pseudonymisierte Id-Nummer mit dem anhängenden Charakterstring für das Forschungsprojekt aufbereitet.

Aufbereitung der Entlassungsdiagnosen

Die Daten über stationäre Krankenhausbehandlung enthielten die Entlassungsdiagnosen nach der Internationalen Klassifikation von Erkrankungen und Todesursachen (ICD), teil kodiert nach der 9. Revision (ICD-9), zum größten Teil jedoch kodiert nach der 10. Revision (ICD-10). Aus den Einzelkodes wurden für die wei-

teren Analysen Kodes zu Diagnosen und Diagnosengruppen zusammengefasst. Die dabei verwendeten Algorithmen gehen aus Tabelle 1 hervor.

Tabelle 1. Algorithmen für die Zusammenfassung von ICD-Kodes zu Diagnosen

Diagnose	ICD-9	ICD-10
Schlaganfall	431, 432, 433, 434, 435, 435, 436	I60, I61, I63, I64
Hirndurchblutungsstörungen & Schlaganfall	431, 432, 433, 434, 435, 435, 436	I6
Koronare Herzkrankheit	411, 413 414	I24, I25
Herzinfarkt	410, 412	I21, I22, I23
Herzschwäche	402, 425, 428	I50, I51
Angst, Phobie	300	F40, F41
Depression	311	F33, F34
Psychose	290, 291, 292, 294, 295, 296, 297, 298, 299	F2, F03, F04, F05, F06, F09

Für jeden Versicherten wurden über alle Versicherungsphasen die in diesen Phasen gestellten Entlassungsdiagnosen zusammengefasst, so dass als Ergebnis für jeden Versicherten das mindestens einmalige Auftreten einer Diagnose für die Weiterverarbeitung zur Verfügung stand.

2.6 Statistische Methoden

Die Analysen erfolgten mittels multivariater logistischer Regressionen (SAS-Prozedur Proc Phreg)⁷. Dabei wurden, der Methodik von Fall-Kontroll-Studien folgend, alle Versicherten, die die jeweils zu analysierenden Diagnosen aufwiesen, als Fälle definiert, alle Versicherten, die diese Diagnosen nicht aufwiesen, als Kontrollen. Für die einzelnen Analysen wurden Modelle definiert, die folgende Variablen enthielten:

- Fluglärm-Parameter,

⁷ Version 9.2 (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA)

- Straßenlärm-Parameter,
- Schienenlärm-Parameter,
- Alter,
- Sozialhilfe-Häufigkeit des Ortsteils bzw. Des Stadtteils,
- Dichte von Alten- und Pflegeheimplätzen bezogen auf die Bevölkerung über 64 Jahre,
- Interaktionsterm Alter*Fluglärm-Parameter,
- Interaktionsterm Sozialhilfe*Fluglärm-Parameter.

Die Umgebungslärmparameter wurden linear transformiert, so dass dem untersten berechneten Wert der Wert 1 zugewiesen wurde. In allen Fällen, in denen für einzelne Umgebungslärmparameter keine Berechnung vorlag, wurde eine 0 substituiert. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, ob eine Verschiebung des Startpunktes zu relevanten Veränderungen der Schätzungen führen könnte. Es zeigte sich, dass eine Verschiebung um 2 dB(A) (d.h. Dauerschallpegel von 40 und 41 dB(A) wurden auf den Wert 0 gesetzt) zu nur geringfügig abweichenden Schätzungen führte.

Im Rahmen von weiteren Sensitivitätsprüfungen wurde analysiert, ob mit nichtlinearen Transformationen der Fluglärmparameter eine bessere Modellanpassung möglich wäre. Dafür wurden quadratische, kubische und gemischte Modelle (linear + quadratisch) untersucht. Es zeigte sich, dass die Lineartransformation die beste Modellanpassung gewährleistete.

Für den Fluglärm waren Berechnungen der Dauerschallpegel für vier Zeitfenster erfolgt (6-22 Uhr, 22-6 Uhr, 23-1 Uhr, 3-5 Uhr). Zusätzlich wurde ein ungewichteter 24-Stunden-Dauerschallpegel (Leq_{24}) berechnet.

Da die Untersuchungspopulation für die einzelnen Zeitfenster in unterschiedlichem Maße durch Fluglärm belastet war, konnte der Fall entstehen, dass Personen, die z.B. im Zeitfenster 22-6 Uhr von Fluglärm nicht belastet waren, während des Zeitfensters 3-5 Uhr eine Belastung erfuhren. Diese Personen hätten in den Analysen zur unbelasteten Referenzpopulation gezählt⁸. Dieses hätte letztendlich zu einer Unterschätzung der Effekte des Fluglärms für das Zeitfenster 22-6 Uhr

⁸ Herrn Dr. Michael Maiwald, Direktor des Gesundheitsamtes Offenbach, verdanke ich den Hinweis auf diese mögliche Unterschätzung von Fluglärmeffekten.

geführt. Um dieses zu vermeiden, wurden die Werte dieser Personen aus der jeweiligen Analyse ausgeschlossen.

Bei der Analyse der Fluglärmeffekte für die einzelnen Zeitfenster wurden für die Nacht-Zeitfenster die entsprechenden Straßen- und Schienenlärm-Parameter für die Nacht ausgewählt, für das Tag-Zeitfenster wurde analog verfahren. Für die Analyse des Effektes von Leq_{24} wurden die Nachtparameter von Straßen und Schienenlärm gewählt.

Um den möglichen Einfluss der Finanzierung von Lärmschutzmassnahmen durch den Flughafen Köln-Bonn zu ermitteln, wurden alle Analysen in drei Formen durchgeführt:

a) für die gesamte Studienpopulation;

b) für die gesamte von Fluglärm nicht belastete Teilpopulation und diejenigen von Fluglärm Betroffenen, die eine Finanzierung von Schallschutzmassnahmen in Anspruch nehmen konnten;

c) für die gesamte von Fluglärm nicht belastete Teilpopulation und diejenigen von Fluglärm Betroffenen, die sich vom Flughafen Köln-Bonn Schallschutzmassnahmen nicht finanzieren lassen konnten.

Alle logistischen Regressionen wurden getrennt für Männer und Frauen durchgeführt.

Für die Analysen wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Entlassungsdiagnosen als Zielkrankheiten ausgewählt. Zusätzlich wurde eine Obergruppe definiert, die sämtliche kardiovaskulären Erkrankungen beinhaltet. Die Analysen wurden auf die Teilpopulation der über 39 Jahre alten Männer und Frauen beschränkt. Tabelle 2 weist die Häufigkeit dieser Entlassungsdiagnosen nach Altersgruppen aus.

Tabelle 2. Häufigkeit von Entlassungsdiagnosen

	Männer		Frauen	
	Alter unter 40	Alter 40 +	Alter unter 40	Alter 40 +
Population	251.077	223.559	257.689	288.183
Sämtliche Herz- und Kreislauferkrankungen	758	30.607	466	32.665
Schlaganfall und Hirndurchblutungsstörungen	241	9.652	202	12.159
Schlaganfall	152	5.993	145	7.281
Koronare Herzkrankheit und Herzinfarkt	233	21.240	81	18.140
Koronare Herzkrankheit	193	20.218	64	17.056
Herzinfarkt	110	4.931	26	3.404
Herzschwäche	336	11.395	205	15.320
Angst und Phobie	346	709	599	1.635
Depression	326	981	587	2.155
Psychose	942	3.599	621	6.923

3. Ergebnisse

3.1 Verteilung des Fluglärms

Ein Vergleich der Ausbreitung der Isophone des Fluglärms über die vier Zeitfenster (Abbildungen 1 – 4) zeigt deutlich, dass insbesondere die beiden spezifischen Zeitfenster in der Nacht, die vor allem durch den Anflug der Frachtmaschinen (23 – 1 Uhr) und durch ihren Abflug bedingt sind (3 – 5 Uhr) ein Flächenmuster aufweisen, dass in einigen Bereichen erheblich von den Ausbreitungsmustern des Fluglärms für den Tag und für die gesamte Nacht abweichen.

Insgesamt sind ca. 20 % der gesamten Studienpopulation durch Fluglärm mit einem Dauerschallpegel von 40 dB(A) aufwärts betroffen. Dabei unterscheidet sich das Belastungsspektrum zwischen den einzelnen Zeitfenstern, wie Abbildung 5 zeigt, erheblich. Bei der Interpretation der Ergebnisse der logistischen Regressionen ist zu beachten, dass die jeweils betroffenen Teilpopulationen nur z. T. identisch sind.

Abbildung 1. Isophone für Fluglärm am Tage (6 – 22 Uhr)

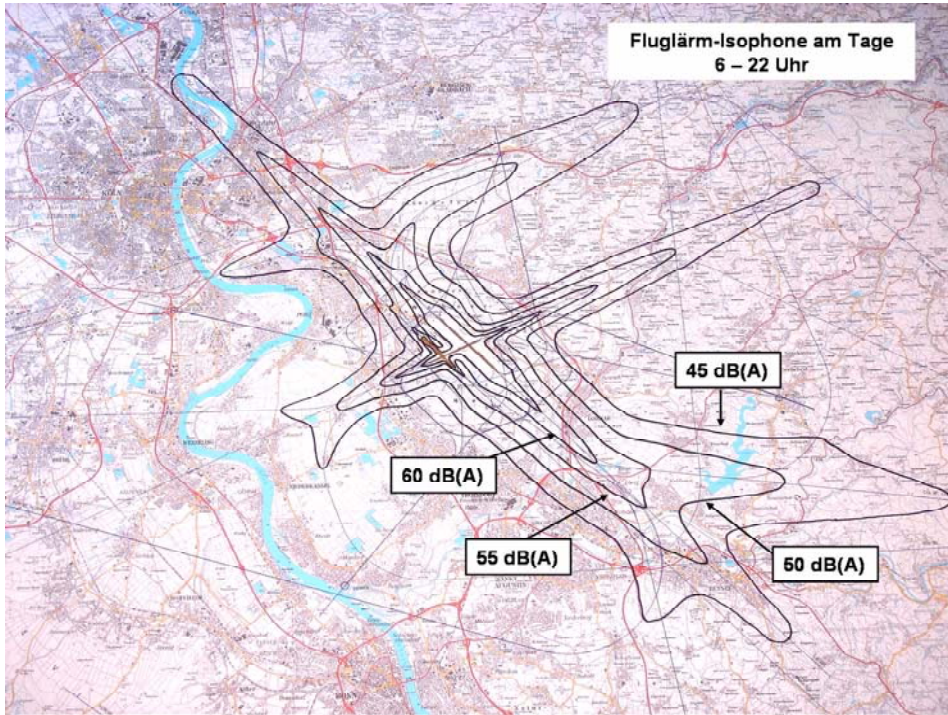
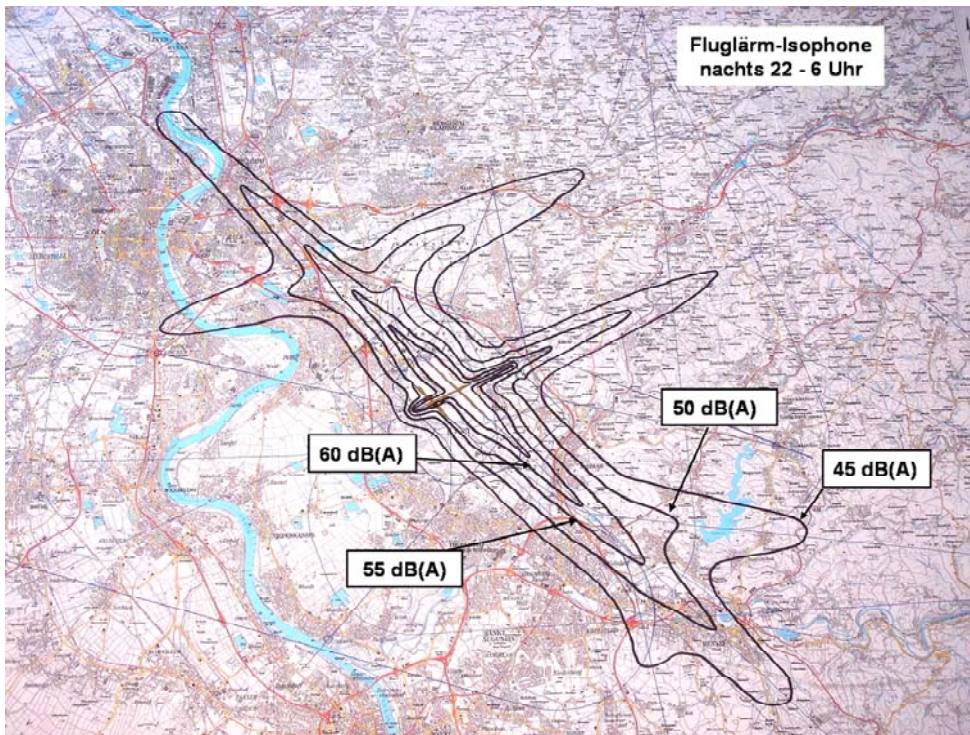


Abbildung 2. Isophone für Fluglärm in der Nacht (22 – 6 Uhr)



Eine Darstellung der Verteilung der Studienpopulation auf einzelne Isophon-Klassen für die vier Zeitfenster weist auf die ungleiche Belastung in den einzelnen Zeitfenstern hin (Abbildung 5).

Abbildung 3. Isophone für Fluglärm in der ersten Nachthälfte (23 – 1 Uhr)

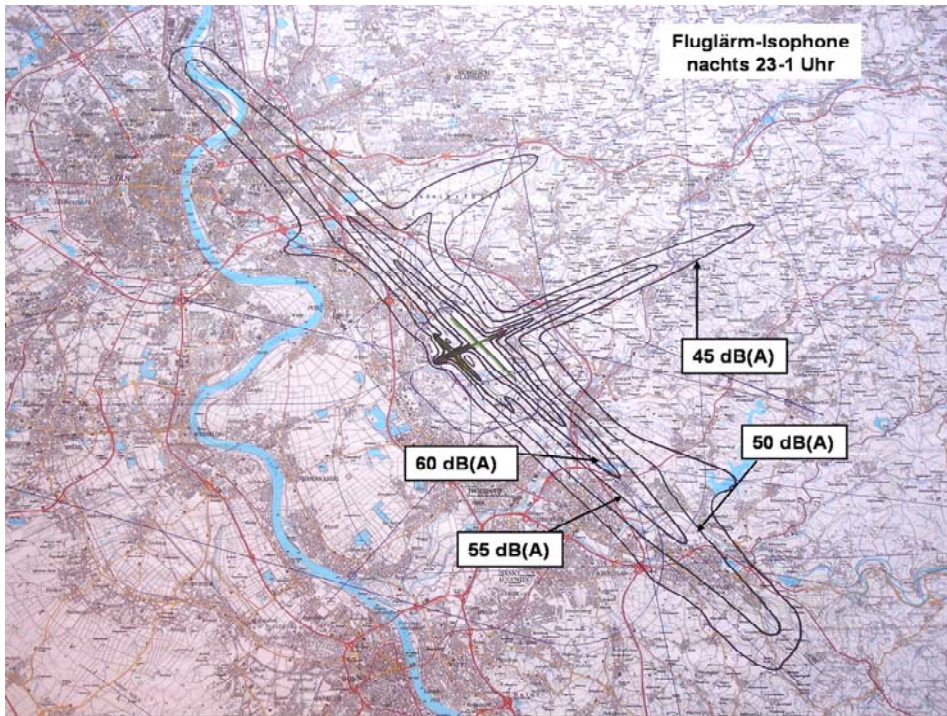
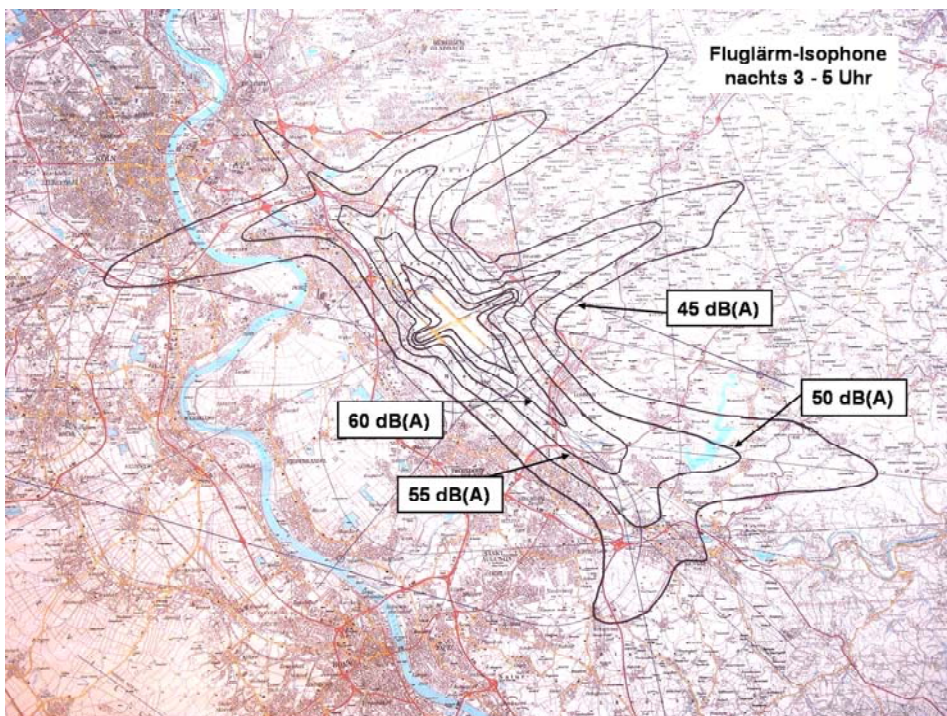


Abbildung 4. Isophone für Fluglärm in der zweiten Nachthälfte (3 – 5 Uhr)



Straßenverkehrslärm belastet im Vergleich zu Fluglärm einen ungleich größeren Anteil der Studienpopulation mit in der Spitze auch deutlich höheren Dauerschallpegeln (Abbildung 6).

Abbildung 5. Belastung der Untersuchungspopulation durch Fluglärm in verschiedenen Zeitfenstern.

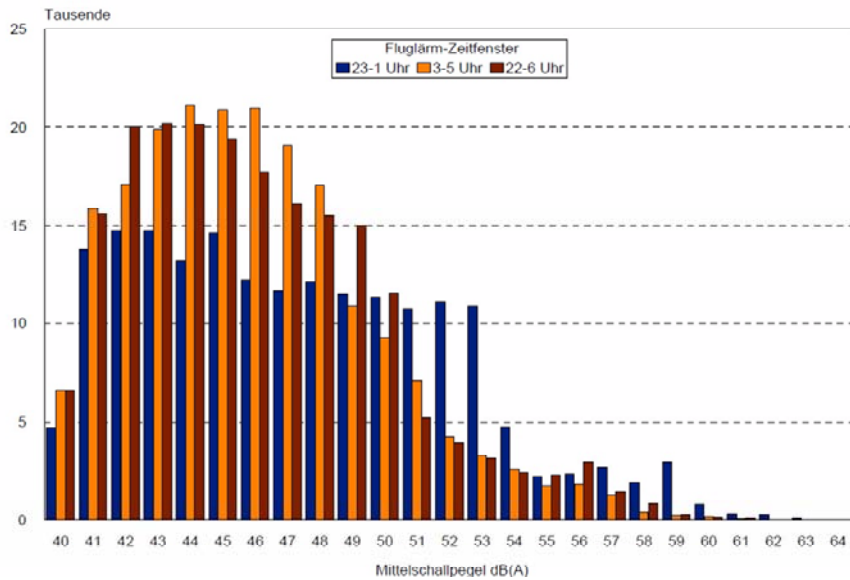
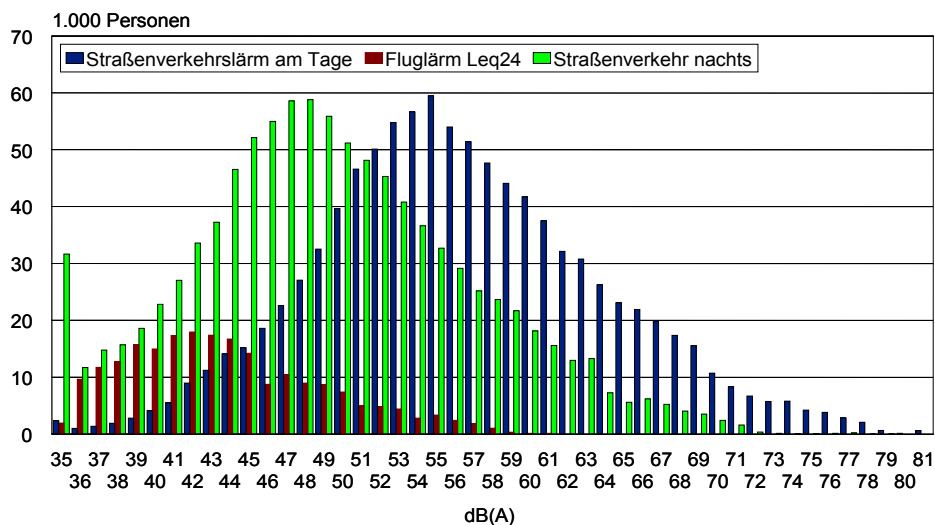
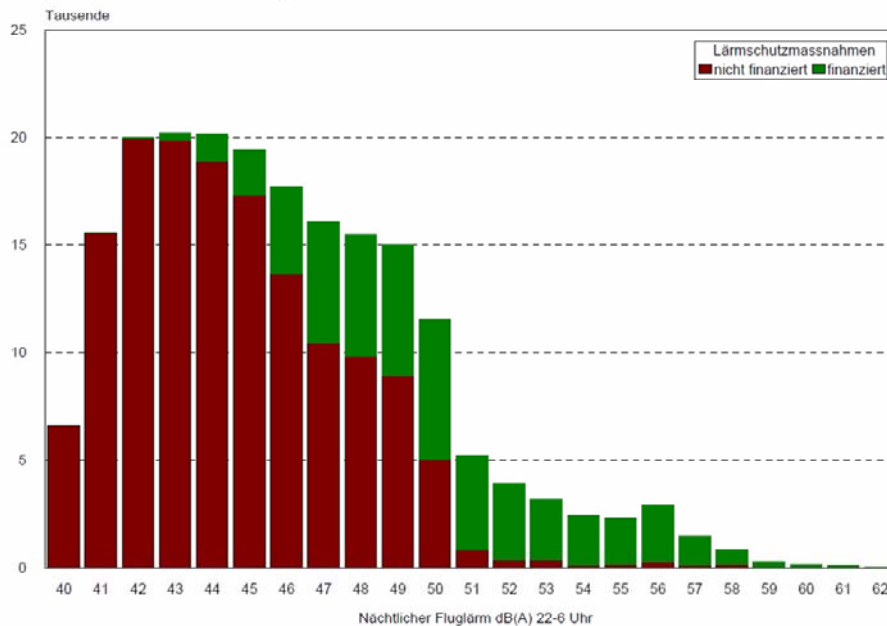


Abbildung 6. Belastung der Untersuchungspopulation durch Straßenverkehrslärm und durch Fluglärm (Leq24).



Schließlich ist bei den multivariaten logistischen Regressionen, soweit sie die gesamte Studienpopulation betrafen, die Möglichkeit der Finanzierung von Lärmschutzmassnahmen für Schlafzimmer als Einflussvariable berücksichtigt worden. Wie Abbildung 7 zeigt, korrespondiert diese Möglichkeit fast überhaupt nicht mit dem nächtlichen Dauerschallpegel, da von dieser Möglichkeit Anwohner bereits von einem Dauerschallpegel von 43 dB(A) Gebrauch machen können, andererseits andere mit einem Dauerschallpegel von 58 dB(A) davon ausgeschlossen sind.

Abbildung 7. Möglichkeit zur Finanzierung von Lärmschutzmassnahmen für Schlafzimmer und nächtlicher Dauerschallpegel.



3.2 Ergebnisse der multivariaten logistischen Regressionen

3.2.1 Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs

Für diese Studie standen die Daten von mehr als 1.020 Millionen Versicherten gesetzlicher Krankenkassen zur Verfügung, die ihren Hauptwohnsitz in der Untersuchungsregion (Stadt Köln, Rhein-Sieg-Kreis, Rheinisch-Bergischer Kreis) hatten. Dieses entspricht 55,4 % der Gesamtbevölkerung der Studienregion.

Die Ergebnisse der multivariaten logistischen Regressionen sind auf den folgenden für jede Diagnose bzw. Diagnosengruppe so dargestellt, dass für jedes Zeitfenster jeweils die stratifizierten Ergebnisse für beide Geschlechter, sowie innerhalb der Zeitfenster für Personen mit der Möglichkeit der Finanzierung von Schallschutzfenstern, für die gesamte Studienpopulation und für Personen ohne Finanzierungsmöglichkeit durch den Flughafen Köln-Bonn dargestellt sind. Es werden jeweils die Erhöhung des Erkrankungsrisikos je 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms im Vergleich zur Referenzpopulation mit dem 95%-Vertrauensbereich dargestellt.

Abbildung 8. Erkrankungsrisiko für sämtliche Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs – Anstieg (%) pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms (bei Leq_{24} ab 35,25 dB(A), bei allen anderen Parametern ab 40 dB(A)).

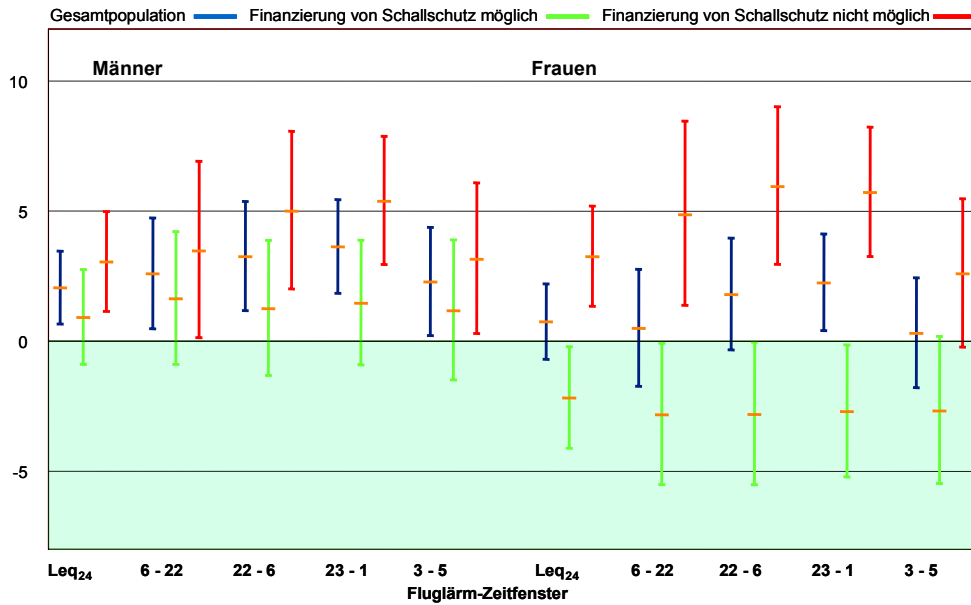
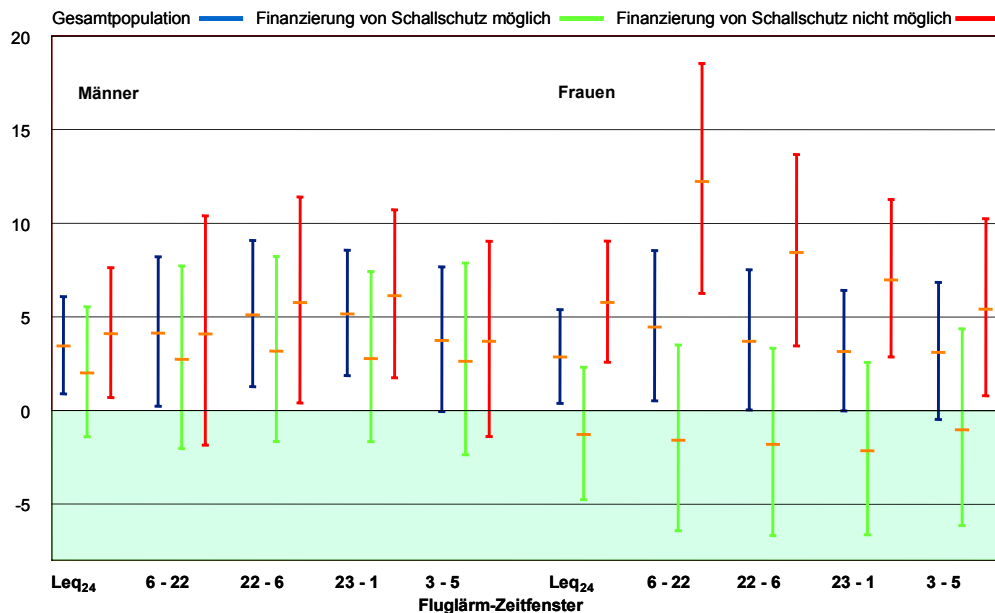


Abbildung 9. Schlaganfall und Hirndurchblutungsstörungen – Anstieg (%) pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms (bei Leq_{24} ab 35,25 dB(A), bei allen anderen Parametern ab 40 dB(A)).



Die für Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufsystems gefundenen Risikoerhöhungen weisen einige Charakteristika auf, die fast allen untersuchten Krankheitsentitäten gemein sind: Es finden sich durchweg bei Frauen höhere Risikoanstiege

Abbildung 10. Schlaganfall - Anstieg pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms (bei Leq_{24} ab 35,25 dB(A), bei allen anderen Parametern ab 40 dB(A).

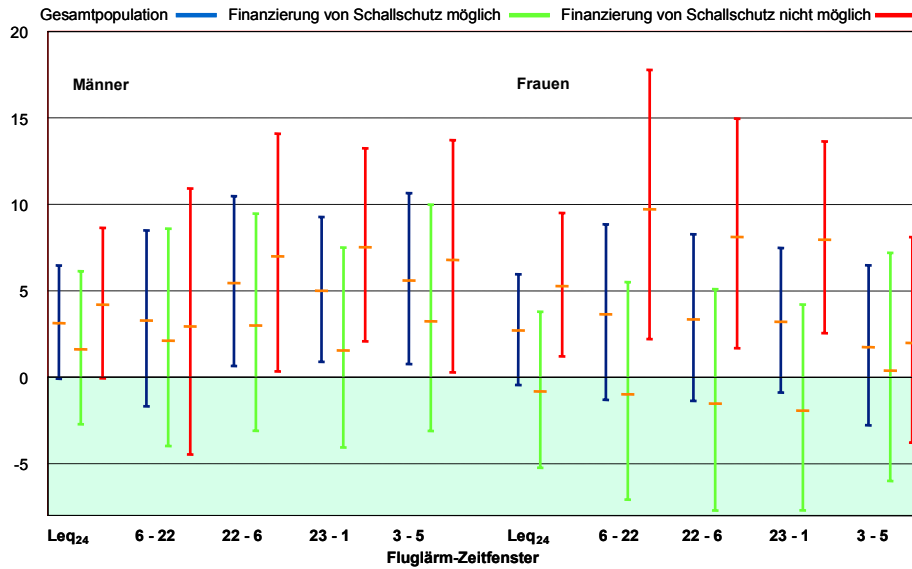
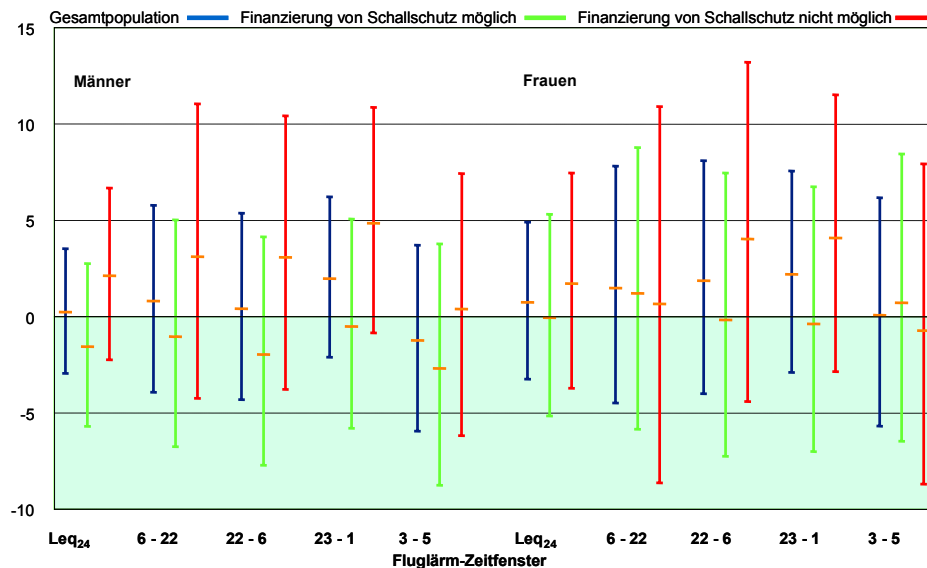


Abbildung 11. Herzinfarkt – Anstieg pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms (bei Leq_{24} ab 35,25 dB(A), bei allen anderen Parametern ab 40 dB(A).



und es findet sich ein deutlicher Gradient von dem Stratum, in dem für durch Fluglärm belastete Personen eine Finanzierungsmöglichkeit für Schallschutzmassnahmen bestand bis zu denjenigen, denen eine solche Möglichkeit nicht offen stand.

Abbildung 12. Koronare Herzkrankheit – Anstieg pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms (bei Leq24 ab 35,25 dB(A), bei allen anderen Parametern ab 40 dB(A)).

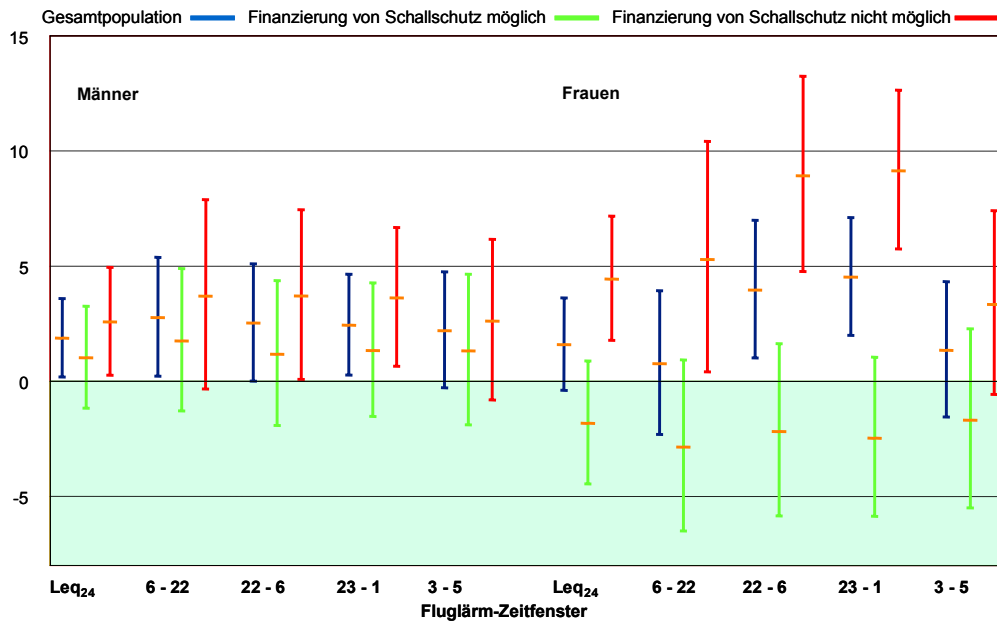
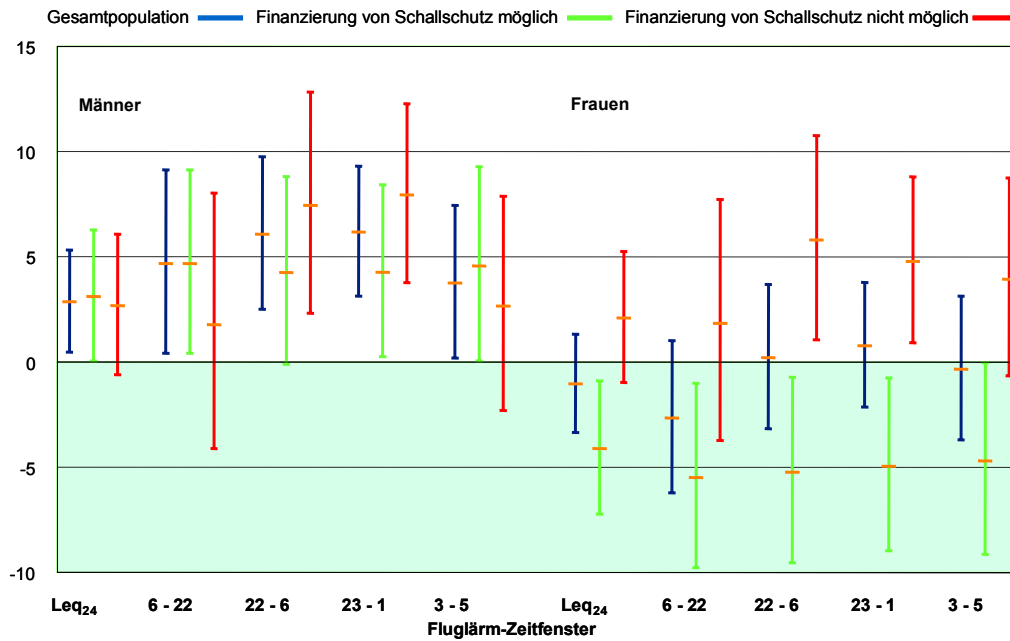


Abbildung 13. Herzschwäche – Anstieg pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms (bei Leq24 ab 35,25 dB(A), bei allen anderen Parametern ab 40 dB(A)).



Dabei ist anzumerken, dass selbst in der ersten genannten Gruppe sich z.T. nicht-signifikante Risikoerhöhungen fanden. Einzig bei den akuten Herzinfarkten ergab sich keine durch Fluglärm beeinflusste Risikoerhöhung.

Abbildung 14. Angst und Phobie – Anstieg pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms (bei Leq_{24} ab 35,25 dB(A), bei allen anderen Parametern ab 40 dB(A)).

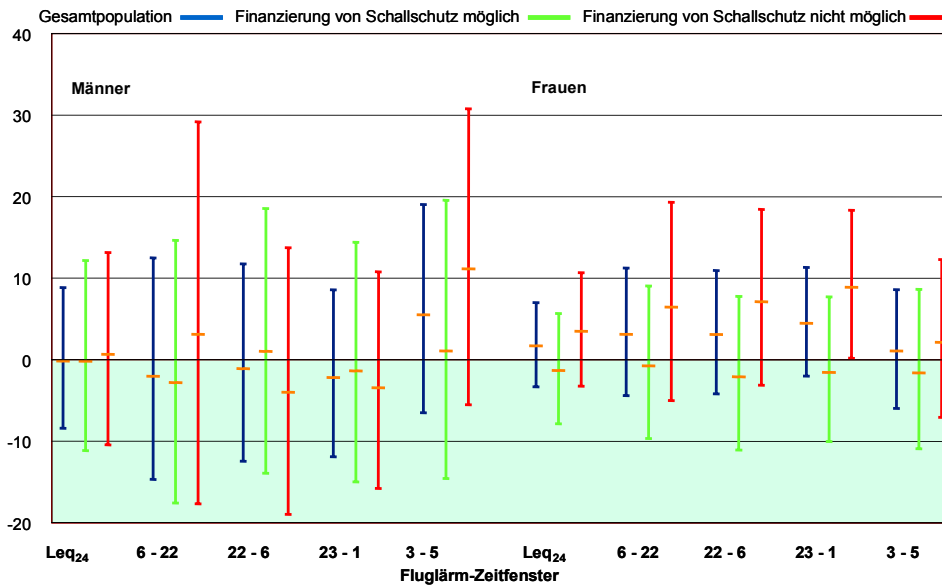


Abbildung 15. Depression – Anstieg pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms (bei Leq_{24} ab 35,25 dB(A), bei allen anderen Parametern ab 40 dB(A)).

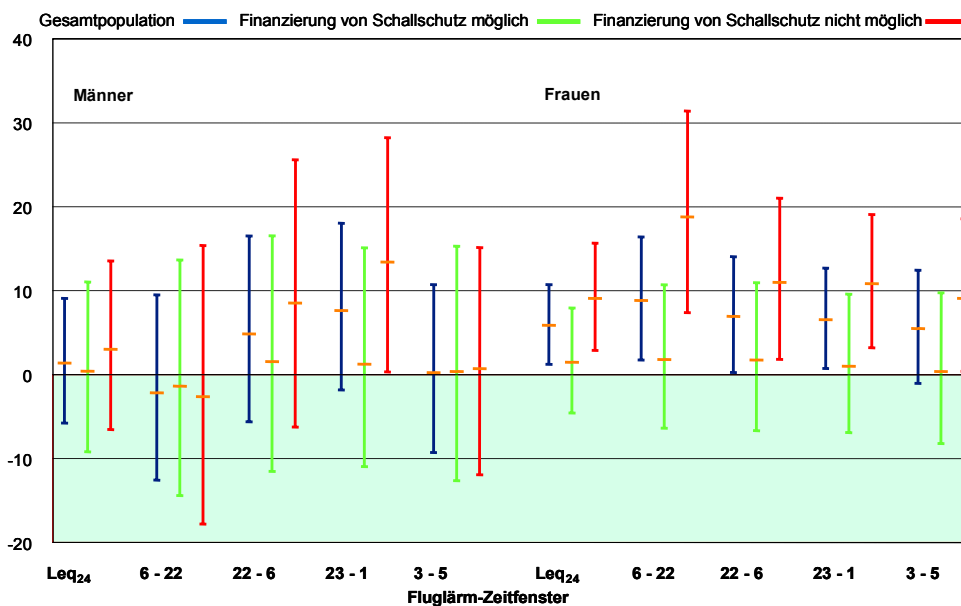
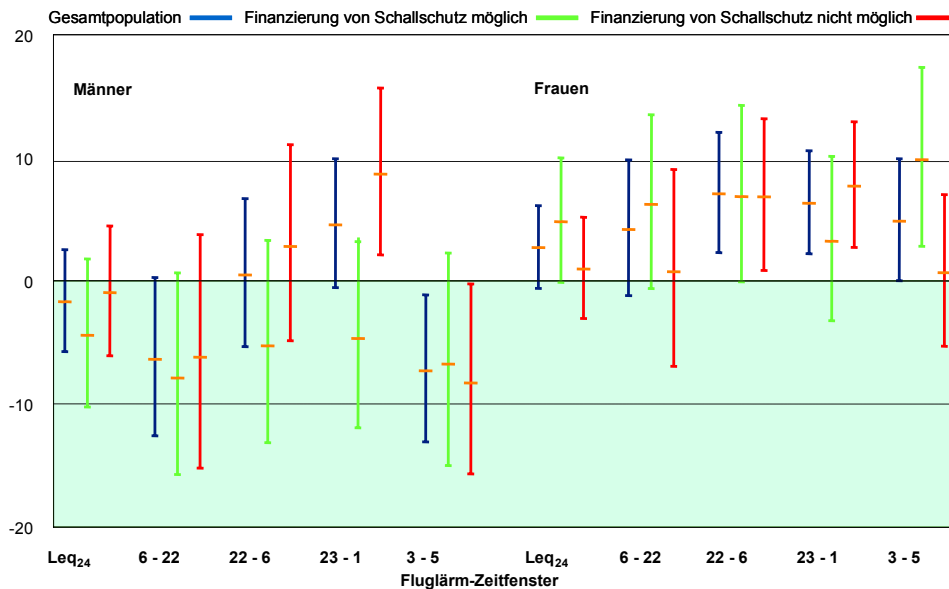


Abbildung 16. Psychosen – Anstieg pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms (bei Leq_{24} ab 35,25 dB(A), bei allen anderen Parametern ab 40 dB(A)).



3.2.2 Psychische Erkrankungen

Die Ergebnisse der Analysen für die Diagnosegruppen der psychischen Erkrankungen ergeben insgesamt ein uneinheitliches Bild. Für Angststörungen und Phobien zeigen sich keine erhöhten Erkrankungsrisiken. Dagegen finden sich deutlich erhöhte Risiken für Frauen, wegen einer Depression einer stationären Behandlung zu bedürfen, jedoch nicht für Männer. Bei den Psychosen ist das Bild inkonsistent, da sich lediglich für Frauen für Fluglärm während der gesamten Nacht und im Zeitfenster zwischen 23 und 1 Uhr überhaupt Risikoerhöhungen zeigen. Diese folgen allerdings nicht dem Muster, was für die kardiovaskulären Erkrankungen durchgehend zu beobachten war: Hier findet sich kein Einfluss der Möglichkeit zur Finanzierung von Schallschutzmassnahmen.

3.2.3 Confounder

Auf eine detaillierte tabellarische Darstellung des Einflusses der Confounder muss verzichtet werden. Allerdings verdienen einige durchgängige Charakteristika Erwähnung. Es war zu erwarten, dass Alter bei allen Auswertungen einen starken und statistisch signifikanten Koeffizienten ergeben würde. Seine Größe übersteigt in allen Analysen den Wert des Risikozuwachses durch 1 dB(A) Anstieg des Fluglärmparameters. Die Parameter für Straßen- und Schienenverkehrslärm liegen, soweit sie überhaupt statistisch

signifikant ausfallen, in ihrem Ausmaß um mindestens eine Größenordnung unter dem Wert des entsprechenden Fluglärmparameters. Die Häufigkeit von Sozialhilfe in den Orts- und Stadtteilen weist durchgängig statistisch signifikante Koeffizienten auf, in geringerem Maße gilt dieses auch für die Dichte von Alten- und Pflegeheimen. Allerdings fallen die Analysen für Angststörungen und Phobien aus diesem Bild heraus: Der einzige Confounder der bei diesen diagnostischen Entitäten überhaupt, wenngleich nicht durchgängig statistisch signifikante Koeffizienten aufweist, ist das Alter. Allerdings scheint der Alterseinfluss bedeutend geringer auszufallen als bei den kardiovaskulären Erkrankungen oder bei Depressionen.

Die Interaktionsterme (Alter*Fluglärmparameter, Sozialhilfe*Fluglärmparameter) ergeben bei keiner Analyse einen signifikanten Koeffizienten. Sie wurden allerdings in den Modellen belassen, da ihre Hineinnahme in das Modell eine bessere Modellanpassung ergab.

4. Diskussion

Die vorliegende Arbeit stellt gegenwärtig die Analyse möglicher Gesundheitsgefährdungen durch Fluglärm, insbesondere durch nächtlichen Fluglärm, mit der umfangreichsten Datenbasis weltweit dar. Sie ist auch die einzige, in der eine Differenzierung der Analysen nach dem Geschlecht und eine Stratifizierung nach Interventionsmöglichkeiten (Finanzierung von Lärmschutzmassnahmen) erfolgen konnte. Trotz der relativ umfangreichen Datenbasis finden sich einige Ergebnisse, wie z.B. im Hinblick auf die koronare Herzkrankheit bei Männern, wo sich zwar ein ähnliches Muster der Risikoerhöhung wie bei Frauen abzeichnet, ohne jedoch statistische Signifikanz zu erreichen. Es kann vermutet werden, dass bei einer breiteren Datenbasis, d.h. mehr stationären Behandlungen wegen koronarer Herzkrankheit, die Risikoerhöhungen auch bei Männern statistisch signifikant ausfallen könnten.

Die verwendete statistische Modellierung der Lärmparameter als stetige Variable stellt die optimale Nutzung des Informationsgehaltes dieser Variablen dar. Dennoch ist es von Interesse, exploratorisch eine Analyse mit kategorialer Aufteilung des Lärmparameters vorzunehmen. Hierfür wurde der Dauerschallpegel während der gesamten Nacht und wegen der maximalen Besetzung als Zielvariable das Risiko sämtlicher kardiovaskulärer Erkrankungen gewählt. Die Ergebnisse für eine derartige Auswertung nach Quintilen

nächtlichen Fluglärms finden sich in Tabelle 3. Es zeigt sich, vor allem in der Teilpopulation ohne Möglichkeit der Schallschutzfinanzierung durch den Flughafen Köln-Bonn, über die ersten vier Quintilen eine deutliche Dosis-Wirkungsbeziehung.

Tabelle 3. Odds Ratio für sämtliche kardiovaskulären Erkrankungen nach Quintilen nächtlichen Fluglärms*

Quintile nächtlichen Fluglärms	Gesamtpopulation ^a		Teilpopulation ohne Möglichkeit der Schallschutzfinanzierung durch den Flughafen Köln-Bonn	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen
40-42	1.025 (0.744-1.411)	1.195 (0.876-1.631)	0.750 (1.421-1.032)	1.194 (0.875-1.630)
43-44	1.370 (0.993-1.891)	1.292 (0.932-1.791)	1.376 (0.993-1.905)	1.341 (0.964-1.865)
45-46	1.312 (0.938-1.835)	1.402 (0.997-1.972)	1.420 (0.988-2.041)	1.557 (1.079-2.248)
47-49	1.642 (1.198-2.249)	1.414 (1.013-1.973)	2.002 (1.356-2.957)	1.804 (1.196-2.722)
50-62	1.249 (0.866-1.802)	0.990 (0.679-1.444)	0.821 (0.377-1.792)	1.688 (0.856-3.326)
Risikoanstieg pro 1 dB(A) Anstieg ab 40 dB(A) [§]	1.021(1.004- 1.039)	1.005 (0.988-1.023)	1.044 (1.018-1.071)	1.055 (1.030-1.082)
Risikoanstieg pro 1 dB(A) geschätzt über Fluglärm als stetige Variable	1.018 (0.997-1.038)	1.026 (0.996-1.056)	1.027 (1.002-1.053)	1.072 (1.037-1.108)

*adjustiert für Alter, nächtlichen Straßenlärm, nächtlichen Schienenlärm, Sozialhilfeshäufigkeit des Orts- teils/Stadtteils, Dichte von Alten- und Pflegeheimplätzen, Interaktion der einzelnen Quintilen mit Alter, Interaktion der einzelnen Quintilen mit Sozialhilfeshäufigkeit.

^azusätzlich adjustiert für die Möglichkeit der Erstattung von Schallschutzmassnahmen durch den Flughafen Köln-Bonn

[§]Berechnet nach Berlin et al. 1993⁹.

Darüber hinaus zeigt ein Vergleich der Anstiege des Erkrankungsrisikos pro 1 dB(A) Anstieg des Fluglärms ab 40 dB(A), berechnet aus den Odds Ratios für die Quintilen und andererseits direkt geschätzt über die logistische Regression und Fluglärm als stetige Variable, dass die Ergebnisse in einer vergleichbaren Größenordnung liegen und die Effekte bei Frauen in der Teilpopulation ohne Schallschutzfinanzierung durch den

⁹ Berlin JA, Longnecker MP, Greenland S. Meta-analysis of epidemiologic dose-response data. *Epidemiology* 1993;4(3):218–28.

Flughafen Köln-Bonn deutlich höher liegen als bei Männern. Die Methode der direkten Schätzung der Effekte aus den Odds Ratios der logistischen Regression hat gegenüber dem Umweg über Quintile den Vorteil des geringeren Informationsverlustes und der relativen Einfachheit.

Die Ergebnisse für kardiovaskuläre Erkrankungen fügen sich gut ein in die bisher vorliegende epidemiologische Evidenz, so dass die Diskussion eines Kausalzusammenhanges möglich ist. Für diesen Zweck müssen die zuerst von Sir Austin Bradford Hill 1965¹⁰ erstmals formulierten Kriterien diskutiert werden. Diese Kriterien sind seit ihrer ersten Publikation in der epidemiologischen Wissenschaft kontinuierlich angewendet und weiterentwickelt worden.

4.1 Kausalziehung zwischen Fluglärm und Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs

1. Konsistenz: Darunter versteht man, dass vergleichbare Ergebnisse durch andere Forscher an anderen Populationen erzielt worden sind. Dieses ist für den Zusammenhang zwischen Fluglärm und Bluthochdruck, der Verordnung von blutdrucksenkenden Arzneimitteln und Arzneimitteln zur Behandlung von Herzerkrankungen, sowie für Herzerkrankungen selbst, durch die Publikationen vor allem der letzten Jahre, in vielfacher Weise gezeigt worden.

Zunächst ist festzustellen, dass diese Befunde außerordentlich gut harmonieren mit den Befunden der ersten epidemiologischen Studie um den Flughafen Köln-Bonn. Dort war als ein wichtiges Ergebnis die mit zunehmendem Fluglärm stark ansteigende Menge der Verordnungen von blutdrucksenkenden Arzneimitteln und von sonstigen Arzneimitteln zur Behandlung von Herz- und Kreislaufkrankheiten bei beiden Geschlechtern aufgefallen. Die Verordnung von blutdrucksenkenden Arzneimitteln durch niedergelassene Ärzte an Patienten, die nicht über einen krankhaft erhöhten Blutdruck verfügen, ist schwer vorstellbar, weil blutdrucksenkende Arzneimittel stark wirkende Arzneimittel sind, die z.T. gravierende Nebenwirkungen mit sich bringen. Als Konsequenz aus einem solchen Befund war zu erwarten, dass in einer unabhängigen Studie an derselben Population von Versicherten die Folgekrankheiten des Bluthochdrucks ebenfalls in Abhängigkeit von der Ausprägung des Fluglärms mit einem statistisch signifi-

¹⁰ Bradford Hill A. The environment and disease: Association or causation. Proc R Soc Med 1965; 58: 295-300.

kant erhöhten Risiko auftauchen. Die jetzt vorliegenden Ergebnisse der Nachfolgestudie geben den Ergebnissen der Arzneimittelstudie eine höhere Validität und vice versa.

Weiter finden sich in der epidemiologischen Literatur eine Vielzahl von Studien, deren Ergebnisse in die gleiche Richtung deuten.

Zum Zusammenhang zwischen Verkehrslärm (Straße, Schiene, Flugverkehr) und gesundheitlichen Auswirkungen, darunter Bluthochdruck bzw. Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs, sind eine Vielzahl von Übersichts-Arbeiten und eine Meta-Analyse erschienen.

Besonders intensiv hat sich der Niederländische Gesundheitsrat, ein international besetztes Gremium, mit dieser Problematik auseinandergesetzt zu. Im Jahre 1991 (Health Council of the Netherlands, 1991)¹¹ kommt er noch zu dem Schluss, dass angesichts der multifaktoriellen Genese von Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs kaum erwartet werden könnte, dass epidemiologische Studien einen Zusammenhang zwischen Lärm und Erkrankungsrisiko zu entdecken imstande wären.

Bis zum Jahre 1994 stellt sich für den Gesundheitsrat jedoch die Situation bereits so dar, dass befunden werden konnte, dass es geringe wissenschaftliche Evidenz gäbe für den Einfluss von Verkehrslärm am Tage (6 bis 22 Uhr) auf Bluthochdruck und koronare Herzkrankheit, soweit der Dauerschallpegel nicht 70 dB(A) überschreite (Health Council of the Netherlands, 1994)¹². Für höhere Dauerschallpegel durch Flugverkehrslärm oder Straßenverkehrslärm wurde damals ein Anstieg für beide Erkrankungen bejaht, wobei für einen Dauerschall-Pegel zwischen 70 und 80 dB(A) eine Erhöhung des Erkrankungsrisikos um 50% angenommen wird.

In einem weiteren Report des Niederländischen Gesundheitsrates aus dem Jahre 1999 wird an dem Grenzwert von 70 dB(A) festgehalten (Health Council of the Netherlands, 1999)¹³.

¹¹ Gezondheidsraad (Health Council of the Netherlands). Vliegtuiglawaai en slaap. Airplane noise and sleep. Verstoring van de slaap door nachtelijk vliegtuiglawaai. Sleep disturbance by airplane noise at night. S-Gravenhage 1991.(Report 1191/05).

¹² Health Council of the Netherlands. Noise and Health. Report by a committee of the Health Council of the Netherlands. No. 1994/15E. Den Haag, 15.9.1994, S. 43-45.

¹³ Health Council of the Netherlands. Committee on the Health Impact of Large Airports. Public health impact of large airports. No. 1999/14E, Den Haag, 1999, S. 79.

Neuere und umfangreichere Untersuchungen, als sie im Jahre 2000 vorlagen, haben zu der Erkenntnis geführt, dass die Grenzen für eine Gesundheitsgefährdung bedeutend niedriger anzusetzen sind als bei 70 dB(A). Allerdings führt die so genannte Fluglärm-synopse der Autoren Griefahn, Jansen, Scheuch und Spreng¹⁴ für den Fluglärm am Tage einen Wert von 70 dB(A) an, von dem an Gesundheitsschäden nicht mehr auszuschließen seien. Für die Nacht wird ein Wert von 55 dB(A) aufgeführt¹⁵.

Zu dem kritischen Toleranzwert von 70 dB(A) am Tage ist anzumerken, dass um den Flughafen Köln-Bonn der maximale berechnete Dauerschallpegel am Tage bei 63 dB(A) lag. Die entsprechenden Nachtwerte lagen bei 62 dB(A). Deshalb wäre es wissenschaftlich nicht vertretbar, für höhere Dauerschallpegel Schätzungen über auftretende Gesundheitsrisiken anzugeben. In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die Erhöhungen des Erkrankungsrisikos für verschiedene häufige, klinisch relevante Erkrankungen angegeben für Männer und Frauen ab dem 40 Lebensjahr, jeweils im Vergleich mit vergleichbaren Männern und Frauen, die in einer Umgebung ohne Fluglärm leben. Neben dem Nachtwert von 55 dB(A) sind auch die Erhöhungen der Erkrankungsrisiken für 53 dB(A) angeführt, da dieser Wert für die Ausweisung von Schutzzonen für neue oder wesentlich erweiterte zivile Flugplätze nach dem Fluglärmschutzgesetz festgelegt wurde.

Aus der Tabelle ergibt sich eindeutig, dass schon weit unter den als „kritische Toleranzwerte“ beschriebenen Grenzwerten für Dauerschallpegel des Nachts oder am Tage erhebliche Gesundheitsgefährdungen für die Bevölkerung zu erwarten sind.

1999 noch hatte der Niederländische Gesundheitsrat für die Bevölkerung einen Dauerschallpegel von 70 dB(A) für eine Zunahme des Risikos an Herz- und Kreislauferkrankungen angenommen¹⁶. Die Ergebnisse der Fall-Kontroll-Studie um den Flughafen Köln-Bonn zum Zusammenhang zwischen Fluglärm und stationär behandelten Erkrankungen zeigen, dass weitaus niedrigere Dauerschallpegel z.B. zu einer Erhöhung des Risikos von sämtlichen Herz- und Kreislaufkrankheiten durch Fluglärm am Tage führen: So liegt der dafür erforderliche Dauerschallpegel bei Männern bei 54 dB(A), während bei Frauen für eine vergleichbare Risikoerhöhung lediglich 50 dB(A) erforderlich sind.

¹⁴ Griefahn B, Jansen G, Scheuch K, Spreng M. Ausbau Flughafen Frankfurt Main. Gutachten G12.1. Allgemeiner Teil. Entwicklung von Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept. 30. Juli 2004.

¹⁵ Griefahn B, Jansen G, Scheuch K, Spreng M. Ausbau Flughafen Frankfurt Main. Gutachten G12.1. Allgemeiner Teil. Entwicklung von Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept. 30. Juli 2004, S. 196.

¹⁶ Health Council of the Netherlands. Committee on the Health Impact of Large Airports. Public health impact of large airports. No. 1999/14E, Den Haag, 1999, S. 79.

Tabelle 4. Anstieg des Erkrankungsrisikos für stationär behandelte Krankheiten bei Männern und Frauen ab dem 40. Lebensjahr ohne die Möglichkeit der Finanzierung von Schallschutzmassnahmen durch den Flughafen¹⁷.

Erkrankung	Tag 60 dB(A)		Nacht 53 dB(A)		Nacht 55 dB(A)	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen
Sämtliche Herz- und Kreislaufkrankheiten	69 %	93 %	37 %	101 %	42 %	115 %
Schlaganfall	n.s.	172 %	58 %	122 %	66 %	139 %
Koronare Herzkrankheit	61 %	80 %	32 %	96 %	37 %	110 %

Diese kritischen Toleranzwerte sind sowohl in die Entscheidungen im Rahmen von Planfeststellungsverfahren als auch in politische Entscheidungen eingeflossen. Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass die Fluglärm-Synopse in wesentlichen kritischen Teilen als hoch problematisch angesehen werden muss, weil sich die zitierten Dauerschallpegel bzw. Maximalpegel in der zitierten wissenschaftlichen Literatur entweder überhaupt nicht finden lassen oder aber, wenn in der Literatur Effekte bei niedrigen und bei hohen Pegeln beschrieben werden, von den Autoren der Synopse jeweils die höheren Werte als einzige zitiert werden. Nur in Ausnahmefällen sind die von den Autoren der Synopse zitierten Werte überhaupt in den Originalarbeiten vorhanden¹⁸. In anderen Fällen werden von den Autoren der Synopse Dauerschallpegel bzw. Maximalpegel zitiert, tatsächlich finden sich in den Originalarbeiten lediglich Koeffizienten von Regressionsfunktionen.

Ortscheid und Wende (2000) Mitarbeiter des Umweltbundesamtes,¹⁹ kommen zu der Schlussfolgerung, dass angesichts methodischer Mängel die vorliegenden älteren epidemiologischen Arbeiten schwer zu interpretieren seien, nehmen jedoch an, dass für die Schallpegel-Kategorie 65-70 dB(A) durch epidemiologische Studien gesundheitliche Beeinträchtigungen auf Populationsebene nachgewiesen werden könnten.

¹⁷ Siehe hierzu die Ausführungen im Abschnitt 6. Intervention.

¹⁸ Greiser E. Wie verallgemeinerungsfähig sind die Empfehlungen der sogenannten Fluglärm-Synopse und der DLR-Studie zum Nacht-Fluglärm? – Eine epidemiologische Bewertung. S. 31-44 in: Oldiges M. (Hg.): Der Schutz vor nächtlichem Fluglärm. Dokumentation des Symposiums „Der Schutz vor nächtlichem Fluglärm“ des Instituts für Umwelt- und Planungsrecht der Universität Leipzig am 20. Januar (2006) in Leipzig. Nomos, Baden-Baden, 2007.

¹⁹ Ortscheid J, Wende H. Fluglärmwirkungen. Umweltbundesamt, 2000, S.8-11.

Der Bundesumweltrat hat im Umweltgutachten 2002 dazu festgehalten, „dass die bislang durchgeführten Studien ...keine statistische Signifikanz (erreichen). Trotzdem lassen sie tendenziell ein höheres Risiko für ischaemische Herzkrankheiten (d.h. koronare Herzkrankheit) erkennen.“²⁰

Stansfeld und Matheson (2003)²¹ kommen in Würdigung der vorliegenden Literatur zu dem Schluss, dass eine gewisse Evidenz vorhanden ist, dass Umgebungslärm zum Risiko für Bluthochdruck beitragen kann. Sie sehen auch einen geringen Beitrag des Umgebungslärms zum Herzinfarkt-Risiko.

Van Kempen und Koautoren (2002)²² können lediglich auf eine geringe Anzahl epidemiologischer Studien zurückgreifen, die den möglichen Einfluss von Fluglärm auf Bluthochdruck, blutdrucksenkende Medikamente bzw. kardiovaskuläre Endpunkte, d.h. Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs, untersucht hatten. Sie kommen zu dem Schluss, dass die vorliegenden Publikationen kompatibel sind mit einer leichten Erhöhung des kardiovaskulären Risikos.

Babisch (2006)²³ empfiehlt angesichts der Defizienz epidemiologischer Studien hinsichtlich kardiovaskulärer Effekte (vor allem: Myokardinfarkt) die aus der Untersuchung der Effekte von Straßenlärm gewonnenen Maßzahlen auf den Fluglärm zu übertragen.

Knipschild (1977a, b)^{24, 25} untersuchte 1974 im Rahmen eines Surveys 5.828 Männer und Frauen (35-64 Jahre alt) in acht Gemeinden um den Amsterdamer Flughafen Schiphol (Response-Rate 42%, bezogen auf sämtliche Einwohner der Region Haarlemmermeer) auf kardiovaskuläre Symptome und kardiovaskuläre Therapie. In der Analyse wurden Probanden mit Wohnsitz in weniger bzw. stärker durch Fluglärm belasteten Gemeinden verglichen. Die Kriterien für Bluthochdruck waren mit >170 mm Hg für systolischen bzw. > 100 mm Hg für diastolischen Blutdruck hoch angesetzt. Es fanden sich in

²⁰ Bundesumweltrat. Umweltgutachten 2002 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. Deutscher Bundestag, Drucksache 14/8792 vom 15.4.2002, S. 271 ff.

²¹ Stansfeld SA, Matheson MP. Noise pollution: non-auditory effects on health. Br Med Bull 2003; 68: 243-257.

²² Van Kempen EEMM, Kruize H, Boshuizen HC, Ameling CB, Staatsen BAM, de Hollander AEM. The association between noise exposure and blood pressure and ischaemic heart disease: A meta-analysis. Environ Health Perspect 2002; 110: 307-317.

²³ Babisch W. Transportation noise and cardiovascular risk. Review and synthesis of epidemiological studies. Dose-effect curve and risk estimation. Umweltbundesamt, Dessau, 2006, S. 65.

²⁴ Knipschild P. Medical effects of aircraft noise: Community cardiovascular survey. Int Arch Occup Environ Health 1977a; 40: 185-190.

²⁵ Knipschild P. Medical effects of aircraft noise. Drug survey. Int Arch Occup Environ Health 1977b; 197-200.

allen Altersgruppen in den stärker durch Fluglärm belasteten Gemeinden höhere Prävalenzen von Bluthochdruck (3.9% vs. 6.7%) mit jeweils geringfügig höheren Werten bei Frauen als bei Männern. Die Prävalenz medikamentöser Hochdrucktherapie zeigte bei Frauen im Vergleich zu Männern überwiegend mehr als doppelt so hohe Prävalenzen mit einem Unterschied von 37% (Frauen) bzw. 66% (Männer) in der höchsten Altersgruppe beim Vergleich der stärker mit den weniger stark belasteten Regionen. Vergleichbare Unterschiede für die Anwendung anderer kardiovaskulär wirksamer Arzneimittel fanden sich lediglich bei Frauen.

Van Brederode (1989, zit. n. van Kempen et al. 2002) untersuchte im Rahmen einer Querschnittstudie 432 Probanden, die dem Fluglärm von Militärflugzeugen ausgesetzt waren (<63 -> 75 dB(A)) und fand nicht-signifikante Erhöhungen des systolischen und des diastolischen Blutdrucks.

Japanische Forscher (Matsui et al. 2004)²⁶ untersuchten 1994-1995 an 29.000 Einwohnern der Insel Okinawa, die in Gemeinden in der Nähe von zwei US-amerikanischen Militärbasen lebten, den Einfluss von Fluglärm (Ldn 60-65 bis Ldn >70 dB)²⁷ und berichten eine Odds Ratio von 1.4 für den Vergleich der am höchsten exponierten Personengruppe mit Kontrollpersonen (Trend-Test p=0.0002). Die Methodik dieser Studie ist jedoch so spärlich beschrieben, dass eine Beurteilung der Qualität nicht möglich ist.

Franssen und Koautoren (2004)²⁸ untersuchten in den Jahren 1996 und 1997 in einer Querschnitts-Studie 11.812 Probanden (18 Jahre und älter), die in einem Radius von 25 km um den Amsterdamer Flughafen Schiphol lebten (Response-Rate 39.1%). Eine Non-Responder-Analyse zeigte eine Überrepräsentation von weniger durch Fluglärm belasteten und belästigten Personen. Dieser Befund lässt es wahrscheinlich erscheinen, dass alle ermittelten Erkrankungsrisiken realiter Unterschätzungen des wahren Risikos darstellen. Die Autoren fanden für die Anwendung von blutdrucksenkenden Arzneimitteln bzw. Arzneimitteln zur Behandlung von Herz- und Kreislauf- Erkrankungen in multivariater Analyse eine Risikoerhöhung um 30 % (95%-Vertrauensbereich 6 bis 60 %) pro 10

²⁶ Matsui T, Uehara T, Miyakita T, Hirmatsu K, Osada Y, Yamamoto T. The Okinawa study: effects of chronic aircraft noise on blood pressure and some other physiological indices. J Sound Vibration 2004; 277: 469-470.

²⁷ Ldn = 24-Stunden-Dauerschallpegel, wobei die Nacht einen Aufschlag von 10 dB(A) erhält.

²⁸ Franssen EAM, van Wiechen CMAG, Nagelkerke NJD, Lebre E. Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. Occup Environ Med 2004; 61: 405-413.

dB(A) Anstieg des Fluglärmparameters L_{den} ²⁹. Bei einer Analyse des nächtlichen Fluglärms (Leq 23.00-7.00 Uhr) sank die Erkrankungsrisiko auf 13 % (95%-Vertrauensbereich -6 % bis 35 %). Eine Stratifikation des Parameters L_{den} (<50, 50-55, 55-60, \geq 60) zeigte einen deutlichen Trend. Die nach der Beschreibung der Methodik offenkundig exzellente Studie weist keine geschlechtsspezifischen Daten aus.

Rosenlund und Mitautoren (2001³⁰; sowie Rosenlund 2005³¹) nutzten für die Ermittlung des Einflusses von Fluglärm auf die Prävalenz von Bluthochdruck Daten einer repräsentativen Untersuchung der Bevölkerung zur Ermittlung von Umwelteinflüssen auf die Gesundheit (Environmental Health Survey), die im Jahre 1997 im Kreis Stockholm durchgeführt wurde. Aus den Teilnehmern an dieser Untersuchung wurden zwei Stichproben gezogen, die in Antworten von 327 Probanden in der Nähe des Flughafens Stockholmer Flughafens Arlanda resultierten (Response-Rate 71%) und von 3.276 Probanden aus dem Kreis Stockholm (Response-Rate 74%) als Vergleichsregion. Bei der Auswahl der Vergleichsregion waren sowohl die unmittelbare Stadt Stockholm als auch die Region um den Regionalflughafen Bromma ausgespart worden. Das Alter der Probanden reichte von 18 bis 80 Jahren. Bluthochdruck wurde als ärztlich diagnostiziert innerhalb von 5 Jahren vor dem Untersuchungsdatum definiert. Die Ermittlung der Exposition gegenüber Fluglärm erfolgte durch Abgleich der geo-kodierten Wohnadresse der Probanden mit Isophonen des Fluglärms von 50 dB(A) bis >65 dB(A) in 5-dB(A)-Schritten. Multivariat adjustierte Erkrankungsrisiken ergaben für eine Lärmpegel von > 55 dB(A) einen Anstieg um 59 % (95%-Konfidenzintervall 0 – 153%). Bei der Analyse nach Maximalpegeln ergab sich für Werte von > 72 dB(A) eine Erhöhung des Erkrankungsrisikos um 76 % (95-Konfidenz-intervall 12 – 177%). Männer wiesen eine geringfügig höhere Häufigkeit von Bluthochdruck auf als Frauen (22% vs. 18% in der Region mit Fluglärm-Werten > 55 dB(A)). Diese Effekte waren stärker ausgeprägt bei Probanden über 55 Jahren und bei Probanden ohne Schwerhörigkeit. Eine Schätzung des Trends ergab für einen 5-dB(A)-Zuwachs eine Erhöhung de Erkrankungsrisikos an Bluthochdruck um 30 % (95%-Konfidenz-Intervall 22% - 116%).

²⁹ L_{den} = 24-Stunden-Dauerschallpegel, wobei die Nacht einen Aufschlag von 10 dB(A) und der Abend (18-22 Uhr einen Aufschlag von 5 dB(A) erhalten.

³⁰ Rosenlund M, Berglund N, Pershagen G, Järup L, Bluhm G. Increased prevalence of hypertension in a population exposed to aircraft noise. *Occup Environ Med* 2001; 58: 769-773.

³¹ Rosenlund M. Environmental factors in cardiovascular disease. Doctoral Thesis, Stockholm, 2005.

Niemann und Koautoren (2006)³² berichteten über Ergebnisse der LARES-Studie, die auf Initiative des Europa-Büros der WHO zwischen 2002-2003 in acht europäischen Städten durchgeführt wurde. Hauptziel der Studie war es, Komponenten der Wohnqualität zu analysieren, darunter den Einfluss des Lärms aus verschiedenen Quellen. Die Auswertung nach der subjektiven Belästigung durch Fluglärm ergab für solche Personen, die sich stark durch Fluglärm belästigt fühlten, ein signifikant erhöhtes Erkrankungsrisiko für ärztlich diagnostizierten Bluthochdruck (+ 200%) bzw. Symptome für Herz- und Kreislaufkrankheiten (+ 210 %).

Eriksson und Koautoren³³ berichteten 2007 über eine Gruppe von 2.754 Männern aus vier Gemeinden um den Stockholmer Flughafen Arlanda, die von 1992 bis 2004 im Rahmen einer größeren Studie zur Diabetes-Prävention mehrfach befragt und untersucht worden waren. Sie bestimmten zusätzlich für die Wohnungen der Teilnehmer der Studie die Fluglärmbelastung. Sie fanden bei einem Dauerschallpegel über 50 dB(A) eine Erhöhung des Risikos für Bluthochdruck um 19 % (95%-Vertrauensbereich 3-37 %). Maximalpegel von 70 dB(A) ergaben eine Risikoerhöhung um 20%. Stärkere Erhöhungen fanden sich bei Teilnehmern, die älter waren, Nichtraucher, oder die sich durch Lärm aus anderen Lärmquellen belästigt fühlten.

Jarup und Koautoren (2008)³⁴ berichteten über die Ergebnisse der so genannten HYE-NA-Studie, die im Umkreis von 6 europäischen Großflughäfen durchgeführt wurde. Zu diesen zählten London-Heathrow, Amsterdam-Schiphol, Stockholm-Arlanda, Mailand-Linate, Athen, Berlin-Tegel. Über 5.000 Männer und Frauen im Alter zwischen 45 und 70 Jahren, die mindestens 5 Jahre in der Umgebung eines dieser Flughäfen gewohnt hatten, wurden interviewt. Nach standardisiertem Verfahren wurde der Blutdruck gemessen. Es zeigte sich, dass von einem nächtlichen Fluglärm von 35 dB(A) an ein Anstieg des Bluthochdruck-Risikos von 14,1% je 10 dB(A) Anstieg des Dauerschallpegels (95%-Vertrauensbereich 1,2% - 28,6%) auftrat.

³² Niemann H, Bonnefoy X, Braubach M, Hecht K, Maschke C, Rodrigues C, Röbbel N. Noise-induced annoyance and morbidity results from the pan-European LARES study. *Noise Health*. 2006 ;8:63-79.

³³ Eriksson C, Rosenlund M, Pershagen G, Hilding A, Ostenson CG, Bluhm G. Aircraft noise and incidence of hypertension. *Epidemiology* 2007; 18: 716-721.

³⁴ Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Cadum E, Dudley ML, Savigny P, Seifert I, Swart W, Breugelmans O, Bluhm G, Selander J, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Sourtzi P, Velonakis M, Vigna-Taglianti F on behalf of the HYENA study team. Hypertension and exposure to noise near airports: The HYENA Study. *Environ Health Perspect* 2008; 116: 329-333.

An einer Unterstichprobe von 140 Männern und Frauen wurden 24-Stunden-Blutdruckmessungen mit gleichzeitiger kontinuierlicher Schallaufzeichnung vorgenommen³⁵. Es zeigte sich, dass Innenschall-Maximalpegel über 35 dB(A) unabhängig von der Schallquelle zu einem signifikanten Anstieg von diastolischen und systolischen Blutdruckwerten führten.

Babisch und van Kamp³⁶ kommen in einer Meta-Analyse im Jahre 2009 zu dem Schluss, dass der Zusammenhang zwischen Fluglärm und dem Erkrankungsrisiko für Bluthochdruck belegt sei („sufficient evidence“).

Dass es nicht ausschließlich objektive Lärmwerte sein müssen, die zu gesundheitlichen Konsequenzen führen können, haben Fujino und Koautoren³⁷ anhand von Daten einer umfangreichen Kohortenstudie japanischer Arbeitnehmer (N = 14.568 Männer) ermittelt. Sie fanden, dass es unabhängig von der tatsächlichen Lärmbelastung die subjektive Belästigung durch Lärm am Arbeitsplatz das Risiko für Schlaganfälle um 138 % erhöhte (95%-Konfidenzintervall 20% - 371%) im Vergleich zu Männern, die denselben Lärm nicht als belästigend empfanden.

Daraus ergibt sich zweifelsfrei, dass im Laufe der vergangenen Jahre die wissenschaftliche Evidenz stark gestiegen ist, dass Fluglärm, vor allem nächtlicher Fluglärm zu krankhaftem Bluthochdruck und zu Herz- und Kreislauferkrankungen führen kann.

Diese Übersicht der wichtigsten relevanten Literatur zeigt eindeutig, dass das Kausalitätskriterium der Konsistenz voll erfüllt ist

2. Stärke der Assoziation: Darunter ist die Stärke einer Risikozunahme zu verstehen. Aus der vorliegenden Studie um den Flughafen Köln-Bonn haben sich bereits bei relativ geringen nächtlichen Dauerschallpegeln (z.B. 50 dB(A)) bereits Risikozuwächse von mehr als 50 % ergeben. Solche Risikozuwächse sind in der Umweltepidemiologie als

³⁵ Haralabidis AS, Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampolo M, Borgini A, Dudley ML, Pershagen G, Bluhm G, Houthuijs D, Babisch W, Velonakis M, Katsouyanni K, Jarup L; HYENA Consortium. Acute effects of nighttime noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *Eur Heart J* 2008; 29:658-664.

³⁶ Babisch W, van Kamp I. Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. *Noise Health* 2009; 44:161-168.

³⁷ Fujino Y, Iso H, Tamakoshi A, for the JACC study group. A prospective cohort study of perceived noise exposure at work and cerebrovascular diseases among male workers in Japan. *J Occup Health* 2007; 49: 382-388.

stark zu bewerten. Aus der HYENA-Studie ergibt sich für nächtlichen Fluglärm je 10 dB(A)-Anstieg über 35 dB(A) ein Anstieg der Bluthochdruck-Häufigkeit um 14,2 %. Für den so genannten kritischen Toleranzwert von 60 dB(A) würde sich ein Exzessrisiko für Bluthochdruck von 33,5% ergeben. In der Umweltepidemiologie sind bereits deutlich niedrigere Exzessrisiken gut gesichert und wissenschaftlich allgemein akzeptiert worden. So liegt für Nichtraucher das durch Passivrauchen am Arbeitsplatz entstehende Exzessrisiko für die Entwicklung eines Bronchialcarcinoms nach Feststellung der Krebsforschungsorganisation (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zwischen 13% und 19%³⁸.

3. Analogie: Darunter ist zu verstehen, dass vergleichbare, jedoch nicht identische Faktoren zu vergleichbaren Effekten führen können. Vergleichbare Effekte wie durch den Einfluss von Fluglärm auf den Bluthochdruck sind beobachtet worden bei Personen, die durch Lärm am Arbeitsplatz belastet sind sowie durch Belastungen durch Straßenverkehrslärm. So fanden sich in der epidemiologischen Studie zu Arzneiverordnungen und Fluglärm im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn quantitativ mit zunehmendem Straßenverkehrslärm am Tage als auch in der Nacht signifikante Anstiege der Verordnungsmengen für blutdrucksenkende Arzneimittel. In der HYENA-Studie stieg das Exzessrisiko für Bluthochdruck durch Straßenverkehrslärm ab 35 dB(A) um knapp 10% pro 10 dB(A) Anstieg des 24-Stunden-Straßenverkehrslärms an.

Aus der Vielzahl von Studien zur Wirkung von Lärm am Arbeitsplatz auf das Hypertonie-Risiko sollen nur wenige exemplarische zitiert werden³⁹

³⁸ Tobacco Smoke and Involuntary Smoking. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 83. World Health Organization. International Agency for the Research on Cancer, Lyon, 2004.

³⁹ Fouriad C, Jacquinet-Salord MC, Degoulet P, Aimé F, Lang T, Laprugne J, et al. 1984. Influence of socioprofessional conditions on blood pressure levels and hypertension control. Epidemiologic study of 6665 subjects in the Paris district. *Am J Epidemiol* 120:72–86.

Talbott EO, Gibson LB, Burks A, Engberg R, Mchugh KP. 1999. Evidence for a dose-response relationship between occupational high blood pressure in shipyard workers. *Am J Ind Med* 12:431–438.

Jonsson A, Hansson L. 1977. Prolonged exposure to a stressful stimulus (noise) as a cause of raised blood pressure in man. *Lancet* i:86–87.

Tomei F, Fantini S, Tomao E, Baccolo TP, Rosati MV. 2000. Hypertension and chronic exposure to noise. *Arch Environ Health* 55:319–325.

Lusk SL, Hagerty BM, Gillespie B, Caruso CC. 2002. Chronic effects of workplace noise on blood pressure and heart rate. *Arch Environ Health* 57:273–281.

Verbeek JHAM, Van Dijk FJH, De Vries FF. 1987. Non-auditory effects of noise in industry. IV-A field study on industrial noise and blood pressure. *Int Arch Occup Environ Health* 59:51–54.

Wu TN, Ko YC, Chang PY. 1987. Study of noise exposure and high blood pressure in shipyard workers. *Am J Ind Med* 12:431–438.

Zhao Y, Zhang S, Selvin S, Spear RC. 1991. A dose-response relation for noise-induced hypertension. *Br J Ind Med* 48:179–184.

4. Dosis-Wirkungs-Beziehung: Eine solche Beziehung ist zu bejahen, wenn der Effekt (in diesem Fall: Erkrankungsrisiko) mit zunehmender Stärke des Faktors (in diesem Fall: Dauerschallpegel) zunimmt. Diese Beziehung ist durch die mehrere publizierte Studien, vor allem aber durch die epidemiologische Studie um den Flughafen Köln-Bonn nachdrücklich belegt. Eine vergleichbare Dosis-Wirkungsbeziehung ergibt sich u.a. auch aus der HYENA-Studie. Dass in der HYENA-Studie für den Fluglärm am Tage keine Effekte gefunden wurden, hat seine Ursache vermutlich darin, dass diese Studie mit ca. 5.000 Probanden zu klein war, um eine Erhöhung des Bluthochdruck-Risikos zu entdecken. Generell muss man davon ausgehen, dass nächtlicher Fluglärm mit erheblich größeren Beeinträchtigungen der Gesundheit einhergeht als Fluglärm am Tage. Deshalb bedurfte es einer so umfangreichen Studie wie der Studie um den Flughafen Köln-Bonn, bei der ja die Daten von mehr als 1 Million Versicherten eingegangen sind.

5. Kohärenz: Hierunter versteht man, dass der zu diskutierende Befund nicht im Gegensatz stehen darf zu den bekannten patho-physiologischen Zusammenhängen. Diese Kohärenz ist für den Zusammenhang zwischen Lärm, darunter auch Fluglärm, und Bluthochdruck zu bejahen. Patho-physiologisch sind Lärmwirkungen als Stresswirkungen zu interpretieren. Stress jeder Art, auch Lärmstress, führt zu einer vermehrten Ausschüttung von Stresshormonen. Diese wiederum führen zur Erhöhung des Blutdrucks und mittelfristig zu krankhaftem Bluthochdruck.

6. Intervention: Darunter ist zu verstehen, dass eine Modifikation des in Frage stehenden Risikofaktors zu einer entsprechenden Modifikation des Effektes führen kann. Dieses Kriterium ist durch die durchgängigen Befunde der vorliegenden Studie als erfüllt anzusehen, da eine anzunehmende Verminderung nächtlichen Fluglärms durch die Möglichkeit einer freiwilligen Finanzierung von Schallschutzmassnahmen für Schlafzimmer durch den Flughafen Köln-Bonn bei den betroffenen Versicherten in der Regel zu einer starken Verringerung der Erkrankungsrisiken geführt hat. Hierbei ist zu beachten, dass vermutlich nicht alle Personen, die aufgrund ihrer Wohnanschrift die Möglichkeit zur Beantragung dieser Finanzierung hatten, davon tatsächlich auch Gebrauch gemacht haben dürften. Andererseits kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass Personen,

Fortsetzung von Fußnote 39.

Chang TY, Jain RM, Wang CS, Chan CC. 2003. Effects of occupational noise exposure on blood pressure. *J Occup Environ Med* 45:1289–1296.

Chang TY, Su TC, Lin SY, Jain RM, Chan CC. Effects of occupational noise exposure on 24-hour ambulatory vascular properties in male workers. *Environ Health Perspect* 2007; 115: 1660-1664.

die auf diese Form der Finanzierung von Schallschutzmaßnahmen für Schlafzimmer nicht zurückgreifen konnten, sich auf eigene Kosten Schallschutzfenster zugelegt haben. Deshalb dürften die „wahren“ Effekte dieser Intervention größer sein, als die im Rahmen der Studie gefundenen.

In vergleichbarer Weise muss der Befund aus der schwedischen Studie von Rosenlund und Mitarbeitern⁴⁰ interpretiert werden, die geringere Effekte des Fluglärms auf die Entwicklung von Bluthochdruck bei Schwerhörigen gefunden hatten.

7. Tierversuche: Vergleichbare Effekte wie beim Menschen sollten auch im Tierversuch darstellbar sein. Zum Zusammenhang zwischen Lärm, auch Fluglärm, und der Entwicklung von Bluthochdruck gibt es eine erhebliche Anzahl von Publikationen. An dieser Stelle sollen nur einige exemplarische zitiert werden. Bei den meisten dieser Studien sind Versuche an Ratten durchgeführt worden⁴¹. Es finden sich jedoch vereinzelt auch Experimente, die an höheren Säugetieren mit vergleichbaren Ergebnissen durchgeführt wurden⁴².

8. Temporalität: Unter diesem Kriterium ist die Anforderung zu verstehen, dass der vermutete Einflussfaktor zeitlich vor dem vermuteten Effekt aufgetreten sein muss. Dafür existiert vermutlich nur eine einzige Studie, die nach ihrer Anlage, die Feststellung einer zeitlichen Aufeinanderfolge von Faktor und Effekt erlauben würde. Eine solche Untersuchung ist von Evans und Koautoren⁴³ und beschrieben worden. Sie hatten vor der Eröffnung des Franz-Josef-Strauß-Flughafens im Erdinger Moos Kinder aus Gemeinden ohne zu erwartende Belastung mit Fluglärm und aus solchen Gemeinden, bei denen in Zukunft Fluglärm zu erwarten war, im Rahmen einer Langzeit Studie untersucht. Dabei zeigte sich deutlich, dass Kinder in den später mit Fluglärm belasteten im Laufe der Be-

⁴⁰ Rosenlund et al. (2001) und Rosenlund (2005) a.a.O.

⁴¹ Tucker DC, Hunt RA. Effects of log-term air jet noise and dietary sodium chloride in borderline hypertensive rats. *Hypertension* 1993; 527: 527-534.

Fisher LD, Tucker DC. Air jet noise rapidly increases blood pressure in young borderline hypertensive rats. *J Hypertens* 1991; 9: 275-282.

Altura BM, Altura BT, Gebrewold A, Ising H, Günther T. extraaural effects of chronic noise exposure on blood pressure, microcirculation and electrolytes in rats: modulation by Mg²⁺. *Schriften Ver Wasser Boden Lufthyg* 1993; 88: 65-90.

Altura BM, Altura BT, Gebrewold A, Ising H, Günther T. Noise-induced hypertension and magnesium in rats: relationship to microcirculation and calcium. *J Appl Physiol* 1992; 72: 194-202.

Morseth SL, Dengerink HA, Wright JW. Effect of impulse noise on water consumption and blood pressure in the female rat. *Physiol Behav* 1985; 34: 1013-1016.

⁴² Kirby DA, Herd JA, Hartley LH, Teller DD, Rodger RF. Enhanced blood pressure responses to loud noise in offspring of monkeys with high blood pressure. *Physiol Behav* 1984; 32: 779-783.

⁴³ Evans GW, Bullinger M, Hygge S. Chronic noise exposure and physiological response: a prospective study of children living under environmental stress. *Psychol Sci* 1998; 9: 75-77.

obachtungsperiode (vor Eröffnung des Flughafens vs. Nach Eröffnung des Flughafens) im Vergleich zu den Kindern aus nicht mit Fluglärm belasteten Gemeinden in höherem Umfang Stresshormone bildeten und sowohl stärkere Anstiege beim systolischen als auch beim diastolischen Blutdruck aufwiesen.

Damit kann davon ausgegangen werden, dass die epidemiologischen Kriterien zur Feststellung eines ursächlichen Zusammenhanges zwischen Fluglärm und Herz- und Kreislaufkrankungen, insbesondere Bluthochdruck, erfüllt sind.

Dass sich für den akuten Herzinfarkt keine Risikoerhöhungen fanden mag darauf zurückzuführen sein, dass beim Herzinfarkt – im Gegensatz zum Schlaganfall - Bluthochdruck nicht an erster Stelle der Risikofaktoren steht, sondern Rauchen und Fettstoffwechselstörungen eher dominieren.

4.2 Psychische Erkrankungen

In der vorliegenden Arbeit konnten keine auf Fluglärm zurückzuführenden Risikoerhöhungen für Angststörungen und Phobien nachgewiesen werden. Für den Bereich der Depressionen ergeben sich bei Frauen konsistent erhöhte Risiken, deren Muster sehr demjenigen der kardiovaskulären Erkrankungen ähnelt. Für den Bereich der Psychosen finden sich bei Frauen für nächtlichen Fluglärm (22 – 6 Uhr) und für nächtlichen Fluglärm in der ersten Nachthälfte (23 – 1 Uhr) Erhöhungen des Erkrankungsrisikos. Allerdings ohne, dass hier ein Einfluss von Lärmschutzmassnahmen diskutiert werden könnte.

In der wissenschaftlichen Literatur finden sich relativ wenige Publikationen, in denen psychische Erkrankungen im Kontext von Lärmwirkungen untersucht wurden.

Hardoy und Koautoren (2005)⁴⁴ führten eine kleinere Querschnittsstudie durch, um den Einfluss von Fluglärm auf psychiatrische Erkrankungen zu bestimmen. Ihre Studienregion umfasste den Ort Giliaguas auf Sardinien, unmittelbar angrenzend an den Flughafen Elmas, sowie als Vergleichsregionen die Stadt Cagliari und mehrere andere, nicht von Fluglärm betroffene Gemeinden und Dörfer. 71 Probanden beiderlei Geschlechts (18-75

⁴⁴ Hardoy MC, Carta MG, Marci AR, Carbone F, Cadeddu M, Kovess V, Dell'Osso L, Carpiniello B. Exposure to aircraft noise and risk of psychiatric disorders: the ELMAS survey. Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol 2005; 40: 24-26.

Jahre alt) aus Giliacquas und 284 nach Alter und Geschlecht gematchte Vergleichspersonen wurden einem strukturierten Interview unterzogen. Psychiatrische Diagnosen wurden anhand der italienischen Version des Composite International Diagnostic Interview Simplified gestellt. Die univariat ermittelten Odds Ratios erreichten signifikante Werte für generalisierte Angststörungen (generalized anxiety disorders) und für nicht-spezifizierte Angststörungen (anxiety disorders not otherwise specified) mit 2.0 (95%-Konfidenz-Intervall 1.0-4.2) und 2.9 (95%-Konfidenz-Intervall 1.0-4.1). Geschlechtsspezifische Odds Ratios wurden nicht ausgewiesen.

Franssen und Mitarbeiter (2004)⁴⁵ fanden für nicht verschreibungspflichtige Sedativa und Hypnotika mit L_{den} als unabhängiger Variable erhöhte Odds Ratios von 2.34 (95%-Konfidenzintervall 1.63-3.35) pro 10 dB(A)-Anstieg mit einem deutlichen Trend bei Stratifizierung nach 5-dB(A)-Klassen. Für verschreibungspflichtige Arzneimittel der gleichen Kategorie waren die Odds Ratios nicht-signifikant erhöht.

Die Auswertung der LARES-Studie (Niemann et al. 2006)⁴⁶ ergab bei mäßig bzw. stark durch Fluglärm belästigten Probanden nicht-signifikant erhöhte Odds Ratios für die ärztlich gestellte Diagnose einer Depression, dagegen signifikante erhöhte Odds Ratios für einen Index, der auf depressive Symptomatik hindeutet (SALSA), sowohl für mäßig als auch für stark durch Fluglärm belästigte Probanden (Odds Ratios 1.4 bzw. 3.2).

Schließlich fanden sich in der ersten epidemiologischen Studien um den Flughafen Köln-Bonn⁴⁷ für Antidepressiva bei Frauen unter Fluglärmbelastung sowohl erhöhte Verordnungshäufigkeiten als auch höhere Verordnungsmengen. Insofern sind die hier gefundenen Beziehungen zwischen nächtlichem Fluglärm und erhöhtem Erkrankungsrisiko zumindest konsistent.

Es zeichnet sich ab, dass eine mögliche Ursache von Depressionen in einer stressbedingten Modifikation des Immunsystems bestehen könnte. Stress, Lärmstress und Schlafentzug führen unter anderem zu einer vermehrten Ausschüttung von Cytokinen.

⁴⁵ Franssen EAM, van Wiechen CMAG, Nagelkerke NJD, Lebet E. Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. *Occup Environ Med* 2004; 61: 405-413.

⁴⁶ Niemann H, Bonnefoy X, Braubach M, Hecht K, Maschke C, Rodrigues C, Röbbel N. Noise-induced annoyance and morbidity results from the pan-European LARES study. *Noise Health* 2006; 8: 63-79.

⁴⁷ Greiser E, Greiser C, Janhsen K. Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen. Forschungsprojekt im Auftrage des Umweltbundesamtes. Publikationen des Umweltbundesamtes. Berlin, November 2006.

Diese wiederum können ein Krankheitsbild induzieren („sickness behavior“), das alle wesentlichen Symptome einer endogenen Depression aufweist⁴⁸.

Dass sich für den Bereich der Angststörungen keine Risikoerhöhungen zeigten, mag der relativ geringen Anzahl von entsprechenden Diagnosen geschuldet sein. Es ist jedoch auch nicht auszuschließen, dass ein Einfluss von Fluglärm auf diese Krankheitsgruppe nicht besteht.

Andererseits steht dem der außerordentlich plausible Befund erhöhter Verordnungshäufigkeiten und Verordnungsmengen von Tranquillizern, Sedativa und Hypnotika entgegen, der in der ersten epidemiologischen Studie um den Flughafen Köln-Bonn bei Frauen ermittelt wurde. Es wäre denkbar, dass diese Diskrepanz darauf beruht, dass Schlafstörungen zwar die behandelnden Ärzte zu vermehrten Verordnungen von Arzneimitteln dieser Gruppe führen, die Schlafstörungen jedoch nicht zwangsläufig zu behandlungsbedürftigen Angststörungen führen müssen.

In der vorliegenden Studie waren bei Frauen inkonsistent erhöhte Risiken für Psychosen aufgefallen. Es fand sich in der vorliegenden Literatur keine Publikation, die vergleichbare Ergebnisse gezeigt hätte oder einen Erklärungsansatz für den in unserer Studie gefundenen Befund gäbe.

5. Limitierungen der vorliegenden Fall-Kontroll-Studie

Den großen Vorteilen der gewählten Form einer Fall-Kontroll-Studie – Verwendung ausschließlich objektiver Parameter, außerordentlich hohe Abdeckung der Gesamtpopulation, kein Verlust durch Non-Response – stehen einige Limitationen gegenüber:

A. Da nur ein begrenzter Zeitraum des Lebens der Versicherten über den verarbeiteten Versicherungszeitraum zur Verfügung stand, wird die Lebenszeitinzidenz der untersuchten Erkrankungen vermutlich unterschätzt. Die möglichen Auswirkungen dieses Defizits auf die Risikoschätzer lassen sich gegenwärtig nicht exakt abschätzen. Es ist zu erwarten, dass bei künftigen Studien mit Daten gesetzlicher Krankenkassen mögliche Verzerrungen dieser Art sich minimieren lassen, da künftig längere Versicherungszeiträume verfügbar sein werden.

⁴⁸ Capuron L, Miller A, Irwin MR. Psychoneuroimmunology of depressive disorder: Mechanisms and clinical implications. S. 509-530 in: Ader R (Hg.) Psychoneuroimmunology. 4. Auflage, Elsevier, Amsterdam, 2007.

B. Die Exposition gegenüber Umgebungslärm aus verschiedenen Lärmquellen ist für die vorliegende Studie nach dem Stand der Wissenschaft geschätzt worden. Es wäre jedoch zu diskutieren, ob z.B. in Bezug auf den Fluglärm Expositionsmodelle, die Maximalpegel einbeziehen, nicht zu einer adäquateren Effektschätzung führen könnten. Bei der vorliegenden Studie war es nicht möglich, die Expositionsdauer der Versicherten gegenüber verschiedenen Umgebungslärmarten zu erheben. Das den Analysen zugrunde liegende Modell nimmt eine identisch lange Exposition für alle Versicherten an. Da unter realen Bedingungen vermutlich eher ein Fortzug aus verlärmten Regionen unterstellt werden kann, würde dieses zu einer geringeren Expositionsdauer in stärker mit Lärm belasteten Regionen führen. Damit wäre die in stärker mit Lärm belasteten Regionen die exponierte Population kleiner. Die durch Nichtberücksichtigung der Expositionsdauer mögliche Verzerrung würde eher zu einer Unterschätzung tatsächlich vorhandener Erkrankungsrisiken führen.

C. Als Proxy-Variable für einen individuellen Sozialschicht-Indikator ist die Sozialhilfe-Häufigkeit des Ortsteils bzw. des Stadtteils der Versicherten herangezogen worden. Regionalspezifische Sozialschichtindikatoren sind impräziser als individuelle Indikatoren der Sozialschicht. Allerdings weisen sie eine starke Korrelation zu individuellen Sozialschichtindikatoren auf. Eine Vielzahl von älteren und neueren Publikationen haben die Brauchbarkeit regionaler Faktoren für epidemiologische Studien gezeigt. Aus der Vielzahl dieser Publikationen seien nur einige exemplarische zitiert^{49,50,51,52,53,54,55,56,57,58}.

⁴⁹ Pekkanen J, Tuomilehta J, Uutela A, Vartiainen E, Nissinen A. Social class, health behaviour, and mortality among men and women in eastern Finland. *BMJ* 1995; 311:589-593.

⁵⁰ van Rossum CTM, van de Meen H, Breteler MMB, Grobbee DE, Mackenbach JP. Socioeconomic differences in stroke in elderly women. *Stroke* 1999; 30:357-362.

⁵¹ Hart CL, Hole DJ, Smith GD. The Contribution of risk factors to stroke differentials, by socioeconomic position in adulthood: The Renfrew/Paisly Study. *Am J Public Health* 2000; 90: 1788-1791.

⁵² Galobardes B, Costanza MC, Bernstein MS, Delhumeau C, Morabia A. Trends in risk factors for lifestyle-related diseases by socioeconomic position in Geneva, Switzerland, 1993-2000: Health inequalities persist. *Am J Public Health* 2003; 93:1302-1309.

⁵³ Leyland AH. Socioeconomic gradients in the prevalence of cardiovascular disease in Scotland: the roles of composition and context. *J Epidemiol Community Health* 2005; 59:799-803.

⁵⁴ Regidor E, Gutiérrez-Fisac JL, Banegas JR, Domínguez V, Rodríguez-Artalejo F. Association of adult socioeconomic position with hypertension in older people. *J Epidemiol Community Health* 2006; 60:74-80.

⁵⁵ Eggleston KS, Coker AL, Williams M, Tortolero-Luna G, Martin JB, Tortolero SR. Cervical cancer survival by socioeconomic status, race/ethnicity, and place of residence in Texas, 1995-2001. *J Womens Health (Larchmt.)* 2006; 15:941-951.

⁵⁶ Harper S, Lynch J, Meersman SC, Breen N, Davis WW, Reichman MC. Trends in socioeconomic and race-ethnic disparities in breast cancer incidence, stage at diagnosis, screening, mortality, and survival among women ages 50 years and over (1987-2005). *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2009; 18: 121-131.

⁵⁷ Tromp M, Eskes M, Reitsma JB, Jaap J, Erwich HM, Brouwers HAA, Rijninks-van Driel GC, Bonsel GJU, Ravelli ACJ. Regional perinatal mortality differences in the Netherlands; care is the question. *BMC Pub Health* 2009. doi: 10.1186/1471-2458-9-102.

D. Naturgemäß sind in den Daten gesetzlicher Krankenkassen eine Reihe von Risikofaktoren nicht enthalten, die für die Genese der hier untersuchten Krankheitsgruppen von Bedeutung sind. Zu diesen sind außer den durch das Individualverhalten determinierten Risikofaktoren insbesondere auch Risikofaktoren am Arbeitsplatz zu nennen. Es muss auch diskutiert werden, ob nicht außer dem Lärm sonstige Emissionen des Flug- und des Straßenverkehrs einen erheblichen Beitrag zur Krankheitsentstehung beitragen. In künftigen Studien sollte dem Rechnung getragen werden, ungeachtet der erheblichen methodischen Probleme einer adäquaten kleinräumigen Modellierung gas- und staubförmiger Emissionen des Flugverkehrs und des Straßenverkehrs.

⁵⁸ Byers TE, Wolf HJ, Bauer KR, Bollick-Aldrich S, Chen VW, Finch JL, Fulton JP, Schymura MJ, Shen T, Van Heest S, Yin X for the Patterns of Care Study. The impact of socioeconomic status on survival after cancer in the United States. *Cancer* 2008; 113:582-591.

6. Zusammenfassung

1. Ziel der Fall-Kontroll-Studie war es, den möglichen Einfluss von Fluglärm, insbesondere von nächtlichem Fluglärm auf das Erkrankungsrisiko von Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs und von psychischen Erkrankungen zu ermitteln.
2. Zu diesem Zweck wurden die Daten von mehr als 1.020 Millionen Versicherten gesetzlicher Krankenkassen mit Hauptwohnsitz in der Studienregion (Stadt Köln, Rhein-Sieg-Kreis, Rheinisch-Bergischer Kreis) mit Daten des Umgebungslärms (Fluglärm, Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm) sowie mit kleinräumig aggregierten Sozialdaten (Sozialhilfe-Häufigkeit des Ortsteils bzw. des Stadtteils; Dichte von Alten- und Pflegeheimplätzen) in multivariaten logistischen Regressionen ausgewertet. Die Anzahl von Versicherten entspricht mehr als 55% der Gesamtbevölkerung der Studienregion. Die Auswertungen erfolgten nach Geschlechtern getrennt und ausschließlich für Versicherte ab dem 40. Lebensjahr.
3. Die Ergebnisse zeigen für Herz- und Kreislaufkrankungen einen linearen Anstieg des Erkrankungsrisikos bei beiden Geschlechtern von niedrigen Dauerschallpegeln an (40 dB(A) bei allen Zeitfenstern, von 35,25 dB(A) an für den 24-Stunden-Dauerschallpegel. Diese Ergebnisse zeigten sich nicht für die Zielkrankheit des akuten Herzinfarktes.
4. Auf dem Gebiet der psychischen Erkrankungen findet sich lediglich ein relevanter Befund: Bei Frauen sind die Erkrankungsrisiken für Depressionen signifikant erhöht, vor allem im Zeitfenster für nächtlichen Fluglärm.
5. Es zeigen sich bei nahezu allen Analysen stärker erhöhte Erkrankungsrisiken bei der Teilpopulation mit Fluglärmbelastung, die keinen Anspruch hat auf eine Finanzierung von Schallschutzmaßnahmen durch den Flughafen Köln-Bonn.
6. Eine Diskussion der vorhandenen wissenschaftlichen Evidenz zeigt, dass für Herz- und Kreislaufkrankungen die epidemiologischen Kriterien für die Feststellung eines ursächlichen Zusammenhangs zu Expositionen gegenüber Fluglärm erfüllt sind.

7. Wissenschaftlicher Beirat

Der Projektleiter ist durch einen wissenschaftlichen Beirat in außerordentlich hilfreicher Weise beraten worden. Diesem Beirat gehören an:

em. Prof. Dr. med. Ursula Ackermann-Liebrich, Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel,

Prof. Dr. med. Wolfgang Hoffmann, Institut für Community Medicine, Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald,

Dr. med. Barbara Hoffmann, Institut für medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie, Universitätsklinikum Essen.

8. Kooperierende gesetzliche Krankenkassen

Diese Studie wäre nicht möglich gewesen ohne die Kooperationswilligkeit von acht gesetzlichen Krankenkassen. Ihren Vorständen und den beteiligten Mitarbeitern sei deswegen besonders gedankt.

Krankenkasse	Vorstand	Mitarbeiter
AOK Rheinland/Hamburg	Wilfried Jacobs	Dr. Christoph Rupprecht Bernd Eisele
TK	Dr. Christoph Straub	Frank Petereit
DAK	Prof. Herbert Rebscher	Burkhardt Seemann Kristina Braasch
BKK Ford	Lutz Kaiser	Andreas Gusinde
BKK Metro-Kaufhof	Petra E. Bieber	Markus Koch
BKK Rheinland	Dieter Schölwer	Wolfgang Kraye
GBK	Helmuth Wasserfuhr	Dr. Robert Becker
BEK	Birgit Fischer	Dr. Jan Mai

Musweiler, 21.11.2009

Prof. Dr. Eberhard Greiser