



Evaluierung der Forschung zur Wirkung von Fluglärm auf den Menschen

Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum
Charité – Universitätsmedizin Berlin



Evaluierung der Forschung zur Wirkung von Fluglärm auf den Menschen

**Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum
Charité – Universitätsmedizin Berlin**

Version 1.1, 09. Februar 2018

Koordination:

Prof. Dr. rer. physiol. Dipl. Phys. Thomas Penzel,
Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum, Charité,
Charité – Universitätsmedizin Berlin, Charitéplatz 1, 10117 Berlin

Expertenteam:

Prof. Ian Flindell, Universität Southampton
Prof. Dr. Rainer Höger, Leuphana Universität, Lüneburg
Prof. Dr. Ursula Krämer, Leibniz-Institut für Umweltmedizinische Forschung, Düsseldorf
Prof. Dr. Thomas Penzel, Charité, Berlin
Prof. Dr. Michael Schlander, Universität Heidelberg und Institute for Innovation & Valuation
Health Care (InnoVal^{HC}), Wiesbaden
Prof. Dr. Joachim Vogt, Technische Universität Darmstadt
Prof. Dr. Dr. H.-Erich Wichmann, ehem. Helmholtz Zentrum München und Universität
München

Weitere Beteiligte:

Sandra Zimmermann, Dipl.-Psych., Charité Berlin
Dr. Martin Glos, Dipl.-Ing., Charité Berlin
Maria Renelt, M.Sc., Charité Berlin
Kathrin Sommerfeld, M.Sc., TU Darmstadt
Henrik Hertel, TU Darmstadt
Franziska Koch, M.Sc., TU Darmstadt
Ann-Christin Pfeifer, M.Sc., TU Darmstadt
Darya Yatsevich, B.Sc., TU Darmstadt
Svea Mißfeldt, M.Sc., Leuphana Universität, Lüneburg
Libin Yao, B.Sc., M.A., Institute for Innovation & Valuation in Health Care, InnoVal^{HC},
Wiesbaden

Auftraggeber:

Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft e. V. (BDL)

INHALT

1 Management Summary	6
2 Einführung	11
3 Methodische Betrachtungen.....	14
3.1 Exposition	14
3.2 Methodische Betrachtungen zu epidemiologischen Studien	21
3.2.1 Expositions-Wirkungs-Beziehungen	22
3.2.2 Verzerrungsmöglichkeiten (Confounder)	23
3.2.3 Kausalität und Assoziation in der Epidemiologie	24
3.2.4 Laborstudien	25
3.3 Empfindliche Gruppen gemäß WHO (2009)	26
3.4 Grundbegriffe der Statistik	27
4 Bewertung der Studien zur Wirkung von Fluglärm	31
4.1 Belästigung	34
4.1.1 Was ist Belästigung?.....	34
4.1.2 Messung von Belästigung	34
4.1.3 Expositions-Wirkungs-Kurven	35
4.1.4 Akustische und nicht-akustische Faktoren.....	37
4.1.5 Ausblick zur Lärmbelastigungsforschung.....	40
4.1.5.1 Was sind zukünftige Aufgaben der Lärmbelastigungsforschung?	41
4.1.6 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zur Belästigung.....	42
4.2 Herz-Kreislauf-System.....	42
4.2.1 Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Fluglärm.....	43
4.2.2 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zum Herz-Kreislauf-System	57
4.3 Schlaf.....	58
4.3.1 Umweltbedingte Schlafstörungen	58
4.3.2 Fluglärm und Schlaf	60
4.3.3 Primäre Wirkungen auf den Schlaf	61
4.3.4 Sekundäre Wirkungen auf den Schlaf.....	67
4.3.5 Tertiäre (chronische) Lärmwirkungen	69
4.3.6 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zum Schlaf.....	69
4.4 Stresshormone.....	70
4.4.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu Stresshormonen	72
4.5 Selbstberichteter Gesundheitszustand	72
4.5.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zum Thema selbstberichteter Gesundheitszustand	74

4.6 Prä- und postnatale Wirkungen.....	74
4.6.1 Ausprägung möglicher Effekte von Fluglärm.....	75
4.6.2 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu prä- und postnatalen Wirkungen	77
4.7 Andere physische Wirkungen.....	77
4.7.1 Hörschädigungen.....	76
4.7.1.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu Hörschäden	77
4.7.2 Krebs.....	77
4.7.2.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zum Krebs.....	78
4.8 Psychische Erkrankungen.....	78
4.8.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu psychischen Erkrankungen	80
4.9 Kognitive Funktionen.....	80
4.9.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu kognitiven Funktionen	87
5 Bewertung der Studien zur Gesundheitsökonomie	89
5.1 Gesundheitsökonomisch relevante Studien.....	90
5.1.1 Zahlungsbereitschaft und Lärmbelästigung	90
5.1.2 Gesundheit und Lebensqualität.....	91
5.1.3 Soziale und ökonomische Folgen	92
5.2 Forschungsstand und -bedarf	95
5.3 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zur Gesundheitsökonomie.....	98
6 Glossar.....	99
6.1 Akustik.....	99
6.2 Fachbegriffe im Studienkontext	102
6.3 Epidemiologie und Statistik	103
6.4 Weitere Fachbegriffe	106
6.5 Literaturdatenbanken.....	107
7 Literatur	108
8 Anhang	123
A1 Lebensläufe der Experten.....	123
A2 Darstellung der Studien an deutschen Flughäfen	131
A2.1 Flughafen Bremen.....	131
A2.2 Flughafen Berlin	132
A2.3 Flughafen Düsseldorf	134
A2.4 Flughafen Köln-Bonn	135
A2.5 Flughafen Frankfurt	137
A2.6 Flughafen München	143
A2.7 Fluglärm Deutschland	145
Impressum.....	146

1 MANAGEMENT SUMMARY

Der Festlegung der Auslöseschwellen im Gesetz zum Schutz der Bevölkerung gegen Fluglärm im Jahr 2007 lagen die damaligen Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung zugrunde. Seitdem wurden weitere Studien durchgeführt und publiziert. Im Gesetz ist festgehalten, dass die Bundesregierung dem Deutschen Bundestag spätestens im Jahre 2017 Bericht über die Überprüfung der Auslöseschwellen, unter anderem unter Berücksichtigung des Standes der Lärmwirkungsforschung, erstatten muss. Daher sollten Experten die seitdem erlangten Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung analysieren und bewerten. Die Ableitung von Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung war nicht Gegenstand der hier vorliegenden Evaluierung der bisherigen Vorgehensweisen und Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung.

Ein Team aus sieben Experten der Fachgebiete Medizin, Psychologie, Epidemiologie, Statistik und Ökonomie hat den aktuellen Forschungsstand zur Wirkung von Fluglärm auf den Menschen erhoben. Dazu wurden wissenschaftliche Literatur aus Fachzeitschriften und Fachbüchern sowie weitere Veröffentlichungen der Jahre 1970 bis 2015 anhand eines gemeinsam entwickelten Kriterienkatalogs bewertet.

Die **NORAH**-Studie (**Noise related annoyance, cognition and health**), die von 2011 bis 2014 durchgeführt wurde, ist die umfangreichste Studie zu gesundheitlichen Belastungen durch Fluglärm in Deutschland. Seit Ende 2015 liegen Veröffentlichungen zu allen Modulen der methodisch gut angelegten Studie vor. Diese werden wegen ihrer Bedeutung für die Wirkungsforschung zum Fluglärm in Deutschland im Folgenden gesondert zusammengefasst und bewertet.

Fluglärmexposition kann zu körperlichen und psychischen Reaktionen führen, aus denen sich unter Umständen Krankheiten entwickeln können. Diese Reaktionen nehmen in der Regel mit steigender Lautstärke zu. Daneben spielen die Stärke und Anzahl der Einzelschallpegel sowie die jeweiligen Geräuscheigenschaften, die Tageszeit und die persönliche Verfassung eine wichtige Rolle.

Wirkzusammenhänge wie zum Beispiel der Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition und Selbstangaben der Belästigung lassen sich in Form von Expositions-Wirkungs-Kurven aufzeigen. Allerdings sind in den betrachteten epidemiologischen Studien oft weitere Einflüsse vorhanden, die sich nicht immer gut separieren lassen. Dies kann zu einer falsch angenommenen Beziehung, zu einer Unter- aber auch Überschätzung des gefundenen Effekts führen und macht eine kausale Interpretation nicht ohne Weiteres möglich.

Bei der Interpretation der beobachteten Wirkungen ist weiter zu berücksichtigen, dass sich die derzeitige Belastung durch Fluglärm von den Belastungssituationen in den Studien mit länger zurückliegender Datenerfassung zum Teil deutlich unterscheidet. So sind die Lärmemissionen einzelner Flugzeuge in den letzten zwanzig Jahren deutlich zurückgegangen, parallel dazu haben die Flugbewegungen stark zugenommen. Ferner haben sich die akustischen Charakteristika des Fluglärms und die Anzahl exponierter Personen verändert.

Die Evaluierung der Lärmwirkungsforschung nach 2007 unter Einschluss der NORAH-Studie zeigt zusammengefasst, dass die Erkenntnisse über die Wirkungen von Fluglärm auf das Belästigungsempfinden, das kardiovaskuläre System, den Schlaf und auf das Leseverständnis von Kindern bestätigt worden sind. Das Ausmaß dieser Wirkungen kann nun genauer beschrieben werden. Mögliche Auswirkungen auf andere Organsysteme und Krankheitsbilder sind auch nach heutigem Forschungsstand noch nicht ausreichend genau belegt. Für viele Fragen zum Zusammenhang von Fluglärm und gesundheitlichen Auswirkungen ist die Datenlage unzureichend. Forschungsbedarfe sind im Fazit des jeweiligen Fachgebiets ausgewiesen.

Die Ergebnisse der Literaturanalyse im Überblick:

Es gibt Zusammenhänge zwischen Fluglärmexposition und Selbstangaben zum Ausmaß der empfundenen **Belästigung**, die sich in Expositions-Wirkungs-Kurven darstellen lassen. Bereits in den 1970er Jahren wurde vereinfacht abgeschätzt, dass maximal ein Drittel der Belästigungsreaktion durch jene akustischen Faktoren aufgeklärt werden kann, auf die sich die Forschung lange Zeit konzentrierte. So zeigen Expositions-Wirkungs-Beziehungen aus neueren Studien höhere Belästigungen bei

gleichen mittleren Fluglärmpegeln als solche aus älteren Studien an. Das komplexe und dynamische Beziehungsgeflecht zwischen akustischen, nicht-akustischen Faktoren wie zum Beispiel die Einstellung zur Lärmquelle, weitere Belastungen und Belästigung konnte bislang nicht vollständig geklärt werden, weil es an ganzheitlichen Ansätzen mangelt, die außer der einseitigen Wirkung von Exposition auf Belästigung weitere Faktoren und deren Interaktionen betrachten.

In der NORAH-Studie war die selbstberichtete **Belästigung** im Umfeld des Frankfurter Flughafens deutlich höher als in vorangegangenen Studien und auch höher als die standardisierte Lärm-Belästigungs-Kurve der EU. Im Vergleich zum Anstieg der Belästigung seit 2005 sind die Änderungen zwischen 2011 und 2013, also vor und nach der Eröffnung der neuen Landebahn, relativ gering. Es gibt Hinweise auf eine zunehmende Bedeutung nicht-akustischer Faktoren für die Belästigung, wie wahrgenommene Kontrolle, Vertrauen gegenüber Autoritäten und die Einstellung zum Luftverkehr insgesamt.

Verkehrslärm kann eine Belastung des **Herz-Kreislauf-Systems** darstellen. Ein Zusammenhang zwischen einer Fluglärmbelastung und **Bluthochdruck** wurde – abhängig unter anderem von der Höhe und Dauer der Exposition – in den Studien, die sich mit dieser Fragestellung befassten, festgestellt. Allerdings wurden an verschiedenen Flughäfen unterschiedlich stark ausgeprägte Zusammenhänge ermittelt, und die Assoziationen waren nicht immer statistisch signifikant. Ferner zeigt sich in stärker durch Fluglärm belasteten Regionen ein etwas erhöhter Gebrauch von Herz-Kreislauf-Medikamenten. Auch werden bei Fluglärmbelastungen, die über 60 dB(A) (L_{dn}) liegen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen häufiger diagnostiziert.

In der NORAH-Studie wurde die Stärke des Zusammenhangs zwischen Blutdruck und nächtlichem Lärm bei gesunden Personen ohne **Bluthochdruck** untersucht. Insgesamt zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang. Der systolische Blutdruck war im Mittel pro 10 dB(A) höherem Fluglärm in der Nacht um 1,2 mmHg höher. Dieser niedrige Effekt entspricht den Beobachtungen aus den wenigen anderen Studien, die den Zusammenhang zwischen Blutdruck und Lärm untersuchen. Bei **Herz-Kreislauf-Erkrankungen** ergab sich in NORAH weder für den Herzinfarkt noch für den Schlaganfall eine klare Expositions-Wirkungs-Beziehung. Die für den Herzinfarkt teilweise erhöhten Risiken in den höheren Expositionsstufen waren nicht statistisch abgesichert. Bei der Herzinsuffizienz war das Risiko bei der Betrachtung kontinuierlicher Expositionsvariablen statistisch signifikant erhöht, bei der Auswertung nach Expositions-kategorien aber zeigte sich keine klare Expositions-Wirkungs-Beziehung.

Einige primäre Wirkungen von Fluglärm auf die **Schlafqualität** (Aufwachreaktionen, Zunahme von Bewegungen, Länge einzelner Schlafphasen) sowie einige sekundäre Wirkungen (Tagesschläfrigkeit, Beurteilung der Schlafqualität) sind belegt. Das Ausmaß dieser Wirkungen ist meist gering.

In der NORAH-Studie wurde ähnlich wie in einer früheren Studie um den Flughafen Köln die **Wahrscheinlichkeit, wegen Fluglärms aus dem Schlaf zu erwachen**, untersucht. Auf sogenannte Frühschläfer (22:00 bis 6:30 Uhr) hatte die Einführung der Kernruhezeit am Frankfurter Flughafen einen positiven Effekt: Die Aufwachhäufigkeit wurde geringer. Personen, die dem Flughafen und den Änderungen des Flugbetriebes eher positiv gegenüberstehen, reagierten weniger stark auf den Fluglärm. Insgesamt war der Zusammenhang zwischen Aufwachwahrscheinlichkeit und dem nächtlichen Fluglärm ganz ähnlich zu den früheren Beobachtungen um den Flughafen Köln.

Für intensive Fluglärmbelastung (wie militärischen Tieffluglärm) ist ein deutlicher Zusammenhang mit der Ausschüttung von **Stresshormonen** nachgewiesen. Für Pegelbereiche des zivilen Luftverkehrs sind die Befunde uneinheitlich.

In der NORAH-Studie fand sich ein Zusammenhang zwischen der Fluglärmexposition und verschiedenen Aspekten des selbstberichteten **Gesundheitsstatus**. Ferner bestand bei höherer Fluglärmbelastung eine höhere Wahrscheinlichkeit für die Einnahme von Beruhigungsmitteln als bei niedrigerer Belastung.

Die Frage, ob Fluglärm sich während der **Schwangerschaft** und in der ersten Zeit nach der Geburt gesundheitlich auf das Kind auswirkt, lässt sich aus wissenschaftlicher Sicht derzeit nicht beantworten, da hierzu belastbare Studien fehlen.

Die Studien zur Beeinträchtigung des **Hörvermögens bei Kindern** durch Fluglärm zeigen entweder keine nachweisbare Einschränkung oder haben aufgrund methodischer Mängel keine hinreichende Aussagekraft. Aufgrund der üblicherweise in der Umgebung ziviler Flughäfen auftretenden Maximalpegel sind Hörschäden auch nicht zu erwarten.

Es gibt derzeit keine belastbaren Untersuchungen, die einen Einfluss von Fluglärm auf die **Krebsentstehung** belegen würden.

Insgesamt ist die Befundlage zum Zusammenhang zwischen Fluglärm und **psychischen Erkrankungen** wenig belastbar. Es gibt Hinweise, dass das Ausmaß von Hyperaktivität bei Kindern mit der Höhe der Fluglärmbelastung zunimmt.

In der NORAH-Studie zeigte sich, dass das Risiko für eine Depression bei der Betrachtung kontinuierlicher Expositionsvariablen statistisch signifikant erhöht war; bei der Auswertung nach Expositions-kategorien aber zeigte sich insbesondere in den höheren Expositionsstufen kein erhöhtes Risiko.

Als gesichert kann gelten, dass Fluglärm einen messbaren, aber vergleichsweise geringen Einfluss auf die **Leselernfähigkeit von Kindern** hat. Nach starker Reduktion des Fluglärms scheint dieser Effekt reversibel zu sein.

Die NORAH-Studie zeigt für den Einzugsbereich des Frankfurter Flughafens, dass Grundschulkinder in vergleichsweise stark von Fluglärm belasteten Gebieten langsamer lesen lernen. Fluglärmeffekte sind jedoch im Vergleich zu anderen Einflüssen wie den Deutschkenntnissen der Kinder oder der Anzahl von Kinderbüchern im Haushalt geringer. Entgegen den zuvor formulierten Forschungshypothesen wurden keine Auswirkungen auf sogenannte Vorläuferfähigkeiten (zum Beispiel Verstehen von Worten) festgestellt.

Der Forschungsstand zu den **ökonomischen Folgen von Fluglärm** ist außerordentlich lückenhaft. Die wenigen bislang unternommenen Versuche einer Abschätzung fluglärmbedingter direkter oder indirekter Gesundheitskosten sind aufgrund methodischer Mängel als nicht verlässlich einzustufen. Damit fehlt zugleich eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung belastbarer Kosten-Nutzen-Analysen des Flugverkehrs.

2 EINFÜHRUNG

Das Thema Fluglärm zeigt eine starke mediale Präsenz und wird vor dem Hintergrund wirtschaftlicher und sozialer Bedürfnisse kontrovers diskutiert. Um einen Überblick über den aktuellen Stand der Lärmwirkungsforschung zu erhalten, gab der Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft e. V. (BDL) eine Expertise über den Forschungsstand zur Wirkung von Fluglärm auf den Menschen in Auftrag. Das Projektziel war eine umfassende Bewertung der veröffentlichten Studien und Forschungsprojekte zur Wirkung von Fluglärm, die bis einschließlich November 2014 publiziert waren. Darüber hinaus wurde auch die im Oktober 2015 veröffentlichte NORAH-Studie berücksichtigt. Bei allen betrachteten Studien sollte vor allem deren methodische Qualität bewertet werden.

Eine Grundlage für die Expertise bildete eine Literaturrecherche des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP, in der alle nationalen und internationalen nach wissenschaftlichen Standards erstellten Arbeiten zur Wirkung von Fluglärm auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit zwischen 1990 und 2012 berücksichtigt und zu einer systematischen Literaturübersicht zusammengestellt wurden. Diese Recherche ergänzte das Wissenschaftlerteam um eine systematische Recherche von zwischen 2012 und 2014 veröffentlichten Arbeiten. Für die Recherche wurden verschiedene Datenbanken durchsucht. Metaanalysen und Übersichtsarbeiten wurden mit den Begriffen („meta“ OR „review“) AND („air* noise“ OR „jet noise“) AND („health“ OR „effect“) gesucht. Für Einzelstudien wurde die Literatur der Übersichtsarbeiten herangezogen. Zusätzlich wurden Einzelstudien mit den folgenden Begriffen gesucht: („air* noise“ OR „jet noise“) AND („sleep“ OR „reading“ OR „learn*“ OR „hypertension*“ OR „disease“ OR „cortisol“ OR „myocard*“ OR „psychology*“ OR „children“ OR „response“ OR „heart*“ OR „awaken*“ OR „motility“ OR „hormone“ OR „REM“ OR „quality of life“ OR „blood pressure“ OR „non-auditory“ OR „cancer“ OR „drugs“ OR „medication“ OR „dose-response“ OR „birth*“ OR „mortality“ OR „depressions“ OR „psychiatric“ OR „anxiety“ OR „school“).

Zusätzlich wurden einige vor 1990 publizierte, aber häufig zitierte und aus heutiger Sicht noch relevante Arbeiten in die Sammlung aufgenommen. Ferner wurden Studien aus dem deutschsprachigen Raum berücksichtigt, die nicht in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlicht sind, sondern unter anderem in Form von Artikeln oder Berichten vorliegen (sogenannte „Graue Literatur“), und die in der Diskussion in Deutschland eine Rolle spielen. Als inhaltlich relevant erachtet wurden neben Arbeiten, die sich mit der isolierten Wirkung von Fluglärm beschäftigen, auch solche, die die (kombinierte) Wirkung mehrerer Verkehrslärmquellen betrachten, vorausgesetzt Fluglärm stellt eine dieser Quellen dar.

Auf diese Weise wurden 573 Quellen bestimmt (Reviews, Einzelstudien, Konferenzbeiträge, Gutachten, Richtlinien).

Bewertet wurden im Wesentlichen Veröffentlichungen zu Einzelstudien. Insgesamt wurden 328 qualitative Bewertungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der NORAH- Studie, die von 2011 bis 2014 durchgeführt wurde, wurden erst nach Abschluss der Literaturrecherche öffentlich. Wegen ihrer großen Relevanz für die Bewertung des Fluglärms in Deutschland und ihrer hohen Evidenz werden die Ergebnisse dieser Studie hier mit aufgeführt.

Prof. Dr. Thomas Penzel (Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum, Charité – Universitätsmedizin Berlin) koordinierte ein interdisziplinäres Wissenschaftlerteam, das die genannte Literatur klassifizierte, strukturierte und begutachtete. Das Team bestand aus Experten für die Bereiche Schlafforschung, Epidemiologie, Psychologie, Physik, Medizin und Gesundheitsökonomie. Um ein einheitliches Vorgehen zu gewährleisten, erarbeiteten die Wissenschaftler einen gemeinsamen Kriterienkatalog, anhand dessen sich bewerten lässt, wie gut die Qualität der jeweiligen Studie ist – ob sie geeignete Methoden einsetzt, zu aussagekräftigen und unverfälschten Ergebnissen gelangt und eine kausale Interpretation der gefundenen Zusammenhänge zulässt. Die Beweiskraft einer Studie wurde nur dann als hoch bewertet, wenn diese von hoher methodischer Qualität, das Risiko für verzerrende Einflüsse niedrig und ein kausaler Zusammenhang zwischen Fluglärm und Gesundheitswirkung wahrscheinlich war.

Bei der Bewertung wurden medizinische, akustische, psychologische, statistische und gesundheitsökonomische Aspekte betrachtet. So ließ sich eine qualifizierte Übersicht über den aktuellen Stand (November 2015) der lärmmedizinischen und gesundheitsökonomischen Erkenntnisse zu Fluglärmwirkungen gewinnen. Für die Bewertung wurden mögliche Gesundheitsbeeinträchtigungen in den Bereichen Belästigung, allgemeine gesundheitliche Beeinträchtigungen, Herz-Kreislauf-System, Schlaf, Stress, prä- und postnatale Wirkungen, Hörschäden, Krebs, psychische Erkrankungen und kognitive Wirkungen unterschieden.

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden – jeweils nach einer allgemeinen Einführung in den betreffenden Bereich – pro Fachgebiet ausführlich sowie in einem knappen Fazit dargelegt. All diese Elemente wurden in einer transparenten bereichsübergreifenden Darstellung so aufbereitet, dass besonders die fachfremde interessierte Öffentlichkeit fundierte Informationen zur aktuellen Studienlage und den verwendeten Methoden erhält. Fachbegriffe und fachspezifische Vorgehensweisen sind in einem Glossar erläutert.

3 METHODISCHE BETRACHTUNGEN

3.1 EXPOSITION

In der vorliegenden Literatur werden unterschiedliche Expositionsmaße für den Fluglärm verwendet. Sehr verbreitet ist die Angabe eines energieäquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} in dB(A). Der L_{Aeq} ist ein Mittelungspegel über die während eines bestimmten Zeitraums, wie zum Beispiel der sechs verkehrsreichsten Monaten eines Jahres, auftretenden Einzelschallereignisse. Er berücksichtigt sowohl die Stärke als auch Dauer und Häufigkeit der Schallemissionen. Eine Verdoppelung der Lärmintensität entspricht einer Zunahme von 3 dB(A). Dauerschallpegel können darüber hinaus Zuschläge enthalten, die über eine energetische Mittelung hinausgehen. L_{dn} (Level day night) oder L_{den} (Level day evening night) geben zum Beispiel Zuschläge für besonders sensible Zeiten wie die Nacht, den frühen Morgen und den Abend. Es ist wichtig, sich klarzumachen, dass Expositionsmaße mit solchen Zuschlägen keine physikalischen Maße mehr sind, denn sie enthalten bereits Annahmen über die Lärmwirkungen.

Daten für andere Lärmquellen, wie beispielsweise tägliche Verkehrsmengen auf Straßen, sind mit mehr Unsicherheit belastet, weil lokale Ereignisse sie stark beeinflussen (zum Beispiel Baustellen oder Großveranstaltungen). Fluglärmmessungen sind gute Ergänzungen zu Fluglärmrechnungen, können diese jedoch keinesfalls ersetzen: Zum einen sind sie flächendeckend nur mit hohem Aufwand erfassbar und in aller Regel auch ungenauer, denn es gehen auch andere Geräusche ein als die von Flugzeugen, die dann gegebenenfalls herausgefiltert werden müssen, zum anderen sind sie nur für einen räumlich kleinen Bereich um die Messstelle gültig (etwa 500 Meter). Orte, die weiter von der Messstelle entfernt liegen, können deutlich davon abweichende Lärmwerte aufweisen. Abbildung 1 zeigt Beispiele für Schallpegel verschiedener Umweltgeräusche.

Schallpegel verschiedener Geräusche im Vergleich

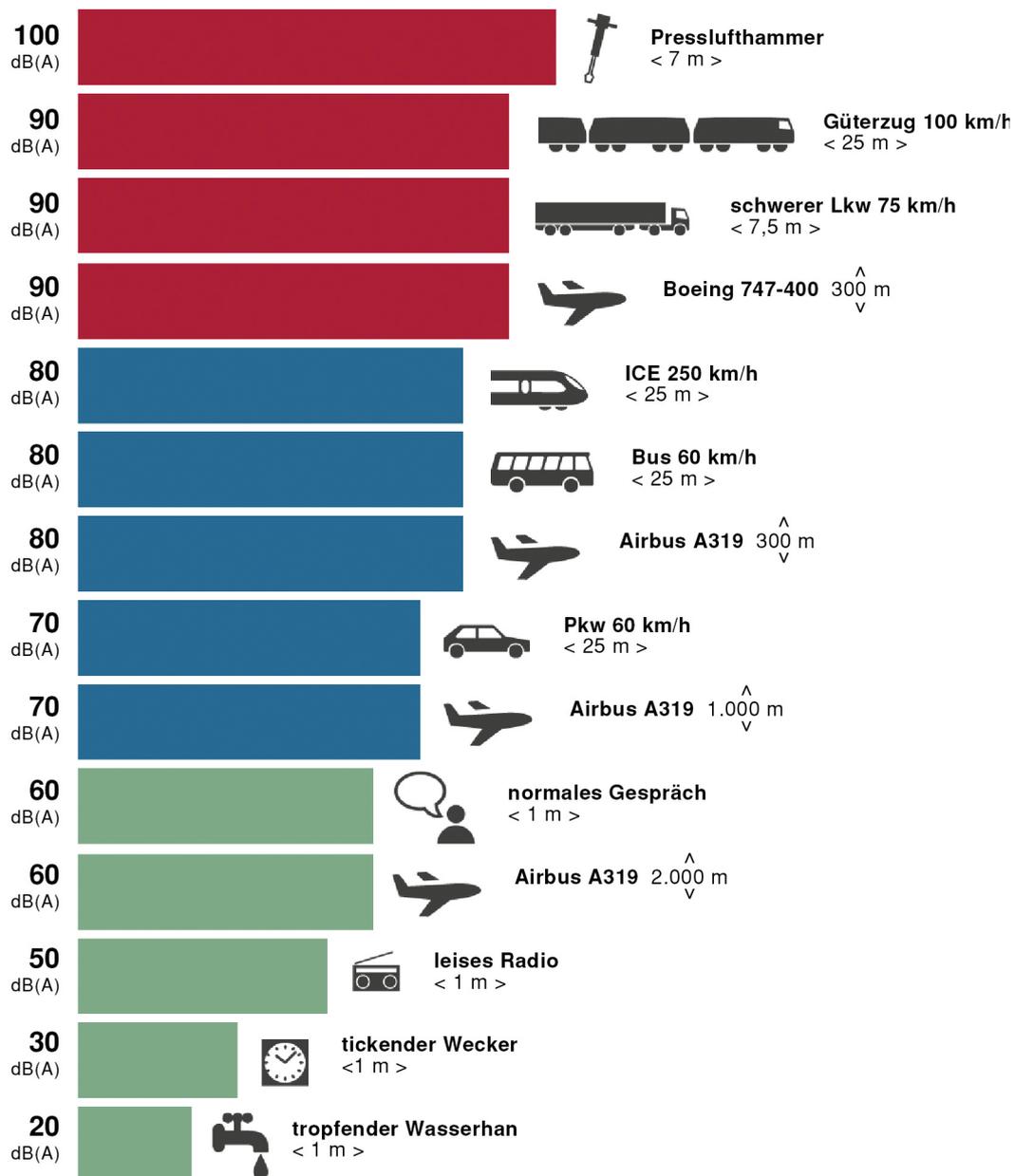


Abb. 1: Schallpegel von typischen Geräuschen in dB(A), in spitzen Klammern jeweils die Entfernung, aus der gemessen wurde

Quelle: www.fluglaerm-portal.de, Stand 15.12.2017

Abbildung 2 zeigt beispielhaft die in den Jahren 2013 und 2014 zu unterschiedlichen Zeiträumen berechneten Dauerschallpegel, die aus gemessenen Pegeln an der Messstelle Langenhorn, Kohrsword des Flughafens Hamburg ermittelt wurden. In der Abbildung wird jeweils das Gesamtgeräusch aller Lärmquellen im Messzeitraum dem reinen Fluggeräusch gegenüber gestellt.

Äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq}

Flughafen Hamburg, Messstelle Langenhorn, Kohrsword

	L_{eq} Tag		L_{eq} Nacht		L_{day}		$L_{evening}$		L_{night}		L_{den}		L_{eq} 24h	
	Gesamt-Geräusch	Flug-Geräusch												
2014	62,5	60,9	53,1	49,7	62,5	60,8	62,6	61,0	53,1	49,7	64,0	62,0	61,0	59,3
2013	62,4	60,7	52,3	49,8	62,4	60,6	62,3	60,9	52,3	49,8	63,7	61,9	60,8	59,1

Abb. 2: Äquivalente Dauerschallpegel nach Tageszeiten der Jahre 2013 und 2014, gemessen an der Messstelle Langenhorn, Kohrsword
Quelle: Flughafen Hamburg, Fluglärmreport 28 – Datenteil 2014

Die Abbildung 3 bietet einen nach Pegelbereichen abgestuften Überblick über die Spitzenpegel innerhalb des Jahres 2014, als Gesamtsumme sowie getrennt nach Tagen und Nächten. Diese Pegel liegen den in Abbildung 2 berechneten Dauerschallpegeln zugrunde.

Pegelhäufigkeit 2014

Flughafen Hamburg – Messstelle Langenhorn Kohrsword

	dB(A)	≤ 64	65 – 69	70 – 74	75 – 79	80 – 84	85 – 89	90 – 94	≥ 95	Summe
	Tag	2052	3358	970	1751	4906	2109	177	5	15328
	Nacht	18	42	18	29	20	15	1		143
	Gesamt	2070	3400	988	1780	4926	2124	178	5	15471
	Tag	1382	2082	4451	18083	2192	76	12	4	28282
	Nacht	68	121	306	1356	253	17	3		2124
	Gesamt	1450	2203	4757	19739	2445	93	15	4	30406

Abb. 3: Pegelhäufigkeit des Jahres 2014, gemessen an der Messstelle Langenhorn, Kohrsword
verändert nach der Quelle: Flughafen Hamburg, Fluglärmreport 28 – Datenteil 2014

Expositionsmaße für Fluglärm sind äußerst zuverlässig. Durch Flugpläne beziehungsweise Radarüberwachung kann sehr genau vorhergesagt und überprüft werden, welches Flugzeug wann und wo in welchem Betriebsverfahren (zum Beispiel Steigrate) fliegt. Wetter- und Geländedaten erlauben zusätzlich sehr gute Schallausbreitungsmodelle. Aufgrund dieser Daten kann die Fluglärmexposition an einem spezifischen Ort genau berechnet werden.

Während Fluglärmmessungen nur über die Belastung im Umfeld der jeweiligen Messstelle Auskunft geben, ermöglichen Fluglärmrechnungen die flächenhafte Ermittlung der Fluglärmbelastung. Eine Fluglärmkontur ist eine berechnete Linie, entlang derer die Fluglärmbelastung einen bestimmten Wert erreicht; außerhalb dieser Kontur ist der Wert niedriger, innerhalb höher. Die folgende Abbildung 4 zeigt die Fluglärmkonturen am Flughafen Hamburg. Für den Tag, also von 6 bis 22 Uhr, müssen zwei, und für die Nacht, also von 22 bis 6 Uhr, eine sogenannte Schutzzone ausgewiesen werden. Die Größe und Lage der drei Schutzzonen richtet sich danach, welche Schallpegel dort durch Fluglärm erreicht werden.

Lärmschutzbereiche am Flughafen Hamburg

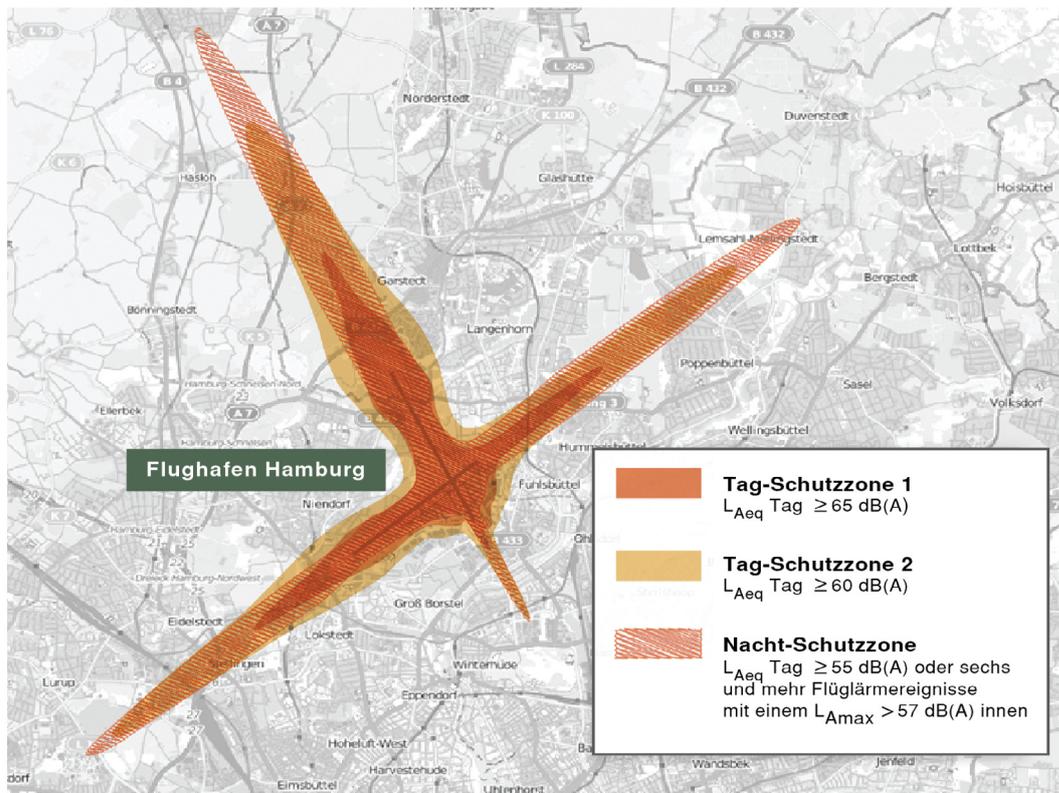


Abb. 4: Lärmschutzkonturen am Flughafen Hamburg

Quelle: www.fluglaerm-portal.de, Stand 15.12.2017;

Flughafen Hamburg GmbH; Kartenmaterial: OpenStreetMap.org

Wird am Flughafen Hamburg am Tag ein äquivalenter Dauerschallpegel von 65 dB(A) oder mehr am Wohnort erreicht, dann liegt das Gebäude innerhalb der Tag-Schutzzone 1. In diesem Fall muss passiver Schallschutz in erforderlichem Umfang gewährleistet werden. Für die Frage, ob eine Wohneinheit innerhalb der Nacht-Schutzzone liegt, wird neben dem äquivalenten Dauerschallpegel von 55 dB(A) ein zusätzliches Kriterium herangezogen: Wenn es im Innenraum rechnerisch häufiger als sechsmal pro Nacht lauter ist als 57 dB(A) – das entspricht einem Außenlärmpegel von 72 dB(A) – dann bestehen ebenfalls Erstattungsansprüche. Eigentümer von Wohnungen oder Grundstücken innerhalb der Tag-Schutzzone 1 beziehungsweise der Nacht-Schutzzone haben Anspruch auf Erstattung von Aufwendungen für erforderliche Schallschutzmaßnahmen. Handelt es sich um einen Flughafenneubau oder um eine wesentliche Erweiterung eines bestehenden Flughafens, dann gelten niedrigere Grenzwerte – der Anspruch auf die Erstattung von passiven Schallschutzmaßnahmen wird also bereits bei einem niedrigeren Lärmpegel ausgelöst. In diesem Fall können Anspruchsberechtigte in der Tag-Schutzzone 1 darüber hinaus eine Entschädigung für Beeinträchtigungen im Außenwohnbereich beantragen, also etwa bei Balkon oder Terrasse.

Über die letzten Jahrzehnte wurden in jedem Staat und für jeden Anwendungsfall eigene Expositionsmaße entwickelt. Dies hat einerseits seine Berechtigung, weil jeder Staat seine eigene Tradition und Kultur im Umgang mit Lärm hat und sich die Anwendungsfälle (Straßen-, Schienen- und Fluglärm) physikalisch und zeitlich unterscheiden. Auch werden Wirkungen durch unterschiedliche Expositionsmaße verschieden gut vorhergesagt. Andererseits ist die Vielfalt der Expositionsmaße sehr unübersichtlich und für die Öffentlichkeit kaum nachvollziehbar. Erfreulich ist, dass in den letzten Jahren europa- (zum Beispiel EU-Direktive EC, 2002) und auch weltweit (WHO, 2009) eine Harmonisierung stattgefunden hat. Langzeiteffekte wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen können nun besser abgebildet werden durch Expositionsmaße, die die akustische Situation über eine lange Zeitspanne zusammen-fassen (WHO, 2009). Hierbei werden Jahresmittel der Lärmpegel draußen an der Fassade der Wohnung verwendet: Für den Tageslärm $L_{\text{day, outside}}$; für den Nachtlärm $L_{\text{night, outside}}$; für den Tag- und Nachtlärm $L_{\text{dn, outside}}$. Akute Wirkungen wie Schlafstörungen werden dagegen besser durch die Intensität von Einzelereignissen und deren Anzahl vorhergesagt. Dafür eignen sich beispielsweise der Spitzenpegel eines Lärmereignisses (L_{max}), das auf eine Sekunde bezogene Sound Exposure Level SEL sowie Anzahlmaße, die Lärmereignisse oberhalb einer definierten Schwelle angeben; zum Beispiel steht „Number Above Threshold 65 dB(A)“ für die Anzahl der Lärmereignisse mit Spitzenpegeln über 65 dB(A).

Wie sich die Lärmbelastungen beispielsweise an den Flughäfen Köln/Bonn (Abbildung 5) und Düsseldorf (Abbildung 6) in den vergangenen Jahren entwickelt haben, zeigen die folgenden Abbildungen.

Entwicklung der Lärmimmissionen in Relation zur Anzahl der Flugbewegungen am Flughafen Köln/Bonn

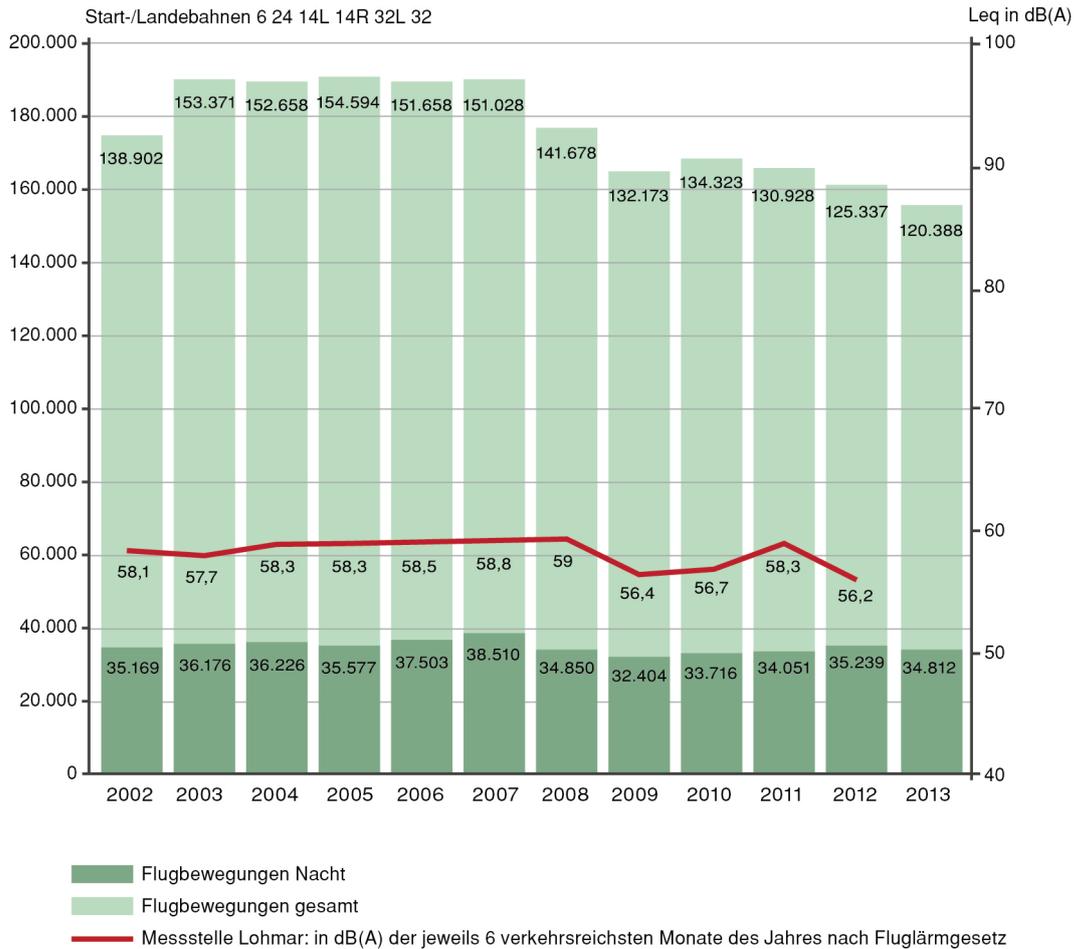


Abb. 5: Flugbewegungen Gesamt und in der Nacht von 2002 bis 2013 am Flughafen Köln/Bonn und die dabei entstandene Geräusentwicklung
Quelle: Flughafen Köln/Bonn, Stand 2015

Mehr Verkehr – Reduzierung des Lärms

Messpunkt Lohausen am Flughafen Düsseldorf, jeweils Mai bis Oktober

Eine Reduzierung des Lärms um 10 Dezibel empfindet der Mensch als Halbierung des Lärms

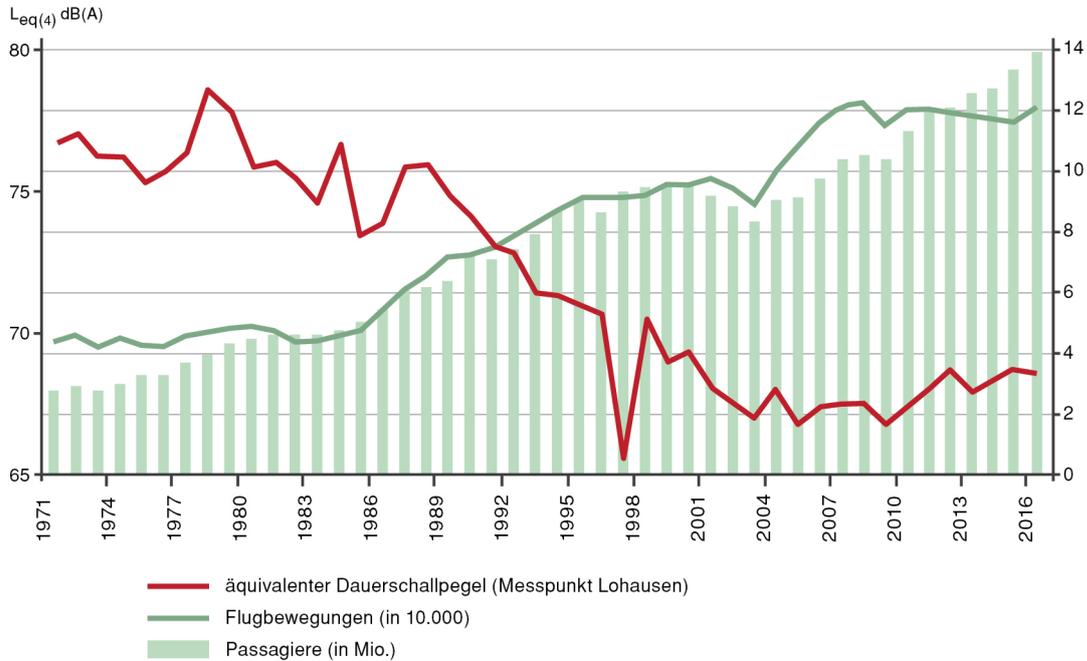


Abb. 6: Flugbewegungen, Anzahl der Passagiere und äquivalenter Dauerschallpegel von 1971 bis 2016 am Messpunkt Lohausen, Flughafen Düsseldorf
Quelle: Flughafen Düsseldorf

Insgesamt zeigt sich, dass es heute deutlich mehr Flugbewegungen in einem dichteren Flugnetz gibt, allerdings mit zunehmend leiseren Flugzeugen. So sind Flugzeuge der neuesten Generation um rund 80 Prozent leiser als vor 60 Jahren. Auch wurden Flugrouten sowie An- und Abflugverfahren aus Gründen des Lärmschutzes zum Teil verändert.

Lärmentwicklung bis heute: Minus 25 dB

Minus 25 dB entspricht einer Lärmreduzierung um rund 80 Prozent

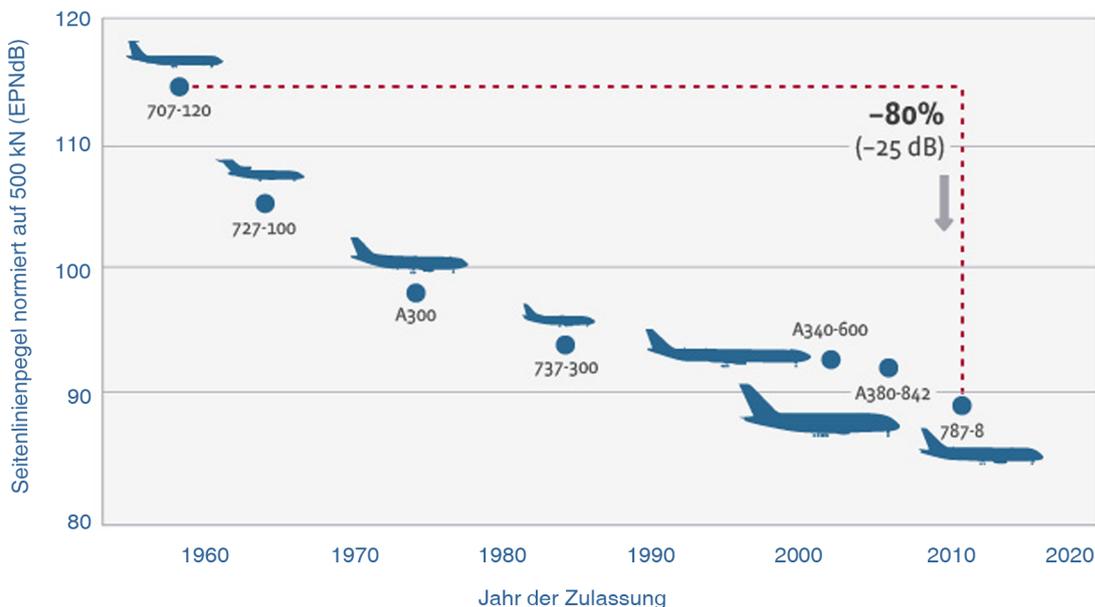


Abb. 7: Lärmentwicklung von Flugzeugen ab den 1950ern
verändert nach den Quellen: <http://www.fluglärm-portal.de>, Stand 15.12.2017,
CFD Software E+F GmbH Berlin

3.2 METHODISCHE BETRACHTUNGEN ZU EPIDEMIOLOGISCHEN STUDIEN

Epidemiologische Studien zum Fluglärm, die manchmal auch als Feldstudien bezeichnet werden, sind Beobachtungsstudien, die an Personengruppen unter normalen Alltagsbedingungen durchgeführt werden. Hierfür gibt es unterschiedliche methodische Ansätze.

Die am häufigsten verwendete Studienform ist die **Querschnittsstudie**. Darunter versteht man die einmalige Untersuchung einer Gruppe von Personen hinsichtlich ihrer Exposition, also des Fluglärmpegels, dem sie ausgesetzt sind, und gesundheitsrelevanter Endpunkte wie Belästigung, kognitive Leistungsfähigkeit, aufgetretene Erkrankungen usw. Zusätzlich werden andere Einflussgrößen, sogenannte Kovariablen, Confounder oder Störvariablen erfasst, die ebenfalls Einfluss auf den untersuchten Endpunkt haben können. Hierzu zählen neben Alter und Geschlecht Informationen zu Sozialstatus, Rauchverhalten und weitere.

Bei wiederholten Untersuchungen einer Gruppe von Personen spricht man von einer Längsschnittstudie. Die wichtigsten Formen von **Längsschnittstudien** sind Kohortenstudien und Kurzzeitstudien (Zeitreihenanalysen).

Unter einer **Kohortenstudie** versteht man eine Studienform, in der eine definierte Personengruppe, die sogenannte Kohorte, untersucht wird. Nach der Basisuntersuchung erfolgen in größerem zeitlichem Abstand (zum Beispiel nach mehreren Jahren) Wiederholungsuntersuchungen, es handelt sich also um einen zukunfts-gerichteten, prospektiven Ansatz. Auf diese Weise kann man nicht nur das Vorliegen, sondern auch das Neuauftreten von Erkrankungen in Abhängigkeit von der Exposition untersuchen. Kohortenstudien sind der aussagekräftigste epidemiologische Untersuchungsansatz.

Studien, die in kurzen zeitlichen Abständen (Stunden oder Tagen) Wiederholungsmessungen oder -befragungen durchführen, bezeichnet man als **Kurzzeitstudien** oder **Zeitreihenanalysen**. Sie eignen sich beispielsweise gut dazu, die Reaktion auf hohe Kurzzeitexpositionen zu untersuchen. Da hier die Untersuchungsergebnisse des jeweiligen Probanden zu nah beieinanderliegenden Zeitpunkten verglichen werden, spielen andere persönliche Einflussfaktoren eine kleinere Rolle, weil diese sich normalerweise nicht kurzfristig ändern.

Eine **Fall-Kontroll-Studie** schließlich vergleicht die Exposition und andere Einflussfaktoren bei Erkrankten (Fälle) mit nicht Erkrankten (Kontrollen).

3.2.1 Expositions-Wirkungs-Beziehungen

Ziel all dieser Studien ist es in der Regel, **Expositions-Wirkungs-Beziehungen** zu finden, also den Zusammenhang einer zunehmenden Höhe des Lärmpegels mit der Zunahme von Erkrankungen oder Belästigungen. Studien, die nur zwei Einzelsituationen miteinander vergleichen (exponiert versus nicht exponiert), sind demgegenüber weniger aussagekräftig und zur Ableitung von Expositions-Wirkungs-Kurven ungeeignet.

Unabhängig von der Studienform hängt die Qualität der Aussagen nicht nur von der Güte der Expositionsdaten und der validen Charakterisierung der Gesundheitsendpunkte ab, sondern auch von der Qualität der Informationen zu anderen Einflussgrößen (Confoundern). Insbesondere ist zu unterscheiden zwischen der Verfügbarkeit dieser **Daten in individueller Form** und solchen in **aggregierter Form**. Letztere liegen häufig als Aussage über soziodemographische Merkmale vor, etwa über den Anteil von Sozialhilfeempfängern oder Migranten in der Wohnortumgebung der Exponierten. Solche Studien, die auf aggregierte Daten zu Bewohnern eines

geographischen Gebiets zurückgreifen, bezeichnet man als **ökologische Studien**; dem einzelnen Exponierten wird der Mittelwert der Umgebung des Wohnorts zugeordnet. Ökologische Studien sind anfälliger für Verzerrungen als Studien, die mit Daten von Einzelpersonen arbeiten.

Um die Stärke des Expositions-Wirkungs-Zusammenhangs zu beschreiben, wird häufig das **relative Risiko** (Risk Ratio) verwendet. Darunter versteht man das Risiko für das Auftreten einer Wirkung beim Exponierten im Vergleich zum nicht (oder wenig) Exponierten. Diesem wird der Risikowert 1 zugewiesen. Ein relatives Risiko von 2 bedeutet also, dass bei der höheren Exposition das Risiko für das Auftreten der Wirkung 2-mal so hoch ist wie bei fehlender (oder niedriger) Exposition. Das relative Risiko wird in der Regel nach Korrektur (Adjustierung) für andere Einflüsse angegeben, das heißt nachdem die Beiträge anderer Faktoren zur Wirkung statistisch berücksichtigt worden sind.

Neben dem relativen Risiko werden weitere epidemiologische Maßzahlen wie Odds Ratio, Hazard Ratio usw. verwendet, die inhaltlich eine ähnliche Bedeutung haben.

3.2.2 Verzerrungsmöglichkeiten (Confounder)

Wie bereits angesprochen ist bei epidemiologischen Studien die Berücksichtigung von **Confoundern** sehr wichtig. Darunter versteht man Einflüsse, die ebenfalls zum Auftreten der untersuchten Krankheiten oder Beschwerden führen können und deren fehlende Berücksichtigung zu vorgetäuschten Zusammenhängen führen kann.

Ein Beispiel: Typische Confounder bei Umweltfragestellungen sind (neben Alter und Geschlecht) Lebensstilvariablen (beispielsweise Rauchen, Ernährung, körperliche Aktivität). Häufig gehen diese mit Sozialstatusvariablen (Ausbildung, Einkommen und weiteren) einher, denn wie die Erfahrung zeigt, weisen beispielsweise Personengruppen mit niedrigerem Einkommen im Mittel mehr Gesundheitsprobleme auf als andere Gruppen. Da die für diesen Personenkreis bezahlbaren Wohngegenden häufiger Umweltbelastungen ausgesetzt sind, kann ein Zusammenhang zwischen einer einzelnen Umweltbelastung wie Lärm und der Gesundheit vorgetäuscht werden. Wenn aber Angaben zum Confounder Sozialstatus vorliegen, kann dessen Einfluss bei der statistischen Auswertung berücksichtigt werden und Verzerrungen werden vermieden oder zumindest kontrolliert.

Der verzerrende Einfluss des Confounders ist stark, wenn der Zusammenhang zwischen dem Sozialstatus und der Umweltbelastung stark ist. Dennoch kann das Confounding auch hier eine Rolle spielen, wobei die jeweiligen lokalen Verhältnisse zu beachten sind. Jeder Flughafen mit seinem Umfeld hat zum Beispiel eine spezifische Historie, die die aktuelle Lärmwirkung beeinflusst.

Spezialfall Confounding durch andere Lärmquellen:

Wenn im Vergleich zum Flug-lärm andere Lärmformen wie Straßenverkehrslärm oder Schienenverkehrslärm eine ähnliche räumliche Verteilung aufweisen, sind diese anderen Lärmformen als Confounder anzusehen. Dadurch könnte ein Zusammenhang zwischen Fluglärm und einer Gesundheitsvariablen vorgetäuscht werden, obwohl in Wirklichkeit beispielsweise der Straßenverkehrslärm die Ursache wäre. Zur Bewertung dieses Sachverhalts sind epidemiologische Studien wichtig, die mehrere Lärmformen gleichzeitig berücksichtigt haben.

3.2.3 Kausalität und Assoziation in der Epidemiologie

Die Epidemiologie will zur Aufklärung von Krankheitsursachen beitragen und bedient sich dazu verschiedener statistischer Methoden. Eine festgestellte statistische Beziehung zwischen zwei Merkmalen muss jedoch noch keinen kausalen, ursächlichen Zusammenhang bedeuten. Man spricht daher, wenn eine Beziehung statistisch besteht, aber (noch) nicht kausal interpretiert werden kann, von einer „**Assoziation**“ von Merkmalen.

Eine Assoziation von Merkmalen stellt zunächst nur einen Hinweis auf einen möglichen kausalen Zusammenhang dar, den es zu bestätigen oder zu widerlegen gilt. Um den „kausalen Gehalt“ von epidemiologischen Beobachtungen abzuschätzen, kann man sich an den **Kausalitätskriterien** nach HILL (1965) orientieren:

1. **Stärke der Beziehung** – Kann eine schwache Assoziation eher durch Zufall entstanden sein?
2. **Konsistenz der Beziehung** – Ist die Beziehung in anderen Studien, Populationen und unter verschiedenen Bedingungen wiederzufinden?
3. **Spezifität des Effekts** – Ist der Effekt klar abgrenzbar?
4. **Zeitliche Sequenz** – Ist die Reihenfolge Exposition – Krankheit gegeben?
5. **Expositions-Wirkungs-Beziehung** – Gibt es eine höhere Wirkung bei höherer Exposition?
6. **Biologische Plausibilität** – Ist die Kausalbeziehung biologisch plausibel?
7. **Kohärenz** – Steht ein angenommener Zusammenhang im Widerspruch zum aktuellen Wissensstand von Ätiologie und Pathogenese der Erkrankung?
8. **Experimentelle Evidenz** – Eine neue Hypothese sollte prüfbar sein. Ist eine solche Prüfung durchgeführt worden?
9. **Analogie mit ähnlichen Kausalzusammenhängen** – Gibt es ähnliche Kausalzusammenhänge bei ähnlichen Sachverhalten?

Zusätzlich wird häufig noch ein weiteres Kriterium verwendet:

10. **Reversibilität** – Ist eine Reduktion der Exposition mit einer Reduktion der Erkrankungshäufigkeit assoziiert?

Diese Liste wird oft missverstanden und als „Checkliste“ betrachtet. Nach Hill sollten diese Kriterien aber nicht als starre Regeln verwendet werden, sondern dazu dienen, angenommene Kausalitäten kritisch zu überdenken. Insbesondere sagt die Stärke einer statistischen Korrelation nicht immer etwas über den kausalen Charakter eines Zusammenhangs aus, sondern kann beispielweise auch ein Hinweis auf einen „Confounder“, eine den beiden korrelierenden Merkmalen gemeinsame Ursache, sein.

3.2.4 Laborstudien

Experimentelle Studien im Labor zu den Auswirkungen von Fluglärm auf verschiedene physiologische und psychologische Funktionsbereiche werden in der Regel konzipiert, um gezielt spezifische wissenschaftliche Fragen zu beantworten, etwa: Wie wirkt sich Fluglärm einer bestimmten Intensität auf das kurzfristige Speichern von Informationen aus? Laborstudien haben den Vorteil, dass sie die Kontrolle von Störeinflüssen, die das Ergebnis beeinflussen könnten, ermöglichen. Die einfachste Variante eines Experiments ist die sogenannte Experimental-Kontrollgruppen-Untersuchung. Hier gibt es nur zwei Untersuchungsbedingungen: eine Ruhebedingung (Kontrolle) und eine Beschallungsbedingung. Bei den Probanden werden Variablen gemessen, die sich aus der Fragestellung des Experimentes ergeben, beispielsweise die Gedächtnisleistung. Stellt sich am Ende der Untersuchung heraus, dass die Gedächtnisleistungen der Probanden unter der Beschallungsbedingung geringer ausfallen als in der Kontrollgruppe, kann aufgrund der Konstanthaltung aller übrigen (Stör-)Einflüsse davon ausgegangen werden, dass der Lärm **ursächlich** für die Verschlechterung der Gedächtnisleistung verantwortlich ist. Dies gilt allerdings nur dann, wenn die Probanden in Experimental- und Kontrollgruppe vergleichbar sind. Technisch wird dies durch die sogenannte Randomisierung erreicht, das heißt, die Probanden werden per Zufall einer der beiden Untersuchungsbedingungen zugewiesen. Aus statistischer Sicht führt dies dazu, dass die individuellen Besonderheiten der Personen in beiden Gruppen gleichwahrscheinlich auftreten und die Gruppen damit vergleichbar sind.

Das Randomisierungsprinzip führt zu umso verlässlicheren Ergebnissen, je mehr Personen zur Verfügung stehen, die auf die beiden Gruppen verteilt werden können. Die Vergleichbarkeit der Gruppen kann geprüft werden, indem zu Beginn der Untersuchung, also vor der Beschallung, die Gedächtnisleistung in beiden Gruppen gemessen wird. Eine Vergleichbarkeit liegt vor, wenn sich die Gedächtnisleistungen in Experimental- und Kontrollgruppe nicht bedeutsam voneinander unterscheiden.

Eine Besonderheit von Laborstudien ist – mit wenigen Ausnahmen –, dass nur wenige Abstufungen der Lärmbelastung realisiert werden, etwa eine Ruhebedingung und zwei unterschiedlich ausgeprägte Lärmbelastungsstufen. Expositions-Wirkungs-Beziehungen mit vielen unterschiedlichen Belastungsstufen können aufgrund der notwendigen Zahl an Probanden und des damit verbundenen finanziellen Aufwandes nur selten realisiert werden. Die typische Dauer einer einfachen laborexperimentellen Studie bewegt sich zwischen ein und zwei Stunden und kann damit nur einen Ausschnitt der Alltagsrealität darstellen. Allerdings wird in der Regel versucht, diesen Realitätsausschnitt repräsentativ zu gestalten; die Geräusche werden wie in den epidemiologischen Studien (Feldstudien) durch die entsprechenden Maßzahlen wie den L_{eq} , den Maximalpegel einzelner Überflüge, deren Dauer und Häufigkeit charakterisiert. Ausnahmen bilden Schlafstudien im Labor, in denen sich die Untersuchung über die normale Schlafdauer erstreckt. Hier können die Bedingungen so hergestellt werden, dass sie nächtlichen Beschallungssituationen unter Alltagsbedingungen weitgehend entsprechen. Die Anzahl der Testpersonen in einer laborexperimentellen Untersuchung hängt von der Zahl der experimentellen Bedingungen ab und umfasst in der Regel nicht mehr als 120 bis 130 Probanden; in den allermeisten Fällen sind die Stichprobenumfänge jedoch deutlich geringer.

3.3 EMPFINDLICHE GRUPPEN GEMÄSS WHO (2009)

Kinder haben eine höhere Aufwachschwelle als Erwachsene und werden deshalb oft als weniger empfindlich gegenüber Nachtlärm angesehen. Andere mögliche Effekte des Fluglärms wie zum Beispiel Störungen beim Erwerb der Lesefähigkeit betreffen nur Kinder. Diese sind also in diesem Bereich als empfindliche Subgruppe einzustufen. Weil mit zunehmendem Alter die Schlafphasen weniger stabil sind, sind ältere Menschen empfindlicher gegenüber Störungen, ebenso wie Schwangere und Kranke, die deshalb ebenfalls als Risikogruppen anzusehen sind. Aufgrund ihres gestörten Schlaf-Wach-Rhythmus durch die Schichtarbeit gehören auch Schichtarbeiter dazu.

3.4 GRUNDBEGRIFFE DER STATISTIK

Für das Verständnis der in diesem Text vorgenommenen Bewertungen von epidemiologischen oder experimentellen Studien zum Fluglärm ist es wichtig, die Bedeutung einiger statistischer Grundbegriffe richtig einordnen zu können. Die Studien sind dahingehend bewertet worden, ob (1) der Zusammenhang zwischen der Untersuchungsgröße und dem Fluglärm „statistisch signifikant“ war und (2) wie stark der Effekt des Fluglärms auf die Untersuchungsgröße war. Daher wird im Folgenden der Begriff „statistische Signifikanz“ erläutert, und es werden die verschiedenen Maße beschrieben, die im Text verwendet werden, um die Stärke des Effekts zu beschreiben.

Statistische Signifikanz

Ergebnisse werden als statistisch signifikant bezeichnet, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass sie durch Zufall zustande gekommen sind, unterhalb einer bestimmten Grenze liegt. Oft ist diese Grenze auf fünf Prozent festgelegt. Ist also die Wahrscheinlichkeit, dass die Ergebnisse zufällig zustande gekommen sind, kleiner als fünf Prozent, darf man ein Ergebnis als statistisch signifikant bezeichnen. Als sehr statistisch signifikant oder auch hoch statistisch signifikant darf man ein Ergebnis dann bezeichnen, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass die Ergebnisse zufällig sind, kleiner als ein Prozent ist. Ob ein Ergebnis statistisch signifikant ist, hängt davon ab, wie stark ausgeprägt der Effekt ist, wie stark die einzelnen Messungen innerhalb der Gruppen streuen und wie groß der Umfang der untersuchten Gruppen ist. Daher kann man nicht aus einer „statistischen Signifikanz“ auf die Stärke des Effektes rückschließen. Werden sehr viele Messungen gemacht, so kann auch ein kleiner, eher unbedeutender Effekt „statistisch signifikant“ sein. Andererseits kann aber auch ein sehr großer Effekt „statistisch nicht signifikant“ sein, es kann also die Hypothese nicht abgelehnt werden, dass er durch Zufall entstanden ist, wenn nur sehr wenige Messungen gemacht wurden oder diese sehr stark streuen. Für die Bewertung eines Studienergebnisses sind also immer zwei Kriterien wichtig (1) die statistische Signifikanz und (2) die Stärke des Effektes.

Maße für die Effektstärke

Die meisten Studien in der Fluglärmforschung gehen davon aus, dass in dem beobachteten Expositionsbereich ein linearer Zusammenhang zwischen der Exposition (z. B. Lärm in dB(A)) und den Untersuchungsgrößen (z. B. Blutdruckanstieg) besteht. Dann ist die Änderung der Untersuchungsgröße pro Einheit der Exposition (z. B. also Blutdruckanstieg pro Erhöhung des Lärms um 1 dB(A)) ein Maß für die absolute Effektstärke. Sehr häufig wird allerdings die Effektstärke nicht pro 1 dB(A), sondern pro 10 dB(A) angegeben.

Je nach Skala, in der die Untersuchungsgröße gemessen wird, wird die Änderung der Untersuchungsgröße im Wesentlichen auf drei verschiedene Weisen unterschiedlich angegeben:

- Die Untersuchungsgröße ist *quantitativ* (beispielsweise Scorepunkte der Leseleistung):
Die Änderung der Untersuchungsgröße wird als gewichtete Differenz der Scorepunkte pro 10 dB(A) höherer Fluglärm beschrieben. Diese Differenz wird statistisch auch als Regressionskoeffizient bezeichnet, insbesondere dann, wenn weitere Größen in der Analyse berücksichtigt wurden. Wenn diese Differenz kleiner als Null ist, so deutet dies auf eine Beeinträchtigung der Leseleistung durch Fluglärm hin.
- Die Untersuchungsgröße ist *binär* (hat nur zwei Ausprägungen) und in der Bevölkerung nicht häufig (beispielsweise Herzinfarkte in einem Jahr):
Die Änderung der Untersuchungsgröße wird als relatives Risiko (im Beispiel für einen Herzinfarkt) pro 10 dB(A) höherer Fluglärm beschrieben. Wenn das relative Risiko über 1 liegt, so würde dies eine Erhöhung des Herzinfarkttrisikos durch Fluglärm anzeigen.
- Die Untersuchungsgröße ist *binär* und in der Bevölkerung häufig (beispielsweise erhöhter Blutdruck):
Die Änderung der Untersuchungsgröße wird als Odds Ratio (Chancenverhältnis) – im Beispiel für erhöhten Blutdruck pro 10 dB(A) höherer Fluglärm – angegeben. Wenn das Odds Ratio über 1 ist, so würde dies eine Erhöhung der Chance, erhöhten Blutdruck bei höherem Fluglärm zu haben, anzeigen.

Zur Verdeutlichung wird im Folgenden die Berechnung dieser Maße im einfachsten Falle, wenn keine weiteren Einflussgrößen zu berücksichtigen sind, aufgezeigt:

Quantitative Untersuchungsgröße Leseleistung

Es werden gleich viele Kinder in den beiden Fluglärmgruppen untersucht, und die Streuung der Scorepunkte in beiden Gruppen sei gleich:

	Mittlere Leseleistung in Scorepunkten
Fluglärm x + 10 dB(A)	P
Fluglärm x	Q

Die **Differenz** der Scorepunkte $p - q$ ist das Maß für die Effektstärke und gibt damit an, wie sich die mittlere Leseleistung ändert, wenn der Fluglärm 10 dB(A) höher ist.

Binäre Untersuchungsgröße **Herzinfarkt** (in der Bevölkerung selten); a, b, c, d sind die Anzahlen in den einzelnen Gruppen

	Herzinfarkt ja	Herzinfarkt nein	Summe
Fluglärm x + 10 dB(A)	a	b	a + b
Fluglärm x	c	d	c + d
Summe	a + c	b + d	a + b + c + d

Das **relative Risiko** berechnet sich aus $[a/(a+b)] / [c/(c+d)]$, also als Verhältnis der Risiken für Herzinfarkt unter Fluglärm x + 10 dB(a) und Fluglärm x.

Binäre Untersuchungsgröße **Blutdruck** erhöht (in der Bevölkerung häufig); a, b, c, d sind die Anzahlen in den einzelnen Gruppen

	Blutdruck erhöht	Blutdruck normal	Summe
Fluglärm x + 10 dB(A)	a	b	a + b
Fluglärm x	c	d	c + d
Summe	a + c	b + d	a + b + c + d

Das **Odds Ratio** berechnet sich aus: $[a/b] / [c/d]$ also als Verhältnis der Chancen, unter Fluglärm x + 10 dB(A) bzw. Fluglärm x erhöhten Blutdruck zu haben.

Bei kleinen Risiken sind relatives Risiko und Odds Ratio nahezu identisch.

Natürlich ist der Fluglärm nie die einzige Ursache für die Variation in den Untersuchungsgrößen. Um daher die relative Bedeutsamkeit des Fluglärms einschätzen zu können, werden häufig auch die Effektstärken von weiteren Einflussgrößen angegeben, die in der gleichen Studie beobachtet wurden.

Konfidenzbereich für die Effektstärke

Es ist keineswegs ausreichend, zur Beschreibung eines Ergebnisses ausschließlich die Effektstärke anzugeben. Es muss noch eine zusätzliche Angabe über die Sicherheit des Effektes gemacht werden. Meist wird neben der Effektstärke zusätzlich das 95 %-Konfidenzintervall angegeben, also das Intervall, in dem mit 95 Prozent Wahrscheinlichkeit die wahre Effektstärke liegt. Je größer dieses Intervall ist, umso unsicherer ist die wahre Effektstärke anzugeben. Schließt dieses Intervall den Null-Effekt mit ein, so ist das Ergebnis nicht signifikant. Die Verwendung von Konfidenzbereichen ist damit gleichwertig zu einer Angabe über die Signifikanz. Grundsätzlich sind verschiedenen Szenarien für Effektstärken und ihre Konfidenzbereiche möglich (fiktive Beispiele für den Zusammenhang zwischen Herzinfarkt und Fluglärm):

- a) Relatives Risiko pro 10 dB(A) 1,23 mit 95 %-Konfidenzbereich 1,05 - 1,59:
Das Ergebnis zeigt einen positiven Zusammenhang zwischen Herzinfarkt und Fluglärm. Mit 95 Prozent Wahrscheinlichkeit liegt die wahre Effektstärke zwischen 1,05 und 1,59, das Ergebnis ist statistisch signifikant, da die 1 (= kein Effekt) nicht im Intervall der wahren Effektstärken enthalten ist.
- b) Relatives Risiko pro 10 dB(A) 1,23 mit 95 %-Konfidenzbereich 0,80 - 1,89:
Das Ergebnis zeigt einen positiven Zusammenhang zwischen Herzinfarkt und Fluglärm. Mit 95 Prozent Wahrscheinlichkeit liegt die wahre Effektstärke zwischen 0,80 und 1,89. Das Ergebnis ist nicht statistisch signifikant, da die 1 (= kein Effekt) im Intervall der wahren Effektstärken enthalten ist.
- c) Relatives Risiko pro 10 dB(A) 0,91:
Dieses Ergebnis würde einen protektiven Einfluss von Fluglärm auf den Herzinfarkt anzeigen (was allerdings medizinisch keinen Sinn machen würde). Auch dies kann wieder statistisch signifikant (Konfidenzbereich schließt die 1 nicht mit ein) oder statistisch nicht signifikant sein (Konfidenzbereich schließt die 1 mit ein).

4 BEWERTUNG DER STUDIEN ZUR WIRKUNG VON FLUGLÄRM

Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept

Als genereller theoretischer Rahmen zur Einordnung der Wirkungen von Fluglärm bietet sich das ursprünglich im Bereich der Arbeitsmedizin entwickelte Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (Rohmert und Rutenfranz, 1975) an. Unter Belastung werden dabei alle von außen auf den Menschen einwirkenden Reize verstanden, die in der Lage sind, eine Reaktion im Organismus auszulösen. Beanspruchung dagegen bezieht sich auf alle im menschlichen Organismus stattfindenden Prozesse, die als Folge einer Belastung auftreten. Ein wesentlicher Aspekt des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts ist, dass mit der Zunahme einer Belastung nicht automatisch eine proportionale Zunahme der Beanspruchung verknüpft ist, sondern dass, je nach individuellen Voraussetzungen (z. B. Empfindlichkeit, Müdigkeit), die Höhe des Belastungs-Beanspruchungs-Zusammenhangs sehr unterschiedlich ausfallen kann. Für die vorliegenden Betrachtungen ist im Sinne dieser Konzeption Fluglärm als Belastung aufzufassen und führt beim Menschen zu Beanspruchungen, also physiologischen, psychologischen und medizinischen Wirkungen.

Das Stresskonzept

Sofern die Beanspruchung mit einem negativen emotionalen Zustand einhergeht, wird von Stress gesprochen. Allerdings wird der Begriff „Stress“ im Alltag sehr strapaziert und zur Charakterisierung verschiedenster Beanspruchungsreaktionen und -folgen herangezogen. Aus wissenschaftlicher Sicht wird erst von Stress gesprochen, wenn:

1. spezifische Aspekte einer Belastungssituation in ihrer Intensität über das Übliche hinausgehen (z. B. hohe Pegel bei Überflügen),
2. die Belastungssituation negativ bewertet und als Bedrohung erlebt wird,

3. die Belastung als nicht beeinflussbar wahrgenommen wird und
4. die situativen (Einzel-)Ereignisse für den Betroffenen unvorhersehbar eintreten.

Aus dieser wissenschaftlichen Definition von Stress wird deutlich, dass die Entstehung von Stress im Zusammenhang mit Fluglärm nicht nur vom physikalisch definierbaren Pegel des Fluggeräusches abhängt, sondern von einer Reihe weiterer psychologischer Faktoren. Eine Flugbewegung, deren Geräusch sich vom Hintergrund abhebt und die als bedrohlich, nicht beeinflussbar und unerwartet erlebt wird, kann damit auch schon bei einem geringen Pegel Stress auslösen. Umgekehrt führt ein Ereignis mit einem hohen Schallpegel (z. B. Open Air-Konzert) zu keiner Stressreaktion, wenn die Bedingungen „negative Bewertung“, „Unkontrollierbarkeit“ und „Unvorhersehbarkeit“ nicht gegeben sind.

Bei den psychologischen Aspekten ist zu berücksichtigen, dass diese nicht einem „Alles-oder-Nichts-Prinzip“ gehorchen, sondern – je nach Situation und betroffener Person – graduell abgestuft auftreten können. Eine Situation kann in ihrem Bedrohungscharakter unterschiedlich intensiv erlebt werden; ebenso kann die Unsicherheit über das Eintreten eines Ereignisses zwischen völlig überraschend und völlig vorhersehbar schwanken. Je nach Ausprägung dieser einzelnen Faktoren sind unterschiedliche Folgen, das heißt Stressreaktionen zu erwarten. So kann als bedrohlich erlebter Fluglärm, der als nicht beeinflussbar wahrgenommen wird, zu einem Gefühl der Resignation und Hilflosigkeit führen. Kommt der Betroffene dagegen zu dem Schluss, dass er der Situation nicht völlig ausgeliefert ist, wird er Strategien entwickeln und Energien mobilisieren, um gegen die Beeinträchtigung vorzugehen. Bei gleichem Lärmpegel wird daher die Stressreaktion im einen Fall passiven, im anderen Fall aktiven Charakter haben.

Die verschiedenen Prozesse auf physiologischer Ebene und die beschriebenen psychologischen Vorgänge beeinflussen sich wechselseitig. So zeigen neuere Studien (Koolhaas et al., 2011), dass die Ausschüttung von Stresshormonen von den jeweiligen Ausprägungen der oben genannten Faktoren abhängt. Hinzu kommt, dass die Hormonausschüttung je nach Konstellation spezifische zeitliche Eigenheiten aufweist, was die Frage nach dem bestgeeigneten Zeitpunkt für die jeweilige Messung der stressbezogenen Hormonkonzentration aufwirft. Auch wenn die Zusammenhänge hier noch nicht völlig verstanden sind, ist klar, dass einfache Annahmen über den Zusammenhang zwischen der Höhe des Fluglärmpegels und einer Stressreaktion zugunsten komplexerer Expositions-Wirkungs-Beziehungen aufgegeben werden müssen. Dies zeigt sich in der Befundlage bei Studien, die sich mit den Auswirkungen von Fluglärm auf die Ausschüttung von Stresshormonen beschäftigen.

Im Zusammenhang mit der Zielsetzung des vorliegenden Berichts führt die aktuelle Standortbestimmung der Stressforschung insofern zu einer gewissen Schwierigkeit, als dass die Forschungsliteratur nach direkten Zusammenhängen zwischen physikalisch definierter Fluglärmbelastung und Stressreaktionen (psychische beziehungsweise körperliche Beeinträchtigungen) durchforstet wird; dabei werden von den Autoren der wissenschaftlichen Studien vielfach stark vereinfachte Annahmen über die Wirkmechanismen unterstellt. Die überholte wissenschaftliche Grundannahme hierbei ist, dass Menschen Organismen sind, die im Sinne einer einfachen Reiz-Reaktions-Beziehung auf die Lärmbelastung reagieren. Für einige Bereiche wie zum Beispiel Weckschwellen oder Ablenkung gelten solche einfachen Beziehungen in der Form „je höher der Lärmpegel, desto stärker die Reaktion“ tatsächlich. Jedoch spätestens bei der Betrachtung der Auswirkungen von Lärm in Form von Stressreaktionen gilt dieser einfache Wirkmechanismus nicht mehr, da individuelle Bewertungen und Einschätzungen der Lärmsituation eine Rolle spielen (siehe oben). Versucht man diese individuellen Faktoren herauszurechnen, um die „reine“ Wirkung des Lärms im Sinne einer Reiz-Reaktions-Beziehung zu identifizieren, stößt man auf Schwierigkeiten, weil die Effekte zusammenbrechen oder uneinheitlich werden. Die Lärmliteratur ist voll von solchen Befunden. Im Hinblick auf die von den Verfassern dieses Berichts durchforstete Literatur zu den Auswirkungen von Fluglärm sollte der Leser sich dieser Problematik bewusst sein.

In der wissenschaftlichen Literatur werden Stressreaktionen als Wirkungen von Fluglärm unter verschiedenen Fachgebieten thematisiert. Auf der einen Seite sind physiologische Auswirkungen wie die Ausschüttung von Stresshormonen (Adrenalin, Noradrenalin, Cortisol) sowie Veränderungen der Herz-Kreislauf- und Schlafregulation Gegenstand der Untersuchungen. Auf der anderen Seite werden Stressreaktionen unter einer psychologischen Perspektive als Befindlichkeitsstörungen betrachtet (subjektiv eingeschätzter Gesundheitszustand, psychosomatische Beschwerden, Belästigung).

Neben den physiologischen und psychologischen Stressreaktionen auf Belastungen durch Fluglärm existieren weitere Beanspruchungen und Beanspruchungsfolgen. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um kognitive Leistungen wie Denk- und Lernprozesse, die durch charakteristische Schalleigenschaften des Fluglärms möglicherweise beeinträchtigt werden.

Im Folgenden werden die Wirkungen von Fluglärm als Beanspruchungen und Beanspruchungsfolgen in separaten Abschnitten behandelt, wobei die wichtigsten Einzelstudien besprochen werden.

4.1 BELÄSTIGUNG

4.1.1 Was ist Belästigung?

Das Empfinden von Lärm als Belästigung ist eine subjektive, emotional-negative Reaktion auf unerwünschte Geräusche. Eine Befragung von Lärmforschern aus verschiedenen Ländern durch Guski, Felscher-Suhr und Schuemer (1999) ergab Assoziationen mit den Begriffen Ärger, Störung und Unangenehmheit. Auf die Nerven gehen, Aktivitäten stören und gereizt werden/sein wurden ebenfalls genannt. Die Lärmforscher waren uneins darüber, welcher der genannten Begriffe der Lärmbelästigung am nächsten steht.

Insgesamt wurden 131 Veröffentlichungen begutachtet. 5 davon waren außer dem Fachgebiet Belästigung noch weiteren Fachgebieten zugeordnet.

4.1.2 Messung von Belästigung

Lärmbelästigung wird meist direkt erfragt mit Ratingskalen, von denen die des Team 6 der International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN) die aktuell am häufigsten verwendete ist. Sie lautet:

„Wenn Sie einmal an die letzten 12 Monate hier bei Ihnen denken, wie stark haben Sie sich durch den Fluglärm insgesamt gestört oder belästigt gefühlt? Haben Sie sich äußerst gestört oder belästigt (5), stark (4), mittelmäßig (3), etwas (2) oder überhaupt nicht gestört oder belästigt (1) gefühlt?“

Die genannte Frage sowie die Skala von „überhaupt nicht“ bis „äußerst“ belästigt sind international standardisiert und bieten somit die Möglichkeit für direkte Vergleiche der Belästigungsdaten verschiedener Studien. Eine internationale Standardisierung der Belästigungserhebung war ein großer Fortschritt, da Skalencharakteristika die Belästigungsurteile nachweislich beeinflussen können (Janssen et al., 2011). Darüber hinaus empfinden Befragte die Abstände auf dieser Skala als annähernd gleich. Der Schritt von „überhaupt nicht“ zu „etwas“ ist beispielsweise in der Vorstellung der Befragten vergleichbar mit dem Schritt von „etwas“ zu „mittelmäßig“. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Mittelung von Urteilen über verschiedene Personen. Die ICBEN-Frage erfasst spezifisch und unmittelbar die Belästigung durch Lärm. Einzelne Studien (z. B. Job et al., 2001; Kroesen und Schreckenberger, 2011) geben jedoch zu bedenken, dass die alleinige Betrachtung der Belästigung die psychologische Lärmwirkung unterschätzen könnte.

Außer der Belästigung sind spezifischere Lärmwirkungen, wie etwa die Störungen von Alltagstätigkeiten (z. B. Fernsehen, Telefonieren), zu beachten und auch allgemeinere wie beispielsweise die (Wohn-)Zufriedenheit. Sie alle hängen zwar mit der Belästigung zusammen, sind aber nicht mit ihr gleichzusetzen. Die zuletzt genannten Autoren stellen daher die Bedeutung von Befragungsinstrumenten heraus, die sich auf weniger spezifische Bewertungen wie etwa die allgemeine Unzufriedenheit mit der Lärmsituation beziehen. Zukünftige Veröffentlichungen werden zeigen, inwieweit spezifische Belästigungsfragen durch Fragen zu unspezifischen psychologischen Lärmwirkungen sinnvoll ergänzt werden können.

Mehr oder weniger standardisierte, direkte Fragen zur Belästigungserhebung wurden in der Vergangenheit in Fragebogen, in persönlichen und telefonischen Interviews gestellt. Janssen et al. (2011) zeigten in ihrer Zusammenschau vieler Belästigungsstudien, dass persönliche Befragungen tendenziell niedrigere Belästigungswerte ergeben als anonyme per Fragebogen. Belästigungsurteile aus persönlichen und telefonischen Interviews variieren dagegen kaum. Zunehmend werden Befragungen über digitale Endgeräte durchgeführt. Ob diese Methode gegenüber den traditionellen einen Unterschied macht, wird sich in den nächsten Jahren zeigen.

Als indirekte Kennzahl der Belästigung in der Bevölkerung wurde auch die Häufigkeit der Beschwerden verwendet. Hume, Morley, Terranova und Thomas (2002) sowie Nykaza, Hodgdon, Trent, Krecker und Luz (2013) konnten zeigen, dass Beschwerdeführer statistisch signifikant höhere Belästigungswerte angeben als ihre Nachbarn. In allen Studien dieser Art wurde deutlich, dass wenige Vielbeschwerdeführer eine überproportional große Zahl von Beschwerden generieren. Somit kann die Häufigkeit von Beschwerden allein nur bedingt Auskunft über die Belästigung in der Bevölkerung geben. Anlassbezogene, konkrete Einzelbeschwerden über Fluglärm können dagegen, wenn sie plötzlich gehäuft auftreten, wertvolle Informationen enthalten über außergewöhnliche Ereignisse wie etwa Abweichungen vom Flugpfad oder Verletzungen eines Nachtflugverbots.

4.1.3 Expositions-Wirkungs-Kurven

Lärmbelästigung entsteht aus einer Vielzahl von Bewertungen. Die Geräuschsituation geht in das Urteil ein, aber auch das Verhalten des Lärmverursachers und der zuständigen Behörden. Trotzdem hat sich die Lärmbelästigungsforschung in der Vergangenheit überwiegend darauf beschränkt, Lärmbelästigung ausschließlich als Ergebnis von Dauerschallpegeln zu betrachten.

Ziel war es, Expositions-Wirkungs-Kurven aufzustellen, um daraus Schutzbereiche zu definieren und den Anteil der Bevölkerung, die sich durch Lärm belästigt fühlt, möglichst klein zu halten. Expositions-Wirkungs-Kurven beschreiben den Zusammenhang zwischen Lärm und Lärmbelästigung anhand mathematischer Modelle. Ein Expositionsmaß für Verkehrslärm wird in einem Koordinatensystem als X-Wert aufgetragen, während die Wirkung in der Bevölkerung in Form von berichteter Lärmbelästigung auf der Y-Achse dargestellt wird. Häufig wird dazu der Anteil hochbelästigter Personen (% Highly Annoyed, % HA) angegeben. Als hochbelästigt werden die Personen definiert, die auf die oben beschriebene ICBCN-Frage „stark“ oder „äußerst“ belästigt antworten. Die folgende Abbildung zeigt die Fluglärm-Expositions-Wirkungs-Kurve der Europäischen Kommission (EC, 2002).

Prozent Hochbelästigter in Abhängigkeit vom Fluglärm-Mittelungspegel

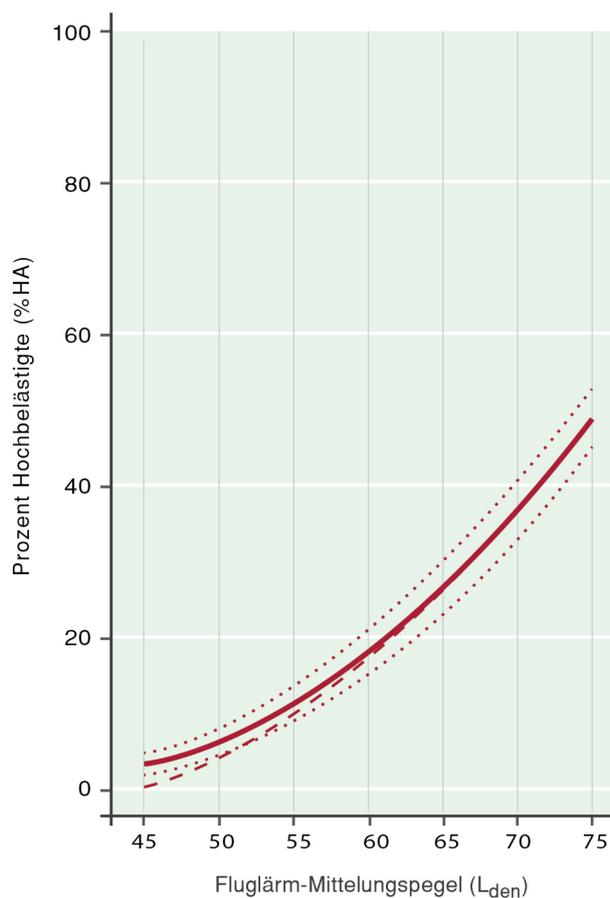


Abb. 8: aus EC (2002): Prozent Hochbelästigter (% Highly Annoyed) als Funktion des Fluglärm-Mittelungspegels L_{den} (day evening night)
Quelle: Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, EC (2002), S. 10

Schultz (1978) beschrieb die Expositions-Wirkungs-Beziehung erstmals in Form einer Potenzfunktion dritter Ordnung. Dieser kurvenförmigen Beschreibung nach erhöht sich mit steigendem Schallpegel auch die Anzahl an hochbelästigten Personen. Obwohl die elf in seiner Analyse verwendeten Umfragen aus unterschiedlichen Ländern stammten, wiesen sie erstaunliche Konsistenz auf. Bereits in dieser Veröffentlichung aus dem Jahr 1978 wurde aber darauf hingewiesen, dass die Korrelation zwischen Dauerschallpegel und individueller Belästigung mit einem Korrelationskoeffizienten zwischen 0,3 und 0,4 schwach ist. Belästigung kann demnach nur zu 9 bis 16 Prozent mit dem mittleren Schallpegel erklärt werden.

Auf diese Pionierarbeit folgten zahlreiche weitere Untersuchungen, welche den Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und Belästigungsreaktion analysierten (siehe Fidell et al., 1991, Finegold et al., 1994, Miedema und Vos, 1998, Miedema und Oudshoorn, 2001). Miedema und Vos (1998) fanden für verschiedene Verkehrsquellen (Bahn-, Straßen- und Flugverkehr) unterschiedliche Expositions-Wirkungs-Kurven. Derzeit ist die Veröffentlichung von Miedema und Oudshoorn (2001) Grundlage der europäischen Lärmschutzpolitik. Sie basiert auf Daten von Lärmwirkungsstudien der Jahre 1965 bis 1993 in verschiedenen Ländern. Aktuelle Daten weichen statistisch signifikant von der Miedema-Kurve ab. Als Grund dafür wurde eine mögliche Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber Lärm diskutiert, jedoch fanden Janssen et al. (2011) in ihrer Übersichtsarbeit dafür keinen Beweis. Die NORAH-Studie (2015) hat speziell auch diesen Aspekt erfasst und konnte nachweisen, dass bei gleicher Lärmexposition die Belästigung bei Personen mit einer kritischen Einstellung höher war als bei Personen mit einer neutralen Einstellung. Höhere Ansprüche an Wohn-/Umweltqualität könnten ebenso wie Veränderungen der Intensität, zeitlichen Struktur und Abfolge der Einzelschallereignisse – heute ist jedes einzelne Lärmereignis wesentlich leiser als in den Jahren 1965 bis 1993, dafür gibt es wesentlich mehr – mit dafür verantwortlich sein. Die NORAH-Studie (2015) erlaubte ebenfalls die Erstellung von Expositions-Wirkungs-Kurven für die subjektive Belästigung. Die Expositions-Wirkungs-Kurven wurden 2011, 2012 und 2013 erhoben und im Längsschnitt verglichen. Es zeigte sich, dass die Belästigung über die Zeit zugenommen hat und höher als in früheren Studien war.

4.1.4 Akustische und nicht-akustische Faktoren

Guski ging bereits in den 1970er Jahren (s. Finke et al., 1975 oder Guski, 1999) davon aus, dass maximal ein Drittel der Belästigungsreaktion durch die akustischen Faktoren aufgeklärt werden kann, auf die sich die Forschung bisher konzentrierte. Der geringe Zusammenhang zwischen Dauerschallpegel und individueller Belästigung wurde bereits oben thematisiert und über die Zeit immer wieder bestätigt (z. B. bei Brink, Wirth, Schierz et al., 2004).

Eine Schwäche des Dauerschallpegels ist die schlechtere Abbildung der Lärmcharakteristik (Lärmpausen, Abstand zum Maximalpegel usw.), der zeitlichen Struktur und Abfolge der Einzelgeräusche. Quehl und Basner (2006) konnten zeigen, dass entweder mit steigendem Maximalpegel oder mit steigender Häufigkeit der Lärmereignisse der Anteil nachts durch Fluglärm belastigter Personen stieg. Bei einer Lärmbelastung von 128 Schallereignissen mit jeweils 55 dB(A) fühlte sich der größte Anteil der Befragten belastigt (76 Prozent belastigt an). Die gleiche mittlere Schallenergie, nämlich vier Überflüge mit Maximalpegeln von 70 dB(A), ergab einen deutlich geringeren Anteil belastigter Personen. Insgesamt ist die Datenbasis für den Einfluss anderer Expositionsmaße als des Dauerschallpegels auf die Belästigung nicht nur in älteren, sondern auch in jüngeren Belästigungsstudien lückenhaft. Erkenntnisse aus den 1980er und 1990er Jahren zum Effekt von Anzahl und Spitzenpegeln der Fluglärmereignisse (siehe z. B. Rylander und Bjoerkman, 1997) können heutzutage aufgrund der veränderten Struktur der Fluglärmexposition nicht mehr als valide Grundlage dienen. Die Ergebnisse von Bartels (2014) geben jedoch Hinweise darauf, dass die Anzahl der Fluglärmereignisse auf die Belästigung einen größeren Einfluss hat als der energieäquivalente Dauerschallpegel. Intensität, zeitliche Struktur, Anzahl und Abfolge der Einzelgeräusche sollten demnach zukünftig stärker in die Lärmbelastungsforschung integriert werden. Methoden dafür liegen vor, etwa als NAT65 – Numbers Above Threshold 65 dB(A), also Zählung der Lärmereignisse über 65 dB(A), Spitzenpegel L_{\max} oder SEL Sound Exposure Level, der die Schallenergie eines Lärmereignisses energieäquivalent bezogen auf eine Sekunde mittelt.

Mindestens ein weiteres Drittel der Variation in den Belästigungsurteilen geht mit nicht-akustischen (persönlichen, sozialen) Faktoren einher. Persönliche Faktoren sind beispielsweise Lärmempfindlichkeit, Angst vor Schäden, die die Lärmquelle verursachen könnte, persönliche Bewertungen der Situation und die Einschätzung, die belastende Situation bewältigen zu können. Zu den sozialen Faktoren zählen die allgemeine Bewertung der Lärmquelle, Vertrauen oder Misstrauen gegenüber den Verantwortlichen, die Entwicklung der Lärmquelle und die Erwartungen der Bewohner. Der Einfluss personenbezogener und sozialer Faktoren wurde bereits in mehreren Übersichtsarbeiten und Meta-Analysen aufgezeigt (z. B. Fields, 1993, Miedema und Vos, 1999).

Die Einstellung gegenüber der Lärmquelle hat starke Bezüge zur jeweiligen Lärmbelästigung (Job, 1988), das zeigen auch neuere Studien wie die von Schreckenberget al. (2010). Negative Erwartungen etwa nach einer Flughafenerweiterung, wirtschaftliche Erwartungen, Ängste und Vertrauen in die Verantwortlichen hängen bedeutsam mit der Lärmbelästigung zusammen. Wie bei den anderen Einflussfaktoren auch ist es schwierig, die Einstellung gegenüber der Lärmquelle von der Belästigung abzugrenzen.

In manchen Studien war die Einstellung eher beeinflusst von der Belästigungsreaktion, in anderen stellte sie einen Teil der Belästigungsreaktion dar. Der Zusammenhang ist wahrscheinlich wechselseitig: Die Einstellung zur Lärmquelle beeinflusst die Belästigung und die Belästigung wirkt auf die Einstellung. Die subjektive Überzeugung, die Lärmsituation vorhersagen oder selbst etwas an ihr ändern zu können, hat einen starken Einfluss auf das Empfinden von Lärmbelästigung. Hinweise hierfür geben Jue, Shumaker und Evans (1984): Bewohner, die resigniert hatten, waren über Fluglärm stärker verärgert als solche, die glaubten, die zukünftige Lärmsituation beeinflussen zu können. Wahrgenommene Kontrolle hat auch Einfluss auf die Akzeptanz von Lärmbekämpfungsmaßnahmen. Diese Befunde empfehlen offene, transparente, kompromissbereite, vertrauens- und respektvolle Kommunikation über Lärmprobleme, deren Entwicklung und Bekämpfung. Die NORAH-Studie zeigte ähnliche Ergebnisse. Insgesamt nahm die subjektive Belästigung gegenüber früheren Studien zu. Bewohner, die eine eher negative Einstellung gegenüber dem Fluglärm haben, zeigten sich stärker belästigt als andere Anwohner.

Der Wohnzufriedenheit kommt ebenfalls eine hervorgehobene Bedeutung zu, da sie als wichtiger Indikator für menschliches Wohlbefinden gesehen wird (Kroesen et al., 2010). Lärmbelastung durch Straßen oder Nachbarn ist ein starker Prädiktor für geringe Wohnzufriedenheit. Fluglärm hat demgegenüber nur schwache Vorhersagekraft für Unzufriedenheit mit der Wohnsituation (Kroesen et al., 2010). Zufriedenheit mit der Wohnsituation wiederum kann Lärmbelästigung kompensieren. Steigert man Wohnzufriedenheit durch z. B. Verbesserung der Infrastruktur, dann sind die Bewohner eher bereit, Lärm in Kauf zu nehmen. Dadurch kann das Belästigungsempfinden sinken (Schreckenberget al., 2010).

Die Demographie hat wenig Einfluss auf das Belästigungsurteil (Fields, 1993, Miedema und Vos, 1999). Hierzu zählen das Alter, das Geschlecht, sozialer Status, Einkommen, Bildungsniveau, Eigentumsverhältnis, Dauer des Wohnaufenthalts am aktuellen Wohnort. Eine persönliche positive Beziehung zur Lärmquelle, beispielsweise als Angestellter oder Nutzer des Flughafens, wirkt dagegen belästigungsmindernd.

Wie bei den Effekten personaler und sozialer Faktoren auf das Belästigungsurteil ist die Datenbasis für den Einfluss situativer Faktoren wie etwa des Vorhandenseins von passiven Schallschutzvorrichtungen im Haus, der Tageszeit und der Art der durch Lärm gestörten Tätigkeiten auf die Ausprägung der Belästigung noch lückenhaft.

Verändert sich die Lärmsituation, beziehungsweise wird erwartet, dass sich die Lärmsituation verschärfen wird, dann reagieren die Anwohner stärker als von der statischen Expositions-Wirkungs-Kurve vorhergesagt (Brown und van Kamp, 2009a, b, Brink, Wirth und Schierz, 2008). Bei einer Entlastung, zum Beispiel durch verlagerte Flugpfade, berichten die entlasteten Personen über Jahre weniger Belästigung

als die statische Expositions-Wirkungs-Kurve vorhersagte. Bei einer plötzlichen Lärmsteigerung, etwa bei Eröffnung einer neuen Startbahn, wird die Belästigung der zusätzlich Exponierten jahrelang höher sein als die statische Expositions-Wirkungs-Kurve vorhersagte. Diese sogenannten Überschussreaktionen sind bei steigenden Belastungen ausgeprägter als bei Entlastungen. Wie lange sie anhalten, ist nach derzeitigem Forschungsstand nicht genau geklärt. Diese Reaktion der Belästigung zeigte sich ebenfalls in der NORAH-Studie. Die subjektive Belästigung nahm in Frankfurt von 2011 über die Eröffnung der neuen Landebahn nach 2012 zu und war auch 2013 nach einer Gewöhnungsphase nicht auf den früheren Wert zurückgegangen.

Die Störung von Aktivitäten und dadurch bedingte Belästigung wird sowohl in Gebäuden als auch bei Außenaktivitäten berichtet. Kommunikation, Entspannung und Schlaf sind lärmsensible Tätigkeiten, deren Störung die Belästigung erhöht.

Die größte Herausforderung, das Beziehungsgeflecht von akustischen und nicht-akustischen Faktoren als Gesamtbild aufzudecken, erfüllte die Forschung bislang nur ausschnittsweise.

Fazit

Beginnend mit den ersten großen Fluglärmstudien in England Ende der 1960er Jahre und in Deutschland Anfang der 1970er Jahre wurden viele Studien zum Zusammenhang von Lärm und Belästigung veröffentlicht. Die NORAH-Studie in Frankfurt erfasste ebenfalls systematisch die subjektive Belästigung. Belastbare Expositions-Wirkungs-Kurven liegen aus einigen Studien mit hinreichend großen Stichproben und Kontrolle von Confoundern vor. Trotz dieser fast fünfzig Jahre Forschung sind Fragen offen, von denen die beiden wichtigsten im Folgenden andiskutiert werden.

4.1.5 Ausblick zur Lärmbelastigungsforschung

Wie können verschiedene Faktoren in ein Modell integriert werden, denen direkte Effekte auf die Belästigung oder indirekte – über die Beziehung von Lärm und Belästigung – zugeschrieben werden?

Es gibt kein umfassendes und **integriertes Modell mit direkten und indirekten Beziehungen akustischer, nicht-akustischer Faktoren und Belästigung**. Viele Studien deckten Zusammenhänge zwischen sozialen und personenbezogenen Faktoren einerseits und der Belästigung durch Lärm andererseits auf. Belastbare

Expositions-Wirkungs-Kurven konnten aus Studien abgeleitet werden, die über hinreichend große Stichproben und Kontrolle von Confoundern verfügten. Das komplexe und dynamische Beziehungsgeflecht zwischen akustischen, nicht-akustischen Faktoren und Belästigung blieb bisher jedoch weitgehend unklar, weil es an Längsschnittstudien und systemischen Ansätzen mangelt. Somit sind Vorhersagen aus statischen Expositions-Wirkungs-Kurven für bestimmte Situationen und Bevölkerungsgruppen mit großen Unsicherheiten behaftet. In einem komplexen und dynamischen Modell der Lärmbelästigung sollten die Beziehungen möglichst vollständig dargestellt und getestet werden. Dies geschah in der Vergangenheit nur ausschnittsweise. Auch wurden überwiegend unidirektionale und nicht reziproke Beziehungen zwischen der Belästigung und deren Einflussvariablen berücksichtigt. So kann beispielsweise Belästigung durch Lärm die Zufriedenheit mit der Wohnumgebung schmälern und umgekehrt Zufriedenheit mit der Wohnumgebung Belästigung durch Lärm kompensieren. Zur Testung solcher Modelle wären Pfadanalysen, Mehrebenen- und Strukturgleichungsmodelle sowie systemische, lösungsorientierte Ansätze geeignet. Frühe Versuche dafür gab es bei Taylor (1984), Guski (1999), Stallen (1999) und Kroesen et al. (2008) – sie müssen weiterentwickelt werden.

4.1.5.1 Was sind zukünftige Aufgaben der Lärmbelastigungsforschung?

Das komplexe und dynamische Beziehungsgeflecht von akustischen und nicht-akustischen Faktoren muss in Längsschnittstudien und mit systemischen Ansätzen erforscht werden, was bisher nur ausschnittsweise geschah. Unidirektionale Modelle sind zu einfach, in der Realität überwiegen Wechselwirkungen.

Während aktiver und passiver Schallschutz technisch und betrieblich in Deutschland gut erforscht und entwickelt ist, wurde die Vernetzung der Belästigung mit nicht-akustischen Faktoren bislang unzureichend untersucht. Der Einfluss der empfundenen Fairness in der Verteilung von Lärmlasten und der Kommunikation darüber, was möglich ist, was nicht möglich ist, und jeweils warum, sind klare Forschungslücken. Transparente, konstruktive und niedrigschwellige Kommunikationsangebote zwischen Flughafenautoritäten und Anwohnern werden zwar angeboten und wurden auch schon untersucht, etwa von Haugg et al. (2003), Maziul et al. (2002) und Maris et al. (2007). Diese Studien hatten aber jeweils nur kleine Stichproben und erstmals erprobte Methoden, sie sind daher als Pilot- oder Vorstudien anzusehen. Nachdem viele Jahre in die Erforschung der unidirektionalen Wirkung von Dauerschallpegeln auf Belästigung der Bevölkerung investiert wurden, sollten nun in Längsschnittstudien zusätzlich die Wirkungen offener und vertrauensvoller Kommunikation zwischen Flughafen- sowie Amtsautoritäten einerseits und Anwohnern andererseits untersucht werden. Die NORAH-Studie liefert Daten zur Belästigung und zeigt eher eine Zunahme der Belästigung im Längsschnitt.

4.1.6 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zur Belästigung

Belastbare Expositions-Wirkungs-Kurven liegen aus einigen Studien mit hinreichend großen Stichproben und Kontrolle von Confoundern vor. Das komplexe und dynamische Beziehungsgeflecht zwischen akustischen, nicht-akustischen Faktoren (z. B. persönliche Einstellung zum Flughafen) und Belästigung blieb bisher jedoch weitgehend unklar, weil es an Längsschnittstudien und Ansätzen, die das gesamte System betrachten, mangelt. Somit sind Vorhersagen zum Grad der Belästigung aus statischen Expositions-Wirkungs-Kurven, die nur einzelne Aspekte und eindimensionale Beziehungen abbilden, für bestimmte Situationen und Bevölkerungsgruppen mit Unsicherheit behaftet.

4.2 HERZ-KREISLAUF-SYSTEM

Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, Erkrankungen der Blutgefäße und des Herzens, sind in den westlichen Industrienationen sehr verbreitet (Gesundheitsberichterstattung des Bundes (Löwel et al., 2006)). Sie stellen die bei weitem häufigste Todesursache dar. So waren im Jahre 2012 46,6 Prozent aller Todesfälle in Deutschland auf diese Erkrankungen zurückzuführen (Statistisches Bundesamt, 2014). Typische Veränderungen der Blutgefäße wie die „Verkalkung“ (Arteriosklerose) stellen einen ersten Schritt hin zu manifesten Erkrankungen dar. Wenn Arteriosklerose in den Blutgefäßen des Herzens auftritt, spricht man von koronarer Herzkrankheit (KHK). Weitere Erkrankungen des Herzens sind Herzrhythmusstörungen, bei denen die regelmäßige rhythmische Pumpfunktion des Herzens gestört ist und man fehlende, zusätzliche oder im Ablauf gestörte Herzschläge beobachtet. Eine immer häufiger werdende Diagnose des erkrankten Herzens ist die Herzinsuffizienz (Herzschwäche), bei der aus unterschiedlichen Gründen die Blutpumpfunktion des Herzens reduziert ist.

Auf dem Wege zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen beobachtet man häufig einen erhöhten Blutdruck. Dieser gilt als ein Hauptrisikofaktor für Schlaganfall, Herzinfarkt, chronisches Nierenversagen und vorzeitigem Abfall kognitiver Leistungen. Der Blutdruck wird normalerweise sehr genau in einem schmalen Bereich durch die Regelung der Blutgefäße und der Pumpleistung des Herzens gesteuert: Der Blutdruck wird höher, wenn die Blutgefäße enger werden oder sich nicht mehr so gut ausdehnen können. Der Blutdruck steigt auch bei einer höheren Herzfrequenz und einer höheren Pumpleistung des Herzens. Wiederholte Messungen von Herzfrequenz und Blutdruck ermöglichen daher eine frühe Erkennung von Risiken (Löwel et al., 2006).

Neben Risikofaktoren wie Rauchen, Übergewicht oder Bewegungsmangel kann auch Stress zu erhöhtem Blutdruck führen: Stress führt in erster Linie zu einer erhöhten Aktivität aller Körperfunktionen (des sympathischen Nervensystems) und damit eben auch der Herzfunktion. Um bei Beanspruchung auf adäquate Weise Leistung bereitstellen zu können, geht Stress mit einer höheren Aktivität des autonomen Tonus, des Sympathikotonus, einher. Dieser bewirkt eine Beschleunigung des Herzschlags, also Erhöhung der Herzfrequenz und dadurch eine Veränderung der Blutgefäße, um Muskeln, Herz und Gehirn in schnelle Reaktionsbereitschaft zu versetzen. Die adäquate körperliche Reaktion auf Stress ist Aktion. Zuviel Stress, Stress zur falschen Zeit oder auch Stress ohne adäquate körperliche Reaktion kann zu einer Überbeanspruchung der aktivierten Körperfunktionen führen. Damit kann sich Stress auch belastend auf die Herz-Kreislauf-Funktionen auswirken.

4.2.1 Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Fluglärm

Zahlreiche Studien haben die Folgen von Fluglärm am Tage und in der Nacht auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen untersucht. Es gibt hierzu experimentelle Studien, die eingespielte Fluglärmereignisse im Labor oder zu Hause mit Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System vergleichen. Einige epidemiologische Studien analysieren Fluglärm in der Nähe von Flughäfen, bei unterschiedlichen Abständen und ferner im Vergleich zu anderen Lärmquellen wie Freizeitlärm und anderem Verkehrslärm wie Straßen- und Schienenlärm. Bei diesen meist nur über kurze Zeiträume durchgeführten Studien werden akute, direkt erfassbare Größen wie Blutdruck, Herzfrequenz und Gefäßfunktion bestimmt. Epidemiologische Studien untersuchen die Häufigkeit des Auftretens von Herz-Kreislauf-Erkrankungen in großen Bevölkerungsgruppen in der Nähe von Flughäfen sowie an mehr und weniger belasteten Orten. Dabei wird das Auftreten von Herzinfarkt, Schlaganfall, Arteriosklerose und Bluthochdruck erfasst. Andere Zielgrößen sind der Medikamentengebrauch in einer Region, die Anzahl der Arztbesuche und der Krankenhausbesuche und der Diagnosen.

Blutdruck, Bluthochdruck, Hypertonie

Zur Wirkung des Fluglärms auf den Blutdruck liegen mehrere aussagekräftige Einzelstudien und eine methodisch gute und sorgfältige Metaanalyse vor. Diese wurde von Babisch und Kamp veröffentlicht (2009) und fasst die Daten von fünf epidemiologischen Studien an Zivilflughäfen zusammen, die vorgegebenen Gütekriterien hinsichtlich der Erfassung der Fluglärmbelastung, der Erfassung von Bluthochdruck, der Kontrolle weiterer Einflussfaktoren und der statistischen Analyse genügten. Alle mussten in Zeitschriften mit Gutachtersystem veröffentlicht sein. Zwei ältere Studien, Amsterdam und Stockholm 1, erfassten den erhöhten Blutdruck

ausschließlich mit Selbstangaben, während in allen anderen zusätzlich Messungen berücksichtigt wurden. Eine Studie (Okinawa) fand um einen Militärflughafen statt, allerdings offenbar nur mit Operationen, die mit einem Zivilflughafen vergleichbar sind. HYENA ist eine Studie, die ihrerseits die Ergebnisse aus sechs Arealen um sechs Flughäfen aus Europa zusammenfasst und Stockholm 2 die einzige Studie, die es gestattet, das neue Auftreten von Bluthochdruck nach einer Änderung der Lärmbelastung zu bewerten. Die beiden letzteren Studien sind methodisch die besten der in der Metaanalyse zusammengefassten Studien, daher besonders aussagefähig und werden im Folgenden auch noch gesondert betrachtet. Die Metaanalyse war auch Grundlage für die Entwicklung von Richtwerten für Nachtlärm durch die WHO (WHO 2009). Abbildung 9 gibt eine Übersicht über die in den einzelnen Studien gefundenen Zusammenhänge. Es sind relative Risiken für Bluthochdruck bei einer Erhöhung des Lärms relativ zur Referenzkategorie (Bevölkerungsgruppe mit dem kleinsten beobachteten Lärmpegel in der entsprechenden Studie) angegeben. Absolute Risiken für Bluthochdruck lassen sich nicht entnehmen. Aus dieser Abbildung gehen die in den einzelnen Studien beobachteten Pegelbereiche hervor. Es gibt Unterschiede zwischen den einzelnen Studien. Auffallend ist, dass die relativen Risiken in den Studien Amsterdam und Stockholm 1, die die beiden ältesten sind und bei denen Bluthochdruck ausschließlich mit Selbstangaben erfasst wurde, am höchsten sind. Alle Studien zeigen aber konsistent höhere Risiken für Bluthochdruck bei höherer Belastung an.

Zusammenhang zwischen Fluglärm und dem relativen Risiko für Bluthochdruck

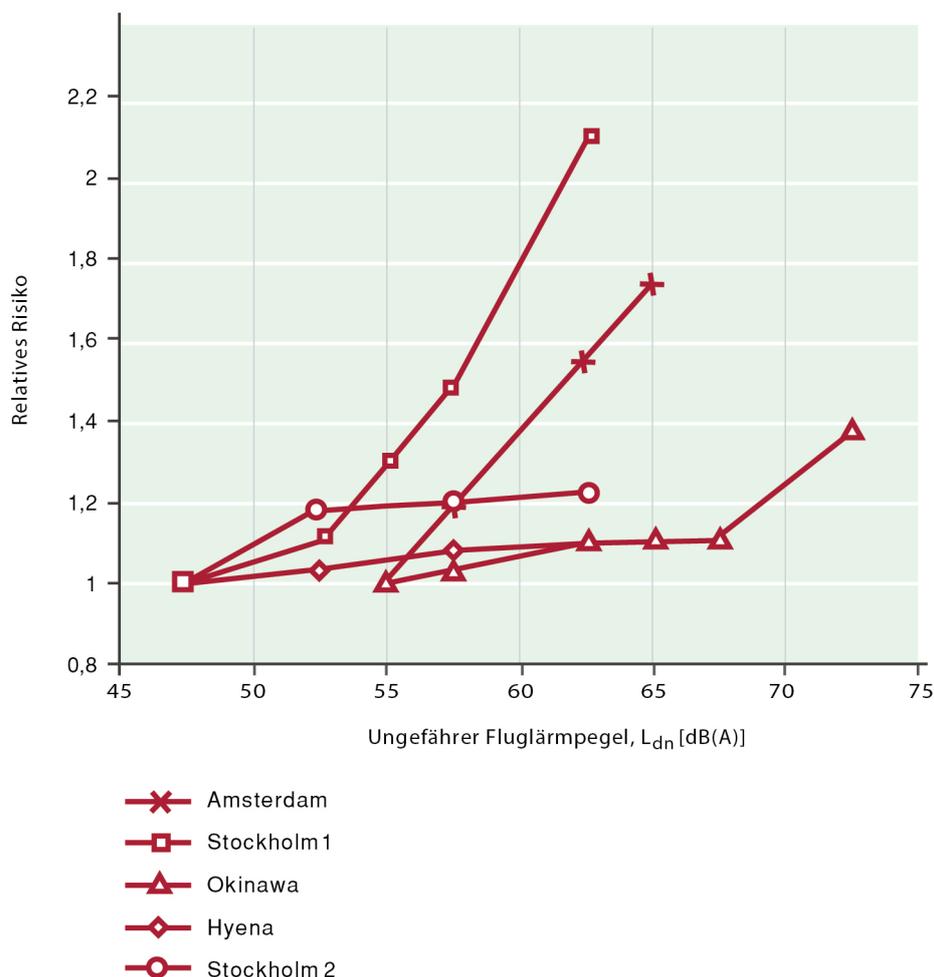


Abb. 9: Gegenüberstellung der Studienergebnisse zum Zusammenhang zwischen Fluglärm und dem relativen Risiko für Bluthochdruck bei fünf Flughäfen. Erläuterung: Der Wert 1 stellt das Grundrisiko dar. Erst Werte oberhalb von 1 stehen für ein erhöhtes Risiko. Der Wert 2 bedeutet dann, dass sich das relative Risiko für Bluthochdruck verdoppelt hat. (verändert nach Quelle: Babisch und Kamp, 2009)

Im Folgenden wird auf die zwei Studien (Stockholm 2 und HYENA), die bereits in der Metaanalyse enthalten sind, noch genauer eingegangen. Stockholm 2, weil sie die einzige Studie ist, die das neue Auftreten von Bluthochdruck nach Fluglärmbelastung untersucht, und HYENA, weil in dieser Studie an sechs Flughäfen Europas mit gleichem Instrumentarium untersucht wurde.

Stockholm 2: Eriksson et al. haben 2007 und 2010 die Ergebnisse dieser methodisch sehr guten epidemiologischen Studie mit einer Nachuntersuchung nach zehn Jahren vorgestellt. Neben der Lärmeinwirkung wurden auch andere mögliche Effekte auf den Blutdruck (Alter, Gewicht, Belästigung durch Fluglärm) berücksichtigt und rechnerisch korrigiert. Der Blutdruck wurde gemessen, zusätzlich wurden die Betroffenen gefragt, ob bei ihnen die Diagnose Bluthochdruck vorliegt. Neben der Bestimmung des allgemeinen Effekts des Fluglärms auf den Bluthochdruck wurde auch überprüft, ob dieser Effekt in verschiedenen Bevölkerungsgruppen gleich war (Männer/Frauen; durch Fluglärm belästigte/unbelästigte Personen). Lärmesswerte unter 50 dB(A) wurden für die unbelastete Gruppe bestimmt. Die überwiegende Anzahl belasteter Probanden wies Messwerte zwischen 50 und 60 dB(A) auf. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Effekt von Fluglärm auf die Entwicklung einer Hypertonie bei Männern, nachdem Probanden, die kurz vor der Blutdruckmessung geraucht hatten (was den Blutdruck kurzfristig erhöht), ausgeschlossen wurden, pro 5 dB(A) war das Risiko um 21 Prozent erhöht, [relatives Risiko = 1,21 (CI (95% Konfidenzintervall) 1,05–1,39)]. Umgerechnet pro 10 dB(A) war das Risiko damit um 46 Prozent erhöht. Probanden, die durch Fluglärm belästigt waren, hatten überdies ein höheres Risiko nach einer Exposition einen Bluthochdruck zu entwickeln als solche, die nicht belästigt waren. Pro 5 dB(A) war das Risiko der belästigten Personen, einen Bluthochdruck zu entwickeln um 42 Prozent erhöht [relatives Risiko = 1,42 (CI 1,11–1,82) per 5 dB(A)]. Bei Frauen beziehungsweise bei unbelästigten Personen wurde dieser Zusammenhang nicht nachgewiesen.

HYENA: Im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Projektes HYENA (**H**ypertension and **E**xposure to **N**oise near **A**irports) wurden die Auswirkungen von Lärm an sechs Flughäfen (Athen, Berlin, Amsterdam, London, Milan, Stockholm) bei insgesamt 4861 Personen, die mindestens fünf Jahre in der Nähe der Flughäfen wohnen, untersucht. Die Ergebnisse zum Bluthochdruck wurden von Jarup et al. (2008) veröffentlicht. Die Messungen des Blutdrucks erfolgten nach dem WHO-Protokoll, welches besagt, dass der Blutdruck an beiden Armen und insgesamt dreimal innerhalb von einigen Minuten gemessen werden muss, um Effekte der Aufregung beim Untersuchten zu reduzieren. Zur Bestimmung der Lärmbelastung dieser Personen wurden Karten und Modelle benutzt, mit denen den Wohnorten der Probanden Lärmwerte mit 1 dB(A)-Abstufung, L_{Aeq} Tag und L_{Aeq} Nacht zugeordnet werden konnten. Es gibt einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Fluglärm in der Nacht und erhöhtem Blutdruck. Wenn die Exposition mit nächtlichem Fluglärm um 10 dB(A) (etwa die Hälfte der beobachteten Schwankungsbreite zwischen 35 und 55 dB(A)) steigt, dann ist die Chance, einen Bluthochdruck zu haben, 14 Prozent höher. Die Unsicherheit dieser Schätzung für den Effekt von Fluglärm auf Bluthochdruck ist allerdings auch in dieser Studie relativ hoch: der 95 Prozent-Konfidenzbereich (CI) liegt zwischen 1 und 29 Prozent. Dies mag auch an den großen Unterschieden im Ausmaß des Effektes zwischen den einzelnen Flughäfen liegen.

So war in der Umgebung des Flughafens Berlin eher der Tageslärm als der Nachtlärm relevant. Ein weiterer Grund für die große Unsicherheit der Schätzung könnte auch darin liegen, dass der für die Auswertung angenommene lineare Zusammenhang den wahren Zusammenhang möglicherweise nicht korrekt wiedergibt. Um die Größe des Effekts einordnen zu können, wird mit dem Effekt des Alters – einem bekannten und starken Risikofaktor für Bluthochdruck – verglichen. Jarup et al. berichten für dieselbe Studie, dass die Chance für erhöhten Blutdruck um 7 Prozent pro Lebensjahr ansteigt. Unterschiede zwischen den Geschlechtern bezüglich des Zusammenhangs von Fluglärm und Bluthochdruck zeigten sich in dieser Studie nicht. Über einen Zusammenhang zwischen der Höhe des Blutdruckes (in mmHg) und chronischer Belastung mit Fluglärm unabhängig davon, ob ein Bluthochdruck vorliegt, wird in den Veröffentlichungen zur HYENA Studie nicht berichtet.

Ebenfalls im Rahmen der HYENA Studie wurde der akute Effekt einer nächtlichen Lärmbelastung auf den Blutdruck untersucht. Haralabidis et al. (2008, 2011) haben eine Studie an vier Flughäfen (Athen, London, Mailand, Stockholm) präsentiert, bei der der Blutdruck aufwändig mit Langzeitblutdruckmessgeräten erfasst wurde. Diese erlauben im Unterschied zur vorher beschriebenen Blutdruckmessung die Erfassung eines 24-Stunden-Verlaufs und damit auch die Erfassung direkter Effekte des nächtlichen Lärms. Die solcherart gemessenen Blutdruckwerte sind zudem viel weniger vom Untersucher abhängig. Aufgrund des hohen Aufwandes wurden nur wenige Personen pro Flughafen untersucht (46, 20, 50, 33 Anwohner). Personen, die Medikamente zur Senkung des Blutdruckes nahmen, wurden ausgeschlossen. Parallel zur Blutdruckmessung wurde der Schall im Schlafräum der untersuchten Personen gemessen. Nachts wurde der Blutdruck alle 15 Minuten gemessen. Die Lärmereignisse wurden mit MP3-Rekordern aufgezeichnet und zeitlich mit den jeweiligen Blutdruckwerten abgeglichen. Die 15-Minuten-Lärmittelwerte im Schlafräum lagen zwischen 20 und 80 dB(A). Fand in den 15 Minuten vor der Blutdruckmessung ein Überflug statt, so war der systolische Blutdruck im Mittel um 6,2 mmHg (statistisch signifikant) erhöht, bei Vorbeifahrten von Autos um 4,8 mmHg.

Insgesamt war ein um 10 dB(A) höherer Lärmpegel mit einer Erhöhung des systolischen Blutdruckes um 1,48 mmHg assoziiert, wenn man eine lineare Beziehung zwischen Blutdruck und Lärm in den 15 Minuten vor der Messung annimmt. Der 95%-Konfidenzbereich lag zwischen 0,8 und 2,4 mmHg. Er lag also oberhalb von 0 mmHg und damit war das Resultat statistisch signifikant. Der diastolische Blutdruck und die Herzrate zeigten ebenso kleine und statistisch signifikante Effekte. Die Effekte waren unabhängig davon, ob der Lärmpegel durch den Luft- oder den Straßenverkehr erhöht war. Neben dem Effekt auf akute Blutdruckerhöhungen wurde auch der Effekt auf das sogenannte Blutdruck-Dipping untersucht. So wird die Absenkung des Blutdruckes in der Nacht, normalerweise um 10 bis 15 Prozent, um die Blutgefäße zu entlasten, bezeichnet.

Bei einigen Schlafstörungen, so bei der Schlafapnoe, geht das Dipping verloren, und dies stellt ein Gesundheitsrisiko dar.

In der Studie von Haralabidis et al. (2008, 2011) wurde nur eine Nacht gemessen, das heißt, die Teilnehmer waren vielleicht etwas durch die Apparatur gestört und hatten keinen normalen Schlaf (siehe folgender Abschnitt über Schlaf). Durch die Aufzeichnung des Lärms war es möglich zu erkennen, was die Ursache der aufgezeichneten Lärmereignisse war. Es zeigte sich, dass Straßenlärm das nächtliche Blutdruck Dipping viel stärker beeinflusst als der Fluglärm. Der Effekt des Straßenverkehrslärms war statistisch signifikant. Die Effekte durch Fluglärm sind auch im Vergleich zur Störung durch das Blutdruckmesssystem selbst gering und ließen sich nicht statistisch absichern. Nur am Flughafen Athen, der mehr nächtlichen Lärm aufwies, zeigten sich Effekte auf das Absenken des Blutdrucks. Die Lärmereignisse waren daher über alle Studienorte hinweg nicht von ausreichender Anzahl oder von ausreichendem Ausmaß, um das normale Absinken des Blutdruckes aufzuheben, obwohl die Lärmereignisse jeweils mit einer akuten Erhöhung des Blutdruckes assoziiert waren.

Die neueste Studie (NORAH), die sich mit den Auswirkungen des Fluglärms auf den Blutdruck beschäftigt, wurde in unterschiedlich belasteten Arealen in der Umgebung des Flughafens Frankfurt durchgeführt (Eikmann et al., 2015). Die Untersuchungen fanden in den Jahren 2012 bis 2014 statt und umfassten standardisierte Selbstmessungen des Blutdruckes durch die Teilnehmer, sowie eine standardisierte Gesundheitserhebung. Die Teilnehmer wurden sorgfältig geschult und maßen ihren Blutdruck über drei Wochen hinweg jeweils morgens und abends zu Hause. Die Daten wurden telemetrisch ins Studienzentrum übermittelt. Für den Fluglärm wurde den Teilnehmern der Dauerschallpegel zugeordnet, der aus den Flugbewegungen im Bereich des Flughafens berechnet wurde. Es erfolgte eine adressgenaue Zuordnung der Exposition jeweils über die letzten zwölf Monate vor den Blutdruckmessungen. Die zentrale Analyse beruht auf den Daten von 844 ausgesucht gesunden Personen (ohne Angabe von Bluthochdruck bei der ersten Kontaktaufnahme). Es wurden die morgendlichen Mittelwerte von systolischem, diastolischem Blutdruck sowie die mittlere Herzfrequenz zur mittleren nächtlichen Lärmbelastung (18 Uhr abends bis 6 Uhr morgens) in Beziehung gesetzt. Diese mittlere Belastung lag zwischen 30,7 und 56,9 dB(A), ähnlich der Schwankungsbreite der in HYENA beobachteten Nachtpegel. In der Auswertung wurden die relevanten Faktoren Alter, Geschlecht, Sozialstatus, Rauchverhalten, Taille-/Hüftverhältnis, Wohndauer, Lärmempfindlichkeit und körperliche Aktivität einbezogen. Zum mittleren Blutdruck wurde bei Personen, die Blutdruckmittel einnahmen, 10 mmHg addiert.

Nach dieser Auswertung ist der systolische Blutdruck 1,2 mmHg höher, wenn die nächtliche Lärmexposition durch den Luftverkehr 10 dB(A) höher ist. Dies ist in der Gesamtgruppe statistisch nicht signifikant; das Ergebnis wird erst dann signifikant, wenn zusätzlich die 15 Prozent Personen, deren Bluthochdruck erst während der

Erhebung bekannt wurde, aus der Analyse ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse für den diastolischen Blutdruck und die Herzfrequenz sind noch kleiner und statistisch nicht signifikant.

Die NORAH-Studie wurde sehr sorgfältig und mit sehr hohem methodischem Aufwand durchgeführt. Dennoch wird die methodische Herangehensweise in der Öffentlichkeit diskutiert. Auf die dabei genannten Kritikpunkte soll im Folgenden näher eingegangen werden.

- *Kritik: Die Probanden wurden aus unterschiedlich mit Fluglärm belasteten Regionen ausgesucht. Eine völlig unbelastete Gruppe fehlte.*
Einordnung: Tatsächlich lag aber die beobachtete Belastung in den Abendstunden und der Nacht zwischen 30,7 und 56,9 dB(A). Dies ist vergleichbar mit anderen durchgeführten Studien (HYENA), und ausreichend, um eine Expositions-Wirkungs-Beziehung abzuschätzen.
- *Kritik: Hypertoniker wurden schon bei der Auswahl der Teilnehmer ausgeschlossen.*
Einordnung: Dies kann man je nach Fragestellung einer solchen Studie als Stärke oder Schwäche ansehen. Da Hypertoniker in der Regel blutdrucksenkende Mittel nehmen, kann man von dieser Personengruppe keine durch Medikamente unbeeinflussten Blutdruckwerte gewinnen. Der Ausschluss solcher Personen ist bei Blutdruckstudien üblich (siehe Harabilidis et al. 2008, 2011). Um diese Personengruppe doch einschließen zu können, wird häufig ein Wert von 10 mmHg zu deren Blutdruckwerten addiert. So wurde für die wenigen im Laufe der NORAH-Blutdruckstudie noch entdeckten Personen, die Blutdruckmittel nahmen, verfahren. Dieses Vorgehen stellt aber immer nur eine grobe Annäherung dar und vergrößert die Unsicherheit der gefundenen Effektmaße. Der weitgehende Ausschluss von Personen mit Bluthochdruck ist also eine Stärke dieser Studie, wenn es, wie hier beschrieben, um den Einfluss von Lärm auf den Blutdruck (in mmHg) gesunder Personen geht. Den Einfluss des Lärms auf Bluthochdruck zu erfassen, war nicht Hauptfragestellung der NORAH-Studie. Dazu wäre das gewählte Design nur schwach geeignet.
- *Kritik: Die Beteiligungsrate war in dieser Studie mit aufwändiger Blutdruck-Selbstmessung sehr niedrig.*
Einordnung: Wenn besonders empfindliche oder nicht empfindliche Bevölkerungsgruppen nicht teilgenommen haben, könnte dies zu einem falschen Effektmaß führen. Sensitivitätsanalysen in Subgruppen können da helfen abzuschätzen, wie groß der Effekt in einer kompletteren Stichprobe gewesen wäre. Dies wurde in dieser Studie gemacht. Danach zeigen Männer, ältere Personen, Hypertoniker, Personen mit einer mittleren Lärmempfindlichkeit und solche mit einer kürzeren Wohndauer (< 14 Jahre) einen etwas höheren

Effekt des Lärms auf den Blutdruck. Die höchsten Schätzer für den Effekt in solchen Subgruppen liegen bei 2,1 mmHg pro 10 dB(A) für den systolischen Blutdruck. Der Effekt in einer kompletteren Gruppe liegt daher vermutlich höchstens bei diesem Wert. In dieser Studie hat der Sozialstatus nur einen geringfügigen Effekt auf Blutdruckwerte. Die höhere Beteiligung von Personen mit höherem Sozialstatus hat daher den Effekt nicht verzerrt.

- *Kritik: Die Stärke des Zusammenhanges zwischen systolischem Blutdruck und nächtlichem Lärm ist mit 1,2 mmHg pro 10 dB(A) niedrig.*

Einordnung: Dieser niedrige Effektschätzer entspricht den Beobachtungen aus den wenigen anderen Studien, die den Zusammenhang zwischen Blutdruck in mmHg und Lärm untersuchen. Der von Haralabidis et al. (2008) berichtete Zusammenhang ist mit 1,48 mmHg systolischen Blutdruckes pro 10 dB(A) (siehe oben) außer ordentlich ähnlich. Ebenfalls sehr ähnlich ist der Wert, der von van Kempen (2002) in einer systematischen Übersicht für den Effekt von beruflichem Lärm auf den systolischen Blutdruck berichtet wird: 1,01 mmHg mit einem 95%-Konfidenzbereich von 0,02 bis 2,00 mmHg pro 10 dB(A).

Damit reihen sich die Ergebnisse der NORAH-Studie erstaunlich gut in den bereits veröffentlichten internationalen Kontext ein.

Medikamentengebrauch und -verordnung

In einer methodisch sehr guten und gründlichen Feldstudie von Franssen et al. (2004) wurden bei mehr als 10.000 Anwohnern im Umkreis von 25 km um den Flughafen Schiphol/Amsterdam Selbstangaben zum Medikamentengebrauch (medication use) mit einem Fragebogen erhoben (ebenso wie selbstberichtete Gesundheitsindikatoren). Dabei wurden Medikamente für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, insbesondere zur Senkung des Blutdrucks, und gegen Schlafstörungen erfasst. Die Ergebnisse der Befragungen wurden zwischen Gebieten mit mehr und weniger Belastung durch Fluglärm verglichen. Die Responserate betrug 39 Prozent. Zusätzlich wurde eine Non-Responder-Befragung durchgeführt, und es wurde der Einfluss der Nicht-Beteiligung abgeschätzt. Für den Medikamentengebrauch war dieser Einfluss gering. Somit gibt es keinen Hinweis auf eine Verzerrung des Zusammenhangs zwischen Lärmexposition und Medikamentengebrauch durch Nicht-Beteiligung.

Für die Medikamentengruppe zur Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen/erhöhtem Blutdruck wurde bei einem Anstieg des Lärms um 10 dB(A) L_{den} ein Anstieg des Medikamentengebrauchs um 30 Prozent ermittelt, nach Kontrolle für Alter, Geschlecht, Ausbildung, Rauchen und den Grad der Verstädterung. Der Pegelbereich betrug 41–76 dB(A) L_{den} , der Mittelwert lag bei 51,3 dB(A) L_{den} . Der Grad der Verstädterung (vermutlich der Anteil der bebauten Fläche) wurde berücksichtigt, um potentielle Stadt-Land-Unterschiede zu kontrollieren.

In der Arbeit von Floud et al. (2011) wurde analysiert, an welchen HYENA-Flughäfen ein Zusammenhang zwischen Selbstangaben zum Medikamentengebrauch und Fluglärm bestand. Der Gebrauch von blutdrucksenkenden Medikamenten nahm an den beiden am stärksten durch nächtlichen Fluglärm belasteten Flughäfen statistisch signifikant mit der Höhe der Belastung zu: So stieg der Medikamentengebrauch pro 10 dB(A) in der Umgebung von London-Heathrow (mittlerer Pegel $L_{\text{night}} = 49,3$ dB(A)) um 34 Prozent und in der Umgebung von Amsterdam (mittlerer Pegel $L_{\text{night}} = 42,2$ dB(A)) um 19 Prozent an. An den übrigen Flughäfen wurde kein statistisch signifikanter Anstieg gefunden. Für den Taglärm waren die Ergebnisse uneinheitlich.

Die Studie von Greiser et al. (2006) untersucht Daten der Krankenkassen zu Arzneimittelverordnungen. Es zeigen sich konsistente Zusammenhänge zwischen Fluglärm und Verordnungen für Medikamente, deren Einsatz bei Krankheiten und Beschwerden erfolgt, die im Zusammenhang mit Lärmbelastungen diskutiert werden. Entsprechende Zusammenhangsanalysen ergeben für die Gruppe „Blutdrucksenkende Medikamente, Herzmedikamente und angstlösende Medikamente“ bei Männern und Frauen für nächtlichen Fluglärm statistisch signifikant erhöhte Risiken in den Expositionsbereichen 40 – 43, 44 – 45, 46 – 47 und 48 – 61 dB(A) Dauerschallpegel im Zeitfenster 3 bis 5 Uhr. Die Risikoerhöhung nimmt in den unteren drei Expositionsbereichen nahezu linear zu, im obersten Bereich jedoch wieder leicht ab. Vergleicht man die Ergebnisse nach Zeitscheiben, dann sind die Zusammenhänge mit der Arzneimittelverordnung für Nachtlärm deutlich klarer als für Taglärm.

Der Zusammenhang ist bei Frauen deutlich stärker ausgeprägt als bei Männern. Ferner besteht eine starke Abhängigkeit vom Sozialstatus. Es gibt keine Hinweise darauf, dass die Zusammenhänge von der Arzneimittelverordnung und dem Fluglärm durch andere Lärmarten wie den Straßenverkehrslärm vorgetäuscht werden.

Als Limitationen sind anzuführen, dass in der Regel nicht die höchste Lärmkategorie, sondern die zweithöchste die stärksten Assoziationen zeigt. Auch spricht die Tatsache, dass ein lineares Modell keine klaren Ergebnisse geliefert hat, dafür, dass offenbar kein einfacher linearer Expositions-Wirkungs-Zusammenhang besteht. Dies erschwert die Interpretation der Ergebnisse.

In dieser Querschnittstudie ist erstmals ein Ansatz gewählt worden, der es gestattet, die Frage eines Zusammenhangs von Fluglärm und gesundheitlichen Beeinträchtigungen auf der Grundlage von Arzneimittelverordnungen zu analysieren. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass Routinedaten verwendet werden, die nicht durch Selektion oder unzureichende Beteiligung verzerrt sein können. Zudem sind die Daten unabhängig von der eigenen Einschätzung des Fluglärms; ein „reporting bias“ kann also ausgeschlossen werden. Ferner wurden ein sehr großer Studienumfang und damit eine potentiell starke statistische Aussagekraft erreicht.

Bei der Interpretation ist allerdings zu beachten, dass es sich um eine Studie handelt, bei der Informationen über den Fluglärm und wichtige Kovariablen nicht für die individuellen Anwohner, sondern nur in räumlich aggregierter Form vorliegen. Die Limitationen dieses „ökologischen“ Studientyps im Vergleich zu Studien mit Angaben zu individuellen Einflussvariablen sind in Kapitel 3.2.1 Expositions-Wirkungs-Beziehungen aufgeführt.

Die Autoren merken selbst an, dass die Ergebnisse nicht die Feststellung eines Kausalzusammenhanges zwischen Fluglärm und Arzneiverordnungen erlauben, da wesentliche Faktoren, die zur Krankheitsentstehung und damit zu Arzneiverordnungen führen können, nicht berücksichtigt werden konnten. Dieses wäre nur in einer epidemiologischen Fall-Kontroll-Studie möglich, bei der bei einzelnen Patienten und einer Vergleichsgruppe aus der Allgemeinbevölkerung diese Faktoren zusätzlich erhoben würden.

Herzinfarkt

Der Herzinfarkt zählt zu den wichtigsten und folgenschwersten Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Seine Hauptrisikofaktoren sind Nikotinkonsum, Diabetes, Bluthochdruck, Fettstoffwechselstörung und familiäre Belastung (früh auftretender Herzinfarkt oder Schlaganfall in der Familie). Nun tritt der Herzinfarkt nicht sehr häufig auf, so dass sehr große Studien notwendig sind, um statistisch zuverlässige Aussagen zu erhalten. Huss (2010) hat eine sehr gute Auswertung von Daten aus der nationalen Datenbank zum Gesundheitszustand der Schweizer (4,6 Millionen Personen) durchgeführt. Von diesen Personen sind im Zeitraum zwischen 2000 und 2005 insgesamt 15.532 an einem Herzinfarkt verstorben. Die Fluglärmexposition wurde anhand von Modelldaten für alle Schweizer Flughäfen quantifiziert und in fünf Kategorien eingeteilt.

Nach Adjustierung für soziodemographische Variablen wurde beim Vergleich der am stärksten gegenüber Fluglärm belasteten Gruppe (≥ 60 dB(A)) mit der am geringsten exponierten Gruppe (< 40 dB(A)) eine erhöhte Herzinfarktmortalität gefunden. Die Erhöhung betrug in der Gesamtgruppe 30 Prozent und war nicht statistisch signifikant. Für die Untergruppe der Personen, die 15 Jahre am selben Ort lebten, betrug sie 50 Prozent und war grenzwertig statistisch signifikant. Für die Gesamtsterblichkeit und die Herz-Kreislauf-Mortalität sowie andere Todesursachen bestand kein Zusammenhang zum Fluglärm. Für die Luftverschmutzung, die zusätzlich in einer Untergruppe untersucht wurde, ergab sich kein entsprechender Einfluss auf die Todesursache Herzinfarkt oder andere Todesursachen.

Krankenhausaufnahmen und ambulante Behandlungen

Correia et al. (2013) haben eine umfangreiche Analyse des Zusammenhangs zwischen Krankenhausaufnahmen und Daten zum Fluglärm von 89 Flughäfen in den USA für das Jahr 2009 durchgeführt.

Die Lärmbelastung wurde großflächig für die betrachteten 2.218 Postleitzahlbezirke geschätzt; der mittlere Tag-Nacht Pegel betrug $DNL = 50-55 \text{ dB(A)}$. Die Datenerhebung erfolgte aus der Datenbank eines Krankenversicherers (Medicare) mit rund 6 Millionen Versicherten im Alter von über 65 Jahren, davon etwa 400.000 mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Wenn man – gemittelt über alle Flughäfen – nur die 10 Prozent mit der höchsten Fluglärmexposition verwendet, ergibt sich für einen Anstieg um 10 dB(A) eine statistisch signifikante Zunahme der Krankenhausaufnahmen wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen um 3,5 Prozent (CI 0,2 % – 7,0%). Bei diesem Wert sind die individuellen demographischen Angaben (Alter, Geschlecht, Ethnizität) berücksichtigt. Bei zusätzlicher Kontrolle für aggregierte Confounder (prozentualer Anteil der Hispanics in der Wohngegend, Haushaltseinkommen) beziehungsweise für Luftverschmutzung war der Zusammenhang nur noch grenzwertig statistisch signifikant.

Die Aussagekraft der Studie ist dadurch limitiert, dass nur sehr grobe Angaben zur Fluglärmexposition und zur Zahl der Krankenhausaufnahmen nur großflächig auf Postleitzahlebene verfügbar waren (jeder Postleitzahlbezirk repräsentierte ca. 3.000 Studienteilnehmer. Das vergleichsweise kleine mittlere Risiko dürfte durch die stark aggregierten Daten (d. h. die Mittelung über eine große Zahl von Personen) beeinflusst sein. Da wichtige Confounder ebenfalls nur in stark aggregierter Form vorlagen, kann ferner eine hierdurch bedingte Verzerrung der Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden.

Hansell et al. (2013) untersuchten in einer methodisch sehr guten Studie die Krankenhausaufenthalte von Personen, die in der Umgebung des Flughafens London-Heathrow wohnten. Im Einzugsbereich leben ca. 3,6 Millionen Anwohner, davon etwa 2 Prozent in einem Gebiet mit Lärmbelastung der höchsten Kategorie wohnen ($L_{Aeq, 16h} > 63 \text{ dB(A)}$ oder $L_{Neq} > 55 \text{ dB(A)}$). Für den Zeitraum 2001 bis 2005 wurde der Zusammenhang zwischen der Fluglärmbelastung und den gesamten Krankenhausaufnahmen wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen (ca. 200.000 Aufnahmen) wie Schlaganfall und koronarer Herzkrankheit sowie der Sterberate analysiert. Zu soziodemographischen Confoundern (Alter, Geschlecht, Ethnizität) sowie Rauchen lagen kleinräumig aggregierte Daten auf der Ebene von Postleitzahlen vor.

Die Krankenhausaufnahmen zeigten einen statistisch signifikanten linearen Trend für Taglärm und für Nachtlärm. Personen in der gegenüber Taglärm am höchsten belasteten Gruppe ($L_{Aeq, 16h} > 63$ dB(A)) hatten im Vergleich zu Personen in der am geringsten exponierten Gruppe ($L_{Aeq, 16h} < 51$ dB(A)) statistisch signifikant erhöhte Risiken, nämlich um 24 Prozent (CI 8 % bis 43 %) für Schlaganfall, um 21 Prozent (CI 12 % bis 31 %) für koronare Herzerkrankung beziehungsweise um 14 Prozent (CI 8 % bis 20 %) für alle Herz-Kreislauf-Erkrankungen, nach Adjustierung. Die Risiken für die entsprechenden Sterblichkeiten waren vergleichbar. Insgesamt besteht somit eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für ein häufigeres Auftreten der genannten Erkrankungen bei hohen Fluglärmpegeln, wenn auch wegen des Vorliegens aggregierter Daten zu den Confoundern eine hierdurch bedingte Verzerrung der Ergebnisse wahrscheinlich ist.

Im Gegensatz zur Studie von Correia et al. (2013) waren die Daten hier viel kleiner räumiger verfügbar: Die Fluglärmkarten lagen auf einem 10m Raster vor, während die Krankenhausaufnahmen auf dem kleinräumigen britischen Postleitzahlensystem vorhanden waren (dies umfasst im Mittel 23 Haushalte pro Postleitzahlbezirk). Diese Daten wurden für die Auswertung auf die 12.110 Census Output Areas verdichtet, die im Mittel ca. 300 Einwohner und eine Fläche von 0,13 km umfassen. Wenn auch hier wegen des Vorliegens niedrig aggregierter Daten zu den Confoundern eine hierdurch bedingte Verzerrung der Ergebnisse nicht ganz ausgeschlossen werden kann, ist das Verzerrungsrisiko hier vergleichsweise klein.

Die Studie von Greiser et al. (2009) zu stationären Krankenhausbehandlungen folgt im Design der Medikamentenstudie von Greiser et al. (2006). Die verwendeten Expositionsdaten sind identisch mit den Daten, die für die Medikamentenstudie erhoben wurden. Zur Analyse der gesundheitlichen Auswirkungen wurden die Diagnose-Codes von sämtlichen stationären Krankenhausbehandlungen aller Versicherten extrahiert und zu Krankheitsgruppen zusammengefasst. Als Fälle werden dabei diejenigen Versicherten definiert, die wegen der zu analysierenden Erkrankung im Beobachtungszeitraum von 2 bis 6 Jahren mindestens einmal stationär behandelt worden waren. Es wurde ermittelt, ob eine stationäre Krankenhausbehandlung durchgeführt wurde.

Als Kontrollen wurden diejenigen Versicherten definiert, bei denen die entsprechenden Diagnosen während des Krankenhausaufenthaltes nicht gestellt worden waren, beziehungsweise, die überhaupt nicht stationär behandelt worden waren.

Es wurden neben sämtlichen Herz-Kreislauf-Erkrankungen die Untergruppen Schlaganfall/Hirndurchblutungsstörungen, Koronare Herzerkrankung/ Herzinfarkt und Herzschwäche analysiert.

Insgesamt wurde ein konsistenter Zusammenhang zwischen der Fluglärmexposition und der stationären Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen gefunden, bei dem Verzerrungen aufgrund der gewählten Auswertungsmethodik nicht ausgeschlossen werden können. Im linearen Modell ergab sich ein statistisch signifikanter Anstieg des Erkrankungsrisikos bei beiden Geschlechtern. Zusätzlich wurden fünf Expositionsbereiche für nächtlichen Fluglärm festgelegt. Ab 43 – 44 dB(A) Dauerschallpegel im Zeitfenster 3 bis 5 Uhr zeigten sich in dieser Analyse einzelne statistisch signifikant erhöhte Odds Ratios, aber keine monoton ansteigende Expositions-Wirkungs-Beziehung.

Alle Auswertungen sind im Anhang des UBA-Berichts detailliert aufgeführt. Diese Ergebnisse werden im Hauptteil des Berichtes von Greiser et al. (2009) nicht näher kommentiert. Im Gegensatz zum Statement im Hauptbericht sind allerdings durchaus viele Wechselwirkungen von Alter beziehungsweise Sozialstatus mit dem Fluglärm statistisch signifikant. Damit hängt das Ausmaß des Effektes vom Sozialstatus und dem Alter ab.

In der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken Seidler et al.,(2015) zeigte sich für den Herzinfarkt, (zusätzlich: Seidler et al. (2016)) keine erkennbare Expositions-Wirkungs-Beziehung. Lediglich für Fluglärmpegel ab 60 dB(A) (bezogen auf den Pegelbereich bis 40 dB(A)) war das Erkrankungsrisiko nach Adjustierung (statistisch nicht signifikant) um 42 Prozent (CI - 38 % bis + 225 %) erhöht. Wenn lediglich die verstorbenen Herzinfarkt-Patienten in die Analyse einbezogen wurden, ergab sich nach Adjustierung ein statistisch signifikant um 170 Prozent (CI 8 %–574 %) erhöhter Risikoschätzer.

Für den Schlaganfall war ebenfalls keine Expositions-Wirkungs-Beziehung erkennbar. Die Risiken beschränkten sich auf Fluglärmpegel ab 60 dB(A) (bezogen auf den Pegelbereich bis 40 dB(A)), bei denen sich nach Adjustierung ein (statistisch nicht signifikant) um 62 Prozent (CI - 21 % bis + 234 %) erhöhtes Schlaganfall-Risiko zeigte. Beim Schlaganfall änderten sich die Risiken bei der Einschränkung auf die verstorbenen Patienten nicht wesentlich. Die Ergebnisse zum Schlaganfall waren insgesamt statistisch nur relativ schwach abgesichert.

Auch bei der Herzinsuffizienz zeigte sich keine ganz klare Expositions-Wirkungs-Beziehung, aber der Risikoschätzer bei kontinuierlicher Expositionsvariable war statistisch signifikant erhöht und lag bei 1,6 Prozent pro 10 dB(A). In den mittleren Expositions-kategorien (< 40 dB(A), max \geq 50 dB(A), \geq 45–50 dB(A)) waren die Risiken statistisch signifikant erhöht. Die Risiken für die Subgruppe der tödlich verlaufenden Herzinsuffizienzen waren höher als für die Gesamtgruppe. Insgesamt waren die erhöhten Risiken für Herzinsuffizienz statistisch deutlich ausgeprägt.

Insgesamt ist – in Übereinstimmung mit dem Wissenschaftlichen Beirat Qualitätssicherung (Hoffmann, Erdmann 2015) – die Qualität des Teils Krankheitsrisiken der NORAH-Studie als sehr hoch einzustufen.

Die Schwächen früherer Studien zur Nutzung von Sekundärdaten konnten zwar nicht völlig vermieden werden, es wurden aber wichtige und erfolgreiche Anstrengungen unternommen, mit verbesserten methodischen Ansätzen Verzerrungsquellen zu reduzieren. Hierzu zählen:

- Es wurden nicht nur stationäre, sondern auch ambulante Diagnosen und Behandlungen einbezogen.
- Es wurde versucht, die Analyse auf Erkrankungereignisse zu beschränken, die neu aufgetreten sind, als die Patienten bereits der Fluglärmexposition ausgesetzt waren.
- Es konnten individuelle Sozialstatus-Parameter berücksichtigt werden.
- Es wurde herausgefunden, dass auch bei vergleichsweise niedrigen Dauerschallpegeln von unter 40 dB(A) gesundheitliche Effekte beobachtet werden können, wenn gleichzeitig hohe Maximalpegel von 50 dB(A) und mehr auftreten.
- Durch Zusatzerhebungen war es möglich, näherungsweise die Innenraumpegel abzuschätzen. Bei Berücksichtigung der Innenraumpegel wurden im Vergleich zu den Außenraumpegeln stärkere Gesundheitseffekte gefunden.
- Trotz der schlechten Beteiligung an der vertiefenden Befragung konnte mit ihrer Hilfe zumindest gezeigt werden, dass Verzerrungen der Risikoschätzer durch unerkanntes und residuelles Confounding weitestgehend auszuschließen sind.
- Zumindest ansatzweise war es möglich, die Wohndauer zu berücksichtigen und zu zeigen, dass bei steigenden kumulativen Lärmjahren ein kontinuierlicher Anstieg der Risikoschätzer eintrat.
- Durch die gleichwertige Einbeziehung von Straßenverkehrslärm und Schienenlärm zusätzlich zum Fluglärm war ein Vergleich der Auswirkungen verschiedener Lärmquellen auf die menschliche Gesundheit möglich.

4.2.2 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zum Herz-Kreislauf-System

In der Summe aller bewerteten Studien kann festgehalten werden, dass Lärm und insbesondere auch Fluglärm bei höheren Lärmpegeln eine Belastung des Herz-Kreislauf-Systems ab einer bestimmten Expositionshöhe und -dauer darstellen kann. Der am besten untersuchte und belegte Zusammenhang zeigt sich für Bluthochdruck. Hier liegen methodisch gute Studien vor, die diesen Zusammenhang statistisch signifikant belegen. Am wichtigsten sind hier die Meta-Analyse von Babisch und Kamp (2009), die epidemiologische Studien an fünf Flughäfen gemeinsam auswertet, ferner die Arbeiten von Eriksson et al. (2007 und 2010) und Jarup et al. (2008) sowie von Floud et al. (2011) und Greiser et al. (2006) für den Zusammenhang mit dem Gebrauch und der Verordnung von Medikamenten zur Behandlung des hohen Blutdrucks. In NORAH Eikmann et al. (2015) zeigte sich eine schwache Assoziation zwischen Fluglärm und Blutdruck bei Personen mit normalem Blutdruck. Dieser Effekt war allerdings statistisch nicht signifikant. Personen mit Bluthochdruck wurden in dieser Studie ausgeschlossen. In der Umgebung einzelner Flughäfen ist der Effekt unterschiedlich, die Gründe für diese Unterschiede sind jedoch noch weitgehend ungeklärt.

Ebenso ungeklärt ist, ob Unterschiede nach Geschlecht bestehen. In epidemiologischen Studien zeigt sich in der Nähe von Flughäfen ebenfalls ein Zusammenhang zwischen dem Gebrauch von Medikamenten für die Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und dem Ausmaß der Belastung mit Fluglärm. Ferner werden Zusammenhänge zwischen Fluglärm und Krankenhausaufnahmen wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen gefunden; diese sind aber nicht so gut belegt wie für den Bluthochdruck und die Verordnung beziehungsweise den Gebrauch von Herz-Kreislauf-Medikamenten. Sie zeigen sich erst in Regionen, die einer starken (> 60 dB(A)) (24h Mittelpegel) Lärmbelastung ausgesetzt sind.

Die NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken Seidler et al. (2015) liefert Belege dafür, dass das Auftreten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen in Zusammenhang mit erhöhten Lärm-Expositionen stehen kann. Dies gilt insbesondere für den Herzinfarkt und die Herzinsuffizienz, die bei Dauerschallpegeln über 60 dB(A) vermehrt auftraten. Bemerkenswert ist ferner, dass auch bei niedrigen Dauerschallpegeln unter 40 dB(A) Hinweise auf Gesundheitsrisiken gefunden wurden, wenn gleichzeitig nächtliche Maximalpegel von mehr als 50 dB(A) vorlagen.

4.3 SCHLAF

Der menschliche Schlaf kann in verschiedene Stadien eingeteilt werden, die sich hauptsächlich durch die unterschiedliche Schnelligkeit und Größe der Hirnwellen auszeichnen: Leichtschlaf- und Tiefschlafstadien sowie der sogenannte Traumschlaf (REM-Schlaf) mit dem Hauptmerkmal schneller Augenbewegungen (Peter et al., 2007, Iber et al., 2007).

Die genaue Funktion des Schlafs ist bis heute noch nicht erschöpfend geklärt, es gibt jedoch gesicherte Hinweise zumindest auf seine wichtigsten Funktionen: Während der Tiefschlaf unter anderem eher restaurative Funktionen – beispielsweise für das Immunsystem sowie Zellreparatur und Wachstum – hat, ist der REM-Schlaf eher für die geistige Erholung (Hirnfunktionen) zuständig. Beide Schlafstadien stehen auch im Zusammenhang mit Speicherprozessen des Gedächtnisses.

Der gesunde, ungestörte Schlaf verläuft in wiederkehrenden rhythmischen Zyklen (bei rund acht Stunden ungestörter Schlafzeit etwa vier bis fünf) vom Leichtschlaf bis zum REM-Schlaf. Der Tiefschlaf dominiert in der ersten Nachthälfte und nimmt über die zweite Nachthälfte ab, während es beim REM-Schlaf umgekehrt ist. Dementsprechend wird der Schlaf mit der Zunahme der bereits verbrachten Schlafzeit flacher und damit die Wahrscheinlichkeit, etwa durch äußere Geräusche geweckt zu werden, größer. Einzelne kurze Aufwachreaktionen erfolgen auch beim gesunden Schlaf. Danach schläft man normalerweise gleich wieder ein.

Über das Alter verändert sich der Schlaf. Ohayon et al. (2004) berichten in ihrer Metaanalyse unter anderem über eine Tiefschlafabnahme von ursprünglichen 25 Prozent auf 9 Prozent (Altersspanne 5 bis 90 Jahre), eine Reduktion des REM-Schlafes und eine Zunahme der kurzen Aufwachreaktionen wie auch der Einschlafzeit. Die Anteile jeweiliger Schlafstadien über die gesamte Nacht betrachtet unterliegen zwar inter- und intraindividuellen und altersabhängigen Schwankungen, können aber insgesamt als relativ stabil beschrieben werden.

4.3.1 Umweltbedingte Schlafstörungen

Der nicht erholsame Schlaf beziehungsweise Schlafstörungen werden mit Einschränkungen der Gesundheit, der geistigen und körperlichen Leistungsfähigkeit und der Teilhabe am beruflichen und sozialen Leben verbunden (Leitlinie S3 der deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin DGSM). Umweltbedingte Schlafstörungen sind nach ICSD 3 (2014) Unterbrechungen des Schlafes und seiner restaurativen Wirkung aufgrund externer Störreize wie etwa umweltbedingten Lärms jeglicher Art. Auf lärmbedingte Schlafstörungen können Faktoren wie Alter, allgemeine Gesundheit, Lärmempfindlichkeit und Persönlichkeitsmerkmale sowie die individuelle Sensibilität bezüglich des eigenen Schlafs einen großen Einfluss

haben: Entscheidend scheinen neben den persönlichkeitsbezogenen Merkmalen auch physiologische Eigenheiten innerhalb des Schlafes, wie die sogenannten Schlafspindeln (schlaftypische Hirnwellenmuster) zu sein, die einen Einfluss auf das Erwachen durch externe Geräusche haben sollen: je häufiger deren Auftreten im Schlaf-EEG beobachtet werden kann, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit von Aufwachreaktionen durch störende Außengeräusche (Dang-Vu et al., 2010).

Laut einer Erhebung des deutschen Umweltbundesamtes (2012) mit 2000 Personen (abgebildet in Babisch, 2014) fühlen sich 1,6 Prozent der deutschen Bevölkerung hochgradig durch Fluglärm gestört und belästigt, während auch hier Straßen-, Schienen- und Nachbarschaftslärm als Hauptärgernisse angegeben werden. Bei einem direkten Vergleich der drei Verkehrslärmarten bei identischem maximalem Pegel jedoch zeigt sich bei Elmenhorst (2012), dass der Fluglärm subjektiv als am unangenehmsten empfunden wird, wenn auch nicht statistisch bedeutsam.

Idealerweise werden Schlafstörungen mit dem Goldstandard, der Polysomnographie (PSG) anhand verschiedener nächtlicher Messungen im Schlaflabor erfasst. Nur mit einer kontinuierlichen Ableitung von Hirnstromsignalen inklusive Messung des Muskeltonus, der Augenbewegungen und auch der Herzfrequenz ist die Klassifizierung einzelner Schlafstadien oder Wachzustände während einer Nacht zuverlässig möglich. Die Auswertung einer Schlafnacht findet nach international gültigen Standards (Rechtschaffen und Kales, 1968, Iber et al., 2007) durch geschultes medizinisches Personal jeweils in 30 Sekunden-Epochen statt und wird abschließend in einem ausführlichen Schlafbericht sowohl numerisch als auch grafisch dargestellt.

In der Lärmwirkungsforschung wurden bisher sehr wenige Studien mit der Polysomnographie durchgeführt, was vor allem auf die Höhe der Kosten und des erforderlichen Aufwands zurückzuführen ist. Bei aller Genauigkeit dieser Methode bleibt anzumerken, dass die PSG für den Untersuchten eine deutliche Belastung durch die Vielzahl der angebrachten Messelektroden darstellen kann. Zudem verändert sich die gewohnte Schlafsituation durch diesen Eingriff (auch im Falle der Messung in häuslicher Umgebung) eventuell erheblich.

Alternativ werden Methoden verwendet, die weniger belastend sowie kostengünstiger sind: In diversen Feldstudien im Rahmen der Fluglärmwirkungsforschung wurden die Bewegungen der Schläfer mit einem Aktimeter (armbanduhrähnliches Messgerät zum Erfassen der Bewegungsaktivität) erfasst, um einen Rückschluss auf die Schlafqualität zu ziehen (Fidell et al., 1995, Passchier-Vermeer et al., 2002), oder man bediente sich der kontaktfreien Seismosomnographie (Brink et al., 2008). Diese Methoden schließen auf Basis gemessener nächtlicher Körperbewegungen, die ein Erwachen oft (aber nicht zuverlässig) begleiten, lediglich auf den Schlaf- oder Wachzustand der gemessenen Person. Auf eine Verteilung von Schlafstadien oder anderen physiologischen Vorgängen lässt sich allein daraus nicht schließen.

Diese alternativen Methoden sind zur Erfassung von Schlafstörungen demnach in einigen gemessenen Parametern (vgl. Zinkhan et al., 2014) weitaus unzuverlässiger als die PSG, was zu einer Unterschätzung der Wachphasen führen kann: Wachphasen mit ruhigem Liegen werden eventuell fälschlich als Schlaf gedeutet, hingegen können Körperbewegungen, die keine kurzfristigen Aufwachreaktionen zur Folge haben, fälschlich als Aufwachreaktionen gedeutet werden.

Auch die Methode des „Bewussten Erwachens“ wird in den genannten Feldstudien eingesetzt: Der Wachzustand lässt sich bei Erwachen als akustischer Reiz durch die direkte Betätigung eines zuvor festgelegten Signalgebers, beispielsweise eines Schalters, erfassen. Falsch positive Signale (Betätigung der Signalgeber im Schlaf) sind zwar selten, falsch negative (keine Betätigung der Signalgeber im Wachzustand) jedoch häufiger, beispielsweise, weil die Anweisung beim Aufwachen vergessen wurde oder die Probanden zu müde für eine aktive Handlung sind (Lukas et al., 1973). Die tatsächliche Anzahl an Aufwachreaktionen wird also eher unterschätzt. Andererseits kann die geforderte aktive Kooperation der Untersuchten auch den Bedeutungsgehalt der Geräusche und somit die Wahrscheinlichkeit einer Aufwachreaktion erhöhen (Williams, 1973).

4.3.2 Fluglärm und Schlaf

Insgesamt wurden für den Bereich Schlaf 167 Dokumente gesichtet und bewertet. Davon sind lediglich 22 Arbeiten als publizierte Artikel in Fachzeitschriften ausgewiesen, von denen 15 für methodisch gut bis sehr gut befunden wurden.

Bei der Erfassung der Auswirkung von Fluglärm auf den Schlaf werden drei unterschiedliche Wirkungsebenen unterschieden (Griefahn, 1990): Zu den primären (akuten) Wirkungen gehören alle unmittelbaren Ereignisse im Schlaf, die auf eine Störung durch externe Geräusche zurückzuführen sind. Dabei handelt es sich beispielsweise um „kortikale Arousals“, das sind nach aktueller Definition 3 bis 15 Sekunden andauernde Frequenzbeschleunigungen im EEG, meist begleitet von einem Anstieg der Herzfrequenz. Diese treten allerdings auch in ruhigen Nächten sehr häufig (über 100-mal) auf (vgl. Bonnet und Arand, 2007). Auch spontane Aufwachreaktionen mit einer Wachdauer von über 15 Sekunden (rund 20 bis 25 solcher Aufwachreaktionen treten in lärmfreien Nächten auf) bis zu mehreren Minuten inklusive Wiedererlangung des Wachbewusstseins (etwa 1 bis 5 in lärmfreien Nächten) können untersucht werden. Letztere treten grundsätzlich auch während eines ungestörten Schlafs spontan auf, allerdings nicht in so hoher Frequenz wie diejenigen, an die sich nicht bewusst erinnert werden kann.

Andere messbare Faktoren sind neben den Körperbewegungen (die häufig, aber nicht zuverlässig mit einem Erwachen einhergehen) Veränderungen des Schlafprofils (beispielsweise prozentuale Veränderungen in den Schlafstadien), von Hormonkonzentrationen (z. B. Cortisol) oder der Atem- und Herzfrequenz.

Sekundäre Wirkungen (als Resultat der primären Wirkungen beziehungsweise der gestörten Nächte) sind zeitlich bereits mittelfristig verzögerte Reaktionen wie etwa die Müdigkeit/Schläfrigkeit am Folgetag, eine reduzierte subjektive Schlafqualität, negative Stimmungen/Befindlichkeiten oder die müdigkeitsbedingte verminderte Leistungsfähigkeit.

Bei den möglichen tertiären Wirkungen handelt es sich um zeitlich stark verzögert auftretende Gesundheitsstörungen durch chronische Schlafunterbrechungen über einen längeren Zeitraum wie kardiovaskuläre Erkrankungen (z. B. Bluthochdruck, Herzschwäche) oder metabolische Störungen (z. B. Diabetes).

Untersucht wurden bisher vor allem die primären und sekundären lärmbedingten Wirkungen. Tertiäre Gesundheitsstörungen sind zwar biologisch plausibel, die Wirkungskette von Lärm über Schlafstörungen hin zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen wurde jedoch bisher noch nicht epidemiologisch nachgewiesen.

4.3.3 Primäre Wirkungen auf den Schlaf

Gerade für die primären Wirkungen von nächtlichem Fluglärm auf den Schlaf gibt es nachhaltig einflussreiche, methodisch anspruchsvolle Untersuchungen aus dem deutschsprachigen Raum. Vor allem die DLR-Studie „Leiser Flugverkehr“ (Basner et al., 2004) sowie die NORAH-Studie (Guski und Schreckenberg, 2015), ferner die laborexperimentellen Untersuchungen von Griefahn et al. (2005, 2010) seien hier erwähnt. Alle Forschergruppen bedienten sich bei der Schlafmessung unter anderem der Polysomnographie und der gleichzeitigen Aufzeichnung akustischer Reize sowohl im Außenbereich als auch am Ohr des Schlafenden. Bei den ähnlich strengen Untersuchungsdesigns wurde auf den Ausschluss vieler möglicher Störeinflüsse geachtet, und es wurden – mit Ausnahme von NORAH – Kontrollgruppen eingesetzt, weshalb gerade einige Ergebnisse dieser Studien hier besondere Beachtung finden sollen. Die Schwachpunkte dieser Untersuchungen sind vor allem in der Selektivität der Stichproben zu sehen.

Aus den vorliegenden experimentellen wie auch Feldstudien konnten eindeutige Expositions-Wirkungs-Beziehungen gezeigt werden.

Basner et al. (2004, 2006) kamen – auf Basis ihrer Feldstudie am Flughafen Köln/Bonn mit 64 schlafgesunden Personen – bei Berechnungen von Expositions-Wirkungs-Zusammenhängen auf einen Schwellenwert von ca. 33 dB(A). Das heißt,

bei Maximalpegeln (Innenpegel) oberhalb dieses Wertes ergibt sich eine Zunahme der unter Fluglärm beobachteten Aufwachwahrscheinlichkeit im Vergleich zu lärmunabhängigen spontanen Aufwachreaktionen; diese lagen in dieser Studie im Mittel bei $24,4 \pm 9,3$ pro Schlafnacht. Diese Ergebnisse stimmen gut mit jenen in der Literatur (Mathur und Douglas, 1995) überein. Spontanes Erwachen erfolgt mit einer Wahrscheinlichkeit von 8,6 Prozent. Ab 33 dB(A) erhöht sich diese Wahrscheinlichkeit in der Modellrechnung kontinuierlich. Als spontane Aufwachreaktion wurde hier nicht nur der tatsächliche Wachzustand des Probanden definiert, sondern auch der Wechsel aus einer tieferen Schlafphase in das Leichtschlafstadium S1. Welche gesundheitlichen Wirkungen mit wenigen zusätzlichen Aufwachreaktionen verbunden sind, bleibt offen.

Bei der aktuellen NORAH-Studie (Müller, 2015) wurde dagegen nur ein Wechsel in das Stadium „Wach“ als Aufwachreaktion gewertet, da eine Schlaftiefenanalyse im Jahre 2011 aufgrund technischer Probleme (falsche Filtereinstellung der polysomnografischen Daten) nicht möglich war. Es zeigten sich ähnliche Ergebnisse bezüglich der fluglärmassoziierten Aufwachwahrscheinlichkeit (siehe Abbildung 10). Diese unterschied sich für die Jahre 2011 und 2012 (nach Einführung einer Kernruhezeit) nicht signifikant. Insgesamt wachten die Anwohner des Flughafens Frankfurt nach Einführung der Kernruhezeit zwischen 23 und 5 Uhr (2012) erheblich seltener auf. Auch die selbstberichteten fluglärmbedingten Schlafstörungen, erhoben durch telefonische und Online- Befragungen (Schreckenber, 2015), lagen in den Jahren 2012 und 2013 bei abnehmendem Nachtmittelungspegel (LpAeq 22-6h) im Durchschnitt niedriger als im Jahr 2011. Zudem hat sich der Prozentanteil der stark durch Fluglärm gestörten Personen verringert.

Zusammenhang zwischen nächtlichem Fluglärm und der relativen Aufwachwahrscheinlichkeit

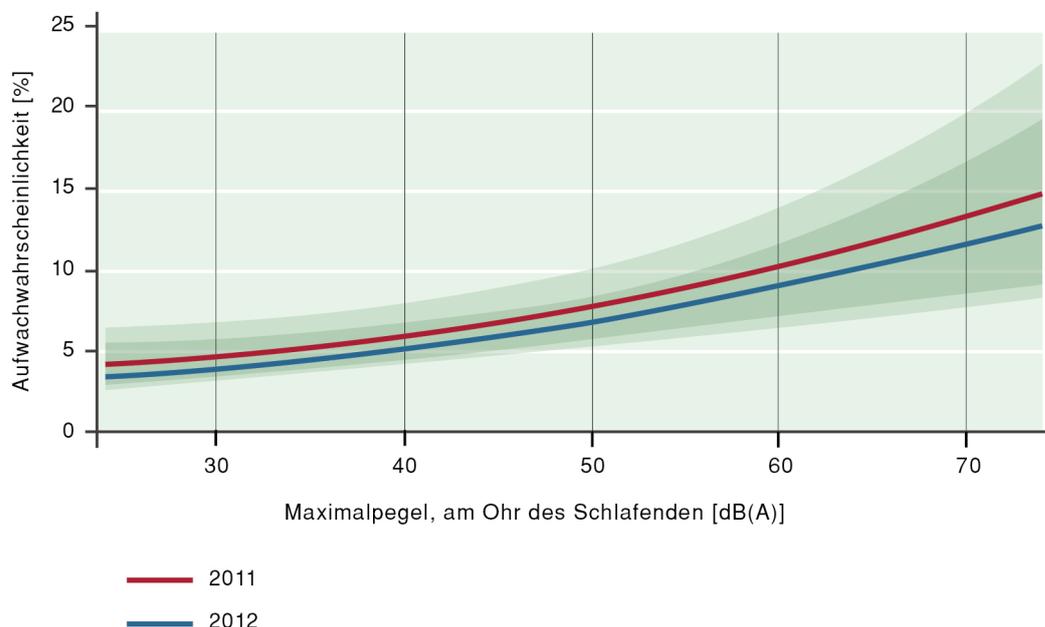


Abb. 10: Zusammenhang zwischen nächtlichem Fluglärm, angegeben als Maximalpegel am Ohr des Schlafenden, und der relativen Aufwachwahrscheinlichkeit
(Quelle: Guski und Schreckenber, 2015, NORAH-Studie, Teilprojekt Schlaf)

Ein Vergleich der Ergebnisse um den Flughafen Frankfurt (NORAH) mit jenen in der Umgebung des Flughafens Köln (Basner, 2006) zeigt, dass der Anstieg der Kurve, die den Zusammenhang zwischen Aufwachwahrscheinlichkeit und nächtlichem Fluglärm beschreibt, bei beiden Studien sehr ähnlich ist. Beide Studien sehen eine Abhängigkeit dieses Anstieges vom Pegel vor dem Überflugeignis. (Der Anstieg ist umso steiler, je niedriger der Lärmpegel eine Minute vor dem Überflugeignis war). Bei einem mittleren Ausgangswert am Ohr des Schlafers von 28 dB(A) steigt die Chance einer Aufwachwahrscheinlichkeit in Frankfurt um 25 Prozent pro 10 dB(A) und in Köln um 21 Prozent, wobei in Köln auch der Übergang in das Leichtschlafstadium S1 mitgerechnet wird.

Was sich in beiden Studien jedoch deutlich unterscheidet, ist die lärmunabhängige, spontane Aufwachwahrscheinlichkeit: diese liegt mit 2,4 Prozent in Frankfurt deutlich niedriger als in Köln (8,6 Prozent). Neben vielen unbekanntem verursachenden Faktoren könnte eine mögliche Erklärung dafür die unterschiedlichen auswertenden Personen der Schlafnächte sein, deren Übereinstimmungen in den Ergebnissen, gerade wenn sie aus verschiedenen Einrichtungen kommen, nicht immer zufriedenstellend sind (Danker-Hopfe et al., 2009; Rosenberg et al., 2013; Penzel et al., 2013).

In der NORAH-Studie wurden erstmalig auch sogenannte „Frühschläfer“ und „Spätschläfer“ unterschieden (eine Stunde Unterschied im Beginn der Schlafzeit). 2012 lag die Wahrscheinlichkeit, bei einem Überflug zu erwachen, für die Gruppe der Spätschläfer höher. Allerdings zeigten sich keine Unterschiede in den anderen gemessenen Schlafparametern wie Einschlafzeit, gesamte Schlafzeit, Schlafeffizienz und weiteren im Vergleich zu den Frühschläfern.

Bei Laborstudien zeigen sich deutlich stärkere Effekte als bei Feldstudien (Abbildung 11). Diese Ergebnisse entsprechen denen anderer Forschergruppen (Hume und Whitehead, 2003; Pearsons, 1995). Die Autoren erklären den Unterschied zwischen Feld- und Laborstudien durch die mögliche Gewöhnung an die vertraute Umgebung sowie auch an die spezifischen Geräuschszenarien in den Feldstudien.

Vergleich von Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Labor- und Feldstudien

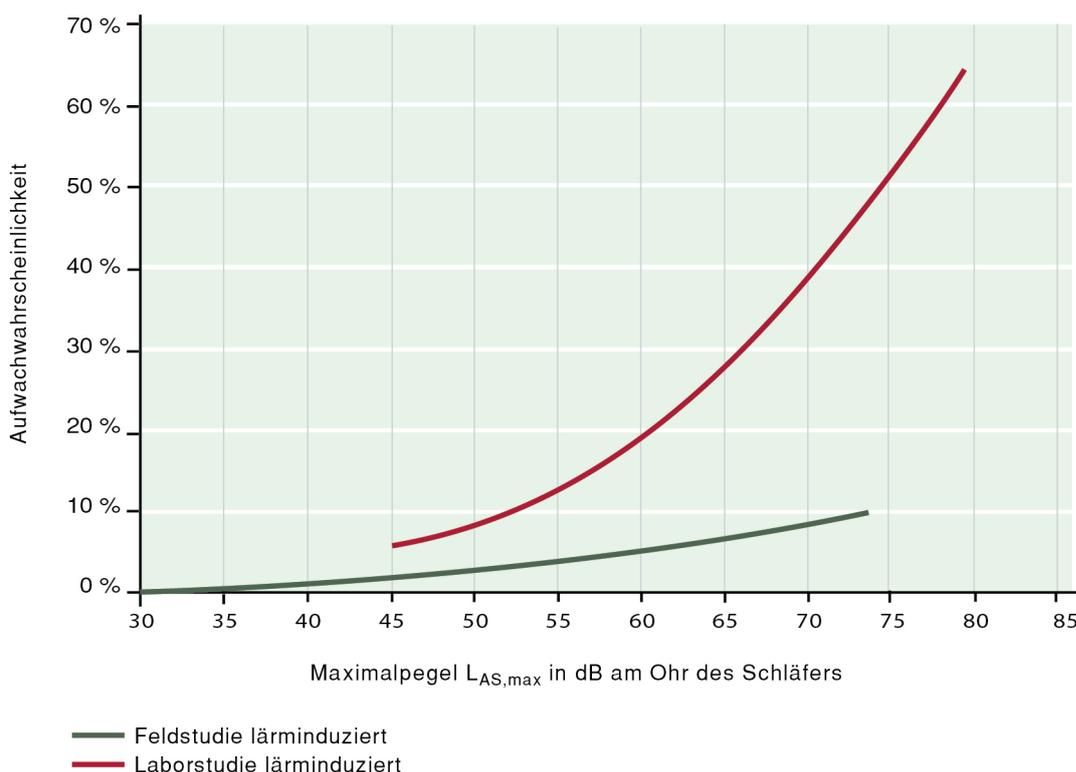


Abb.11: Vergleich der Expositions-Wirkungs-Beziehungen (obere Kurve: Laborstudien, untere Kurve: Feldstudien).
Quelle: DLR-Abschlussbericht zum Projekt „Leiser Flugverkehr“, Basner et al., 2004

Ebenfalls innerhalb dieses Projektes („Leiser Flugverkehr“, Basner et al., 2004) zeigte sich im Vergleich zu lärmfreien Nächten eine statistisch bedeutsame Reduktion des Tiefschlafs um einige Minuten in den Laborstudien. Der Leichtschlaf und die Wachzeit stiegen dagegen etwas an. Nächtliches Erwachen durch die Lärmexposition (40 bis 120 Überflüge) nahm mit ansteigendem Maximalpegel zu (nicht jedoch bei Betrachtung des äquivalenten Dauerschallpegels), bei gleichzeitiger Zunahme der Frequenz allerdings wieder ab. Diese Beobachtung erklären die Autoren mit einem Gewöhnungseffekt, der auch in anderen Untersuchungen nachgewiesen werden konnte. Bedeutsame prozentuale Veränderungen der Schlafstruktur wie verlängerte Einschlafzeiten ließen sich nicht finden. Aufgrund der oben erwähnten technischen Probleme konnten diese Ergebnisse nicht mit denen der aktuellen NORAH-Studie verglichen werden.

Die fluglärmbedingte Tiefschlafreduktion von wenigen Minuten pro Nacht (Basner, 2004; Griefahn, 2006) scheint aus Autoren- wie aus klinischer Sicht im akuten Fall eher klein zu sein. Diese Zusammenhänge scheinen laut den Autoren Cuellar (2013) und Pepin (2014) auch abhängig von Alter, Geschlecht, Umwelteinflüssen und ethnischer Zugehörigkeit zu sein.

Aus diesen Ergebnissen kann aber ebensowenig der Schluss gezogen werden, dass eine Tiefschlafreduktion, die in einem Umfang von wenigen Minuten in der klinischen Praxis kaum auffallen dürfte, im chronischen Verlauf keinen Einfluss auf die Gesundheit haben kann. So wird auch der sich über das Alter drastisch reduzierende Tiefschlafanteil bereits als möglicher Prädiktor des Bluthochdrucks diskutiert (Javaheri und Redline, 2012). Auch kann aktuell keine Einschätzung für vulnerable Gruppen getroffen werden. Vorliegende Forschungsergebnisse lassen derartige Schlüsse derzeit nicht zu.

Ein Vergleich zwischen Schienen-, Straßen- und Luftverkehrslärm von Griefahn et al. (2005, 2011) erbrachte für Schienenverkehr die stärksten Lärmwirkungen in Form des steilsten Anstiegs der Herzfrequenzen. Subjektiv erfragt wurde dagegen der Fluglärm als am meisten störend wahrgenommen, wenn auch nicht statistisch gesichert (Elmenhorst et al., 2012). Veränderungen im EEG/EKG sind nach Miedema und Vos (1998) in Abhängigkeit vom maximalen Pegel beobachtet worden, ferner von der Pegelanstiegszeit (z. B. der Geschwindigkeit von Überflügen), der Dauer und der Frequenz des Geräusches und der Dauer der vergangenen Schlafzeit. Das bedeutet, die Wahrscheinlichkeit zu erwachen steigt auch mit zunehmender Schlafzeit an. Dieses Ergebnis ist gut mit der Tatsache des generell flacheren Schlafes in den frühen Morgenstunden vereinbar.

Weiterhin gab es auch verschiedene Felduntersuchungen in den USA (z. B. Fidell, 1995a+b, 2000) und in den Niederlanden (Passchier-Vermeer, 2002), die sich auf die ökonomischere Untersuchungsmethode Aktimetrie und/oder Drücken eines Knopfes bei bewusstem Erwachen durch ein Fluggeräusch und auf das Vorkommen von Körperbewegungen konzentriert haben. Die Ergebnisse dieser und einer weiteren Studie werden von Michaud (2008) zusammengefasst und ausführlich beschrieben. Wegen großer methodischer Unterschiede zwischen den Studien ist die Angabe einer gemeinsamen, einheitlichen Expositions-Wirkungs-Beziehung zwischen Aufwachreaktionen und nächtlichem Fluglärm nicht möglich, jedoch finden alle Studien zumindest einen positiven Zusammenhang zwischen dem Lärm einzelner im Schlafzimmer gemessener Ereignisse und den Reaktionen der Studienteilnehmer. Die Auswertungen von Fidell et al. sind allerdings nicht korrekt und gestatten – wegen der willkürlichen Zusammenfassung von Ereignissen in wenigen Expositionsstufen – keine korrekte Beurteilung der statistischen Signifikanz. Die Effekte scheinen insgesamt nicht sehr ausgeprägt. Horne et al. (Horne, 1994) berichten, dass in 5,4 Prozent aller 30-Sekunden-Epochen des Schlafes Aufwachreaktionen stattfanden, während Überflügen waren es 6,5 Prozent der Epochen, die betroffen waren. Erst ab einem Außen-Maximalpegel von 82 dB(A) waren die Aufwachreaktionen bei Überflügen statistisch bedeutsam größer als in Epochen ohne Überflüge.

Basner et al. (2001) berichten für die Lärmnächte zwar auch eine erhöhte Anzahl an Körperbewegungen, jedoch keine Expositions-Wirkungs-Beziehung zum äquivalenten Dauerschallpegel, zum Maximalpegel oder zur Anzahl der Schallereignisse. Zu beachten gilt, dass Körperbewegungen während des ungestörten Schlafs wiederholt spontan auftreten; am wenigsten im Tiefschlaf, am häufigsten im Leichtschlaf und REM. Ihre Häufigkeit nimmt damit wie das Erwachen im Laufe der Nacht zu. Michaud (2008) kommt daher zu dem Schluss, dass sich die Untersuchung von Körperbewegungen anhand der Aktimetrie in Bezug auf Lärmwirkungsfragen nur eingeschränkt eignet. Nach den Ergebnissen der NORAH-Studie scheint die Messung von Körperbewegungen in Kombination mit einer Herzschlagmessung („VMM“ – vegetativ-motorische Methode) dagegen erfolversprechender zu sein. Diese kann von den Untersuchungsteilnehmern selbstständig angewendet werden und stellt somit eine ökonomischere Methode zur Messung größerer Gruppen dar. Da es sich hierbei um eine innovative Methode handelt, muss sie zukünftig allerdings noch umfassender auf ihre Validität getestet werden.

4.3.4 Sekundäre Wirkungen auf den Schlaf

Laut Basner (2008) besteht zumindest bei jungen gesunden Männern ein linearer Zusammenhang zwischen Tagesschläfrigkeit und nächtlichem Fluglärm (gemessen per Pupillometrie, deren Messgenauigkeit allerdings von einigen leicht zu beeinflussenden Faktoren abhängt). Ähnliche Ergebnisse fand Griefahn (2010) im Rahmen einer Schichtarbeitsuntersuchung, ermittelt durch Schläfrigkeitsfragebogen. Die Schläfrigkeit war nach dem Nachtschlaf sogar größer als nach dem Tagschlaf. Allerdings wurden hier ausschließlich die Auswirkungen von Straßenverkehrs- und Schienenlärm (L_{eq} 41,9 – 55,9 dB(A) auf den Tag- sowie Nachtschlaf untersucht.

Miedema (2007) fasste in einer umfassenden Metaanalyse die Daten von Studien zum Zusammenhang zwischen chronischen selbstberichteten Schlafstörungen und Außenlärm zusammen und bestimmte gemeinsame Expositions-Wirkungs-Beziehungen. Diese Meta-Analyse stellt eine Erweiterung einer älteren Metaanalyse von Miedema und Vos aus dem Jahre 1998 (Miedema, 1998) dar. Acht Studien zum Fluglärm wurden zusammengefasst, wobei kritisch anzumerken ist, dass sieben dieser Studien aus dem Zeitraum zwischen 1971 und 1986 stammen.

Da die Charakteristika des Fluglärms sich seither verändert haben – die Anzahl an Flugbewegungen ist höher bei geringerer Lärmbelastung durch das einzelne Flugzeug – kann nicht abgeschätzt werden, ob diese Meta-Analyse auch die heutigen Gegebenheiten noch richtig beschreibt. Da diese Meta-Analyse aber von vielen europäischen Gremien benutzt wird, um Hinweise für mögliche Grenzwerte zu bekommen (WHO, 2009; WHO, 2011), wird sie im Folgenden genauer beschrieben. Fluglärm scheint bei gleichem Nachtlärmpegel zu mehr selbstberichteten Schlafstörungen zu führen als Straßen- oder Schienenverkehrslärm. Allerdings muss hier beachtet werden, dass die Fragen, die für die Erfassung von Schlafstörungen bei Fluglärm und den anderen Lärmarten verwendet wurden, nur teilweise vergleichbar waren. Überdies gibt es bei der Beantwortung zu Fluglärmfragen eine größere Streubreite in den Ergebnissen als bei den beiden anderen Verkehrslärmarten, was eine Vorhersage von Schlafstörungen aufgrund von Fluglärm unsicher macht. Als mögliche Gründe werden die Variation der zeitlichen Lärmexpositionen an verschiedenen Flughäfen aufgrund der unterschiedlichen Nachtflugvorschriften vermutet, sowie der beobachtete Trend, dass selbstberichtete Schlafstörungen bei gleichen Lärmpegeln in neueren Studien höher angegeben werden als in den früheren Untersuchungen. Kritisch ist überdies anzumerken, dass nur das Alter der Probanden, nicht jedoch wichtige weitere Faktoren, in die gemeinsame Auswertung einbezogen werden konnten.

Die Auswertungen von Miedema gestatten es, die Beziehung zwischen Fluglärm und dem Anteil stark schlafgestörter Personen in einer relativ einfachen Formel zu beschreiben. Diese Formel wird zum Beispiel von der WHO (2009) verwendet, um

auszurechnen, wie viele stark schlafgestörte Personen bei unterschiedlichem nächtlichem Fluglärm zu erwarten sind: Bei 45 dB(A) werden 5,2 Prozent stark schlafgestörte Personen erwartet und bei 65 dB(A) sind es 18,8 Prozent, das heißt im 20 dB(A) höher belasteten Areal sind es 13,6 Prozentpunkte mehr. Wegen der teilweise veralteten Datenbasis von Miedema erscheint es dringend erforderlich, die Gültigkeit dieser Formel mit neueren Studien und unter adäquater Einbeziehung von Störgrößen zu überprüfen. Eine solche neuere Studie ist die im nachfolgenden beschriebene von Boes et al. (2013).

Die Größenordnung des Effektes stimmt allerdings mit einer neueren epidemiologischen Erhebung um den Flughafen Zürich überein, bei der wichtige weitere Faktoren adäquat berücksichtigt wurden (Boes, 2013). Dort fand man nach einer Änderung der Nachtflüge auf einzelnen Startbahnen eine Zunahme des Nachtlärms von bis zu 9 dB(A) (bei einem Mittelwert von 35,8 dB(A)). Damit einhergehend nahmen selbstberichtete Schlafstörungen (im Mittel 25,3%) der stärker belasteten Individuen pro 1 dB(A) Erhöhung des Nachtlärms um 0,6 Prozent zu (extrapoliert würde das 12 Prozent bei 20 dB(A) Erhöhung entsprechen).

Die subjektive Schlafqualität verringert sich mit zunehmendem Dauerschallpegel (Quehl, 2005). Auch Schreckenbergs und Meis (2006) kamen in einer Fragebogenstudie mit dem Schlafqualitäts-Fragebogen „PSQI“, der routinemäßig in der klinischen Schlafmedizin eingesetzt wird, zu ähnlichen Ergebnissen: Bei den Skalen „Subjektive Schlafqualität“ und „Schlaf latenz“ konnten statistisch signifikante Effekte durch den nächtlichen Fluglärm nachgewiesen werden. Mit steigendem Fluglärmpegel wurde zudem über eine schlechtere Schlaf latenz (Einschlafdauer) und -qualität berichtet, die Effekte waren jedoch schwach. Bei den anderen Skalen „Schlafdauer“, „Schlafeffizienz“, „Schlafstörungen“, „Tagesschläfrigkeit“ und „Schlafmittelkonsum“ ließen sich keine statistisch bedeutsamen, durch den nächtlichen Fluglärm bedingten Effekte, feststellen.

Bei subjektiven Selbstberichten zur Schlafqualität findet sich scheinbar häufiger ein Zusammenhang zwischen der Exposition von Fluglärm und Schlafstörungen (Maschke und Niemann, 2014). Nach lärmbedingten Schlafstörungen fühlen sich die Befragten auch häufiger müde (z. B. Basner et al., 2001), wobei das Ausmaß der Müdigkeit mit der Anzahl der Schallreize ebenso wie mit dem äquivalenten Dauerschallpegel zunimmt, während bei den Primärwirkungen eher die Maximalpegel statistisch signifikante Wirkungen auf den Schlaf zeigen. Es finden sich zwischen den subjektiven und objektiven Ergebnissen jedoch kaum zufriedenstellende Zusammenhänge. So überraschte auch die aktuelle NORAH-Studie mit dem Ergebnis, dass die Müdigkeit sowie auch die Schläfrigkeit der Studienteilnehmer trotz Einführung der Kernruhezeit über die Untersuchungsdauer von drei Jahren stetig zugenommen haben.

Für den Bereich kognitive Leistungsfähigkeit am Tage nach Lärm in der Nacht gibt es bisher keine eindeutigen Ergebnisse, sondern eher Tendenzen: In einer Untersuchung unterschiedlicher kognitiver Leistungen von Müller et al. (2003 b) auf Basis der Daten von Probanden aus dem Projekt „Leiser Flugverkehr“ von Basner et al. wurden schwache, aber statistisch signifikante Anstiege lediglich für die am Morgen nach der Lärmexposition um wenige Millisekunden verlängerten Reaktionszeiten gefunden. Allerdings liegt diese Arbeit als Kongressbeitrag vor, es fehlen dementsprechend Angaben von wichtigen Werten. Elmenhorst (2012) konnte bei einem Vergleich derselben Stichprobe mit 33 Personen, die nahe Bahnschienen leben, dagegen keine Einflüsse auf die Reaktionsgeschwindigkeit nach Lärmnächten finden. Laut Griefahn und Basner (2011) gibt es zusätzlich Hinweise auf eine verringerte Konsolidierungsfähigkeit von Gedächtnisinhalten und eine Verschlechterung von Leistungen bei Aufgaben, bei denen das Arbeitsgedächtnis beansprucht wird. Auf den Fluglärm können diese Ergebnisse jedoch nicht uneingeschränkt übertragen werden, da innerhalb dieser Untersuchungen lediglich Straßenverkehrs- und Schienenlärm appliziert wurde. Die Nutzung verschiedener, und damit kaum vergleichbarer, Leistungstests in unterschiedlichen Studien erschwert die Interpretation von Ergebnissen in diesem Bereich zusätzlich.

4.3.5 Tertiäre (chronische) Lärmwirkungen

Ob Fluglärm durch seine negative Wirkung auf den Schlaf (häufigeres Erwachen, Arousals, Körperbewegungen usw.) zur Entwicklung von kardiovaskulären oder anderen chronischen Erkrankungen beiträgt beziehungsweise diese verursacht, kann derzeit noch nicht beantwortet werden. Laut WHO Bericht von 2009 ist der Nachweis für den Zusammenhang, dass lärmbedingte akute Beeinträchtigungen des Nachtschlafes langfristige Krankheitsfolgen haben können, nur begrenzt gegeben, die Autoren beschreiben diesen Zusammenhang allerdings als biologisch plausibel. Während es Anhaltspunkte für einen Zusammenhang zwischen Lärm und Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System gibt (siehe Abschnitt Herz-Kreislauf), ist noch keineswegs geklärt, ob dieser Zusammenhang durch eine fluglärmbedingte Beeinträchtigung des Schlafes zustande kommt. Auch die NORAH-Studie konnte hierzu keine Ergebnisse beitragen. Bisher fehlen weitere umfangreiche und methodisch anspruchsvolle epidemiologische Studien.

4.3.6 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zum Schlaf

Für den Bereich Fluglärm und Schlaf liegen methodisch anspruchsvolle experimentelle und epidemiologische Studien vor, die primäre Wirkungen auf die Schlafqualität (Aufwachreaktionen, Zunahme von Bewegungen, Länge einzelner Schlafphasen) sowie sekundäre Wirkungen (Müdigkeit, Tagesschläfrigkeit, Beurteilung der Schlafqualität) statistisch signifikant und expositionsabhängig belegen. Das Ausmaß

dieser akuten und semiakuten Wirkungen, die oft bei jungen gesunden Probanden untersucht wurden, ist allerdings meist gering. Die größere Anzahl an Reviews kommt daher zu dem Schluss, dass dringend weitere Studien mit standardisierten Methoden benötigt werden, vor allem auch unter Einbeziehung besonderer Personengruppen wie Kinder, ältere Menschen, chronisch Erkrankte und andere vulnerable Gruppen, beispielweise Schichtarbeiter (Michaud et al., 2008; Finegold, 2010; Griefahn und Basner, 2011; Basner et al., 2012). Ob der Zusammenhang zwischen Fluglärm und chronischen Erkrankungen als tertiäre Wirkung durch eine fluglärmbedingte Veränderung der Schlafqualität bewirkt wird, ist bisher nicht empirisch belegt.

Die Tatsache, dass es, abhängig unter anderem von Expositionshöhe und -dauer, Fluglärmwirkungen auf den Schlaf im primären und im sekundären Wirkungsbereich gibt, ist unumstritten – trotz der vielfachen und berechtigten Kritik an den unterschiedlichen und damit nicht oder nur sehr schwer vergleichbaren Methoden. Das Ausmaß des Zusammenhangs von Fluglärm und Gesundheitsbeschwerden wird gerade bei den akuten Effekten von einer Fülle von Nebenbedingungen (wie Gewöhnung, Alter, individuelle Schlafstruktur) beeinflusst und kann kaum allgemein angegeben werden. Wie einflussreich diese Nebenbedingungen sein können, zeigte die NORAH-Studie eindrucksvoll: Personen mit einer negativen Einstellung gegenüber Flugverkehr schliefen schlechter (längeres Einschlafen, weniger Tiefschlaf, längeres Wachliegen) als Personen, die Flugverkehr positiv gegenüberstehen. Allerdings bleibt hier unklar, ob die negative Einstellung Ursache oder Folge des schlechteren Schlafes ist.

4.4 STRESSHORMONE

Die Ausschüttung von Stresshormonen wird in vielen Studien im Zusammenhang mit nächtlicher Fluglärmbeschallung untersucht. Gemessen werden dabei Veränderungen der Hormonkonzentration im Urin (Adrenalin, Noradrenalin = Katecholamine, Cortisol) und für das Hormon Cortisol außerdem die Hormonkonzentration im Speichel. Für die Bestimmung der belastungsabhängigen Cortisolausschüttung ergibt sich die methodische Schwierigkeit, dass die Cortisolkonzentration starken tageszeitlichen Schwankungen unterliegt, die bei den Auswertungen berücksichtigt werden müssen. In den begutachteten Studien gelangten als Untersuchungsmethoden sowohl experimentelle Designs als auch Untersuchungen im Feld zum Einsatz. Insgesamt ist die Befundlage sehr uneinheitlich.

Unstrittig ist die Ausschüttung von Stresshormonen bei hohen Fluglärmpegeln wie eine Laboruntersuchung von Marth et al. (1988) zu den Auswirkungen von militärischem Tieffluglärm (Maximalpegel 105 dB(A) bei kurzen Pegelanstiegszeiten) zeigt. Hier wurde nachgewiesen, dass im Vergleich zur Situation vor der Lärmexposition die Konzentration des Hormons ACTH, das für das Auslösen einer Kette weiterer hormoneller Reaktionen verantwortlich ist, deutlich ansteigt; in 28 Prozent der Fälle wurden sogar pathologische Werte erreicht.

Für die im Vergleich hierzu moderatere Fluglärm-belastung, wie sie beispielsweise an Großflughäfen vorliegt, sind die Befunde nicht eindeutig. Exemplarisch seien hierfür die groß angelegte DLR-Studie zu den Auswirkungen nächtlichen Fluglärms auf die Ausschüttung von Stresshormonen (Maaß und Basner, 2006) und eine Teilstudie des HYENA-Projekts zu den Auswirkungen von Fluglärm auf den Cortisolspiegel (Selander et al., 2009) aufgeführt. Während in der DLR-Studie keine Zusammenhänge zwischen Fluglärmbelastung (Pegelvariation zwischen 45 und 80 dB(A), L_{max}) und Hormonkonzentrationen im Morgenurin (Katecholamine, Cortisol) nachgewiesen werden konnten, wurden in der HYENA-Studie statistisch signifikante Anstiege des Cortisolspiegels bei Frauen in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung (> 60 dB(A), $24\text{ h } L_{eq}$) gefunden. Warum sich die Effekte allerdings nur bei Frauen zeigten, ist unklar. Beide Studien sind im Hinblick auf ihre methodische Umsetzung als adäquat einzustufen. Während die DLR-Studie einen experimentellen Ansatz mit einer anschließenden Validierung im Feld verfolgte, handelte es sich bei der HYENA-Studie um eine reine Feldstudie, bei der Confounder-Variablen in angemessenem Umfang berücksichtigt wurden.

In einem Überblicksartikel kommt Babisch (2003) zu dem Schluss, dass im Hinblick auf die Ausschüttung von Stresshormonen durch Lärm eine differenzierte Betrachtungsweise notwendig ist, die den individuellen Umgang mit dem Stressor berücksichtigt. Andere Autoren (z. B. Ising, 2014) argumentieren ähnlich und betonen, dass Aspekte der individuellen Stressregulation berücksichtigt werden müssen. Aktuell werden zwei unterschiedliche Stressregulationsstile in der Forschungsliteratur besonders hervorgehoben: „Defense“ und „Defeat“. „Defense“ bezieht sich auf eine wahrgenommene Bedrohung, die Situation nicht mehr beeinflussen und unangenehme Ereignisse abwenden zu können. Daraus resultiert der Versuch, den drohenden Kontrollverlust rückgängig zu machen und den Stressor aktiv zu „bekämpfen“. Ein hierfür charakteristisches Beispiel wäre, dass sich der Betroffene vornimmt, aktiv für ein Nachtflugverbot zu kämpfen. Im Gegensatz dazu bezieht sich „Defeat“ auf eine resignative Haltung gegenüber dem Stressor. Betroffene fühlen sich der Situation hilflos ausgeliefert und „geben auf“, wobei die emotionalen Begleitumstände stark negativ getönt sind. Auf neurophysiologisch-hormoneller Ebene lassen sich diese beiden Stressregulationsstile differenzieren: aktive Bewältigung geht eher mit Sympathikus-Nebennierenmarkaktivität und den Stresshormonen Adrenalin und Noradrenalin einher, passive Bewältigung ist eher gekennzeichnet durch Aktivität von Hypophyse, Nebennierenrinde und dem Stresshormon Cortisol. Eine durch Lärm bedingte Ausschüttung von Stresshormonen hängt damit in ihrer Zusammensetzung und Ausprägung von der individuellen Verarbeitung der Belastungssituation ab. Dabei wird die Stressverarbeitung von weiteren nichtakustischen, psychologischen Faktoren – wie etwa Einstellungen gegenüber der Lärmquelle und dem Verursacher – beeinflusst.

Im Zusammenhang mit der Messung von Stresshormonen wird weiterhin bemängelt, dass in Bezug auf chronischen Stress keine einheitlichen Verfahrensvorgaben existieren (Babisch, 2003). Neuere Studien zeigen darüber hinaus, dass – je nach kognitiver Bewertung des Stressors – unterschiedliche Hormone unterschiedliche zeitliche Konzentrationscharakteristiken aufweisen (Koolhaas et al., 2011), die zu Überlagerungen führen und einer einfachen Bestimmung des Hormonstatus entgegenstehen.

Generell lässt sich konstatieren, dass für den Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und der Ausschüttung von Stresshormonen weiterer wissenschaftlicher Klärungsbedarf besteht.

4.4.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu Stresshormonen

Für intensive Fluglärmbelastung (wie militärischen Tieffluglärm) ist ein deutlicher Zusammenhang mit der Ausschüttung von Stresshormonen nachgewiesen. Für Pegelbereiche des zivilen Luftverkehrs sind die Befunde uneinheitlich. Die Ursachen hierfür sind sowohl in individuell unterschiedlichen Stressregulationsmechanismen zu suchen als auch in den methodischen Schwierigkeiten, sowohl die entsprechenden Hormonkonzentrationen als auch den regulationsspezifischen Hormonmix zu bestimmen.

4.5 SELBSTBERICHTETER GESUNDHEITZUSTAND

Neben physiologischen Messungen wird bei einer Vielzahl von Studien der selbst eingeschätzte Gesundheitszustand erfasst. Für die Messung des Gesundheitszustandes existieren eine Reihe von validierten Fragebögen und Skalen (im anglo-amerikanischen Bereich zum Beispiel der sogenannte GHQ, der General Health Questionnaire). Erfasst werden unter anderem Schlafstörungen, psychosomatische Beschwerden, manifeste Krankheiten und psychische Störungen. In einigen Studien (z. B. HYENA-Projekt) wird indirekt versucht, über den berichteten Medikamentenkonsum den Gesundheitszustand der betroffenen Personen abzuschätzen. Zusätzlich wird teilweise die Lebensqualität über Skalen, die sich unter anderem auf die Lebenszufriedenheit, das körperliche und psychische Wohlbefinden sowie die Beeinträchtigung der Erholung (draußen) beziehen, erfasst. Dabei ist die Abgrenzung von der Wirkvariable „Belästigung“ teilweise unscharf, da Belästigung als Aspekt der Lebensqualität betrachtet wird.

Generell finden sich in den begutachteten Studien Zusammenhänge zwischen der Fluglärmbelastung und selbstberichteten gesundheitlichen Beeinträchtigungen. So konnte beispielsweise in einer Teilstudie des HYENA-Projekts ein Zusammenhang zwischen der Belastung durch Fluglärm und einem erhöhten Gebrauch von Schlafmitteln und angstauflösenden Medikamenten (Hypnotika und Anxiolytika), der über persönliche Interviews erfasst wurde, nachgewiesen werden. Zugleich wurden gesundheitsrelevante Confounder wie Body Mass Index (BMI), Alkoholkonsum, Rauchverhalten und körperliche Bewegung berücksichtigt.

Ab 30 dB(A) (L_{eq} außen nachts) lag das relative Risiko für einen erhöhten Gebrauch der genannten Medikamente pro 10 dB(A) Fluglärmhöhung bei 1,70, mit einem 95-Prozent-Konfidenzbereich zwischen 1,22 und 2,36 (Floud et al., 2011).

Methodisch besonders hervorzuheben ist eine neuere Studie am Flughafen Zürich aus dem Jahr 2013, die eine Längsschnittstudie mit einem quasiexperimentellen Design kombiniert (Boes et al., 2013). Dies wurde durch zwei Änderungen in den Betriebsbedingungen von Start- und Landebahnen (temporäre Stilllegung und Flugroutenänderung) möglich. Aus diesen Veränderungen resultierte eine durchschnittliche Verringerung der Lärmbelastung für einzelne Betroffene von bis über 6 dB(A) (Tag-Nacht-Messung), für andere hingegen stieg die Lärmbelastung auf über 9 dB(A) im Mittel an. Durch dieses Untersuchungsdesign konnte der Gesundheitsstatus derselben Probanden vor und nach den Änderungen erhoben werden. Im Ergebnis der Studie zeigten sich für berichtete Schlafprobleme und Kopfschmerzen statistisch signifikante Zusammenhänge mit den veränderten Belastungsbedingungen. Waren dieselben Personen durch die veränderten Betriebsbedingungen einer erhöhten Fluglärmbelastung ausgesetzt, war auch eine Erhöhung der berichteten gesundheitlichen Probleme zu verzeichnen.

Ein ähnliches Untersuchungsdesign findet sich in der Studie von Seabi (2013), in der der selbstberichtete Gesundheitsstatus und die Belästigung von Schulkindern vor und nach der Stilllegung eines Flughafens in Südafrika untersucht wurde. Als Vergleichsgebiet (Kontrollgruppe) dienten Schulen mit einer Fluglärmbelastung zwischen 54,4 und 55,3 dB(A) L_{eq} . Durch die Stilllegung des Flughafens sank der L_{eq} an den ursprünglich hoch belasteten Schulen mit Pegeln zwischen 63,5 bis 69,9 dB(A) L_{eq} auf einen durchschnittlichen Wert von 55,2 dB(A). Jeweils dieselben Kinder (Längsschnittdesign) wurden in drei Untersuchungswellen (einmal vor und zweimal nach der Stilllegung) im Abstand von einem Jahr befragt. Zusätzlich wurden eine Reihe soziodemographischer und sozioökonomischer Variablen erhoben, um Confoundervariablen angemessen zu berücksichtigen.

Für den Gesundheitsstatus der Kinder zeigten sich keine Unterschiede zur Kontrollgruppe und keine Veränderungen in Abhängigkeit von der abnehmenden Lärmbelastung. Bei den Belästigungsurteilen sah das Ergebnis hingegen anders aus. In der ersten Welle gaben die Kinder in den hoch belasteten Gebieten deutlich häufiger an, in der Schule den Fluglärm wahrzunehmen und durch diesen belästigt zu sein, als die Kinder aus dem Kontrollgebiet. Dieser Unterschied nahm nach Schließung des Flughafens erheblich ab, blieb aber in gewissem Maß auch in der zweiten und sogar noch in der dritten Befragungswelle (zwei Jahre nach der Schließung des Flughafens) bestehen. In der Wohnung hingegen waren diese Unterschiede von Anfang an klein.

Auch wenn sich in dieser Studie keine gesundheitlichen Effekte in Abhängigkeit von der Reduktion der Fluglärmbelastung zeigten, so ist hier bemerkenswert, dass eine abrupte Veränderung der Fluglärmbelastung durch die Stilllegung des Flughafens nicht zu einem abrupten, sondern zu einem – sich über den Zeitraum von mehr als zwei Jahren erstreckenden – Absinken der empfundenen Belästigung führte (siehe Kapitel 4.1 über Belästigung).

4.5.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zum Thema selbstberichteter Gesundheitszustand

In den begutachteten Studien von Floud et al. (2011) und Boes et al. (2013) findet sich ein Zusammenhang zwischen der Fluglärmbelastung und verschiedenen Aspekten des selbstberichteten Gesundheitsstatus und des Medikamentengebrauchs. Auch hier ist zu berücksichtigen, dass selbstberichtete Angaben zur Gesundheit nicht frei von einer subjektiven Einschätzung sind. Daraus lässt sich aber nicht zwangsläufig schließen, dass gefundene Expositions-Wirkungs-Beziehungen keine Aussagekraft haben.

4.6 PRÄ- UND POSTNATALE WIRKUNGEN

Prä- und postnatale Wirkungen umfassen mögliche Auswirkungen von Fluglärm auf das Ungeborene schon während der Schwangerschaft und weitere mögliche Auswirkungen in der frühen Kindheit. In diesem Zusammenhang werden im Folgenden die Ergebnisse von Studien dargestellt, die sich mit den Effekten von Fluglärm auf das Geburtsgewicht, auf die Frühgeburtlichkeit, auf Fehlbildungen und auf das Längenwachstum in der frühen Kindheit beschäftigt haben.

4.6.1 Ausprägung möglicher Effekte von Fluglärm

Das Geburtsgewicht kann durch eine Vielzahl von Umweltfaktoren während der Schwangerschaft beeinflusst sein. So weist ein niedriges Geburtsgewicht trotz ausreichend langer Schwangerschaft darauf hin, dass der Fötus nicht ausreichend versorgt war. Als Umweltfaktor kann extremer chronischer Stress der Mutter zu einer Verringerung des Geburtsgewichtes führen. Umweltfaktoren können auch zu Frühgeburten und zu kindlichen Fehlbildungen führen. Ähnlich wie das Geburtsgewicht kann auch das Längenwachstum in der frühen Kindheit auf vielfältige physiologische und Umweltfaktoren hindeuten, die sich auf die körperliche Entwicklung eines Kindes auswirken.

Die Frage, ob Fluglärm sich während der Schwangerschaft und in der ersten Zeit nach der Geburt gesundheitlich auf das Kind auswirkt, lässt sich aus wissenschaftlicher Sicht derzeit nicht beantworten, denn es liegen keine aktuellen Studien vor – die sechs veröffentlichten Studien zu diesem Thema sind 30 bis 40 Jahre alt und ihre Aussagekraft war schon zur damaligen Zeit schwach. Methodisch sind sämtliche Untersuchungen unzureichend, beispielsweise wurden so wichtige Faktoren wie Rauchen der Mutter nicht berücksichtigt. Zudem greifen selbst etwas neuere Veröffentlichungen für ihre Auswertungen auf ältere Daten zurück.

Eindeutige Erkenntnisse zu denkbaren Gesundheitseffekten (z. B. Fehlbildungen, Frühgeburten, niedriges Geburtsgewicht) lassen sich auf dieser Grundlage nicht gewinnen, auch wenn manche Studien einen möglichen Zusammenhang von sehr großem Fluglärm und früheren Geburten oder geringerem Geburtsgewicht zeigen. Unabhängig von der Studiengüte ist bei Studien, die auf jahrzehntealte Daten zurückgreifen, zu bedenken, dass sich der Fluglärm an den untersuchten Orten seitdem stark verändert hat: Typischerweise gab es damals zwar weniger Flugbewegungen als heute, aber die eingesetzten Flugzeuge waren wesentlich lauter. Auch deshalb lassen sich die Werte nicht mit heutigen vergleichen oder auf die heutige Situation übertragen..

Die Veröffentlichungen zu prä- und postnatalen Wirkungen wurden in insgesamt elf Übersichtsarbeiten zusammenfassend bewertet. Alle beurteilen die Datenlage als unzureichend. Die neueste Übersichtsarbeit zu den Gesundheitseffekten chronischer Lärmexposition in Schwangerschaft und früher Kindheit (Hohmann, 2013) ist die einzige systematische. Sie kommt hinsichtlich Fluglärms zu dem Schluss, dass kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Fluglärm und niedrigerem Geburtsgewicht oder Schädigungen im Schwangerschaftsverlauf belegbar ist.

In den 1970er Jahren untersuchten zwei Studien, ob Fluglärm sich auf das Wachstum von Kindern auswirkt. Eine methodisch eigentlich ordentlich durchgeführte Studie aus

den USA zeigt trotz damals höherer Belastung keine oder nur verschwindend geringe Effekte. Die andere Studie stammt aus Japan. Hier wurden wichtige Faktoren, die das Ergebnis beeinflussen könnten, nicht berücksichtigt. Selbst angesichts dieser Einschränkung zeigten sich keine relevanten Wirkungen.

Bisher gibt es keine eindeutigen Belege dafür, dass Fluglärm das Längenwachstum beeinflusst.

Für belastbare Ergebnisse zu prä- und postnatalen sowie weiteren physischen Wirkungen auf Kinder wären neue Studien nötig, die nach dem heutigen Stand der Wissenschaft konzipiert sind und wichtige Kofaktoren ausreichend genau miterfassen.

4.6.2 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu prä- und postnatalen Wirkungen

Prä- und postnatale Wirkungen umfassen mögliche Auswirkungen von Fluglärm auf das Ungeborene schon während der Schwangerschaft und weitere mögliche Auswirkungen in der frühen Kindheit. Die Frage, ob Fluglärm sich während der Schwangerschaft und in der ersten Zeit nach der Geburt gesundheitlich auf das Kind auswirkt, lässt sich aus wissenschaftlicher Sicht derzeit nicht beantworten, da hierzu aktuelle Studien fehlen.

4.7 ANDERE PHYSISCHE WIRKUNGEN

4.7.1 Hörschädigungen

Es wurden vier Studien aus unterschiedlichen Ländern zur Beeinträchtigung des Hörvermögens bei Kindern durch Fluglärm bewertet. Die aktuellste (Chen et al., 1993) konnte bei Kindern aus der Region einen Hörverlust messen, ihre statistische Auswertung ist jedoch unzureichend. Die anderen drei Studien stammen aus den 1970er und 80er Jahren und zeigen entweder keine nachweisbare Einschränkung oder haben aufgrund methodischer Mängel keine hinreichende Aussagekraft. Auf dieser Grundlage gibt es keine belastbaren Hinweise für eine Beeinträchtigung des Hörvermögens bei Kindern durch Fluglärm.

In WHO (1999) werden folgende Expositionen genannt, die zu Hörschädigungen führen können: berufliche Lärmbelastung, Freizeitlärm wie das Hören von lauter Popmusik in Diskotheken, Konzerten und über Kopfhörer, Blasmusik- oder Symphonieorchester, Lärm durch Schießen oder Motorradfahren. Hierbei wurden Hörschädigungen bei Expositionen mit einem $L_{Aeq,24h}$ -Pegel von mehr als 70 dB nachgewiesen. Belastungen dieser Größenordnung sind in Wohnbereichen in der Nähe ziviler Verkehrsflughäfen aber eher selten.

4.7.1.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu Hörschäden

Die Studien zur Beeinträchtigung des Hörvermögens bei Kindern durch Fluglärm zeigen entweder keine nachweisbare Einschränkung oder haben aufgrund methodischer Mängel keine hinreichende Aussagekraft. Auf dieser Grundlage gibt es keine belastbaren Hinweise für eine Beeinträchtigung des Hörvermögens bei Kindern durch Fluglärm.

Hörschäden durch Fluglärm sind in der Bevölkerung bei einer Exposition von $L_{Aeq,24h}$ unter 70 dB(A) nicht beobachtet worden. Die Daten zeigen, dass eine lebenslange Exposition gegenüber Umweltlärm mit $L_{Aeq,24h} < 70$ dB(A) bei der großen Mehrheit der Menschen (über 95 Prozent) nicht zu Hörschäden führen würde (WHO, 1999).

4.7.2 Krebs

Zum Thema Fluglärm und Krebs lagen die Studien von Visser et al. (2005), Greiser (2009) und die NORAH-Studie zur Bewertung vor. Die erste Studie zeigt keinen Zusammenhang, die zweite gibt für Frauen erhöhte Erkrankungsrisiken für sämtliche bösartigen Neubildungen an. Für diesen Befund wird eine Erhöhung der Erkrankungsrisiken für Brustkrebs sowie für Non-Hodgkin-Lymphome und Leukämien

verantwortlich gemacht. Die Aussagekraft der ersten Studie ist begrenzt, da keine individuellen Angaben über Confounder vorliegen. In der zweiten Studie gibt es schwerwiegende methodische Limitationen, so dass diese als nicht belastbar einzustufen ist.

In der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken (Seidler et al., 2015) bestand für den Brustkrebs bei Frauen keine klare Expositions-Wirkungs-Beziehung. Eine tendenzielle Expositions-Wirkungs-Beziehung und höhere Risiken ab ≥ 50 –55 dB(A) zeigten sich in der Nacht. Insgesamt sind die Risikoschätzer für Brustkrebs jedoch in der NORAH-Studie statistisch nur als gering abgesichert anzusehen (Hoffmann, Erdmann 2015).

4.7.2.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zum Krebs

Die sehr wenigen Studien zum Thema Fluglärm und Krebs zeigen entweder keinen klaren Zusammenhang oder weisen schwerwiegende methodische Mängel auf. Daher gibt es derzeit keine belastbaren Untersuchungen, die einen Einfluss von Fluglärm auf die Krebsentstehung begründen würden.

4.8 PSYCHISCHE ERKRANKUNGEN

Die Definition psychischer Erkrankungen und deren Erfassung werden in den begutachteten Studien unterschiedlich vorgenommen. Die Spanne reicht von manifesten psychischen Störungen, die mit einer Einweisung in die psychiatrische Abteilung entsprechender Krankenhäuser verbunden ist (Auswertung von Einweisungsraten), bis zu selbstberichteten psychischen Störungen (z. B. Angststörungen), die über Fragebögen erfasst wurden. Ein Großteil der Studien wurde in den 1980er und 1990er Jahren durchgeführt. Bei allen Studien handelt es sich um Feld- beziehungsweise epidemiologische Untersuchungen. Ca. 70 Prozent der begutachteten Studien beziehen sich auf den Londoner Flughafen Heathrow. Bei diesen Studien erfolgte eine Einteilung der Fluglärmbelastung in zwei (niedrig versus hochbelastetes Wohngebiet) oder vier Kategorien. Die methodische Herausforderung besteht vor allem in der Kontrolle von soziodemographischen und weiteren personenbezogenen Variablen (Confounder), um auszuschließen, dass gefundene Effekte auf eine wohngebietsspezifische Zusammensetzung der Wohnbevölkerung zurückgeführt werden können.

Eine kausale Herleitung des Zusammenhangs von Fluglärmbelastung und psychischer Erkrankung gestaltet sich aus theoretischer Sicht schwierig. Fluglärminduzierte Bedrohungsängste oder Hilflosigkeitsgefühle müssten bei chronischer Lärmbelastung in manifeste Angststörungen oder Depressionen umschlagen. Studien, die eine solche Kausalkette belegen, fehlen bisher. Ein erster Versuch, eine erhöhte psychische Sensibilität gegenüber Lärm mit der Erhöhung des Risikos einer psychischen

Erkrankung in Zusammenhang zu bringen, stammt von Stansfeld (1992). In einer experimentellen Untersuchung konnte er zwar zeigen, dass lärmempfindliche im Vergleich zu nicht lärmempfindlichen Personen psychophysiologisch mit einer erhöhten Herzrate und einer Erhöhung der Hautleitfähigkeit auf Fluglärm reagieren, ein Zusammenhang zwischen Lärmempfindlichkeit und einem Globalmaß für psychische Erkrankungen, in dem verschiedene Aspekte psychischer Beeinträchtigungen zusammengefasst wurden, konnte jedoch nicht gefunden werden. Andere Autoren wie Kaneko und Goto (2008) diskutieren eine erhöhte psychische Vulnerabilität als generellen Ausgangspunkt für unterschiedlichste Stressfolgen auf Fluglärm.

Unter Einbeziehung der neueren Studien ist die Befundlage zum Zusammenhang zwischen Fluglärm und psychischen Erkrankungen weitgehend uneinheitlich. Für die älteren (Heathrow-)Studien ist unter anderem aufgrund der fehlenden methodischen Möglichkeiten in den 1980er Jahren eine angemessene Berücksichtigung von Confoundern in der Regel nicht gegeben. Auch neuere Studien schaffen im Hinblick auf die Berücksichtigung von Confoundern nicht die gewünschte Klarheit. Für eine direkte Auswirkung von Fluglärm auf eine manifeste psychische Erkrankung ist die Befundlage zum gegenwärtigen Zeitpunkt wenig belastbar. Allerdings zeigte sich in einer Teilstudie des RANCH-Projektes, bei der Kinder im Alter von 9 und 10 Jahren untersucht und Confoundervariablen angemessen berücksichtigt wurden (Crombie et al., 2011), ein statistisch signifikanter expositionsabhängiger Anstieg der mit Hilfe eines standardisierten Gesundheitsfragebogens erfassten Hyperaktivität (untersuchter Pegelbereich 30 – 77 dB(A), 16h L_{eq}). Ein ähnlicher Befund hatte sich bereits in einer Studie am Flughafen Heathrow (Haines et al., 2001b) unter Verwendung des gleichen Messinstrumentes (Elternfragebogen zur psychologischen Morbidität von Kindern mit spezieller Skala zur Hyperaktivität) ergeben. Erklärt wird dies durch einen pegelabhängigen Anstieg der physiologischen Aktivierung.

In der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken (Seidler et al., 2015) zeigte die kontinuierliche Expositionsvariable für Episoden der unipolaren Depression ein statistisch signifikantes Risiko, wobei das Risiko über ansteigende Pegelkategorien aber keine lineare Expositions-Wirkungs-Beziehung aufwies, sondern einen umgekehrt „U“-förmigen Verlauf. Die höchsten Risiken wurden für mittlere Lärmkategorien beobachtet (statistisch signifikante Risikoschätzer für alle Pegelklassen zwischen $\geq 40 - < 55$ dB(A)).

Für eine allgemeine Beantwortung der Frage nach den Auswirkungen von Fluglärm auf psychische Erkrankungen ist der Stellenwert von psychischen Vorerkrankungen und einer individuell erhöhten psychischen Vulnerabilität genauer zu klären. Insofern besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

4.8.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu psychischen Erkrankungen

Insgesamt ist die Befundlage zum Zusammenhang zwischen Fluglärm und psychischen Erkrankungen wenig belastbar. Die älteren Studien aus den 80er Jahren kämpfen mit methodischen Problemen, insbesondere mit der angemessenen Berücksichtigung von Confoundervariablen. Auch in neueren Studien wird teilweise nicht genügend Aufwand betrieben, um die Confoundervariablen im notwendigen Umfang zu erheben beziehungsweise zu kontrollieren. Weitere klärende Untersuchungen wären hier nötig, insbesondere auch was den Stellenwert von Vorerkrankungen oder einer erhöhten psychischen Vulnerabilität angeht. Wie drei Studien auf der Basis von Elternbefragungen übereinstimmend zeigen (Haines et al., 2001; Stansfeld et al., 2009; Crombie et al., 2011), gibt es ernstzunehmende Hinweise, dass der Anstieg von gemessenen Hyperaktivitätsveränderungen bei Kindern mit der Höhe der Fluglärmbelastung zusammenhängt. So sind in der Studie von Haines et al. (2001) die gemessenen Hyperaktivitätsscores im fluglärmbelastetem Wohngebiet [$16h-L_{eq > 63}$ dB(A)] im Vergleich zum weniger fluglärmbelastetem Wohngebiet [$16h-L_{eq < 57}$ dB(A)] um 15,7 Prozent erhöht. Im Hinblick auf sekundäre Folgen des durch Fluglärm gestörten Schlafs gibt es nur begrenzte Evidenz, dass gestörter Schlaf zu klinischen Konsequenzen wie Depression oder anderen psychischen Erkrankungen führt.

In der NORAH-Studie zu Krankheitsrisiken (Seidler et al. 2015) wurden allerdings statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen Verkehrslärm und Depressionen gefunden (Hoffmann, Erdmann 2015).

4.9 KOGNITIVE FUNKTIONEN

Kognitive Funktionen stehen als Sammelbegriff für psychische Prozesse der Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung. Hierzu zählen im Wesentlichen Wahrnehmungs-, Aufmerksamkeits-, Gedächtnis- und Denkprozesse. Die Untersuchung der Beeinträchtigung kognitiver Funktionen in Abhängigkeit von Belastungen durch Fluglärm verfolgt einerseits methodisch unterschiedliche Herangehensweisen, andererseits sind unterschiedliche Zielgruppen Gegenstand der einzelnen Studien. Während der Einfluss von Fluglärm auf die Bewältigung kognitiver Aufgaben bei Erwachsenen hauptsächlich im Labor untersucht wurde, wurden Untersuchungen an Kindern sowohl im Feld als auch im Labor durchgeführt. Die interessierenden kognitiven Funktionen beziehen sich im Wesentlichen auf die Bereiche Aufmerksamkeit, Gedächtnis (Arbeitsgedächtnis, Langzeitgedächtnis), problemlösendes Denken, Sprachverarbeitung (Lesekompetenz, Leseverständnis) und psychomotorische Reaktionen.

Insgesamt lässt sich konstatieren, dass der Einfluss von Fluglärm auf kognitive Funktionen sowohl von der Art der Aufgabe, mit der das jeweilige kognitive System untersucht wird, als auch vom kognitiven Teilsystem selbst abhängt. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Laboruntersuchung von Becker et al. (1995), die eine Überwachungsaufgabe zum Test der Daueraufmerksamkeit verwendete, um die Auswirkungen von Fluglärm zu untersuchen. Probanden mussten über einen längeren Zeitraum auf dem Bildschirm eine vertikale Linie beobachten, die sich in zufälligen Abständen minimal in ihrer Länge veränderte. Sofern die Testpersonen eine Veränderung bemerkten, sollten sie die Leertaste auf der Computertastatur drücken. Diese sogenannte Vigilanzaufgabe musste unter drei verschiedenen Beschallungsbedingungen bearbeitet werden: (1) unter Ruhe, (2) unter Einspielung der Geräusche von Flugzeugüberflügen mit Maximalpegeln bis 70 dB(A) und (3) unter Einspielung von Überflügen mit Maximalpegeln bis 95 dB(A). Unter einer weiteren Bedingung wurde einem Teil der Probanden Feedback gegeben, wenn sie Längenveränderung der Linie korrekt bemerkt hatten.

Im Ergebnis zeigte sich zunächst, dass in den Bedingungen ohne Feedback sich keine Leistungsunterschiede zwischen den einzelnen Beschallungssituationen ergaben, das heißt, dass die Leistungen unter Ruhe identisch mit denen der 70- und 95 dB-Überflüge waren. In den Bedingungen mit Feedback zeigten sich allerdings statistisch signifikante Unterschiede. Feedback führt bei Aufgaben dieser Art normalerweise zu Leistungsverbesserungen, da die Probanden aus den Rückmeldungen lernen. Während unter Ruhe die Testpersonen vom Feedback profitieren konnten, zeigte sich ein deutlicher Abfall der Leistungen für die Beschallungsbedingungen, das heißt, unter Fluglärm konnte die Feedbackinformation nicht angemessen verarbeitet werden.

Ob und welche Effekte sich finden lassen, hängt damit wesentlich von der Art der Aufgabe ab. Auch die zeitliche und dynamische Charakteristik der Geräusche nimmt Einfluss auf das Ausmaß der Beeinträchtigung kognitiver Prozesse. So wirken sich Schallereignisse, die durch zeitlich strukturierte Pegelveränderungen charakterisiert sind, besonders störend auf kognitive Verarbeitungsprozesse aus (zusammenfassend Szalma und Hancock, 2011).

Besonders anfällig für Störungen durch Lärmereignisse ist jenes kognitive Teilsystem, das für die Verarbeitung akustischer beziehungsweise verbaler Information zuständig ist. Für die Forschung waren daher die Untersuchung der Lesekompetenz und des Leseverständnisses bei Kindern in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung von besonderem Interesse.

Unabhängig von der Art der Studie und der Zielgruppe zeigten sich bei über 70 Prozent der bewerteten Studien statistisch signifikante Beeinträchtigungen unterschiedlichster kognitiver Funktionen in Abhängigkeit von der Höhe der Fluglärmbelastung. Für die überwiegende Mehrheit dieser Studien gilt, dass sie unter methodischen Aspekten als adäquat – im Sinne einer bestmöglichen Kontrolle von Confoundern und Störvariablen – eingestuft werden können. In den experimentellen Studien wurde die Lärmbelastung in der Regel in zwei bis drei Stufen (Ruhe beziehungsweise gering versus stark belastet) variiert. Die Belastungsvariationen sind zwischen den Studien sehr unterschiedlich und befinden sich in einer Spannweite zwischen 42 und 66 dB(A) L_{eq} . Eine Ausnahme der zweistufigen Pegelvariation bildete die DLR-Studie zu den Auswirkungen nächtlicher Fluglärmbelastungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit am nächsten Morgen (Elmenhorst et al., 2010). In dieser Untersuchung wurden sowohl der Pegel (zwischen 45 und 80 dB(A) Maximalpegel) als auch die Häufigkeit der nächtlichen Fluglärmereignisse (zwischen 4 und 128) experimentell variiert.

Im Ergebnis zeigte sich bei einer der beiden verwendeten Aufgaben (psychomotorische Vigilanzaufgabe = Test der Daueraufmerksamkeit) eine expositionsabhängige Verschlechterung der Reaktionszeit um 0,13 Millisekunden pro 1 dB(A) L_{eq} , die bei einer Validierung im Feld höher ausfiel (0,3 Millisekunden pro 1 dB(A) L_{eq}). Bei einer Erhöhung der Lärmbelastung um 20 dB(A) L_{eq} resultieren demnach Reaktionszeitverlängerungen zwischen 2,6 und 6 Millisekunden. Zur Einordnung: Die normale Reaktionszeit auf das Aufleuchten eines Lämpchens beträgt im Durchschnitt 180 Millisekunden. Bezogen auf eine solche einfache Reaktionszeitaufgabe entsprechen die durch eine Erhöhung der Fluglärmbelastung um 20 dB(A) induzierten Effekte einer Reaktionszeitverlängerung zwischen 1,4 und 3,3 Prozent. (Beispiel: Bei einer Autofahrt mit 100 km/h werden in einer Sekunde knapp 28 m zurückgelegt. Ist die Reaktionszeit um 6 Millisekunden verlängert, werden in einer kritischen Situation in diesen 6 Millisekunden knapp 17 cm zurückgelegt.)

Die epidemiologischen Studien zu den Auswirkungen der Fluglärmbelastung auf kognitive Funktionen bei Kindern, speziell die Auswirkungen auf Lesefähigkeit, Konzentration, Aufmerksamkeit und Gedächtnis können auf eine lange Forschungstradition zurückblicken. Erste Studien verglichen die Kognitionsleistung in zwei Gruppen von Kindern – eine fluglärmbelastet und eine nicht fluglärmbelastet (z. B. Evans und Maxwell, 1997, Haines et al., 2001). Dabei zeigten sich meist Hinweise auf eine Beeinträchtigung der Lesefähigkeit. Wohnareale, die belastet und nicht belastet sind, unterscheiden sich aber meist in ihrer sozialen Struktur. Daher kann bei diesem Typ von Vergleich, selbst bei möglichst sorgfältiger Kontrolle für Faktoren wie Ausbildung und Einkommen der Familie, nicht ausgeschlossen werden, dass die gefundenen Unterschiede doch teilweise auf die Unterschiede in der Sozialstruktur zurückzuführen sind. Expositions-Wirkungs-Beziehungen lassen sich aus solchen

Studien natürlich nicht ableiten. Zwei nachfolgende Studien ohne die Mängel der ersten Studien legen dann aber tatsächlich eine ursächliche Beteiligung des Fluglärms an einer verminderten Lesefähigkeit von Kindern nahe und gestatten die Ableitung von Expositions-Wirkungs-Beziehungen:

Eine Studie in München (Hygge et al., 2002) verglich die kognitiven Leistungen von Kindern aus der Umgebung des alten Münchener Flughafens vor und nach dessen Schließung mit der von Kindern aus der Umgebung des neuen Flughafens vor und nach dessen Öffnung. Dabei zeigte sich, dass die Lesefähigkeit von Kindern am alten Flughafen gegenüber unbelasteten Kindern deutlich schlechter war. Nach der Schließung des Flughafens verschwanden diese Unterschiede. Das Gegenteil wurde in der Umgebung des neuen Flughafens beobachtet: Nach der Öffnung des Flughafens verschlechterte sich die Lesefähigkeit der Kinder, die nun neu lärmbelastet waren, gegenüber nicht lärmbelasteten Kindern. Bei den anderen kognitiven Parametern waren die Ergebnisse nicht ganz so eindeutig. Diese Ergebnisse, die ein „natürliches“ Experiment ausnutzen, legen eine ursächliche Beteiligung des Fluglärms nahe, zeigen aber auch, dass die Effekte bei einer Verminderung des Lärms reversibel sind. In einer großen, von der EU geförderten Studie (RANCH, (Stansfeld et al., 2005)) wurden Kinder in der Umgebung der Flughäfen von London, Amsterdam und Madrid untersucht. In jeder Stadt wurden Kinder erfasst, die an ihrem Schulort unterschiedlich belastet waren. Die Autoren berücksichtigten darüber hinaus unterschiedliche Belastungen durch Straßenverkehrslärm sowie eine Fülle individueller sozialer und Lebensstilfaktoren.

Um den Effekt der Schallisolierung durch unterschiedliche Fensterverglasungen in den Schulen zu kontrollieren, wurde zusätzlich die Fensterart erfasst. Durch die Anwendung multivariater Verfahren wurde der Einfluss des Fluglärms auf die Leseleistung aus den beschriebenen weiteren Einflussfaktoren herausgerechnet. Dabei zeigte sich für jeden der untersuchten Orte eine lineare Beziehung zwischen Fluglärmbelastung und Leseleistung der Kinder. Zwischen den einzelnen Orten wurden keine Unterschiede in den Effektstärken festgestellt. Die Art der Schulfensterverglasung hatte keine Auswirkungen auf die gefundenen Zusammenhänge. Durch die Verwendung normierter Lesetests konnte festgestellt werden, dass Kinder, die einer 20 dB(A) höheren Fluglärmbelastung am Schulort ($30-77 \text{ dB(A)} L_{\text{eq } 16\text{h}}$) ausgesetzt waren, eine verminderte Leseleistung zeigten, die in England um acht Monate und in den Niederlanden um vier Monate hinter der ihrer weniger belasteten Altersgenossen lag. Für Spanien ließen sich solche Angaben nicht machen, da altersstandardisierte Werte fehlten. Für Straßenverkehrslärm ergaben sich keine Effekte auf die Leseleistung, was den Schluss zulässt, dass fluglärmspezifische Beschallungscharakteristika hier eine Rolle spielen.

Zusammenhang zwischen Fluglärm und Leseverständnis bei Kindern

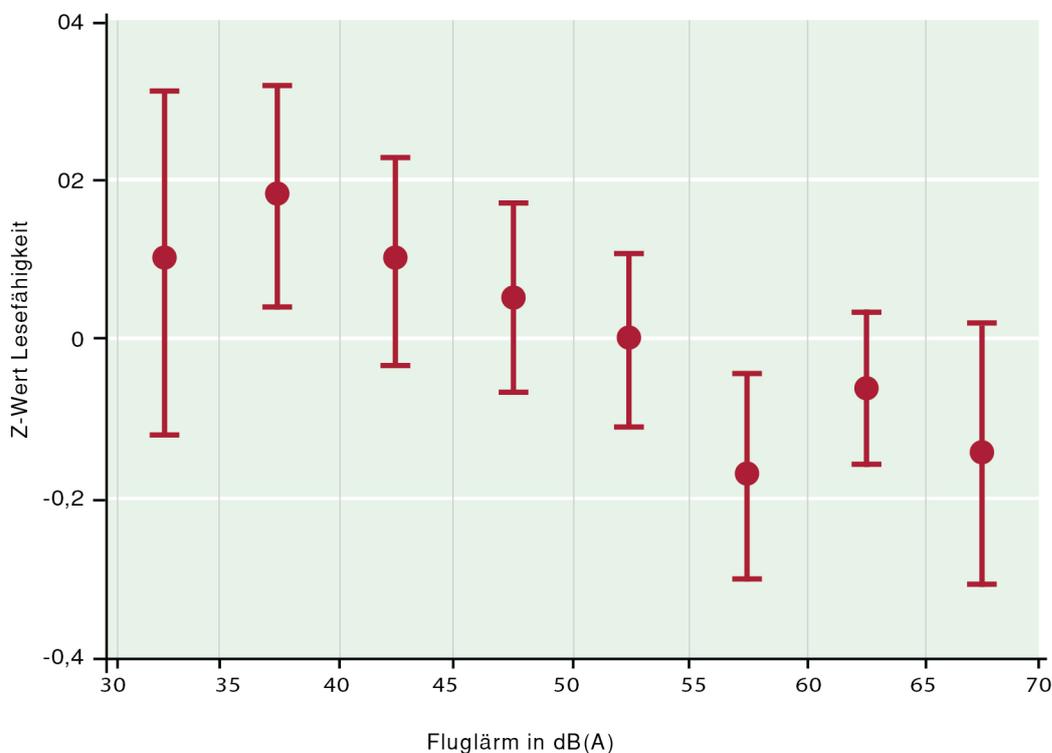


Abb. 12: Expositions-Wirkungs-Kurve der RANCH-Studie zum Zusammenhang zwischen der Fluglärmbelastung (16 LAeq 7–23 Uhr am Schulort) und dem Leseverständnis bei Kindern (Quelle: Stansfeld et al., 2005, S. 1945)

Weitergehende Analysen dieser Studie zeigten, dass die Effekte auf das Gedächtnis nicht so eindeutig waren (Matheson et al., 2010). Ungeklärt bleibt, ob der Tageslärm an der Schule, am Wohnort (Clark et al., 2006) oder der nächtliche Lärm am Wohnort (Stansfeld et al., 2010) ausschlaggebend für die gefundenen Zusammenhänge ist. Dies liegt daran, dass Kinder aus hochbelasteten Schulen gleichzeitig einer hohen Lärmbelastung am Wohnort am Tage und in der Nacht ausgesetzt waren. Die Luftverschmutzung durch den Straßenverkehr erklärt die Effekte jedenfalls nicht (Clark et al., 2012). Die gefundenen Effekte bestanden auch sechs Jahre später noch (Clark et al., 2013). Die Effektstärken waren gleich wie in der Basisstudie, allerdings konnten sie nur im Londoner Studienteil untersucht werden und waren da nicht mehr statistisch signifikant, weil weniger als die Hälfte der Kinder an der Nachuntersuchung teilgenommen hatte.

Die jüngste Studie (NORAH = noise-related annoyance, cognition, and health), die sich mit den Auswirkungen des Fluglärms auf kognitive Funktionen, insbesondere das Lesen bei Kindern, beschäftigt, wurde im Gebiet um den Flughafen Frankfurt durchgeführt (Klatte et al., 2014). Insgesamt wurden 1243 Zweitklässler aus 29 unterschiedlich mit Fluglärm belasteten Gebieten untersucht.

Das wesentliche Ziel der Studie bestand in der Prüfung eines etwaigen Zusammenhangs zwischen Fluglärmbelastung und Beeinträchtigung der Leseleistung bei Kindern sowie in dem Versuch, die Erklärungslücke zwischen physikalisch definierter Lärmbelastung und den dadurch etwa bedingten Defiziten in der Leseentwicklung zu schließen. Um die kausale Wirkung herauszuarbeiten, wurde eine Reihe bedeutender Confoundervariablen kontrolliert. Hierzu zählten die Sprachkompetenz des Elternhauses, der sozioökonomische Status der Familie, der Migrationshintergrund, das Intelligenzniveau der untersuchten Kinder sowie verschiedene Aspekte des Schulklassenmilieus. Kontrolliert wurden weiterhin die Lärmbelastung durch Straßen- und Schienenverkehr sowie die Lärmdämmung der Schulen, aus denen die untersuchten Kinder rekrutiert wurden. Die Messung der Leseleistung erfolgte über einen standardisierten Test zum Leseverständnis für Grundschul Kinder. Da für das verstehende Lesen spezifische Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozesse von Bedeutung sind, wurden diese ebenfalls mit Hilfe entsprechender Testverfahren erfasst. Die zur Erstellung einer Expositions-Wirkungs-Kurve notwendige Variation der Fluglärmpegel wurde durch eine Kategorisierung der Schulstandorte im Hinblick auf ihre Lärmbelastung (L_{eq} im Zeitraum zwischen 8 und 14 Uhr) erreicht. Die Pegelvariation deckte dabei einen Bereich zwischen 39 und 59 dB(A) $L_{eq\ 08-14}$ ab.

Zusammenhang zwischen Fluglärm (6 h $L_{eq\ 08-14}$) und Leseverständnis bei Kindern

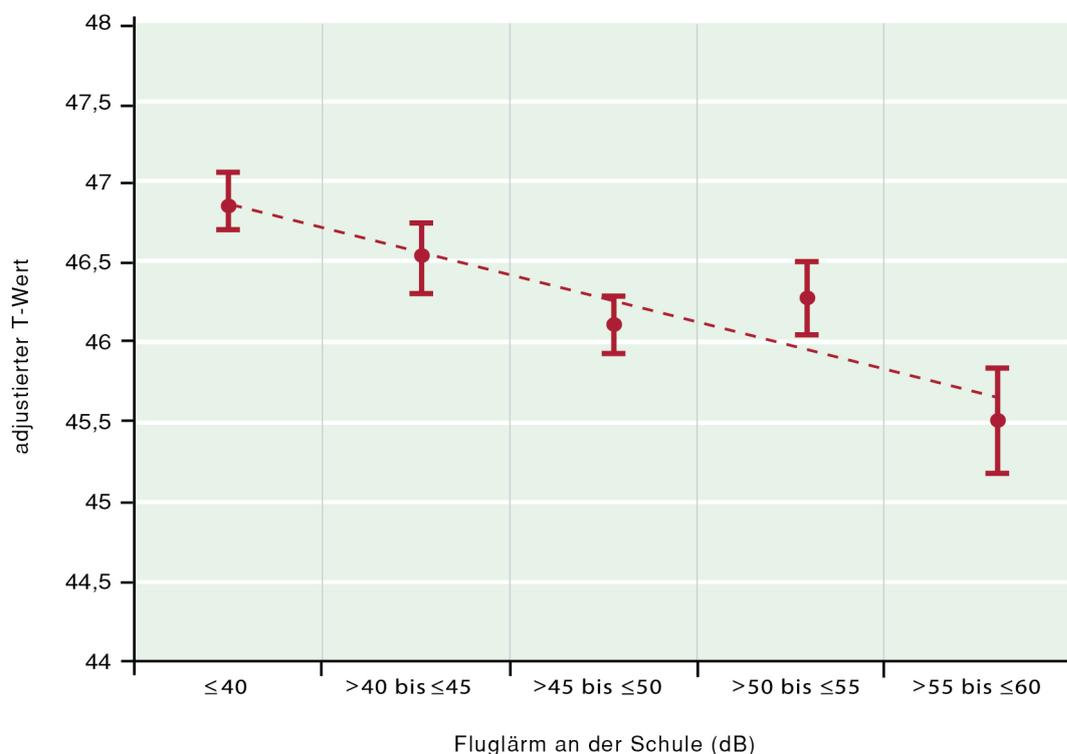


Abb. 13: Expositions-Wirkungs-Kurve der NORAH-Studie zum Zusammenhang zwischen Fluglärm (6 h $L_{eq\ 08-14}$) und Leseverständnis bei Kindern (Quelle: Klante, 2014, S. 137). Die Testwerte T in dieser Abbildung können mit $z = (t - 50)/10$ in z-Werte umgewandelt werden, wie sie für die Abbildung 12 (RANCH-Studie) verwendet wurden. T-Werte von (45, 46, 47) entsprechen also z-Werten von (-0.5, -0.4, -0.3) Danach ist ersichtlich, dass der Abfall der Expositions-Wirkungs-Kurve in beiden Studien nahezu identisch ist, bei insgesamt aber deutlich niedrigeren Werten für NORAH.

Im Ergebnis zeigte sich ein statistisch signifikanter Effekt der Fluglärmexposition auf das Leseverständnis der Kinder. Pro 20 dB(A) Erhöhung des Fluglärmpegels verringerte sich die Leseleistung um 1/5 Standardabweichung, was bei dem verwendeten Test einem Entwicklungsrückstand in der Lesekompetenz von zwei Monaten entspricht. Dies wird von den Autoren der Studie als ein kleiner Effekt bezeichnet, wenn man ihn mit dem Effekt anderer Faktoren auf die Leseleistung vergleicht: Kinder, die viele Bücher besitzen, sind in ihrer Leseleistung den Kindern, die keine Bücher besitzen, um vier Monate voraus. Ein Unterschied von 5,5 Monaten besteht in der Leseentwicklung zwischen Kindern, die über schwache und solchen, die über gute Deutschkenntnisse verfügen.

Abbildung 13 macht in Verbindung mit Abbildung 12 deutlich, dass der gefundene Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Testwerten in beiden Studien nahezu identisch ist. Welchen zeitlichen Rückstand in den Leseleistungen dies bedeutet, lässt sich zwischen den einzelnen Ländern nur schwer vergleichen. In der RANCH-Studie wurden ältere Kinder als in der NORAH-Studie untersucht, das heißt, dass hier teilweise unterschiedlich lange Expositionsauern vorgelegen haben. Ebenso wie in der RANCH-Studie konnte in der NORAH-Studie nicht zwischen Fluglärm am Wohnort und am Schulort differenziert werden, weil beide sehr hoch miteinander korreliert waren. Interessant an dem Ergebnis der NORAH-Studie ist, dass die zusätzlich erfassten Lautverarbeitungs- und Gedächtniskomponenten, die für das verstehende Lesen als relevant betrachtet wurden, zwar mit der Leseleistung korrelierten, aber selbst nicht durch die Fluglärmbelastung in Mitleidenschaft gezogen wurden. Insofern scheinen durch Fluglärm kognitive Prozesse höherer Ordnung beeinträchtigt zu werden, die über sprachbezogene Lautverarbeitungs- und Gedächtnisprozesse hinausgehen und mit der Identifikation der Bedeutung von Wörtern und der Sinnentnahme aus Texten zu tun haben. Da wissenschaftlich die Prozesse der Sinnentnahme und Sinnkonstruktion noch nicht vollständig verstanden sind, bleibt hier eine Erklärungslücke bestehen. Inwieweit eine zeitlich andauernde Exposition den pegelabhängigen Leserückstand weiter verstärkt oder ein Leserückstand kompensiert werden kann, lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht entscheiden.

4.9.1 Zusammenfassende Bewertung der Publikationen zu kognitiven Funktionen

Effekte von Fluglärm auf unterschiedliche kognitive Funktionsbereiche konnten in der Mehrzahl der begutachteten Studien nachgewiesen werden. Die Einflüsse des Fluglärms auf kognitive Leistungseinbußen sind in ihrem Ausmaß von Studie zu Studie sehr unterschiedlich, da es keine standardisierten Vorgaben gibt, welche Aufgaben für eine Lärmwirkungsuntersuchung heranzuziehen sind. Von 29 begutachteten Publikationen zu Feldstudien über den Einfluss von Fluglärm auf kognitive Funktionen war in 17 Publikationen das Leseverständnis Gegenstand der wissenschaftlichen Analysen. In 14 dieser Publikationen, die sich allerdings teilweise auf die gleichen Großprojekte (Heathrow-Studie Ende der 90er, RANCH-Studie) beziehen, wurden statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen der Fluglärmbelastung und Beeinträchtigungen der Leseleistung berichtet. Eine Besonderheit stellen aufgrund weitgehend vergleichbarer Untersuchungskonzeptionen zwei Teilstudien aus dem RANCH- und dem NORAH-Projekt dar. Hier wurden kognitive Wirkungen, wie die Beeinträchtigung der Leseleistung durch Fluglärm, für die Zielgruppe von Schulkindern statistisch signifikant belegt, und die Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Fluglärmbelastung und

Leseleistung aus der Studie von Stansfeld et al. (2005) (RANCH) durch Klatt et al. (2014) (NORAH) wurden repliziert. Beide Studien zeichnen sich weiterhin dadurch aus, dass eine Vielzahl von Confoundern berücksichtigt wurde, um den Einfluss des Fluglärms auf die Leseleistung von Kindern von übrigen Einflussgrößen zu separieren. Bei starkem Rückgang der Lärmbelastung sind die Beeinträchtigungen im Kindesalter nach dem gegenwärtigen Stand der begutachteten Studien möglicherweise reversibel (Hygge, 2002). Allerdings ist die Bedeutung von Beeinträchtigungen der Leseleistung bei Kindern nach chronisch langandauernder Belastung noch nicht ausreichend untersucht.

5 BEWERTUNG DER STUDIEN ZUR GESUNDHEITSÖKONOMIE

Anknüpfend an die gesundheitlichen Folgen stellt sich die Frage nach den ökonomischen Konsequenzen der Fluglärmbelastung. Diese sind nicht nur hinsichtlich der Kosten, sondern vor allem auch als eine Grundlage für weiterführende Kosten-Nutzen-Analysen im Zusammenhang mit dem Flugverkehr von Interesse. Während vergleichende Kosten-Nutzen-Evaluationen die Ableitung normativer ökonomischer Aussagen insbesondere zur Effizienz von spezifischen Programmen gestatten, sind Analysen der mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen einhergehenden Kosten aus prinzipiellen Gründen von begrenzterer Reichweite und nur deskriptiv interpretierbar. Gegenstand der vorliegenden Stellungnahme sind ausschließlich Kostenfolgenanalysen, welche sich auf – mittels der anerkannten gesundheitsökonomischen Evaluationsmethodik quantifizierbare – fluglärmassoziierte Einschränkungen der Lebensqualität und/oder der Lebenserwartung beziehen.

Eine vollständige ökonomische Bewertung der auf Fluglärmexposition zurückzuführenden Krankheitskosten erfordert nicht nur Informationen über die direkten Kosten notwendiger medizinischer Interventionen, sondern auch über die aus Gesundheitsstörungen entstehenden („indirekten“) Produktivitätsverluste. Darüber hinaus können entgangene Lebensqualität und Lebenszeit nur dann in eine ökonomische Analyse einbezogen werden, wenn sie in dafür geeigneter Weise bewertet werden. Für den in der Gesundheitsökonomie verbreiteten Ansatz, dies über die Berechnung von verlorenen Disability- (oder Quality-) Adjusted Life Years (DALY beziehungsweise QALY) vorzunehmen, sind klinisch-epidemiologische Mortalitätsdaten direkt nutzbar. Dagegen bestehen aus gesundheitsökonomischer Sicht spezifische methodische Anforderungen an die Messung der Lebensqualität, welche sich von den klinisch-psychologisch üblichen Messmethoden deutlich unterscheiden. Für eine Übersicht über die relevante Fachterminologie und spezifische methodische Gesichtspunkte wird auf das Glossar verwiesen.

Die folgende Übersicht konzentriert sich daher – in Ergänzung der vorstehenden Reviews – auf jene Untersuchungen, die entweder Hinweise auf direkte oder indirekte Kosten liefern, oder die gesundheitsökonomisch verwertbare Daten zur Lebensqualität versprechen.

5.1 GESUNDHEITSÖKONOMISCH RELEVANTE STUDIEN

Insgesamt wurden 628 Publikationen auf relevante Ergebnisse zu den Aspekten Kosten (Suchworte „cost“, „economic“) und spezifische direkte Kosten (oder „direct cost“), indirekte Kosten („indirect cost“), intangible Kosten („intangible cost“) und gesundheitsbezogene Lebensqualität („health-related quality of life“, „HRQoL“) durchgesehen. In 100 Studien fanden sich Hinweise auf möglicherweise gesundheitsökonomisch relevante Informationen. Diese wurden genauer geprüft, und 17 dieser Studien wurden einer detaillierten Evaluierung unterzogen.

5.1.1 Zahlungsbereitschaft und Lärmbelästigung

Eine valide gesundheitsökonomische Interpretation von Studien zur Zahlungsbereitschaft für Immobilien – etwa indirekt anhand des empirisch nachweisbaren Zusammenhangs von Marktpreisen für Immobilien und Fluglärmexposition – ist mit Schwierigkeiten behaftet: Es ist zunächst vorauszusetzen, dass der Effekt von Fluglärm von anderen Einflussvariablen isolierbar ist (zum Beispiel Belästigungen durch Straßen- und Schienenverkehr oder Luftverschmutzung; andererseits könnten Wertsteigerungen aufgrund positiver ökonomischer Effekte eines Flughafens zu kompensatorischen Wertzuwächsen führen). Weiterhin muss unterstellt werden, dass Selbstselektionseffekte kontrollierbar bleiben und dass die beobachtbare individuelle Zahlungsbereitschaft das Ergebnis einer rationalen Abwägung von Gesundheitsrisiken darstellt, welche vollständig informierte und langfristig ihren persönlichen Nutzen maximierende Konsumenten vornehmen – unbeeinflusst auch von Emotionen, die durch temporär erfahrene Belästigung ausgelöst werden können.

Die Autoren des Reviews *Guidance on potential health effects on noise* (Babisch, W. und van den Berg, M., 2010) zitieren beispielsweise eine norwegische Studie zur Zahlungsbereitschaft für Lärmvermeidung (Navrud, 2002). Nach dieser Studie wäre ein Haushalt bereit pro Monat durchschnittlich 25 Euro je Dezibel Lärmvermeidung für Lärmpegel oberhalb 50–55 L_{den} zu bezahlen. Dieser Ansatz gilt für alle Lärmformen in gleicher Weise, also auch für den Fluglärm. Außerdem wurden Wirkungen von Lärm auf Immobilienpreise untersucht und mit einer Wertminderung von durchschnittlich 0,5 Prozent je Dezibel für Lärmpegel oberhalb 50–55 L_{den} geschätzt.

All diese Angaben sind als sehr grob und wissenschaftlich wenig belastbar anzusehen. Für die ökonomische Bewertung der gesundheitsbezogenen Kosten von Fluglärm werden keine unmittelbar relevanten Aussagen gemacht.

Einer ähnlichen Fragestellung geht Brooker (2006) nach: Er diskutiert in einem stark methodisch orientierten Review internationale Zahlungsbereitschaftsstudien, welche die Vermeidung von Lärmbelastigung monetär bewerten. Auch diese Arbeit enthält keine unmittelbar gesundheitsökonomisch verwertbaren Informationen.

5.1.2 Gesundheit und Lebensqualität

Boes et al. (2013) beschreiben, wie sich Selbstselektionseffekte auf die Ergebnisse von Querschnittsstudien auswirken können. Grundlage ist eine Längsschnittstudie, die lärmspezifische Symptome wie Schlafstörungen und Kopfschmerzen sowie allgemeine Gesundheitsindikatoren aus dem Schweizer Haushalts-Panel (SHP) erfasst. Diese werten die Autoren mittels einer ökonometrischen Analyse aus. Sie finden nach Flugroutenumstellungen im Umfeld des Flughafens Zürich mit zunehmendem Fluglärm statistisch signifikant zunehmende Schlafstörungen und Kopfschmerzen, die sich in Querschnittsanalysen nicht zeigen. (Entsprechende Effekte beobachten die Autoren dagegen nicht für die betrachteten allgemeinen Gesundheitsindikatoren, wie Zahl der Arztkonsultationen, Zahl der Tage mit beeinträchtigtem Gesundheitszustand und subjektivem Wohlbefinden.) Die Publikation ist vor allem aus methodischen Gründen von großem Interesse. Sie bietet jedoch keine Informationen, aus denen intangible Kosten gesundheitsökonomisch (mittels HALYs oder Zahlungsbereitschaftsmessungen) quantifiziert werden könnten. Auch die Studienergebnisse für die Münchener Flughäfen Riem und Franz-Josef-Strauß von Bullinger et al. (1999) ermöglichen keine quantitativ verwertbaren Aussagen zu intangiblen Kosten, allerdings werden Beeinträchtigungen des psychologischen Wohlbefindens von fluglärmexponierten Kindern beschrieben, die die Autoren anhand einer Subskala der KINDL-Skala (zur Bewertung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen ab 3 Jahren, ursprünglich entwickelt von Prof. Monika Bullinger) ermittelt haben.

Erst der Bericht zu einer weiteren Studie von Bullinger et al. (2003), die Machbarkeitsstudie „Fluglärm und Lebensqualität“, stellt eine Möglichkeit vor, das SF36Instrument, welches die Ableitung eines Nutzwert-Index zur Berechnung von Quality-Adjusted Life Years erlaubt, sinnvoll anzuwenden. Das Instrument erwies sich als sensitiv in dem Sinne, dass in den untersuchten Kollektiven Unterschiede erkennbar waren, die sich jedoch im Normbereich bewegten. Für belastbare Aussagen wäre ein größerer Stichprobenumfang erforderlich.

5.1.3 Soziale und ökonomische Folgen

Die „sozialen Folgekosten des Fluglärms im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn“ versucht Greiser (2013) zu prognostizieren. In der Studie werden zukünftige Erkrankungsfälle, Todesfälle und Kosten für ein breites Spektrum von Diagnosen geschätzt und anteilig dem Fluglärm zugeordnet. Die Untersuchung baut auf den Ergebnissen von drei vorangegangenen lokalen epidemiologischen Studien des Autors auf. Der Bericht kombiniert die Risiko-Koeffizienten, die im Rahmen vorangegangener Fall-Kontroll-Studien im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn erhoben worden waren, mit überwiegend prävalenzbasierten hochaggregierten Kostendaten für Krankheitsgruppen aus der Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Neben der unüblichen Darstellung von Kosten für eine Zehnjahresperiode (ohne dass eine Diskontierung erfolgt) wird die Aussagekraft der Studie beeinträchtigt durch methodische Mängel hinsichtlich transparenter Charakterisierung der Perspektive und der Kostenarten sowie nicht durchgeführter Sensitivitäts- und/oder Szenarioanalysen. Aus epidemiologischer Sicht bestehen zudem Zweifel an der Belastbarkeit der als Input-Parameter für die zur Zuschreibung überdurchschnittlicher Erkrankungs- und/oder Sterberaten verwendeten Korrelationen beziehungsweise Odds Ratios wegen der designbedingten Unmöglichkeit der individuellen Erfassung von Confoundern. Insgesamt ist die Studie daher als nicht belastbar und – hinsichtlich ihrer gesundheitsökonomischen Schlussfolgerungen angesichts der Aussagen, die sich auf für die Zukunft erwartete Ergebnisse beziehen –, als besonders problematisch sowie hinsichtlich der Verlässlichkeit ihrer Schlussfolgerungen potentiell irreführend anzusehen. Im Folgenden sind einzelne bedeutsame Studien kurz zusammengefasst und die Schlussfolgerungen bewertet dargestellt.

In der Studie von Greiser, E. und Glaeske, G. (2013) „Soziale und ökonomische Folgen des nächtlichen Fluglärms im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main“ versuchen die Autoren analog dem Vorgehen von Greiser (2013), die „sozialen Folgekosten“ des Fluglärms im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main vorherzusagen. Sie prognostizieren für den Zehnjahreszeitraum der Kalenderjahre 2012 bis 2013 insgesamt rund 23.400 Erkrankungsfälle und ca. 3.400 Todesfälle als Folge der Fluglärmexposition der Bevölkerung im Umfeld des Flughafens Frankfurt Main und errechnen dadurch entstehende Krankheitskosten von mehr als 1,5 Milliarden Euro. Aufgrund der analogen Vorgehensweise unterliegt diese Studie der gleichen Kritik wie jene von Greiser (2013) zum Flughafen Köln-Bonn. Auch sie ist daher als nicht belastbar zu betrachten. Auch sie ist daher als nicht belastbar und hinsichtlich ihrer gesundheitsökonomischen Schlussfolgerungen angesichts der deterministischen Aussagen als besonders problematisch und hinsichtlich der Verlässlichkeit ihrer Schlussfolgerungen potentiell irreführend anzusehen.

In der anspruchsvollen ökonometrischen Studie Püschel, R. und Evangelinos, C. (2012) “Evaluating noise annoyance cost recovery at Düsseldorf international airport”

untersuchen die Autoren den Einfluss von Lärmbelastigung auf den Mietwert von Wohnungen in der Umgebung des Düsseldorfer Flughafens. Neben methodischen Unsicherheiten – nur 51 von 1.370 Mietobjekten waren fluglärmexponiert, bei der abhängigen Variablen scheint es sich um nicht wohnflächenbezogene Mietpreise pro Einheit zu handeln (a. a. O., Seite 601), und der Einfluss der Wohnfläche sei ausweislich der Regressionsanalysen vergleichsweise sehr gering (a. a. O., Seite 602) – ist festzustellen, dass wie für andere vergleichbare Studien (wie zum Beispiel Matos et al., 2013) ohne realitätsferne theoretische Konstrukte keine Rückschlüsse auf die Bewertung von eventuell in der Zukunft auftretenden fluglärmassoziierten Gesundheitsstörungen möglich sind. Das ist den Autoren selbst auch bewusst, denn sie stellen in einer Fußnote (a. a. O., Seite 600) fest: „Any impact on health are assumed not to be priced in into apartment rents because noise related health issues and diseases are predominantly long run.“ („Gesundheitliche Auswirkungen gehen vermutlich nicht in die Preisgestaltung für Wohnungsmieten ein, da es sich bei lärmbedingten Gesundheitsbeschwerden und Krankheiten vorwiegend um langfristige Entwicklungen handelt.“)

Für den Endbericht von Schreckenber, D. und Meis, M. (2006) „Gutachten: Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens. Endbericht“ im Auftrag des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt wurden 2005 die Lärmbelastigung sowie Wohn-, Umwelt- und Lebensqualität von 2312 Anwohnern des Rhein-Main-Gebiets im Umfeld des Flughafens Frankfurt-Main in Abhängigkeit von der Fluglärmbelastung untersucht. 64 Prozent der Befragten waren durch Fluglärm mittelmäßig bis äußerst gestört, davon 41 Prozent stark bis äußerst („highly annoyed“). In den geprüften Bereichen der subjektiv empfundenen Gesundheit (Beschwerdedruck, gesundheitsbezogene Lebensqualität, Schlafqualität, Lebenszufriedenheit) waren die Ergebnisse der Stichprobe vergleichbar mit dem Bundesdurchschnitt; eine Pegelabhängigkeit war nicht feststellbar. Die Daten sind deshalb von besonderem gesundheitsökonomischen Interesse, weil – in Anknüpfung an diese Studie – für die Machbarkeitsstudie von Bullinger et al. (2013) zur Messung der Lebensqualität das Instrument SF12/SF36 zum Einsatz kam, welches eine Konvertierung der gemessenen Werte in einen Nutzwertindex für die Berechnung von Quality-Adjusted Life Years gestattet. Generell stellten die Autoren fest, dass anhand der SF12/SF36-Werte, auch unter Einbezug der Subskalenwerte für einzelne Dimensionen der Lebensqualität, kaum Unterschiede bezüglich Auswirkungen des Schallpegels aufgedeckt werden konnten. Ebenfalls gelang weder ein Nachweis von Expositions-Wirkungs-Beziehungen noch von Schwellenwerten für subjektive Gesundheitsbeeinträchtigungen. Die Autoren folgerten: „Entgegen den [...] Hypothesen scheinen die Fluglärmwirkungen auf globale Maße der subjektiven Gesundheit, wie der Lebensqualität, sich in dieser Studie nicht niederzuschlagen“ (a. a. O., Seite 163).

In der Vollpublikation von Schreckenberg, D., Meis, M., Kahl, C., Peschel, C. und Eikmann, T. (2010) „Aircraft noise and quality of life around Frankfurt airport“ zum Endbericht der Querschnittsstudie von Schreckenberg und Meis (2006), erweitert um zu vertiefende Analysen der Wirkungen von Fluglärm auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität: Während die mittels SF36/SF12 gemessene Lebensqualität weder global noch in den Subskalen „Vitalität“ und „Psychisches Wohlbefinden“ („Mental Health“) des SF36 beziehungsweise den körperlichen und psychischen Subskalen des SF12 einen nachweisbaren Zusammenhang mit der objektiv messbaren Lärmexposition zeigte, war dies für die psychologischen Reaktionen auf Fluglärm (Belästigung [annoyance] und Lärmempfindlichkeit) sehr wohl der Fall. Die Autoren beobachteten unter anderem eine Interaktion der Wirkung von Fluglärmexposition und Multimorbidität (Aufreten mehrerer Erkrankungen) auf die Lebensqualität, wobei im Rahmen einer Querschnittsstudie keine einfachen Kausalitätsaussagen getroffen werden können. Die Autoren empfehlen daher die Durchführung von Längsschnittstudien, um den Zusammenhang zwischen Fluglärm, Gesundheit und Lebensqualität besser zu ergründen. Die Autoren berichten keine Nutzwertindizes, jedoch zeigt die Studie, dass der SF36 prinzipiell ein geeignetes Instrument für die Messung von Wirkungen des Fluglärms auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität ist, und dass dessen Ergebnisse für die Quantifizierung intangibler Kosten im Rahmen von Krankheitskostenstudien nutzbar gemacht werden können.

Die Publikation der Stadt Frankfurt am Main, Amt für Gesundheit (2009) „Fluglärm und Gesundheit in der Rhein-Main Region 2005. Ergänzende Auswertung der RDF-Belästigungsstudie um die Fragen zur Gesundheit.“ durch Schreckenberg et al. (2009) bearbeitet, stellt eine ergänzte und um eine ausführliche Diskussion erweiterte Fassung der Studie von Schreckenberg und Meis (2006) dar. Zur hier interessierenden Frage nach der „Quantifizierung intangibler Kosten“ bietet sie keine zusätzlichen Einsichten.

Ähnlich wie bei Matos et al. (2013, s. o.) handelt es sich bei Thanos, S., Wardman, M., Bristow, A. L. (2011) „Valuing aircraft noise: stated choice experiments reflecting inter-temporal noise changes from airport relocation“ um eine ökonomisch interessante Untersuchung, welche (vgl. Bullinger et al., 1999, am Beispiel der Verlagerung des Flughafens München) mittels der Methode der „stated choice“-Experimente die Zahlungsbereitschaft (technisch „willingness-to-pay“, WTP, und „willingness-to-accept“, WTA) einer im Zuge der Verlagerung des Flughafens Athen früher oder neuerdings fluglärm-belasteten Population untersucht, wenn sie Störungen durch Fluglärm entgehen könnte. Die Studie ist methodisch anspruchsvoll und die Ergebnisse werden von den Autoren umfassend diskutiert, einschließlich möglicher Verzerrungspotentiale.

Die Daten bieten gesundheitsökonomisch nur eingeschränkt verwertbare Informationen, denn es erscheint unwahrscheinlich, dass in die individuelle Bewertung kurzfristiger Lärmbelastigung auch langfristige Gesundheitsfolgen, die nur mit geringer Wahrscheinlichkeit und hoher Ungewissheit der Fluglärmexposition zuzuschreiben sind, implizit eingehen.

Die Lärmstudie der WHO, World Health Organization, Regional Office for Europe (2011) "Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe" besteht aus einer Hochrechnung der schädlichen Gesundheitswirkungen von Verkehrslärm (Straßenverkehr, Schienenverkehr und Luftverkehr) auf Europa, welche in Disability-Adjusted Life Years (DALYs) ausgedrückt wird. Als Datenquelle verwendet die WHO die von Expertengruppen anhand der bestehenden Studienlage geschätzten Expositions-Wirkungs-Beziehungen, Exposition, Krankheitsprävalenz und Disability Weights, um mit der von ihr etablierten Burden-of-Disease-Methodik die pro Jahr in der Europäischen Union verlorenen Lebensjahre (ausgedrückt in DALY-Einheiten) zu extrapolieren, sofern es sich dabei um Fälle handelt, die Verkehrslärm zuschreibbar sind, also Fälle von arterieller Hypertonie, koronarer Herzkrankheit und Myokardinfarkt (61.000), Störungen der kognitiven Entwicklung bei Kindern (45.000), Schlafstörungen (903.000), Tinnitus (22.000) und Lärmbelastigung (654.000). Zahlreiche notwendige Annahmen werden von den Autoren selbst als hypothetisch bezeichnet und speziell zur Rolle des Fluglärms merken die Autoren zahlreiche Datenlücken an. Die Studie ist daher primär als eine exemplarische Demonstration der Berechnungsmethodik zu verstehen (vgl. a. a. O., Seite 11: „Because of this difficulty [i.e., limited availability of data in most European countries], the working group had to focus on providing methodological guidance on risk assessment rather than on estimating the EBD [i.e., the environmental burden of disease] of environmental noise.“) Die einzelnen Kapitel der WHO-Studie beinhalten jeweils eine ausführliche Diskussion der Unsicherheiten und Limitationen der präsentierten Extrapolationen. (Es sei darauf hingewiesen, dass Vorläuferpublikationen der WHO zu dieser Studie nicht separat besprochen werden.)

5.2 FORSCHUNGSSTAND UND -BEDARF

Der Forschungsstand zu den ökonomischen Folgen von Fluglärm ist außerordentlich lückenhaft. Angelehnt an die grundsätzlich empfohlene Vorgehensweise bei der Analyse von Kostenfolgen – nämlich der schrittweisen

1. Identifikation der relevanten Kostenkategorien
2. Messung des Ressourcenverbrauchs (Mengengerüst)
3. Bewertung der verbrauchten Ressourcen (Preisgerüst)
4. Kostenaufstellung aus einer der Fragestellung angemessenen Perspektive

lassen sich folgende Beobachtungen und Aussagen treffen:

Als ökonomisch relevante Kostenkategorien für die Erfassung und Monetarisierung der Auswirkungen von Fluglärm wurde der Einfluss auf Immobilienwerte und -preise sowie fluglärmbedingte Gesundheitskosten identifiziert. Immobilienwerte lassen sich prinzipiell anhand von Marktpreisen (Mietpreise, Hauspreise), aber auch anhand von Zahlungsbereitschaftsstudien bestimmen; ihre Veränderung ist zwar volkswirtschaftlich und im Rahmen von ökonomischen Kosten-Nutzen-Analysen relevant, aber anders als Gesundheitskosten nicht Gegenstand der vorliegenden Literaturübersicht.

In der Gesundheitsökonomie werden Krankheitskosten unterteilt in direkte, indirekte und intangible Kosten. Alle Kostenschätzungen setzen voraus, dass hinreichend sichere Kausalitätsannahmen (Zuschreibbarkeit, Effektgrößen, Aussagesicherheit anhand der Qualität der verfügbaren Evidenz) getroffen werden können. Zu den weiteren Voraussetzungen für Kostenstudien, die den einschlägigen wissenschaftlichen Standards genügen, zählen eine an der jeweiligen Fragestellung und Zielgruppe orientierte, eindeutig spezifizierte Perspektive der Ressourcenerfassung und -bewertung, Transparenz der Modellierung und Charakterisierung der Unsicherheit mittels hierfür geeigneter Sensitivitäts- oder Szenarioanalysen.

Diesen Kriterien genügende Untersuchungen über die direkten und die indirekten Krankheitskosten, welche der Belastung durch Fluglärm zuschreibbar sind, wurden nicht gefunden. Die wenigen bislang unternommenen Versuche einer Abschätzung fluglärmbedingter direkter oder indirekter Gesundheitskosten sind aufgrund methodischer Mängel nicht verlässlich.

Es ist nicht ausgeschlossen, dass Fluglärm zusätzlich zu den unmittelbaren Krankheitskosten auch intangible Kosten durch beeinträchtigte Lebensqualität und beeinträchtigte Gesundheit verursachen kann. Verfügbarkeit entsprechender Daten zur Zuschreibbarkeit von Erkrankungen (relative oder absolute Risiken), der Häufigkeit ihres Auftretens (Inzidenz oder Prävalenz – erstmaliges Auftreten oder Vorliegen der Erkrankung) sowie ihres Verlaufs (Morbidität und Mortalität – Erkrankungs- und Sterberate) vorausgesetzt, lässt sich die Krankheitslast quantifizieren anhand verlorener Health-Adjusted Life Years (HALYs), welche ihrerseits mittels des durchschnittlichen statistischen Wertes eines Lebensjahres monetarisiert werden können. Die von der WHO skizzierte Methodik (2011) exemplifiziert Prinzipien einer wissenschaftlich akzeptierten Vorgehensweise unter Verwendung der HALY-Variante der Disability Adjusted Life Years (DALYs), wie sie die WHO mit dem Burden-of-Disease-Projekt seit Mitte der 1990er Jahre als Standard etabliert hat. Allerdings bestätigt gerade auch die zitierte Studie der WHO (2011), dass derzeit vielfach belastbare Daten für die notwendigen Berechnungen fehlen und folglich auch die Annahmen der WHO (2011) zu den Folgen von Fluglärm mit großen Unsicherheiten behaftet sind (siehe oben, 5.1.3, Besprechung der Studie).

Eine – etwa in der Umweltökonomie verbreitet angewandte – alternative Vorgehensweise ist die direkte Messung von Zahlungsbereitschaften zur Monetarisierung von gesundheitsbezogenen Wirkungen einschließlich Beeinträchtigungen der Lebensqualität und – im Sinne der weiten Definition des Gesundheitsbegriffs durch die WHO als „Zustand des vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlergehens“ – auch der subjektiven Belästigung durch Lärm.

Eine robuste und transparente Monetarisierung von Gesundheitsstörungen, die dem Fluglärm zuschreibbar wären, liegt bislang nicht vor.

Ohne ihr Vorhandensein fehlt derzeit eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung vollständiger und damit wirklich aussagekräftiger Kosten-Nutzen-Analysen des Flugverkehrs. Denn Kosten-Nutzen-Analysen des Flugverkehrs und damit verbundener Vorhaben ohne eine Berücksichtigung lärminduzierter Gesundheitsfolgen klammern eine für die Bewertung kritische Kostendimension aus.

Als Lösungsansätze bieten sich einerseits Modellierungen an, welche die – nach epidemiologischen Standards belegbar – dem Fluglärm zuschreibbaren Gesundheitsfolgen im Sinne einer „cross-design-synthesis“ mit Bevölkerungsdaten zur Exposition und mit diagnosespezifischen medizinisch-klinischen und gesundheitsökonomischen Daten verknüpfen, um so zu ersten mit Sensitivitäts- und Szenarioanalysen abgesicherten belastbaren Projektionen der Dimension der gesundheitsbezogenen Kostenfolgen von Fluglärm zu gelangen.

Andererseits erscheint es angezeigt, insbesondere in zukünftigen Längsschnittstudien, welche angesichts der Komplexität möglichst umfassend Confounder und Selbstselektionseffekte (hinsichtlich sozioökonomischem Status, Gesundheitszustand, Lärmempfindlichkeit usw.) berücksichtigen sollten, gesundheitsökonomische Datenerhebungen zu integrieren. Diese sollten idealerweise direkte Kosten, indirekte Kosten und intangible Kosten (gesundheitsbezogene Lebensqualität) umfassen. Die schon vorliegenden Untersuchungen belegen die Machbarkeit dieses wünschenswerten Forschungsansatzes.

5.3 ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER PUBLIKATIONEN ZUR GESUNDHEITSÖKONOMIE

Der Forschungsstand zu den gesundheitsökonomischen Folgen von Fluglärm ist außerordentlich lückenhaft. Valide Schätzungen von Krankheitskosten setzen hinreichend gesicherte Zusammenhänge ebenso voraus wie eine an der jeweiligen Fragestellung und Zielgruppe orientierte, eindeutig spezifizierte Perspektive der Ressourcenerfassung und -bewertung, Transparenz der Modellierung und Charakterisierung von Unsicherheit mittels hierfür geeigneter Sensitivitäts- oder Szenarioanalysen. Die wenigen bislang unternommenen Versuche einer Abschätzung fluglärmbedingter direkter oder indirekter Gesundheitskosten verfehlen diese methodischen Anforderungen in wesentlichen Punkten und sind deshalb nicht verlässlich und potentiell irreführend. Solange weder eine robuste und transparente direkte (auf dem Weg der Messung von Zahlungsbereitschaften) oder indirekte Monetarisierung (auf dem Umweg über Health-Adjusted Life Years) der Gesundheitsfolgen von Fluglärmexposition erfolgt, noch die direkten und indirekten Kosten infolge fluglärmbedingter Gesundheitsstörungen ermittelt sind, fehlt eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung vollständiger Kosten-Nutzen-Analysen des Flugverkehrs.

6 GLOSSAR

Hinweis: Alle Einträge sind im Kontext des Berichts zur Lärmwirkungsforschung zu verstehen. In anderen Fachgebieten werden dieselben Begriffe teilweise anders verwendet.

6.1 AKUSTIK

Schall/Lärm

Akustiker unterscheiden bei Schallemissionen zwischen Ton, Klang und Geräusch. Eine gleichförmige Schallwelle ergibt einen reinen Ton. Dies kommt in der Natur jedoch selten vor, da sich meist mehrere Schallwellen überlagern. Ein Klang entsteht, wenn Schallwellen in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen, zum Beispiel bei einem singenden Chor. Sind die Schallwellen unregelmäßig und überlagern sich, entsteht ein Geräusch. Ob ein Schallereignis als Lärm wahrgenommen wird, hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab. Zum Beispiel von der Situation, den persönlichen Interessen oder der konkreten Lebenssituation. So ist ein Rockkonzert für den einen ein besonderes Schallerlebnis und für den anderen Lärm.

Verändert nach Quelle: <http://www.fluglärm-portal.de/fluglaerm-debatte/was-ist-laerm/>, Stand 15.12.2017

Frequenz

Als Frequenz wird die Anzahl der Schallschwingungen pro Sekunde bezeichnet. Je höher die Frequenz eines Schallereignisses ist, umso höher ist auch der Ton. Die Wirkung der Frequenz auf die empfundene Lautstärke ist komplex: Tiefe und sehr hohe Töne werden leiser wahrgenommen, wohingegen Töne mittlerer Frequenz lauter empfunden werden. Die dazugehörige Einheit ist Hertz (Hz).

Quelle: <https://www.fluglärm-portal.de/glossar/frequenz/>, Stand 15.12.2017

Effektiv wahrgenommener Lärmpegel (EPNL)

Der effektiv wahrgenommene Lärmpegel (EPNL) ist eine Bewertungsgröße für die Lärmzulassung von Flugzeugen. Er wurde von der UN-Luftfahrtorganisation ICAO eingeführt und trägt der besonderen Charakteristik von Fluglärm Rechnung: Anders als beim Schalldruckpegel in dB(A) werden beim EPNL die hervorstechenden und als lästig empfundenen Frequenzen der Triebwerke stärker gewichtet. Die dazugehörige Einheit ist EPNdB. Zwischen dB(A) und EPNdB kann man nicht umrechnen, da sich die Pegelarten grundsätzlich in ihrer physikalischen Zusammensetzung unterscheiden.

Quelle: <https://www.fluglärm-portal.de/glossar/epnl/>, Stand 15.12.2017

Bewertungsfilter A

Um Schallereignisse messen und vergleichen zu können, wird häufig der sogenannte Bewertungsfilter A verwendet. Der Grund: Für das menschliche Ohr sind tiefe und hohe Frequenzen leiser als mittlere. Diese physiologische Tatsache muss berücksichtigt werden, wenn Schall realistisch gemessen werden soll. Beim A-Bewertungsfilter wird der gemessene Schalldruckpegel mithilfe eines Filters an die menschliche Wahrnehmung von Schall angepasst. Die dazugehörige Einheit ist dB(A).

Quelle: <https://www.fluglärm-portal.de/glossar/bewertungsfilter-a/>, Stand 15.12.2017

Geräusche vergleichen

Um das komplexe Schallempfinden des menschlichen Gehörs mit Messgeräten nachempfinden zu können, nutzen Wissenschaftler auf der ganzen Welt den sogenannten A-Bewertungsfilter. Weil wir sehr hohe Töne und – trotz hohem Schallpegel – tiefe Töne als eher leise empfinden, werden sie durch diesen Filter entsprechend gewichtet. Das Ergebnis sind bewertete Schalldruckpegel mit der Einheit dB(A). Der Bewertungsfilter ermöglicht es, das Lautstärkeempfinden bei verschiedenen Geräuschen miteinander zu vergleichen. Normales Atmen misst zum Beispiel 10 dB(A), ein Gespräch in ruhiger Umgebung 60 dB(A), ein Presslufthammer schon 100 dB(A). Wer damit arbeitet, benötigt einen Gehörschutz.

Bei dem Vergleich ist zu beachten, dass die Skala nicht linear, sondern logarithmisch verläuft. Dies führt dazu, dass das menschliche Gehör eine Änderung des Schalldruckpegels um +10 dB(A) als Verdoppelung der Lautstärke wahrnimmt. Ein Flugzeug des Typs A319 hört sich beim Überflug in Höhe von 1.000 Metern mit 70 dB(A) also etwa doppelt so laut an wie ein normales Gespräch im Abstand von 1 Meter mit 60 dB(A).

Quelle: www.fluglärm-portal.de/fluglaerm-debatte/was-ist-laerm, Stand 15.12.2017

Äquivalenter Dauerschallpegel (L_{Aeq} , L_{eq})

Der äquivalente Dauerschallpegel wird zum Beispiel für die Festsetzung eines Lärmschutzbereiches an einem Flughafen in Deutschland berechnet. Die Grundlage bildet jeweils der durchschnittliche Schallpegel über einen bestimmten Zeitraum, jedoch wird darüber hinaus berücksichtigt, wie oft, wie lange und in welcher Stärke die Schallereignisse auftreten.

Im Fluglärngesetz wird zwischen dem L_{Aeq} Tag (6 bis 22 Uhr) und dem L_{Aeq} Nacht (22 bis 6 Uhr) unterschieden. Die dazugehörige Einheit ist dB(A).
Verändert nach Quelle: <http://www.fluglaerm-portal.de/glossar/aequivalenter-dauerschallpegel/>, Stand 15.12.2017

Maximalpegel (L_{max})

Der Maximalpegel ist der Spitzenwert des bei einer Messung an einem Ort ermittelten Schalldrucks. Aus dem Mittelwert mehrerer Maximalpegel ergibt sich der gemittelte Spitzenpegel.

Schwellenwert

Als Schwellenwert oder Schwellwert bezeichnet man in der Signalverarbeitung einen Wert, der als Grenze für die Verarbeitung eines Signales verwendet wird.

Hörschwelle

In der Akustik ist das derjenige Schalldruck beziehungsweise Schalldruckpegel, bei dem das menschliche Gehör Töne oder Geräusche gerade noch wahrnimmt.
Die Hörschwelle ist frequenzabhängig. Bei 1000 Hz liegt die Hörschwelle bei 0 dB.

Schallpegel/Schalldruckpegel

Die Stärke eines Schallereignisses wird als Schalldruckpegel in Dezibel (dB) angegeben. Der niedrigste Schalldruck, den das menschliche Ohr wahrnehmen kann, liegt bei 0 dB – der sogenannten Hörgrenze. Ab etwa 120 dB – der Schmerzgrenze – kann ein Schallereignis als schmerzhaft empfunden werden. Der logarithmische Maßstab der Einheit Dezibel ermöglicht die Darstellung des gesamten menschlichen Hörbereichs und führt dazu, dass eine Erhöhung des Schalldruckpegels um 10 dB vom menschlichen Ohr als doppelt so laut empfunden wird.

Tag-Nacht-Index oder Tag-Abend-Nacht-Index

L_{dn} (Level day night) oder L_{den} (Level day evening night)

Der Tag- Nacht-Index L_{dn} (Level day night) oder Tag-Abend-Nacht-Index

L_{den} (Level day evening night) stellt die Lärmbelastung während des gesamten Tages dar. Dabei werden die einzelnen Zeiträume unterschiedlich gewichtet: Als **Tag**zeitraum gilt die Zeit zwischen 6 Uhr und 22 bzw. 18 Uhr, als **Abend** die Stunden zwischen 18 und 22 Uhr und als **Nacht** die Zeit zwischen 22 und 6 Uhr. Lärm am Abend und in der Nacht wird stärker als Lärm am Tag gewichtet.

Verändert nach Quelle: <https://www.fluglaerm-portal.de/glossar/tag-abend-nacht-index/>, Stand 15.12.2017

Nachtlärmindex

Der Nachtlärmindex L_{night} stellt die gemittelte Lärmbelastung während der Nachtstunden zwischen 22 Uhr und 6 Uhr dar.

Quelle: <https://www.fluglaerm-portal.de/glossar/nachtlarminde/>, Stand 15.12.2017

Lärmschutzbereich (Schutzzone)

Im Rahmen des Fluglärmsgesetzes werden rund um Flughäfen sogenannte Lärmschutzbereiche ausgewiesen. Es gibt zwei Tag-Schutzzonen und eine Nacht-Schutzzone. Grundlage für die Festsetzung der Grenzen ist der äquivalente Dauerschallpegel und für die Nacht-Schutzzone zusätzlich ein Maximalpegel-Häufigkeitskriterium. Innerhalb des Lärmschutzbereichs gelten bestimmte bauliche Nutzungsbeschränkungen und die Anwohner haben in der Tag-Schutzzone 1 und in der Nacht-Schutzzone Anspruch auf Erstattung von Schallschutzaufwendungen. Der Lärmschutzbereich wird umgrenzt von den Lärmschutzkonturen.

Verändert nach Quelle: <https://www.fluglärm-portal.de/glossar/laermschutzbereich/>, Stand 15.12.2017

Lärmkarten

Lärmkarten machen die Lärmbelastungen in einzelnen Regionen sichtbar. Sie werden aufgrund der EU-Umgebungslärmrichtlinie und aufgrund §§ 47a ff BImSchG erstellt und stellen die Grundlage für Lärmaktionspläne dar. Für die Lärmkarten von Straßen- und Fluglärm sind in Deutschland die Gemeinden oder die nach Landesrecht zuständigen Behörden verantwortlich. Lärmkarten für Schienenwege werden vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) erstellt.

Quelle: <https://www.umwelthaus.org/fluglaerm/fluglaermmonitoring/fluglaermkonturenkarten>, Stand 09.02.2018

6.2 FACHBEGRIFFE IM STUDIENKONTEXT**Metaanalyse**

Verfahren anhand dessen quantitative Ergebnisse einzelner Studien statistisch zusammengefasst werden. Ein Nachteil der Metaanalyse ist, dass häufig nicht alle relevanten Einzelarbeiten berücksichtigt werden können, weil die dafür erforderlichen statistischen Kennwerte oder Datensätze nicht verfügbar oder nicht zugänglich sind.

Reanalyse

Der Begriff wird hier für Arbeiten verwendet, die eine erneute statistische Auswertung bereits vorhandener Datensätze beinhalten

Review

Synonym: Übersichtsarbeit; Das Ziel eines Reviews besteht darin, den Stand der Forschung eines Gebietes darzustellen, zu strukturieren und zu kommentieren. Ein Review enthält anders als die Metaanalyse keine statistisch integrierten Ergebnisse einzelner Studien. Neben der fehlenden Quantifizierbarkeit des Ergebnisses

besteht ein bedeutender Nachteil des Reviews gegenüber der Metaanalyse in der Subjektivität des Reviewers, der über Auswahl und Gewichtung der in den Review eingehenden Einzelarbeiten entscheidet. Der Vorteil des Reviews gegenüber einer Metaanalyse besteht darin, dass zumindest theoretisch alle wichtigen Ergebnisse eines Forschungsbereichs, ungeachtet ihrer methodischen Unterschiedlichkeit, in die Darstellung des Forschungsstandes eingehen können.

6.3 EPIDEMIOLOGIE UND STATISTIK

Beobachtungsstudien/Feldstudien (s. Kap. 3.2)

Beobachtungsstudien (manchmal auch als Feldstudien bezeichnet), sind epidemiologische Untersuchungen, die an Personengruppen unter normalen Alltagsbedingungen durchgeführt werden. Hierfür gibt es unterschiedliche methodische Ansätze wie Querschnittsstudie, Kohortenstudie, Kurzzeitstudie, Zeitreihenanalyse oder Fall-Kontroll-Studie.

Generell möchte man mit epidemiologischen Methoden und Studien den Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber Risikofaktoren und Erkrankung ermitteln. Von besonderem Interesse ist hier der Risikofaktor Fluglärm

Ökologische Studien (s. Kap. 3.2.1)

Studien, die auf aggregierte (d. h. zusammengefasste) Daten z. B. eines geographischen Gebiets zurückgreifen, bezeichnet man in der Forschung als **ökologische Studien**; dem einzelnen Bewohner des Gebiets wird hierbei der Mittelwert der Belastung in der Umgebung des Wohnorts zugeordnet. Ökologische Studien sind anfälliger für Verzerrungen als Studien, die mit Daten von Einzelpersonen arbeiten.

Laborstudien (s. Kap. 3.2.4)

Experimentelle Studien unter Laborbedingungen zu den Auswirkungen von Fluglärm auf verschiedene physiologische und psychologische Funktionsbereiche

Exposition, Expositionsvariable (auch unabhängige Variable)

Die Exposition bezeichnet Einflüsse, denen eine Person ausgesetzt ist. In der Epidemiologie wird die Expositionsvariable als unabhängige Variable betrachtet.

Endpunkt, Zielvariable (auch abhängige Variable)

Als Zielvariable wird die Größe bezeichnet, die in einer Studie (vorrangig) untersucht werden soll (z. B. die Erkrankungshäufigkeit).

Confounder, Störvariable (s. Kap. 3.2.2)

Verzerrender Einfluss, der ebenfalls zum Auftreten der untersuchten Krankheiten oder Beschwerden führen kann und dessen fehlende Berücksichtigung in einer Studie zu vorgetäuschten Zusammenhängen führen kann. Typische Confounder sind Rauchen, Ernährung, soziales Umfeld.

Relatives Risiko (Risk Ratio) (s. Kap. 3.2.1 und 3.4)

Die statistische Kenngröße „relatives Risiko“ gibt den Zusammenhang zwischen einem Risikofaktor (z. B. Exposition gegenüber Fluglärm) und der Zielgröße (z. B. einer Erkrankung) wieder. Ein relatives Risiko von 1 bedeutet, dass kein erhöhtes Risiko vorliegt. Ein relatives Risiko unter 1 gibt ein vermindertes Risiko an und ein relatives Risiko über 1 ein erhöhtes Risiko. So bedeutet ein relatives Risiko von 2 ein verdoppeltes Risiko beim Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen (z. B. zwischen einem Lärmpegel und dem Auftreten der Erkrankung).

Neben dem relativen Risiko werden weitere epidemiologische Maßzahlen wie Odds Ratio, Hazard Ratio usw. verwendet, die inhaltlich eine ähnliche Bedeutung haben.

Odds Ratio (Quotenverhältnis) (s. Kap. 3.4)

Die statistische Kenngröße „Odds Ratio“ gibt ebenfalls den Zusammenhang zwischen Merkmalen wieder und hat die gleiche Bedeutung wie das relative Risiko.

Expositions-Wirkungs-Beziehung, Dosis-Wirkungs-Beziehung (s. Kap. 3.2.1)

Dies beschreibt allgemein den Zusammenhang zweier veränderlicher Größen. Im vorliegenden Kontext wird der Zusammenhang zwischen der Höhe einer Exposition (hier Lärm) und dem Auftreten eines Endpunkts (hier Blutdruck, Schlafstörung, Belästigung) graphisch dargestellt. Zum Beispiel nimmt mit zunehmender Höhe des Lärmpegels die Häufigkeit von Erkrankungen oder Belästigungen zu.

Regressionsanalysen (s. Kap. 3.2.1)

Regressionsanalysen sind statistische Analyseverfahren, die zum Ziel haben, Beziehungen zwischen einer abhängigen und einer oder mehreren unabhängigen Variablen zu modellieren. Sie werden insbesondere verwendet, wenn Zusammenhänge quantitativ zu beschreiben oder Werte der abhängigen Variablen zu prognostizieren sind.

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Regressionsanalyse>

Statistische Signifikanz (s. Kapitel 3.4)

Ergebnisse werden als statistisch signifikant bezeichnet, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass die Ergebnisse durch Zufall zustande gekommen sind, unterhalb einer bestimmten vorher festgelegten Grenze liegt (z. B. einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%). Alle statistischen Ergebnisse sind mit einer Unsicherheit behaftet, die in % Irrtumswahrscheinlichkeit ausgedrückt wird.

Kausalität und Assoziation in der Epidemiologie (siehe Kapitel 3.2.3)

Eine statistische Beziehung zwischen Merkmalen bezeichnet man als „**Assoziation**“. Erfüllt die Assoziation bestimmte Plausibilitätskriterien, kann man sie als „**kausal**“ interpretieren.

Publikationsbias (reporting bias) ist die statistisch verzerrte (engl. bias) Darstellung der Datenlage in wissenschaftlichen Zeitschriften infolge einer bevorzugten Veröffentlichung von Studien mit „positiven“ beziehungsweise statistisch signifikanten Ergebnissen.

QALY (Quality Adjusted Life Year) (siehe Kapitel 5)

Ein qualitätskorrigiertes Lebensjahr QALY ist eine Kennzahl für die Bewertung eines Lebensjahres in Relation zur Gesundheit. Ein QALY von 1 bedeutet ein Jahr in voller Gesundheit, während ein QALY von 0 einem Versterben entspricht. QALY ist damit ein Nutzwert für ein Leben(-sjahr).

DALY (Disability-Adjusted Life Years oder Disease-Adjusted Life Years) (siehe Kapitel 5)

Mit DALY soll nicht nur die Sterblichkeit, sondern auch die Beeinträchtigung des normalen, beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit erfasst werden und in einer Maßzahl summiert werden. Ein DALY bedeutet ein Lebensjahr um welches das Leben ohne Beschwerden oder Beeinträchtigung länger geführt werden kann.

Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (siehe Kapitel 4)

Unter *Belastung* werden hier alle von außen auf den Menschen einwirkenden Reize verstanden, die in der Lage sind, eine Reaktion im Organismus auszulösen. *Beanspruchung* hingegen bezieht sich auf alle im menschlichen Organismus stattfindenden Prozesse, die als Folge einer Belastung auftreten. Ein wesentlicher Aspekt des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts ist, dass mit der Zunahme einer Belastung nicht automatisch eine proportionale Zunahme der Beanspruchung verknüpft ist, sondern dass, je nach individuellen Voraussetzungen (z. B. Empfindlichkeit, Müdigkeit), die Höhe des Belastungs-Beanspruchungs-Zusammenhangs sehr unterschiedlich ausfallen kann.

Belästigung

Unter Belästigung versteht man das Einwirken von Einflüssen, hier von äußeren Einflüssen, auf den Menschen, welches dann als störend empfunden wird.

6.4 WEITERE FACHBEGRIFFE

Stress

(siehe Kapitel 4)

Sofern Beanspruchung mit einem negativen emotionalen Zustand einhergeht, wird von Stress gesprochen, wenn:

1. spezifische Aspekte einer Belastungssituation in ihrer Intensität über das Übliche hinausgehen (z. B. hohe Pegel bei Überflügen),
2. die Belastungssituation negativ bewertet und als Bedrohung erlebt wird,
3. die Belastung als nicht beeinflussbar wahrgenommen wird und
4. die situativen (Einzel-)Ereignisse für den Betroffenen unvorhersehbar eintreten.

Die Erfassung von Stress unterscheidet physiologische und psychologische Stressreaktionen. Es kommt zur Ausschüttung von *Stresshormonen* (Adrenalin, Noradrenalin = Katecholamine, Cortisol)

Kortikale Arousal, Aufwachreaktion

3 bis 15 Sekunden dauernde Frequenzbeschleunigungen, festgestellt in den Gehirnströmen (Elektroenzephalogramm EEG), meist begleitet von einem Anstieg der Herzfrequenz.

Diese kurze Aufwachreaktion kann viele Male pro Nacht (20 bis 400 Mal) auftreten und ist dem Betroffenen meist nicht bewusst.

6.5 LITERATURDATENBANKEN

DIMDI

Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information. Bietet Medizinisches Fachwissen für Laien und Fachleute.

<http://www.dimdi.de>, Stand 15.12.2017

Medline

Literaturdatenbank der amerikanischen Medizinischen Nationalbibliothek.

<http://pubmed.gov>, Stand 06.02.2018

PsycINFO

Literaturdatenbank; Ermöglicht das Auffinden internationaler Literatur im Bereich Psychologie sowie von Quellen psychologierelevanter- und assoziierter Gebiete wie Medizin, Psychiatrie, Soziologie, Erziehungswissenschaften, Pharmakologie, Physiologie, Linguistik oder Anthropologie. Quellen sind Zeitschriften, Bücher, Dissertationen und technische Berichte

<http://www.apa.org/pubs/databases/psycinfo>, Stand 06.02.2018

Scopus

Literaturdatenbank; Scopus wird vom niederländischen Verlag für wissenschaftliche Zeitschriften und Fachbücher Elsevier zur Verfügung gestellt; Umfasst Beiträge aus Naturwissenschaften, Technik, Medizin, Sozialwissenschaften, Kunst- und Geisteswissenschaften; gesamt ca. 42,5 Millionen Einträge

<https://www.scopus.com>, Stand 06.02.2018

Web of Science

Rechercheoberfläche in mehreren wissenschaftlichen Online-Zitations- und Literaturdatenbanken zu den Themen Naturwissenschaften, Medizin, Technik u.a.

<https://clarivate.com/products/web-of-science>, Stand 06.02.2018

Citavi

Literaturdatenbank zur Verwaltung der recherchierten Quellen.

7 LITERATUR

- Babisch, W. (2003): Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise. In: *Noise Health* 5 (18), S. 1–11.
- Babisch, W.; van den Berg, M. (2010): Guidance on potential health effects of noise BNAM 2010 May 10-12 Bergen, Norway
- Babisch, W.; van den Berg, M. (2010): Guidance on potential health effects of noise, zuletzt aktualisiert am 08.03.2010, zuletzt geprüft am 08.08.2012.
- Babisch W., Guski R., Ising H. et al. (2014): Lärm. In: Wichmann HE, Schlipkötter HW, Fülgraff G (Hrsg.): Handbuch Umweltmedizin, 52. Erg. Lfg. 6/14.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/.../umid_1_2016_uba_laerm.pdf,
zuletzt geprüft am 04.02.2018
- Babisch, W.; van Kamp, I. (2009): Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. In: *Noise & Health* 11 (44), S. 161–168.
- Bartels, S. (2014): Aircraft noise-induced annoyance in the vicinity of Cologne/Bonn Airport – The examination of short-term and long-term annoyance as well as their major determinants. Doctoral Thesis, Technische Universität Darmstadt. Online verfügbar unter <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/4192/> zuletzt geprüft am 23.04.2016.
- Basner, M.; Brink, M.; Elmenhorst, E. (2012): Critical appraisal of methods for the assessment of noise effects on sleep. In: *Noise & Health* 14 (61), S. 321–329.
- Basner, M.; Buess, H.; Luks, N.; Maaß, H.; Mawet, L.; Müller, E. W. et al. (2001): Effects of nocturnal aircraft noise – Preliminary results based on 64 subjects and 832 laboratory study nights [Nachtfluglärmwirkungen – Eine Teilauswertung von 64 Versuchspersonen in 832 Schlaflabornächten]. In: *DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Forschungsberichte* (26).

- Basner, M.; Buess, H.; Elmenhorst, D.; Gerlich, A.; Luks, N.; Maaß, H. et al. (2004): Forschungsbericht 2004-07/D. Institut für Verkehrswissenschaft, Universität Köln.
- Basner, M.; Isermann, U.; Samel, A. (2006): Wirkungen nächtlichen Fluglärms. In: *DLR-Nachrichten* (113), S. 26–33. Online verfügbar unter <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33646338670&partnerID=40&md5=2dbfffab2a3f2fc-4835ab5544a2d5e66>. Stand 15.12.2017
- Basner, M.; Samel, A.; Isermann, U. (2006): Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study. In: *J Acoust Soc Am* 119 (5), S. 2772–2784.
- Basner, M.; Siebert, U. (2006): Markov-prozesse zur Vorhersage fluglärmbedingter Schlafstörungen. In: *Somnologie* 10 (4), S. 176–191.
- Basner, M.; Muller, U.; Elmenhorst, E.M.; Kluge, G.; Griefahn, B. (2008): Aircraft noise effects on sleep: a systematic comparison of EEG awakenings and automatically detected cardiac activations. *Physiol Meas* 29 (9), S. 1089–1103
- Becker, A. B.; Warm, J. S.; Dember, W. N.; Hancock, P. A. (1995): Effects of jet engine noise and performance feedback on perceived workload in a monitoring task. In: *The International Journal of Aviation Psychology* 5 (1), S. 49–62.
- Boes, S.; Nueesch, S.; Stillman, S. (2013): Aircraft noise, health, and residential sorting. Evidence from two quasi-experiments. In: *Health Economics* 22 (9), S. 1037–1051. DOI: 10.1002/hec.2948.
- Bonnet, M.; Arand, D. (2007): EEG Arousal Norms by Age. In: *J Clin Sleep Med* 3, S. 271–274
- Brink, M.; Lercher, P.; Eisenmann, A.; Schierz, C. (2008): Influence of slope of rise and event order of aircraft noise events on high resolution actimetry parameters. In: *Somnologie* 12 (2), S. 118–128.
- Brink, M.; Wirth, K. E.; Schierz, C.; Thomann, G.; Bauer, G. (2008): Annoyance responses to stable and changing aircraft noise exposure. In: *J Acoust Soc Am* 124 (5), S. 2930–2941.
- Brooker, P. (2006): Aircraft noise: annoyance, house prices and valuation. In: *Acoustics Bulletin* 31 (3), S. 29–32.
- Brooker, P. (2006): If high aircraft noise exposure increases heart attack risks, what do we do about it? In: *Acoustics Bulletin* 31 (6), S. 31–5.
- Brown, A. L.; van Kamp, I. (2009a): Response to a change in transport noise exposure: Competing explanations of change effects. In: *J Acoust Soc Am* 125 (2), S. 905–914.

Brown, A. L.; van Kamp, I. (2009b): Response to a change in transport noise exposure: A review of evidence of a change effect. In: *J Acoust Soc Am* 125 (5), S. 3018–3029.

Bullinger, M.; Hygge, S.; Evans, G. W.; Meis, M.; Mackensen, S. von (1999): The psychological cost of aircraft noise for children. In: *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin* 202 (2-4), S. 127–138.

Bullinger, M.; Mackensen, S. von; Eikmann, T.; Herr, C.; Seitz, H. (2003): Machbarkeitsstudie Fluglärm und Gesundheit, zuletzt aktualisiert am 04.02.2003, zuletzt geprüft am 23.11.2012.

Bullinger, M., Quitmann, J., Power, M., Herdman, M., Mimoun, E., DeBusk, K., Feigertlova, E., Lunde, C., Dellenmark-Blom, M., Sanz, D., Rohenkohl, A., Pleil, A., Wollmann, H., Chaplin, JE. Assessing the quality of life of health-referred children and adolescents with short stature: development and psychometric testing of the QoLISSY instrument. *Health Qual Life Outcomes*. 2013 May 7;11:76. doi: 10.1186/1477-7525-11-76.

Chen, T.-J.; Chen, S.-S. (1993): Effects of aircraft noise on hearing and auditory pathway function of school-age children. In: *International Archives of Occupational and Environmental Health* 65 (2), S. 107–111.

Clark, C.; Crombie, R.; Head, J.; van Kamp, I.; van Kempen, E. E. M. M.; Stansfeld, S. A. (2012): Does Traffic-related Air Pollution Explain Associations of Aircraft and Road Traffic Noise Exposure on Children's Health and Cognition? A Secondary Analysis of the United Kingdom Sample from the RANCH Project. In: *American Journal of Epidemiology* 176(4) S.327-337

Clark, C.; Head, J.; Stansfeld, S. (2013): Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: A six-year follow-up of the UK RANCH cohort. In: *Journal of Environmental Psychology* 35, S. 1–9, zuletzt geprüft am 13.11.2013.

Clark, C.; Martin, R.; van Kempen, E. E. M. M.; Alfred, T.; Head, J.; Davies, H. W. et al. (2006): Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension - The RANCH project. In: *American Journal of Epidemiology* 163 (1), S. 27–37.

Correia, A. W.; Peters, J. L.; Levy, J. I.; Melly, S.; Dominici, F. (2013): Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases: multi-airport retrospective study. In: *BMJ* 347 (oct08 3), S. f5561. DOI: 10.1136/bmj.f5561.

COSTS OF NOISE, VOLS 1 AND 2: PROCEEDINGS : InterNoise 1991 (1991).

Crombie, R.; Clark, C.; Stansfeld, S. A. (2011): Environmental noise exposure, early biological risk and mental health in nine to ten year old children: A cross-sectional field study. In: *Environmental Health: A Global Access Science Source* 10 (1).

Cuellar, N.G. (2013): The effects of periodic limb movements in sleep (PLMS) on cardiovascular disease. In: *Heart Lung*. 42 (5):353-60. doi: 10.1016/j.hrtlng.2013.07.006.

Dang-Vu, T.T.; McKinney, S.M.; Buxton, O.M.; Solet, J.M.; Ellenbogen, J.M. (2010): Spontaneous brain rhythms predict sleep stability in the face of noise. *Curr Biol* 10;20 (15):R626-7.

Danker-Hopfe, H.; Anderer, P.; Zeitlhofer, J.; Boeck, M.; Dorn, H.; Gruber, G.; Heller, E.; Loretz, E.; Moser, D.; Parapatics, S.; Saletu, B.; Schmidt, A.; Dorffner, G. (2009): Interrater reliability for sleep scoring according to the Rechtschaffen & Kales and the new AASM Standard. *J. Sleep Res.*18: 74-84.

Darui, Z.; Xiulan, C. (1991): Study on evaluation about aircraft noise around airport. In: *Acta Acustica* 16 (3), S. 218–229.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Hg.) (2004): Leiser Flugverkehr, zuletzt aktualisiert am 05.07.2004, zuletzt geprüft am 30.10.2012.

Eikmann, T.; Nieden, A. zur; Lengler, A.; Harpel, S.; Ziedorn, D.; Bürger, M. (2015): Blutdruckmonitoring: Wirkung chronischer Lärmbelastung auf den Blutdruck bei Erwachsenen Endbericht Band 5 in: In Guski R, Schreckenberger D (2015) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld - Endbericht Hrsg Gemeinnützige Umwelthaus GmbH Kelsterbach www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Blutdruck_Wiss_Ergebnisbericht.pdf (last accessed on 23 June 2016)

Elmenhorst, E.-M.; Elmenhorst, D.; Wenzel, J.; Quehl, J.; Müller, U.; Maaß, H. et al. (2010): Effects of nocturnal aircraft noise on cognitive performance in the following morning: dose-response relationships in laboratory and field. In: *International Archives of Occupational and Environmental Health* 83 (7), S. 743–751.

Elmenhorst, E.-M.; Pennig, S.; Rolny, V.; Quehl, J.; Müller, U.; Maaß, H.; Basner, M. (2012): Examining nocturnal railway noise and aircraft noise in the field: Sleep, psychomotor performance, and annoyance. In: *Science of the Total Environment* 424, S. 48–56.

Eriksson, C.; Bluhm, G.; Hilding, A.; Ostenson, C.-G.; Pershagen, G. (2010): Aircraft noise and incidence of hypertension-Gender specific effects. In: *Environmental Research* 110 (8), S. 764–772.

Eriksson, C.; Rosenlund, M.; Pershagen, G.; Hilding, A.; Ostenson, C.-G.; Bluhm, G. (2007): Aircraft noise and incidence of hypertension. In: *Epidemiology* 18 (6), S. 716–721.

Evans, G. W.; Maxwell, L. (1997): Chronic noise exposure and reading deficits: The mediating effects of language acquisition. In: *Environment and Behavior* 29 (5), S. 638–656, zuletzt geprüft am 17.09.2012.

- Fidell, S.; Barber, D. S.; Schultz, T. J. (1991): Updating a dosage effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. In: *J Acoust Soc Am* 89 (1), S. 221–233.
- Fidell, S.; Howe, R.; Tabachnick, B. G.; Pearsons, K.; Sneddon, M. (1995): Noise-induced sleep disturbance in residences near two civil airports, zuletzt geprüft am 18.09.2012.
- Fidell, S.; Pearsons, K.; Tabachnick, B. G.; Howe, R.; Silvati, L.; Barber, D. S. (1995): Field-study of noise-induced sleep disturbance. In: *J Acoust Soc Am* 98 (2), S. 1025–1033.
- Fidell, S.; Silvati, L. (1991): An assessment of the effect of residential acoustic insulation on prevalence of annoyance in an airport community. In: *J Acoust Soc Am* 89 (1), S. 244–247.
- Fidell, S.; Pearson, K.; Tabachnik, B.G. and Howe,R. (2000): Effects on sleep disturbance of changes in air craft noise near three air ports, In: *J Acoust Soc Am* 107(5) S.2535-2547
- Fields, J. M. (1993): Effects of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. In: *J Acoust Soc Am* 93 (5), S. 2753–2763.
- Finegold, L. S. (2010): Sleep disturbance due to aircraft noise exposure. In: *Noise Health* 12 (47), S. 88–94.
- Finegold, L. S.; Harris, C. S.; Gierke, H. E. von (1994): Community annoyance and sleep disturbance: Updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people. In: *Noise Control Engineering Journal* 42 (1), S. 25–30.
- Finke, H. O., Martin, R., Guski, R., Schuemer, R., & Schuemer-Kohrs, A. (1975). Effects of aircraft noise on man. *Journal of Sound and Vibration*, 43(2), 335-349.
- Floud, S.; Vigna-Taglianti, F.; Hansell, A.; Blangiardo, M. A.; Houthuijs, D.; Breugelmans, O. et al. (2011): Medication use in relation to noise from aircraft and road traffic in six European countries: Results of the HYENA study. In: *Occupational and Environmental Medicine* 68 (7), S. 518–524.
- Franssen, E. A. M.; van Wiechen, C.; Nagelkerke, N.; Lebret, E. (2004): Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use (5), zuletzt geprüft am 17.09.2012.
- Greiser, E. (2009): Im Krankenhaus behandelte Krebserkrankungen als Folge einer Exposition gegenüber nächtlichem Fluglärm. Ergebnisse einer Fall-Kontroll-Studie im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Gutachten im Auftrage des Rhein-Sieg-Kreises. Epi. Consult GmbH. Online verfügbar unter http://www.fluglaerm-eppstein.de/Downloads/Greiser_090601_RheinSiegKreis.pdf, zuletzt aktualisiert am 04.05.2009, zuletzt geprüft am 13.09.2012.

Greiser, E.; Glaeske, G. (2013): Soziale und ökonomische Folgen nächtlichen Fluglärms im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main [Social and Economic Consequences of Night-Time Aircraft Noise in the Vicinity of Frankfurt/Main Airport. In: *Gesundheitswesen* 75, S. 127–133.

Greiser, E.; Greiser, C. (2009): Risikofaktor nächtlicher Fluglärm Abschlussbericht über eine Fall-Kontroll-Studie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 3708 51 101).

Greiser, E.; Janhsen, K.; Greiser, C. (2006): Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen, zuletzt aktualisiert am 15.03.2007, zuletzt geprüft am 19.09.2012.

Greiser E, Greiser C (2015) Umgebungslärm und Gesundheit am Beispiel Bremen. UBA- TEXTE 105/2015, Forschungskennzahl 3710 61 170 UBA-FB 002168

Griefahn, B.: Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 37(1990), S. 7-14.

Griefahn, B.; Marks, A.; Robens, S. (2010): Effects of noise on sleep in shift workers. *Proceedings of 20th International Congress on acoustics, ICA*

Griefahn, B.; Basner, M. (2011): Verkehrslärm - Wirkungen auf Schlaf und Leistung. In: *Arbeitsmed.Sozialmed.Umweltmed.*, zuletzt geprüft am 23.11.2012.

Griefahn, B.; Basner, M.; Marks, A.; Kunemund, C. (2005): Awakenings by road-, rail- and air-traffic noise. In: *Acta Acustica united with Acustica*.

Griefahn, B.; Basner, M.; Bröde, P.; Robens, S. (2008): Development of a sleep disturbance index (SDI) for the assessment of noise-induced sleep disturbances. In: *Somnologie - Schlafforschung und Schlafmedizin* 12 (2), S. 150–157, zuletzt geprüft am 26.09.2012.

Griefahn, B.; Bröde, P.; Marks, A.; Basner, M. (2008): Autonomic arousals related to traffic noise during sleep. In: *Sleep* 31 (4), S. 569–577.

Griefahn, B.; Marks, A.; Robens, S. (2006): Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep. In: *Journal of Sound and Vibration* 295 (1-2), S. 129–140, zuletzt geprüft am 18.09.2012.

Guski, R.; Felscher-Suhr, U.; Schuemer, R. (1999): The concept of noise annoyance: How international experts see it. In: *Journal of Sound and Vibration* 223 (4), S. 513–527. DOI: 10.1006/jsvi.1998.2173.

Guski, R. (1999). Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise and Health*, 1, S. 45-56.

- Haines, M. M.; Stansfeld, S. A.; Job, R. F. S.; Berglund, B.; Head, J. (2001): Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. In: *Psychol. Med.* 31 (2), S. 265–277.
- Hansell, A. L.; Blangiardo, M.; Fortunato, L.; Floud, S.; Hoogh, K. de; Fecht, D. et al. (2013): Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. In: *BMJ* 347 (oct08 3), S. f5432. DOI: 10.1136/bmj.f5432.
- Haralabidis, A. S.; Dimakopoulou, K.; Velonaki, V.; Barbaglia, G. C.; Mussin, M.; Giampaolo, M. et al. (2011): Can exposure to noise affect the 24 h blood pressure profile? Results from the HYENA study. In: *Journal of Epidemiology and Community Health* 65 (6), S. 535–541.
- Haralabidis, A.S.; Dimakopoulou, K.; Vigna-Taglianti, F.; Giampaolo, M.; Borgini, A.; Dudley M.L., et al. (2008): Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. In: *Eur Heart J.* 29(5):658-64.
- Haugg, E., Maziul, M., & Vogt, J. (2003). The socio-organisational interface: attitudes of airport residents towards aviation and how to meet information requirements. *Human Factors and Aerospace Safety, an international Journal*, 3, S. 247-253.
- HILL, Austin Bradford (1965): The environment and disease: association or causation? Kausalitätskriterien. In: *Bull World Health Organ [online]* 2005 (vol.83, n.10), S. 796–798. Online verfügbar unter ISSN 0042-9686.
- Hohmann, Cynthia; Grabenhenrich, Linus; Kluzenaar, Yvonne de; Tischer, Christina; Heinrich, Joachim; Chen, Chih-Mei et al. (2013): Health effects of chronic noise exposure in pregnancy and childhood. A systematic review initiated by ENRIECO. In: *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 216 (3), S. 217–229. DOI: 10.1016/j.ijheh.2012.06.001.
- Hoffmann W, Erdmann E (2015) Gesamtstellungnahme des WBQ zur NORAH-Studie – Modul 2.1 (Sekundärdatenbasierte Fall-Kontroll-Studie mit vertiefter Befragung). In Guski R, Schreckenber D (2015) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld - Endbericht, Hrsg Gemeinnützige Umwelthaus GmbH Kelsterbach
- Horne, J.A.; Pankhurst, F.L.; Reyner, L.A.; Hume, K.; Diamond, I.D. (1994) A Field study of sleep disturbance: Effects of Air Craft Noise and other Factors on 5742 nights of actimetrically monitored sleep in a large subject sample In: *Sleep* 17 (2): 146-159
- Hume, K.; Morley, H.; Terranova, D.; Thomas, C. (2002): The influence of serial complainers on complaint profiles at airports. Hg. v. Proceeding of the Forum Acusticum, zuletzt aktualisiert am 23.07.2002, zuletzt geprüft am 02.10.2012.
- Hume, K.; Whitehead, C. (2003): Sleep disturbance due to introduced aircraft noise. In: ICBEN (Hg.): Proceedings of the 8th International Congress. ICBEN, zuletzt geprüft am 18.09.2012.

- Huss, A.; Spoerri, A.; Egger, M.; Röösl, M. (2010): Aircraft Noise, Air Pollution, and Mortality From Myocardial Infarction. In: *Epidemiology* 21 (6), S. 829–836.
- Hygge, S.; Evans, G. W.; Bullinger, M. (2002): A Prospective Study of Some Effects of Aircraft Noise on Cognitive Performance in Schoolchildren. In: *Psychological Science* 13 (5), S. 469–474. DOI: 10.1111/1467-9280.00483.
- Iber C.; Ancoli-Israel, S.; Chesson, A.; Quan, S.F. (2007): The AASM manual for the scoring of the sleep and associated events: Rules, terminology and technical specifications. 1st ed. Westchester, Illinois: American Academy of Sleep Medicine.
- Ising, H. (2014). Endokrine Lärmwirkungen. In: E. Wichmann, H.-W. Schlipkötter, G. Füllgraff (Hrsg.), *Handbuch Umweltmedizin*, 52. Erg. Lfg. 6/14, S. 17-23.
- Javaheri, S.; Redline, S. (2012): Sleep, slow-wave sleep, and blood pressure. In: *Curr Hypertens Rep.* 2012 Oct; 14(5):442-8. doi: 10.1007/s11906-012-0289-0.
- Janssen, S. A.; Vos, H.; van Kempen, E. E. M. M.; Breugelmans, O.; Miedema, H. M. E. (2011): Trends in aircraft noise annoyance: The role of study and sample characteristics. In: *The Journal of the Acoustical Society of America* 129 (4), S. 1953–1962.
- Jarup, L.; Babisch, W.; Houthuijs, D.; Pershagen, G.; Katsouyanni, K.; Cadum, E. et al. (2008): Hypertension and Exposure to Noise Near Airports: The HYENA Study. In: *Environ Health Perspect* 116 (3), S. 329–333. DOI: 10.1289/ehp.10775.
- Job, R. (1988). Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. In: *J of the Acoustical Society of America*, 83, S. 991-1001.
- Job, R. F. S.; Hatfield, J.; Carter, N. L.; Peploe, P.; Taylor, R.; Morrell, S. (2001): General scales of community reaction to noise (dissatisfaction and perceived affectedness) are more reliable than scales of annoyance. In: *J Acoust Soc Am* 110 (2), S. 939–946.
- Jue, G. M.; Shumaker, S. A.; Evans, G. W. (1984). Community opinion concerning airport noise-abatement alternatives. In: *Journal of Environmental Psychology* 4, S. 337-345.
- Klatte, M.; Bergström, J.; Spilski, J.; Mayerl, J.; Meis, M. (2014): Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern Endbericht Band 1 in: In Guski R, Schreckenber D NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld - Endbericht Hrsg Gemeinnützige Umwelthaus GmbH Kelsterbach www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Wissenschaftlicher_Ergebnisbericht_14-11-04.pdf (last accessed on 23 June 2016)

- Koolhaas, J.M., Bartolomucci, A., Buwalda, B., de Boer, S.F., Flügge, G., Korte, S.M., Meerlo, P., Murison, R., Olivier, B., Palanza, P., Richter-Levin, G., Sgoifo, A., Steimer, T., Stiedl, O., van Dijk, G., Wöhr, M., Fuchs, E. (2011). Stress revisited: A critical evaluation of the stress concept. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35, 1291-1301.
- Kroesen, M.; Molin, E. J. E.; van Wee, B. (2008): Testing a theory of aircraft noise annoyance: A structural equation analysis. In: *J Acoust Soc Am* 123 (6), S. 4250–4260.
- Kroesen, M.; Molin, E. J. E.; Miedema, H. M. E.; Vos, H.; Janssen, S. A.; van Wee, B. (2010): Estimation of the effects of aircraft noise on residential satisfaction. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 15 (3), S. 144–153.
- Kroesen, M.; Schreckenberg, D. (2011): A measurement model for general noise reaction in response to aircraft noise. In: *J Acoust Soc Am* 129 (1), S. 200–210.
- Löwel H. (2006) Gesundheitsberichterstattung des Bundes, Heft 33, Koronare Herzkrankheit und akuter Myokardinfarkt. Robert Koch Institut, Berlin
- Lukas, J.S.; Peeler, D.J.; Dobbs, M.E. (1973): Arousal from sleep by noises from aircraft with and without acoustically treated nacelles. In: NASA Rep, CR 2279.
- Maris, E.; Stallen, P. J.; Vermunt, R.; Steensma, H. (2007b). Noise within the social context: Annoyance reduction through fair procedures. *J of the Acoustical Society of America*, 121(4), S. 2000-2010.
- Maschke, Niemann (2014) Lärm, In: Handbuch Umweltmedizin, 52. Ergänzungslieferung S. 23-30
- Matheson, M.; Clark, C.; Martin, R.; van Kempen, E. E. M. M.; Haines, M. M.; Barrio Lopez, I. et al. (2010): The effects of road traffic and aircraft noise exposure on children's episodic memory: The RANCH Project In: *Noise Health* 12, S. 244-254.
- Matos, J. C. B.; Flindell, I.; Le Masurier, P.; Pownall, C. (2013). A comparison of hedonic price and stated preference methods to derive monetary values for aircraft noise disturbance and annoyance. In: *Transportation Research Part D-Transport and Environment* 20, S. 40–47. DOI: 10.1016/j.trd.2013.01.006.
- Maziul, M.; Vogt, J. (2002). Can a telephone service reduce annoyance? *Forum Acusticum*. Sevilla, Spain.
- Michaud, D. S.; Fidell, S.; Pearsons, K.; Campbell, K. C.; Keith, S. E. (2008): Review of field studies of aircraft noise-induced sleep disturbance. In: *Noise and Vibration Bulletin*, S: 55-66.
- Miedema, H. M. E.; Oudshoorn, C. G. M. (2001): Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. In: *Environ Health Perspect* 109 (4), S. 409–416.

- Miedema, H. M. E.; Vos, H. (1998): Exposure-response relationships for transportation noise. In: *J Acoust Soc Am* 104 (6), S. 3432–3445.
- Miedema, H. M. E.; Vos, H. (1999): Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. In: *J Acoust Soc Am* 105 (6), S. 3336–3344.
- Miedema H.M.E.; Vos, H. (2007): Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalyses of pooled data from 24 studies. In: *Behav Sleep Med* 5(1), S. 1-20.
- Möhler,U.; Liepert,M.; Mühlbacher, M.; Beronius,A.; Nunberger,M.; Braunstein,G.; Gittere,M.; Schaal,J.; Bartel,R. Erfassung der Verkehrsgeräuschexposition Endbericht Band 2 in : In Guski R, Schreckenber D (2015) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld - Endbericht Hrsg Gemeinnützige Umwelthaus GmbH Kelsterbach www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Akustik_Wiss_Ergebnisbericht.pdf (last accessed on 23 June 2016)
- Müller, E. W.; Basner, M.; Buess, H.; Luks, N.; Maaß, H.; Mawet, L. et al. (2003b): Effects of nocturnal aircraft noise daytime performance after disturbance of sleep by aircraft noise, zuletzt geprüft am 26.09.2012.
- Müller, U.; Aeschbach,D.; Elmenhorst, E-M; Hoff, A.; Mendolia,F.; Quehl,J.; Rieger,I.; Schmitt,S.; Lttel, W. Auswirkungen von Fluglärm auf den nächtlichen Schlaf Endbericht Band 4 in: In Guski R, Schreckenber D (2015) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld - Endbericht Hrsg Gemeinnützige Umwelthaus GmbH Kelsterbach www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Schlafstudie_Wiss_Ergebnisbericht.pdf (last accessed on 23 June 2016)
- Navrud, S. (2002): Navrud, S. (2002): The State-Of-The-Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to European Commission DG Environment, April 14th 2002. Ståle Navrud, Department of Economics and Social Sciences. Agricultural University Norway. <https://www.econbiz.de/Record/the-state-of-the-art-on-economic-valuation-of-noise-navrud-st%C3%A5le/1000963669>, zuletzt geprüft am 29.01.2018
- Niemann, H.; Maschke, C. (2004): WHO LARES Final report Noise effects and morbidity. Hg. v. Regional Office for Europe World Health Organization (WHO), zuletzt aktualisiert am 12.05.2004, zuletzt geprüft am 31.10.2012.
- Nykaza, E. T., Hodgdon, K. K., Trent, G., Kreckler, P., & Luz, G. A. (2013). On the relationship between blast noise complaints and community annoyance. In: *J of the Acoustical Society of America* 133, S. 2690-2698.
- Ohayon, M.M.; Caskardon; M.A.; Guilleminault, M.D.; Vitiello, M.V.(2004): Meta-Analysis of quantitative sleep parameters from childhood to old age in healthy individuals: developing normative sleep values across the human lifespan. In: *Sleep* .27(7) S. 1255-1273.

- Passchier-Vermeer, W.; Vos, H.; Steenbekkers, J. H. M.; Ploeg, F. D.; Groothuis-Oudshoorn, K. (2002): Sleep disturbance and aircraft noise exposure. Exposure-effect relationships, zuletzt aktualisiert am 03.10.2002, zuletzt geprüft am 17.09.2012.
- Pearsons, K.; Barber, D.; Tabachnick, B.G.; Fidell, S. (1995): Predicting noise-induced sleep disturbance. *Journal of the Acoustical Society of America* 97(1): 331-338.
- Penzel, T.; Zhang, X.; Fietze, I. (2013): Inter scorer reliability between sleep centers can teach us what to improve in the scoring rules. *J Clin Sleep Med*, 9: 89-91
- Peter, H.; Penzel, T.; Peter, J.H.(2007):Enzyklopädie der Schlafmedizin. Springer, Berlin. Heidelberg New York Tokyo.
- Pepin, J.L.; Borel, A.L.; Tamisier, R.; Baguet, J.P.; Levy, P.; Dauvilliers, Y.(2014): Hypertension and sleep: Overview of a tight relationship. *Sleep Med Rev.* pii: S1087-0792(14)00024-0. doi: 10.1016/j.smrv.2014.03.003
- Püschel, R.; Evangelinos, C. (2012): Evaluating noise annoyance cost recovery at Düsseldorf International Airport. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 17 (8), S. 598–604.
- Quehl, J.; Basner, M. (2006): Annoyance from nocturnal aircraft noise exposure: Laboratory and field-specific dose-response curves. In: *J of Environ Psychol* 26 (2), S. 127–140.
- Rechtschaffen, A.; Kales, A. (1968): A manual of standardized terminology, techniques and scoring system of sleep stages in humansubjects. Los Angeles: Brain Information Service/Brain ResearchInstitute, University of California.
- Rohmert, W. & Rutenfranz, J. (1975). Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Bonn: Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung.
- Rosenberg, R.S.; Van Hout, S. (2013): The American Academy of Sleep Medicine Inter-scorer reliability program: Sleep stage scoring. In: *J Clin Sleep Med* 9, S. 81-87
- Rylander, R.; Bjorkman, M. (1997): Annoyance by aircraft noise around small airports. In: *Journal of Sound and Vibration* 205 (4), S. 533–537.
- Schreckenber, D.; Griefahn, B.; Meis, M. (2010): The associations between noise sensitivity, reported physical and mental health, perceived environmental quality, and noise annoyance. In: *Noise Health*, zuletzt geprüft am 28.09.2012.
- Schreckenber, D.; Meis, M. (2006): Gutachten - Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens, zuletzt aktualisiert am 22.09.2006, zuletzt geprüft am 12.09.2012.

Schreckenber, D.; Meis, M.; Kahl, C.; Peschel, C.; Eikmann, T. (2010): Aircraft noise and quality of life around Frankfurt Airport. In: *IJERPH* 7 (9), S. 3382–3405, zuletzt geprüft am 18.09.2012.

Schreckenber, D.; Schümer, R. (2010): The impact of acoustical, operational and non-auditory factors on short-term annoyance due to aircraft noise. In: 39th International Congress on Noise Control Engineering 2010, INTER-NOISE 2010 3.

Schreckenber, D., Meis, M., Kahl, C., Peschel, C., und Eikmann, T. (2010): Aircraft noise and quality of life around Frankfurt airport.

Schreckenber, D.; Faulbaum, F.; Guski, R.; Ninke, L.; Peschel C.; Spiski, J.; Wothge, J (2015): Wirkungen von Verkehrslärm auf die Lärmbelastigung und Lebensqualität. Endbericht Band 3 In Guski R, Schreckenber D (2015) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld Hrsg Gemeinnützige Umwelthaus GmbH Kelsterbach www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Belastigung_Wiss_Ergebnisbericht.pdf (last accessed on 23 June 2016)

Schultz, T. J. (1978): Synthesis of social surveys on noise annoyance. In: *J Acoust Soc Am* 64 (2), S. 377–405.

Seidler, A.; Wagner, M.; Schubert, M.; Dröge, P.; Hegewald, J. (2015): Sekundärdatenbasierte Fall-Kontroll-Studie mit vertiefender Befragung. In Guski R, Schreckenber D (2015) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld - Endbericht Band 6, Hrsg Gemeinnützige Umwelthaus GmbH Kelsterbach www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Krankheitsrisiken_Wiss_Ergebnisbericht.pdf (last accessed on 23 June 2016)

Seidler, A.; Wagner, M.; Schubert, M.; Dröge, P.; Pons-Kühnemann, Swart, E.; Zeeb, H.; Hegewald J. (2016): Herzinfarkttrisiko durch Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm, Ergebnisse einer sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie *Dtsch Aerzteblatt Int* 113: 407-14

Selander, J.; Bluhm, G.; Theorell, T.; Pershagen, G.; Babisch, W.; Seiffert, I. et al. (2009): Saliva Cortisol and Exposure to Aircraft Noise in Six European Countries. In: *Environ Health Perspect* 117 (11), S. 1713–1717.

Stadt Frankfurt am Main, Amt für Gesundheit (2009): Fluglärm und Gesundheit in der Rhein-Main Region 2005. Ergänzende Auswertung der RDF-Belastigungsstudie um die Fragen zur Gesundheit.

Stallen, P. J. M. (1999): A theoretical framework for environmental noise annoyance, zuletzt geprüft am 25.09.2012.

Stansfeld, S. A. (1992): Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. In: *Psychol. Med.* 22, S. 1–44.

- Stansfeld, S. A.; Berglund, B.; Clark, C.; López-Barrio, I.; Fisher, P. F.; Öhrstrom, E. et al. (2005): Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. In: *Lancet* 365 (9475), S. 1942–1949.
- Stansfeld, S. A.; Hygge, S.; Clark, C.; Alfred, T. (2010): Night time aircraft noise exposure and children's cognitive performance. In: *Noise Health* 12 (49), S. 255–262.
- Statistisches Jahrbuch Deutschland 2014 (2014). 1., Auflage. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Szalma, J.L. & Hancock, P.A. (2011): Noise effects on human performance: A meta-analytic synthesis. In: *Psychological Bulletin* 136, S. 682-707.
- Taylor, S. M. (1984). A path model of aircraft noise annoyance. *J of Sound and Vibration*, 96(2), S. 243-260.
- Thanos, S.; Wardman, M.; Bristow, A. L. (2011): Valuing Aircraft Noise: Stated Choice Experiments Reflecting Inter-Temporal Noise Changes from Airport Relocation. In: *Environmental and Resource Economics* 50 (4), S. 559–583. DOI: 10.1007/s10640-011-9482-x.
- van Kempen, E.E1, Kruize, H; Boshuizen, H.C; Ameling, C.B., Staatsen, B.A, de Hollander A.E.(2002):The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis. In: *Environ Health Perspect.* 110, S. 307-17.
- Visser, O.; van Wijnen, J. H.; van Leeuwen, F. E. (2005): Incidence of cancer in the area around Amsterdam Airport Schiphol in 1988–2003: a population-based ecological study (1), zuletzt geprüft am 28.09.2012.
- Vogt, J. (2002). Wirkung von physikalischen Noxen (einschließlich Information). In W. Dott, H. F. Merk, J. Neuser & R. Osieka (Hrsg.) *Lehrbuch der Umweltmedizin* (S. 479 – 487). Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.
- Williams, H.L. (1973): Effects of noise on sleep: a review. In: Ward WD (ed): *Noise as a Public Health Problem*. Washington (DC) 20460: EPA 550/9-73-00, 501-511.
- Wirth, K. E.; Brink, M.; Schierz, C. (2004): Swiss Noise Study 2000: Noise annoyance around the airport Zurich [Lärmstudie 2000: FluglärmBelästigung um den flughafen Zürich-kloten]. In: *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 51 (2), S. 48–56.
- Wirth, K. E.; Brink, M.; Schierz, C. (2006): Changes of community response to aircraft noise exposure over time. In: *Acta Acustica united with Acustica* 92, S. S49.
- Witt, S. de; Gärtner, K. (2005): Protection concept against nocturnal aircraft noise based on the study of the German Aerospace Center (DLR) for the official approval of plans for airports an airfields. In: *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 52 (4), S. 124–130.

Wohlwill, J. F. (1976): Much Noise About Jet Noise. In: *PsycCRITIQUES* 21 (8), S. 575–576.

Wong, C. K.; Lee, Y. Y.; Wong, J. C. K.; Lo, T. Y.; Leung, A. Y. T.; Wong, K. W. (2013): The Ageing Effect of Mechanical Joints on the Tyre/Joint Noises Monitored by a Control Vehicle Method without Traffic Disturbance. In: *Advances in Mechanical Engineering*. DOI: 10.1155/2013/454351.

Working Group Health & Socio-Economic Aspects (2005): Working paper on the effectiveness of noise measures, zuletzt aktualisiert am 08.09.2005, zuletzt geprüft am 19.10.2012.

World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe (2011): Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe, zuletzt geprüft am 30.10.2012.

World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe (2009): Night noise guidelines for Europe, zuletzt aktualisiert am 11.09.2009, zuletzt geprüft am 19.10.2012.

World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe (2007): Night Noise Guidelines (NNGL) for Europe: Final Implementation Report. Hg. v. World Health Organization, zuletzt aktualisiert am 2007, zuletzt geprüft am 18.09.2012.

Wu, T.-N.; Lai, J. S.; Shen, C.-Y.; Yu, T.-S.; Chang, P.-Y. (1995): Aircraft noise, hearing ability, and annoyance. In: *Archives of Environmental Health* 50 (6), S. 452–456.

Xie, H.; Li, H.; Kang, J. (2014): The characteristics and control strategies of aircraft noise in China. In: *Applied Acoustics*. DOI: 10.1016/j.apacoust.2014.01.011.

Xin, F. X.; Lu, T. J. (2013): External Mean Flow Effects on Noise Radiation from Orthogonally Rib-Stiffened Aeroelastic Plates. In: *Aiaa Journal* 51 (2), S. 406–415. DOI: 10.2514/1.j051819.

Xiong, Juntao; Liu, Feng; Paparrioschou, Dimitri (2012): Aerodynamic Performance of Fan-Flow Deflectors for Jet-Noise Reduction. In: *Journal of Propulsion and Power* 28 (4), S. 728–738. DOI: 10.2514/1.b34489.

Xue, Caijun; Zheng, Guang; Tang, Wei; Long, Shuangli (2012): Aeroacoustic noise reduction design of a landing gear structure based on wind tunnel experiment and simulation. In: *Journal of Vibroengineering* 14 (4), S. 1591–1600.

Yamada, I.; Kaku, J. (1996): Changes in people's attitudes toward airport resulting from decrease in number of flights. In: *InterNoise* (Hg.): Proceedings of the 25th Anniversary Congress InterNoise 96, S. 2079–2084.

Yamada, I.; Kaku, J. (1999): Change in community response resulting from decrease in exposure to aircraft noise. In: *J of the Acoustical Society of Japan* 55 (7), S. 474–485.

Yankaskas, Kurt (2013): Prelude. Noise-induced tinnitus and hearing loss in the military. In: *Hearing Research* 295, S. 3–8. DOI: 10.1016/j.heares.2012.04.016.

Yano, Takashi; Gjestland, Truls; Lee, Soogab (2012): Community response to noise. In: *Noise & Health* 14 (61), S. 303–306. DOI: 10.4103/1463-1741.104898.

Zaman, K. B. M. Q. (2012): Effect of Initial Boundary-Layer State on Subsonic Jet Noise. In: *Aiaa Journal* 50 (8), S. 1784–1795. DOI: 10.2514/1.j051712.

Zaman, K. B. M. Q. (2012): Supersonic jet noise reduction by microjet injection. In: *International Journal of Aeroacoustics* 11 (7-8), S. 917–936.

Zinkhan, N.; Berger, K.; Hense, S.; Nagel et al.. (2014): Agreement of different methods for assessing sleep characteristics: a comparison of two actigraphs, wrist and hip placement, and self-report with polysomnography. In: *Sleep Med* (15), S. 1107-1114.

Xiong, Juntao; Liu, Feng; Paparrioschou, Dimitri (2012): Aerodynamic Performance of Fan-Flow Deflectors for Jet-Noise Reduction. In: *Journal of Propulsion and Power* 28 (4), S. 728–738. DOI: 10.2514/1.b34489.

8 ANHANG**A1 LEBENSLÄUFE DER EXPERTEN**

Dr. Ian Flindell

(* 1950)

Position: Independent Consultant

Adresse: Beechwood, Middleton, Middle Winterslow

Salisbury, Wiltshire, SP5 1R

United Kingdom

Tel: +44 (0)1980 862334

E-Mail: ian.flindell@btconnect.com**Curriculum Vitae**

- 1972 BSc Psychology and Cybernetics, University of Reading
- 1976 MSc Applied Acoustics, University of London
- 1976 Postgraduate Certificate in Education, University of London
- 1982 PhD Acoustics, University of Southampton
- 1972–1975 Electronics Technician, University of London
- 1976–1982 Research Fellow, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton
- 1983–1983 Visiting Researcher, US National Research Council, NASA Langley Research Centre Virginia USA
- 1983–1987 Acoustics Consultant, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton
- 1987–2013 Lecturer in Acoustics (part-time) Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton
- 1987– Independent consultant, Ian H Flindell & Associates, address as above

Forschungsschwerpunkte

Environmental noise, Airport Noise, Effects of noise on people, Building acoustics, Instrumentation and measurement

Ausgewählte Aktivitäten in Forschung und Lehre, Auszeichnungen

- 1987– Expert witness at major airport development inquiries (Heathrow, Gatwick, Stansted etc.)
- 1999–2000 UK nominated expert at WHO leading to current (2000) WHO guidelines on Community Noise
- 2000–2002 Co-chair EC working group on noise indicators for EC Environmental Noise Directive (2002)
- 2002–2005 Major UK study 'Attitudes to Noise from Aviation Sources in England' (pub 2007)
- 1990er– EU projects on impulsive noise and aircraft noise
- 1990er– aircraft arrivals and departures procedures, ground noise, community engagement etc. for many different airports in UK
- 2009– Reviews of noise and health and economic effects for UK depts Health and Environment

Ausgewählte Publikationen

- Schreckenberger D, Benz S, Goetz K, Flindell I, 'Noise respite at Frankfurt Airport', Proceedings Internoise, August 21-24, Hamburg, (2016)
- Torija A, Self R, Flindell I, 'On the CO2 and noise emissions forecast in future aviation scenarios in the UK', Proceedings Internoise, August 21-24, Hamburg (2016)
- Flindell I**, LeMasurier P, 'A combined qualitative/quantitative approach to the design of noise annoyance studies', Proceedings Euronoise, May 31-June 3, Maastricht (2015)
- Torija A, **Flindell I**, 'The subjective effect of low frequency content in road traffic noise', JASA 137, Jan, pp 189-198, (2015)
- Perakis G, **Flindell I**, Self R, 'Towards roughness as an additional metric for aircraft noise containing multiple tones', Acta Acustica, 99 Sept/Oct, pp 828-835 (2013)
- Blanco J, **Flindell I**, LeMasurier P, Pownall C, 'A comparison of hedonic and stated preference methods to derive monetary values for aircraft noise disturbance and annoyance' Transport Research D 20 pp 40-47 (2013)
- Blanco J, **Flindell I**, 'Property prices in urban areas affected by road traffic noise', Applied Acoustics 72 pp 133-141 (2011)
- Maynard R, Moorhouse A, Berry B, Leventhall G, Stansfeld S, Shield B, **Flindell I**, Smith A, 'Environmental noise and health in the UK', Health Protection Agency <http://www.hpa.org.uk> (2010)
- Flindell I**, Berry B, 2009, 'Estimating dose-response relationships between noise exposure and human health impacts in the UK', BEL Project Report 2009-001, <http://www.defra.gov.uk> (2009)
- MVA Consultancy, Bates J, **Flindell I**, RPS Ltd, 'ANSE – Attitudes to noise from aviation sources in England', Department for Transport, October 2007

Prof. Dr. Rainer Höger

(* 1954)

Professor für Arbeits- und Ingenieurpsychologie
 Institut für Experimentelle Wirtschaftspsychologie
 Leuphana Universität Lüneburg
 Adresse: Wilschenbrucher Weg 84, 21335 Lüneburg
 Tel: +49 (0)4131 677-7712
 E-Mail: hoeger@leuphana.de

**Curriculum Vitae**

- 1982 Diplom in Psychologie, TU-Berlin
- 1986 Promotion (Dr.phil.), Ruhr-Universität Bochum
- 1994 Habilitation, Venia Legendi in Psychologie, Ruhr-Universität Bochum
- 1998 Forschungsaufenthalt an der Glasgow Caledonian University, Großbritannien
- 1995–1996 Lehrstuhlvertretung für Allgemeine Psychologie, Universität Konstanz
- 1999 Lehrstuhlvertretung für Umwelt- und Gesundheitspsychologie, KU Eichstätt
- 2002–2003 Lehrstuhlvertretungen für Kognitionspsychologie & Allgemeine Psychologie, Universität Leipzig
- 2003–2004 Professor für Arbeits- und Ingenieurpsychologie, FH Nordostniedersachsen
- 2004– Professor für Arbeits- und Ingenieurpsychologie, Leuphana Universität Lüneburg

Forschungsschwerpunkte

Kognitive Psychologie, Unfallforschung, Stress- und Belastungsforschung

Aktivitäten in Selbstverwaltung, Forschung und Lehre, Auszeichnungen

- 2004–2005 Mitglied des Senats der Universität Lüneburg
- 2006–2008 Geschäftsführender Direktor des Instituts für Experimentelle Wirtschaftspsychologie
- 2008–2012 Sprecher des Forschungsschwerpunkts Psychonik
- 2011 Auszeichnung mit dem Transferpreis der Leuphana Universität Lüneburg für besondere Leistungen in der angewandten Forschung
- 2006 Auszeichnung mit dem Lehrpreis der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
- 2012– Leiter des Studiengangs Wirtschaftspsychologie

Ausgewählte Publikationen

- Höger R**, Matthies E, & Letzing E (1988). Physikalische versus psychologische Reizintegration: Der Mittelungspegel aus wahrnehmungspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 35, 163-167.
- Höger R** (1997). Speed of processing and stimulus complexity in low and high frequency channels. *Perception*, 26(8), 1039-1045.
- Höger R** (2001). *Raumzeitliche Prozesse der visuellen Informationsverarbeitung*. Magdeburg: Scriptorum Verlag.
- Hunecke M, Blöbaum A, Matthies E, **Höger R** (2001). Responsibility and environment: ecological norm orientation and external factors in the domain of travel mode choice behavior. *Environment and Behavior*, 33(6), 830-852.
- Höger R**, Schreckenber D, Felscher-Suhr U, Griefahn B (2003). Night-time noise annoyance: state of the art. *Noise and Health*, 4, 19-25.
- Raabe S, **Höger R**, Delius J D (2006). Sex differences in mental rotation strategy. *Perceptual and Motor Skills*, 103, 917-930.
- Höger R**, Seidenstücker J (2007). Driving and activation of mental concepts. *Advances in Transportation Studies*, Special Issue, 91-96.
- Marquardt N, **Höger R** (2009). The Effect of Implicit Moral Attitudes on Managerial Decision-Making: An Implicit Social Cognition Approach. *Journal of Business Ethics*, 85(2), 157-171.
- Marquardt N, Robelski S, **Höger R** (2010). Crew Resource Management Training Within the Automotive Industry: Does It Work? *Human Factors*, 52(2), 308-315.
- Höger R** (2010). Simulation of attention steering processes. In de Waard D, Axelsson A, Berglund M, Peters B, Weikert C (Eds.), *Human Factors: A system view of human, technology and organisation* (pp. 31-40). Maastricht (NL): Shaker Verlag.

Prof. Dr. rer.nat. Ursula Krämer

Im Ruhestand; davor: Leitung Arbeitsbereich Epidemiologie
 Institut für Umweltmedizinische Forschung (IUF) an der
 Heinrich-Heine Universität
 Auf'm Hennekamp 50, 40225 Düsseldorf
 Private Adresse: An den Höfen 4, 40699 Erkrath
 Tel: +49 (0)2104 39946 (privat) +49 (0)4131 677-7712
 E-Mail: kraemeru@uni-duesseldorf.de

**Qualifikation und Ausbildung**

- 2009 Apl. Professor, Heinrich-Heine Universität, Düsseldorf
 2003 Habilitation im Fach Umweltepidemiologie Medizinische Fakultät, TU München
 1991 Dr. rer. nat., Fakultät für Statistik, TU Dortmund
 1966–1973 Studium der Mathematik und Biologie, RWTH Aachen,
 Erstes und zweites Staatsexamen für das Lehramt am Gymnasium

Berufstätigkeit

- 2004–2012 Leitung Arbeitsbereich Epidemiologie, Institut für Umweltmedizinische Forschung, Düsseldorf
 1997–2004 Epidemiologin, TU München, Klinik und Poliklinik für Dermatologie und Allergologie (50 %)
 2001–2004 Epidemiologin, Institut für Umweltmedizinische Forschung (IUF), Abteilung Epidemiologie (50 %)
 1973–2001 Epidemiologin/Statistikerin, Medizinisches Institut für Umwelthygiene (MIU), Abteilung Biostatistik/Epidemiologie, Düsseldorf (50 % seit 1977)

Spezielle Expertise

- 1973–2014 Planung, Durchführung, Auswertung und Veröffentlichung von epidemiologischen Studien zu Umwelteinwirkungen auf die menschliche Gesundheit

Ausgewählte Originalpublikationen

- Winneke G, Ranft U, Wittsiepe J, Kasper-Sonnenberg M, Fürst P, **Krämer U**, Seitner G, Wilhelm M: Behavioral sexual dimorphism in school-age children and early developmental exposure to dioxins and PCBs: a follow-up study of the Duisburg cohort. *Environ Health Perspect* 122(3): 292-298, 2014.
 Beelen R, Raaschou-Nielsen O, **Krämer U**, Brunekreef B, Hoek G: Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. *The Lancet* 383(9919): 785-795, 2014.

- Pedersen M, **Krämer U**, Kogevinas M, Slama R: Ambient air pollution and low birthweight: a European cohort study (ESCAPE). *Lancet Respir Med* 1(9):695-704, 2013.
 Vossoughi M, Schikowski T, Vierkötter A, Sugiri D, Hoffmann B, Teichert T, Herder C, Schulte T, Luckhaus C, Raulf-Heimsoth M, Casjens S, Brüning T, **Krämer U**: Air pollution and subclinical airway inflammation in the SALIA cohort study. *Immunity & Ageing* 11(1): 5, 2014.
 Govarts E, **Krämer U**, Bonde JP, and OBELIX/ENRIECO: Prenatal Exposure to Polychlorinated Biphenyls (PCB) and Dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE) and Birth Weight: A Meta-analysis within 12 European Birth Cohorts. *Environ Health Perspect* 120(2): 162-170, 2012.
 Cramer C, Link E, Bauer CP, Hoffmann U, von Berg A, Lehmann I, Herbarth O, Borte M, Schaaf B, Sausenthaler S, Wichmann H-E, Heinrich J, **Krämer U**: Association between attendance of day care centres and increased prevalence of eczema in the German birth cohort study LISAplus. *Allergy* 66(1): 68-75, 2011.
Krämer U, Herder C, Sugiri D, Strassburger K, Schikowski T, Ranft U, Rathmann W Traffic-related air pollution and incident type 2 diabetes: results from the SALIA cohort study. *Environ Health Perspect* 118:1273-1279, 2010.
 Vierkötter A, Schikowski T, Ranft U, Sugiri D, Matsui M, **Krämer U**, Krutmann J: Airborne particle exposure and extrinsic skin aging. *J Invest Dermatol* 130(12): 2719-2726, 2010.
 Cramer C, Link E, Horster M, Koletzko S, Bauer C, Berdel D, vBerg A, Lehmann I, Herbarth O, Borte M, Schaaf B, Behrendt H, Chen C, Sausenthaler S, Illig T, Wichmann H, Heinrich J, **Krämer U** Elder siblings enhance the effect of filaggrin mutations on childhood eczema – Results from the two birth cohort studies LISAplus and GINIplus *J Allergy Clin Immunol* 125:1254-60, 2010.

Prof. Dr. Thomas Penzel

(* 1958)

Institut: Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum,
Zentrum für Kardiologie, Charité – Universitätsmedizin Berlin

Position: Wissenschaftlicher Leiter Schlafmedizin

Adresse: Charitéplatz 1, 10117 Berlin

Tel: +49 (0)30 4505-13013

E-Mail: thomas.penzel@charite.de

**Curriculum Vitae**

- 1986 Physik Diplom, Universität Marburg
- 1991 Promotion Humanbiologie, Universität Marburg
- 1995 Habilitation, Universität Marburg
- 1997 Zertifikat Medizinische Informatik
- 1997 Zertifikat Somnologie
- 2001 Ernennung zum apl. Professor
- 2010 Zertifikat Medizindidaktik
- 2011 Zertifikat Healthcare Manager
- 1984–1987 Universität Marburg, Forschungsassistent in der Physik
- 1987–2006 Universität Marburg, wiss. Mitarbeiter, Schlafmedizin
- 2006 Charité – Universitätsmedizin Berlin, wissenschaftlicher Leiter Schlafmedizin

Forschungsschwerpunkte

Schlafforschung, Schlafmedizin, Diagnostische Methoden, Herz-Kreislaufforschung, Schlafapnoe

Aktivitäten in Forschung und Lehre, Auszeichnungen

- 1993 – Vorstandmitglied der Deutschen Ges. für Schlafforschung in verschiedenen Positionen
- 2001–2014 Präsident der Internationalen Ges. für Biotelemetrie ISOB
- 2001 Bial Preis für Neurotelemedizin der Republik Portugal
- 2001– Wiss. Beitrag von Zeitschriften (Biomed. Technik, Sleep, Sleep Medicine, Physiol. Meas. Plos One)
- 2003– Schriftleiter der Zeitschrift Somnologie
- 2005 Organisator des 1. Weltkongresses für Schlafmedizin WASM in Berlin
- 2008 Bill Gruen Preis der SRS für Innovationen in der Schlafforschung
- 2012 Somnus Preis des Schlafmagazins
- 2013– Vorstandmitglied Welt Schlafmedizin Verband WASM

Ausgewählte Publikationen

- Penzel T**, Amend G, Meinzer K, Peter JH, von Wichert P. MEASAM: A Heart Rate and Snoring Recorder for Detection of Obstructive Sleep Apnea. *Sleep* 13: 175-182 (1990)
- Bunde A, Havlin S, Kantelhardt JW, **Penzel T**, Peter JH, Voigt K. Correlated and Uncorrelated Regions in Heart-Rate Fluctuations during Sleep. *Physical Review Letters* 85: 3736-3739 (2000)

- Penzel T**, McNames J, de Chazal P, Raymond B, Murray A, Moody G. Systematic comparison of different algorithms for apnoea detection based on electrocardiogram recordings. *Med Biol Eng Comput* 40: 402-407 (2002)
- Becker HF, Jerrentrup A, Ploch T, Grote L, **Penzel T**, Sullivan CE, Peter JH. Effect of Nasal Continuous Positive Airway Pressure Treatment on Blood Pressure in Patients With Obstructive Apnea. *Circulation* 107: 68-73 (2003)
- Lo C-C, Chou T, **Penzel T**, Scammell T, Strecker RE, Stanley HE, Ivanov PC. Common Scale-Invariant Pattern of Sleep-Wake Transitions across Species. *Proc Natl Acad Sci* 101: 17545-17548 (2004).
- Bartsch R, Kantelhardt JW, **Penzel T**, Havlin S. Experimental Evidence for Phase Synchronization Transitions in the Human Cardiorespiratory System. *Phys. Rev. Letters* 98: 054102 (2007)
- Völzke H, Alte D, Schmidt CO, Radke D, Lorbeer R, Friedrich N, Aumann N, Lau K, Piontek M, Born G, Havemann C, Ittermann T, Schipf S, Haring R, Baumeister SE, Wallaschofski H, Nauck M, Frick S, Arnold A, Jünger M, Mayerle J, Kraft M, Lerch MM, Dörr M, Reffelmann T, Empen K, Felix SB, Obst A, Koch B, Gläser S, Ewert R, Fietze I, **Penzel T**, Dören M, Rathmann W, Haerting J, Hannemann M, Röpcke J, Schminke U, Jürgens C, Tost F, Rettig R, Kors JA, Ungerer S, Hegenscheid K, Kühn JP, Kühn J, Hosten N, Puls R, Henke J, Gloger O, Teumer A, Homuth G, Völker U, Schwahn C, Holtfreter B, Polzer I, Kohlmann T, Grabe HJ, Roszkopf D, Kroemer HK, Kocher T, Biffar R, John U, Hoffmann W. Cohort profile: the study of health in Pomerania. *Int J Epidemiol* 40: 294-307 (2011).
- Bartsch RP, Schumann AY, Kantelhardt JW, **Penzel T**, Ivanov PC. Phase transitions in physiologic coupling. *Proc Natl Acad Sci* 109: 10181-10186 (2012)

Prof. Dr. med. Michael Schlander, M.B.A.

(* 1959)

Institute for Innovation & Valuation in Health Care (InnoVal^{HC})

Position: Vorstandsvorsitzender und Wissenschaftlicher Leiter

Adresse: An der Ringkirche 4, 65197 Wiesbaden

E-Mail: michael.schlander@innoval-hc.com

Universität Heidelberg, Mannheim Institute of Public Health

Adresse: Ludolf-Krehl-Straße 7-11, D-68167 Mannheim

E-Mail: michael.schlander@medma.uni-heidelberg.de

**Akademisches Curriculum Vitae**

- 1985 Approbation als Arzt
- 1987 Dr. med., Universität Frankfurt am Main (summa cum laude)
- 1994 M.B.A., City University of Seattle/WA (Valedictorian of the class of 1994)
- 2002 Diplom in Health Economics Stockholm School of Economics
- 2007 Habilitation, Venia legendi in Gesundheitsökonomie, Universität Heidelberg

Career**Internationale pharmazeutische Industrie**

(in Belgien, Deutschland und den USA):

- 1987–1993 Sektionsleiter Klinische Forschung
- 1993–1999 Leiter, Strategic Business Unit
- 1999–2002 Alleingeschäftsführer

Wissenschaft:

- 1982–1987 Wissenschaftl. Assistent, Neuroanatomie und Neurologie, Universitäten Frankfurt, Mainz
- 2002– Professor, Gesundheits- und Innovationsmanagement, Hochschule Ludwigshafen
- 2005– Gründer und Leiter, InnoVal^{HC}
- 2006– Gesundheitsökonom, Univ. Heidelberg

Forschungsgebiete

Health Economics & Cost Value Analysis
 Health Technology Assessment
 Health Care Utilization Research
 Pharmaceutical Market Regulation

Wissenschaftliche Aktivitäten/Auszeichnungen

- 2005 ISPOR Best Contributed Poster Award
- 2008 Mitgründer, Deutsche Gesellschaft für Gesundheitsökonomie (DGGÖ)
- 2012 ISPOR Distinguished Service Award

Ausgewählte Publikationen

Schlander M, Garattini S, Holm S, Kolominsky P, Nord E, Persson U, Postma M, Richardson J, Simoens S, de Solà Morales O, Tolley K, Toumi M: Incremental cost per quality-adjusted life year (QALY) gained? The need for alternative methods to evaluate medical interventions for ultra-rare disorders. *J Comp Eff Res* 2014, 3: 399-422

Schlander M, Schwarz O, Rothenberger A, Roessner V: Tic disorders: administrative prevalence and co-occurrence with attention-deficit/hyperactivity disorder in a German community sample. *Eur J Psychiatry* 2011, 26: 370-374

Schlander M: The use of cost-effectiveness by the National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE): no(t yet an) exemplar of a deliberative process. *J Med Ethics* 2008, 34: 534-539

Schlander M, Schwarz O, Trott GE, Viapiano M, Bonauer N: Who cares for patients with attention-deficit/hyperactivity disorder? Insights from Nordbaden (Germany). *Eur Child + Adolesc Psychiatry* 2007, 16: 430-438

Foster EM, Jensen PS, **Schlander M**, Pelham WE, Hechtman L, Arnold LE, Swanson JM, Wigal T: Treatment for ADHD: is more complex treatment cost-effective for more complex cases? *Health Serv Res* 2007, 42: 165-182

Jensen PS, Garcia JA, Glied S, Crowe M, Foster EM, **Schlander M**, and the MTA Cooperative Group: Cost-effectiveness of ADHD treatments: findings from the MTA study. *Am J Psychiatry* 2005, 162: 1628-1636

Stadler M, **Schlander M**, Braeckman M, Nguyen T, Boogaerts JG: A cost-utility and cost-effectiveness analysis of an acute pain service. *J Clin Anesthesia* 2004, 16: 159-167

Prof. Dr. Vogt, Joachim

(* 1967)

Technische Universität Darmstadt
 Fachbereich Humanwissenschaften
 Forschungsgruppe Arbeits- und Ingenieurpsychologie
 Adresse: Alexanderstr. 10, D-64283 Darmstadt
 Tel: +49 (0)6151 16 24081
 E-Mail: vogt@psychologie.tu-darmstadt.de

**Curriculum Vitae**

1993 Dipl.-Psych., Universität Düsseldorf
 1993–1996 Universität Düsseldorf, wiss. Mitarbeiter,
 Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
 1996–2003 Universität Dortmund, wiss. Mitarbeiter
 (ab 1998 C1, wiss. Assistent) Fachbereich
 Humanwissenschaften und Theologie
 1998 Dr. phil., Universität Dortmund
 2003 Habilitation, Universität Dortmund
 2004–2007 University of Copenhagen, Associate
 Professor Work & Organisational Psychology
 2007–2009 Deutsche Flugsicherung
 2009 Technische Universität Darmstadt

Forschungsschwerpunkte

Arbeit ergonomisch gestalten; Balanced Scorecards
 Gesundheit und Sicherheit etablieren; Belastung
 und Beanspruchung psychophysiologisch messen
 und optimieren; Critical Incident Stress Management
 implementieren; Mensch-Technik-Interaktionen intuitiv
 und sicher entwickeln; interdisziplinäre Zusammenarbeit
 fördern; Personal planen, steuern, bewerten; Produzieren
 und Dienstleistungen sicher, gesund, nachhaltig menschen-
 gerecht gestalten; Umweltverhalten und -erleben
 verbessern, v. a. Lärmwirkungen erforschen und vorbeugen

Aktivitäten in Forschung und Lehre, Auszeichnungen

2013 Cofounders Award for Excellence in Crisis
 Intervention/Trauma Research of the International
 Critical Incident Stress Foundation for research
 about the effects of Critical Incident Stress
 Management CISM
 1999 Rudolf-Chaudoire Forschungspreis der
 Universität Dortmund; verwendet für einen
 Forschungsaufenthalt am Technical Centre of
 the US Federal Aviation Administration
 1995 Georg-Sieber-Preis für angewandte Psychologie;
 verliehen für die laborexperimentelle Diplomarbeit
 zur Wirkungskontingenzierung von Fluglärm

Ausgewählte Publikationen (chronologisch)

Vogt J, Felscher-Suhr U & Fröhner J (2014).
 Verkehrslärmbedingte Störung der Kommunikation
 in Gewerbegebieten – eine Machbarkeitsstudie.
 49. Kongress der Deutschen Gesellschaft
 für Psychologie, September 2014 in Bochum.
 Sommerfeld K, Felscher-Suhr, U & **Vogt J** (2014).
 Dauerhaft zufrieden leben mit dem Flughafen als

Nachbarn – was würde wirklich helfen?
 49. Kongress der Deutschen Gesellschaft für
 Psychologie, September 2014 in Bochum.

Bartels S, Müller U & **Vogt J** (2013). Predictors of aircraft
 noise annoyance: results of a telephone study.
 Proceedings of Internoise 2013, Innsbruck,
 Austria.

Maziul M, Job S & **Vogt J** (2005). Aircraft Noise Complaint
 Complaint Behaviour – A Review.
Noise & Health, 7(28), 17-27.

Vogt J (2005). The relative impact of aircraft noise and
 number in a full-factorial laboratory design. *The
 Journal of Sound and Vibration*, 282, 1085-1100.

Vogt J, Haugg E & Maziul M (2004). Neues Slot-System
 der Augsburger Flughafen GmbH reduziert
 Belästigung durch Hubschrauber.
Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 6, 181-184.

Haugg E, Maziul M & **Vogt J** (2003). The socio-organi-
 sational interface: Attitudes of airport residents
 towards aviation and how to meet information
 requirements. *Journal of Human Factors
 and Aerospace Safety*, 3(3), 247-253.

Vogt J & Kastner M (Guest Editors) (2003). Interfaces in air
 traffic organisation. *Special Issue of Human
 Factors and Aerospace Safety*, 3(3), 195-283.

Vogt J (2003). Sustainable development and environmental
 impacts of aviation. *Journal of Human Factors and
 Aerospace Safety*, 3(3), 255-270.

Vogt J & Kastner M (2002). Psychophysiological responses
 under exceptional stress: Air traffic control during
 the Duesseldorf airport fire on
 April 11th 1996. *Journal of Human Factors and
 Aerospace Safety*, 2(1), 87-96.

Becher LF, **Vogt J**, Schreiber, M & Kalveram K Th (1997).
 Effekte der visuellen Umwelt auf das
 Geräuscherleben. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*,
 44, 195-200.

Felscher-Suhr U, Guski R, Hunecke M, Kastka J, Paulsen
 R, Schümer R & **Vogt J** (1996). Störungen von
 Alltagstätigkeiten durch Flug- und Straßenlärm:
 Eine methodologische Vorstudie. *Zeitschrift für
 Lärmbekämpfung*, 43, 61-68.

Jäncke L, **Vogt J**, Musial F, Lutz K & Kalveram K Th (1996).
 Facial EMG responses to auditory stimuli.
International Journal of Psychophysiology,
 22, 85-96.

Prof. Dr. Dr. H.-Erich Wichmann

(* 1946)

Institut: ehem. Helmholtz Zentrum München,
 Direktor des Instituts für Epidemiologie und
 Lehrstuhl für Epidemiologie, Universität München
 Tel: +49 (0)89 3187-4713
 E-Mail: wichmann@helmholtz-muenchen.de

**Curriculum Vitae**

1973 Dipl.-Phys., Universität Köln
 1976 Dr. rer. nat., Universität Köln
 1983 Dr. med., Universität Köln
 1983 Habilitation in Biomathematik, Universität Köln
 1993 Zertifikat Epidemiologie
 1973–1983 Universität Köln, Med. Klinik 1, Assistent
 1983–1988 Medizinisches Institut für Umwelthygiene,
 Düsseldorf, Leiter der Abteilung für Biostatistik
 1988–1995 Universität Wuppertal, Direktor des Instituts für
 Arbeitssicherheit und Umweltmedizin
 1990–2012 GSF bzw. Helmholtz Zentrum München,
 Neuherberg, Direktor des Instituts für
 Epidemiologie
 1995–2012 Universität München, Professor für Epidemiologie

Forschungsgebiete

Epidemiologie komplexer Erkrankungen,
 genetische Epidemiologie, Uweltepidemiologie

Ehrungen

1984 Ludwig Heilmeyer Medaille in Silber
 2005 Bayerische Staatsmedaille für Umweltmedizin

Ausgewählte Publikationen

Insgesamt 810 Arbeiten in PubMed
 (Stand November 2014), **h-index: 86**

Wichmann HE, Kuhn Ka, Waldenberger M, ..., Zatloukal K.
 Comprehensive catalog of European biobanks.
Nat Biotechnol. 2011 Sep 8;29(9):795-7.

Wichmann HE, Kaaks R, Hoffmann W, Jöckel KH,
 Greiser KH, Linseisen J. Die Nationale Kohorte.
Bundesgesundheitsblatt. 2012 Jun;55

Rietveld CA, ..., **Wichmann HE**, ..., Koellinger PD.
 GWAS of 126,559 individuals identifies genetic
 variants associated with educational attainment.
Science. 2013 Jun 21;340(6146):71-71.

Berndt SI, ..., **Wichmann HE**, ..., Ingelsson E.
 Genome-wide meta-analysis identifies 11 new loci
 for anthropometric traits and provides insights into
 genetic architecture. Nat Genet.
 2013 May;45(5):501-12.

Cyrys J, Peters A, Soentgen J, **Wichmann HE**, Low
 emission zones reduce PM10 mass
 concentrations and diesel soot in German cities.
J Air Waste Manag Assoc. 2014 Apr;64(4):481-7.

Albrecht E, ..., **Wichmann HE**, ..., Schulz H.
 Telomere length in circulating leukocytes is
 associated with lung function and disease.
Eur Respir J. 2014 Apr;43(4):983-92.

Olsson AC, ..., **Wichmann HE**, ..., Straif K.
 Lung cancer risk among hairdressers: a pooled
 analysis of case-control studies conducted
 between 1985 and 2010. Am J Epidemiol.
 2013 Nov 1;178(9):1355-65.

Liu L, ..., **Wichmann HE**, ..., Peters A. Size fractioned
 particulate air pollution and cardiovascular
 emergency room visits in Beijing, China.
Environ Res. 2013 Feb;121:52-63.

Heinrich J, ..., **Wichmann HE**. Long-term exposure to NO2
 and PM10 and all-cause and cause-specific
 mortality in a prospective cohort of women.
Occup Environ Med. 2013

Peters A, von Klot S, Mittleman MA, ..., **Wichmann HE**.
 Triggering of a acute myocardial infarction by
 different means of transportation.
Eur J Prev Cardiol. 2013 Oct;20(5):750-8.

Arking DE, ..., **Wichmann HE**, ..., Chakravarti A:
 A common genetic variant in the nNOS regulator
 CAPON modulates cardiac repolarization
 (QT interval) Nat Genet
 2006 Jun;38(6):644-651.

Herbert A, ..., **Wichmann HE**, ..., Christman MF: Genetic
 variation near INSIG2 is a common determinant of
 obesity in Europeans and African Americans.
Science 2006 Apr 14;312(5771):279-83

Peters A, ..., **Wichmann HE**, Löwel H: Exposure to Traffic
 and the Onset of Myocardial Infarction.
New England Journal of Medicine,
 351, 1721-30(2004)s

A2 DARSTELLUNG DER STUDIEN AN DEUTSCHEN FLUGHÄFEN

Einleitung

In diesem Abschnitt werden Studien betrachtet, die an deutschen Flughäfen durchgeführt wurden. Dabei wird auch die „graue Literatur“ einbezogen, also Ergebnisse, die nicht in wissenschaftlichen Zeitschriften oder Monographien veröffentlicht wurden, die aber häufig in der nationalen und lokalen Diskussion eine große Rolle spielen. Überdies wird eine Darstellung für Deutschland insgesamt eingebracht.

A2.1 Flughafen Bremen

Greiser-Studie zum Fluglärm am Flughafen Bremen

In der Studie Greiser et al. (2015) wurden die Daten von rund 800.000 Personen aus Bremen mit adresssgenauen Lärmdaten (Flugverkehr, Straßenverkehr, Schienenverkehr) zusammengeführt. Analysiert wurde der Zusammenhang zwischen Lärmintensität und den Zielvariablen Gesamtsterblichkeit und Krebs für Lärmexposition am Tag und in der Nacht.

Die Methodik dieser Studie basiert auf früheren Studien, die in der Umgebung des Flughafens Köln-Bonn durchgeführt wurden. Sie ist in Kapitel A3.4 genauer beschrieben.

Gesamtsterblichkeit: Bei der Belastung durch Fluglärm findet sich bei Personen mit einer Wohndauer unter 10 Jahren und Fluglärm am Tage ein statistisch signifikant erhöhtes Risiko für die Gesamtsterblichkeit. Dieses Ergebnis ist jedoch inkonsistent, denn das Risiko sinkt (!) mit der Expositionsdauer und ist bei den am längsten Exponierten verschwunden.

Krebs: Bei der Analyse des möglichen Einflusses von Umgebungslärm auf die Krebsinzidenz der beiden Diagnosegruppen Leukämien/maligne Lymphome sowie Brustkrebs der Frau zeigte sich für Fluglärm, ebenso wie für die beiden anderen Lärmarten, keine signifikante Risikoerhöhung. Es fanden sich größere Risikoanstiege bei der Analyse einer kombinierten Einwirkung von Straßen- und Schienenverkehrslärm, aber ebenfalls nicht für die Kombination mit Fluglärm.

Insgesamt ergibt sich somit kein Hinweis auf gesundheitliche Auswirkungen des Fluglärms in Bremen. Dies ist angesichts der relativ niedrigen Fluglärmexposition und der kleinen Zahl hoch Exponierter auch nicht überraschend.

A2.2 Flughafen Berlin

HYENA-Studie (Aussagen zu Berlin-Tegel unterstrichen)

Ziel der HYENA-Studie (Hypertension and exposure to noise near airports) war die Untersuchung des Einflusses von Fluglärm und Straßenverkehrslärm auf die Herz-Kreislauf-Gesundheit im Studienzeitraum 2002 bis 2006. Es handelt sich um eine Querschnittstudie mit rund 5000 Personen, im Alter 45 bis 70 Jahren, die mindestens fünf Jahre in der Nähe eines der sechs beteiligten europäischen Flughäfen London-Heathrow (VK), Berlin-Tegel (D), Amsterdam-Schiphol (NL), Stockholm-Arlanda und Bromma (S), Athen (GR) und Mailand-Malpensa (I) wohnten. Sie wurden in persönlichen Interviews zur Belästigung, ausgewählten Erkrankungen und der Medikamenteneinnahme befragt, wobei ebenfalls wichtige individuelle Confounder erhoben wurden. Ferner wurden bei allen Teilnehmern Blutdruckmessungen und bei einer Untergruppe von mehr als 400 Personen Cortisolbestimmungen im Speichel durchgeführt. Es erfolgte jeweils eine Adjustierung für individuelle Confounder und teilweise für andere Umweltparameter (Jarup et al., 2005).

Bluthochdruck: Der Blutdruck wurde zu Hause drei Mal (vor, während und nach dem Interview) durch geschulte Mitarbeiter gemessen. Erhöhter Blutdruck wurde definiert als systolischer Blutdruck über 140 mmHg oder diastolischer Blutdruck über 90 mmHg, oder die Arzt diagnose Hypertonie gemeinsam mit der Einnahme blutdrucksenkender Mittel. Die Auswertung ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen Fluglärm in der Nacht und Bluthochdruck: Ein Anstieg der nächtlichen Lärmbelastung um 10 dB(A) war mit einem relativen Risiko von 1,14 (1,01–1,29) assoziiert. Kein Zusammenhang ergab sich mit dem Fluglärm am Tag Jarup et al., 2008). Eine Ausnahme bildete hierbei Berlin-Tegel, wo der Einfluss von Taglärm auf den Bluthochdruck am stärksten ausgeprägt war. Über Tag und Nacht gemittelt war der Zusammenhang in Berlin jedoch nicht signifikant.

Herzerkrankungen und Schlaganfall: Es wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen Nachtlärm und den Selbstangaben zum Vorliegen dieser Krankheiten für Personen gefunden, die mehr als 20 Jahre am selben Ort lebten (OR = 1,25 (1,03, 1,51) pro 10 dB(A)). Diese Assoziation war robust bei Adjustierung für Luftverschmutzung in der Untergruppe, für die entsprechende Daten vorlagen. Für Taglärm bestand der Zusammenhang ebenfalls, war aber nicht signifikant (Floud et al., 2013).

Medikamente: Die Teilnehmer wurden gefragt, welche vom Arzt verordneten Medikamente sie in den letzten zwei Wochen vor dem Interview eingenommen hatten. Der Medikamentenverbrauch für blutdrucksenkende Mittel, Säureblocker, Psychopharmaka (Schlafmittel, Sedativa, Antidepressiva) und Antiasthmatica wurde analysiert.

Pro 10 dB(A) Fluglärmhöhung ($L_{eq\ nachts}$) lag das relative Risiko für den Verbrauch an blutdrucksenkenden Arzneimitteln zwischen 0,82 und 1,35 und war nur im Vereinigten

Königreich (1,35) und den Niederlanden (1,19) signifikant erhöht. Für den 16h L_{eq} ergab sich nur für das ein signifikant erhöhtes Risiko (1,35). Der Zusammenhang zwischen Lärmbelastigung (tags beziehungsweise nachts) und der Medikamenteneinnahme war für Antihypertensiva (1,34) und Beruhigungsmittel (1,74 bzw. 1,74) signifikant (Floud et al., 2011). Für Berlin-Tegel wurden separate Ergebnisse zur Einnahme von Antihypertensiva berichtet: Hier ergab sich ein nicht signifikanter Anstieg der Medikamenteneinnahme mit dem Tag- und dem Nachtlärm.

Belästigung: Personen aus der Umgebung der sechs HYENA-Flughäfen wurden im persönlichen Interview befragt. Als unabhängige Variable wurde der Lärmpegel L_{den} , L_{night} verwendet, als abhängige Variable die Lärmbelastigung. Es wurden klare Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen Fluglärm und Lärmbelastigung sowohl am Tag als auch in der Nacht gefunden. Die Ergebnisse wurden graphisch für die einzelnen Flughäfen und im Vergleich zur EU-Kurve zur Lärmbelastigung dargestellt. In jeder Expositions-kategorie fühlten sich mehr Personen durch Fluglärm belästigt als vom EU-Standard vorhergesagt (Babisch et al., 2009). Betrachtet man die Berliner Ergebnisse separat, dann lag in Berlin-Tegel der Anteil stark fluglärm-belästigter Anwohner etwas unter dem Durchschnitt aller sechs Flughäfen. Das korrespondiert mit der Tatsache, dass auch die Lärmexposition in Berlin-Tegel für L_{den} und für L_{night} unter dem Durchschnitt aller sechs Flughäfen lag.

Stresshormone: Einer Untergruppe wurden Gefäße für die Speichelsammlung morgens, mittags und abends zugeschickt. Signifikante Auswirkungen des Fluglärms auf den morgendlichen Cortisolspiegel im Speichel waren nur bei den weiblichen Probanden der Untersuchungsstichprobe nachweisbar, nicht jedoch bei den Männern. Von allen Flughäfen wurde die einzige signifikante Expositions-Wirkungs-Beziehung für Heathrow gefunden (Selander et al., 2009). Für Berlin-Tegel wurden keine separaten Angaben gemacht. Auch die Cortisolkonzentration war am Morgen erhöht, es zeigte sich aber keine signifikante Expositions-Wirkungs-Beziehung (weder für Männer noch für Frauen).

Gesamtbewertung: Insgesamt ist die HYENA-Studie wegen ihrer guten Planung und Durchführung sowie ihres großen Studenumfanges als aussagekräftig einzustufen. Die Fluglärmexposition ist adäquat und weitgehend einheitlich dargestellt, wichtige Confoundervariablen liegen individuell vor und wurden in der Analyse berücksichtigt.

Die Studie stellt einen Expositions-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Fluglärm und Bluthochdruck (Nachtlärm), Herzerkrankungen und Schlaganfall bei langjährigen Anwohnern (Nachtlärm) und der Einnahme von blutdrucksenkenden Medikamenten (Nachtlärm) dar, allerdings uneinheitlich, bezogen auf die untersuchten Probanden an den verschiedenen Flughäfen. Eine Ableitung von Wirkungsschwellen ist aber nicht möglich. Wichtige Hinweise auf einen Zusammenhang ergeben sich für Stresshormone bei Frauen (24h Lärm) und bei der Belästigung (Taglärm und Nachtlärm).

Die stärksten Assoziationen finden sich für den am stärksten belasteten Flughafen London-Heathrow. Für Berlin-Tegel zeigen sich (soweit separat ausgewiesen) entweder keine Zusammenhänge, oder diese sind weniger klar ausgeprägt als in der Gesamtanalyse über alle sechs HYENA-Flughäfen. Ausnahme ist der Einfluss von Taglärm auf den Bluthochdruck, der in Berlin-Tegel am stärksten ausgeprägt ist. Wieweit dies mit dem Nachtflugverbot in Tegel zu tun hat, wird teilweise diskutiert, lässt sich jedoch anhand der vorhandenen Daten nicht entscheiden.

NaRoMI-Studie

Die NaRoMi-Studie (Noise and Risk of Myocardial Infarction) untersucht die Frage, ob die chronische Lärmbelastung in Berlin das Auftreten von Herzinfarkt begünstigt. An der Studie nahmen rund 4000 Patienten teil, die in den Jahren von 1998 bis 2001 in Berliner Kliniken behandelt wurden. Sie füllten einen Fragebogen zur Lärmbelastung in ihrem Wohnumfeld aus und machten Angaben zu bekannten Risikofaktoren für den Herzinfarkt (Babisch et al., 2004, Willich et al., 2006). Die Belästigung durch Fluglärm war zwar Teil der Befragung, spielte aber in der Auswertung eine untergeordnete Rolle; diese bezog sich ausschließlich auf den **Straßenverkehrslärm**. Es werden keine spezifischen Aussagen zum Fluglärm gemacht.

A2.3 Flughafen Düsseldorf

Rehm, Jansen (1978) untersuchten den Einfluss von Fluglärm auf Schwangerschaften in der Umgebung des Flughafens Düsseldorf, indem Krankenhausunterlagen zu Geburten in Flughafennähe ausgewertet wurden. Die Studie genügt nicht den heute zu fordernden Standards und ist nicht als aussagekräftig anzusehen.

In einer methodologischen Studie mit wiederholten Kurzinterviews (Felscher-Suhr et al., 1996) ließen sich keine Zusammenhänge zwischen der stündlichen Fluglärmbelastung und der **Belästigung** zeigen. Wegen des kleinen Studenumfangs und des Fehlens von Angaben zu Confoundern sind keine weitergehenden Schlüsse möglich.

Eine ökonomische Arbeit zu negativen Auswirkungen von Lärm auf die **Mietpreise** in der Umgebung des Düsseldorfer Flughafens zeigt nach Auffassung der Autoren, dass der Einfluss von Fluglärm deutlich höher ist als der Einfluss von Straßenverkehrslärm (Püschel, Evangelinos, 2012). Gesundheitliche Auswirkungen werden hierbei nicht betrachtet.

Insgesamt liegen keine belastbaren Studien zu Gesundheitswirkungen für die Umgebung des Flughafens Düsseldorf vor.

A2.4 Flughafen Köln-Bonn

DLR-Feldstudie zum Fluglärm am Flughafen Köln-Bonn

Die zentrale Publikation Basner et al. (2004) untersucht sehr detailliert die human-spezifischen Wirkungen nächtlichen Fluglärms. In die Feldstudie wurden 64 schlafgesunde Anrainer des Köln-Bonner Flughafens in ihrer gewohnten Umgebung einbezogen. In neun aufeinanderfolgenden Nächten wurde der Schallpegel außen und innen (am Ohr des Schläfers) kontinuierlich gemessen. Es wurden folgende Variablen erfasst: **Elektrophysiologie** (kontinuierlich): EEG, EOG, EMG, EKG, Atmungsbewegungen, Atemfluss, Fingerpulsamplitude, Position und Aktometrie. **Stresshormone** im nächtl. Sammelurin: Adrenalin, Noradrenalin, Cortisol. Fragebögen: subj. Einschätzung der Belastung und **Belästigung**. Computergestützte **Leistungstests**: morgens und abends. Folgende signifikante Ergebnisse wurden gefunden: (i) Es bestand eine Expositions-Wirkungs-Beziehung zwischen dem energieäquivalenten Dauerschallpegel und dem Anteil der Personen, die sich mittel bis stark durch Fluglärm belästigt fühlten. (ii) Aufwachreaktionen traten oberhalb einer Schwelle von 33 dB(A) auf, gemessen am Ohr des Schläfers. Alle nachgewiesenen Effekte waren unter Feldbedingungen erheblich niedriger als in einer parallel durchgeführten Laborstudie. Die quasi-experimentelle Feldstudie hatte einen direkten Bezug zur tatsächlichen Fluglärmbelastung am Flughafen Köln-Bonn.

Gesamtbewertung: Insgesamt weist die DLR-Feldstudie aufgrund ihrer hohen Qualität und ihres niedrigen Risikos für Confounding und Bias eine sehr gute Evidenz für die gefundenen Expositions-Wirkungs-Beziehungen auf. Die Ableitung einer Wirkungsschwelle erscheint grundsätzlich möglich.

Greiser-Studien zum Fluglärm am Flughafen Köln-Bonn

In diesen Studien wurden die Daten von ca. 1 Million Versicherten gesetzlicher Krankenkassen mit Hauptwohnsitz im Einzugsbereich des Flughafens mit adressgenauen Lärmdaten (Flugverkehr, Straßenverkehr, Schienenverkehr) zusammengeführt. Analysiert wurde der Zusammenhang zwischen Lärmintensität und den Zielvariablen für vier Zeitfenster des Fluglärms am Tag und in der Nacht. Hierbei wurde den Probanden der Dauerschallpegel zugeordnet, der aus den Flugbewegungen im Bereich des Flughafens berechnet wurde. Diese Berechnungen erfolgen in aller Regel gebietsweise, nicht individuell. Auch berücksichtigen sie nicht die Entwicklung der Lärmsituation an dem Flughafen. Sie sind daher als eher grobes Maß der individuellen Exposition anzusehen. In allen Analysen wurde Straßenlärm, Schienenlärm, Anzahl der Sozialhilfeempfänger im Stadt- beziehungsweise Ortsteil, die Dichte von Alten- und Pflegeheimplätzen der Gemeinden, sowie die Möglichkeit zur Beantragung von Schallschutzmaßnahmen beim Flughafen Köln-Bonn kontrolliert. Es wurden die Routinedaten der Krankenkassen für die Medikamentenverordnung, die abgerechneten Behandlungskosten für ein breites Krankheitsspektrum sowie

in einer gesundheitsökonomischen Abschätzung die durch Fluglärm verursachten Krankheitskosten ausgewertet.

Arzneimittelverordnungen: Die Studie Greiser et al. (2006) zeigt konsistente Assoziationen zwischen Arzneimittelverordnungen für Medikamente, deren Verordnung bei jenen Krankheiten und Beschwerden erfolgt, die im Zusammenhang mit Lärmbelastungen diskutiert werden. Dies gilt insbesondere für die Medikamentengruppen Antihypertensiva und Cardiacia, die zur Behandlung von hohem Blutdruck und Herzkrankheiten verordnet werden. Zumindest bei Frauen gilt dies auch für Tranquilizer/Sedativa/Hypnotika und Antidepressiva. Es zeigen sich überwiegend stärkere Assoziationen bei höheren Fluglärmexpositionen. Vergleicht man die Ergebnisse nach Zeitscheiben, dann sind die Assoziationen mit der Arzneimittelverordnung für Nachtlärm deutlich klarer als für Taglärm. Als Limitation ist anzuführen, dass in der Regel nicht die höchste Lärmkategorie, sondern die zweithöchste die stärksten Assoziationen ergibt. Die Studienplanung und -durchführung sind positiv zu bewerten, die statistische Auswertung ist von eingeschränkter Qualität, da das gewählte Analyseverfahren anfällig für statistische Artefakte ist.

Kardiovaskuläre und psychische Erkrankungen: In Greiser (2009) wird der Zusammenhang zwischen Fluglärm und kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen untersucht. Zur Analyse der gesundheitlichen Auswirkungen wurden die Diagnose-Codes von sämtlichen stationären Krankenhausbehandlungen der Versicherten extrahiert und zu Krankheitsgruppen zusammengefasst. Als Fälle werden dabei diejenigen Versicherten definiert, die wegen der zu analysierenden Erkrankung stationär behandelt worden waren. Als Kontrollen wurden diejenigen Versicherten definiert, bei denen die entsprechenden Diagnosen während des Krankenhausaufenthaltes nicht gestellt worden waren beziehungsweise die überhaupt nicht stationär behandelt worden waren. Insgesamt wird ein konsistenter Zusammenhang zwischen der Fluglärmexposition und der stationären Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen gefunden. Die Ergebnisse stützen entsprechende Ergebnisse aus der Medikamentenstudie. Im Gegensatz dazu liefert die Studie für psychische Erkrankungen keine eindeutigen Ergebnisse. Die Studienplanung und -durchführung sind positiv zu bewerten, die statistische Auswertung ist von eingeschränkter Qualität.

Krebs: In der Studie Greiser (2009) zum Zusammenhang zwischen Fluglärm und Krebs wurde ein Ansatz analog zu den Studien zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen gewählt. Zur Analyse der gesundheitlichen Auswirkungen wurden auch hier die Diagnose-Codes von sämtlichen stationären Krankenhausbehandlungen der Versicherten extrahiert und zu Krankheitsgruppen zusammengefasst. Es ist allerdings bezüglich Krebserkrankungen methodisch bedenklich, dass eine Mischung aus Prävalenz- und Inzidenzdaten analysiert wurde. Ferner ist auffällig, dass selektiv nur zwei Krankheitsgruppen analysiert wurden (Brustkrebs sowie Leukämien und

Lymphome), für die von den Autoren Zusammenhänge mit der Fluglärmbelastung berichtet wurden. Insgesamt ergibt die Studie aus methodischen Gründen keine Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Fluglärm und Krebserkrankungen, auch nicht zu den genannten Krebsformen

Krankheitskosten: In Greiser (2013) wurden die Krankheitskosten durch nächtlichen Fluglärm abgeschätzt. Hierbei wurden kardiovaskuläre und psychische Erkrankungen, Diabetes und Krebs betrachtet. Zunächst wurde eine Prognose der Krankheitsentwicklung in der betroffenen Bevölkerung vorgenommen. Die dem Fluglärm zuzuschreibenden Kostenanteile wurden dann unter Berücksichtigung der geschätzten Teuerungsrate fortgeschrieben. Bestenfalls für Herz-Kreislauf-Erkrankungen liegen aber einigermaßen verlässliche Expositions-Wirkungs-Beziehungen zur Fluglärmbelastung vor, für alle übrigen Erkrankungen sind die Zusammenhänge nicht ausreichend belegt. Die Hochrechnung auf die exponierte Bevölkerung ist mit weiteren Unsicherheiten verbunden, ebenso wie die Verwendung von Krankheitsdaten aus anderen Ländern. Insgesamt ist die Studie als nicht belastbar anzusehen.

Gesamtbewertung: Die Greiser-Studien verwenden einen sehr großen Datensatz von medizinischen Routinedaten, die den Vorteil haben, nicht durch subjektive Angaben oder Einschätzungen beeinflusst zu sein. Es liegen aber keine Informationen über individuelle Confounder vor, so dass nur eingeschränkte Möglichkeiten bestehen, diese Einflüsse durch Adjustierung adäquat zu berücksichtigen. Ferner erfolgte keine Publikation der Ergebnisse in internationalen Zeitschriften mit stringentem peer review. Insgesamt zeigen die Greiser-Studien zum Fluglärm am Flughafen Köln-Bonn Hinweise auf einen Zusammenhang mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen und der Verordnung von Medikamenten, die zur Behandlung dieser Krankheiten eingesetzt werden. Die Arbeiten weisen Unklarheiten in der statistischen Methodik aus, die ihre Aussagekraft zusätzlich einschränken. Die Ableitung von Wirkungsschwellen ist nicht möglich. Aussagen zu anderen Krankheitsgruppen, insbesondere Krebs, sowie zu gesundheitsökonomischen Folgen des Fluglärms sind nicht belastbar.

A2.5 Flughafen Frankfurt

Studien des Regionalen Dialogforums Frankfurt Flughafen

Die Studien, die im Rahmen des Regionalen Dialogforums durchgeführt wurden, hatten das Ziel, vor dem geplanten Ausbau des Flughafens Frankfurt die Lärmbelastung sowie die Wohn-, Umwelt- und Lebensqualität bei Anwohnern des Rhein-Main-Gebiets in Abhängigkeit von der Exposition gegenüber Fluglärm zu untersuchen. Es ist zu beachten, dass sämtliche erhobenen Belästigungs- und Gesundheitsdaten von den Anwohnern im Umfeld des Flughafens erfragt wurden und somit die subjektiv empfundene Gesundheit der Befragten widerspiegeln.

Belästigung: Kernstück ist das Gutachten Schreckenber, Meis (2006). Ein zentrales Ergebnis der Befragung zur Lärmbelästigung ist, dass die Bewohner des Rhein-Main-Gebiets durch Fluglärm stärker als der Durchschnitt der Bewohner in Hessen und auch in der gesamten Bundesrepublik gestört und belästigt sind. Es bestehen Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen dem Pegel und verschiedenen Beurteilungen der Lärmbelästigung. Als belästigend werden insbesondere Aktivitätenstörungen im Außenbereich, Angst vor vermeintlichen Gesundheitsschäden durch Kerosin und Bedrohungsgefühle durch geringe Überflughöhen empfunden. Beim Beschwerdedruck und bei der berichteten Erschöpfung fühlen sich diejenigen Anwohner besonders beeinträchtigt, die eine Verschlechterung ihrer Situation nach dem Flughafenausbau erwarten. Die abendlichen Randstunden sind für die Fluglärmelastigung besonders relevant. Eine morgendlich erhöhte Belastigung besteht vor allem bei hohen Fluglärmpegeln. Landungen führen zu einer größeren Lästigkeit als Starts.

Die Ergebnisse der vertieften Re-Analyse der Daten des Gutachtens (Schreckenber et al. 2010) zeigen, dass neben den stündlichen Lärmpegeln die Zahl der Überflüge, flugbetriebliche Faktoren (Starts und Landungen) und innere Einstellungen (Erwartungen hinsichtlich des weiteren Flughafenausbaus, flugverkehrsbezogene Ängste und Vertrauen in die verantwortlichen Institutionen) einen Einfluss auf die stündliche Belastigung haben. Die stündlichen Fluglärmelastigungen in Kombination mit der Betrachtung von Aktivitäten erwiesen sich als valide Indikatoren der Langzeitbelastigung und Aktivitätsstörungen durch Fluglärm. Auch hier weisen die Aussagen zur Kurzzeitbelastigung eine gute Evidenz auf, für die Langzeitbelastigung liegt eine eingeschränkte Evidenz vor.

Lebensqualität: Die Auswertung Schreckenber et al. (2010) zur Lebensqualität in der Umgebung des Frankfurter Flughafens versucht eine Abgrenzung der Auswirkungen von Fluglärm und anderen Lärmquellen. Sie brachte jedoch keine klaren Ergebnisse und ist von eingeschränkter Aussagekraft.

Lärmempfindlichkeit: Die Untersuchung Schreckenber, Schümer (2010) der Lärmempfindlichkeit und der allgemeinen Umweltempfindlichkeit der Anwohner war ebenfalls von eingeschränkter Aussagekraft.

Schallschutz: Die Telefonbefragung Schreckenber (2010) zur Akzeptanz und Nutzung passiver Schallschutzvorrichtungen ergab, dass nicht alle Befragten das Angebot zur Finanzierung von passiven Schallschutzmaßnahmen durch den Flughafenbetreiber in Anspruch nehmen. Wenn entsprechende Einrichtungen im Haus vorhanden sind, werden sie nicht immer im Sinne einer optimalen Geräuschdämmung verwendet. Bei – aus akustischer Sicht – adäquater Nutzung der passiven Schallschutzeinrichtung im Schlafzimmer („Fenster zu, Lüfter an“) wird das Raumklima oft als unangenehm wahrgenommen. Nach Auffassung des Autors spricht viel dafür, dass passive Lärmschutzmaßnahmen in der Wohnung aktive Lärminderungsmaßnahmen an der Quelle nicht ersetzen können.

Gesamtbewertung: Insgesamt ergeben die Studien des regionalen Dialogforums Hinweise auf expositionsabhängige Fluglärmbelastigungen. Die Möglichkeit zur Adjustierung für individuelle Confounder ist als Stärke hervorzuheben.

NORAH-Studie („Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health“)

Die folgenden Zitate stammen aus der Veröffentlichung NORAH Wissen Nr. 14 (2015) http://www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/NORAH_Wissen_Nr-14.PDF

Die NORAH-Studie untersuchte die langfristigen Wirkungen von Verkehrslärm auf Gesundheit, Lebensqualität und die kindliche Entwicklung im Rhein-Main-Gebiet. Initiator der Studie war das Forum Flughafen und Region (FFR). Ein externer Wissenschaftlicher Beirat Qualitätssicherung (WBQ) beriet die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Beginn an. Das unterscheidet NORAH von ähnlichen Vorgängerstudien. Die Studie widmete sich einigen der aktuellsten Fragen, die die internationale Lärmwirkungsforschung derzeit beschäftigt. Dabei berücksichtigte sie mehr Untersuchungsaspekte als frühere Studien. Um mehr darüber zu erfahren, wie der Mensch auf Verkehrslärm reagiert, haben die NORAH-Wissenschaftler unter anderem die Krankheitsgeschichten von rund einer Million Menschen einbezogen und die Lärmbelastung an etwa 900.000 Adressen im Rhein-Main-Gebiet berechnet.

Ziel der NORAH-Studie

Ziel der NORAH-Studie war es, die Auswirkungen von Verkehrslärm auf Anwohnerinnen und Anwohner in der Rhein-Main-Region zu erfassen. Insbesondere sollte sie die im Raum Frankfurt seit Langem geführte Diskussion über Fluglärmwirkungen auf eine objektive und wissenschaftliche Grundlage stellen.

Fragestellungen der NORAH-Studie

Belästigungs- und Lebensqualitätsstudie

Wie stark fühlen sich Anwohnerinnen und Anwohner vom Verkehrslärm belästigt? Welche Auswirkungen hat er auf die Lebensqualität? Welche Art von Lärm stört am meisten: Straßen-, Schienen- oder Luftverkehrslärm? Wie verändert sich das Belästigungsempfinden, wenn Fluglärm durch Änderungen des Flugbetriebs zu- oder abnimmt? Und reagieren die Menschen im Raum Frankfurt gleich oder anders auf Lärm als beispielsweise die Anwohner der Flughäfen Köln/Bonn oder Stuttgart? Neben der Beantwortung dieser und einiger weiterer Fragen sollte die Belästigungsstudie sogenannte Belästigungskurven aktualisieren. Aus diesen lässt sich der Grad der Belästigung in Abhängigkeit von der Lärmbelastung ablesen. Sie spielen in der Entscheidung über Lärmschutzmaßnahmen eine wichtige Rolle.

Studie zu Krankheitsrisiken

Wie stark wirkt sich chronischer Verkehrslärm auf die Gesundheit der erwachsenen Bewohnerinnen und Bewohner des Rhein-Main-Gebiets aus? Im Mittelpunkt standen dabei verschiedene Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Depression und Brustkrebs bei Frauen. Für diese sollte NORAH möglichst genau den Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Krankheitsrisiko ermitteln, und zwar in Form sogenannter Expositions-Risiko-Beziehungen.

Schlafstudie

Die Schlafstudie sollte zum einen prüfen, wie sich die Einführung der Kernruhezeit zwischen 23 und 5 Uhr im Jahr 2011 auf den Schlaf der Anwohner des Frankfurter Flughafens ausgewirkt hat. Zum anderen sollte sie untersuchen, ob sich die Ergebnisse von Schlafstudien am Flughafen Köln/Bonn aus dem Jahr 2001/2002, die derzeit für den Frankfurter Nachtindex verwendet werden, von den jetzigen Ergebnissen im Raum Frankfurt unterscheiden.

Blutdruckstudie

Lärm kann Stress erzeugen, Stress erhöht kurzfristig den Blutdruck – so ist die Ausgangsthese der Studie. Doch wie reagiert der Blutdruck auf chronischen Verkehrslärm? Lassen sich bei Anwohnerinnen und Anwohnern des Frankfurter Flughafens Effekte messen, die nicht durch typische Risikofaktoren wie beispielsweise Alter, Rauchen oder Übergewicht zu erklären sind, sondern mit dem Lärmpegel zusammenhängen?

Kinderstudie

Lernen Grundschul Kinder langsamer lesen, wenn sie in stark mit Fluglärm belasteten Regionen zur Schule gehen oder wohnen? Wie wirkt sich der Lärm auf ihre Lebensqualität aus? Auch hier sollten sogenannte Expositions-Wirkungs-Kurven ermittelt werden – in diesem Fall für Kinder.

Die wichtigsten Ergebnisse für den Fluglärm

Belästigungs- und Lebensqualitätsstudie (Schreckenber, 2015):

Die durchschnittliche subjektive Störung und Belästigung durch Fluglärm liegt deutlich höher als in einer früheren Studie am Flughafen Frankfurt von 2005, und auch höher als in der EU-Expositions-Wirkungskurve für Belästigung angegeben. Dies ist bemerkenswert, da der Fluglärm in weiten Bereichen der Umgebung des Flughafens nicht zugenommen, zum Teil sogar abgenommen hat. Offenbar wird das Belästigungsempfinden also stark von anderen Faktoren als der Fluglärmbelastung beeinflusst. Die Längsschnittvergleiche zeigen, dass die subjektive Belästigung in Bereichen mit einem Anstieg von Fluglärm mehr zugenommen hat als in Bereichen, in denen die Fluglärmexposition abgenommen hat. Die Belästigung wurde durch eine methodisch gut angelegte Befragung erfasst. Eine Verzerrung der Ergebnisse durch Auswahl beziehungsweise Beteiligung der Befragten ist denkbar, erscheint aber nicht wesentlich anders als in ähnlichen anderen Befragungen.

Studie zu Krankheitsrisiken (Seidler, 2015):

Herzinfarkte (*zusätzlich*: Seidler, 2016): Keine erkennbare Expositions-Wirkungs-Beziehung, erhöhte Risiken sind beschränkt auf die höchste Expositions-kategorie ≥ 60 dB (1,42; n.s.). Tendenziell höhere Risiken werden für die Subgruppe der mindestens 60-Jährigen (≥ 60 dB OR = 1,33; n.s.) und insbesondere für die Subgruppe der Patienten mit tödlich verlaufenden Herzinfarkten beobachtet (≥ 60 dB OR = 2,70; 95 % KI 1,08–6,74).

Schlaganfälle: Keine erkennbare Expositions-Wirkungs-Beziehung. Risiken beschränkt auf höchste Expositions-kategorie (≥ 60 dB; OR = 1,62; n.s.). Keine höheren Risiken für mindestens 60-Jährige und für die Sub-gruppe der tödlich verlaufenden Schlaganfälle.

Herzinsuffizienzen: Keine ganz klare Expositions-Wirkungs-Beziehung, aber der Risikoschätzer bei kontinuierlicher Expositionsvariablen ist statistisch signifikant erhöht (OR = 1,016; $p = 0,020$). Risiken sind statistisch signifikant in den mittleren Expositions-kategorien (< 40 dB, $\max \geq 50$, ≥ 45 –50 dB). Die Risikoschätzer für die Subgruppe der mindestens 60-Jährigen sind gegenüber den unter 60-Jährigen nicht erhöht. Die Risiken für die Subgruppe der tödlich verlaufenden Herzinsuffizienzen sind höher als für die Gesamtgruppe (OR für kontinuierliche Variable = 1,031;

Episoden der **unipolaren Depression**: Der Risikoschätzer für die kontinuierliche Expositionsvariable ist statistisch signifikant erhöht (OR = 1,089; $p < 0,001$), die Risikoschätzer über ansteigende Pegelkategorien zeigen aber keine lineare

Expositions-Wirkungs-Beziehung, sondern einen umgekehrt „U“-förmigen Verlauf. Die höchsten Risiken werden für mittlere Lärmkategorien beobachtet (statistisch signifikante Risikoschätzer für alle Pegelklassen zwischen $\geq 40 - < 55$ dB). Die Risiken sind tendenziell höher für unter 60-Jährige (statistisch signifikant im Bereich $\geq 40 - < 55$ dB). Die Risiken sind nicht höher in der gesetzlichen Nacht (22 bis 6 Uhr).

Brustkrebs bei Frauen: Hier besteht keine klare Expositions-Wirkungs-Beziehung, der Schätzer für die lineare Expositionsvariable ist nicht erhöht. Das Risiko in der höchsten Expositions-kategorie (≥ 60 dB) ist nicht statistisch signifikant erhöht – der Schätzer beruht in dieser Kategorie allerdings auf nur zwei exponierten Fällen und 100 exponierten Kontrollen (OR = 1,45; n.s.). Keine höheren Risiken werden für die Subgruppe der mindestens 60-Jährigen beobachtet.

Eine tendenzielle Expositions-Wirkungs-Beziehung und höhere Risiken ab $\geq 50-55$ dB zeigen sich in der gesetzlichen Nacht von 22 bis 6 Uhr (z. B. $\geq 55 - < 60$ dB OR = 1,29; n.s.) und im Zeitraum von 23 bis 5 Uhr (oberste Kategorie $\geq 55 - < 60$ dB OR=2,98; 95 % KI 1,31–6,79). Die Risikoschätzer für Fluglärm sind tendenziell höher als für Straßen- und Schienenverkehrslärm.

Schlafstudie (Müller, 2015)

Auf sogenannte Frühschläfer (22:00 Uhr bis 6:30 Uhr) hatte die Einführung der Kernruhezeit am Frankfurter Flughafen einen positiven Effekt, die Aufwachhäufigkeit wurde geringer. Personen, die dem Flughafen und den Änderungen des Flugbetriebes eher positiv gegenüberstehen, reagierten weniger stark auf den Fluglärm. Insgesamt war der Zusammenhang zwischen Aufwachwahrscheinlichkeit und dem nächtlichen Fluglärm früheren Beobachtungen um den Flughafen Köln sehr ähnlich..

Blutdruckstudie (Eikmann, 2015)

Die Stärke des Zusammenhanges zwischen **Blutdruck** und nächtlichem Lärm wurde bei gesunden Personen ohne Bluthochdruck untersucht. Insgesamt gesehen zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang. Der systolische Blutdruck ist im Mittel um 1,2 mmHg höher pro 10 dB(A) höherem Fluglärm in der Nacht. Dieser niedrige Effekt entspricht den Beobachtungen aus den wenigen anderen Studien, die den Zusammenhang zwischen Blutdruck und Lärm untersuchen.

Kinderstudie (Klatte, 2014)

Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Effekt der Fluglärmexposition auf das Leseverständnis der Kinder. Pro 20 dB(A) Erhöhung des Fluglärmpegels verringerte sich die Leseleistung um 1/5 Standardabweichung, was bei dem verwendeten Test einem Entwicklungsrückstand in der Lesekompetenz von zwei Monaten entspricht. Dies wird von den Autoren der Studie als ein kleiner Effekt bezeichnet, wenn man ihn mit dem Effekt anderer Faktoren auf die Leseleistung vergleicht: Kinder, die viele Bücher besitzen, sind in ihrer Leseleistung den Kindern, die keine Bücher besitzen, um

4 Monate voraus. Ein Unterschied von 5,5 Monaten besteht in der Leseentwicklung zwischen Kindern, die über schwache und solchen, die über gute Deutschkenntnisse verfügen.

Insgesamt:

Die NORAH-Studie ist methodisch überwiegend sehr gut angelegt, und ihre Ergebnisse bestätigen im Wesentlichen die Effekte, die auch in anderen Lärmwirkungsstudien im nationalen und internationalen Kontext gefunden wurden.

Greiser-Studie zum Fluglärm am Flughafen Frankfurt/Main

Ziel der Arbeit Greiser, Glaeske (2013) ist eine Prognose über die Entwicklung von **Krankheitskosten** in Abhängigkeit von nächtlichem Fluglärm für das Umfeld des Flughafens Frankfurt. Die Prognose basiert auf Risikoeffizienten, die im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn gewonnen worden waren und für die Umgebung des Frankfurter Flughafens unverändert übernommen wurden. Ebenso wie bei der Studie zu Krankheitskosten durch den Flughafen Köln-Bonn (Greiser, 2013) wurden auch in dieser Studie auf der Grundlage unzureichender Daten Erkrankungsfälle und Todesfälle berechnet und anteilig dem Fluglärm zugeordnet. Insgesamt ist auch diese Studie als nicht belastbar anzusehen

Münzel-Studien (Mainz) zum Fluglärm

Im Uniklinikum Mainz wurden die Auswirkungen von Fluglärm auf Patienten mit **Herz-Kreislauf-Erkrankungen** untersucht (Schmidt et al., 2013, 2014). Diese Untersuchungen fanden zwar in der Einflugschneise des Frankfurter Flughafens statt, es wurden aber nicht die Auswirkungen von tatsächlichem Fluglärm, sondern von eingespielten Fluglärmufnahmen untersucht, die keinen direkten Bezug zu den realen derzeitigen Fluglärmexpositionen in Mainz haben. Deshalb ist eine unmittelbare Aussage zu den Auswirkungen des Fluglärms des Frankfurter Flughafens aus diesen Untersuchungen nicht ableitbar.

A2.6 Flughafen München

Münchener Flughafenstudie

Ziel der Münchener Flughafenstudie war die Untersuchung möglicher Beeinträchtigungen von Kindern durch Fluglärm anhand der Verlagerung des Flughafens München von Riem ins Erdinger Moos. Das Konzept ist in Bullinger et al. (1999) dargestellt. Mehr als 300 Kinder in der Umgebung des alten und neuen Münchener Flughafens wurden bis zu dreimal untersucht. Die Studie begann sechs Monate vor dem Umzug des Flughafens im Jahr 1992. Weitere Untersuchungen fanden ein und zwei Jahre nach dem Umzug statt. Es wurden vier nach Sozialstatus gematchte Gruppen gebildet, und zwar um jeden Flughafen eine belastete und

eine unbelastete Gruppe. Nach Schließung von Riem ging dort die Exposition der belasteten Gruppe von 68 auf 54 dB(A) zurück. Nach Öffnung des neuen Flughafens änderte sich hier die Exposition in der belasteten Gruppe von 53 nach 62 dB(A). Die Exposition der Kontrollgruppen blieb unverändert, allerdings blieb auch deren Leseleistung ziemlich konstant, obwohl eine Verbesserung über die Zeit (durch längeren Schulbesuch) zu erwarten gewesen wäre. Eine plausible Erklärung dieser Beobachtung bleibt die Veröffentlichung schuldig. Es wurden psychologische Beeinträchtigungen, Stressreaktionen und Belästigungen untersucht.

Subjektive Gesundheit: In einer ersten Teilstudie zu erlebter Umwelt und subjektiver Gesundheit (Bullinger, 1997) wurden Kinder und ihre Mütter befragt: Vor dem Umzug des Flughafens wurde am alten Standort eine eingeschränkte subjektive Gesundheit aufgrund belastender Umweltbedingungen berichtet; Belastungen des Alltagslebens hatten aber einen höheren Einfluss. Die Aussagekraft dieser Telefonbefragung ist eingeschränkt. Sie wurde nach dem Umzug des Flughafens nicht wiederholt, erlaubt also keine Aussage zur subjektiven Gesundheit nach Änderung der Fluglärmexposition.

Kognitive Beeinträchtigungen. Die wichtigsten Ergebnisse zu kognitiven Beeinträchtigungen sind in Evans et al. (2002) dargestellt. Es zeigen sich prospektive Effekte von Fluglärm auf Leseverständnis und Langzeitgedächtnis. Die Einflüsse auf das Leseverständnis sind am klarsten: Die zunächst starken Unterschiede in der Fehlerhäufigkeit beim Lesen von schwierigen Wortlisten in der Umgebung des alten Flughafens sind ein Jahr nach der Schließung nicht mehr messbar. Die Effekte sind also offenbar reversibel. Am neuen Flughafen war dies umgekehrt: Die Gruppe, die nach der Öffnung des neuen Flughafens lärmexponiert war, zeigte im Vergleich zur nicht lärmexponierten Gruppe zunehmend schlechtere Leseleistungen. Bei den Gedächtnis- und Aufmerksamkeitstests traten solche klaren Zusammenhänge nicht auf. Die Studie ist von großer Aussagekraft, da sie ein natürliches Experiment benutzt, um Effekte auf die Kognition festzustellen. Sie zeigt einen klaren Einfluss von Lärm auf das Leseverständnis, den man als kausal ansehen kann.

Stress: Die wichtigsten Ergebnisse zu physiologischen Stressreaktionen sind in Evans et al. (1998) dargestellt. Bei Kindern aus der Umgebung des neuen Flughafens und einer Kontrollregion wurden vor und nach dem Umzug des Flughafens in einem mobilen Labor Blut und Urin gewonnen und der Blutdruck gemessen. Gleichzeitig wurde der 24 h-Lärmpegel gemessen. Der systolische und diastolische Blutdruck stiegen in der exponierten Gruppe nach Eröffnung des Flughafens an. Dieser Anstieg ist aber allein auf unterdurchschnittliche Werte vor der Eröffnung zurückzuführen, wie der Vergleich mit der Kontrollgruppe zeigt. Für die Stresshormone Epinephrin, Norepinephrin und Cortisol zeigten sich nach Eröffnung des Flughafens erhöhte Konzentrationen bei den belasteten Kindern im Vergleich zu den Kontrollkindern. Die

Ergebnisse nach dem Umzug sind weniger klar als der Querschnittsvergleich vor dem Umzug. Die Studie ist als gut einzustufen, die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse enthält jedoch auch Schwächen.

Gesamtbewertung: Insgesamt zeigt die Münchner Flughafenstudie klare Einflüsse des Fluglärms auf das Leseverständnis und das Langzeitgedächtnis sowie Hinweise auf Stressreaktionen bei Kindern. Aussagen zu Expositions-Wirkungs-Beziehungen und zu Wirkungsschwellen sind nicht möglich.

A2.7 Fluglärm Deutschland

Von Laußmann et al. (2013) wurde im Rahmen der Gesundheitsbefragung DEGS1 des Robert Koch-Instituts an rund 7500 Erwachsenen (18 bis 79 Jahre) untersucht, ob es eine sozial ungleiche Verteilung von Lärm und anderen Umweltbelastungen in Deutschland gibt. Es wurden Gewichtungsfaktoren verwendet, um Abweichungen von der Bevölkerungsstruktur Deutschlands zu korrigieren. Im Vergleich mit den anderen betrachteten Umweltfaktoren (Straßenverkehrslärm, Nachbarschaftslärm, Straßenverkehrsbelastung) ist beim Fluglärm die Stärke der **Belästigung** am schwächsten mit dem Sozialstatus und anderen soziodemographischen Parametern assoziiert. Die Angabe starker bis sehr starker Belästigung durch Fluglärm ist positiv mit dem Alter korreliert, was darauf zurückzuführen sein dürfte, dass ältere Personen sich länger zu Hause aufhalten. Die Hauptbelästigungszeiten durch Fluglärm liegen in den frühen Nachmittags- und Abendstunden. Insgesamt sind Umweltbelastungen in Deutschland sozial ungleich verteilt. Von höheren Belastungen sind vor allem einkommensschwache Personen betroffen. Das gilt aber für den Fluglärm nur sehr eingeschränkt – hier spielen soziale Unterschiede keine ausgeprägte Rolle. Die Studie wurde methodisch sauber durchgeführt. Es ist zu beachten, dass nur ein kleiner Teil der befragten Personen in Flughafennähe wohnte, so dass eine Verallgemeinerung der Ergebnisse auf Anwohner von Flughäfen nicht möglich ist. Quantitative Aussagen zu Fluglärmpegeln wurden nicht gemacht. Die Ableitung von Wirkungsschwellen ist nicht möglich.

Impressum

Herausgeber:

Charité Universitätsmedizin Berlin
Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum
Prof. Dr. Thomas Penzel
Charitéplatz 1
10117 Berlin

Kontakt:

Prof. Dr. Thomas Penzel
Tel. 030-450513022

Projektleitung:

Prof. Dr. Thomas Penzel

Gestaltung/Layout und Grafik:

Dmitry Zhukov

Druck:

Pinguin Druck GmbH
Marienburger Str. 16
10405 Berlin
Tel: +49 (0)30 4432 4050
E-Mail: service@pinguin.de

Bildnachweis:

Die Abbildungen stammen aus den jeweils in den Legenden angegebenen Quellen.



<https://schlafmedizin.charite.de/forschung/publikationen/>

Version 1.1, 09.02.2018

Zum besseren Verständnis wurden folgende Präzisierungen vorgenommen: In Abb. 3 wurde die Pegelhäufigkeit für Landeanflüge ergänzt. In Abb. 7 wurden die fehlende Beschriftung der y-Achse ergänzt und die Quellenangabe vervollständigt. In Abb. 9 wurde die Quellenangabe ergänzt. In Abb. 12 wurden die Überschrift und Legende präzisiert. Auf Seite 53, letzter Absatz, wurde der Text geändert („lärnexponiert“ durch „in einem Gebiet mit Lärmbelastung der höchsten Kategorie“ ersetzt).

Die Autoren bedanken sich für diese Hinweise eines aufmerksamen Lesers.

Berlin, 09. Februar 2018

