Somnologie 2017 · 21:128–133
 DOI 10.1007/s11818-017-0110-z
 Eingegangen: 24. Januar 2017
 Angenommen: 4. April 2017
 Online publiziert: 26. April 2017
 © The Author(s) 2017. Dieser Artikel ist eine
 Open-Access-Publikation.

Thomas Penzel · Martin Glos · Maria Renelt · Sandra Zimmermann

Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Deutschland

Auswirkungen von Fluglärm auf Schlaf und andere Schutzgüter

Eine Übersicht unter Berücksichtigung der NORAH-Studie

Einleitung

Die zunehmende Mobilität unserer westlichen Gesellschaft bedeutet eine Zunahme des Verkehrs auf Straßen, Schienen und in der Luft. Die Zunahme des Verkehrs hat unerwünschte Nebenwirkungen, die wir minimieren wollen. Von den Nebenwirkungen sind Nutzer des Verkehrs nicht gleichermaßen betroffen, und dies führt zu nachvollziehbaren Belastungsreaktionen. Hier werden der Verkehrslärm und seine Wirkung auf Anwohner untersucht. Die Lärmwirkungsforschung befasst sich der Wirkung des Verkehrslärms auf Anwohner. Sie untersucht physische und physiologische Reaktionen auf Lärm, medizinische Folgen und psychische Konsequenzen wie das Empfinden von Belästigung. Seit den 1950er Jahren, mit dem Ausbau großer Verkehrswege von Straße, Schiene und Luftverkehr, wurden zahlreiche kleine und große Studien zur Lärmwirkung durchgeführt. Die Studien fokussieren häufig auf direkte und indirekte akustische sowie stressinduzierte Effekte. Im Zentrum des Interesses stehen die berichtete Belästigung sowie Auswirkungen auf das kardiovaskuläre System und auf den Schlaf. Es werden akute Effekte sowie Langzeiteffekte untersucht [14, 15]. Zusätzlich werden mehr indirekte Krankheitsindikatoren wie Medikamentenverbrauch und Inanspruchnahme des Gesundheitssystems erfasst [11, 13]. In

den letzten 20 Jahren wurden mehrere multinationale Projekte zu Verkehrslärm durchgeführt [7, 9, 16]. Basierend auf den Studienergebnissen wurden Gesetze erlassen, die für einen umfassenden Lärmschutz von Anwohnern sorgen, beispielsweise das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (Fluglärmschutzgesetz) aus 2007 [10].

In den letzten Jahren wurde besonders auf eine Zunahme des Fluglärms geachtet, da im Vergleich der Verkehrsträger gerade der Flugverkehr stark zunimmt und einige Flughäfen aus- und umgebaut werden, um den Bedarf nach steigender Mobilität zu decken. In der Summe der Auswirkungen sind vom Fluglärm im Vergleich zu Straße und Schiene deutlich weniger Menschen betroffen. Da aber der Fluglärm eigene Charakteristika hat – so kommt der Lärm überwiegend von oben –, fühlen sich Anwohner anders belästigt und beeinträchtigt. Lärmmedizinische Studien zu den Folgen von Fluglärm sind von hohem Interesse für die betroffenen Anwohner wie auch für die Verursacher von Fluglärm, wie Flughäfen, Luftfahrtgesellschaften und Flugzeugindustrie. Aktuell sind die Ergebnisse auch von Bedeutung für den Gesetzgeber, der Gesetze zum Schutz vor Lärm sachkundig begründet erlassen und gegebenenfalls überprüfen muss. Für den Schutz vor Fluglärm gilt in Deutschland seit 2007 das Fluglärmschutzgesetz, welches in Bezug auf Neu- und Ausbauflyhähfen mit Auslösewerten für den Tag eine Schutzzone 1 ($L_{Aeq} = 60 \text{ dB(A)}$ außen) und Schutzzone 2 ($L_{Aeq} = 55 \text{ dB(A)}$ außen) definiert und weiterhin eine Nachtschutzzone ($L_{Aeq} = 50 \text{ dB(A)}$ und L_{Amax}

$6 \cdot 68 \text{ dB(A)}$ außen) [10]. Die Werte werden mit Mittelungspegeln der Schalldrucke in dB(A) angegeben. Wie in der Gesetzesspezifikation angegeben, gelten für den Nachtzeitraum zusätzlich Maximalpegelhäufigkeiten. Die im Fluglärmschutzgesetz genannten Lärmwerte berücksichtigen das Ergebnis einer Synopse zur Fluglärmwirkung von 2002 [12] und viele weitere Studien und Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung.

Die Lärmwirkungsforschung zu Fluglärm stützt sich auf zahlreiche internationale und nationale Studien, unter anderem auch auf eine Studienübersicht der WHO, die Ergebnisse aus vielen Ländern zusammenführt [26, 27]. Eine der aktuellen großen Feldstudien zu Fluglärm in Deutschland ist NORAH (Noise-Related Annoyance, Cognition and Health) mit einer Befragung im Umfeld der Flughäfen Köln, Stuttgart, Berlin-Schönefeld und Frankfurt und einer aufwendigen Untersuchungsserie bei Anwohnern am Flughafen Frankfurt. Die Ergebnisberichte sind über ein Internetportal zugänglich (www.laermstudie.de). Eine Veröffentlichung in wissenschaftlichen Zeitschriften ist teilweise bereits erfolgt, z. B. bei Seidler et al. [23], [24].

Die NORAH-Studie und zahlreiche ältere Studien befassen sich mit verschiedenen Aspekten der Lärmwirkung, die hier im Überblick dargestellt werden [18]. Ein besonderer Fokus liegt auf den Wirkungen des Fluglärms auf den Schlaf [19].

Der Artikel basiert auf einem Vortrag von T. Penzel, der am Flughafen Frankfurt am Main anlässlich des Branchentreffs „Luftverkehr und Recht“ am 08.12.2015 gehalten wurde.

Methoden

Für die vorliegende Übersicht zur medizinischen und physiologischen Lärmwirkung wurde eine Recherche aus dem Jahr 2014 in den medizinischen Literaturdatenbanken PubMed und Medline herangezogen und für diese Übersicht aktualisiert. In der früheren Recherche war nach Studien und Übersichten zum Thema Fluglärm zwischen 1990 und 2014 gesucht worden. Die Aktualisierung umfasst Publikationen bis 2015, damit sind die Ergebnisse der NORAH-Studie, die 2015 als Berichte im Internet veröffentlicht wurden, ebenfalls einbezogen.

Methodik von Studien zur Lärmwirkungsforschung

Experimentelle Studien eignen sich besonders gut, um unter gut kontrollierten Bedingungen die Wirkung einer Größe zu untersuchen. In diesem Sinne gibt es zahlreiche experimentelle Studien, bei denen Probanden definiertem Fluglärm ausgesetzt wurden. Besonders zahlreiche experimentelle Studien gibt es zur Wirkung von Fluglärm auf den Schlaf. In diesen Studien wurde auch eine Gewöhnung untersucht, indem Probanden mehrere Nächte hintereinander den Lärmereignissen ausgesetzt wurden [3]. Es wurden Dosis-Wirkungs-Kurven bestimmt, und es wurden quantitativ genau Stressreaktionen in Bezug auf vegetative und biochemische Reaktionen untersucht. Eine Limitation von experimentellen Studien ist die Auswahl der Probanden, denn es werden oft junge gesunde Probanden untersucht, und damit fehlt eine Repräsentativität. Dem stehen Feldstudien gegenüber, bei denen entweder an kleinen Gruppen aufwendige Untersuchungen mit Schlafuntersuchungen und Blutuntersuchungen zuhause oder Befragungen großer Gruppen durchgeführt werden, bei denen an Teilgruppen Untersuchungen z. B. zum Gesundheitszustand und zum Blutdruck vorgenommen werden. Weitere Möglichkeiten sind die Auswertung von Registern wie den Sterberegistern, die Erhebung von Medikamentenverbrauch bei Apotheken oder die Auswertung von Arztbesuchen und Krankenkassendaten.

Große Feldstudien und epidemiologische Übersichten geben Aufschluss über statistische Zusammenhänge und Risiken und lassen weniger eine individuelle Vorhersage zu. Eine Limitation von Feldstudien ist, dass mögliche regionale Besonderheiten (andere Belastungen sozialer Art oder der Umwelt oder der Lebensgewohnheiten), die einen Einfluss haben können, mitunter gar nicht erfasst wurden.

Ergebnisse

Belästigung

Große Aufmerksamkeit erfahren die Zusammenhänge zwischen Fluglärmexposition und Selbstangaben zum Ausmaß der empfundenen Belästigung durch den Fluglärm, die sich in Expositions-Wirkungs-Kurven darstellen lassen. Bereits in den 1970er-Jahren wurde vereinfacht abgeschätzt, dass maximal ein Drittel der Belästigungsreaktion durch die akustischen Faktoren aufgeklärt werden kann. Auf diese hat sich die Forschung lange Zeit konzentriert. Bartels et al. zeigten 2015 in der COSMA-Studie, dass akustische Faktoren nur 13,7 % der Belästigung erklären und die Anzahl der Überflüge wichtiger ist. Ein entsprechend erweitertes Modell erklärte dann 27,6 % der Belästigung [2].

Neuere Expositions-Wirkungs-Beziehungen zeigen höhere Belästigungen bei niedrigeren Pegeln als ältere Studien. Das komplexe und dynamische Beziehungsgeflecht zwischen akustischen und nicht-akustischen Faktoren, wie der Einstellung der betroffenen Personen zur Lärmquelle selbst sowie weiteren Belastungen und Belästigungen, konnte bislang nicht geklärt werden. Es fehlen ein ganzheitlicher Ansatz und ein Modell, welches die Wirkungen von Exposition auf die Belästigung und deren Interaktionen betrachten. Die NORAH-Studie im Umfeld des Frankfurter Flughafens zeigt hier einen ausgeprägten Effekt nichtakustischer Faktoren auf die berichtete Belästigung [21]. Der Zusammenhang zwischen der Lärmbelästigung und Indikatoren des Flugbetriebs selbst (Anzahl an Flugbewegungen, Lärmpegel) ist recht gering ausgeprägt und teilweise auch widersprüch-

lich: Trotz eines Rückgangs der Flugbewegungen ist der Anteil hoch belastigter Personen im Vergleich zu einer Vorläuferbefragung deutlich angestiegen. Insofern bekräftigt die NORAH-Studie den Bedarf nach einem neuen und umfassenden Modell zum Verständnis der Belästigungswirkung.

Herz-Kreislauf-Belastungen

Eine herausragende Frage der Lärmwirkungsforschung sind die Parameter des Herz-Kreislauf Systems. Hier werden in erster Linie Risikofaktoren für die häufigen Erkrankungen untersucht. Im Allgemeinen kann Lärm, und somit auch Verkehrslärm, eine Belastung für das Herz-Kreislauf-System bewirken. In vielen internationalen Studien wurde der Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und – als Marker für Herz-Kreislauf-Erkrankungen – einem erhöhtem Blutdruck untersucht [1, 15]. Es liegen zahlreiche Studien vor, die einen Zusammenhang mit einer statistisch gesicherten Signifikanz nachweisen; dabei waren jedoch häufig nur Subgruppenergebnisse signifikant, z. B. für Männer einer höheren Altersklasse oder für Personen, die über einen viele Jahre andauernden Zeitraum lärmexponiert waren. Ebenso liegen aber auch Studien vor (so die aktuell publizierte NORAH-Studie), die den Zusammenhang nicht statistisch sichern konnten. In der NORAH Studie wurden Probanden mit Bluthochdruck zu Studienbeginn ausgeschlossen, und daher ist die Aussage des nicht statistisch signifikanten Zusammenhangs zu relativieren – sie bezieht sich auf das untersuchte Teilnehmerkollektiv. Die Wirkung auf den Blutdruck ist von der Höhe und Dauer der Lärmexposition abhängig. Die Stärke des Zusammenhangs variiert stark mit dem Studiendesign und der Auswahl der Teilnehmer. Entsprechend bleibt ein breites Konfidenzintervall für eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Lärm und Blutdruckerhöhung bestehen. Dadurch lassen sich die Unterschiede zwischen den Studien erklären.

Die NORAH-Studie hat ein sehr sorgfältiges Studiendesign zur Erfassung des Blutdruckes gewählt [8]. Es wurde mit ei-

nem automatisch messenden Blutdruckgerät zuhause jeweils zur gleichen Tageszeit selbst gemessen, und die Ergebnisse wurden direkt an ein Datenzentrum übermittelt. Die Teilnehmer wurden sehr sorgfältig ausgewählt und Personen mit Bluthochdruck und anderen Herz-Kreislauf-Erkrankungen ausgeschlossen. Dadurch wurde eine mögliche Beeinflussung der Messung durch störende Faktoren sehr niedrig gehalten. Die Ergebnisse der NORAH-Studie im Umland des Flughafens Frankfurt/Main liegen im Bereich der Konfidenzintervalle, die von den früheren Studien bereits angegeben wurden. Insofern stellen die Ergebnisse der NORAH-Studie keinen Widerspruch zu den früheren Studien dar. Konkret wird für die NORAH-Studie kein signifikanter Zusammenhang zwischen einer Fluglärmexposition und dem sorgfältig gemessenen Blutdruck nachgewiesen. Es fand sich in der NORAH-Studie nur ein statistischer Trend bezüglich eines zunehmenden Risikos bei zunehmender Lärmexposition. Unbestritten ist, dass das Ausmaß eines Effekts von der Höhe der Fluglärmbelastung abhängig ist.

Weiterhin belegen die Ergebnisse, dass an verschiedenen Flughäfen unterschiedlich deutliche Zusammenhänge ermittelt wurden. Auch das zeigt wieder die beträchtliche Bandbreite der Ergebnisse auf. Ferner zeigt sich laut einer Studie in stärker durch Fluglärm belasteten Regionen ein etwas erhöhter Gebrauch von Herz-Kreislauf-Medikamenten. Bei sehr starker Fluglärmbelastung werden Herz-Kreislauf-Erkrankungen häufiger diagnostiziert (Wahrscheinlichkeit nimmt um 25 % pro 10 dB(A) zu). Ein Kausalitätsnachweis wurde hier wie auch in anderen Studien mit epidemiologischem Ansatz naturgemäß nicht geführt.

Die Auswertung der sekundärdatenbasierten NORAH-Fallkontrollstudie zeigte im Vergleich der drei Verkehrsträger statistisch signifikante Risikoanstiege bei Straßen- (2,8 % pro 10 dB Pegelanstieg) und Schienenverkehrslärm (2,3 % pro 10 dB Pegelanstieg), nicht jedoch bei Fluglärm [22, 23]. Nur bei Begrenzung der Stichprobe auf die bereits Verstorbenen sind die Risikokennziffern für die Verkehrsträger ähnlich. Hier sehen

Somnologie 2017 · 21:128–133 DOI 10.1007/s11818-017-0110-z
© The Author(s) 2017. Dieser Artikel ist eine Open-Access-Publikation.

T. Penzel · M. Glos · M. Renelt · S. Zimmermann

Auswirkungen von Fluglärm auf Schlaf und andere Schutzgüter . Eine Übersicht unter Berücksichtigung der NORAH-Studie

Zusammenfassung

Extrinsische Einflüsse auf Gesundheit und Schlaf erfahren immer höhere Aufmerksamkeit. Die empfundene Belästigung durch Lärm steigt, und Untersuchungen hierzu versuchen neben dem Aspekt der Belästigung auch quantitativ physiologische Wirkungen zu erfassen. Die Lärmwirkungsforschung befasst sich mit Ursachen und Wirkungen dieser extrinsischen Einflüsse. Fluglärm steht besonders im Fokus, da mit der Zunahme des Flugverkehrs auch Flughäfen ausgebaut werden. Der Fluglärm weist im Vergleich zu anderen Verkehrslärmarten besondere Charakteristika auf. Eine große Studie am Flughafen Frankfurt mit Teilstudien an den Flughäfen Stuttgart und Köln (NORAH Studie) hat bisherige Ergebnisse bestätigen und in einigen Punkten präzisieren können. Die Studie hat ein besonderes Augenmerk auf eine exzellente Erfassung des Blutdrucks und des Schlafes durch häusliche Polysom-

nographie gemäß AASM-Empfehlungen gelegt. Bei der Wirkung auf den Blutdruck zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang, nur Trends im Bereich der Varianz früherer Studien. Für den Schlaf zeigte sich eine Schalldruckpegel-Wirkungsbeziehung für die objektive Aufwachwahrscheinlichkeit. Nach Eröffnung der neuen Landebahn in Frankfurt und Einführung des Nachtflugverbotes nahm die Aufwachwahrscheinlichkeit ab. Besonders bemerkenswert ist, dass die negative Einstellung gegenüber dem Flughafen die objektive Schlafqualität negativ beeinflusst. Die Ergebnisse der NORAH-Studie werden hier den Ergebnissen früherer Studien, besonders bezüglich Belästigung, Blutdruck und Schlaf, vergleichend gegenüber gestellt.

Schlüsselwörter

Epidemiologie · Verkehrslärm · Blutdruck · Schlafstörung · Krankheitsrisiken

Impact of aircraft noise on sleep quality and other health measures. A review considering the NORAH study

Abstract

Extrinsic effects on health and sleep are getting more and more attention. Studies have been conducted that aim to quantify annoyance due to increases in external noise increases and its physiological effects. Recent research on noise effects was performed in order to identify the causes and effects of these extrinsic influences. Research on aircraft and airfield noise near airports is of special interest because air traffic increases and airports expand. This noise has special characteristics compared to other forms of traffic noise. A large study near the Frankfurt airport with sub-studies near the Stuttgart and Cologne airports (NORAH study) could confirmed results from previous studies and even presented more precise results on some aspects. This study had a special focus on an excellent quantitative assessment of blood pressure and sleep by unattended home polysomnography according to AASM

recommendations. Effects on blood pressure were not significant. Only trends were shown which were within the confidence intervals of previous studies. Related to the effects on sleep, a sound pressure exposure-response relationship could be shown for the objective wake-up probability. After the opening of a new landing runway and the introduction of night landing restrictions, wake-up probability decreased. Remarkably the study demonstrated that personal opinion on aircraft noise is a strong modifier for objective sleep quality. In our paper we compare the results of the NORAH study with results from previous studies with a focus on annoyance, blood pressure and sleep.

Keywords

Epidemiology · Traffic noise · Blood pressure · Sleep disturbance · Health risks

die Autoren weiteren Forschungsbedarf [23].

Schlaf

Wirkungen auf den Schlaf wurden in zahlreichen Studien untersucht und in Übersichtsarbeiten zu verschiedenen Zeitpunkten zusammengefasst [4]. Es wird zwischen primären oder akuten Wirkungen von Fluglärm auf die Schlafqualität (Aufwachreaktionen, Zunahme von Bewegungen des Körpers im Schlaf, Länge einzelner Schlafphasen), sekundären oder zeitlich verzögerten Wirkungen (Tagesschläfrigkeit, Beurteilung der Schlafqualität) und tertiären oder Langzeitwirkungen (kardiovaskuläre oder metabolische Folgen) unterschieden. Die bisherigen Studien konzentrieren sich auf die primären und sekundären Wirkungen. Denn die tertiären Wirkungen sind schwer zu erfassen, weil hier andere Wirkmechanismen im Vordergrund stehen können.

Die sorgfältigste und wissenschaftlich am besten abgesicherte Untersuchung des Schlafes erfolgt mit der kardiorespiratorischen Polysomnographie im Schlaflabor. Somit handelt es sich dabei um eine experimentelle Studie in kontrollierter Umgebung, bei der nachts Geräusche definierter Schalldrücke und Dauer abgespielt werden.

Es ist auch eine kardiorespiratorische Polysomnographie im Rahmen von Feldstudien in der häuslichen Umgebung möglich. Allerdings findet diese meistens ohne akustische und Videoüberwachung statt. Die Schlafbedingungen sind dabei nicht mehr einheitlich, was Bettenausstattung, Raumtemperatur und weitere Personen im Schlafzimmer angeht. Dadurch ergibt sich einerseits eine natürlichere Umgebung, aber andererseits gibt es viel mehr den Schlaf beeinflussende Faktoren.

Nach der Schlafaufzeichnung werden die gespeicherten Signale visuell von dafür ausgebildetem Fachpersonal nach den Regeln der American Academy of Sleep Medicine (AASM) ausgewertet [5]. Es werden in 30-Sekunden-Epochen die Schlafstadien für die gesamte Aufzeichnung bestimmt. Daraus werden anschließend zusammenfassend Schlafzeiten,

Prozente der Schlafstadien, Latenzen, Wachphasen während der Schlafzeit, Arousal und Wechsel von Schlafstadien berechnet. Diese Werte können mit Referenzwerten verglichen werden, wobei es bisher allgemein verbindliche Referenzwerte nicht gibt. Es gibt jedoch einige Metaanalysen zum Schlaf gesunder Probanden, die herangezogen werden können [20]. Die dort ablesbaren Werte für etliche Schlafparameter hängen vom Alter, dem Geschlecht, dem Arbeitsrhythmus und weiteren Faktoren ab. Je nach Ausmaß der Lärmexposition ist die Wirkung auf einzelne Werte der Schlafauswertung gering. Ein plausibler Parameter der Schlafauswertung ist die Aufwachwahrscheinlichkeit. Experimentelle Studien konnten zeigen, dass die Aufwachwahrscheinlichkeit mit zunehmender Lärmexposition ebenfalls zunimmt.

In der NORAH-Studie wurde der Schlaf sehr aufwändig in der häuslichen Umgebung bei ausgewählten Probanden für drei bis vier Nächte mit Polysomnographie untersucht [19]. So konnten die gleichen Parameter wie in einer experimentellen Schlaflaborstudie berechnet werden. Es zeigte sich in der NORAH-Studie eine steigende Aufwachwahrscheinlichkeit mit zunehmender Exposition. Zudem zeigten die Ergebnisse der ergänzend durchgeführten Befragungen, dass die Einstellung der Probanden gegenüber dem Flughafen einen modifizierenden Einfluss auf die Schlafqualität hat. Dem Flughafen gegenüber kritisch eingestellte Untersuchungsteilnehmer zeigten eine objektiv schlechtere Schlafqualität. Die Aufwachwahrscheinlichkeit in der Feldstudie blieb etwas geringer als in experimentellen Studien.

In der älteren experimentellen Schlafstudie zeigte sich eine normale mittlere Aufwachhäufigkeit von $24,4 \pm 9,3$ Ereignissen pro Nacht [3]. Von diesem Wert ausgehend bedeutet eine Zunahme der Aufwachwahrscheinlichkeit um 5 % bei 10 dB(A) Zunahme der Lärmbelastung ein bis zwei Aufwacheignisse mehr. Diese Zunahme befindet sich im Bereich der natürlichen Streuung, und die klinische Bedeutung ist unklar. Die Kausalität des Zusammenhangs zwischen vermin-

derter Schlafqualität und Lärm ist bisher noch nicht geklärt.

Weitere physische Wirkungen

Unter den weiteren physischen Wirkungen ist die Fluglärmwirkung auf Stresshormone, auf das Cortisol, eine naheliegende Untersuchungszielgröße. In experimentellen Studien wurde Cortisol systematisch bestimmt [3]. Dabei fanden sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Lärmbelastung und Cortisol. Für extreme Fluglärmbelastung, wie sie durch militärischen Tiefflug entsteht, ist ein deutlicher Zusammenhang mit der Ausschüttung von Stresshormonen nachgewiesen. Für Lärmpegel, die im zivilen Luftverkehr gefunden werden, sind diese Befunde in verschiedenen Studien uneinheitlich, und es wurden keine statistischen Signifikanzen nachgewiesen.

Eine weitere Frage bezieht sich auf eine direkte Beeinträchtigung des Hörvermögens durch Fluglärm. Die wenigen Studien, die das Hörvermögen untersuchten, zeigen keine nachweisbare Einschränkung. Aufgrund der üblicherweise in der Umgebung ziviler Flughäfen auftretenden Maximalpegel sind Hörschäden auch nicht zu erwarten.

Weitere psychische Wirkungen

Über die unmittelbare Belästigung hinaus wurden in mehreren Studien weitere psychische Wirkungen untersucht [27]. Es wurden dafür das Auftreten psychischer Erkrankungen und kognitive Einschränkungen untersucht. Insgesamt gesehen ist die Befundlage zum Zusammenhang zwischen Fluglärm und psychischen Erkrankungen wenig statistisch belastbar. Frühere Studien konnten keine eindeutigen Zusammenhänge nachweisen. Die NORAH-Studie legt einen Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und dem Auftreten von Depressionen nahe [24]. Dieser Zusammenhang zeigt sich für den Fluglärm stärker als für Schienen- oder Straßenverkehrslärm. Dieser vergleichsweise neu identifizierte Befund muss in weiteren Studien genauer betrachtet werden. In der NORAH-Studie wurde der Einfluss anderer Faktoren auf das Auftreten von Depressionen nicht

untersucht, daher muss eine Interpretation dieses Befundes mit Zurückhaltung vorgenommen werden [24].

Als durch mehrere Studien gesichert wird angesehen, dass Fluglärm einen geringen, aber messbaren Einfluss auf die Lesefähigkeit von Kindern hat [6, 7, 25]. Nach starker Reduktion des Lärms, wie er durch den Umzug eines Flughafens auftritt, scheint dieser Effekt reversibel zu sein. Die NORAH-Studie zeigt für den Einzugsbereich des Frankfurter Flughafens, dass das Leseverständnis von Kindern mit zunehmender Höhe der Belastung mit Fluglärm statistisch signifikant abnimmt [17]. Die Fluglärmwirkungen sind im Vergleich zu anderen Einflüssen auf das Leseverständnis, wie Deutschkenntnisse der Kinder oder Anzahl der Kinderbücher im Haushalt, geringer.

Diskussion

Bei der Interpretation der beobachteten Wirkungen ist zu erkennen, dass die derzeitige Belastung durch Fluglärm sich von den Belastungssituationen in den Studien mit länger zurückliegender Datenerfassung deutlich unterscheidet. So sind die Lärmemissionen der einzelnen Flugzeuge in den letzten zwanzig Jahren deutlich zurückgegangen. Maßnahmen an den Flugzeugen und an den Flugrouten haben dazu beigetragen, den Fluglärm zu reduzieren. Parallel dazu haben die Flugbewegungen in ihrer Zahl stark zugenommen und dadurch auch wieder der summarisch erfasste Fluglärm. Ferner haben sich die akustischen Charakteristika in Bezug auf die Frequenzen und die Zahl exponierter Personen verändert. Die verschiedenen festgestellten Wirkungen werden heute differenzierter untersucht und interpretiert. In direkter Nähe von Flughäfen sollten nicht mehr Wohnungen gebaut werden. Das Fluglärmenschutzgesetz sieht auf der Grundlage strenger Lärmwerte Schutzzonen vor, innerhalb derer den Betroffenen umfangreiche Ansprüche auf Erstattung von Schallschutzaufwendungen und Entschädigungen zustehen.

Zur Untersuchung der Wirkung von Fluglärm werden weiterhin sowohl experimentelle als auch epidemiologische Studien durchgeführt. Bei epidemiolo-

gischen Studien ist zu beachten, dass der Beitrag des Fluglärms je nach untersuchter Wirkvariable im Vergleich zu anderen Risikofaktoren unterschiedlich ausfällt. Zudem können keine Kausalitäten bestimmt werden. Die nachgewiesenen Wirkungen des Fluglärms aus epidemiologischen Untersuchungen sind unbedingt ernst zu nehmen. Unserer Ansicht nach ist es aus medizinischer Sicht zu begrüßen, dass mit dem Fluglärm-schutzgesetz von 2007 ein Regelwerk vorliegt, welches die Lärmschutzbela-nge der Bevölkerung auch angesichts der seit 2007 gewonnenen Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung umfassend und angemessen berücksichtigt. So treten die gefundenen Fluglärmwirkungen im Wesentlichen oberhalb der in diesem Gesetz festgelegten Lärmwerte auf, die einen Schallschutzanspruch auslösen. Alle am Flugverkehr und den Flughäfen Beteiligten sollten den Lärmschutz der betroffenen Bevölkerung dennoch weiterhin als eine wichtige Aufgabe ansehen.

Aus den gesammelten Ergebnissen folgt, dass Fluglärm zu körperlichen und psychischen Reaktionen führen kann, aus denen sich unter Umständen Krankheiten entwickeln. Diese Reaktionen nehmen mit steigenden mittleren Schalldrücken im Sinne einer Dosis-Wirkungs-Beziehung zu. Daneben spielen die Stärke und Anzahl der einzelnen Spitzenpegel, die jeweiligen Geräuscheigenschaften und die Tageszeit der Geräuscheignisse sowie die persönliche Verfassung der Personen eine wichtige Rolle.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. T. Penzel

Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum, Charité – Universitätsmedizin Berlin
Charitéplatz 1, 10117 Berlin, Deutschland
thomas.penzel@charite.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T. Penzel, M. Glos, M. Renelt und S. Zimmermann geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Open Access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits use, duplication, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

Literatur

1. Babisch W, van Kamp I (2009) Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. *Noise Health* 11(44):161–168
2. Bartels S, Marki F, Müller U (2015) The influence of acoustical and non-acoustical factors on short-term annoyance due to aircraft noise in the field – The COSMA study. *Sci Total Environ* 538:834–843
3. Basner M, Buess H, Luks N, Maaß H, Mawet L, Müller EW et al (2001) Nachtfluglärmwirkungen – Eine Teilauswertung von 64 Versuchspersonen in 832 Schlafabornächten. DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. – Forschungsberichte
4. Basner M, Samel A (2007) Schlafphysiologische Bewertung nächtlicher Flugbetriebsbeschränkungen vor dem Hintergrund aktueller Urteile des Bundesverwaltungsgerichts. *Lärmbekämpfung* 2:86–94
5. Berry RB, Brooks R, Gamaldo CE, Harding SM, Lloyd RM, Marcus CL, Vaughn BV, American Academy of Sleep Medicine (2012) The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications, version 2.1. American Academy of Sleep Medicine, Darien
6. Crombie R, Clark C, Stansfeld SA (2011) Environmental noise exposure, early biological risk and mental health in nine to ten year old children: a cross-sectional field study. *Environ Health* 10(1). doi:10.1186/1476-069x-10-39
7. Clark C, Martin R, van Kempen EEMM, Alfred T, Head J, Davies HW et al (2006) Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension – The RANCH project. *Am J Epidemiol* 163:27–37
8. Eikmann T, Nieden A, zur Lengler A, Harpel S, Ziedorn D, Bürger M (2015) Blutdruckmonitoring: Wirkung chronischer Lärmbelastung auf den Blutdruck bei Erwachsenen Endbericht. In: Gucki R, Schreckenbach D (Hrsg) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld – Endbericht, Bd. 5. Gemeinnützige UmweltHaus GmbH, Kels-terbach (www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Blutdruck_Wiss_Ergebnisbericht.pdf)
9. Floud S, Vigna-Taglianti F, Hansell A, Blangiardo MA, 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. *Occup Environ Med* 68:518–524
10. Gesetz zur Verbesserung des Schutzes vor Fluglärm in der Umgebung von Flugplätzen (FlugLärmG) vom 1. Juni 2007, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 24, ausgegeben zu Bonn am 6. Juni 2007
11. 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 370851101)
12. Griefahn B, Jansen G, Scheuch K, Spreng M (2002) Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept

© raimund14 / stock.adobe.com

Leipziger Wissenschaftler bauen Vitamin B1 nach

Chemiker der Universität Leipzig haben ein künstliches, borhaltiges Vitamin B1 kreiert. Sie ersetzen das natürliche, kohlenstoffhaltige Vitamin B1 (Thiamin), das an sehr vielen Stoffwechselprozessen beteiligt ist, durch ein borhaltiges, künstlich hergestelltes Vitamin B1 und testeten, wie es bei verschiedenen chemischen Reaktionen wirkt. In ihrer Studie konnten die Forscher eigenen Angaben zufolge zeigen, dass ihr „Nachwuchs“ die Reaktivität des entfernten Verwandten nicht nur nachempfunden, sondern teils bei weitem übersteigt. Mit dem künstlichen Vitamin haben wir den Grundstein für eine komplett neue Klasse von Katalysatoren gelegt, erklärt der Erstautor der Veröffentlichung, Christoph Selg, vom Institut für Organische Chemie. Teile des Kohlenstoffgerüsts in dem untersuchten Molekül seien durch sogenannte Carborane ersetzt worden, die aus Kohlenstoff und Bor bestehen und anders als die ausgetauschten Molekülbausteine einen dreidimensionalen Aufbau haben. Nicht zuletzt wegen ihrer speziellen Strukturen und Eigenschaften sind Carborane auch Hoffnungsträger bei der Entwicklung neuer Medikamente.

Quelle: Universität Leipzig
(www.uni-leipzig.de)
basierend auf: Chemistry (2017) online
7. April, DOI/10.1002/chem.201701037

- bei wesentlichen Änderungen oder Neuanlagen von Flughäfen/Flugplätzen. Z Lärmbekämpfung 49:171–175
13. Hansell AL, Blangiardo M, Fortunato L, Floud S, de Hoogh K, Fecht D et al (2013) Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. *BMJ* 347:f5432. doi:10.1136/bmj.f5432
 14. Haralabidis AS, Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampaolo M, Borgini A, Dudley ML et al (2008) Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *Eur Heart J* 29:658–664
 15. Haralabidis AS, Dimakopoulou K, Velonaki V, Barbaglia GC, Mussin M, Giampaolo M et al (2011) Can exposure to noise affect the 24h blood pressure profile? Results from the HYENA study. *J Epidemiol Community Health* 65:535–541
 16. Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsoyanni K, Cadum E et al (2008) Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study. *Environ Health Perspect* 116:329–333. doi:10.1289/ehp.10775
 17. Klatte M, Bergström J, Spilski J, Mayerl J, Meis M (2014) Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern Endbericht. In: Guski R, Schreckenberg D (Hrsg) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld – Endbericht, Bd. 1. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH, Kelsterbach (www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Wissenschaftlicher_Ergebnisbericht_14-11-04.pdf)
 18. Möhler U, Liepert M, Mühlbacher M, Beronius A, Nunberger M, Braunstein G, Gite M, Schaal J, Bartel R (2015) Erfassung der Verkehrsräuscheexposition Endbericht. In: In Guski R, Schreckenberg D (Hrsg) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld – Endbericht, Bd. 2. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH, Kelsterbach (www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Akustik_Wiss_Ergebnisbericht.pdf)
 19. Müller U, Aeschbach D, Elmenhorst EM, Hoff A, Mendolia F, Quehl J, Rieger I, Schmitt S, Littel W (2015) Fluglärm und nächtlicher Schlaf Endbericht. In: Guski R, Schreckenberg D (Hrsg) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld – Endbericht, Bd. 4. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH, Kelsterbach (www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Schlafstudie_Wiss_Ergebnisbericht.pdf)
 20. Ohayon MM, Carskadon MA, Guilleminault C, Vitiello MV (2004) Metaanalysis of quantitative sleep parameters from childhood to old age in healthy individuals: developing normative sleep values across the human lifespan. *Sleep* 27:1255–1273
 21. Schreckenberg D, Faulbaum F, Guski R, Ninke L, Peschel C, Spiski J, Wothge J (2015) Wirkungen von Verkehrslärm auf die Lärmbelästigung und Lebensqualität. Endbericht. In: Guski R, Schreckenberg D (Hrsg) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld, Bd. 3. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH, Kelsterbach (www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Belästigung_Wiss_Ergebnisbericht.pdf)
 22. Seidler A, Wagner M, Schubert M, Dröge P, Hegewald J (2015) Sekundärdatenbasierte Fall-Kontroll-Studie mit vertiefender Befragung. In: Guski R, Schreckenberg D (Hrsg) NORAH Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld – Endbericht, Bd. 6. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH, Kelsterbach (www.laermstudie.de/fileadmin/files/Laermstudie/Krankheitsrisiken_Wiss_Ergebnisbericht.pdf)
 23. Seidler A, Wagner M, Schubert MT, Dröge P, Pons-Kühnemann J, Swart E, Zeeb H, Hegewald J (2016) Myocardial infarction risk due to aircraft, road and rail traffic noise – results of a case-control study based on secondary data. *Dtsch Arztebl Int* 113:407–414
 24. Seidler A, Hegewald J, Seidler AL, Schubert M, Wagner M, Dröge P, Haufe E, Schmitt J, Swart E, Zeeb H (2017) Association between aircraft, road and railway traffic noise and depression in a large case-control study based on secondary data. *Environ Res* 152:263–271
 25. Stansfeld SA, Berglund B, Clark C, López-Barrio I, Fisher PF, Öhrstrom E et al (2005) Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet* 365(9475):1942–1949
 26. World Health Organization (WHO) Regional office for Europe (2009) Night noise guidelines for Europe. WHO Regional office for Europe, Copenhagen
 27. World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe (2011) Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. WHO Regional office for Europe, Copenhagen