



**POSITION // APRIL 2016**

# **Fachliche Einschätzung der Lärmwirkungsstudie NORAH**

Für Mensch & Umwelt

**Umwelt   
Bundesamt**

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Fachgebiete I 3.4 und II 1.5  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Autoren:**

Maxie Bunz, Jördis Wothge

**Satz und Layout:**

Atelier Hauer + Dörfler GmbH, Berlin

**Publikationen als pdf:**

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/fachliche-einschaetzung-der-laermwirkungsstudie>

**Bildquellen:**

www.shutterstock.com

Stand: April 2016

ISSN 2363-8273

# Inhalt

<b>Einleitung</b> .....	<b>2</b>
<b>I Lebensqualität und Belästigung</b> .....	<b>3</b>
Kurzbeschreibung des Moduls .....	3
Zentrale Ergebnisse .....	3
Einordnung.....	4
<b>II Schlaf</b> .....	<b>6</b>
Kurzbeschreibung des Moduls .....	6
Zentrale Ergebnisse .....	6
Einordnung.....	7
<b>III Blutdruck</b> .....	<b>8</b>
Kurzbeschreibung des Moduls .....	8
Zentrale Ergebnisse .....	8
Einordnung.....	8
<b>IV Studie zu den Gesundheitsrisiken durch Verkehrslärm</b> .....	<b>10</b>
Kurzbeschreibung des Moduls .....	10
Zentrale Ergebnisse .....	10
Einordnung.....	10
<b>V Kinderstudie</b> .....	<b>13</b>
Kurzbeschreibung des Moduls .....	13
Zentrale Ergebnisse .....	13
Einordnung.....	13
<b>Fazit</b> .....	<b>15</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>16</b>

## Einleitung

Im Oktober 2011 eröffnete der Verkehrsflughafen Frankfurt am Main seine vierte Landebahn (Nord-West). Im Zuge der Eröffnung dieser Landebahn und der Veränderungen um den Frankfurter Flughafen hat das Umwelt- und Nachbarschaftshaus (UNH)<sup>1</sup> eine umfangreiche Erhebung zu den Auswirkungen des Lärms auf die Gesundheit und Lebensqualität in der Region Frankfurt am Main in Auftrag gegeben.

Die NORAH-Studie (Noise Related Annoyance, Cognition, and Health) besteht aus fünf Modulen, die unterschiedliche Parameter – Lebensqualität und Belästigung, Schlaf, Krankheitsrisiken, Blutdruck, kognitive Entwicklung von Kindern – im Zusammenhang mit Verkehrslärm untersuchen. Diese Teilstudien unterscheiden sich erheblich in Design und

Methodik und werden daher im Folgenden einzeln diskutiert und bewertet. Hierfür werden sowohl die aus Sicht des Umweltbundesamtes wichtigsten Ergebnisse der Studie herausgearbeitet als auch Handlungsfelder aufgezeigt. Die Studienteile werden zunächst im Einzelnen kurz besprochen und abschließend wird ein Gesamtfazit gezogen.



1 Das UNH ist eine Informationsstelle für Bürgerinnen und Bürger im Hinblick auf Flughafenfragen und ist zu 100 Prozent vom Land Hessen gefördert. Die Finanzierung der Studie erfolgte hauptsächlich durch das UNH und das Land Hessen, sowie in geringerem Maße durch die Fraport, die Lufthansa und die Kommunen der Rhein-Main Region.

# I Lebensqualität und Belästigung

## Kurzbeschreibung des Moduls

Das Studienmodul Belästigung und Lebensqualität untersucht den Einfluss von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität von Menschen in der Rhein-Main-Region. Die Studie behandelt sowohl akustische Parameter (Schallpegel), als auch nicht-akustische Parameter (z. B. Einstellung zu einer Verkehrsquelle oder Lärmempfindlichkeit eines Menschen). Untersucht wurden die Belästigung der Probandinnen und Probanden durch Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche sowie selbstberichtete Schlafstörungen und die empfundene psychische und physische Lebensqualität der Teilnehmenden. Die Studie beinhaltet eine Längsschnitterhebung, zwei Querschnittserhebungen und eine Kombinationswirkungsstudie. In der Längsschnitterhebung wurden Probandinnen und Probanden in einem Zeitraum von 2011 bis 2013 vor und nach Eröffnung der neuen Landebahn im Oktober 2011 insgesamt drei Mal zu ihrem Belästigungserleben befragt. Im Rahmen der Querschnittserhebung *Vergleichsflughäfen*, wurde die Belästigung von Anrainern dreier weiterer deutscher Verkehrsflughäfen (Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin-Schönefeld) untersucht. Die zweite Querschnittserhebung *Quellenvergleich* hat die Belästigung der Bevölkerung in der Rhein-Main-Region durch andere Verkehrsquellen (Schienen- und Straßenverkehrslärm) erhoben. In der Kombinationswirkungserhebung wurde der Einfluss der Kombination zweier Geräuschquellen (Luft- & Straßenverkehr; sowie Luft- & Schienenverkehr) auf die Gesamtlärmbelastigung erforscht. Neben der Belästigung wurden in den Längs- und Querschnittserhebungen ebenfalls subjektiv berichtete Schlafstörungen und die Lebensqualität (unterteilt in mentale und physische Lebensqualität) untersucht. Insgesamt wurden  $n = 18.757$  Probanden und Probandinnen in der Rhein-Main-Region und  $n = 10.482$  Probandinnen und Probanden im Umfeld der anderen Flughäfen

befragt. Die Studienregion bezog alle Adressen im Rhein-Main-Gebiet ein, welche tagsüber (06:00 – 22:00 Uhr) oder nachts (22:00 – 06:00 Uhr) mit einer Luftverkehrsgeräuschexposition von 40 dB(A) Dauerschallpegel ( $L_{Aeq,06-22h}$  bzw.  $L_{Aeq,22-06h}$ ) belastet waren.

## Zentrale Ergebnisse

Die Ergebnisse der Belästigungsstudie sind sehr umfangreich. An dieser Stelle wird daher eine Auswahl der – aus Sicht des Umweltbundesamtes – besonders relevanten Ergebnisse dargestellt:

- ▶ **Längsschnittvergleich:** Der Anteil sich hoch belästigt fühlender Personen steigt von 2011 bis 2012 um fünf Prozent bei jenen mit einem Tagesmittelungspegel von  $L_{Aeq,06-22h}$  40-45 dB(A) und um drei Prozent bei jenen mit einem Tagesmittelungspegel von 50 dB(A). Im Jahr 2013 liegen die Werte derer, die sich hoch belästigt fühlen pro Schallpegelstufe zwischen denen von 2011 und 2012. Ein Vergleich der NORAH-Belästigungskurven mit den entsprechenden Kurven aus der RDF-Studie<sup>2 (1)</sup> aus dem Jahr 2005 zeigt, dass die Belästigung im Jahr 2015 deutlich höher eingeschätzt wird als noch im Jahr 2005. Der häufig verwendete Richtwert von 25 Prozent sich hoch belästigt fühlender Personen<sup>3</sup> wird bei bis zu 5 dB(A) Dauerschallpegel früher erreicht als noch im Jahr 2005.
- ▶ **Querschnittvergleich.** Die Ergebnisse der Querschnittstudie mit den Vergleichsflughäfen Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin deuten darauf hin, dass dieser Trend der angestiegenen Belästigung nicht auf den Flughafen Frankfurt begrenzt ist. Die Expositions-Wirkungs-Kurven der Belästigung verlaufen an den anderen Flughäfen zwar weniger steil als die für den Frankfurter Flughafen, liegen

2 Die RDF-Studie ist eine Feldstudie, die im Auftrag des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt (RDF) durchgeführt wurde. Sie untersucht die Auswirkungen des Fluglärms auf die Belästigung und Lebensqualität der im Umfeld des Frankfurter Flughafens lebenden Bevölkerung (sog. „RDF-Belästigungsstudie“).

3 Der Gesetzgeber verpflichtet sich die Bevölkerung vor „erheblicher Belästigung“ zu schützen. Was als erhebliche Belästigung gilt ist Teil des politischen Prozesses und eine Setzung. Oftmals wird davon gesprochen, dass ab einem Anteil von 25 Prozent hoch belästigter Personen von einer „erheblichen Belästigung“ der Bevölkerung ausgegangen werden muss.

aber ebenfalls über der generalisierten Kurve für die Fluglärmbelästigung, die in der EU-Umgebungslärmrichtlinie Anwendung findet<sup>4</sup> (2). Eine mögliche Erklärung für die geringere Steigung der Belästigungskurven an den Vergleichsflughäfen ist der Einfluss nicht-akustischer Faktoren, wie beispielsweise der individuellen Lärmempfindlichkeit oder der Einstellung zum Luftverkehr.

- ▶ **Mehrfachbelästigung.** Die Studie zur Kombinationswirkung von Geräuschbelastungen durch mehr als eine Verkehrsgeräuschquelle (hier: Luft- & Straßenverkehr oder Luft- & Schienenverkehr) ergab, dass das Belästigungsurteil der jeweiligen Gesamtlärmbelästigung durch diejenige Quelle bestimmt wird, die als lästiger empfunden wird (hier jeweils der Fluglärm).
- ▶ **Selbstberichtete Schlafstörungen.** Die im Oktober 2011 am Flughafen Frankfurt/Main eingeführte Kernruhezeit zwischen 23:00 Uhr und 05:00 Uhr morgens wirkt sich positiv auf die subjektiv berichteten Schlafstörungen aus. Der Anteil an sich hoch schlafgestört fühlenden Personen bei gleichem Dauerschallpegel  $L_{Aeq,22-06h}$  geht von 2011 nach 2012 erkennbar zurück. Der Anstieg in der subjektiv empfundenen Schlafqualität resultiert jedoch nur aus einer Teilverbesserung<sup>5</sup>: die selbstberichteten Schlafstörungen im Hinblick auf das Durchschlafen nehmen ab, während sie im Hinblick auf das Einschlafen etwa gleichbleiben; die empfundene Qualität des Ausschlafens verschlechtert sich hingegen im Vergleich zum Zeitraum vor Einführung der Kernruhezeit.

- ▶ **Psychische Lebensqualität.** Der Einfluss der Dauerschallbelastung  $L_{Aeq,24h}$  auf die psychische und physische Lebensqualität ist vergleichsweise klein. Es zeigt sich jedoch, dass bei Zunahme des Dauerschallpegels  $L_{Aeq,24h}$  insbesondere die psychische Lebensqualität sinkt. Dieser Effekt wird über die Belästigung vermittelt.

### Einordnung

Die Zunahme des Anteils subjektiv hoch belästigter Personen bei gleichbleibendem äquivalentem Dauerschallpegel  $L_{Aeq,06-22h}$  bestätigt einen Trend weiterer Studien der letzten beiden Jahrzehnte. Die NORAH-Studie unterstützt somit die Annahme, dass Menschen heute bei gleichen energieäquivalenten Dauerschallpegeln belästigter sind als noch vor zehn oder 15 Jahren<sup>(3-5)</sup>.

Im Belästigungsmodul der NORAH-Studie werden die Expositions-Wirkungszusammenhänge für die Belästigung unter Zugrundelegung der ICBEN-Definition<sup>6</sup> hoher Belästigung dargestellt. Eine Vielzahl von Lärmbelästigungs-Studien der letzten Jahrzehnte verwendet die so genannte Miedema-Gewichtung<sup>7</sup> für ihre Darstellung. Die Verwendung der ICBEN-Definition zur Berechnung des Anteils der hoch belästigten Personen stellt eine sachgemäße Herangehensweise zur Darstellung der Belästigung dar. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass hierdurch ein direkter Vergleich der Kurven mit den Expositions-Wirkungskurven anderer Studien derzeit nur bedingt möglich ist. Für einen Vergleich wird in der NORAH-Studie eine anhand von Radardaten aktualisierte Neube-

- 4 Bei dieser generalisierten Belästigungskurve handelt es sich um eine Kurve, die mit Hilfe einer Meta-Analyse von 19 Feldstudien mit insgesamt 27.081 Probandinnen und Probanden aggregiert wurde(2). Diese sog. EU-Kurve findet im Rahmen der EU-Umgebungslärmrichtlinie Anwendung.
- 5 Die subjektiv empfundene Schlafqualität wird mit Hilfe von drei Unterfragen ermittelt. Im Einzelnen wird die subjektive Qualität des Einschlafens, Durchschlafens und Ausschlafens erfragt.
- 6 ICBEN steht für International Commission on the Biological Effects of Noise. Die Kommission traf 1999 eine Vereinbarung über die Frage zur Erfassung der generellen und quellspezifischen Lärmelastigung; diese international vereinheitlichte Frage wird heute oftmals vereinfacht als „die ICBEN-Frage“ bezeichnet. Die Fragestellung ist in mehrere Sprachen übersetzt und international standardisiert worden (ISO/TS 15666). Nach der ICBEN-Definition gelten alle Menschen, die für ihre Antwort die obersten beiden Antwortklassen („stark“ bzw. „äußerst“) als hoch belästigt.
- 7 Die Miedema-Gewichtung beziffert die obersten 28 Prozent der Antwortskala als den Bereich, der hohe Belästigung angibt. Bei der 5-Stufigen ICBEN-Frage der Belästigung bedeutet dies, dass alle Menschen, die den höchsten Skalenwert angeben hoch belästigt sind, so wie ein bestimmter rechnerische Anteil derer, die den zweithöchsten Skalenwert angeben.



rechnung der Kurve aus der so genannten RDF-Studie verwendet, die vor zehn Jahren ebenfalls am Frankfurter Flughafen durchgeführt worden ist. Bereits anhand dieses mittelbaren Vergleichs wird deutlich, dass die NORAH-Belastigungskurven den Trend eines Anstiegs der Belästigung bei gleicher äquivalenter Dauerschallbelastung bestätigen.

Weiterhin kann die Belästigung nicht nur ein Indikator beeinträchtigten subjektiven Wohlbefindens, sondern vielmehr ein Vorläufer späterer Erkrankungen sein. Der Gesetzgeber stellt im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm auf den Schutz der Bevölkerung vor erheblicher Belästigung ab. Die Ergebnisse der NORAH-Studie unterstreichen den Diskussionsbedarf bezüglich der Expositions-Wirkungskurven, die bisher im politischen Diskurs genutzt werden, um die „erhebliche Belästigung“ zu bestimmen, bzw. auf EU-Ebene Anwendung finden. Eine Aktualisierung der zu verwendenden Expositions-Wirkungskurven ist insbesondere vor dem Hintergrund der anstehenden Evaluation des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm, sowie der Weiterentwicklung der EU-Umgebungslärmrichtlinie in Form eines harmonisierten Verfahrens zur Bewertung von Umgebungslärm (Common Noise Assessment Methods in Europe – CNOSSOS-EU) hervorzuheben.

Neben der Belästigung sind auch die Ergebnisse zu den selbstberichteten Schlafstörungen und dem Einfluss des Lärms auf die subjektiv berichtete psychische Lebensqualität herauszustellen. Im Einklang mit den Ergebnissen aus anderen Studien-Modulen weisen die Ergebnisse zu den subjektiv berichteten Schlafstörungen einerseits auf eine Wirksamkeit der Kernruhezeit hin und deuten andererseits an, dass die erhöhte Fluglärmbelastung in den Nachtrandstunden durch das Enden bzw. die Wiederaufnahme des Flugbetriebs eine neue Herausforderung darstellt. Insbesondere morgens, wenn der Schlafdruck geringer ist, treten vermehrt Aufwachreaktionen auf (siehe auch Abschnitt II).

Vor dem Hintergrund der Ergebnisse zur unipolaren Depression (siehe auch Abschnitt IV) unterstreichen die Ergebnisse zur subjektiv berichteten psychischen Lebensqualität darüber hinaus, dass Lärm sich auch auf das psychische Erleben und die psychische Gesundheit des Menschen auswirkt<sup>(6)</sup>. Dies zeigt auch eine im Jahr 2015 veröffentlichte Studie des Umweltbundesamtes zu den Folgen von Umgebungslärm auf die Gesundheit<sup>(7)</sup>. Dennoch werden psychische Erkrankungen als Folgen von Lärmbelastung bisher wenig als Hauptzielgröße von wissenschaftlichen Erhebungen untersucht. Das Umweltbundesamt erachtet eine Stärkung dieses Forschungsfeldes daher als hoch relevant.

## II Schlaf

### Kurzbeschreibung des Moduls

Im Schlafmodul der NORAH-Studie wurden die Auswirkungen von Fluglärm auf das Schlafverhalten vor und nach Einführung der Kernruhezeit am Frankfurter Flughafen untersucht. Erfasst werden sollten u.a. die durch Fluglärm bedingte Aufwachhäufigkeit und Veränderungen der Schlafstruktur. Insgesamt umfasste die Stichprobe  $n = 202$  schlafgesunde Personen, von denen 39 über die komplette Studienzeit teilnahmen. Die Gesamtstichprobe wurde 2012 in zwei Bettzeitgruppen aufgeteilt (Gruppe 1: zu Bett zwischen 22 Uhr und 22.30 Uhr, Aufstehen zwischen 06:00 Uhr und 06:30 Uhr; Gruppe 2: jeweils eine Stunde später). Gemessen wurde über drei bis vier Nächte in den Jahren 2011, 2012 und 2013. Zu Beginn (2011, 2012) wurden die Qualität des Schlafes und die Anzahl der Aufwachreaktionen mittels Polysomnografie<sup>8</sup> ermittelt. Ab 2013 kam die vegetativ-motorische Methode (VMM) zum Einsatz, eine vereinfachte Messung, bei der die Aufwachreaktionen über die Herzfrequenzveränderung und Körperbewegungen bestimmt werden. Zusätzlich zur objektiven Messung gab es eine morgendliche fragebogengestützte Befragung zum Schlaf, das heißt eine subjektive Einschätzung der Teilnehmenden.

### Zentrale Ergebnisse

- ▶ **Aufwachreaktionen.** Die Ergebnisse zeigen, dass sich die fluglärmassoziierte Anzahl der Aufwachreaktionen im Mittel nach Einführung der Kernruhezeit verringert. Es ergaben sich jedoch Unterschiede zwischen den Bettzeitgruppen: In Bettzeitgruppe 1 sinkt die durchschnittliche fluglärmassoziierte Aufwachhäufigkeit von 2,0 auf 0,8 Mal pro Nacht. In Bettzeitgruppe 2 kam es zu einer höheren Aufwachhäufigkeit in den Morgenstunden, da sich ihre Nachtruhe länger mit den morgendlichen Flugzeiten überschneidet und betrug im Mittel nach Einführung der Kernruhezeit 1,9 Mal.
- ▶ **Einschlaflatenz und Gesamtschlafdauer.** Im Gegensatz zu den veränderten Aufwachreaktionen blieben Einschlaflatenz und Gesamtschlafdauer gleich.
- ▶ **Subjektive Bewertung des Schlafes.** Das subjektive Empfinden verschlechterte sich zwischen 2011 und 2013 und die Schläfrigkeit stieg an, obwohl die objektive Aufwachhäufigkeit nicht zunahm und eine Entlastung durch die Kernruhezeit erwirkt wurde.

8 Messmethode, bei der Schlafverlauf, Schlaftiefe und Schlafqualität untersucht werden. Hierbei wird mit Hilfe von Elektroden und Sensoren unter anderem ein Elektroenzephalogramm (EEG) und ein Elektrokardiogramm (EKG) erstellt. Zudem werden die Sauerstoffsättigung des Blutes, die Herzfrequenz, die Körperbewegung und -temperatur und die Atmungsaktivität gemessen sowie die Muskelspannung (Elektromyogramm, EMG) und die Augenbewegungen (Elektrookulogramm, EOG) aufgezeichnet.



## Einordnung

Dem Schutz des Schlafes kommt eine hohe Bedeutung zu. Es besteht eine enge Verbindung zwischen Schlaf, Stress und Stoffwechsel<sup>(8)</sup>. Ein gestörter Schlaf kann daher den menschlichen Stoffwechsel negativ beeinflussen. Außerdem wird eine verminderte Schlafqualität (Schlafdeprivation und Schlafragmentation) und die damit einhergehende erhöhte autonome Reaktion<sup>9</sup> in Verbindung gebracht mit der Entstehung von Krankheiten (z. B. des Herz-Kreislauf-Systems)<sup>(9, 10)</sup> und kognitiven Beeinträchtigungen (z. B. exekutive Funktionen<sup>10</sup>, Gedächtnis, Leistungsfähigkeit)<sup>(11)</sup>. Eine zunehmende Anzahl an Fluggeräuschen kann zu häufigeren Arousal-Reaktionen<sup>11</sup>, mehr Aufwachreaktionen und somit zu einer Fragmentierung des Schlafes führen<sup>(12)</sup>. Hierdurch wird die Kontinuität des Schlafes beeinträchtigt, ohne dass die Gesamtschlafzeit verkürzt wird.

Die Studie zeigt, dass die Verminderung der lärmassoziierten Aufwachreaktionen von 2011 zu 2012 vor allem in der Gruppe stattfand, deren Schlafzeitraum stärker mit den Zeiten ohne Flugverkehr korrespondierte. Dieses Ergebnis unterstreicht die Relevanz der nächtlichen Ruhephase, welche die Erholbarkeit des Schlafens durch das Durchschlafen steigert. Um eine ausreichend lange und ungestörte Nachtruhe zu gewährleisten, empfiehlt das Umweltbundesamt ein generelles Ruhen des regulären Flugbetriebs an Flughäfen zwischen 22:00 Uhr und 06:00 Uhr<sup>(13)</sup>. Darüber hinaus sollte durch betriebliche Reglementierung einer steigenden Lärmbelastung entgegen gewirkt werden, die sich aufgrund der Konzentration der Flugbewegungen in den morgendlichen Randstunden ergibt. Der Schutz der frühen Morgenstunden ist auch deswegen von hoher Relevanz, weil zum Ende der Nacht der Schlafdruck geringer ist und es daher leichter zu Aufwachreaktionen kommen kann.

Aufgrund des hohen Aufwands, der mit der Polysomnografiemessung verbunden ist, sind die Fallzahlen der Schlafstudie gering. Zugleich wurde jedoch die VMM zur Untersuchung des Schlafverhaltens anhand der Herzfrequenz und des Bewegungsverhaltens erprobt. Bestätigt sich deren Anwendbarkeit, so könnte eine Untersuchung des Schlafverhaltens in flächendeckenderem Umfang als mit der polysomnografischen Messung möglich werden, da der Aufwand – allerdings auch die Detailliertheit der Ergebnisse – bei der VMM geringer ist.

Auf Grund umfänglicher Hardwareprobleme zu Zeiten der Erhebungsphase der Studie konnten die Ergebnisse der Schlafstudie nur anteilig ausgewertet werden. Insbesondere fehlen Befunde, die über bestimmte Veränderungen aufgrund der Nachtflugbeschränkung in der Makrostruktur und Mikrostruktur<sup>12</sup> des Schlafes Auskunft geben könnten. Zudem wurden nur Schlafgesunde untersucht – die Erkenntnisse können also nicht auf besonders vulnerable Menschen, die bereits unter einer (möglicherweise fluglärmassoziierten) Schlafstörung leiden, übertragen werden.

Die Ergebnisse des Schlafmoduls unterstreichen die Relevanz nächtlichen Schlafes für die Erholung des Menschen. Ein umfassender Schutz der Bevölkerung gegen nächtlichen Fluglärm ist daher von zentraler Bedeutung. Darüber hinaus besteht weiterhin Forschungsbedarf über den Einfluss des Fluglärms auf die Schlafphysiologie des Menschen und die gesundheitlichen Folgen.

9 Unter autonomer Reaktion versteht man eine Aktivierungsreaktion des autonomen Nervensystems, welches auch als vegetatives Nervensystem bezeichnet wird.

10 Exekutive Funktionen sind geistige Fähigkeiten, durch die Menschen in der Lage sind ihr Verhalten unter Einbezug ihrer Umwelt zu steuern, wie z. B. die Handlungsplanung, -initiierung und -koordination.

11 Arousal bezeichnet die Aktivierung des zentralen Nervensystems, die z. B. durch Veränderungen im EEG nachgewiesen werden kann

12 Änderungen in der Makrostruktur bedeuten z. B. Verschiebung und Ersetzung von Schlafstadien. Bei der Mikrostruktur betrachtet man z. B. Änderungen in den Frequenzen, wie  $\alpha$ - und  $\delta$ -Wellen, sowie Muster wie Schlafspindeln oder K-Komplexe

## III Blutdruck

### Kurzbeschreibung des Moduls

In der Region um den Frankfurter Flughafen wurden Teilnehmerinnen und Teilnehmer für die Blutdruck-Studie rekrutiert, die an ihrem Wohnort tagsüber mit einem Dauerschallpegel von mindestens 40 dB(A) belastet waren, wobei nicht zwischen Flug-, Schienen- oder Straßenverkehrslärm unterschieden wurde. Die Teilnehmenden waren in zwei aufeinanderfolgenden Jahren (zwischen 2012 und 2014) für jeweils drei Wochen angehalten, ihren morgendlichen Blutdruck zu messen. Die Messergebnisse wurden sodann telemedizinisch an die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler übermittelt. Ziel war es, die Zusammenhänge zwischen der Höhe und Veränderung der Lärmbelastung mit der Veränderung des Blutdrucks zu untersuchen. Zunächst wurden 844 Personen in die Studie eingeschlossen, 723 hiervon nahmen an beiden Erhebungen teil. Ausgeschlossen wurden Probandinnen und Probanden, bei denen bereits Bluthochdruck bekannt war. Es kam zu einer Nacherhebung von 405 Personen um die Stichprobe zu vergrößern, die nacherhobenen Daten flossen jedoch nicht in die schlussendliche Analyse mit ein.

### Zentrale Ergebnisse

- ▶ **Lärm und Blutdruck.** Die statistischen Analysen ergaben keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Höhe der Lärmbelastung und den Variablen systolischer Blutdruck, diastolischer Blutdruck, Herzfrequenz, Blutdruckamplitude, Hypertonie sowie Pro-Cam-Score<sup>13</sup>.
- ▶ **Veränderung des Schallpegels.** Eine Veränderung der Pegelwerte von über 2 dB(A) zwischen den Jahresmessungen war nur in 68 Fällen gegeben. Die quantitativ geringen Änderungen im Schallpegel und der systolische Blutdruck waren nicht signifikant assoziiert.
- ▶ **Unerkannte Hypertonie.** Zwar wurden alle Menschen mit diagnostizierter Hypertonie aus der Studie ausgeschlossen. Allerdings gab es in der Stichprobe dennoch solche, die eine Hypertonie

hatten ohne davon zu wissen. Es konnte kein signifikanter Effekt des Lärms auf die ermittelten Parameter bei diesen Personen (n = 132) gezeigt werden. Jedoch wurden in dieser Gruppe höhere Effektschätzer für Systole, Diastole und Herzfrequenz ermittelt.

### Einordnung

Zur Einordnung der Ergebnisse der Blutdruckstudie müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Die – aus Sicht des Umweltbundesamtes – wichtigsten Punkte werden im Folgenden erläutert.

Die Zeitspanne von einem Jahr ist zu gering, um chronische Effekte des Lärms auf den Blutdruck nachzuweisen. Ebenso wird bei genauerer Betrachtung der Analysen deutlich, dass die Probandenanzahl, insbesondere zum zweiten Messzeitpunkt und in der Subgruppe der unerkannten Hypertonikerinnen und Hypertoniker klein war und deshalb besonders in diesen Substichproben nicht von einer zufriedenstellenden Testpower bei kleinen Effekten ausgegangen werden kann. Es ist daher möglich, dass aufgrund der geringen Stichprobengröße kleine (aber dennoch relevante) Effekte statistisch nicht aufgezeigt werden konnten. Bemerkenswert sind die höheren Effektschätzer in der Stichprobe unerkannter Hypertonikerinnen und Hypertoniker.

Zudem sollte bedacht werden, dass die Teilnehmenden nicht erst seit Beginn der Studie der Lärmbelastung ausgesetzt waren. Es ist daher anzunehmen, dass sich mögliche Effekte auf den Blutdruck bereits im Vorfeld (über Jahre hinweg) manifestieren konnten. Potentielle Studienteilnehmende mit vorbekannter Hypertonie wurden jedoch im Vorfeld ausgeschlossen, um medikamentös bedingte Effekte zu vermeiden. Durch den Ausschluss von Hypertonikerinnen und Hypertonikern wurden jedoch möglicherweise bereits im Vorfeld diejenigen aus der Studie ausgeschlossen, die besonders anfällig für eine lärmassoziierte Blutdruckerhöhung sind.

13 Index, der das 10-Jahres-Risiko einen Herzinfarkt zu erleiden, wiedergibt.

Im Methodenbericht findet sich eine Darstellung der Blutdruckmessung. Es muss darauf hingewiesen werden, dass diese dargestellte Blutdruckmessung unsachgemäß ist. Ein direkter Rückschluss auf eine fehlerhafte Handhabung der Blutdruckmessgeräte seitens der Teilnehmenden ist zwar nicht möglich, ebenso wenig kann jedoch mit letzter Sicherheit von einer korrekten Blutdruckmessung ausgegangen werden.

Weiterhin sind Frauen mit einem Anteil von 58,4 Prozent der Stichprobenpopulation überrepräsentiert. Die geringere Anzahl an männlichen Probanden könnte das Auffinden eines Effekts erschwert haben, denn tatsächlich waren hinsichtlich der Luftverkehrsgeräuschexposition die Effektschätzer für den Blutdruck und die Herzfrequenz bei Männern größer als bei Frauen. Dies ist plausibel, denn es ist bekannt, dass bei Männern der Zusammenhang zwischen Geräuschbelastung und Blutdruckerhöhung tendenziell stärker ist <sup>(14)</sup>.

In der Studie wurde außerdem nicht zwischen Menschen unterschieden, die auf Lärm mit einem Blutdruckanstieg reagieren und solchen, die bei Lärmbelastung mit einem Absinken des Blutdrucks reagieren. Beide Phänomene wurden jedoch in wissenschaftlichen Untersuchungen bereits berichtet <sup>(15–18)</sup>, sodass aufgrund der gemeinsamen Betrachtung aller Teilnehmenden nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich mögliche Effekte „rausmitteln“.

Trotz dieser Einschränkungen wurden vor allem die Resultate des Blutdruckmoduls in diversen Informationsmedien zum Anlass genommen, darauf zu schließen, dass die gesundheitlichen Auswirkungen durch Verkehrslärm geringer ausfallen als bisher vermutet. Diese These ist aus Sicht des Umweltbundesamtes vor dem Hintergrund der Erkenntnisse der Forschung zu den Wirkungen von Lärm auf Blutdruck nicht haltbar.

Zwar ist die Ergebnislandschaft der Blutdruckstudien nicht eindeutig. So zeigt sich z. B. ein Trend, dass Fluglärm das Risiko für Hypertonie erhöht <sup>(19)</sup> und auch Straßenverkehrslärm das Bluthochdruck-Risiko steigert <sup>(18)</sup> und das natürliche Absinken des Blutdrucks in der Nacht einschränkt <sup>(20)</sup>. Andererseits gibt es Studien, die eine Absenkung des Blutdrucks finden <sup>(15, 16)</sup>. Allen vorgenannten Studien gemeinsam ist aber eine Veränderung im Blutdruck infolge akustischer Belastung. Da bisherige Studien in ihrer Methodik sehr unterschiedlich sind und konfundierende Faktoren<sup>14</sup> in unterschiedlichem Maße berücksichtigt wurden, ergibt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch kein vollständig einheitliches Bild für das Ausmaß der Auswirkungen von Verkehrslärm auf Blutdruck. Als wissenschaftlich anerkannt gilt jedoch, dass Lärm einen Einfluss auf das kardiovaskuläre System ausübt <sup>(21, 22)</sup>. Dies bestätigt auch die sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie, die im Rahmen des NORAH-Projekts durchgeführt wurde erneut (vgl. Abschnitt IV – Fallkontrollstudie). Die genauen Wirkmechanismen über den Zusammenhang zwischen einer dauerhaften Lärmexposition und dem Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und den Blutdruckanstieg müssen anhand weiterer Studien untersucht werden.

Die Ergebnisse der Blutdruckstudie unterstreichen vor allem die Herausforderung und die Relevanz einer kritischen Auseinandersetzung mit der Methodologie von Blutdruckstudien in der Lärmwirkungsforschung. Zum einen sind die Methoden und Designs bisheriger Studien sehr unterschiedlich und ein Vergleich der Ergebnisse somit nur eingeschränkt möglich. Zum anderen ist der Wirkungspfad des Zusammenhangs zwischen Geräuschemission und Blutdruck (wie auch weiterführend zwischen Lärm und kardiovaskulären Erkrankungen) bisher noch unzureichend erforscht. Vor dem Hintergrund der methodischen Mängel der Blutdruckstudie sollten Aussagen basierend auf diesen Ergebnissen mit Vorsicht bedacht werden.

14 Ein konfundierender Faktor ist eine Drittvariable, die mit der unabhängigen Variable (z. B. Lärm) und der abhängigen Variable (z. B. Blutdruck) zusammenhängt und deren Einfluss einen Teil des Zusammenhangs zwischen abhängiger und unabhängiger Variable erklärt. Wird dieser Einfluss nicht berücksichtigt, kann es zu einer Über- oder Unterschätzung des Zusammenhangs zwischen unabhängiger und abhängiger Variable kommen. Ein Beispiel für häufig konfundierende Variablen sind Geschlecht und Alter.

## IV Studie zu den Gesundheitsrisiken durch Verkehrslärm

### Kurzbeschreibung des Moduls

Das Modul „Gesundheitsrisiken“ der NORAH-Studie untersucht den Einfluss von Verkehrslärm auf die Risikoerhöhungen an einer der folgenden fünf Krankheiten zu erkranken: Herzinfarkt, Schlaganfall, Herzinsuffizienz, Brustkrebs und Depression. Im Rahmen einer sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie<sup>15</sup> wurden Krankenkassendaten dreier gesetzlicher Krankenkassen der Rhein-Main-Region untersucht. Insgesamt wurden die Krankenkassendaten aller entsprechend Versicherten der Region mit einem Alter von über 40 Jahren aus dem Zeitraum 2006–2010 analysiert. Eine Teilmenge der Versicherten wurde zudem in einer vertiefenden Befragung weitergehend befragt.

### Zentrale Ergebnisse

Aus der großen Vielfalt der Einzelergebnisse sind aus Sicht des Umweltbundesamts die folgenden Ergebnisse besonders herauszustellen:

- ▶ **Unipolare Depression.** Der stärkste Anstieg in der Risikowahrscheinlichkeit, den die Studie findet, zeigt sich für die unipolare depressive Episode. Der Anstieg liegt je nach Verkehrslärmquelle zwischen 3,9 bis 8,9 Prozent pro 10 dB(A) Anstieg des Dauerschallpegels  $L_{Aeq,24h}$ : Hierbei ist der Risikoanstieg mit 8,9 Prozent für den Luftverkehr am höchsten, gefolgt vom Straßenverkehr mit 4,1 Prozent und dem Schienenverkehr mit 3,9 Prozent.
- ▶ **Herz-Kreislauf-Erkrankungen.** Für die verschiedenen Arten von Herz-Kreislauf-Erkrankungen zeigt sich ein weniger einheitliches Bild als bei der Depression. Insgesamt finden sich für die Verkehrslärmarten Straßenverkehr und Schienenverkehr deutlichere Effekte als für den Luftverkehr. Die höchsten statistischen Risikoerhöhungen pro 10dB(A) Anstieg des Dauerschallpegels  $L_{Aeq,24h}$  sind beim Straßenverkehrslärm mit 2,8 Prozent für den Herzinfarkt, 2,4 Prozent



15 Eine sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie ist eine Studie, die Daten einbezieht, die ursprünglich zu anderen Zwecken erhoben worden sind. In NORAH sind dies Daten, die gesetzliche Krankenkassen über ihre Versicherten gespeichert haben. Darüber hinaus wird in einer Fallkontrollstudie untersucht, inwieweit ein bestimmter Parameter das Risiko verändert an einer gegebenen Krankheit zu erkranken. Hierfür werden Fälle (erkrankte Personen) mit Kontrollen (nicht-erkrankte Personen) verglichen und die Risikoerhöhung in Abhängigkeit von der Exposition gegenüber dem Parameter errechnet.



für die Herzinsuffizienz und 1,7 Prozent für den Schlaganfall zu erkennen. Beim Luftverkehr ist das Risiko an einer Herzinsuffizienz zu erkranken mit einer Erhöhung von 1,7 Prozent pro 10 dB(A) Dauerschallpegel  $L_{Aeq,24h}$  statistisch signifikant.

- **Nächtlicher Maximalpegel.** Eine Betrachtung hoher Luftverkehr-Einzelpegel ( $>50$  dB(A)  $L_{A,max}$ ) bei gleichzeitigem niedrigen Dauerschallpegel ( $<40$  dB(A)  $L_{Aeq,24h}$ ) des Luftverkehrs zeigt eine signifikante Erhöhung der Risikoschätzer für den Schlaganfall und die Herzinsuffizienz. Dieser Zusammenhang ist nur in der Nachtzeit von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr statistisch signifikant.

## Einordnung

Die Ergebnisse des Gesundheitsrisiken-Moduls der NORAH-Studien bestätigen – im Einklang mit weiteren sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudien – dass Verkehrslärm bei einer entsprechenden Geräuschexposition schwerwiegende gesundheitliche Risiken nach sich ziehen kann<sup>(23, 24)</sup>. Insbesondere der verkehrsmittelübergreifende Risikoanstieg der unipolaren Depression bei höherer dauerhafter Geräuscheinwirkung unterstreicht den Einfluss des Verkehrslärms auf die psychische Gesundheit der Anrainerinnen und Anrainer des Frankfurter Flughafens. Darüber hinaus ist von einer Dunkelziffer von Personen mit depressivem Störungsbild auszugehen, die durch Krankenkassendaten nicht erfasst sind, da nicht alle Erkrankten medizinische Hilfe in Anspruch nehmen, weil sie eine Stigmatisierung befürchten.

Für eine sachgemäße Einordnung der Ergebnisse sind aus Sicht des Umweltbundesamts jedoch auch die folgenden wissenschaftlichen Limitationen zu benennen:

Zunächst sind die Fallzahlen für einige Krankheitsbilder bei hohen Lärmpegelstufen (ab 55 dB(A)  $L_{Aeq,24h}$ ) beim Luftverkehr sehr niedrig. Teilweise liegen diese zwischen zwei und elf Erkrankten in den Pegelklassen ab  $>55$  dB(A) Dauerschallpegel ( $L_{Aeq,24h}$ ). In der Pegelklasse  $>60$  dB(A)  $L_{Aeq,24h}$  befinden sich für das Krankheitsbild der unipolaren Depression zum Beispiel noch elf Fälle ( $n = 11$ ). Solch geringe Fallzahlen bedeuten, dass die Ergebnisse zwar statistische

Signifikanz erlangen können, dass jedoch der Abweichungsrahmen innerhalb der das wirkliche Ergebnis liegt (das sog. Konfidenz-Intervall), häufig sehr stark anwächst. Beispielsweise beruht das ebenfalls statistisch signifikante Teilergebnis zu den erhöhten Risikowahrscheinlichkeiten einer Brustkrebserkrankung bei hohen Dauerschallpegel im Nachtzeitraum auf einer Fallzahl von  $n = 6$ . Das Konfidenz-Intervall innerhalb dessen der tatsächliche Risikoanstieg liegt, reicht entsprechend von 31 Prozent bis 579 Prozent. Eine solche Zahl ist nur sehr eingeschränkt belastbar und sollte vor allem als Indikator für die Notwendigkeit weiterführender Forschung gewertet werden.

Neben der Problematik der geringen Fallzahlen ist die Art des Wirkungszusammenhangs bei der unipolaren Depression nicht eindeutig. So ist der Zusammenhang zwischen den Dauerschallpegeln  $L_{Aeq,24h}$  des Luftverkehrs sowie des Schienenverkehrs und der Risikowahrscheinlichkeit an einer unipolaren depressiven Episode zu erkranken nicht linear, sondern umgekehrt U-förmig. Dies bedeutet, dass in den höchsten Pegelklassen ( $>60$  dB(A),  $L_{Aeq,24h}$ ) die Wahrscheinlichkeit an einer Depression zu erkranken nicht weiter kontinuierlich steigt, sondern gegenüber niedrigeren Pegelklassen wieder abnimmt. Ein möglicher wissenschaftlicher Erklärungsansatz hierfür ist, dass ein Zusammenhang zwischen der Lärmempfindlichkeit eines Menschen und der Wahrscheinlichkeit an einer unipolaren Depression zu erkranken existiert. Besonders lärmempfindliche Menschen ziehen möglicherweise aus stark belasteten Regionen eher weg und kommen somit in den hohen Pegelklassen unterrepräsentiert vor. Dies könnte zu einer Verringerung der Zahl von Depressions-Diagnosen in Gegenden mit hoher Geräuschbelastung führen. Hierbei handelt es sich jedoch zum jetzigen Zeitpunkt um eine theoretische Annahme. Die fehlende Kenntnis über die Art und Ursächlichkeit des Zusammenhangs zwischen Schienen- und Luftverkehrslärmexposition verdeutlicht die Notwendigkeit weitergehender Forschung in diesem Bereich.

Insgesamt wirken die Ergebnisse der Fallkontrollstudie in NORAH zunächst weniger eindeutig, als Resultate anderer Studien. Insbesondere der Zusammenhang zwischen Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Verkehrslärm ist weniger deutlich als vergleichbare

Studien nahelegen<sup>(25, 26)</sup>. Dennoch sind die Ergebnisse weitestgehend im Einklang mit den Erkenntnissen aus der Lärmwirkungsforschung. Zudem sind aus Sicht des Umweltbundesamtes vor allem die Erkenntnisse zu den möglichen krankheitsrelevanten Wirkungen nächtlicher Maximalpegel und dem Einfluss des Verkehrslärms auf die psychische Gesundheit hervorzuheben.

Die erhöhten Risikoschätzer für Schlaganfälle und Herzinsuffizienz bei nächtlichen Maximalpegeln über 50 dB(A)  $L_{A,max}$  unterstreichen die Relevanz des besonderen Schutzes vor Lärm in der Nacht für die Bevölkerung. Einerseits stützen sie – im Einklang mit weiteren Teilergebnissen anderer NORAH Studienmodule – die Empfehlung des Umweltbundesamtes den regulären Flugbetrieb an Flughäfen in der Zeit von 22:00 bis 06:00 Uhr ruhen zu lassen. Andererseits verdeutlicht dieses Ergebnis, dass der Diskurs über eine umfassende Implementierung weiterer Kriterien – wie beispielsweise Maximalpegelkriterien – neben dem Dauerschallpegel zur sachgerechten Abschätzung der Gesundheitslasten von Verkehrslärm intensiv weitergeführt werden sollte.

Die verkehrsquellenübergreifenden Risikoerhöhungen an einer unipolaren Depression zu erkranken hebt darüber hinaus die Wichtigkeit lärmassoziierter psychischer Erkrankungen hervor. Sowohl die Studie zu den Gesundheitsrisiken, als auch die Studie zur Belästigung und Lebensqualität in NORAH finden Zusammenhänge zwischen der Verkehrslärmbelastung und der selbstberichteten psychischen Lebensqualität bzw. der ärztlich diagnostizierten mentalen Gesundheit. Psychische Erkrankungen wurden im Kontext der Lärmwirkungen bisher wenig fokussiert untersucht. So existiert zum jetzigen Zeitpunkt kein systematisches Review zu dem Krankheitsbild der unipolaren Depression. Dies unterstreicht die Notwendigkeit weitere Studien zu initiieren, um den Zusammenhang zwischen psychischen Erkrankungen und Lärmexposition sowie möglichen weiteren Faktoren besser zu verstehen. Darüber hinaus ist es aus Sicht des Umweltbundesamtes wichtig, das Verständnis für die Gleichwertigkeit psychischer Erkrankungen gegenüber körperlichen Krankheiten in der gesamtgesellschaftlichen Wahrnehmung zu stärken.



## V Kinderstudie

### Kurzbeschreibung des Moduls

Bereits im Jahr 2014 wurden die Ergebnisse des Kinder-Moduls der NORAH-Studie veröffentlicht. Das Modul befasst sich mit dem Einfluss von Luftverkehrsgeräuschen auf die Lesefähigkeit von Kindern und die sprachlichen Vorläuferfertigkeiten des Lesens sowie mit dem Zusammenhang zwischen Luftverkehrsgeräuschen und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und dem Wohlbefinden der Kinder in der Schule. Im Frühjahr 2012 wurden Leistungserhebungen bei  $n = 1243$  Schülerinnen und Schülern der 2. Klasse durchgeführt. Die Kinder stammten aus 29 unterschiedlich Luftverkehrsgeräusch-belasteten Grundschulen im Rhein/Main-Gebiet, wobei der niedrigste Dauerschallpegel tagsüber  $L_{Aeq,08-14h}$  bei 39 dB(A) und in den am höchsten belasteten Schulen bei 59 dB(A) lag. Zusätzlich wurden Befragungen von Kindern, Eltern und Lehrkräften vollzogen. Für die teilnehmenden Kinder wurden Luftverkehrsgeräuschpegel sowohl am Wohnort als auch an dem jeweiligen Schulstandort ermittelt.

### Zentrale Ergebnisse

- ▶ **Lesekompetenz.** Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei einem Dauerschallpegelanstieg ( $L_{Aeq,08-14h}$ ) von 10 dB(A) der Erwerb der Lesekompetenz um durchschnittlich einen Monat verschlechtert. Die Kinder mit einer fluglärmassoziierten Geräuschbelastung von 59 dB(A) liegen daher mit ihrer Lesefähigkeit etwa zwei Monate hinter den Kindern, an deren Schulen eine durchschnittliche fluglärmassoziierte Geräuschbelastung von 39 dB(A) vorherrscht.
- ▶ **Vorläuferfähigkeiten.** Es wurde kein Zusammenhang zwischen Fluglärm und den sprachlichen Vorläuferfertigkeiten des Lesens, wie Sprachwahrnehmung und auditives Gedächtnis, gefunden.
- ▶ **Wohlbefinden.** Die Schülerinnen und Schüler beurteilen bei steigendem Dauerschallpegel ihr körperliches und psychisches Wohlbefinden weniger positiv (hierbei handelt es sich zwar um einen statistisch signifikanten aber kleinen Effekt<sup>16</sup>).



16 Die Effektstärke bezeichnet die Größe des statistisch signifikanten Effekts und wird dazu verwendet die praktische Relevanz eines statistisch signifikanten Ergebnisses zu verdeutlichen.

- ▶ **Lernen aus Sicht der Kinder.** In hochlärm-belasteten Schulen gaben Kinder häufiger an, dass sie sich durch den Lärm beim Lernen gestört fühlen als Kinder in geringer lärmbelasteten Schulen.
- ▶ **Unterricht aus Sicht des Lehrpersonals.** In hochlärmbelasteten Schulen berichtete das Lehrpersonal signifikant häufiger, dass es aufgrund des Lärms zu Unterbrechungen im Unterrichtsablauf komme und die Kinder abgelenkt würden.

### Einordnung

Die Verzögerung der Entwicklung der Lesekompetenz von bis zu zwei Monaten (bei 20 dB(A) Unterschied) mag absolut betrachtet zunächst eher gering wirken. Ihre Relevanz zeigt sich jedoch bei Berücksichtigung der Relation zur Gesamtlernzeit zum Erwerb der Lesekompetenz bei Kindern: Der Erwerb der Lesekompetenz geschieht in der Regel im ersten Schuljahr. Durch die Schuleingewöhnungsphase und die Ferienzeiten bemisst sich die Gesamtlernzeit des ersten Schuljahres auf ca. sechs Monate. Eine Lernverzögerung von zwei Monaten bedeutet daher eine Verzögerung um etwa ein Drittel der Gesamtleselernzeit gegenüber Kindern, die nicht durch Lärm am Schulort belastet sind. Zum jetzigen Zeitpunkt ist es unklar, ob und wann die Kinder dieses Defizit wieder aufholen und wie lange sie dafür benötigen.

Die Art und Weise, wie Fluglärm auf das Lesenlernen – und auf die kognitive Entwicklung im Allgemeinen – wirkt, ist nach wie vor ungeklärt. Die Annahme, dass der Fluglärm die Vorläuferfähigkeiten des Lesenlernens beeinträchtigt, konnte in der Studie nicht bestätigt werden. Allerdings kam die Studie zu dem Ergebnis, dass sich die Lehrenden durch den Fluglärm erheblich in ihrem Unterricht

gestört fühlen und es zu häufigen Unterbrechungen kommt. Das Lehrverhalten könnte wiederum einen Einfluss auf die Konzentration und den Lernerfolg der Kinder haben. Im Kindermodul der NORAH-Studie wurde die Zusammensetzung und Temperatur der Raumluft nicht gemessen. Die Lehrenden stark fluglärmbelasteter Schulen gaben in der Befragung jedoch an, dass sie Fenster in den Klassenräumen lieber geschlossen hielten um zusätzliche Lärmbelastung zu vermeiden<sup>(27)</sup>. Dies wirkt sich wiederum auf die Luftzusammensetzung aus. Ein hoher CO<sub>2</sub>- und NO<sub>2</sub>-Gehalt bzw. schlechtes Lüftungsverhalten können sich negativ auf Anwesenheit und Schulleistung auswirken<sup>(28, 29)</sup>.

Das Umweltbundesamt empfiehlt daher die Auswirkungen des Fluglärms auf die kognitiven Leistungen bei Kindern in einem Längsschnittdesign zu untersuchen, um langfristige Auswirkungen abbilden zu können. Weiterhin empfiehlt das Umweltbundesamt die CO<sub>2</sub>-Anreicherung der Luft im Unterrichtsraum in künftige Studien ebenso mit einzubeziehen wie die Kontinuität der Lehrstoffvermittlung durch die Lehrenden.

## Fazit

Die einzelnen Teilmodule der NORAH-Studie sind hinsichtlich ihrer Methodik und ihrer Ergebnisse unterschiedlich zu bewerten. Insgesamt lässt sich aus den Ergebnissen der NORAH-Studie schließen, dass alle drei untersuchten Lärmarten (Flug-, Schienenverkehrs-, und Straßenverkehrslärm) bei dauerhafter Exposition negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben, psychisch wie physisch.

Fluglärm wird bei vergleichbarem Dauerschallpegel als belastender empfunden als die anderen Lärmarten. Gleichzeitig ist die Belästigung bei gleicher Dauerschallbelastung in den letzten 10 Jahren kontinuierlich angestiegen. Die Ergebnisse zum Belästigungserleben der NORAH-Studie deuten im Einklang mit weiteren Studien, die einen ähnlichen Trend feststellen, darauf hin, dass die Belästigungskurven, die bisher den politischen Diskurs beeinflussen, dringender Überarbeitung bedürfen. Zudem scheint die Belästigung ein bedeutsamer Moderator der Verbindung zwischen Lärm und dem Wohlbefinden bzw. der Gesundheit zu sein. Insbesondere die selbstberichtete psychische Lebensqualität und die psychische Gesundheit werden durch Verkehrslärm beeinträchtigt. Die Relevanz der Psyche sowohl im Hinblick auf die Wahrnehmung der Lärmbelastung als auch hinsichtlich der Auswirkungen des Lärms auf die Gesundheit wurde in dieser Studie herausgestellt. Das Umweltbundesamt empfiehlt daher psychische Faktoren in zukünftigen Lärmwirkungsstudien stärker zu berücksichtigen.

Des Weiteren verdeutlichen die Ergebnisse der NORAH-Studie die Wichtigkeit der bestehenden UBA-Empfehlung, den regulären Flugbetrieb an allen Flughäfen in der Zeit von 22:00 bis 06:00 Uhr ruhen zu lassen. Die Ergebnisse zu den Wirkungen nächtlicher Einzelereignisse mit hohen Maximalschalldruckpegeln unterstreichen darüber hinaus die Relevanz eines Diskurses über die sachgerechte Erweiterung der bestehenden Lärmschutzmaßnahmen. Am Verkehrsflughafen Leipzig/Halle existiert ein solches Maximalpegel-Kriterium zur Ausweisung des Nachtschutzgebiets bereits. Auch das Gesetz

zum Schutz gegen Fluglärm verwendet zur Bestimmung der Nachtschutzzone des Lärmschutzbereichs an Flugplätzen ein Maximalpegel-Häufigkeitskriterium (NAT-Kriterium), das sich jedoch inhaltlich vom Maximalpegel-Kriterium am Flughafen Leipzig/Halle unterscheidet. Im Rahmen der derzeitigen Evaluation des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm wird das Umweltbundesamt prüfen, ob das NAT-Kriterium weiterentwickelt werden sollte. Darüber hinaus werden wir die Ergebnisse der NORAH-Studie zum Anlass nehmen, erweiterte Schutzkonzepte für den Tagesrandstundenbereich zu eruiieren, um insbesondere dem zunehmenden Luftverkehrsaufkommen in den Morgenstunden wirkungsgerecht im Sinne des präventiven Gesundheitsschutzes zu begegnen.

Obgleich die NORAH-Studie erneut bestätigt, dass eine kontinuierliche Lärmbelastung eine relevante Risikogröße für die Gesundheit des Menschen darstellt, zeigt die Studie auch, dass weiterhin hoher Forschungsbedarf in allen Wirkungsbereichen existiert, um das Verständnis über die genauen Mechanismen, wie Lärm sich auf die Gesundheit des Menschen auswirkt, zu verbessern.



## Literaturverzeichnis

- (1) Schreckenber D, Meis M. Gutachten Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens. Endbericht Regionales Dialogforum Flughafen Frankfurt. 2006.
- (2) Miedema H, Oudshoorn C. Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental health perspectives*. 2001;109(4):409.
- (3) Gjestland T, Gelderblom FB, Fidell S, Berry B, editors. Temporal trends in aircraft noise annoyance. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings; 2015: Institute of Noise Control Engineering.
- (4) Janssen S, Vos H. A comparison of recent surveys to aircraft noise exposure-response relationships. TNO Report. 2009;34:14.
- (5) Guski R. How to forecast community annoyance in planning noisy facilities. *Noise and Health*. 2004;6(22):59.
- (6) Orban E, McDonald K, Sutcliffe R, Hoffmann B, Fuks KB, Dragano N, et al. Residential Road Traffic Noise and High Depressive Symptoms after Five Years of Follow-up: Results from the Heinz Nixdorf Recall Study. *Environ Health Perspect*. 2015.
- (7) Greiser E, Greiser C. Umgebungslärm und Gesundheit am Beispiel Bremen. 2015. Accessed 17.02.2016. Available from: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_105\\_2015\\_umgebungslaerm\\_und\\_gesundheit\\_am\\_beispiel\\_bremen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_105_2015_umgebungslaerm_und_gesundheit_am_beispiel_bremen.pdf).
- (8) Hirotsu C, Tufik S, Andersen ML. Interactions between sleep, stress, and metabolism: From physiological to pathological conditions. *Sleep Science*. 2015;8(3):143-52.
- (9) Hume KI, Brink M, Basner M. Effects of environmental noise on sleep. *Noise and Health*. 2012;14(61):297.
- (10) Basner M, Brink M, Bristow A, de Kluienaar Y, Finegold L, Hong J, et al. ICBEN review of research on the biological effects of noise 2011-2014. *Noise and Health*. 2015;17(75):57.
- (11) Goel N, Rao H, Durmer JS, Dinges DF. Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *Seminars in neurology*; 2009: NIH Public Access.
- (12) Basner M, Glatz C, Griefahn B, Penzel T, Samel A. Aircraft noise: effects on macro-and microstructure of sleep. *Sleep medicine*. 2008;9(4):382-7.
- (13) Umweltbundesamt. Presseinfo Nr. 4 vom 16.01.2014: Lärmschutz im Rahmen des nationalen Luftverkehrskonzeptes stärken. 2014. Accessed 24.02.2016. Available from: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/pi-2014-04\\_laermschutz\\_im\\_rahmen\\_des\\_nationalen\\_luftverkehrskonzeptes\\_staerken.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/pi-2014-04_laermschutz_im_rahmen_des_nationalen_luftverkehrskonzeptes_staerken.pdf).
- (14) Eriksson C, Bluhm G, Hilding A, Östenson C-G, Pershagen G. Aircraft noise and incidence of hypertension – gender specific effects. *Environmental research*. 2010;110(8):764-72.
- (15) Lercher P, Widmann U. Association and moderation of self-reported hypotension with traffic noise exposure: A neglected relationship. *Noise and Health*. 2013;15(65):205.
- (16) Lercher P, Widmann U, Thudium J. Hypotension and environmental noise: A replication study. *International journal of environmental research and public health*. 2014;11(9):8661-88.
- (17) Haralabidis AS, Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampaolo M, Borgini A, Dudley M-L, et al. Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *European heart journal*. 2008;29(5):658-64.
- (18) Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Cadum E, et al. Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study. *Environmental Health Perspectives*. 2008;116(6):329-333.
- (19) Huang D, Song X, Cui Q, Tian J, Wang Q, Yang K. Is there an association between aircraft noise exposure and the incidence of hypertension? A meta-analysis of 16784 participants. *Noise and Health*. 2015;17(75):93.
- (20) Haralabidis AS, Dimakopoulou K, Velonaki V, Barbaglia G, Mussin M, Giampaolo M, et al. Can exposure to noise affect the 24 h blood pressure profile? Results from the HYENA study. *Journal of epidemiology and community health*. 2011;65(6):535-41.
- (21) Davies H, Kamp I. Noise and cardiovascular disease: A review of the literature 2008-2011. *Noise and Health*. 2012;14(61):287.
- (22) Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*. 2014;383(9925):1325-32.
- (23) Greiser C, Greiser E. Risikofaktor nächtlicher Fluglärm: Abschlussbericht über eine Fall-Kontroll-Studie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Anlagenband: Umweltbundesamt; 2010.
- (24) Greiser E, Janhsen K, Greiser C. Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigung. 2007. Accessed 17.02.2016. Available from: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3153.pdf>.
- (25) Babisch W. Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. *Noise and Health*. 2014;16(68):1.
- (26) Vienneau D, Schindler C, Perez L, Probst-Hensch N, Rössli M. The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: a meta-analysis. *Environmental research*. 2015;138:372-80.
- (27) Bergström K, Spilski J, Mayerl J, Möhler U, Lachmann T, Klatt M. Auswirkungen von Fluglärm an Grundschulen auf den Unterricht: Ergebnisse aus der Lehrerbefragung der NORAH-Kinderstudie.
- (28) Mendell MJ, Heath GA. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor air*. 2005;15(1): 27-52.
- (29) Haverinen-Shaughnessy U, Moschandreas D, Shaughnessy R. Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement. *Indoor air*. 2011;21(2):121-31.





► **Diese Broschüre als Download**  
Kurmlink: [bit.ly/2das670](https://bit.ly/2das670)

 [www.facebook.com/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [www.twitter.com/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)