

# NORAH (Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health) – Konzept einer Studie zur Wirkung von Verkehrslärm bei Anwohnern von Flughäfen

Dirk Schreckenberg, Thomas Eikmann, Rainer Guski, Maria Klatte, Uwe Müller, Christin Peschel, Jochen Schmidt, Andreas Seidler, Ulrich Möhler

**Zusammenfassung** Im Beitrag<sup>1)</sup> wird das Konzept und die Methodik einer unter der Bezeichnung NORAH (**Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health**) laufenden umfangreichen Studie zur Wirkung von Verkehrslärm (Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm) vorgestellt. Die NORAH-Studie wurde anlässlich der Diskussionen um den Ausbau des Frankfurter Flughafens von der Gemeinnützigen Umwelthaus GmbH, Kelsterbach, einer 100%igen Tochter des Landes Hessen, nach europaweiter Ausschreibung im April 2011 an ein interdisziplinäres Forschungskonsortium, koordiniert von der Ruhr-Universität Bochum und der ZEUS GmbH, Hagen, vergeben. Die Untersuchung wird vornehmlich in der Rhein-Main-Region sowie darüber hinaus an den Flughäfen Berlin-Brandenburg, Köln-Bonn und Stuttgart durchgeführt. Die Studie umfasst Längs- und Querschnittsuntersuchungen und eine epidemiologische Fall-Kontroll-Studie, in denen ein Methodenmix, bestehend aus akustischen Berechnungen und Messungen der Verkehrslärmexposition, Befragungen, physiologischen Messungen, psychologischen Testverfahren sowie Sekundärdatenanalysen von Krankenkassendaten zum Einsatz kommt.

## NORAH (Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health) – Concept of a study on effects of transportation noise on residents living in the vicinity of an airport

**Summary** This article is a revised and extended version of the authors' contributions to ALD newsletter No. 9 and to the conference DAGA 2012<sup>1)</sup>. The concept and methods of NORAH (**Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health**), a large-scale study about the effects of transportation noise, is presented. On the occasion of discussions among stakeholders about the extension of Frankfurt airport in April 2011, and after a European-wide call for proposals, a group of scientists coordinated by Ruhr-University Bochum and ZEUS GmbH, Hagen, was commissioned by the Hessian state-owned Environment & Community Center, Kelsterbach, to conduct the NORAH study. The study mainly takes place in the Rhine Main region in the vicinity of Frankfurt airport and in addition at the airports Berlin-Brandenburg, Cologne-Bonn, and Stuttgart. NORAH comprises longitudinal and cross-sectional sub-studies as well as an epidemiological case-control study. A multi-method approach including acoustical calculations and measurements, surveys, physiological measurements, psychological tests and secondary analysis on health insurance data is applied.

**S**eit vielen Jahren werden in der Rhein-Main-Region sowie an anderen Flughäfen im Zuge von Erweiterungsvorhaben von Flughäfen (u. a. Flughafen Frankfurt, Berlin-Brandenburg, München) die Auswirkungen des Fluglärms auf die Flughafen-Anrainer diskutiert. Eine Reihe von neueren nationalen und europäischen

Wirkungsstudien zur Wirkung von Fluglärm auf die Belästigung (u. a. [3; 4]), den Schlaf [5], auf das Risiko der Erkrankung an Hypertonie [6], Herz-Kreislauf-Erkrankungen und psychischen Erkrankungen (Depression) [7] liegen vor und weisen auf die gesundheitliche Bedeutung der Wirkung von Fluglärm im Besonderen und Verkehrslärm im Allgemeinen hin. Die Ergebnisse der neueren Studien zu den gesundheitlichen Folgen des Fluglärms werden gerade unter den Beteiligten an expandierenden Flughäfen intensiv und zum Teil kontrovers diskutiert. Ähnliche Diskussionen finden auch bezogen auf andere Verkehrslärmquellen statt, insbesondere in hoch verkehrsbelasteten Gebieten und an Orten mit Verkehrsplanungsvorhaben, die Auswirkungen auf die Lärmexposition haben (z. B. bezogen auf Bahnlärm an der Bahnstrecke im Rheintal).

Vor diesem Hintergrund hat die Gemeinnützige Umwelthaus GmbH, Kelsterbach, eine 100%ige Tochter des Landes, die NORAH-Studie (**Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health**) nach einer europaweiten Ausschreibung im April 2011 in Auftrag gegeben.

Die NORAH-Studie hat die Untersuchung der Auswirkungen nicht nur des Fluglärms, sondern des Lärms vom Flug-, Schienen- und Straßenverkehr auf die Gesundheit und Lebensqualität der betroffenen Wohnbevölkerung insgesamt zum Gegenstand. Ein Schwerpunkt besteht darin, die Fluglärmwirkungen im Umfeld des expandierenden Frankfurter Flughafens im Zeitverlauf zu betrachten und mit den Lärmwirkungen an anderen Flughäfen zu vergleichen. Dabei ist zu beachten, dass in Frankfurt eine ganze Reihe von Änderungen stattfanden: die Eröffnung der neuen Landebahn am 21. Oktober 2011, Änderungen von Flugrouten sowie des Nachtflugbetriebs. Die Wirkung anderer Verkehrslärmquellen (Schienen- und Straßenverkehrslärm) sowie die Wirkung der kombinierten Verkehrslärmwirkung durch mehrere Verkehrslärmquellen werden in die Betrachtung mit einbezogen.

Neben der Gewinnung und Vertiefung wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Verkehrslärmwirkung hat die Studie die Ableitung von Handlungsempfehlungen, z. B. hinsichtlich aktiver Schallschutzmaßnahmen (hier im Sinne von lärmoptimierten Flugrouten) am Flughafen, für eine fundierte regionale Lärminderungsplanung, für ein Siedlungsmanagement und weitere Informationsmaßnahmen zum Thema der Lärmwirkung, zum Ziel.

In der Studie geht es also nicht allein darum, zu wissenschaftlichen Zwecken Informationen und Daten von betroffenen Menschen einzuholen, sondern – soweit die Ergebnisse dies ermöglichen – Entscheidungshilfen für eine Optimierung der regionalen Lärmsituation im Sinne der Minderung negativer Lärmwirkungen bereitzustellen.

Mehrere Forschungs- und Fachinstitutionen der Akustik, Medizin, Physik, Psychologie und Sozialwissenschaft haben sich zu einem Forschungskonsortium unter der Gesamtkoordination der

<sup>1)</sup> Dieser Beitrag ist eine überarbeitete und erweiterte Fassung eines Beitrags im ALD-Newsletter Nr. 9 [1] und eines Vortrags auf der DAGA 2012 [2].

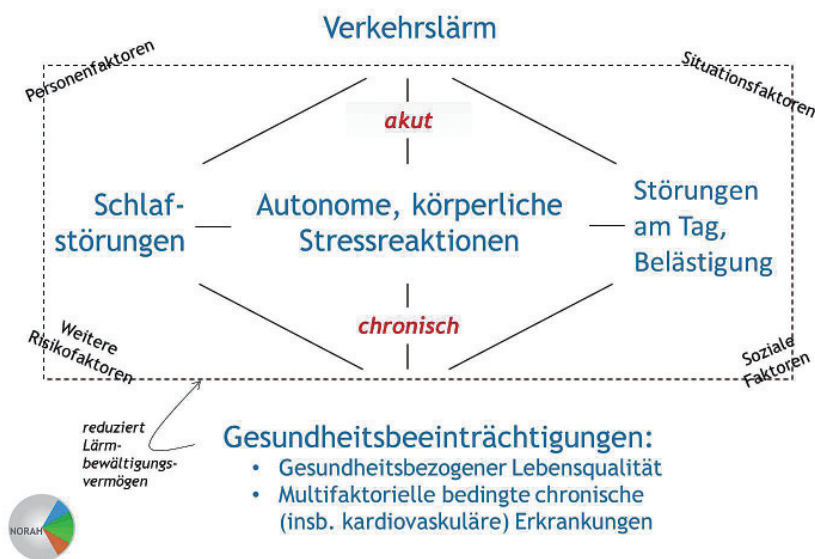


Bild 1 Schema zur gesundheitsbezogenen Wirkung von Verkehrslärm.

Ruhr-Universität Bochum und der ZEUS GmbH, Hagen, zusammengeschlossen, um der ganzheitlichen Erforschung der Wirkung von Verkehrslärm nachzugehen.

### Konzeptuelles Rahmenmodell zur NORAH-Studie

In der Studie wird von einem stresstheoretischen Ansatz ausgegangen, wonach Lärmereignisse zu akuten psychischen und physischen Veränderungen im Menschen führen [8] (Bild 1). Deren Ausprägung sowie die aus den akuten Lärmsituationen resultierende erlebte Lärmbelastigung hängen u. a. (a) von der Häufigkeit und Intensität des Lärms, (b) von personenbezogenen Faktoren (z. B. Alter, Lärmempfindlichkeit), (c) Einstellungen zur Lärmquelle und zu den als verantwortlich für die Lärminderung wahrgenommenen Institutionen und Personen, (d) von der Medienberichterstattung (soziale Faktoren), (e) von situativen Faktoren (Wohnbedingungen, Lüftungsverhalten, vorhandener Schallschutz) und (f) sonstigen Risikofaktoren (z. B. lärmunabhängige Belastungen, Gesundheitsverhalten) betroffener Personen ab ([9 bis 13]). Insbesondere bei dauerhafter Lärmexposition, wenn Schutz- und Ausgleichsmöglichkeiten nicht mehr ausreichen, können die wiederholten akuten Lärmreaktionen zur Entstehung oder Verstärkung von Erkrankungen insbesondere des Herz-Kreislauf-Systems [14; 15] und bei Kindern darüber hinaus zur Beeinträchtigung ihrer kognitiven Entwicklung beitragen [16].

Somatischen und psychischen Erkrankungen kommt in diesem Kontext eine doppelte Funktion zu: Zum einen limitieren Vor-

erkrankungen die Ressourcen von Anwohnern, Umweltbelastungen wie Verkehrslärm zu ertragen und psychisch wie physisch adäquat zu bewältigen [17 bis 19]. Zum anderen können sie wiederum Resultat andauernden chronischen psychischen und physischen Stresses sein, wie er als Reaktion auf Verkehrslärm auftritt [12; 14].

Hinzu kommt, dass im Falle von wesentlichen Änderungen der Lärmsituation, wie es z. B. am Frankfurter Flughafen mit Eröffnung der neuen Landebahn der Fall ist, die resultierenden Lärmreaktionen auf der Basis von Expositions-Wirkungsfunktionen, die auf Bestandsdaten beruhen, nur unzureichend abgeschätzt werden können [20; 21]. In jedem Fall muss bei der Expositions-Wirkungsanalyse berücksichtigt werden, dass gesundheitsrelevante Lärmreaktionen, Erwartungen zum Flughafenausbau und seinen Folgen für die eigene Lebensqualität und Gesundheit sowie die Einstellung zur Lärmquelle und zu beteiligten Akteuren und Entscheidungsträgern miteinander verflochten sind. Möglicherweise kommt dem Ausbau des Flughafens eine eigene gesundheitsrelevante Wirkung zu, zusätzlich bzw. unabhängig davon, wie die akuten Fluglärmimmissionen für die einzelnen betroffenen Anwohner tatsächlich ausgeprägt sind.

### Anforderung an die Akustik

Die Vielfalt der in der NORAH-Studie thematisierten Wirkungen und Aufgabenstellungen stellt hohe Anforderungen an eine wissenschaftlich fundierte Erfassung der quellspezifischen Verkehrslärmexposition. Ziel der Ermittlung der akustischen Daten ist, ein möglichst realistisches Bild von der akustischen Situation des jeweiligen Probanden zu erhalten. Dies wird dadurch erreicht, dass zunächst die tatsächlichen Verkehrsmengen und weitere akustisch relevante Parameter des Flug-, Straßen- und Schienenverkehrs für die Erhebungszeiträume bei den jeweiligen zuständigen Behörden erfasst werden. Die für die Schallausbreitung maßgeblichen Einflussparameter der Topographie und Gebäudestellung werden durch die Modellierung des Geländes und der Bebauung („Klötzchenmodell“) berücksichtigt; dieses Geländemodell bezieht sich auf den gesamten Bereich des Regierungsbezirks Darmstadt sowie die Bereiche der Vergleichsflughäfen, die innerhalb der 40-dB-Nacht-Isophone aus Fluglärm liegen. Eine weitere Korrektur des Schallpegels erfolgt aufgrund der erfragten Ausrichtung der Wohn- und Schlafräume bezüglich der jeweiligen Schallquelle. Für einen Teil der Probanden werden zusätzlich die Schallpegel innerhalb der Räume gemessen oder über das Schalldämmmaß der

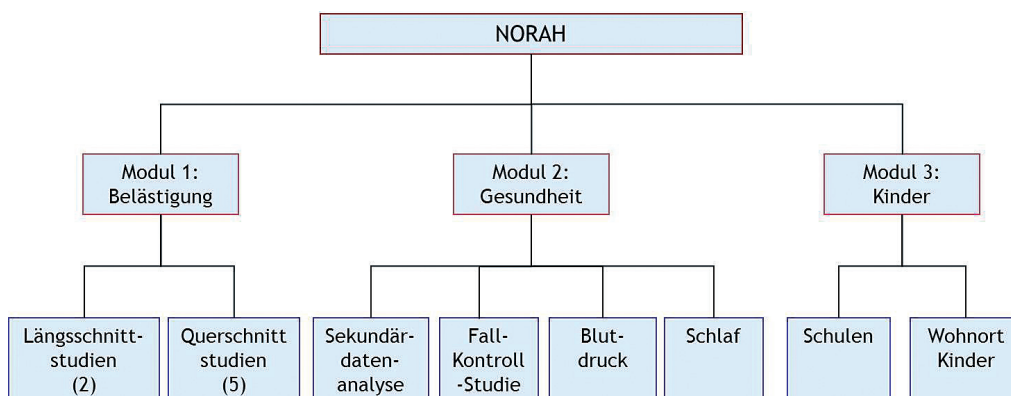


Bild 2 Übersicht über die Studienteile der NORAH-Studie.

## Module und Teilstudien der NORAH-Studie.

Modul	Teilstudie		Lärmquelle	Typ der Studie 2011	Jahr		
					2011	2012	2013
1: Lärmbelastigung und Lebensqualität	1	Rhein-Main Panel	<b>Flug</b> , Straße, Schiene	LS	X	X	X
	2	Rhein-Main Straße	Flug, <b>Straße</b> , Schiene	QS		X	
	3	Rhein-Main Schiene	Flug, Straße, <b>Schiene</b>	QS		X	
	4	Rhein-Main Kombi	<b>Flug-Straße</b> ; <b>Flug-Schiene</b>	QS		X	
	5	Berlin BER Panel		LS		X	X
	6	Köln/Bonn	<b>Flug</b> , Straße, Schiene	QS			X
	7	Stuttgart		QS			X
2: Gesundheit	8	Rhein-Main: KK-Analyse & Fall-Kontroll-Studie	<b>Flug</b> , <b>Straße</b> , <b>Schiene</b>	SDA FKS		X	
	9	Rhein-Main: Blutdruck-Monitoring		LS		X	X
	10	Rhein-Main: Schlafstudie	<b>Flug</b> , Straße, Schiene	LS	Poly	Poly EKG+Akti	Poly EKG+Akti
3: Entwicklung von Kindern	11	Rhein-Main: Kognition & gesundheitsbezogene Lebensqualität		QS		X	

LS = Längsschnittstudie; QS = Querschnittstudie; SDA = Sekundärdatenanalyse; FKS = Fallkontroll-Studie; Poly = Polysomnographie, EKG+Akti = EKG-Messungen kombiniert mit Aktimetrie; **Fettdruck**: primäre Lärmquelle

Außenbauteile bestimmt. Alle akustischen Daten werden in einer Datenbank abgelegt, aus der die entsprechend der jeweiligen Fragestellung erforderlichen akustischen Kennwerte abgefragt werden können.

### Module und Teilstudien der NORAH-Studie

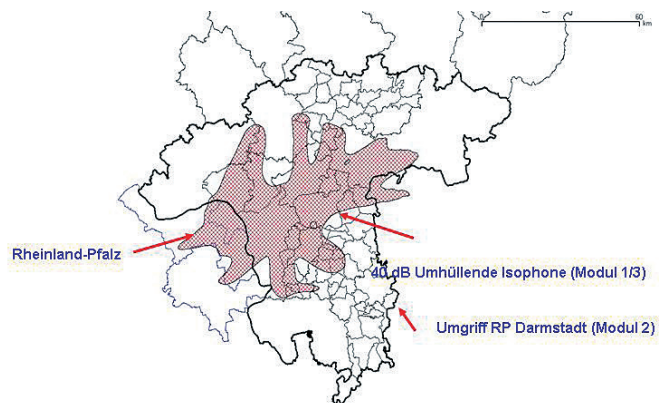
Insgesamt beinhaltet die NORAH-Studie elf Teilstudien, zusammengefasst zu drei Modulen (**Bild 2, Tabelle**).

Der Untersuchungsraum der NORAH-Studie in der Rhein-Main-Region für die Module 1 (ohne Vergleichsflughäfen), 2 und 3 ist in **Bild 3** dargestellt.

#### Modul 1

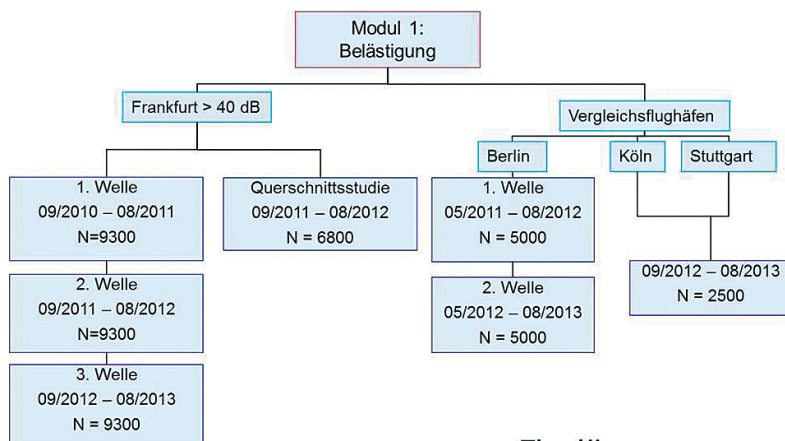
Das Untersuchungsmodul 1 „Belastigung & Lebensqualität“, das Basismodul der Lärmwirkungsstudie, befasst sich mit dem Belästigungs- und Störungserleben durch Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm sowie mit den Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Lebensqualität (Gesundheit, Wohn- und Schlafqualität) der betroffenen Wohnbevölkerung. Dabei sollen die Interaktionen und Kausalbeziehungen zwischen der quellspezifischen Verkehrsgeräuschbelastung, den Lärmreaktionen (erlebte Störungen, Belästigung) und Bewältigungsbemühungen sowie weiteren möglichen Gesundheitsfolgen untersucht werden. Zudem werden Vergleichsanalysen zwischen den Expositions-Wirkungsbeziehungen für den Fluglärm in der Rhein-Main Region und den Expositions-Wirkungsbeziehungen der anderen Verkehrslärmquellen Schienen- und Straßenverkehr sowie bei gleichzeitiger Einwirkung mehrerer Verkehrslärmquellen (Flug- und Schienenverkehr, Flug- und Straßenverkehr) vorgenommen. Ferner werden die Fluglärmwirkungen am expandierenden Flughafen Frankfurt mit jenen an einem anderen Flughafen mit „Änderungskontext“ (Berlin-Brandenburg) sowie mit denen an „Bestands“-Flughäfen (Köln/Bonn und Stuttgart) verglichen.

Methodisch erfolgt dies in Form von Längsschnitterhebungen und ergänzenden Querschnitts-Teilstudien. Die jeweils erforderlichen Stichprobengrößen wurden anhand statistischer Powerbe-



**Bild 3** Untersuchungsraum Rhein-Main.

rechnungen ermittelt. Basis bildet die Rhein-Main-Panelstudie (Teilstudie 1). Mit einer angestrebten Zahl von rund 7 000 Personen, die geschichtet nach aktueller Fluglärmbelastung (Umhüllende der Dauerschallpegel für Tag und Nacht) und prognostizierten Änderungen (Zunahme, Abnahme, keine Veränderung) per Zufall gezogen und befragt werden sollen bzw. sollten, erfolgen wiederholte Befragungen, einmal vor Inbetriebnahme der Landebahn im Oktober 2011, dann 12 Monate später im Jahr 2012 und 24 Monate nach Inbetriebnahme der Flugbahn im Jahr 2013. Der Untersuchungsraum für diese Panelstudie umfasst alle Wohngebiete innerhalb der umhüllenden Kurve des Tages- und Nachtdauerschallpegels von 40 dB(A) für Fluglärm (Bezugsjahr für die Stichprobenziehung: 2007). Die erste Befragungswelle ist in 2011 realisiert worden; insgesamt konnte eine Anzahl von 9 247 Personen für die Panelteilnahme gewonnen werden. Inhalte der Befragungen sind im Wesentlichen die Lärmbelastigung und Störungen durch verschiedene Lärmquellen, Wohnqualität, Schlafqualität und Angaben zur Gesundheit und erlebten Lebensqualität sowie die Einstellung zu den Lärmquellen und für Lärmschutz ver-



**Fluglärm**

Je Bezugsjahr, Monat für verschiedene Tageszeiten

$L_{Aeq}$ ,  $L_{Amax}$

**Straßen-/Schienenlärm**

Je Bezugsjahr für verschiedene Tageszeiten

$L_{Aeq}$ ,  $L_{Amax}$



Monat	09/2010 - 08/2011															
Tag	wochentags						wochenends									
Stunde	5-6	6-8	8-14	14-18	18-20	20-22	22-23	23-5	5-6	6-8	8-14	14-18	18-20	20-22	22-23	23-5

Bild 4 Übersicht akustischer Parameter und Bezugszeiträume für Modul 1.

antwortlichen Personen bzw. Institutionen und schließlich soziodemografische Faktoren. Parallel werden für die Wohnadresse jedes Probanden, jährlich aktualisiert, akustische Kennwerte (Dauerschallpegel, Maximalpegelverteilung, Anzahl von Ereignissen) für Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm, zum Teil bezogen auf verschiedene Tageszeiträume, ermittelt. Entsprechende Vergleichserhebungen sind mit rund 5 000 Anwohnern am Flughafen Berlin-Brandenburg als Längsschnittstudie in den Jahren 2012 und 2013 sowie als Querschnittsstudie im Jahr 2013 mit je 2 500 Anwohnern im Umfeld der Flughäfen Köln/Bonn und Stuttgart vorgesehen.

Ergänzend werden für die Bestimmung von Expositions-Wirkungskurven für Straßen- und Schienenverkehrslärm Wohnadressen in der Rhein-Main Region mit jeweils Straßen- bzw. Schienenverkehr als primärer Verkehrslärmquelle nach einem geschichteten Zufallsverfahren ausgewählt. Mit den ausgewählten Untersuchungsteilnehmern werden einmalig im Jahr 2012 an die jeweiligen Lärmquellen angepasste Befragungen zu den Lärmwirkungen und quellenspezifische, adressgenaue akustische Berechnungen vorgenommen. Jeweils ca. 3 000 Personen sollen an der Straßen- bzw. Schienenlärm-Teilstudie teilnehmen. Für die Analyse der Wirkung von kombinierten Verkehrslärmquellen (jeweils Fluglärm kombiniert mit Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm) werden die Daten der genannten Längs- und Querschnittsstudien ergänzt um ca. 800 weitere ebenfalls 2012 stattfindende Erhebungen in Wohngebieten, in denen Flug- und Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm jeweils bezogen auf den Dauerschallpegel gleich dominant sind. Somit lässt sich die Belästigungswirkung kombinierter Verkehrslärmquellen in Abhängigkeit von der quellenspezifischen und Gesamtgeräuschbelastung und der Dominanz der Verkehrslärmquellen untersuchen.

Eine Übersicht der für das Modul 1 vorgesehenen akustischen Parameter und Bezugszeiträume zeigt **Bild 4**.

**Modul 2**

Im zweiten Modul „Gesundheit“ werden die gesundheitlichen Effekte von Verkehrslärm detaillierter in drei Teilstudien untersucht. Dazu gehören eine Analyse von Krankenkassendaten von Versicherten aus dem Regierungsbezirk Darmstadt, den Städten Mainz, Worms und der Region Rheinhessen kombiniert mit einer analytischen Fall-Kontroll-Studie, ein Blutdruckmonitoring und eine Längsschnittstudie zur Fluglärmwirkung auf die Schlafstruktur.

Für die Krankenkassendaten-Analyse wird ein Verbund von gesetzlichen und – wenn möglich – privaten Krankenkassen aufgebaut. Es ist vorgesehen, Daten zu ambulanten und stationären Diagnosen und Medikamentenverschreibungen insbesondere bezogen auf solche Erkrankungen auszuwerten, zu denen in bisherigen Studien Zusammenhänge zum Lärm aufgezeigt wurden. Dazu zählen vor allem Herz-Kreislaufkrankungen inklusive Bluthochdruck und Depression. Zudem werden auch mögliche Zusammenhänge zu Krebserkrankungen untersucht. Diesen Gesundheitsdaten werden quellenspezifische, adressenbezogen ermittelte Lärmbelastungsdaten zugeordnet, um getrennt für die Lärmquellen Flug, Schiene und Straße Assoziationen zwischen den Krankenkassendaten und der Lärmbelastung untersuchen zu können. Erstmals sollen dabei auch frühere Wohnadressen der Versicherten, sofern diese im Untersuchungsraum liegen, berücksichtigt werden, um die Prävalenz (Vorherrschen) von Erkrankungen besser von Inzidenzfällen (Neuerkrankungen) unterscheiden und dabei auch die „Verkehrslärm-Historie“ einer Person betrachten zu können. Es wird erwartet, dass ein Datensatz von rund 1,5 bis 2 Mio. Versicherten aus der Rhein-Main Region aus dem Zeitraum der Jahre 2000 bis ca. 2009 für die Zusammenhangsanalysen zur Verfügung steht.

Um über Aussagen zu Lärm-Gesundheits-Assoziationen hinausgehend auch Kausalaussagen zur gesundheitsbezogenen Wirkung von Verkehrslärm treffen zu können, gilt es, wesentliche Risikofak-

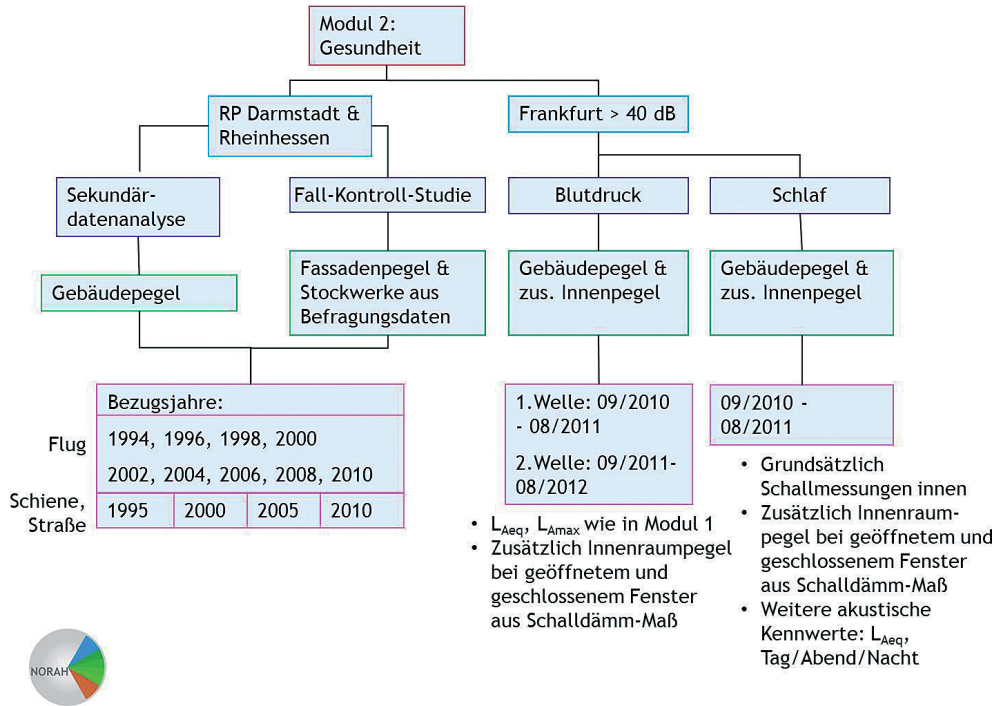


Bild 5 Übersicht akustischer Parameter und Bezugszeiträume für Modul 2.

toren der betrachteten Erkrankungen auf individueller Ebene zu erheben und in die statistischen Modellrechnungen einzubeziehen. Dazu sollen die Sekundärdaten der Krankenkassen um Primärdaten von Versicherten ergänzt werden. Dies geschieht im Rahmen einer an die Krankenkassendaten-Analyse anknüpfende Fall-Kontroll-Studie. Die Fall-Kontroll-Studie fokussiert dabei unter den Versicherten auf Inzidenzfälle von Herzinfarkt, Herzschwäche und Schlaganfall. Statistische Powerberechnungen ergaben, dass pro Fallgruppe sowie für eine weitere Gruppe von nicht an den genannten drei Herz-Kreislauf-Erkrankungen leidenden Versicherten („Kontrollpersonen“) jeweils 6 000 Fälle, also insgesamt ein Stichprobenumfang von 24 000 Untersuchungspersonen notwendig ist. Diese Personen sollen als Versicherte über die Krankenkassen gewonnen werden und erhalten einen Fragebogen, in dem sie Auskunft über ihre Gesundheit, berufliche und private Belastungen, Lebensstil, Stress sowie Risikofaktoren/Confounder-variablen kardiovaskulärer Erkrankungen (u. a. Tabak- und Alkoholkonsum, Body-Mass-Index, Wohnsituation und berufliche Situation in den letzten Jahren) geben.

Weiterhin ist ein Blutdruckmonitoring bei einer Substichprobe aus dem Modul 1 von 2 000 Teilnehmern vorgesehen. Es ist bekannt, dass Bluthochdruck ein bedeutsamer Risikofaktor für Herzkrankungen darstellt. Zudem haben Studien gezeigt, dass eine Assoziation zwischen Fluglärm und dem Risiko von Bluthochdruck (Hypertonie) besteht [14]. Um genauer zu untersuchen, inwieweit mit der Flughafenexpansion einhergehende Änderungen in der Fluglärmbelastung mit Änderungen im durchschnittlichen Blutdruck im Zeitverlauf korrespondieren, werden die Untersuchungsteilnehmer ausführlich angeleitet, in zwei dreiwöchigen Erhebungswellen in 2012 und ca. 12 Monate später in 2013 mehrmals am Tag den eigenen Blutdruck zu messen und automatisch zu protokollieren. Daneben werden Fragebogen zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität und zu Risikofaktoren von Herz-Kreislauf-erkrankungen erhoben.

Schließlich werden die Effekte nächtlichen Fluglärms und der im Zuge des Flughafenbaus erfahrenen Änderungen des Nacht-

flugbetriebs am Frankfurter Flughafen auf das Schlafverhalten von Anwohnern physiologisch und mittels täglicher Befragungen im Rahmen einer Längsschnitt-Schlafstudie mit wiederholten Messungen vor der Inbetriebnahme der Nord-West-Bahn im Jahre 2011 und 12 sowie 24 Monate nach Inbetriebnahme (2012 bzw. 2013) untersucht. Hierzu wird das vom DLR am Köln/Bonner Flughafen entwickelte Verfahren zur Erfassung fluglärmbedingter Änderungen der Schlafstruktur und Aufwachreaktionen angewandt. Vor Inbetriebnahme der neuen Landebahn wurden umfangreiche physiologische Messungen (Polysomnographie) des Schlafverhaltens mit 49 Personen in mehreren aufeinanderfolgenden Nächten im Schlafzimmer der Teilnehmer durchgeführt und parallel der Fluglärm im Innenraum am Ohr des Schläfers gemessen. Zusätzlich fanden morgendliche Befragungen zur Schlafqualität in der vergangenen Nacht statt. Seit Inbetriebnahme der neuen Landebahn herrscht ein – zunächst vorläufiges – Nachtflugverbot für den Zeitraum zwischen 23 und 5 Uhr. Im Urteil des Bundesverwaltungsgerichts in Leipzig vom 4. April 2012 [22] wurde die Unzulässigkeit von Flügen im Zeitraum 23 bis 5 Uhr bestätigt. Laut Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau des Flughafens Frankfurt Main [23] sind durchschnittlich bis zu 150 Flüge in der Gesamtnacht zwischen 22 und 6 Uhr vorgesehen, laut Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 4. April 2012 reduziert sich diese Zahl auf 133 planmäßige Flüge. Dennoch ist davon auszugehen, dass zumindest ein Teil der vor Eröffnung der NW-Landebahn [23] geplanten ca. 51 Flüge im Zeitraum von 23 bis 5 Uhr in die Nachtrandstunden 22 bis 23 Uhr und 5 bis 6 Uhr verlagert wird. Die Verlagerungen der Nachtflüge und deren Auswirkungen auf das Aufwachverhalten der Anwohner wird untersucht, indem die Messungen bei den gleichen in 2011 untersuchten Anwohnern 2012 und 2013 wiederholt werden. Es gibt Hinweise aus Re-Analysen von Labordaten [24], wonach im EEG festgestellte Aufwachreaktionen durch einen automatisierten Algorithmus anhand von Aufzeichnung von Herzaktivität (EKG) und Bewegungen im Schlaf (Aktimetrie) abgebildet werden können. Sollte sich diese gegenüber der Polysomnographie deutlich weniger aufwendige und kostenintensive Methodik

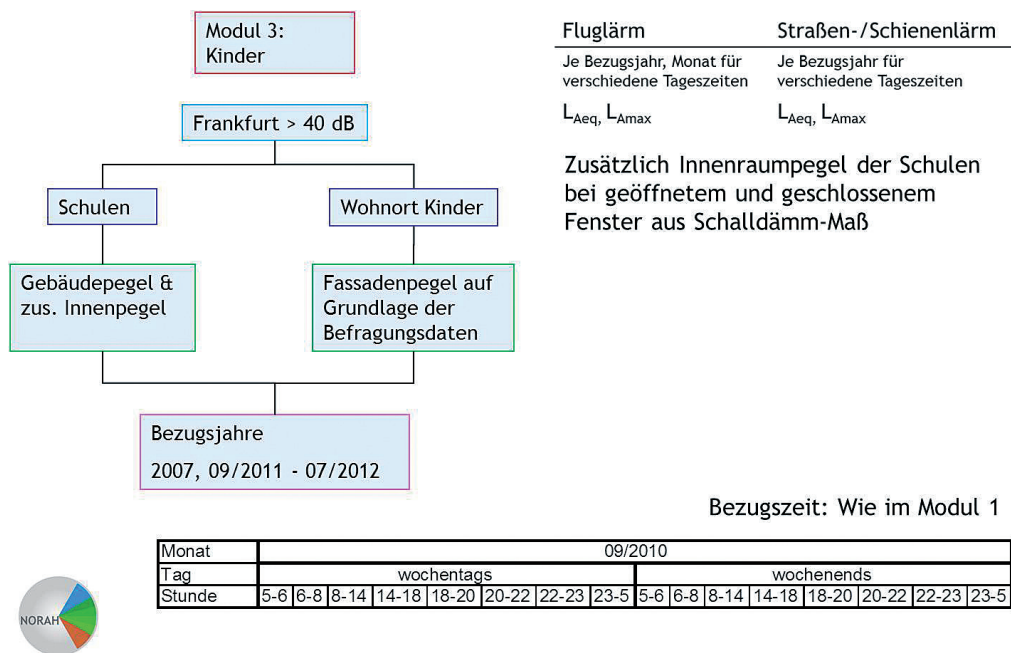


Bild 6 Übersicht akustischer Parameter und Bezugszeiträume für Modul 3.

im Feld bewähren, wird sie voraussichtlich 2013 an einer deutlich größeren Stichprobe als 40 Probanden angewandt.

Die akustischen Erhebungen in diesem Modul sind besonders aufwendig. Insbesondere für die Sekundäranalyse und Fall-Kontroll-Studie besteht die Herausforderung darin, die quellspezifische Verkehrslärmbelastung aus bis zu ca. 15 zurückliegenden Jahren abzuschätzen (vgl. Bild 5). Die zu ermittelnden Parameter für das Blutdruckmonitoring entsprechen denjenigen für Modul 1, zumal die Teilnehmer des Blutdruckmonitorings eine Untergruppe der Panelteilnehmer Rhein-Main im Modul 1 sind. Entsprechend stehen für diese Teilnehmergruppe auch die gleichen akustischen Parameter zur Verfügung. Darüber hinaus wird der Innenpegel über ein Erhebungsverfahren der Außenbauteile zur Abschätzung des Schalldämmmaßes bestimmt. Für die Schlafstudie werden zum einen akute nächtliche Fluglärmereignisse im Innenraum am Ohr des Schläfers in jeder Untersuchungsnacht gemessen. Erfasst wird dabei der Maximalpegel  $L_{AS}$ . Weiterhin werden die Langzeit-Außenpegel ( $L_{Aeq}$ ,  $L_{Amax}$ ) adressgenau berechnet, und wie beim Blutdruckmonitoring wird der Langzeit-Innenpegel über die Schalldämmmaß-Bestimmung abgeschätzt.

### Modul 3

Im Modul 3 „Entwicklung“ werden mögliche Auswirkungen von Fluglärm auf die geistige Entwicklung und die Lebensqualität bei Grundschulkindern im Rhein-Main-Gebiet untersucht. An der Studie sollen 1 000 Zweitklässler aus 25 bis 30 Grundschulen im Umfeld des Frankfurter Flughafens teilnehmen. Hierzu wird eine Stichprobe von Grundschulen, geschichtet nach Fluglärmkonturen, nach einem Zufallsverfahren gezogen. Bei der Ziehung wird darauf geachtet, dass sich die Schulen hinsichtlich der Fluglärmbelastung unterscheiden, aber bezüglich anderer Faktoren (z. B. Größe und Zusammensetzung der Klassen, Sozialstatus und Migrationshintergrund der Kinder) möglichst gut vergleichbar sind. Um die für die Schulauswahl notwendigen Informationen über diese nicht lärmbezogenen Faktoren zu erhalten, wurde im August 2011 eine schriftliche Befragung aller Grundschulen im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Die Erhebungen bei den Kindern werden im Zeitraum April bis Juni 2012 durch qualifizierte und ge-

Fluglärm	Straßen-/Schienenlärm
Je Bezugsjahr, Monat für verschiedene Tageszeiten	Je Bezugsjahr für verschiedene Tageszeiten
$L_{Aeq}$ , $L_{Amax}$	$L_{Aeq}$ , $L_{Amax}$

Zusätzlich Innenraumpegel der Schulen bei geöffnetem und geschlossenem Fenster aus Schalldämm-Maß

schulte Untersuchungsteams direkt in den Grundschulen durchgeführt. Für die gesamte Erhebung werden pro Schulklasse zwei Doppelstunden benötigt. Mittels kognitionspsychologischer Testverfahren werden Lese-, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisleistungen der Kinder erfasst. Weiterhin werden sprachliche Fähigkeiten erhoben, die für den Leseerwerb sehr wichtig sind. Verschiedene Studien deuten darauf hin, dass die negativen Wirkungen von Lärm auf das Lesenlernen durch Wirkungen auf die dem Lesen zugrunde liegenden sprachlichen Fähigkeiten zustande kommen. Die genauere Kenntnis dieser Mechanismen ermöglicht die Planung konkreter Maßnahmen zur Prävention bzw. Minimierung der Lärmwirkungen. Neben den Testaufgaben werden Befragungen der Kinder zur umwelt- und gesundheitsbezogenen Lebensqualität und Lärmbelästigung durchgeführt. Familiäre und unterrichtsbezogene Einflussfaktoren werden durch Befragungen von Eltern und Lehrkräften der Kinder erfasst. Für jedes untersuchte Kind werden Lärmpegel für Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm bezogen auf die Wohnadresse des Kindes sowie für die Adresse der Grundschule ermittelt. Daneben wird die Klassenraumakustik erhoben und mithilfe eines Screening-Verfahrens die bauliche Geräuschkämmung erfasst. Bild 6 zeigt die für dieses Modul zu bestimmenden akustischen Parameter und berücksichtigten Bezugszeiträume.

### Fazit

Bei der vorgestellten NORAH-Studie handelt es sich um ein dreijähriges wissenschaftliches Monitoringprogramm zur Erfassung der Wirkung von Verkehrslärm im Bereich des Frankfurter Flughafens sowie teils – zum Vergleich – an den Flughäfen Berlin-Brandenburg, Köln-Bonn und Stuttgart.

Für die elf Teilstudien, eingeteilt in die drei Module „Belästigung & Lebensqualität“, „Gesundheit“ und „Entwicklung von Kindern“, wird ein Multi-Methoden-Ansatz gewählt, der akustische, epidemiologische, physiologische, psychologische und sozialwissenschaftliche Methoden umfasst. Bei einem Teil der Studien (zur Lärmbelästigung, zu Wirkungen auf den Schlaf, zur lärmbedingten chronischen Veränderung des Blutdrucks) werden Längsschnittstudien durchgeführt, d. h. die Studienteilnehmer werden

im Dreijahres-Zeitraum der Studie vor und nach Veränderung der Lärmsituation (Landebahneröffnung im Oktober 2011 am Flughafen Frankfurt; Eröffnung des Flughafens Berlin-Brandenburg im Juni 2012) mehrmals untersucht. Daneben erfolgt im Rahmen der Analyse von Krankenkassendaten und der damit kombinierten Fall-Kontroll-Studie eine rückwirkende Betrachtung von Neuerkrankungen im Zeitverlauf und der Analyse eines möglichen hierauf bezogenen Verkehrslärmeffekts. Schließlich ergänzen Querschnittsstudien, d. h. einmalige Erhebungen wie etwa die Teilstudie zum Fluglärmeffekt auf die kognitiven Leistungen und Lebensqualität von Kindern, Teilstudien zur Wirkung von Straßen- und Schienenverkehrslärms und zur Wirkung der kombinierten Einwirkung des Lärms mehrerer Verkehrslärmquellen ebenso wie Vergleichsstudien zur Lärmbelastigung und Lebensqualität an den Flughäfen Köln-Bonn und Stuttgart das Untersuchungsprogramm.

Mit Endergebnissen der umfangreichen Quer- und Längsschnittuntersuchungen der NORAH-Studie wird Mitte bis Ende 2014 gerechnet.

Dipl.-Psych. **Dirk Schreckenberg**, Dipl.-Wirtschaftspsych. **Christin Peschel**, ZEUS GmbH, Hagen. Prof. Dr. **Thomas Eikmann**, Justus-Liebig-Universität Gießen, Prof. Dr. **Rainer Guski**, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Psychologie, Prof. Dr. **Maria Klatte**, TU Kaiserslautern, Fachbereich Sozialwissenschaften, Dr. **Uwe Müller**, DLR e. V., Köln, Prof. Dr. med. **Jochen Schmidt**, Prof. Dr. med. habil. **Andreas Seidler**, TU Dresden, Institut und Polyklinik für Arbeits- und Sozialmedizin (IPAS), Dipl.-Ing. **Ulrich Möhler**, Möhler & Partner Ingenieure AG, München.

## Literatur

- [1] *Schreckenberg, D.; Möhler, U.*: NORAH – Wissenschaftliches Monitoring der Wirkung von Verkehrslärm. ALD-Newsletter Nr. 9 (2011). Berlin: Arbeitsring Lärm der DEGA.
- [2] *Schreckenberg, D.; Eikmann, T.; Klatte, M.; Möhler, U.; Müller, U.; Peschel, C.; Schmidt, J.; Seidler, A.; zur Nieden, A.; Guski, R.*: NORAH (Noise-Related Annoyance, Cognition and Health) – Eine Studie zur Wirkung von Verkehrslärm. Fortschritte der Akustik – DAGA 2012, Darmstadt.
- [3] *Le Masurier, P.; Bates, J.; Taylor, J.; Flindell, I.; Humpheson, D.; Pownall, C.; Woolley, A.*: ANASE – Attitudes to noise from aviation sources in England. Final Report for Department for Transport. Colegate, Norwich: Queen's Printer and Controller of HMSO 2007.
- [4] *Schreckenberg, D.; Meis, M.; Kahl, C.; Peschel, C.; Eikmann, T.*: Aircraft noise and quality of life around Frankfurt Airport. Int. J. Environ. Res. Public Health 7 (2010) Nr. 9, S. 3382- 3405.
- [5] *Basner, M.; Buess, H.; Elmenhorst, D.; Gerlich, A.; Luks, N.; Maaß, H.; Mawet, L.; Müller, E. W.; Müller, U.; Plath, G.; Quehl, J.; Samel, A.; Schulze, M.; Vejvoda, M.; Wenzel, K.*: Nachtfluglärmswirkungen (Bd. 1): Zusammenfassung. Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) 2004.
- [6] *Järup, L.; Babisch, W.; Houthuijs, D.; Pershagen, G.; Katsouyanni, K.; Cadum, E.; Dudley, M.L.; Savigny, P.; Seiffert, I.; Swart, W.; Breugelmans, O.; Bluhm, O.; Selander, J.; Haralabidis, A.; Dimakopoulou, K.; Soutzi, P.; Velonakis, M.; Vigna-Tagliani, F.* on behalf of the HYENA study team: Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study. Environm. Health Perspect. 116 (2008), S. 329-333.
- [7] *Greiser, E.; Greiser, C.*: Risikofaktor nächtlicher Fluglärm. Abschlussbericht über eine Fall-Kontroll-Studie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Schriftenreihe Umwelt & Gesundheit. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt 2010.
- [8] *Babisch, W.*: Gesundheitliche Wirkungen von Umweltlärm. Z. Lärmbekämpf. 47 (2000) Nr. 3, S. 95-102.
- [9] *Stallen, P. J.*: A theoretical framework for environmental noise annoyance. Noise & Health 3 (1999), S. 69-79.
- [10] *Guski, R.*: Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. Noise & Health 3 (1999), S. 45-56.
- [11] *Miedema, H. M. E.; Vos, H.*: Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. J. Acoust. Soc. Am. 105 (1999), S. 3336-3344.
- [12] *van Kamp, I.*: Coping with noise and its health consequences. Dissertation. Groningen: Styx & PP Publications 1990.
- [13] *Davies, H.; van Kamp, I.*: Environmental noise and cardiovascular disease: Five year review and future directions. In: *Griefahn, B.* (Hrsg.): Noise as a public health problem. Proceedings of 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN) 2008, Mashantucket, Connecticut, USA (S. 263-271). Dortmund: Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund 2008.
- [14] *Babisch, W.*: Transportation noise and cardiovascular risk. Berlin, Dessau: Umweltbundesamt 2006.
- [15] *Babisch, W.; van Kamp, I.*: Exposure-response relationship of the association between aircraft noise and the risk of hypertension. Noise & Health 11 (2009), S. 161-168.
- [16] *Stansfeld, S.; Berglund, B.; Lopez-Barrio, I.; Fischer, P.; Öhrström, E.; Haines, M.; Hygge, S.; van Kamp, I.; Berry, B.*: Aircraft and road traffic noise and childrens' cognition and health: a cross-national study. Lancet 365 (2005), S. 1942-1949.
- [17] *Babisch, W.; Ising, H.; Gallacher, J. E. J.*: Health status as a potential effect modifier of the relation between noise annoyance and incidence of ischaemic heart disease. Occup. Environ. 60 (2003), S. 739-745.
- [18] *Stansfeld, S. A.*: Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. Psychol. Med. Suppl. 22 (1992), S. 1-44.
- [19] *Tarnopolsky, A.; Barker, S. M.; Wiggins, R. D.; McLean, E. K.*: The effect of aircraft noise on the mental health of a community sample: a pilot study. Psychol. Med. 8 (1978), S. 219-233.
- [20] *Brown, A. L.; van Kamp, I.*: Response to a change in transport noise exposure: Competing explanations of change effects.

J. Acoust. Soc. Am. 125 (2009), S. 905-914.

[21] *Guski, R.*: Neuer Fluglärm gleich alter Fluglärm? Kritische Anmerkungen zu einer Expertenmeinung und ein Vorschlag zur Prognose-Berechnung der erheblichen Belästigung bei wesentlich geänderter Fluglärm-Belastung. Z. Lärmbekämpf. 50 (2003) Nr. 1, S. 14-25.

[22] BVerwG 4 C 8.09 und 9.09, 1.10 – 6.10 – Urteil vom 4. April 2012.

[23] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung: Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau des Verkehrsflughafens Frankfurt Main. Wiesbaden, 18. Oktober 2007.

[24] *Basner, M.; Müller, U.; Elmenhorst, E. M.; Kluge, G.; Griefahn, B.*: Aircraft noise effects on sleep: a systematic comparison of EEG awakenings and automatically detected cardiac activations. *Physiol. Meas.* 29 (2008), S. 1089-1103.