

NORAH

Noise-related annoyance, cognition, and health

Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld

Band 7:

Gesamtbetrachtung des Forschungsprojekts NORAH

AUTOREN, PROJEKTBEARBEITUNG

Rainer Guski

Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Dirk Schreckenberger

ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte
Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung,
58093 Hagen

HERAUSGEBER, AUFTRAGGEBER

Gemeinnützige Umwelthaus GmbH
Rüsselsheimer Str. 100
65451 Kelsterbach

GESAMTKOORDINATION DER NORAH-STUDIE

Rainer Guski

Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Dirk Schreckenberger

ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte
Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung,
58093 Hagen

Sämtliche in diesem Dokument enthaltenen wissenschaftlichen Texte, Grafiken, Tabellen und sonstigen Inhalte sind urheberrechtlich geschützt. Sie dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Urhebers oder des Herausgebers weder ganz, noch auszugsweise kopiert, verändert, vervielfältigt oder veröffentlicht werden. Eine - auch auszugsweise - Veröffentlichung oder Verwendung dieses Dokumentes ist auch mit Zustimmung von Urheber bzw. Herausgeber grundsätzlich nur unter Angabe der vollständigen Quelle zulässig.

07. Oktober 2015

INTERNE QUALITÄTSSICHERUNG

Ali Erdogan	Justus-Liebig-Universität, Gießen
Caroline Herr	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, München
August Schick	Universität Oldenburg
Rudolf Schuemer	Fernuniversität Hagen
Enno Swart	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Berthold Vogelsang	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover
Hajo Zeeb	Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie - BIPS GmbH

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT - EXTERNE QUALITÄTSSICHERUNG

Mark Brink	ETH Zürich
Erland Erdmann	Universität zu Köln
Kerstin Giering	Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld
Barbara Griefahn	Leibniz-Institut für Arbeitsforschung, TU Dortmund
Jürgen Hellbrück	Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt
Wolfgang Hoffmann	Universitätsmedizin Greifswald
Christian Maschke	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg, Potsdam
Lothar Ohse	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden
Georg Thomann	Amt für Natur und Umwelt, CH-Graubünden
Irene van Kamp	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, NL-Bilthoven
Joachim Vogt	Technische Universität Darmstadt

ZUR STUDIE NORAH - VERKEHRSLÄRMWIRKUNGEN IM FLUGHAFENUMFELD – ERSCHIENENE BÄNDE

Band 1	Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern
Band 2	Erfassung der Verkehrsgeräuschexpositionen
Band 3	Belästigung und Lebensqualität
Band 4	Fluglärm und nächtlicher Schlaf
Band 5	Blutdruckmonitoring
Band 6	Erkrankungsrisiken
Band 7	Gesamtbetrachtung

Inhalt

Inhalt	5
Zusammenfassung	7
Summary	10
1 Einführung	13
1.1 Die vielfältige Gesundheits-Landschaft: von Wohlbefinden bis Herzinfarkt	13
1.2 Das NORAH-Forschungsverbundprojekt	15
2 Ziele des Forschungsverbundprojekts	18
2.1 Übergeordnete Ziele	18
2.2 Ziele des Moduls 1, „Belästigung und Lebensqualität“	19
2.3 Ziele des Moduls 2, „Gesundheit“	19
2.3.1 Ziele der Teilstudie „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung zu Erkrankungsrisiken“	20
2.3.2 Ziele der Teilstudie „Blutdruckmonitoring“	20
2.3.3 Ziele der Schlafstudie	20
2.4 Ziele des Moduls 3, „Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“	21
2.5 Ziele der modulübergreifenden „Erfassung der Verkehrsräuschexpositionen“	22
3 Arbeitsgruppen	24
4 Methodik	25
4.1 Wissenschaftliche Ergebnisse hängen von der Art der Fragestellung und der Untersuchungsmethodik ab	25
4.2 Fragestellungen der Teilstudien	26
4.2.1 Fragestellungen des Moduls „Belästigung und Lebensqualität“	26
4.2.2 Fragestellungen der sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung	27
4.2.3 Fragestellungen des Blutdruckmonitorings	28
4.2.4 Fragestellungen der Schlafstudie	28
4.2.5 Fragestellungen der Kinderstudie	29
4.3 Analyse-Ansätze und Stichprobenziehung in den Teilstudien	29
4.3.1 Untersuchung in Wohngebieten im Flughafenumfeld	29
4.3.2 Studienregion, räumlicher Bezug	29
4.3.3 Gewinnung von Teilnehmenden, Stichprobenziehung in den Teilstudien	37

4.4	Untersuchungsmethoden in den Teilstudien	46
4.4.1	Modul 1: „Belästigung und Lebensqualität“	46
4.4.2	Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie	46
4.4.3	Blutdruckmonitoring	47
4.4.4	Schlafstudie	48
4.4.5	Kinderstudie.....	49
5	Zentrale Ergebnisse	50
5.1	Belästigung und Lebensqualität.....	51
5.1.1	Die wichtigsten Ergebnisse zur Belästigung und Lebensqualität.....	51
5.1.2	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse der Untersuchungen zu Belästigung und Lebensqualität	61
5.2	Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung.....	63
5.2.1	Die wichtigsten Ergebnisse zu den einzelnen Erkrankungen	64
5.2.2	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse der NORAH- Fallkontrollstudie.....	72
5.3	Blutdruckmonitoring.....	74
5.4	Schlafstudie.....	76
5.5	Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern.....	78
6	Generalisierbarkeit der Aussagen	81
6.1	Für wen gelten die NORAH-Aussagen?	81
6.2	Welchen Einfluss haben Response-Raten auf die NORAH-Ergebnisse?.....	82
6.3	Welchen Einfluss haben Teilnahme-Verweigerungen auf die NORAH- Ergebnisse?.....	83
7	Stärken des NORAH-Forschungsverbundprojekts.....	85
7.1	Generelle Stärken:	85
7.2	Stärken der Studie „Belästigung und Lebensqualität“	86
7.3	Stärken der sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie	87
7.4	Stärken des Blutdruckmonitorings.....	88
7.5	Stärken der Schlafstudie	88
7.6	Stärken der Kinderstudie	89
8	Herausforderungen für das NORAH-Forschungsverbundprojekt.....	90
9	Fazit	91
	Literatur	95

Zusammenfassung

Ziele: Das Forschungsverbundprojekt NORAH (Noise Related Annoyance, Cognition and Health) hatte das Ziel, eine breite und wissenschaftlich abgesicherte Beschreibung der Auswirkungen der Geräusche vom Luft-, Schienen- und Straßenverkehr auf die Gesundheit und Lebensqualität der betroffenen Wohnbevölkerung zu erhalten. Folgende Inhaltsbereiche wurden betrachtet: Belästigung und Lebensqualität (Modul 1), Gesundheit (Modul 2, mit Blutdruckregulation, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Brustkrebs, unipolaren depressiven Episoden und Schlafstörungen) sowie kognitive Entwicklung von Kindern (Modul 3). Soweit möglich, wurden auch die Folgen der Änderungen untersucht, die mit der Inbetriebnahme einer neuen Landebahn am Flughafen Frankfurt sowie der Einführung einer „Kernruhezeit“ zwischen 23 und 05 Uhr und die Verlegung von Flugrouten verbunden waren.

Untersuchungsmethoden: Je nach Fragestellung wurden unterschiedliche Untersuchungsmethoden verwendet: Im Fall der Lärmbelästigung und Lebensqualität wurden ausschließlich Befragungen durchgeführt. Es handelte sich um eine Panelstudie mit drei Befragungswellen 2011-2013 im Bereich des Flughafens Frankfurt, Querschnittsuntersuchungen an den Flughäfen Köln/Bonn, Berlin-Schönefeld und Stuttgart, Querschnittsuntersuchungen zum Vergleich der Auswirkungen von Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräuschen sowie zur Kombination von Luft- und Straßenverkehrs- bzw. Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen.

Im Fall der Risiken für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Brustkrebs und depressive Episoden wurde eine sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung im Regierungsbezirk Darmstadt, den Städten Mainz und Worms sowie den Landkreisen Mainz-Bingen und Alzey-Worms durchgeführt.

Zur Frage der langfristigen Auswirkungen von Verkehrsgeräuschen auf die Blutdruckregulation wurden drei Wochen lang Blutdruckwerte in zwei Untersuchungswellen (2012 und 2013) im Bereich des Flughafens Frankfurt erhoben („Blutdruck-Monitoring“).

Zur Untersuchung der kurzfristigen Auswirkungen nächtlicher Luftverkehrsgeräusche auf den Schlaf von Anwohnerinnen und Anwohnern wurden Schlafuntersuchungen in den Wohnungen Betroffener in den Jahren 2011-2013 durchgeführt.

Die Auswirkungen chronischer Belastung (Exposition) durch Luftverkehrsgeräusche auf die kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Schulkindern wurden im Bereich des Flughafens Frankfurt mittels kognitiver Leistungstests sowie durch Befragungen der Kinder, Eltern und Lehrkräfte untersucht.

Für alle Untersuchungsteilnehmerinnen und -teilnehmer (außer denen der Schlaf-Untersuchungen, die eigene Messungen benutzten) standen adressgenau berechnete Dauerschallpegel unterschiedlicher Bezugszeiten für Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche zur Verfügung (teilweise auch Maximalpegel und Häufigkeiten von lauten Schallereignissen), die in die Auswertungen einbezogen wurden.

Wichtigste Ergebnisse:

1. An allen Flughäfen fiel der Prozentsatz stark durch Luftverkehrsgeräusche belästigter Personen bei vergleichbaren Dauerschallpegeln höher aus als nach den sog. „EU-Standardkurven“ (Miedema & Oudshoorn, 2001) zu erwarten war. Im Bereich des Flughafens Frankfurt zeigten sich schon 2011 (vor Inbetriebnahme der NW-Landebahn) höhere Belästigungswerte als bei einer vergleichbaren Untersuchung im Jahr

2005 (Schreckenbergs & Meis, 2006); diese Werte stiegen 2012 noch einmal an und gingen 2013 leicht zurück. In den Querschnittstudien zeigte sich, dass Luftverkehrsgeräusche bei vergleichbaren Pegeln mit höherer Belästigung verbunden sind als Geräusche des Straßen- und Schienenverkehrs - die beiden Letztgenannten unterscheiden sich aber hinsichtlich der Belästigung kaum. Bei den Querschnittsstudien zur Kombinationsbelastung durch Luft- plus Straßen- bzw. Luft- plus Schienenverkehrsgeräusche zeigte sich, dass die Gesamtbelästigung primär der quellenspezifischen Belästigung durch Luftverkehrsgeräusche folgt.

2. Die statistisch größten mit Verkehrsgeräuschen verbundenen Erkrankungsrisiken zeigten sich in Bezug auf die 10-dB-Pegelzunahme v.a. hinsichtlich einer unipolaren depressiven Episode - und zwar statistisch signifikant für alle drei Verkehrsarten. Hinsichtlich der Herz-Kreislauf-Erkrankungen waren die Effekte der Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche auf Herzinsuffizienz, Herzinfarkt und Schlaganfall deutlicher als die der Luftverkehrsgeräusche. Bei Straßenverkehrsgeräuschen zeigten sich die höchsten statistisch signifikanten Risiko-Anstiege pro 10 dB Pegelzunahme bei depressiven Episoden (4,1%), Herzinfarkt (2,8%), Herzinsuffizienz (2,4%) und Schlaganfall (1,7%). Bei Schienenverkehrsgeräuschen betrugen die entsprechenden höchsten statistisch signifikanten Risiko-Anstiege für depressive Episoden 3,9%, Herzinsuffizienz 3,1% und Schlaganfall 1,8%. Bei Luftverkehrsgeräuschen waren die entsprechenden höchsten statistisch signifikanten Risiko-Anstiege bei depressiven Episoden (8,9%) und Herzinsuffizienz (1,6%) zu finden. Bei Verwendung der (nur grob abschätzbaren) Innenraumpegel konnte teilweise ein statistisch signifikanter Anstieg der Krankheitsrisiken im Vergleich zu den Außenpegeln beobachtet werden. Hinsichtlich des Brustkrebsrisikos konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang nur mit dem Luftverkehrsgeräuschpegel der Nacht zwischen 23 und 5 Uhr festgestellt werden.
3. Personen mit einem vergleichsweise geringen Luftverkehrs-Dauerschallpegel von <40 dB, bei denen vor Einführung der Kernruhezeit am Flughafen Frankfurt nächtliche Maximalpegel von >50 dB auftraten, wiesen in zahlreichen Analysen - beim Schlaganfall und bei der Herzinsuffizienz statistisch signifikant - erhöhte Risikoschätzer auf. Solche Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Berücksichtigung der nächtlichen Maximalpegel für die Abschätzung der Erkrankungsrisiken bei Luftverkehrsgeräuschen bevölkerungsbezogen relevant erscheint, aber einer weiteren Absicherung bedarf.
4. Die mittleren systolischen und diastolischen Blutdruckwerte waren im Fall des Luftverkehrs mit zunehmendem Pegel (statistisch nicht signifikant) leicht erhöht; beim Schienenverkehr zeigte sich ein schwacher (statistisch nicht signifikanter) Effekt auf den systolischen Blutdruck. Auch konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Verkehrsgeräuschpegeln einerseits und Herzfrequenz, Blutdruckamplitude, Hypertonie und 10-Jahres-Herzinfarktrisiko (PROCAM-Score) andererseits festgestellt werden.
5. Die Ergebnisse der Schlafstudie zeigen, dass sich mit der Einführung der Kernruhezeit und der damit einhergehenden Verringerung an Überflügen im betrachteten Nachtzeitraum die fluglärmassoziierte Aufwachhäufigkeit pro Nacht der Personen in der Bettzeitgruppe 1 (22-22:30 Uhr bis 6-6:30 Uhr) im Mittel von 2011 auf 2012 von 2,0 auf 0,8 vermindert hat und somit das Hauptziel der Einführung der Kernruhezeit erreicht wurde. Mit zunehmender Anzahl an Fluggeräuschen traten auch mehr fluglärmassoziierte Aufwachreaktionen auf, die zu einer Fragmentierung des Schlafs (verminderte Kontinuität) führen, ohne dass dabei die Gesamtschlafdauer verkürzt

wird. Die Bettzeitgruppe 2 (23-23:30 Uhr bis 7-7:30 Uhr) hatte im Jahr 2012 eine mittlere fluglärmassoziierte Aufwachhäufigkeit von 1,9. Der Unterschied gegenüber der Bettzeitgruppe 1 ist in der um eine Stunde längeren Fluglärmexposition in dieser Gruppe in den Morgenstunden bedingt. Bei einem Hintergrundpegel von 28,8 dB(A) erhöhte sich in beiden Jahren pro 10 dB(A)-Anstieg des Maximalpegels eines Überflugeräusches die Odds aufzuwachen um 23 %. Gesamtschlafdauer, Einschlaf latenz, Schlaffeffizienz, Wachdauer nach dem Einschlafen und prozentualer Wachanteil ab 4:30 Uhr unterschieden sich in beiden Jahren statistisch nicht signifikant.

6. Personen, die den Flugverkehr eher positiv bewerteten, zeigten weniger objektiv gemessene Schlafstörungen. Die Kausalität des Zusammenhangs, ob also der gestörtere Schlaf eine negative Einstellung nach sich zieht oder umgekehrt, kann nicht aufgeklärt werden. Die subjektiven Schläfrigkeits- und Müdigkeitsbewertungen lagen in allen drei Untersuchungsjahren auf einem mittleren Niveau. Die subjektive Gewöhnung an Fluglärm, das subjektive Lautstärkeempfinden in der Wohngegend, das Alter und der Chronotyp der Probanden beeinflussten die Schläfrigkeits- und Müdigkeitsbewertungen statistisch signifikant. Das subjektive Erleben guten Schlafs verschlechterte sich trotz Einführung der Kernruhezeit statistisch signifikant vom Jahr 2011 bis zum Jahr 2013 um 5 % bzw. 11 %, unabhängig von der Fluglärmbelastung. Dieser Effekt muss daher auf nicht erhobene Faktoren zurückgeführt werden. Dieses Ergebnis gilt auch für die Probanden, die in allen drei Jahren teilnahmen.
7. In der Kinderstudie zeigte sich eine statistisch signifikante Verringerung der Leseleistung durch Luftverkehrsgeräusche: Bei 10 dB Anstieg des Dauerschallpegels wurde eine Verzögerung der Leseentwicklung um etwa einen Monat beobachtet. Die Lehrkräfte aus den vergleichsweise stark exponierten Schulen berichteten übereinstimmend über erhebliche Beeinträchtigungen des Unterrichts durch die Luftverkehrsgeräusche. Weiterhin zeigten sich statistisch signifikante Zusammenhänge geringer Effektstärken zwischen höheren Dauerschallpegeln und weniger positiven Beurteilungen des körperlichen und psychischen Wohlbefindens und der Schuleinstellungen der Kinder.

Modulübergreifend erscheinen zwei parallele Ergebnisse bemerkenswert:

1. der Umstand, dass ärztlich diagnostizierte unipolare depressive Episoden den stärksten linearen Anstieg bei Zunahme des Luftverkehrsgeräusch-Dauerschallpegels hatten und auch die Selbsteinschätzungen der psychischen Lebensqualität (Mental Component Summary (MCS), inklusive depressiver Tendenzen) in derjenigen Panel-Gruppe am geringsten war, die einen Anstieg der Luftverkehrsgeräusch-Belastung im Jahr 2011 erwarteten oder (2012 und 2013) erlebten, und
2. die Tatsache, dass sowohl die physiologischen Schlafuntersuchungen als auch die Befragungen im Modul „Belästigung und Lebensqualität“ nach Einführung der „Kernruhezeit“ (23-05 Uhr) eine Verbesserung des (Durch-)Schlafens während dieser Zeit verzeichneten, obwohl der nächtliche Mittelungspegel $L_{pAeq,22-06h}$ zwischen 2011 und 2012 in der Panelstichprobe des Moduls „Belästigung und Lebensqualität“ nur um 0,6 dB sank. Gleichzeitig zeigten aber beide Untersuchungen einen Anstieg der negativen Bewertungen der Betroffenen hinsichtlich der Morgenzeit (z.B. Ausschlafstörungen bzw. Müdigkeit und Schläfrigkeit).

Summary

Aims: The multidisciplinary research project NORAH (Noise Related Annoyance, Cognition and Health) aimed at providing a broad and scientifically reliable description of the effects of aircraft, road, and rail transportation noise on the health and life quality of affected residents. The following content areas were considered: annoyance and quality of life (module 1), health (module 2, including blood pressure regulation, cardiovascular diseases, breast cancer, depression and sleep disturbances) as well as cognitive development of school children (module 3). Where possible, effects of the changes due to the startup of a new runway at Frankfurt International Airport are considered, as well as the implementation of a night curfew between 23 and 5 hours and the relocation of flight routes.

Methods: According to the research questions, different methods were applied. In the case of noise annoyance and life quality, systematic surveys were conducted: a panel study containing three waves between 2011-2013 in the Rhein/Main area, cross-sectional studies in the vicinity of the airports Cologne/Bonn (CGN), Berlin-Schönefeld (SXF, planned as BER), and Stuttgart (STR). In addition, cross sectional surveys on the effects of road, rail, and aircraft transportation noise were conducted, as well as on the effects of combined noise from aircraft and road, or aircraft and rail transportation.

In case of cardiovascular health risks, breast cancer, and depressive episodes, a case-control study based on health claims data with additional survey was performed in the administrative areas of Darmstadt, Mainz-Bingen and Alzey-Worms, as well as in the cities of Mainz and Worms.

With respect to the long-term effects of transportation noise on blood pressure regulation, daily self-administered blood pressure measurements were registered for three weeks during two waves (2012 and 2013) with residents in the vicinity of the Frankfurt International Airport („blood pressure monitoring“).

In order to study the short-term effects of nighttime aircraft noise on the sleep of residents, sleep quality registrations were done 2011-2013 in the homes of residents in the vicinity of Frankfurt International Airport.

The effects of chronic exposition to aircraft noise on the cognitive performance and quality of life of school children near Frankfurt Airport were studied by means of performance tests (especially reading tests) with children, as well as surveys with children, parents, and teachers.

All study participants (except for participants in the sleep study) were assigned address-specifically calculated long-term exposure parameters (energy equivalent sound levels) for different reference times of aircraft, road, and rail transportation noise - to some extent, maximum levels as well as the numbers of loud events could be assigned too, and were used in exposure-response calculations.

Main results:

1. At all four airports studied, the percentage of highly aircraft noise annoyed persons at comparable noise levels was larger than would be expected from the so-called „EU standard curves“ (Miedema & Oudshoorn, 2001). In the vicinity of Frankfurt International Airport, as early as in the summer of 2011 (before the implementation of a new north-west runway) higher annoyance responses were observed than during a comparable survey performed in 2005 (Schreckenberger & Meis, 2006). The annoyance response increased 2012 (after the implementation of the new runway), and decreased marginally in 2013. In the cross-sectional studies, it turned out that aircraft noise was associated with higher noise annoyance than with road or rail transportation noise at comparable long-term levels. The height of road and rail noise annoyance was very similar at comparable noise levels. In the cross-sectional studies on noise combinations (aircraft plus road traffic noise, or aircraft plus rail traffic noise) it was observed that the total annoyance followed mainly the aircraft noise related annoyance.
2. With respect to noise-related health risks, the largest risks connected to the 10-dB level increase were observed for unipolar depressive episodes - statistically significant with all three transportation noise sources. With respect to cardiovascular health risks, the effects of rail and road traffic noise on chronic heart failure, myocardial infarction, and stroke were more clearly seen as compared to the effects of aircraft noise. Road traffic noise showed the highest (statistically significant) risk increase per 10-dB level increase with depressive episodes (4.1%), myocardial infarction (2.8%), chronic heart failure (2.4%), and stroke (1.7%). Rail traffic noise showed the highest (statistically significant) risk increases with 10-dB level increase on depressive episodes (3.9%), chronic heart failure (3.1%), and stroke (1.8%). Aircraft noise showed the highest (statistically significant) risk increases with 10-dB level increase on depressive episodes (8.9%), and chronic heart failure (1.6%). The use of indoor noise levels partially showed a statistically significant increase of health risks, as compared to outdoor noise levels, but it should be kept in mind that indoor noise levels were estimated rather roughly. Breast cancer showed a statistically significant association with aircraft noise levels during the night (23-05 h).
3. Residents who were exposed to long-term aircraft noise levels <40 dB but had nighttime maximum levels >50 dB, showed higher health risk estimates - statistically significant with respect to stroke and cardiac insufficiency. Results of this type indicate that the consideration of nighttime maximum levels may be relevant for estimating the health risks of aircraft noise. On the other hand, such results need further tests from independent studies.
4. The mean systolic and diastolic blood pressure values of residents increased slightly (statistically not significant) with increased aircraft noise levels. Railway noise levels showed a slight (statistically not significant) increase of the systolic blood pressure. There was no statistically significant relation between transportation noise levels and pulse frequency, blood pressure amplitude, hypertension, and 10-year infarction risk (PROCAM-Score).
5. The sleep study showed a diminished aircraft noise related probability of physiological nighttime awakening associated with the introduction of the night curfew at Frankfurt Airport for a group being in bed during 22-22:30 h until 06-06:30 h). On average, the number of awakenings decreased from 2.0 to 0.8 (2011 vs. 2012). This shows that the curfew had a positive overall effect on sleep. In general, there was a significant effect of the number of aircraft noise events on the number

of aircraft noise related awakenings which lead to a fragmentation of the sleep (diminished continuity), without shortening the total sleep time. In a second group, being in bed from 23-23:30 h until 07-07:30 h, an average aircraft noise associated awakening frequency of 1.9 was observed in 2012. The difference to the former group is due to the longer time (one hour) of aircraft noise exposition in the morning hours. At background noise levels of 28.8 dB(A), the odds of awakening increased about 23 % with an increase per 10 dB increase of the maximum level of an aircraft overflight. Total sleep time, sleep latency, sleep efficiency, waking time after falling asleep, and the percentage of waking after 04:30 h did not differ statistically significant between 2011 and 2011.

6. Persons with a positive evaluation of aircraft transportation did show less (objectively) measured sleep disturbances. The direction of causality is unclear, i.e., the question whether a disturbed sleep is due to negative attitudes to aircraft transportation, or the other way round, could not be determined. The (subjective) evaluations of the residents with respect to sleepiness and tiredness at the morning are in a medium range in all of the three groups observed between 2011 and 2013. The self-assessed habituation to aircraft noise, the loudness of the residential area, the age as well as the chronotype of the participants all show a statistically significant influence on the individual assessment of sleepiness and tiredness. The subjective assessment of a good sleep diminished in spite of the introduction of the night curfew statistically significant between 2011 and 2013 by 5 % and 11 % respectively, independently of the aircraft noise exposure. This effect is also true for those participants who took part in all of the three measurement waves. This effect is probably due to factors not assessed in the study.
7. In the children study a statistically significant decrease of reading performance was observed with increasing aircraft noise levels: a 10 dB increase of long-term noise levels was followed by one month retardation of reading performance. The teachers in highly exposed schools concordantly report about considerable impairment of the classes by aircraft noise. In addition, statistically significant associations - although of moderate effect size - between higher aircraft noise levels and less positive assessments of the physical and mental well-being and childrens' attitudes towards school.

Seen from a transdisciplinary perspective, two parallel results seem remarkable:

1. Depressive episodes - diagnosed by physicians - show the strongest increase with increasing aircraft noise levels, and self-assessments of mental life quality (Mental Component Summary (MCS), including depressive tendencies) were lowest in the panel group expecting or experiencing an increase of noise levels in 2011-2013.
2. Both the physiological sleep measurements and the survey on annoyance and quality of life found an amendment of sleeping through the night after the implementation of the night curfew during 23-05 h, although the nighttime equivalent noise level $L_{pAeq,22-06h}$ decreased only about 0.6 dB between 2011 and 2012 in the panel sample. At the same time both studies showed an increase of negative evaluations of the participants with respect to the morning time (e.g., disturbances of the late sleep, evaluations of tiredness and sleepiness, respectively).

1 Einführung

1.1 Die vielfältige Gesundheits-Landschaft: von Wohlbefinden bis Herzinfarkt

Wenn Wissenschaftler von „Gesundheit“ sprechen, fallen ihnen oft unterschiedliche Gesundheitsdefinitionen ein. Da ist zunächst die Definition in der Präambel zur Verfassung der Weltgesundheits-Organisation von 1946, in der Gesundheit als ein „Zustand vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht nur der Abwesenheit von Krankheit und Gebrechen“ beschrieben wird (vgl. WHO 2014, p.1). Oft fällt ihnen dann noch ein, dass Rudolf Virchow 1869 eine regulationsphysiologische Definition vorschlug: „Die Krankheit beginnt in dem Augenblick, wo die regulatorische Einrichtung des Körpers nicht ausreicht, die Störung zu beseitigen. Nicht das Leben unter abnormen Bedingungen als solches erzeugt Krankheit, sondern die Krankheit beginnt mit der Insuffizienz des regulatorischen Apparates“ (in Sudhoff, 1922, S. 261). Beide Definitionen sind aus heutiger Sicht unbefriedigend, weil beide kulturelle und subjektive Abwägungen zu Wohlfinden und Krankheit ausblenden. Eine moderne Gesundheitsdefinition stammt von Klaus Hurrelmann (2010, S. 146): „Gesundheit ist das Stadium des Gleichgewichtes von Risikofaktoren und Schutzfaktoren, das eintritt, wenn einem Menschen eine Bewältigung sowohl der inneren (körperlichen und psychischen) als auch der äußeren (sozialen und materiellen) Anforderungen gelingt.“ Bricht dieses Gleichgewicht zusammen, dann tritt „relative“ Krankheit ein, die durch Selbststeuerung oder Hilfe von außen wieder in „relative“ Gesundheit übergehen kann. Diese Definition hat für Lärmforschende den praktischen Vorteil, dass sie große Ähnlichkeiten mit der Definition von Stress hat - aber davon später. Hier wollen wir zunächst festhalten, dass **Lärm**, bzw. die Exposition durch laute Geräusche vom Straßen-, Schienen- und Luftverkehr, seit vielen Jahren als eine ernstzunehmende Bedrohung der menschlichen Gesundheit angesehen wird (vgl. Berglund & Lindvall 1995; WHO 2011).

Kompliziert wird der Umgang mit jeder Gesundheitsdefinition, wenn wir die Breite der möglichen Risiken und ihre relative Bewertung betrachten. Beispielsweise können wir fragen, ob der Umstand, dass sich jemand durch **Lärm** erheblich belästigt und gestört fühlt, gesundheitlich weniger bedeutsam ist als die Blutdruck-Erhöhung oder die Herzinsuffizienz, zu denen Lärm beigetragen haben kann. Und wie bewerten wir Schlafstörungen durch Lärm, wie die Sorge um den Wert des eigenen Hauses nahe der Lärmquelle, wie die Behinderung der kognitiven Entwicklung unserer Kinder? Solange es sich um nur jeweils einen Menschen handelt, der z.B. erheblich belästigt ist oder Herzinsuffizienz erleidet, mag es noch eine relativ klare Rangordnung der Risiken geben: Wir werden die Herzinsuffizienz für wichtiger als die Belästigung halten. Aber diese Rangordnung gerät leicht ins Wanken, wenn wir berücksichtigen, wie viele Menschen jeweils von dem einen oder dem anderen Risiko betroffen sind. Fraglos sind viel mehr Menschen erheblich durch Lärm belästigt, als dem Risiko einer Herzinsuffizienz ausgesetzt sind, aber sollten wir dennoch die Leiden der

vielen Belästigten geringer bewerten als das der Herzinsuffizienz-Patienten? Die WHO (2011) hat versucht, eine Reihe gesundheitlicher Risiken der Umweltlärmbelastung auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen: durch Krankheit oder Behinderung verlorene Lebensjahre (disability-adjusted life-years, DALYs). Sie schätzt, dass der Umweltlärm in Europa pro Jahr 60.000 beschwerdefreie Lebensjahre pro 1 Million Einwohner-Lebensjahre durch Herzkrankheiten kostet, 45.000 Jahre durch die kognitive Beeinträchtigung von Kindern, 903.000 Jahre durch Schlafstörungen, 21.000 Jahre durch Tinnitus und 587.000 Jahre durch Belästigung (siehe Abb. 1-1). Als Hauptursachen dieser Verluste werden Straßenverkehrs-Geräusche genannt.

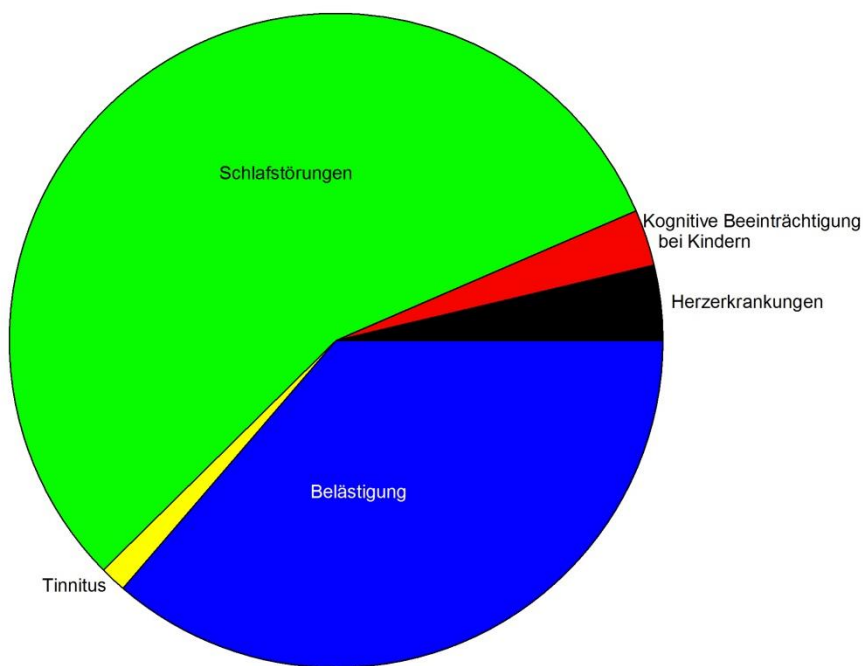


Abbildung 1-1: Verlorene beschwerdefreie Lebensjahre durch Umweltlärm (nach WHO 2011).

Die Grundlagen dieser Berechnungen stammen aus Lärmwirkungsstudien, in denen die verschiedenen Wirkungsbereiche, wie z.B. Herzerkrankungen und Belästigung, getrennt untersucht wurden, und bis heute ist unklar, ob Zusammenhänge zwischen den Wirkungsbereichen bestehen, und wenn ja, wie diese aussehen. Nur hinsichtlich der nächtlichen Schlafstörungen und der Blutdrucksteigerung gibt es in der internationalen Literatur empirische Hinweise auf einen Zusammenhang mit kardiovaskulären Erkrankungen (vgl. Cappuccio et al., 2011).

1.2 Das NORAH-Forschungsverbundprojekt

NORAH („Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health“, deutsch „Zusammenhänge zwischen Lärm, Belästigung, Lern-/Denkprozessen und Gesundheit“) zählt zu den bisher anspruchsvollsten interdisziplinären Forschungsprojekten zur Untersuchung der Auswirkungen von Geräuschen des Verkehrs auf die Bevölkerung. Das Projekt ging von einem stress-theoretischen Ansatz aus, wonach Stress (als Prozess) dadurch definiert ist, dass eine akute Umwelanforderung die psychologischen und physiologischen Regulationsmöglichkeiten eines Menschen überschreitet, insbesondere in Situationen, die Unvorhersehbarkeit und Unkontrollierbarkeit einschließen (vgl. Lazarus & Launier 1978; Koolhaas et al., 2011). Dabei müssen wir zwischen kurzfristigem und langfristigem Stress unterscheiden - beispielsweise zwischen akuten Schlafstörungen mit entsprechenden negativen Folgen für Wohlbefinden und Leistung am nächsten Tag, und den andauernden Wiederholungen dieser und anderer Störungen über längere Zeit. Die kurzfristigen Stress-Situationen können eine Vielzahl von physiologischen und psychologischen Reaktionen auslösen, z.B. in den Hirnströmen, im kardiovaskulären und hormonellen System, in der affektiven Befindlichkeit und im Verhalten. Solche kurzfristigen Belastungen können dann Stress - und gesundheitlich relevant - genannt werden, wenn sie nicht innerhalb kurzer Zeit ausgeglichen werden können. Werden diese Stress-Situationen wiederholt, ohne dass ausreichende Kompensationsmöglichkeiten bestehen, sprechen wir von chronischem Stress.

Die Ausprägung der stressbedingten psychologischen und physiologischen Änderungen im einzelnen Menschen hängt u. a. ab von (a) der Häufigkeit, zeitlichen Verteilung und Intensität der akustischen Belastung, (b) personenbezogenen Faktoren (z. B. Lärmempfindlichkeit und Lärmbewältigungsvermögen), (c) den Einstellungen zur Lärmquelle und zu den als verantwortlich für die Lärminderung wahrgenommenen Institutionen und Personen, (d) sozialen Faktoren (z.B. der Medienberichterstattung), (e) situativen Faktoren (Wohnbedingungen, Lüftungsverhalten, vorhandener Schallschutz) und (f) sonstigen Risikofaktoren (z. B. lärmunabhängige Belastungen, Gesundheitsverhalten) der betroffenen Personen. Insbesondere bei dauerhafter Lärmexposition, wenn Schutz- und Regulationsmöglichkeiten nicht mehr ausreichen, können die wiederholten akuten Geräusch-Reaktionen neben dauerhafter Belästigung zur Entstehung oder Verstärkung von Erkrankungen insbesondere des Herz-Kreislauf-Systems und bei Kindern darüber hinaus zur Beeinträchtigung ihrer kognitiven Entwicklung beitragen.

Somatischen und psychischen Erkrankungen kommt in diesem Kontext eine doppelte Funktion zu: Zum einen limitieren Vorerkrankungen die Ressourcen von Betroffenen, Umweltbelastungen wie Verkehrslärm psychisch wie physisch adäquat zu bewältigen. Zum anderen können sie auch Resultat andauernden chronischen psychischen und physischen Stresses sein, wie er als Reaktion auf chronische akustische Belastungen auftritt.

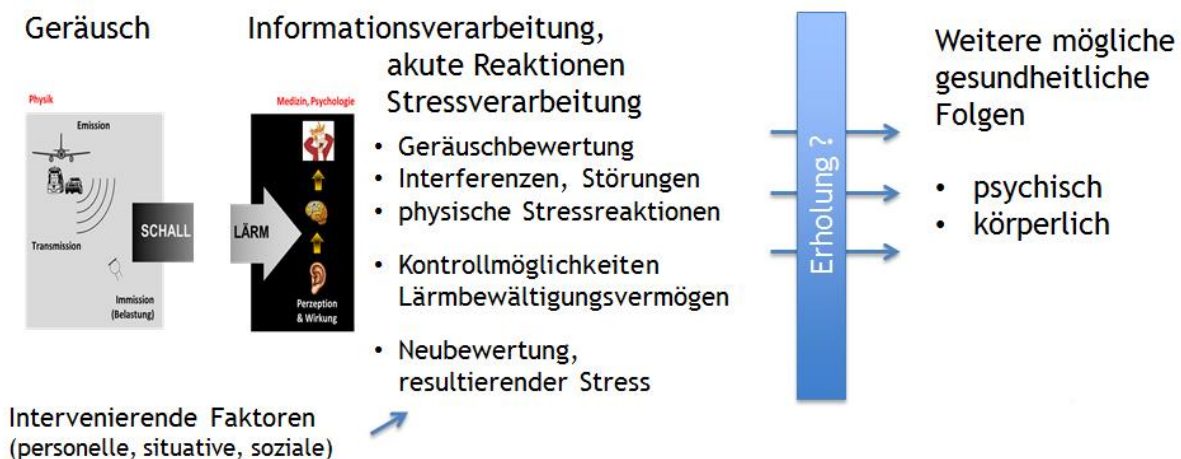


Abbildung 1-2: Rahmenmodell der Wirkung von Umweltgeräuschen

Erwartet wurden weiterhin spezielle Reaktionen im Falle von wesentlichen Änderungen der akustischen Exposition, wie sie z. B. am Frankfurter Flughafen mit Eröffnung der neuen Landebahn und den anschließenden betrieblichen Änderungen durchgeführt wurden. In solchen Fällen können die resultierenden Reaktionen auf der Basis von Expositions-Wirkungsfunktionen, die auf Bestandsdaten beruhen, nur unzureichend abgeschätzt werden. Möglicherweise kommt dem Ausbau des Flughafens eine eigene gesundheitsrelevante Wirkung zu, zusätzlich bzw. unabhängig davon, wie die Luftverkehrsgeräusch-Immissionen für die einzelnen betroffenen Anwohner tatsächlich ausgeprägt sind.

Das Land Hessen hat nach einer öffentlichen Anhörung im September 2010 im Hessischen Landtag beschlossen, eine umfassende Untersuchung der gesundheitlichen Auswirkungen der Geräusche des öffentlichen Verkehrs in Auftrag zu geben. Nach einer öffentlichen Ausschreibung und entsprechenden Angeboten erhielt eine Gruppe von zehn wissenschaftlichen Einrichtungen unter Federführung der Ruhr-Universität Bochum im April 2011 den Auftrag, diese Untersuchungen durchzuführen. Gleichzeitig wurde ein wissenschaftlicher Beirat installiert, in dem erfahrene und unabhängige Experten aller beteiligten Fachrichtungen die externe Qualitätssicherung verantworten. Sie überwachten die sorgfältige Durchführung aller Studienteile und stellten sicher, dass alle Qualitätsstandards der beteiligten Fachdisziplinen eingehalten wurden.

Die Forschergruppe (siehe Kapitel 3) nannte das Verbundprojekt „NORAH“ (Noise Related Annoyance, Cognition, And Health) und organisierte sich mit 5 Teilstudien in 3 Module:

- „Belästigung und Lebensqualität“ (Modul 1)
- „Gesundheit“ (Modul 2)
- „kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“ (Modul 3).

Damit sind - bis auf Tinnitus - alle von der WHO (2011) genannten Wirkungsbereiche in NORAH abgedeckt. Die Untersuchungsregion umfasst v.a. das Rhein/Main-Gebiet (Abb. 3), bezieht aber - für Teilstudien - auch die Flughäfen Berlin-Schönefeld, Köln/Bonn und Stuttgart ein. Grundlage für die Beschreibung der akustischen Belastung war die individuelle Erfassung der quellenspezifischen akustischen Kenndaten (Mittelungspegel,

Maximalpegel) für Luftverkehrs-, Straßenverkehrs- und Schienenverkehrsgeräusche.

Die hier vorliegende Gesamtdarstellung soll eine Zusammenfassung des gesamten NORAH-Forschungsprojekts bieten, einschließlich einer Einordnung des Projekts und seiner Ergebnisse in den gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand. Viele wichtige Informationen mußten aus Platzgründen in dieser Zusammenfassung fortgelassen werden, lassen sich jedoch in den speziellen Berichten der Teilstudien finden.

2 Ziele des Forschungsverbundprojekts

2.1 Übergeordnete Ziele

Das Forschungsverbundprojekt NORAH hatte das Ziel, eine breite und wissenschaftlich abgesicherte Beschreibung der Auswirkungen der Geräusche vom Luft-, Schienen- und Straßenverkehr auf die Gesundheit und Lebensqualität der betroffenen Wohnbevölkerung zu erhalten.

Zwei wesentliche Elemente des NORAH-Projekts waren (a) die Hauptregion und (b) der Zeitpunkt der Untersuchung:

Das Rhein/Main-Gebiet als Hauptregion der Untersuchungen ist durch hohe Bevölkerungs- und Verkehrsdichte gekennzeichnet und besitzt den größten deutschen Verkehrsflughafen. Der Untersuchungs-Zeitraum begann im Sommer 2011, d. h. vor der Eröffnung einer neuen Flughafen-Landebahn mit der anschließenden Einführung einer Kernruhezeit in der Nacht, und endete im Frühjahr 2014. Allerdings wurden einige Flugrouten schon im März 2011 geändert, bevor die NORAH-Untersuchungen beginnen konnten (Anpassung der Gegenanflüge, Verlagerung der Eindrehbereiche sowie Absenkung des Luftverkehrsraumes).

Zu den übergeordneten Zielen der Untersuchungen gehörten folglich

- sowohl die Beantwortung der Frage, ob die Lärmwirkungen im Rhein/Main-Gebiet prinzipiell mit denen in anderen deutschen Regionen vergleichbar sind, bzw. welchen Einfluss Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräusche auf die Bevölkerung haben,
- als auch die Beantwortung der Frage, welchen Einfluss die Änderungen des Flugbetriebs im Herbst 2011 auf die Gesundheit und Lebensqualität im Umfeld des Flughafens hatten, und ob sich die Belästigung der Wohnbevölkerung bei Flughäfen in Ausbausituationen von derjenigen in sog. Bestandsflughäfen unterscheidet.

Beide Hauptfragen ließen sich nicht durch Analyse vorhandener wissenschaftlicher Literatur klären, und deshalb haben sich zehn renommierte Forschungs- und Fachgruppen der Medizin, Psychologie, Sozialwissenschaft und Akustik zu einem Forschungskonsortium zusammengeschlossen (siehe Kapitel 3) und im Rahmen einer europaweiten Ausschreibung ein gemeinsames Forschungsangebot an das Land Hessen gerichtet, das im April 2011 vergeben wurde.

2.2 Ziele des Moduls 1, „Belästigung und Lebensqualität“

Zu den Hauptzielen des Moduls „Belästigung und Lebensqualität“ gehörte die Erstellung bzw. Aktualisierung sogenannter Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen akustischen und psychologischen Variablen - d. h. Parametern der chronischen akustischen Belastung durch Geräusche vom Straßen-, Schienen- und Luftverkehr einerseits und Antworten der Betroffenen hinsichtlich Lärmbelästigung, erlebten Störungen und Lebensqualität andererseits.

Damit verbunden waren weitere Ziele, zu denen verschiedene Vergleiche gehörten:

- der Vergleich des Ausmaßes der Fluglärmelastigung, erlebter fluglärmbedingter Störungen tagsüber und nachts und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität im Rhein/Main-Gebiet vor und nach der Eröffnung der Landebahn Nordwest im Oktober 2011,
- der Vergleich von Fluglärmelastigung, berichteten Störungen und gesundheitsbezogener Lebensqualität im Rhein/Main-Gebiet mit jenen an den Flughäfen Berlin-Schönefeld, Köln/Bonn und Stuttgart sowie der Vergleich der Belastigung, berichteten Schlafstörungen und Lebensqualitätsminderung durch Luftverkehrsgeräusche mit jenen durch Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche,
- gleichzeitig sollte herausgefunden werden, welche Auswirkungen die verschiedenen Verkehrsgeräuschquellenarten als Mehrfachbelastung kombiniert auf die Belastigungsangaben von Betroffenen haben,
- schließlich ging es auch darum, Beziehungen zwischen den Wirkungsbereichen, insbesondere zwischen dem Lärmbelastigungsurteil und der berichteten gesundheitsbezogenen Lebensqualität aufzuzeigen.

Dabei sollte jeweils der Einfluss von persönlichen, sozialen und situativen Faktoren auf die Wirkung von Verkehrslärm berücksichtigt werden.

2.3 Ziele des Moduls 2, „Gesundheit“

Hauptziel war die Beantwortung der Frage, in welchem Ausmaß chronische Geräusche vom Luft-, Schienen- und Straßenverkehr Einfluss auf die Gesundheit der betroffenen Menschen haben - speziell auf die erwachsenen Bewohnerinnen und Bewohner des Rhein/Main-Gebiets.

2.3.1 Ziele der Teilstudie „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung zu Erkrankungsrisiken“

Generell sollten die Auswirkungen chronischer akustischer Belastung durch Geräusche von Straßen-, Schienen- und Luftverkehr auf die Gesundheit der Wohnbevölkerung im Rhein/Main-Gebiet untersucht werden. Dabei standen Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Herzinfarkt, Herzinsuffizienz, Schlaganfall), psychische Erkrankungen (speziell unipolare depressive Episoden) und Krebserkrankungen (speziell Brustkrebs bei Frauen), wie sie in den Abrechnungs- und Verordnungsdaten von Krankenkassen registriert sind, im Mittelpunkt der Teilstudie.

Das primäre Ziel der vertiefenden Befragung bestand darin, die Bedeutung wichtiger Confounder (Störvariablen) zu beurteilen - hier insbesondere des Gesundheitsverhaltens (z.B. „Body Mass Index“, Rauchen, Alkohol) und des Sozialstatus. Dazu sollten die Risikoschätzer ohne Berücksichtigung dieser wichtigen Confounder mit den Risikoschätzern mit Berücksichtigung dieser - in der Befragung erhobenen - Confounder verglichen werden. Dieser Vergleich lässt wichtige Aussagen zu Ausmaß und Richtung möglicher Verzerrungen der Verkehrslärm-bezogenen Risikoschätzer in der (allein) sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie zu; die vertiefende Befragung erlaubte deshalb zuverlässigere Aussagen zur Höhe der „wahren“ Effektschätzer in der sekundärdatenbasierten Analyse.

Als sekundäres Ziel der vertiefenden Befragung wurde angestrebt, die Zusammenhänge zwischen Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Verkehrsgeräusch-bedingten Innenraumpegeln mit denen von Außenpegeln zu vergleichen.

2.3.2 Ziele der Teilstudie „Blutdruckmonitoring“

Das Blutdruckmonitoring sollte den Blutdruck als messbare körperliche Reaktion auf Stress bei einem Teilkollektiv erfassen, das chronisch durch Luft-, Schienen- und Straßenverkehrs-Geräusche belastet ist. Es wurde angenommen, dass eine chronische Verkehrsgeräusch-Belastung zu einer höheren Rate an Krankheiten, Beschwerden und messbaren körperlichen Reaktionen im Bereich des autonomen Nervensystems führt, die sich im Blutdruck widerspiegeln. Grundlage dafür ist die Tatsache, dass Herz-Kreislaufferkrankungen mit der Blutdruckregulation eng zusammenhängen.

Weiterhin sollte der Einfluss der chronischen akustischen Belastung durch Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräusche auf das kardiovaskuläre Gesamtrisiko und das damit eng verbundene 10-Jahres-Herzinfarkt-Risiko untersucht werden.

2.3.3 Ziele der Schlafstudie

Umfangreiche Untersuchungen zum Nachtschlaf von Anwohnerinnen und Anwohnern des Flughafens Köln/Bonn, an dem nachts zahlreiche, vorwiegend Frachtflüge abgewickelt

werden, haben Eingang in Schutzkonzepte verschiedener Flughäfen gefunden. Dabei konnte bisher vorher nicht geprüft werden, ob die in Köln/Bonn ermittelten Expositions-Wirkungs-Kurven auf Flughäfen mit anderem Nachtbetrieb übertragbar sind. Deshalb bestand ein wichtiges Ziel der Schlafstudie darin, die Expositions-Wirkungs-Kurven zu Luftverkehrs-bedingten Aufwachreaktionen zwischen den Flughäfen Köln/Bonn und Frankfurt/Main zu vergleichen. Anders als in den anderen Teilstudien des NORAH-Verbundforschungsprojekts bedeutet „Exposition“ hier primär die akute akustische Belastung durch den Luftverkehr, gemessen im Schlafräum der Flughafen-Anwohnerinnen und -Anwohner.

Weiterhin sollten die Expositions-Wirkungs-Kurven zu Luftverkehrs-bedingten Aufwachreaktionen am Flughafen Frankfurt/Main im Zeitverlauf zwischen 2011 und 2012 untersucht werden. Im Oktober 2011 traten Änderungen im nächtlichen Betrieb des Flughafens in Kraft (Einführung der sog. Kernruhezeit und teilweise Verschiebung von Flugbewegungen in die Tages- bzw. Nacht-Randstunden), und deshalb wurden Messungen des Schlafverhaltens vor und nach der Betriebs-Umstellung durchgeführt.

Im Zusammenhang mit den betrieblichen Änderungen am Flughafen Frankfurt/Main ergab sich die Frage, ob diese sich auf den Schlaf von Menschen, die habituell relativ früh oder relativ spät zu Bett gehen bzw. aufstehen, unterschiedlich oder ähnlich auswirken. Ein drittes Ziel war folglich der Vergleich der Luftverkehrs-bedingten Aufwachreaktionen am Flughafen Frankfurt/Main zwischen Personen, die früher oder später zu Bett gehen und entsprechend früher oder später aufstehen.

Ein weiteres Ziel der Schlafstudie bestand darin, eine Methode zu entwickeln und unter Feldbedingungen zu prüfen, die es - im Gegensatz zur aufwendigen Polysomnografie PSG - erlaubt, an einer größeren Zahl von Personen mit ausschließlicher Messung des Elektrokardiogramms (EKG) und der Körperbewegungen, Luftverkehrsgeräusch-assoziierte Aufwachreaktionen (die größtmögliche Störung des Schlafs) abzubilden. Diese vegetativ-motorische Methode (VMM) hat den Vorteil, dass - im Gegensatz zur PSG - nicht jeden Abend und jeden Morgen ein Untersucher bei den Untersuchungspersonen vor Ort sein muss, sondern diese das Equipment selbst anlegen können. Zudem kann eine Auswertung der Daten voll-automatisch durchgeführt werden.

2.4 Ziele des Moduls 3, „Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“

Das Modul untersuchte Luftverkehrsgeräuschwirkungen - konzentriert auf kognitive Leistungen und Lebensqualität - bei Kindern, während die übrigen Module sich mit Erwachsenen beschäftigten. In der Kinderstudie ging es v.a. um den Leseerwerb und die Entwicklung leserelevanter lautsprachlicher Fertigkeiten sowie um die Lebensqualität von Grundschulkindern, die sowohl in der Schule als auch zu Hause der akustischen Belastung durch Luftverkehrsgeräusche ausgesetzt waren. Ein wesentliches Ziel war die Feststellung von Exposi-

tions-Wirkungs-Beziehungen zwischen dem Ausmaß der chronischen Geräuschbelastung und den verschiedenen kognitiven Leistungsparametern bzw. Maßen der Lebensqualität der Kinder.

2.5 Ziele der modulübergreifenden „Erfassung der Verkehrsräuschexpositionen“

Die Erfassung der Verkehrsräuschexposition war der Grundstein des NORAH-Verbundprojekts. Basis aller Wirkungsanalysen in den vorgenannten Teilstudien war eine möglichst realitätsnahe, quellenspezifische Beschreibung der Belastung durch Luftverkehrs-, Straßenverkehrs- und Schienenverkehrsräusche im Untersuchungsraum Frankfurt sowie an den Vergleichsstandorten Berlin-Schönefeld, Köln/Bonn und Stuttgart für die Wohnadressen der Teilnehmenden der NORAH-Teilstudien.

Dieses Hauptziel war mit einer Reihe von Teilzielen verbunden:

- Kennzeichnung der adressgenauen, langfristigen Geräuschbelastung (bezogen auf ein Jahr bzw. mehrere Monate) in allen Studienregionen durch Berechnung verschiedener Geräuschpegelmaße für unterschiedliche Tageszeitscheiben: Mittelungs- bzw. Dauerschallpegel und Maximalpegel für Straßen-, Schienen- und Luftverkehr, darüber hinaus für Luftverkehr Maximalpegel-Häufigkeitsstatistik u. a. zur Definition von sogenannten NAT-Werten (*number above threshold*, Anzahl von Flugbewegungen oberhalb eines definierten Maximalpegels), sowie für den Außen- und teilweise auch für den Innenraum der Wohnadressen der Teilnehmenden. Für nahezu alle Teilstudien, mit Ausnahme der Schlafstudie, erfolgte die Ermittlung der Geräuschbelastung durch Berechnung der akustischen Parameter. In der Schlafstudie wurden während der gesamten Zeit, in der die Teilnehmenden im Bett lagen, der Schalldruckpegel und die Geräuschdateien kontinuierlich am Ohr der Schläfer aufgezeichnet und daraus mehrere akustische Parameter abgeleitet.
- Ermittlung einer „Lärmhistorie“ für Untersuchungsteilnehmende: Dieses Teilziel bezog sich auf die Teilstudie „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefter Befragung“. Dabei galt es, für alle verfügbaren Adressen in der Studienregion der Fallkontrollstudie im Rhein/Main-Gebiet die quellenspezifische Verkehrsräuschbelastung für einen mehrjährigen Zeitraum, im vorliegenden Fall für die Jahre 1996 bis 2010, zu ermitteln. Durch Verschneidung mit Adress- und Umzugsangaben der Untersuchungsteilnehmenden sollte damit eine individuelle "Lärmhistorie" von Teilnehmenden auch im Umzugsfall erstellt werden, sofern etwaige Adresswechsel innerhalb der Studienregion erfolgen.
- Unseres Wissens erstmals in einer Lärmwirkungsstudie: Abschätzung der Unsicherheiten bzw. Zuverlässigkeit der ermittelten akustischen Kenngrößen durch eine detaillierte Fehlerbetrachtung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der

Eingangs- und Modellparameter getrennt für die untersuchten Schallquellenarten.
Der Einfluss der Aussageunsicherheit auf die Ergebnisse der Expositions-
Wirkungsbeziehung sollte exemplarisch aufgezeigt werden.

3 Arbeitsgruppen

Das Forschungsverbundprojekt NORAH („Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health“) ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt zur Untersuchung der Auswirkungen von Verkehrsgeräuschen auf die Bevölkerung. Es wurde von 2011 bis 2015 durchgeführt. Hauptregion der Untersuchungen war das Rhein-Main-Gebiet. Am Projekt waren insgesamt zehn wissenschaftliche Arbeitsgruppen aus Akustik, Medizin und Gesundheitswissenschaften, Schlafforschung, Epidemiologie und Psychologie beteiligt. Die beteiligten Institutionen sind nachfolgend in der alphabetischen Reihenfolge ihres Institutsnamens aufgeführt:

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR Köln), Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Abt. Flugphysiologie: Auswirkungen von Luftverkehrsgeräuschen auf den nächtlichen Schlaf (Uwe Müller, Daniel Aeschbach, Eva-Maria Elmenhorst, Alex Hoff, Franco Mendolia, Julia Quehl, Iris Rieger, Stefan Schmitt, in Kooperation mit Wilma Littel, Universitätsklinikum Gießen-Marburg).
- Hörzentrum Oldenburg GmbH, zusammen mit TU Kaiserslautern: Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern (Markus Meis).
- Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Hygiene und Umweltmedizin, zusammen mit dem Institut für Medizinische Informatik: Blutdruckmonitoring, Feldarbeiten für Schlafqualität und Fallkontrollstudie (Thomas Eikmann, Anja zur Nieden, Susanne Harpel, Azita Lengler, Doreen Ziedorn, Marcus Bürger, in Kooperation mit Jan Spilski (TU Kaiserslautern)).
- Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Medizinische Informatik, zusammen mit dem Institut für Hygiene und Umweltmedizin: Analysen zum Blutdruckmonitoring, Feldarbeiten für Fallkontrollstudie (Jörn Pons-Kühnemann, Karin Römer, Abed Atiq, Helge Hudel).
- Möhler und Partner Ingenieure AG, München, in Kooperation mit SoundPLAN GmbH, Backnang, und AVIA Consult, Strausberg: Erfassung der Verkehrsgeräuschexpositionen für alle Module (Ulrich Möhler, Manfred Liepert, Maximilian Mühlbacher, Alfred Beronius, Martin Nunberger (alle Möhler und Partner), Gerd Braunstein, Michael Gillé, Jochen Schaal (SoundPLAN) und Rüdiger Bartel (Avia Consult)).
- Technische Universität Dresden, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin, zusammen mit der Erhebungsstelle, Justus-Liebig-Universität Gießen: Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung (Andreas Seidler, Mandy Wagner, Melanie Schubert, Patrik Dröge, Janice Hegewald).
- Technische Universität Kaiserslautern, Fachbereich Sozialwissenschaften, zusammen mit Hörzentrum Oldenburg: Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern (Maria Klatte, Kirstin Bergström, Jan Spilski, Jochen Mayerl, Thomas Lachmann).
- Ruhr-Universität Bochum, AG Umwelt- und Kognitionspsychologie, zusammen mit ZEUS GmbH: Wissenschaftliche Leitung und Projektkoordination (Rainer Guski, Christin Peschel, Jödis Wothge).
- Sozialwissenschaftliches Umfragezentrum GmbH (SUZ Duisburg), zusammen mit ZEUS GmbH: Belästigung und Lebensqualität (Frank Faulbaum, Lars Ninke).
- ZEUS GmbH, Hagen, zusammen mit Ruhr-Universität Bochum und SUZ Duisburg sowie in Kooperation mit TU Kaiserslautern: Belästigung und Lebensqualität sowie Projektkoordination (Dirk Schreckenberger, Christin Peschel, Jödis Wothge, Jan Spilski).

4 Methodik

4.1 Wissenschaftliche Ergebnisse hängen von der Art der Fragestellung und der Untersuchungsmethodik ab

Jede wissenschaftliche Arbeit braucht mindestens eine spezielle untersuchbare Fragestellung und mindestens eine spezielle Untersuchungsmethode, und beide müssen aufeinander abgestimmt sein. Deshalb sind Untersuchungen mit unterschiedlichen Fragestellungen und/oder Untersuchungsmethoden nicht direkt miteinander vergleichbar.

Bei Fragestellungen mit Bezug auf Lärmwirkungen muss beispielsweise unterschieden werden zwischen akuten und chronischen Lärmwirkungen: Wenn sich unsere Blutgefäße bei einem akuten Geräusch zusammenziehen und der Muskeltonus steigt, ist das zwar eine sichere akute Lärmwirkung, sagt aber für sich allein nichts über die Gesundheitsgefährdung bei chronischer Geräusch-Exposition aus. Zur Beantwortung dieser Frage müßte bekannt sein, wie sich der Körper bei Wiederholung der akuten Beschallung und unterschiedlichen Erholungszeiten verhält. Weiterhin muss zwischen abhängig oder unabhängig vom Lärm-Kontext erhobenen Wirkungs-Variablen unterschieden werden: Es ist bekannt, dass eine Person bei Befragungen meist höhere Lärmbelastigungswerte angibt, wenn ihr klar ist, dass es sich um eine Lärmwirkungsstudie handelt, als wenn sie das nicht weiß (vgl. Bodin, Björk, Öhrström, Ardo & Albin, 2012). Ebenso müssen wir die Situation der Daten-Erhebung berücksichtigen: Beispielsweise hat sich bei Schlaf-Untersuchungen herausgestellt, dass Menschen im Schlaflabor stärkere Geräusch-Wirkungen zeigen als zu Hause (vgl. Basner et al., 2004).

Darüber hinaus bedarf die Übertragung des Ergebnisses aus einer Untersuchung auf andere Fragestellungen und/oder andere Situationen einer besonders sorgfältigen Diskussion der Voraussetzungen. Schon der scheinbar einfache Vergleich von Wirkungen der Straßenverkehrsgeräusche mit denen von Schienenverkehrsgeräuschen muss berücksichtigen, dass die zeitliche Struktur der beiden Geräusche in der Regel sehr unterschiedlich ist - im ersten Fall haben wir es meist mit relativ häufigen, kurzen und eher mittel-lauten Ereignissen zu tun, im zweiten Fall mit selteneren, dafür lauten und länger anhaltenden. Selbst dann, wenn beide Geräuschquellen denselben Dauerschallpegel haben, zeigen sich unterschiedliche Expositions-Wirkungs-Beziehungen sowohl bei der Belästigung als auch bei Schlafstörungen (vgl. z.B. Miedema & Oudshoorn, 2001; Elmenhorst et al., 2012; Giering, 2010; Müller, 2010). Auch die Übertragung der Ergebnisse von einem Flughafen auf einen anderen ist problematisch, wenn die Flughäfen z.B. unterschiedliche Betriebszeiten und/oder Flotten-Zusammensetzungen haben.

Im Bereich der angewandten Forschung (z.B. der Lärmwirkungsforschung) müssen wir mit einem zusätzlichen Problem rechnen: In der Regel sind die Problem-Verursacher andere Personen oder Gruppen als die Problem-Betroffenen; sie haben zumindest häufig

unterschiedliche Erkenntnis-Interessen. Während die einen eher an der Abwägung gesundheitlicher Risiken gegenüber wirtschaftlichen Vorteilen interessiert sein mögen, wollen die anderen meist eher wissen, welcher Gesundheitsschaden maximal auftreten kann - unabhängig von seiner Auftretenswahrscheinlichkeit (vgl. Hastie & Dawes, 2001). Folglich ist zu erwarten, dass jede Untersuchung von mindestens einer Interessensgruppe Kritik an Fragestellungen und Methodik erntet. Deshalb ist die unabhängige wissenschaftliche Qualitätssicherung, die im NORAH-Projekt den gesamten Weg der Forschung von der Untersuchungsplanung bis zum Ergebnisbericht begleitet, ein sehr wichtiges Mittel zur Diskussion und Beratung aller Forschungsprozesse unter ausschließlich wissenschaftlichen Kriterien. Der hier realisierte Umfang der wissenschaftlichen Qualitätssicherung setzt neue Maßstäbe für angewandte Forschung.

4.2 Fragestellungen der Teilstudien

4.2.1 Fragestellungen des Moduls „Belästigung und Lebensqualität“

Generell wurde im Modul „Belästigung und Lebensqualität“ die Frage gestellt, welche statistischen Beziehungen zwischen der akustischen Belastung durch Geräusche des Luft-, Schienen- und Straßenverkehrs einerseits und erfragbaren Lärmwirkungen andererseits bestehen. Zu den erfragbaren Lärmwirkungen zählten neben der generellen Belästigung auch Belästigungen zu unterschiedlichen Tageszeiten, Störungen der Kommunikation, der Ruhe, des Schlafes sowie psycho-vegetative Störungen (Kopfschmerzen, Gereiztheit/ Nervosität, Schreckreaktionen, gesundheitsbezogene Lebensqualität, umweltbezogene Lebensqualität).

Bei diesen generellen und den meisten unten genannten spezifischen Fragestellungen wurde zusätzlich gefragt, welche personalen und sozialen Faktoren die Lärmwirkungen in welchem Ausmaß moderieren. Dazu gehören v.a.:

- Erwartungen zur Situation nach der NW-Bahneröffnung (wahrgenommene bisherige Veränderungen, künftige Wohnsituation, Erwartungen zu den Folgen), Wahrnehmung und Bewertung aktiver Schallschutzmaßnahmen,
- Soziale Moderatoren: Einstellung gegenüber den drei Verkehrsquellen (quellenspezifisch erfasst), Vertrauen in Verantwortliche für Fluglärm, wahrgenommene prozedurale Fairness,
- Personale Moderatoren: Lärmempfindlichkeit und Lärmbewältigungsvermögen.

Spezielle Fragestellungen betrafen Vergleiche der statistischen Beziehungen zwischen akustischer Belastung und erfragbaren Lärmwirkungen zwischen verschiedenen Zeitpunkten, insbesondere vor und nach Inbetriebnahme der NW-Landebahn am Flughafen Frankfurt, aber auch zwischen den Ergebnissen der RDF-Studie (Schreckenberger & Meis, 2006) und 2011-2013 im Rhein/Main-Gebiet.

Weitere Fragestellungen betrafen

- den Vergleich der Luftverkehrsgeräuschwirkungen am Flughafen Frankfurt mit denen an den Flughäfen Berlin-Schönefeld (Flughafen mit geplanter Neueröffnung), Köln/Bonn (Flughafen mit relativ hohem Nachtfluganteil) und Stuttgart (Flughafen mit Kernruhezeit von 0:00 bis 06:00 Uhr). Hier ging es vor allem darum, die Luftverkehrsgeräuschwirkungen an einem Flughafen, der sich in einer "Änderungssituation" befindet (Flughafen Frankfurt und - geplant - Flughafen Berlin-Brandenburg), mit denen an einem Bestandsflughafen, an dem keine Änderungen in der Geräuschsituation durch z.B. Ausbau oder flugbetriebliche, tageszeitliche Kapazitätsänderungen auftreten (Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart), zu vergleichen. Die Änderungen am Flughafen Frankfurt betrafen vor allem: Inbetriebnahme der Landebahn Nordwest, Anpassung von Flugrouten, Einführung der Kernruhezeit von 23:00 bis 05:00 Uhr, Einführung lärmoptimierter An- und Abflugverfahren und Flottenumrüstungen im Rahmen eines aktiven Schallschutzmaßnahmenprogramms. Die Änderungen am Flughafen Berlin-Schönefeld betrafen (geplant): Ausbau des Regionalflughafens und Eröffnung als Flughafen Berlin-Brandenburg International.
- den Vergleich der erfragbaren Lärmwirkungen zwischen den drei Verkehrsgeräusch-Quellen (Straßen-, Schienen-, Luftverkehr) und schließlich
- die Frage, wie sich die Kombinationen von zwei Verkehrsgeräusch-Quellen (hier: Luft- plus Straßenverkehr bzw. Luft- plus Schienenverkehr) auf Belästigungsangaben auswirken.

4.2.2 Fragestellungen der sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie mit vertiefter Befragung

Hier lauteten die Fragestellungen:

- Welcher statistische Zusammenhang besteht zwischen der chronischen akustischen Belastung durch Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräusche einerseits, und Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Herzinfarkt, Herzinsuffizienz, Schlaganfall), psychischen Erkrankungen (speziell Episoden einer unipolaren depressiven Störung) und Krebserkrankungen (speziell Brustkrebs bei Frauen) andererseits?
- Werden die Risikoschätzer der (allein) sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie durch die eingeschränkte Abbildbarkeit wichtiger Confounder verzerrt? Wenn Ja: wie stark und in welche Richtung?
- Unterscheiden sich die Risiken für einzelne Stundenzeitscheiben (L_{pAeq}) für die Zeit von 22 bis 8 Uhr voneinander?
- Welche Erkrankungsrisiken haben Personen, die längere Zeit (5 Jahre, 10 Jahre) Verkehrsgeräuschen ausgesetzt sind?
- Ändern sich die Erkrankungsrisiken bei gemeinsamer Aufnahme der verschiedenen Verkehrsgeräusch-Quellen in ein "Auswertungsmodell"?

- Unterscheiden sich die Expositions-Risiko-Verläufe für Innenraumpegel von den entsprechenden Verläufen für Außenpegel? (Nur für die vertiefende Befragung).

4.2.3 Fragestellungen des Blutdruckmonitorings

Im Blutdruckmonitoring ging es um den Einfluss von chronischer (d.h. regelmäßig wiederkehrender) Belastung durch Luft-, Schienen- oder Straßenverkehrsgeräusche auf den Blutdruck und das kardiovaskuläre Erkrankungsrisiko (hier: geschätztes 10-Jahres-Herzinfarktrisiko). Im Einzelnen wurden folgende Fragestellungen behandelt:

- Sind mit steigender chronischer Belastung durch Luft-, Schienen- oder Straßenverkehrsgeräusche höhere Blutdruckmesswerte bei Bewohnerinnen und Bewohnern in der Umgebung des Flughafens Frankfurt zu verzeichnen?
- Ist mit steigender chronischer Belastung durch Luft-, Schienen- oder Straßenverkehrsgeräusche ein höheres 10-Jahres-Herzinfarktrisiko bei diesen Bewohnerinnen und Bewohnern zu verzeichnen?
- Können zeitliche Veränderungen der Blutdruckwerte beobachtet werden?

4.2.4 Fragestellungen der Schlafstudie

Die Schlafstudie konzentrierte sich auf den Einfluss der Luftverkehrs-Geräuschbelastung auf den Schlaf. Die Fragestellungen hierbei lauteten:

- Bewirkt die Bündelung der Flugbewegungen am Flughafen Frankfurt in den Randstunden infolge der Einführung der Kernruhezeit einen Anstieg akuter Schlafstörungen, d. h. eine Beeinträchtigung des Einschlafens vor Beginn der Kernruhezeit und ein häufiges und verfrühtes Aufwachen nach ihrem Ende?
- Gibt es eine Verbesserung oder Verschlechterung des Schlafes über die gesamte Schlafzeit im Vergleich zur Basiserhebung 2011?
- Sind die Expositions-Wirkungsbeziehungen des Flughafens Köln/Bonn hinsichtlich physiologischer Aufwachreaktionen auf den Flughafen Frankfurt mit Kernruhezeit übertragbar?
- Reagieren Personen mit positiver Einstellung zum Flugbetrieb im Schlaf weniger stark auf Fluglärm als Personen mit negativer Einstellung?
- Geht die abnehmende nächtliche Luftverkehrsgeräuschexposition mit abnehmenden berichteten Schlafstörungen (z.B. hinsichtlich Schlaferholung, subjektive Aufwachhäufigkeit sowie Müdigkeit und Schläfrigkeit am Morgen) einher?

4.2.5 Fragestellungen der Kinderstudie

Die Kinderstudie untersuchte den Zusammenhang zwischen Luftverkehrsgeräuschen und der geistigen Entwicklung und Lebensqualität von Kindern mit folgenden Fragestellungen:

- Lassen sich - bei umfassender Kontrolle anderer Einflussfaktoren - beeinträchtigende Wirkungen von Luftverkehrsgeräuschen, so wie sie im Umfeld des Flughafens Frankfurt vorliegen, auf die Lesefähigkeit von Kindern nachweisen?
- Lassen sich Wirkungen der Luftverkehrsgeräusche auf die dem Lesenlernen zugrunde liegenden sprachlich-kognitiven Funktionen nachweisen?
- Lassen sich Wirkungen der Luftverkehrsgeräusche auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität und auf das Wohlbefinden der Kinder in der Schule nachweisen?
- Inwieweit fühlen sich die Kinder durch Luftverkehrsgeräusche in der schulischen und häuslichen Umwelt belastigt?
- Wie wirken sich die Luftverkehrsgeräusche ganz konkret auf das alltägliche Unterrichtsgeschehen aus?

4.3 Analyse-Ansätze und Stichprobenziehung in den Teilstudien

4.3.1 Untersuchung in Wohngebieten im Flughafenumfeld

Allen Teilstudien des NORAH-Forschungsverbundprojekts gemeinsam war die **Feldorientierung**, d. h. es gab keine Laborstudien, sondern ausschließlich Untersuchungen an Menschen, die an ihrem Wohnort seit mindestens einem Jahr mehr oder weniger stark durch Verkehrsgeräusche belastet waren. Weiterhin erfolgten alle Erhebungen im Umfeld des Flughafens Frankfurt sowie teilweise auch im Umfeld anderer Flughäfen (Köln/Bonn, Berlin-Schönefeld, Stuttgart). Die Definition von Flughafenumgebungen als Untersuchungsraum rührt daher, dass der Ausbau am Frankfurter Flughafen ein Anlass für die Vergabe des NORAH-Projekts war und es darum ging, die Luftverkehrsgeräusche in der Rhein/Main-Region rund um den Flughafen vor und nach Inbetriebnahme der Nordwest-Landebahn in ihren Auswirkungen auf Anwohnende mit anderen Verkehrsgeräuschquellenarten und der Geräuschsituation an anderen Flughafenstandorten zu vergleichen.

Im Detail wurden für die Erhebungen und die Gewinnung der Teilnehmenden je nach Teilstudie des NORAH-Forschungsverbundprojekts und Fragestellung unterschiedliche Ansätze verfolgt.

4.3.2 Studienregion, räumlicher Bezug

Die Studienregion der Teilstudien *"Belästigung und Lebensqualität"*, *"Blutdruckmonitoring"* sowie *"Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern"* war jeweils durch ein akus-

tisches Abgrenzungskriterium definiert. Für die Teilstudien "Belästigung und Lebensqualität" und "Blutdruckmonitoring" wurden zunächst in der Rhein/Main-Region alle Wohnadressen erfasst, die in der Luftverkehrsgeräuschbelastung einen Dauerschallpegel ≥ 40 dB für die Tageszeit von 06-22 Uhr ($L_{pAeq,06-22h}$) oder für die Nachtzeit von 22 bis 06 Uhr ($L_{pAeq,22-06h}$) aufweisen. Die Stichprobenzugehörigkeit wurde mit Hilfe der Funktion $\text{Max}(L_{pAeq,06-22h}, L_{pAeq,22-06h})$ bestimmt, d.h., es wurden alle Personen einbezogen, deren Tages- oder Nachtpegel für Luftverkehrsgeräusche ≥ 40 dB betrug. Dieses Kriterium wurde für die Teilstudie „Belästigung und Lebensqualität“ auch an den Flughäfen Berlin-Schönefeld, Köln/Bonn und Stuttgart angewendet.

Für die *Teilstudie zur kognitiven Entwicklung und Lebensqualität von Kindern* wurde das gleiche "40 dB-Kriterium", allerdings bezogen auf den Tagesdauerschallpegel $L_{pAeq,06-22h}$ angewandt, da in dieser Studie für die Auswahl von Schulstandorten die tagsüber vorherrschende Luftverkehrsgeräuschbelastung im Vordergrund stand.

Das "40 dB-Kriterium" wurde im Wesentlichen aus zwei Gründen eingeführt:

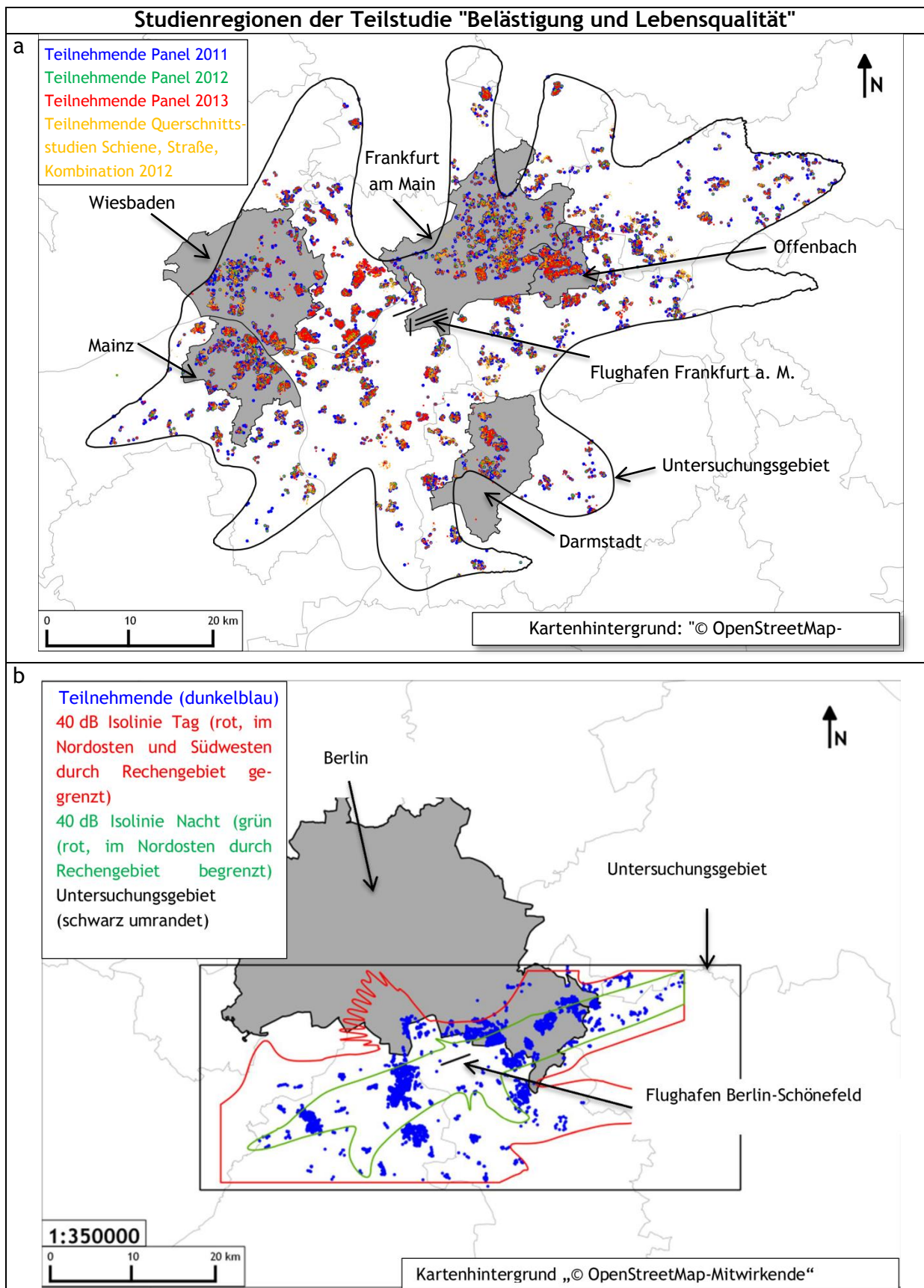
1. Im Bereich unter 40 dB sinkt die Zuverlässigkeit der berechneten Pegelwerte gerade an einem verkehrsreichen Flughafen wie Frankfurt erheblich ab. Dadurch nimmt die Häufigkeit von Fehlern in den Pegeln zu. Eine Auswertung bei so niedrigen Pegeln würde wegen der höheren Fehlervarianz eher zu einer Unterschätzung möglicher Effekte führen. In Wohngebieten mit einer Luftverkehrsgeräuschbelastung von weniger als 40 dB im Dauerschallpegel ist damit zu rechnen, dass andere, ggf. nicht erfasste Geräuschquellen überwiegen und der errechnete Geräuschpegel für eine Einzelquelle (hier: Luftverkehr) den Hintergrundgeräuschpegel unterschreitet. Messungen an den Messstellen am Flughafen Frankfurt haben gezeigt, dass in den ruhigsten Stunden eines 24-Stunden-Tages (zwischen 0:00 und 04:00 Uhr) Hintergrundgeräuschpegel von $L_{pA95,1h}$ von 28 bis 42 dB (im Mittel 36 dB) erreicht werden (Möhler et al., 2015). Zwar kommt es vor, dass seltene Geräuschereignisse, die rechnerisch in der Summe einen Dauerschallpegel ergeben, der kleiner als der Hintergrundpegel ist, noch gehört werden können. Nimmt man aber wie in der vorliegenden Studie den Dauerschallpegel als Maß für die Geräuschexposition, gelangt man in den Bereich der "kausalen Unentscheidbarkeit", wenn bei Aussagen zu Expositions-Wirkungsbeziehungen nicht mehr unterschieden werden kann, ob eine Wirkung auf den rechnerisch ermittelten quellspezifischen Geräuschpegel oder auf den (höheren) Hintergrundpegel zurückzuführen ist. Die Geräuschpegelberechnungen für die Stichprobenziehung stellten Rasterberechnungen dar. Die nach Stichprobenziehung für die Adressen von Untersuchungsteilnehmenden berechneten Geräuschpegel beruhten auf Einzelpunktberechnungen, die zum Teil Dauerschallpegel unter 40 dB aufwiesen. Gründe hierfür können sein,
 - a. dass Änderungen in den Eingangsdaten zwischen den Berechnungen für die Stichprobenziehung und später für die Untersuchungsteilnehmenden auftraten, zumal sich die Bezugsjahre der Berechnungen unterscheiden;

- b. dass die bei Stichprobenziehung berechneten Dauerschallpegel-Kontur von 40 dB "großzügig" bemessen wurde und "Lücken" bzw. "Inseln", d. h. Wohngebiete mit einer Geräuschbelastung kleiner 40 dB im L_{pAeq} für Tag bzw. Nacht, einschließt, und
 - c. dass methodische Unterschiede in der Raster- und Einzelpunktbechnung in einigen Fällen zu Dauerschallpegeln kleiner 40 dB nach Stichprobenziehung geführt haben.
2. Der zweite Grund betrifft vor allem jene Teilstudien, die insbesondere die gemeinsame (kontinuierliche) Kovariation von Ursache und Wirkung - hier Geräuschbelastung und deren Wirkung - betrachteten. Bei der Analyse der Wirkung von Geräuschen im Sinne der Differenz zwischen Ergebnissen in einer exponierten Personen-Gruppe im Vergleich zu denen einer - möglichst unbelasteten - Referenzgruppe, wie es in der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken der Fall war, wurde die Referenzgruppe nach "unten hin offen" definiert z.B. als Gruppe mit einem Dauerschallpegel "kleiner 40 dB".

Für die *Fallkontrollstudie* umfasste die definierte Studienregion im Rhein/Main-Gebiet den gesamten Regierungsbezirk Darmstadt, die rheinhessischen Städte Mainz und Worms sowie die Landkreise Mainz-Bingen und Alzey-Worms.

In der *Schlafstudie* wurde ausschließlich der Effekt von Luftverkehrsgeräuschen auf den Schlaf untersucht. Entsprechend erfolgte die Auswahl von Untersuchungs-Wohngebieten in der Rhein/Main-Region dergestalt, dass die Luftverkehrsgeräusche dort als dominante Geräuschbelastung vorherrschen und möglichst wenig andere (Verkehrs-) Geräusche im Schlafraum von Untersuchungspersonen auftreten. Das primäre Kriterium für die Auswahl der Untersuchungsgebiete lautete, dass dort von 2011 bis 2013 ein relativ hohes Aufkommen an nächtlichen Flugbewegungen zwischen 22:00 und 06:30 Uhr bzw. 23:00 und 07:30 Uhr ausgehend vom Flughafen Frankfurt vorlag. Für die Teilnehmergewinnung wurde eine Verteilung von Maximalpegeln (L_{pAmax}) für Luftverkehr am Ohr des Schlafenden im Bereich von ca. 35 -70 dB angestrebt. Schließlich wurden folgende Orte im Rhein/Main-Gebiet in die Untersuchung einbezogen: In den Jahren 2011 und 2012 Gräfenhausen, Klein-Gerau, Nauheim, Offenbach Süd, Raunheim, Rüsselsheim, Wixhausen, Worfelden. Im Jahr 2013 kamen noch die Orte Flörsheim, Frankfurt-Süd, Hochheim und Mörfelden hinzu.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Studienregionen der einzelnen Teilstudien und die Verteilung der jeweils teilnehmenden Personen.



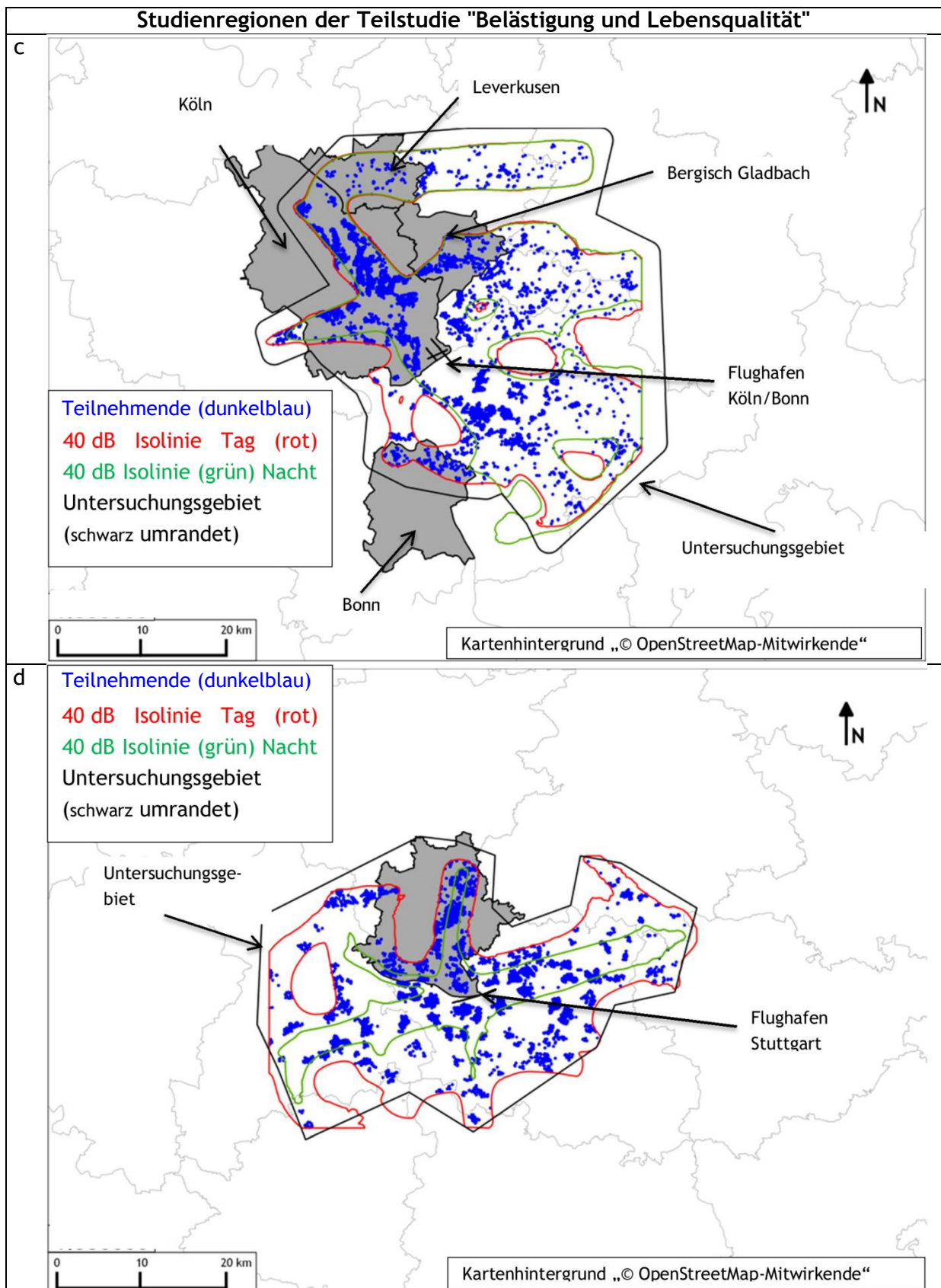
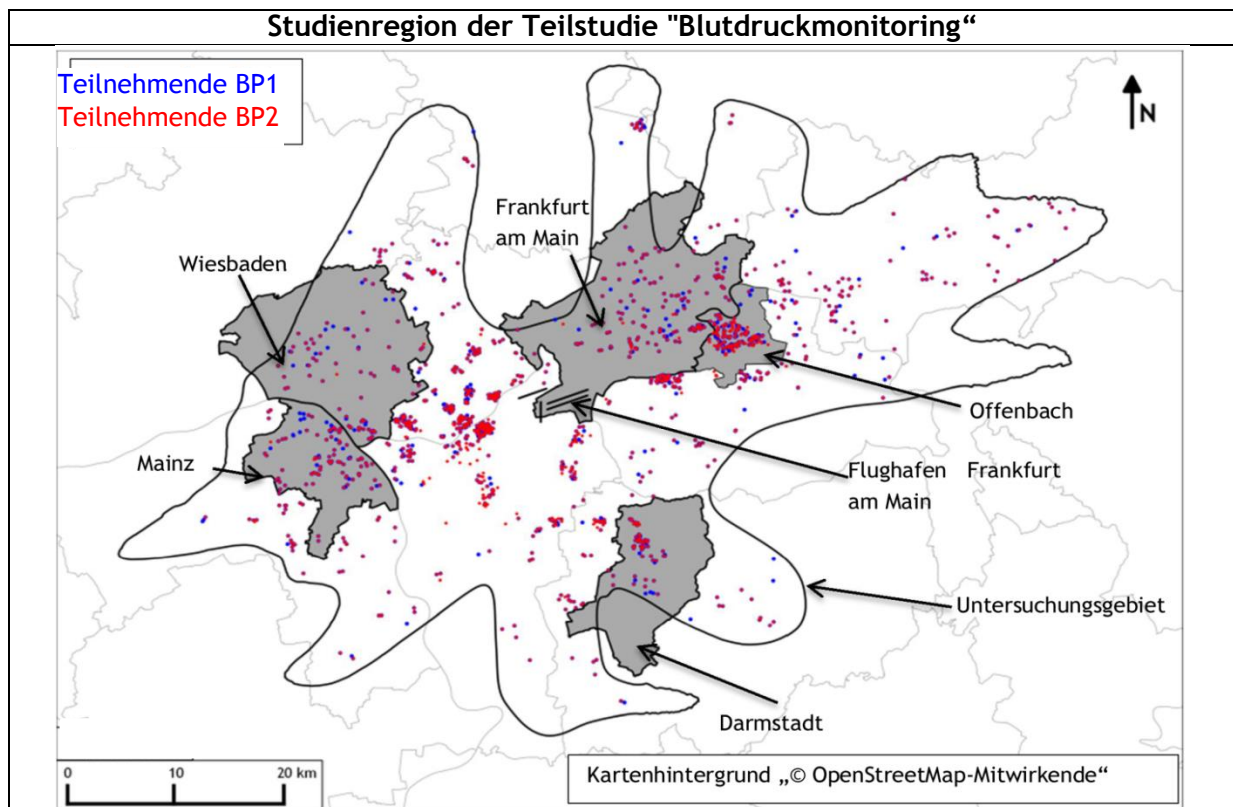


Abbildung 4-1a-d: Studienregionen des Moduls "Belästigung und Lebensqualität" im Rhein/Main-Gebiet (a) und an den Flughäfen Berlin-Schönefeld (b), Köln/Bonn (c) und Stuttgart (d).



Abbildung 4-2: Studienregion der Teilstudie "Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung" im Rhein/Main-Gebiet.



Anmerkung. BP1 ist die erste Erhebungswelle im Blutdruckmonitoring, BP2 eine follow-up-Erhebung bei einem Teil der Teilnehmenden aus BP1 - vgl. Abschnitt 4.4.3.

Abbildung 4-3: Verteilung von Untersuchungspersonen in der Studienregion der Teilstudie "Blutdruckmonitoring" im Rhein/Main-Gebiet.

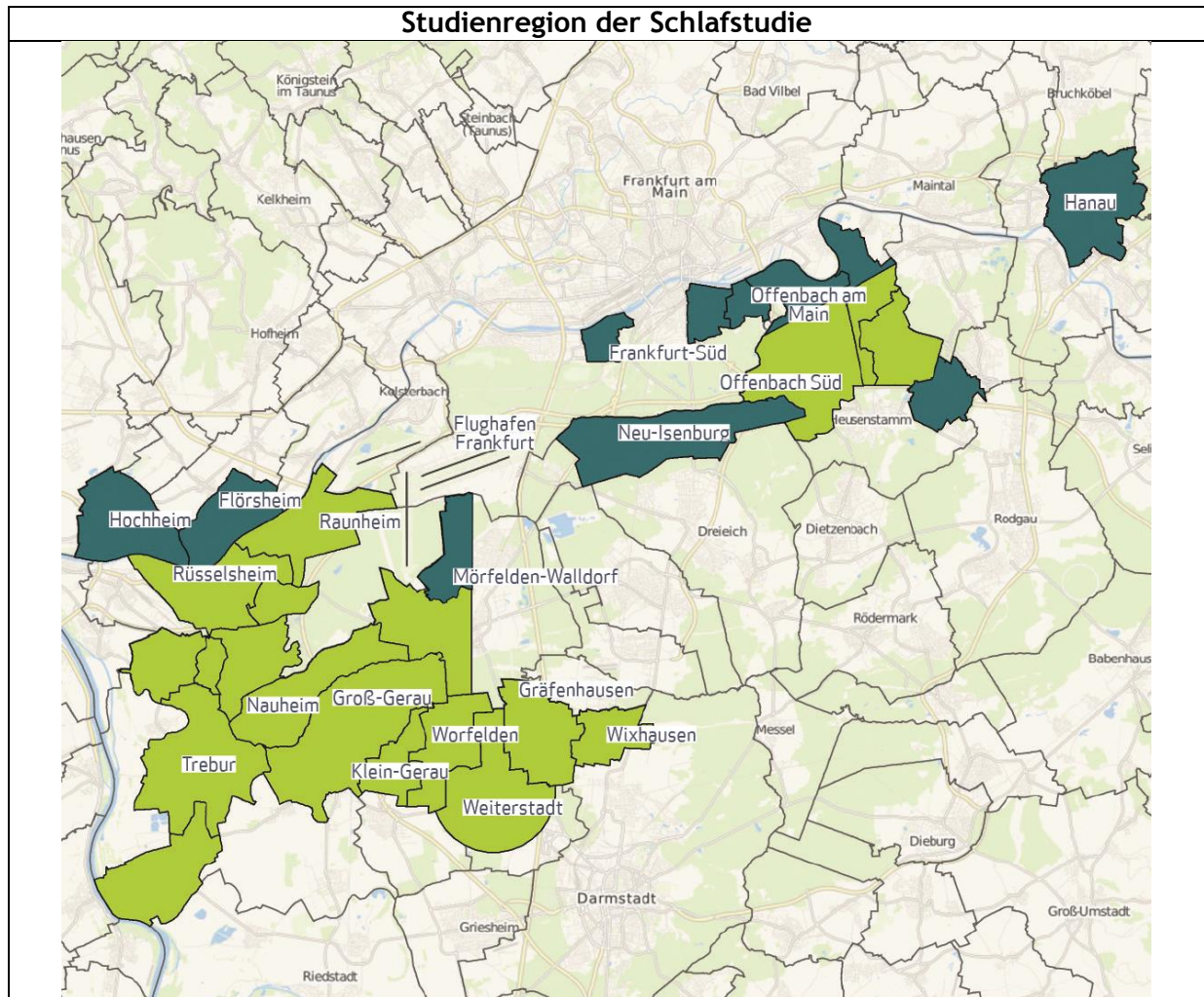


Abbildung 4-4: Studienregion der Schlafstudie im Rhein/Main-Gebiet um den Frankfurter Flughafen. Hellgrüne Flächen: Gebiete 2011-2013, blaue Flächen: neu hinzugekommene Gebiete in 2013.

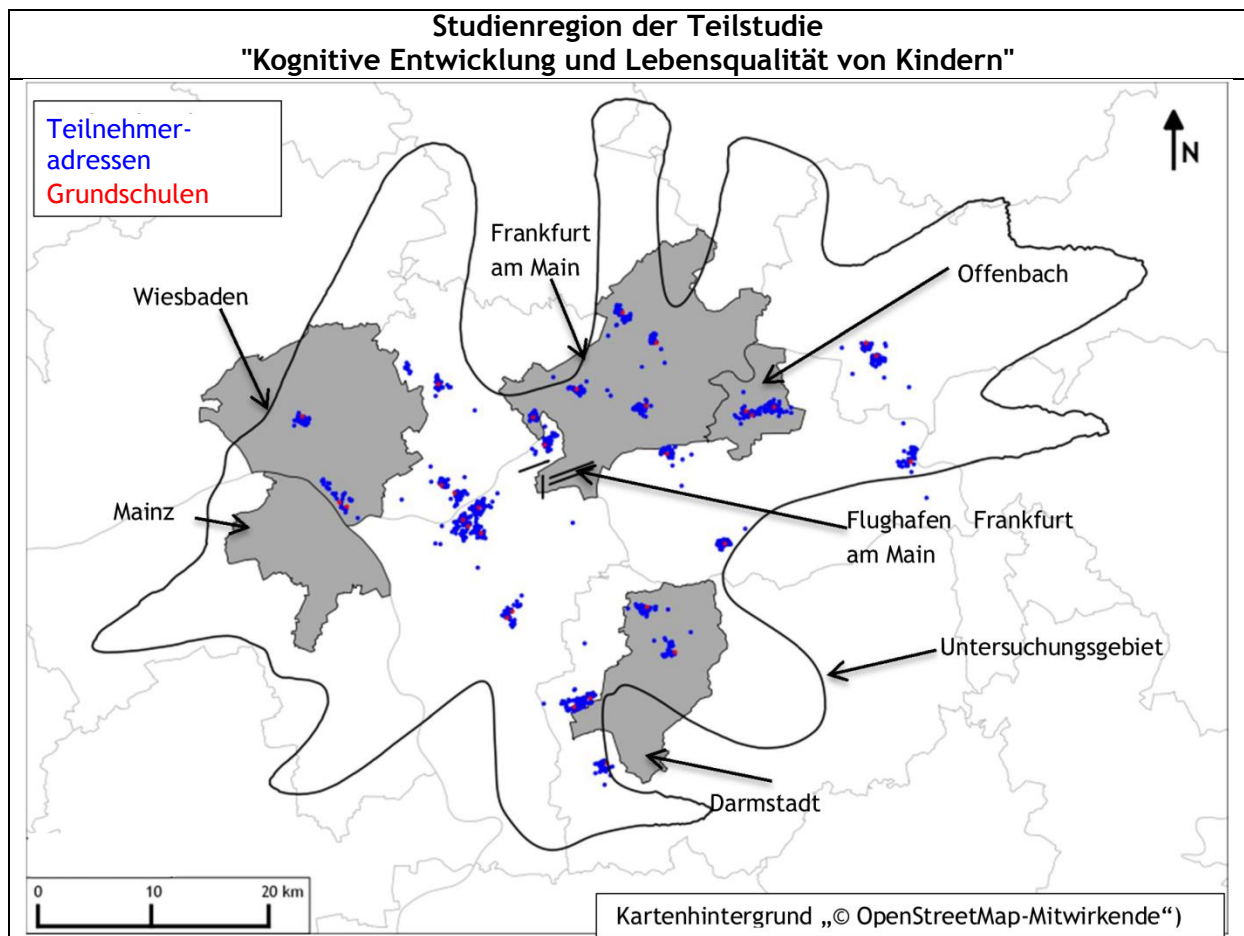


Abbildung 4-5: Verteilung von Grundschulen und Wohnadressen der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler in der Studienregion des Moduls "Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern" im Rhein/Main-Gebiet.

4.3.3 Gewinnung von Teilnehmenden, Stichprobenziehung in den Teilstudien

4.3.3.1 Stichprobenziehungen in der Teilstudie „Belästigung und Lebensqualität“

In der Teilstudie „Belästigung und Lebensqualität“ wurden Befragungen erwachsener Personen, die im Umfeld der untersuchten Flughäfen leben, durchgeführt. Die Befragungen erfolgten als Telefoninterviews und optional als Onlinebefragung. Für die Wohnadresse jeder befragten Person wurden Dauerschallpegel und Maximalpegel für die Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche berechnet.

Dabei wurden für die verschiedenen Fragestellungen der Teilstudie mehrere Zufallsstichproben aus der jeweiligen erwachsenen Bevölkerung innerhalb der Studienregionen im Umfeld der untersuchten Flughäfen gezogen. Die Zufallsziehungen erfolgten geschichtet nach Geräuschpegeln der jeweils interessierenden Verkehrsgeräuschquellenart. Dazu wurden die Wohngebiete innerhalb der jeweiligen Studienregion in Geräuschpegelklassen - je nach Fragestellung für Luft-, Schienen- und Straßenverkehr - eingeteilt und auf Basis von Ein-

wohnermeldedaten innerhalb jeder Verkehrsräuschpegelklasse eine Zufallsziehung erwachsener Personen vorgenommen.

Für den Vergleich der Luftverkehrsgeräuschwirkung vor und nach Eröffnung der Nordwest-Landebahn am Flughafen Frankfurt wurde eine Panelstudie durchgeführt, die mehrmalige Befragungen von teilnehmenden Anwohnerinnen und Anwohnern in den Jahren 2011 bis 2013 beinhaltet (Panelstudie Rhein/Main).

- Dazu wurde die Studienregion im Rhein/Main-Gebiet in 2,5 dB-Klassen des Maximums des Tages- und Nacht-Dauerschallpegels für Luftverkehrsgeräusche $L_{pAeq,06-22h}$ und $L_{pAeq,22-06h} \geq 40$ dB eingeteilt. Basis hierfür waren Flugbewegungszahlen aus dem Datenerfassungssystem des Flughafens Frankfurt von 2007 (DES 2007).
- Weiterhin wurden Veränderungen in den Prognosepegeln für die Luftverkehrsgeräuschpegel für das Jahr 2020 gegenüber dem Bezugsjahr 2007 berücksichtigt und hierbei drei Prognosegruppen unterschieden: Wohnadressen mit prognostizierter Zunahme um mehr als 2 dB im Tag-Nacht-Pegel L_{tn} , mit Abnahme um mehr als 2 dB im L_{tn} und mit relativer Konstanz der prognostizierten Geräuschpegel L_{tn} im Bereich von ± 2 dB relativ zum Bezugsjahr 2007. Der Tag-Nacht-Pegel L_{tn} ist ein 24-Stunden-Mittelungspegel mit einem Pegelzuschlag von 10 dB für die Nachtzeit von 22 bis 06 Uhr. Er wurde verwendet, um mit einem Maß Veränderungen im Nachtzeitraum, der mit 8 Stunden gegenüber dem 16-Stunden-Zeitraum von 06 bis 22 Uhr kürzer ist, in der 24-Stunden-Betrachtung stärker berücksichtigen zu können.
- Aus den drei Prognosegruppen wurde nun auf Basis von Einwohnermeldedaten innerhalb jeder aus dem DES 2007 berechneten Geräuschpegelklasse eine Zufallsziehung erwachsener Personen vorgenommen.
- Zu diesen per Zufall gezogenen Personen wurden Telefonnummern recherchiert. Weiterhin wurden die ausgewählten Personen in einem Anschreiben über die Studie informiert und, sofern jeweils der Haushalt über eine nicht eingetragene Rufnummer verfügt, gebeten diese bekannt zu geben. Der Pool der eingetragenen und rückgemeldeten Telefonnummern bildete die Auswahlgesamtheit für die Telefoninterviews. Bei Teilnahme an der inhaltlich gleichen optionalen Onlinebefragung erfolgten der Kontakt und die Zusendung von Zugangsdaten über mitgeteilte Emailadressen.

Für den Vergleich der Luftverkehrsgeräuschwirkung zwischen verschiedenen Flughäfen wurde an den weiteren Flughafenstandorten ein ähnliches Vorgehen für die Stichprobenziehung gewählt:

- Die Studienregionen an den Flughäfen Berlin-Schönefeld, Köln/Bonn und Stuttgart wurden in Klassen des Maximums des Tages- und Nachtdauerschallpegels für Luftverkehrsgeräusche im Bereich größer gleich 40 dB eingeteilt und pro Pegelklasse auf Basis von Einwohnermeldedaten eine Zufallsziehung erwachsener Personen vorgenommen. Für die Pegelklasseneinteilung am Flughafen Berlin-Schönefeld, der zum Ausbau als Flughafen Berlin-Brandenburg vorgesehen und dessen Eröffnung zu Be-

ginn der NORAH-Studie für 2012 geplant war, wurden Geräuschpegel auf Basis des Prognose-DES für das Bezugsjahr 2015 verwendet. Die Pegelwerte für die Ziehung am Flughafen Köln/Bonn basierten auf dem DES des Flughafens mit Bezugsjahr 2010.

- Am Flughafen Stuttgart erfolgte eine Ziehung von Wohnadressen geschichtet nach Geräuschpegelklassen (auf der Basis des DES mit Bezugsjahr 2010) und nachträglicher Zuordnung von Haushalten zu den Adressen auf Basis von Telefonregistern, da bis zum Ziehungszeitpunkt keine Einwohnermeldedaten verfügbar waren. Innerhalb der telefonisch erreichbaren Haushalte wurde die Befragungsperson nach einem Zufallsverfahren ausgewählt.
- Am Flughafen Berlin-Schönefeld wurden wie im Rhein/Main-Gebiet für die Ziehung zusätzlich Veränderungen in der Luftverkehrsgeräuschbelastung (L_{tn}) berücksichtigt: Hierzu wurden die zum Ziehungszeitpunkt aktuellsten Flugbewegungszahlen von 2010 (DES 2010) am Regionalflughafen Berlin-Schönefeld zur adressbezogenen Berechnung des L_{tn} herangezogen. Auf Basis der Differenz dieser Werte zu den Prognosepegeln wurden dann die Wohnadressen nach erwarteter Zunahme, Abnahme und nach nicht erwarteter Änderung (über ± 2 dB hinaus) gruppiert.

Im Rhein/Main-Gebiet wurden in der Teilstudie "Belästigung und Lebensqualität" weitere Befragungen im Jahr 2012 durchgeführt, die die übrigen Verkehrsgeräuschquellenarten und deren Kombination mit Luftverkehrsgeräuschen im Fokus hatten. Dazu gehören Befragungen

- a) zu Straßenverkehrsgeräuschen
- b) zu Schienenverkehrsgeräuschen
- c) zur Kombination von Luft- und Straßenverkehrsgeräuschen
- d) zur Kombination von Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen

Für die Querschnittsstudien zum Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm wurden solche Wohnadressen einbezogen, an denen die Schienen- bzw. Straßenverkehrsgeräuschbelastung ≥ 40 dB im Maximum des $L_{pAeq,06-22h}$ und des $L_{pAeq,22-06h}$ betrug. Diese Wohnadressen wurden nach Pegelklassen in Stufen von 2,5 dB gruppiert und pro Pegelklasse eine Zufallsziehung auf Basis der vorliegenden Einwohner-Meldedaten durchgeführt. Außerdem wurde bei diesen Stichproben darauf geachtet, dass die Straßen- bzw. Schienenverkehrsgeräusche in der Geräuschbelastung gegenüber den jeweils übrigen beiden Verkehrsgeräuschquellenarten dominieren, d. h. in einer höheren 2,5 dB-Klasse des 24-Stunden-Mittelungspegels liegen. Mit dem 24-Stunden-Dauerschallpegel wurde für diese Dominanz-Definition ein Pegelmaß gewählt, mit dem die quellentypischen Unterschiede in der Tag-/Nachtverteilung möglichst wenig betont werden (z.B. ist der Nachtdauerschallpegel beim Schienenverkehrsgeräusch oft höher als der Tagesdauerschallpegel und unterscheidet sich damit systematisch vom Straßenverkehrsgeräusch).

Bei den ergänzenden Erhebungen zur Wirkung der Luftverkehrsgeräuschbelastung in Kombination mit Geräuschen einer weiteren Verkehrsgeräuschquellenart wurden dagegen zusätzlich solche Personen per Zufall gezogen, deren Wohnadresse durch die jeweils betrachteten beiden Verkehrsgeräuschquellenarten in gleicher Geräuschpegelhöhe belastet werden, d. h. die Geräuschpegel beider Quellen in der gleichen 2,5 dB-Klasse des 24-Stunden-Mittelungspegels liegen. Die Zusammenlegung der verschiedenen in 2012 im Rhein/Main-Gebiet erhobenen Befragungsdaten zu Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen soll dann eine Analyse der Wirkung der Mehrfachbelastung durch Luft- und Straßen- bzw. Schienenverkehrsgeräusche in Abhängigkeit von der Expositionshöhe und der Dominanz der an der Gesamtgeräuschbelastung beteiligten Verkehrsgeräusche ermöglichen.

Tabelle 4-1 zeigt die Anzahl der für die Befragung vorgesehenen und befragten Personen der Teilstudie "Belästigung und Lebensqualität". Im Endbericht zu der Teilstudie (Schreckenberget al. 2015) ist der Ablauf der Teilnehmergewinnung, die erzielte Ausschöpfung und eine Non-Responder-Analyse dargestellt.

Tabelle 4-1. Beteiligung in der Teilstudie "Belästigung und Lebensqualität"

Stichprobe	Erhebungsjahr								
	2011			2012			2013		
	Ange-schrieben	Pool der Telefon-Nrn bzw. Email-adressen	Befragte	Ange-schrieben	Pool der Telefon-Nrn bzw. Email-adressen	Befragte	Ange-schrieben	Pool der Telefon-Nrn bzw. Email-adressen	Befragte
FRA Panel	169.460	65.230	9.244 (7%/17%#)	--	--	4.867	--	--	3.508
FRA Straße				16.862	18.295	3.172 (24%)			
FRA Schiene				17.653	19.082	3.307 (24%)			
FRA Nach-rekrutierte							13.292	13.292	2.400 (24%)
FRA Flug-Straße				2.109	2.109	342 (22%)			
FRA Flug-Schiene				1.452	1.452	292 (26%)			
BER				21.127	36.374	5.548 (31%)			
CGN							12.937	12.937	2.955 (29%)
STR							13.015	13.015	1.979 (20%)

Anmerkung. Flughäfen: FRA = Flughafen Frankfurt, BER = Berlin-Schönefeld, CGN = Köln/Bonn, STR = Stuttgart. Prozentwerte in Klammern: Responserate.

4.3.3.2 Datengewinnung in der Teilstudie „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung“

Die Studienregion umfasste den Regierungsbezirk Darmstadt sowie die rheinhessischen Städte Mainz und Worms und die Landkreise Mainz-Bingen und Alzey-Worms. Der Studienpopulation gehörten alle Versicherten über 40 Jahre ($N = 1.026.658$) dreier großer gesetzlicher Krankenkassen in der Studienregion an, entsprechend etwa 23,3% der über 40jährigen Einwohner/innen der -Studienregion. Auf der Grundlage der Abrechnungs- und Verwaltungsdaten der teilnehmenden Krankenkassen für die Berichtsjahre 2005-2010 wurden einer Fallgruppe jeweils diejenigen Versicherten zugeordnet, bei denen eine der oben aufgeführten Erkrankungen zwischen 2005 und 2010 neu diagnostiziert worden war. Getrennt für die Fallgruppen Herzinfarkt ($N = 19.632$), Schlaganfall ($N = 25.495$), Herzinsuffizienz ($N = 104.145$), depressive Episoden ($N = 77.295$) und Brustkrebs (bei Frauen: $N = 6.643$) wurden diejenigen Versicherten der jeweiligen Kontrollgruppe zugeordnet, bei denen im angegebenen Zeitraum nicht die jeweilige Erkrankung diagnostiziert worden war.

Für alle untersuchten Versicherten wurde die Exposition durch Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräusche adressgenau berechnet. Als Risikoschätzer wurden mittels logistischer Regressionsanalyse Odds Ratios (OR) berechnet, adjustiert für Alter, Geschlecht, Bildung und Beruf (aus dem Tätigkeitskennzeichen) und regionale SGB II-Quote (Grundsicherungsquote nach Sozialgesetzbuch 2). In den statistischen Analysen wurden die Dauerschallpegel für die einzelnen Verkehrsgeräuschquellen sowohl als kontinuierliche Größen als auch gruppiert in 5 dB-Klassen verwendet. Der Referenzkategorie wurden Fälle und Kontrollpersonen mit einem Verkehrsgeräusch-Dauerschallpegel <40 dB zugeordnet; Personen mit einem Luftverkehrs-Dauerschallpegel <40 dB und einem nächtlichen Maximalpegel von 50 dB oder mehr wurden einer gesonderten Kategorie zugeordnet. Zusätzlich zu der kategorisierten Auswertung wurde die Expositions-Risiko-Beziehung zwischen den Dauerschallpegeln als kontinuierliche Variable mit einem linearen Modell sowie mit einem Polynom 3. Grades untersucht.

In einer vertiefenden Befragung einer Stichprobe von Fällen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie entsprechenden Kontrollpersonen ($N = 8.540$ Teilnehmer/innen) wurden nicht oder nicht vollständig in den Krankenkassendaten enthaltene potenzielle Confounder (sog. Störvariablen) erhoben (u.a. Bildung, Beruf, Einkommen, Tabakkonsum, Größe und Gewicht, Alkoholkonsum, Nachtschichtarbeit, Arbeitslärm und körperliche Aktivität). Zudem wurden Informationen erhoben (z.B. Lage des Schlafzimmers zur Straße oder zu einer Bahnstrecke, Fensterstellung im Schlafzimmer), die zusammen mit den berechneten Außenpegeln eine grobe Abschätzung der Innenraumpegel ermöglichten. Das primäre Ziel der vertiefenden Befragung bestand darin, die relative Bedeutung wichtiger Confounder zu beurteilen - hier insbesondere des Gesundheitsverhaltens (z.B. „Body Mass Index“, Rauchen, Alkohol) und des Sozialstatus. Dazu sollten die Risikoschätzer für Herz-Kreislauf-Erkrankungen *ohne* Berücksichtigung dieser wichtigen Confounder mit den Risikoschätzern für Herz-Kreislauf-Erkrankungen *mit* Berücksichtigung dieser - in der Befragung erhobenen - Confounder verglichen werden. Als sekundäres Ziel der vertiefenden Befragung wurde

eine vergleichende Aussage zum Zusammenhang von Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit Verkehrsgeräusch-bedingten Innenraum- bzw. Außenpegeln angestrebt.

Tabelle 4-2: Beteiligung an der vertiefenden Befragung der Fallkontrollstudie

	Krankenkasse I	Krankenkasse II	Krankenkasse III	Gesamt
Anzahl der angeschriebenen Versicherten	122.812	15.856	15.400	154.068
Anzahl der teilnehmenden Versicherten	5.689	1.181	1.670	8.540
Response in %	7,4	4,6	10,8	5,5

4.3.3.3 Stichprobenziehungen in der Teilstudie „Blutdruckmonitoring“

Am Blutdruckmonitoring nahmen v.a. befragte Personen aus der Panelstudie „Belästigung und Lebensqualität“ teil, die in den Basis-Interviews eine Beteiligung am Monitoring zugesagt hatten. Zusätzlich wurden Zielpersonen einer weiteren Zufallsstichprobe aus dem Populationsdatensatz der Studienregion im Rhein/Main-Gebiet gezogen (Einwohnermeldedaten verschnitten mit adressbezogenen Tages- und Nachtdauerschallpegel berechnet für das Bezugsjahr 2007). Die Ziehung beider Teilstichproben erfolgte unter Berücksichtigung der Luftverkehrsgeräuschbelastung des Bezugsjahres 2007, d. h. es handelt sich um eine nach Luftverkehrsgeräuschpegeln geschichtete Stichprobe.

Insgesamt wurden 3.272 Personen für die Untersuchungsteilnahme kontaktiert. Dies geschah in drei Wellen: Die Teilstichprobe 1 und 2 (TS1, TS2) wurden im Rahmen der Panelstudie des Moduls „Belästigung und Lebensqualität“ zu unterschiedlichen Zeitpunkten (März 2012 bzw. April 2013) gezogen, und eine weitere Stichprobe (ZS) wurde direkt vom IHU angeschrieben. Die Teilnahmebereitschaft lag zwischen 18,6% (ZS) und 45,8% (TS1) bzw. 52,3% (TS2), jeweils bezogen auf die Anzahl der kontaktierten Personen. Das Blutdruckmonitoring wurde in zwei Beobachtungsperioden (BP) durchgeführt, die Beobachtungsperiode 1 (BP1) fand von Juli 2012 bis Juni 2013, Beobachtungsperiode 2 (BP2) von Juli 2013 bis Juni 2014 statt. Von den 3.272 kontaktierten Personen nahmen 1.371 an BP1, 1.095 davon an BP2 teil.

Tabelle 4-3: . Beteiligung am Blutdruckmonitoring (Gesamt)

	Kontaktiert	Teilnehmende BP1	Teilnehmende BP2
Nach Luftverkehrsgeräuschpegel geschichtet gezogene Personen ("Zielpersonen")	3.202	1.301	1.043
Selbst selektierte Personen	70	70	52
Summe	3.272	1.371	1.095

4.3.3.4 Stichprobenziehungen in der Schlafstudie

Ähnlich wie in der Teilstudie "Belästigung und Lebensqualität" wurde eine Panelstudie im Rhein/Main-Gebiet durchgeführt, d. h. es wurde eine Gruppe ausgewählter Personen im Jahr 2011 vor Inbetriebnahme der Nordwest-Landebahn und Einführung des Nachtflugverbots von 23 bis 05 Uhr, dann 2012, im ersten Jahr danach und erneut in 2013, dem zweiten Jahr nach der Einführung des Nachtflugverbots untersucht.

In den ausgewählten Untersuchungsgebieten in der Rhein/Main-Region (vgl. Abschnitt 4.3.2) wurden potenzielle Teilnehmende über postalisch versandte Informationsblätter, lokale Zeitungsanzeigen, die NORAH-Homepage, die Web- und Facebook-Seiten von Anliegerkommunen und zum Teil (in 2013) über den Hörfunk angeworben.

Unter den Interessenten fand dann eine umfassende Vorauswahl statt, die im Wesentlichen gewährleisten sollte, dass die Teilnehmenden normal hören und keine chronischen mit dem Schlafverhalten interferierenden Erkrankungen aufweisen, d. h. "schlafgesund" sind, so dass die Auswirkungen der nächtlichen Luftverkehrsgeräusche auf den Schlaf möglichst unverzerrt untersucht werden konnten. Zu den Auswahlkriterien gehören insgesamt:

- Wohngebiete mit Luftverkehrsgeräuschen als dominante Quelle, wenig andere Geräusche, die im Schlafrum perzipiert werden können
- keine chronischen, mit dem Schlafverhalten interferierenden Erkrankungen
- Wohndauer: mindestens 1 Jahr am Untersuchungsort
- Alter: mindestens 18 Jahre
- kein regelmäßiger Schlafmittelkonsum
- kein Drogen- und Alkoholabusus
- keine Schichtarbeit
- keine Schwerhörigkeit
- keine Kleinkinder in der Wohnung
- kein Benutzen lärmindernder Hilfsmittel wie z. B. Ohrstöpsel.

Diese Vorauswahl wurde auf Basis von Eingangs- und Anamnesebefragungen vorgenommen. Diesen Befragungen schlossen sich 2011 und 2012 nächtliche Probemessungen (Akustikmessung und Pulsoxymetrie) und Ortsbegehungen an, mit denen z. B. die innerhäusigen und von außen ins Schlafzimmer eindringenden Geräusche, Schalldämmung und sonstige örtliche und familiäre Gegebenheiten erfasst und für starkes Schnarchen bzw Apnoen charakteristische Symptome erhoben wurden.

In den Jahren 2011 bis 2013 wurden auf diese Weise unterschiedliche Personengruppen (Bettzeitgruppen) für die Teilnahme gewonnen:

- Bettzeitgruppe 1 wurde im Jahr 2011 als Panelstichprobe zur Teilnahme gewonnen, um die Störungen des Schlafs durch Luftverkehrsgeräusche und dabei den Einfluss der mit Inbetriebnahme der Nordwest-Landebahn im Oktober 2011 eingeführten

Kernruhezeit von 23 bis 05 Uhr zu untersuchen. Mit den Teilnehmenden dieser Gruppe wurde eine Zubettgehzeit zwischen 22 und 22:30 Uhr und eine Aufstehzeit zwischen 06 und 06:30 Uhr vereinbart.

- Bettzeitgruppe 2 wurde 2012 angeworben und unterscheidet sich von der ersten Gruppe durch die zeitlich versetzten Bettzeiten von 23 - 23:30 Uhr bis 07 - 07:30 Uhr. Während also die Gruppe 1 sowohl in der Einschlafphase als auch in der Aufwachphase von nächtlichen Flugbewegungen zu den Randstunden außerhalb der Kernruhezeit (22 - 23 Uhr bzw. 05 - 06 Uhr) betroffen war, perzipierte die Gruppe 2 Flugbewegungen nur in der Aufwachphase, dafür dann aber länger.
- Die dritte Gruppe bildeten 2013 neu für die Teilnahme gewonnene Personen. Das NORAH-Team hat zusammen mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität Pennsylvania anhand der Datensätze von 2011 und 2012 ein vereinfachtes Verfahren zur Untersuchung des Einflusses von Luftverkehrsgeräuschen auf physiologisch gemessene geräuschbedingte Reaktionen im Schlaf entwickelt und validiert (Erfassung vegetativ-motorischer Reaktionen durch kombinierte Messung der Herzfrequenzbeschleunigung mittels EKG und der Körperbewegungen mittels Aktimeter). Dieses Verfahren erlaubt die Untersuchung bei einer größeren Zahl von Personen und wurde in der dritten Teilnehmergruppe angewandt.

In der Studie wurden von 2011 bis 2013 insgesamt 202 schlafgesunde erwachsene Personen im Alter von 18 bis 78 Jahren untersucht. 49 Personen im Jahr 2011 und 83 im Jahr 2012 wurden mittels der aufwendigen Methode der Polysomnografie (PSG) in jeweils drei Nächten untersucht. Die NORAH-Schlafstudie ist damit die von der Probandenanzahl bisher weltweit größte Erhebung im Feld zu den akuten Auswirkungen von Fluglärm auf den mittels PSG gemessenen Schlaf von Anwohnern. Im Jahr 2013 wurden 187 Personen ebenfalls jeweils 3 Nächte mit einer weniger aufwendigen Methode zur Detektion von vegetativ-motorischen Reaktionen im Schlaf vermessen. 39 Personen nahmen in allen drei Jahren, 36 in zwei Jahren teil. In 2011 gingen die Personen um 22-22:30 Uhr zu Bett und standen um 6-6:30 Uhr auf (Bettzeitgruppe 1), in 2012 und 2013 wurde eine weitere Gruppe mit einer um eine Stunde späteren Bettzeit (Bettzeitgruppe 2) untersucht.

4.3.3.5 Stichprobenziehungen in der Teilstudie „Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“

In der Teilstudie zur kognitiven Entwicklung und Lebensqualität von Kindern wurden innerhalb des Untersuchungsraums im Rhein/Main-Gebiet, eingegrenzt durch die 40 dB-Kontur des Tagesdauerschallpegels, Grundschulen ausgewählt, die sich hinsichtlich der Luftverkehrsgeräusch-Belastung unterscheiden, aber bezüglich anderer Faktoren (z.B. soziodemografische Faktoren, Deutschkenntnisse der Kinder) möglichst gut vergleichbar sind. Schulen, die hauptsächlich durch andere Geräuschquellen belastet sind (Straße, Schiene, Bauarbeiten o.ä.), wurden nicht einbezogen. Zum Zeitpunkt der Erhebungen waren die teilnehmenden Schulkinder in der 2. Schulklasse.

Das Untersuchungsgebiet wurde in 5 dB-Klassen des Luftverkehrs Dauerschallpegels für die Tageszeit 06 - 22 Uhr eingeteilt: 40 bis unter 45 dB, 45 bis unter 50 dB, 50 bis unter 55 dB, 55 dB und höher. Für die Vorauswahl wurden alle 297 Grundschulen aus dem Untersuchungsraum angeschrieben und ihre Leiter/innen schriftlich befragt. Gegenstand der Befragung waren u. a. Fragen zur Schule und zum Einzugsgebiet, zur Größe und Zusammensetzung der zweiten Klassen, zum Migrationshintergrund der Schulkinder (für eine ausbalancierte Schulauswahl) sowie zur Geräuschbelastung der Schule durch unterschiedliche Quellen. Für die Rekrutierung konnten zurückgesandte Fragebögen von 160 Grundschulen berücksichtigt werden. Die weitere Auswahl der Schulen aus den einzelnen $L_{pAeq,06-22h}$ - Pegelklassen erfolgte in einem Matchingverfahren, mit dem eine möglichst große Vergleichbarkeit der Grundschulen in den verschiedenen Pegelklassen angestrebt wird, nach den folgenden Kriterien:

1. Anteil der Zweitklässler (falls nicht verfügbar, der Schülerinnen und Schüler der gesamten Schule) mit Migrationshintergrund
2. Anteil der Zweitklässler mit mangelnden Deutschkenntnissen (bei Schulen ohne Angaben konnte dieser Anteil nicht berücksichtigt werden)
3. keine sehr hohe Belastung durch andere Geräuschquellen (Straße, Schiene, Baustelle)
4. Anzahl Zweitklässler pro Schule > 40
5. Einschätzung des Sozialstatus im Einzugsgebiet der Schule
6. breite räumliche Verteilung der ausgewählten Schulen im Untersuchungsgebiet
7. möglichst positive Einschätzung der Bedeutung der Studie durch die Schule.

Im Rahmen des Matchingverfahrens wurden schließlich 29 Grundschulen ausgewählt, die die genannten Kriterien erfüllen. Die ausgewählten Schulen sowie die Eltern der Zweitklässler wurden mit schriftlichem Informationsmaterial zur Studie versorgt, und es wurden Informationsveranstaltungen mit den Lehrkräften und den Eltern (Elternabende) durchgeführt. Die Elternbriefe wurden in verschiedene Sprachen entsprechend der Herkunftssprachen der Eltern übersetzt. Die Elternbriefe enthielten neben den Informationen zur Studie jeweils einen Elternfragebogen und eine auszufüllende Einverständniserklärung für die Studienteilnahme der Kinder. 1.309 Eltern (77,3%) erteilten eine Einverständniserklärung, schließlich nahmen aufgrund von Umzügen, Erkrankungen und einzelnen Widerrufen von Einverständniserklärungen 1.246 Grundschulkindern im Alter von 7 bis 10 Jahren teil. Die Daten von drei Integrationskindern wurden aufgrund vorliegender Entwicklungsbeeinträchtigungen nicht berücksichtigt, so dass die Daten von 1.243 Kindern in die Datenanalysen einfließen. Neben den Eltern und Kindern wurden Lehrkräfte der beteiligten Schulen zum Unterricht, dem Klassenklima und möglichen Beeinträchtigungen durch Lärm befragt. Die Beteiligung von Schulen, Lehrkräften, Eltern und Schulkindern zeigt Tabelle 4-4.

Tabelle 4-4: Beteiligung in der Teilstudie "Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern"

Stichprobe		Anzahl
Schulen		29
Lehrer		85
Eltern	Anschreiben	1.694
Eltern	Teilnahmezusage	1.309
Eltern	Fragebogen	1.185
Kinder	Teilnahme	1.246
Kinder	einbezogene Daten	1.243

4.4 Untersuchungsmethoden in den Teilstudien

Als Untersuchungsmethoden wurden Befragungen (alle Teilstudien), spezielle personenbezogene Messungen (Blutdruckmonitoring, Schlafstudie und Kinderstudie) sowie Sekundärdatenanalysen (Fallkontrollstudie) eingesetzt.

4.4.1 Modul 1: „Belästigung und Lebensqualität“

In diesem Modul fanden Befragungen statt, überwiegend telefonisch, teils online. Sie fanden hauptsächlich in der Wohnbevölkerung im Rhein/Main-Gebiet statt, sowie zusätzlich an drei anderen Flughäfen, die sich u.a. untereinander in der Zahl der Flugbewegungen und ihrer tageszeitlichen Verteilung unterschieden. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal war, dass zwei der Flughäfen (Köln/Bonn, Stuttgart) sogenannte "Bestandsflughäfen" darstellen, an denen keine plangemäßen Änderungen im Flugbetrieb auftraten oder angekündigt wurden, die übrigen beiden (Frankfurt, Berlin-Schönefeld) stellen dagegen sogenannte "Änderungsflughäfen" dar, die sich im/vor Ausbau bzw. geplanter Eröffnung befanden. Die Konzeption des Untersuchungsplans orientierte sich an Methoden quasi-experimenteller Untersuchungsdesigns (Cook & Campbell, 1979; Shadish & Cook, 2009). Durch Schichtung von Zufallsstichproben-Ziehungen nach akustischen Bedingungen an verschiedenen Flughafenstandorten und bezogen auf verschiedene Verkehrslärmquellenarten (vgl. Abschnitt 4.3.3.1) wurden miteinander zu vergleichende (Expositions-)Gruppen definiert und die betrachteten Lärmwirkungen untersucht und verglichen. Zur Bestimmung der Expositions-Wirkungskurven lagen adressgenaue Angaben zur akustischen Belastung durch Luft-, Straßen- und Scheinerverkehrsräusche vor.

4.4.2 Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie

Die sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung untersuchte die Auswirkungen von verkehrsbedingten Geräuschen auf die Gesundheit der Wohnbevölkerung im Rhein/Main-Gebiet auf Basis von Routinedaten von gesetzlichen Krankenkassen. Für alle

Versicherten erfolgte dabei eine adressgenaue Zuordnung der Exposition durch Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche.

Das Konzept der Fallkontrollstudie sah vor, das Auftreten und die Expositionshöhe von Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeschallbelastungen bei Erkrankungsfällen ("Fälle") und bei Personen, bei denen im Untersuchungszeitraum 2005-2010 die untersuchten Erkrankungen nicht diagnostiziert wurden ("Kontrollen"), unter Berücksichtigung weiterer möglicher Einflussfaktoren miteinander zu vergleichen und die relativen Erkrankungsrisiken (Odds Ratios) zu ermitteln. Dazu wurden Versicherungsdaten von Versicherten im Alter von mindestens 40 Jahren von drei Krankenkassen im Regierungsbezirk Darmstadt sowie Mainz und Rheinhessen einbezogen (vgl. Abschnitt 4.3.3.2).

Ergänzt wurde diese sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie durch eine vertiefende schriftliche Befragung ausgewählter Versicherter der teilnehmenden Krankenkassen. Dabei sollten Informationen über individuelle, erfragbare Risikofaktoren und Confoundervariablen erhalten werden, um deren Einfluss auf den Effekt von Verkehrsgeschällen auf die Erkrankungsrisiken untersuchen zu können. Weiterhin erlaubte die Befragung die Untersuchung der Effekte von Verkehrsgeschall-bedingten Innenraum- versus Außenpegeln, da auf Basis von akustisch relevanten Befragungsdaten (vgl. 4.3.3.2) Innenraumpegel aus den Außen-Verkehrsgeschallpegeln abgeschätzt werden können. Innenraumpegel erscheinen zwar biologisch relevanter als Außenpegel, sind jedoch mit höheren Unsicherheiten behaftet als die berechneten Außenpegel.

4.4.3 Blutdruckmonitoring

Beim Blutdruckmonitoring führten erwachsene Personen (ab 18 Jahren) im Gebiet rings um den Flughafen Frankfurt täglich Blutdruck-Selbstmessungen morgens und abends über drei Wochen durch. Zusätzlich erfolgte eine persönliche Befragung zur aktuellen Gesundheit, zum Lebensstil und zu personellen Faktoren (z.B. Lärmempfindlichkeit). Für die Blutdruckselbstmessungen wurden telemedizinische Blutdruckmessgeräte-Sets an die Studienteilnehmenden ausgegeben, und die Teilnehmenden wurden in der Blutdruckselbstmessung geschult. Bei den telemedizinischen Sets, bestehend aus Oberarm-Blutdruckmessgerät und Mobiltelefon, werden die Messwerte (Systole, Diastole und Herzfrequenz) unmittelbar nach der Messung an das Mobiltelefon übertragen und von dort über eine gesicherte Verbindung zur Datenstation übermittelt. Dort wurden die eingehenden Messungen regelmäßig kontrolliert.

Die akustische Belastung durch Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeschälle wurde den Teilnehmerinnen und Teilnehmern adressgenau zugeordnet. In den Auswertungen wurde primär der kombinierte Abend- und Nachtpegel $L_{pAeq,18-06h}$ für alle Verkehrsgeschallquellenarten bezogen auf den Außenraum und Innenraum genutzt.

4.4.4 Schlafstudie

Um Aufwachreaktionen und Veränderungen anderer Schlafparameter eindeutig auf die Luftverkehrsgeräusche zurückführen zu können, wurden in dieser Studie schlafgesunde Personen untersucht. Diese Schlafparameter beschreiben sog. „primäre Effekte“. Es kann mit den Ergebnissen kein Kausalzusammenhang zu möglichen gesundheitlichen Langzeitfolgen hergestellt werden. Man kann jedoch die Ergebnisse nutzen, um plausible Hypothesen für die Entstehung der Krankheitsbilder von chronisch geräuschempfindlichen Menschen zu generieren, die dann in epidemiologischen Längsschnittstudien zu prüfen sind.

Die Schlafuntersuchungen fanden in drei Phasen statt, die sich teilweise methodisch unterschieden: In den Jahren 2011 - vor Inbetriebnahme der Landebahn NW und Einführung der Kernruhezeit im Oktober 2011 - und 2012 wurden schlafgesunde erwachsene Anwohnerinnen und Anwohner des Flughafens Frankfurt an drei aufeinander folgenden Nächten polysomnografisch untersucht, d. h. mit Hilfe der Aufzeichnung von Gehirnströmen (EEG), Muskelspannungen, Sauerstoffsättigung des Blutes, Augen-, Atem- und Herzaktivitäten (EKG). Gleichzeitig wurden Körperbewegungsdaten mit Hilfe eines Bewegungsaufnehmers aufgezeichnet. Im Jahr 2013 wurde eine einfachere Methode zur Messung von vegetativ-motorischen Körperreaktionen (EKG + Körperbewegung) eingesetzt. Beide Messmethoden wurden unterstützt durch die kontinuierliche Aufzeichnung des Schalldruckpegels und die Aufzeichnung der Geräusche im Schlafraum mittels eines eichfähigen Schallpegelmessers (Klasse 1), so dass die eindeutige Identifizierung der Überfliegergeräusche sichergestellt war. Zusätzlich zu den objektiven Geräuschemessungen schätzten die Teilnehmenden täglich ihre individuelle subjektive Belastung durch Luftverkehrsgeräusche ein.

Tabelle 4-5: Messzeiträume der NORAH-Schlafstudie in den Jahren 2011 - 2013

Jahr	Messzeitraum
2011	25. Juli - 08. Oktober
2012	21. Mai - 09. November
2013	17. Juni - 28. November

Da polysomnografische Methoden erfordern, dass alle Untersuchungsteilnehmerinnen und -teilnehmer durch eine geschulte (und fremde) Person vor der Nacht „verkabelt“ und am nächsten Morgen wieder „entkabelt“ werden, konnten nur wenige Personen gleichzeitig betreut und untersucht werden. Im Jahr 2013 wurde statt der Polysomnografie eine Methode zur Messung vegetativ-motorischer Reaktionen angewandt, die es erlaubt, dass die Untersuchungspersonen selbst zwei Elektroden an den Körper kleben und ein kleines Gerät zur Messung des EKG und der Körperbewegung selbst bedienen. Mit Hilfe dieser Technik können im Wesentlichen nur vegetativ-motorische Körperreaktionen erfasst werden, aber

diese Parameter sind möglicherweise relevant für die Entstehung von Herz-Kreislauferkrankungen nach langjähriger nächtlicher Lärmexposition. Bei gleichem Studienbudget kann eine deutlich höhere Anzahl an Probanden untersucht werden als mit der Polysomnografiemethode.

4.4.5 Kinderstudie

Im Frühjahr 2012 wurden Leistungserhebungen in 85 Schulklassen aus 29 unterschiedlich Luftverkehrsgeräusch-belasteten Grundschulen im Rhein/Main-Gebiet sowie Befragungen der Kinder, Eltern und Lehrkräfte durchgeführt. Unter den Leistungsmessungen seien hier v.a. der standardisierte und normierte Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler, Tests zum Hörverstehen, zum phonologischen Kurzzeitgedächtnis, zur phonologischen Bewusstheit und zur Sprachwahrnehmung sowie zu nicht-sprachlichen Fähigkeiten genannt. Die Darbietung der auditiven Testitems (Silben, Wörter, Sätze) geschah über eine Funk-Kopfhöreranlage, die sicherstellte, dass alle Kinder diese Testitems störungsfrei hören konnten.

Die Befragungen der Kinder und die Fragebögen der Eltern bezogen sich auf das schulische, körperliche und psychische Wohlbefinden sowie auf schulbezogene und wohnortbezogene Belästigung durch Lärm. Nicht-fluglärmbezogene Einflussfaktoren, insbesondere Sozialstatus, Migrationshintergrund und Deutschkenntnisse der Kinder sowie die Belastung durch andere Geräuschquellen (Straßen- und Schienenverkehr, Schalldämmung und Raumakustik in den Klassenräumen) wurden mit größtmöglicher Sorgfalt kontrolliert.

Die Kinder befanden sich zum Zeitpunkt der Erhebung am Ende der zweiten Klassenstufe. Für alle Kinder wurden die Luftverkehrsgeräuschpegel an den Schulstandorten sowie adressengau an den Wohnorten für den Zeitraum von 12 Monaten vor Beginn der Datenerhebung bereitgestellt. In die Analysen gingen Datensätze von 1.243 Kindern ein.

5 Zentrale Ergebnisse

Vorausgeschickt werden soll hier, dass als akustische Basis für viele Expositions-Wirkungsbeziehungen im NORAH-Projekt der ungewichtete quellenspezifische 24-Stunden-Dauerschallpegel ($L_{pAeq,24h}$) bezogen auf die lauteste Fassade der Adresse der Teilnehmenden diente, meist bezogen auf einen längeren Zeitraum (z.B. 12 Monate), oft ergänzt durch sog. Zeitscheiben (z.B. Tag, Abend, Nacht oder Schulzeiten) und teilweise durch Maximalpegel und Häufigkeiten lauter Luftverkehrsgeräusche (NAT-Werte). Fachkundige Leserinnen und Leser werden fragen, weshalb nicht der in vielen europäischen Gesetzen und Verwaltungsvorschriften übliche L_{den} (day/evening/night level) zur Basis der Expositions-Wirkungsberechnungen verwendet wurde. Die Antwort darauf lautet: der L_{den} enthält schon eine Tageszeit-Gewichtung, d. h. er unterstellt schon, dass die Geräuschwirkung abends stärker ist als am Tage, und in der Nacht nochmals stärker. Das mag oft zutreffen, muss aber aus wissenschaftlicher Sicht von Fall zu Fall geprüft werden.

In den verschiedenen NORAH-Teilstudien variierten die auf die Wohnadresse (bzw. Schule im Fall des Kindermoduls) im Rhein/Main-Gebiet bezogenen Dauerschallpegel vor der Fassade je nach Quelle unterschiedlich stark:

- Hinsichtlich des **Luftverkehrs** zwischen
 - 35,0 und 61 dB ($L_{pAeq,24h}$, Modul „Belästigung und Lebensqualität“)
 - 35,0 und >60 dB ($L_{pAeq,24h}$, „Fallkontrollstudie“)
 - 30,7 und 56,9 dB ($L_{pAeq,18-06h}$, „Blutdruckmonitoring“)
 - 39,1 und 58,9 dB ($L_{pAeq,06-18h}$, „Kinderstudie“)
- Hinsichtlich des **Straßenverkehrs** zwischen
 - 35,0 und 81,7 dB ($L_{pAeq,24h}$, Modul „Belästigung und Lebensqualität“)
 - 35,0 und >70 dB ($L_{pAeq,24h}$, „Fallkontrollstudie“)
 - 30,0 und 72,3 dB ($L_{pAeq,18-06h}$, „Blutdruckmonitoring“)
 - 36,5 und 61,5 dB ($L_{pAeq,06-18h}$, klassiert in 8 Stufen, „Kinderstudie“)
- Hinsichtlich des **Schienenverkehrs** zwischen
 - 35,0 und 81,8 dB ($L_{pAeq,24h}$, Modul „Belästigung und Lebensqualität“)
 - 35,0 und >70 dB ($L_{pAeq,24h}$, „Fallkontrollstudie“)
 - 30,0 und 77,0 dB ($L_{pAeq,18-06h}$, „Blutdruckmonitoring“)
 - 31,5 und 61,5 dB ($L_{pAeq,06-18h}$, klassiert in 3 Stufen, „Kinderstudie“)

Es ist deutlich, dass Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschpegel in den NORAH-Untersuchungen stärker variierten als die Luftverkehrsgeräuschpegel. Dies ist keinesfalls ein Effekt der Stichprobenziehung, sondern entspricht der Wohnsituation in den Ballungsgebieten Mitteleuropas (vgl. European Environmental Agency, 2014).

In den folgenden Ergebnisdarstellungen werden in der Regel keine Effektstärken angegeben, weil die statistischen Modelle, in denen die Effekte von Confoundern berücksichtigt werden, dies nicht erlauben. Wenn Effektstärken angegeben werden (z.B. bei Belästigungsangaben), beziehen sie sich auf nicht-adjustierte Modelle.

5.1 Belästigung und Lebensqualität

5.1.1 Die wichtigsten Ergebnisse zur Belästigung und Lebensqualität

Für die verschiedenen Stichproben der Teilstudie "Belästigung und Lebensqualität" lag der untersuchte Bereich in der Belastung durch Luftverkehrsgeräusche tagsüber ($L_{pAeq,06-22h}$) und bezogen auf einen 24-Stunden-Tag ($L_{pAeq,24h}$) überwiegend zwischen ca. 35 dB und 62 dB und nachts ($L_{pAeq,22-06h}$) zwischen unter 35 dB bis ca. 57 dB - vgl. Tabelle 5-1. Hierzu sei angemerkt, dass die auf den Luftverkehr bezogenen 24-Stunden-Dauerschallpegel am Flughafen Frankfurt wegen des relativ geringen Nachtflug-Anteils teilweise deutlich unter den entsprechenden Tagespegeln lagen, aber auch nur relativ wenige Befragte 24-Stunden-Dauerschallpegel <40 bzw. >60 dB hatten. Am Flughafen Köln/Bonn lagen die höchsten Mittelungspegel um knapp 10 dB höher. Insgesamt ist der Geräuschpegelbereich am Flughafen Frankfurt nach Inbetriebnahme der Nordwest-Landebahn etwa gleich geblieben. Dies beruht darauf, dass es sowohl zu Entlastungen als auch zusätzlichen Belastungen gekommen ist und bei rund drei Viertel der Befragten der Panelstudie Rhein/Main die Veränderungen 2012 gegenüber 2011 in den Mittelungspegeln (tags oder nachts) im Bereich von +/- 2 dB liegen.

Die Geräuschbelastung durch Straßen- und Schienenverkehr deckte einen größeren Bereich als beim Luftverkehr ab. Bei der Geräuschbelastung durch Straßen- und Schienenverkehr umfasste der Bereich in der Teilstudie "Belästigung und Lebensqualität" Mittelungspegel von unter 35 dB bis ca. 80 dB. Beim Schienenverkehr waren die Tag - und Nachtdifferenzen deutlich geringer als bei den übrigen Verkehrsträgern, teils waren die nächtlichen Geräuschbelastungen höher als tagsüber. Es zeigte sich ein deutlicher statistischer Zusammenhang - ausgedrückt durch Korrelationswerte (s.u.) - zwischen dem Mittelungspegel der Verkehrsgeräusche und den Urteilen der Befragten zu ihrer quellspezifischen Lärmbelästigung und den berichteten verkehrslärmbedingten Schlafstörungen. Die Lärmbelästigung korrelierte in der Regel etwas stärker mit dem 24-Stunden-Mittelungspegel und mit dem Tagesmittelungspegel als mit dem Nachtpegel. Dies gilt für alle Verkehrsgeräuscharten. Eine Ausnahme stellt der Flughafen Köln/Bonn dar; hier korrelierte die Fluglärmbelästigung stärker mit dem Nacht- als dem Tagesmittelungspegel. Ein Grund hierfür liegt möglicherweise in dem relativ höchsten Anteil an nächtlichen Flugbewegungen am Flughafen Köln/Bonn (30%) im Vergleich zu den übrigen untersuchten Flughäfen (Berlin-Schönefeld: 12%, Frankfurt: 7 - 10%, Stuttgart: 7%).

Korrelationskoeffizienten zwischen zwei Dateireihen beschreiben deren linearen statistischen Zusammenhang. Sie können Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei negative Werte darauf hinweisen, dass der Anstieg in einer Variable mit einem Abfall in der anderen Variable verbunden ist, während positive Werte einen gleichsinnigen Anstieg/Abfall signalisieren. Je näher der Wert an Null liegt, umso kleiner ist der lineare statistische Zusammenhang. Die Korrelationskoeffizienten zwischen Lärmbelästigung und akustischer Belastung ($L_{pAeq,24h}$, $L_{pAeq,06-22h}$ und $L_{pAeq,22-06h}$) liegen zwischen 0,35 und 0,59, weisen also nach Co-

hen (1988) auf mittlere bis starke Effekte der akustischen Belastung hin. Die Korrelationskoeffizienten zwischen berichteten Schlafstörungen und akustischer Belastung lagen zwischen 0,23 und 0,44; die Effektstärken sind nach Cohen (1988) mittelmäßig.

Tabelle 5-1. Deskriptive Statistik zur Verkehrsgeräuschexposition in der Teilstudie "Belästigung und Lebensqualität".

Mittelungspegel (dB)	Standort	Korrelation r mit ...		Deskriptive Statistik			
		Lärmbelästigung	Schlafstörungen	M	SD	Min	Max
Luftverkehr							
$L_{pAeq,24h}$	FRA 2011	0,473	0,376	47,8	6,1	35,8	61,0
$L_{pAeq,06-22h}$	FRA 2011	0,470	0,369	49,1	6,2	36,6	62,2
$L_{pAeq,22-06h}$	FRA 2011	0,414	0,400	41,9	6,2	≤ 35,0	56,7
		$n = 9.243$	$n = 9.232$	$n = 9.244$			
$L_{pAeq,24h}$	FRA 2013	0,466	0,393	47,2	6,3	≤ 35,0	60,3
$L_{pAeq,06-22h}$	FRA 2013	0,466	0,393	48,6	6,3	35,9	61,7
$L_{pAeq,22-06h}$	FRA 2013	0,425	0,364	41,6	5,9	≤ 35,0	54,5
		$n = 3.508$	$n = 3.505$	$n = 3.508$			
$L_{pAeq,24h}$	BER	0,501	0,442	42,9	6,4	≤ 35,0	59,3
$L_{pAeq,06-22h}$	BER	0,502	0,441	43,9	6,7	≤ 35,0	60,6
$L_{pAeq,22-06h}$	BER	0,481	0,434	39,8	5,1	≤ 35,0	54,7
		$n = 5.548$	$n = 5.537$	$n = 5.548$			
$L_{pAeq,24h}$	CGN	0,419	0,343	46,5	7,1	≤ 35,0	72,6
$L_{pAeq,06-22h}$	CGN	0,409	0,334	46,4	7,2	≤ 35,0	74,4
$L_{pAeq,22-06h}$	CGN	0,420	0,363	46,3	7,2	≤ 35,0	65,7
		$n = 2.954$	$n = 2.951$	$n = 2.955$			
$L_{pAeq,24h}$	STR	0,591	0,429	43,9	7,5	≤ 35,0	61,0
$L_{pAeq,06-22h}$	STR	0,594	0,428	45,2	7,7	≤ 35,0	62,4
$L_{pAeq,22-06h}$	STR	0,555	0,415	38,8	4,6	≤ 35,0	53,8
		$n = 1.979$	$n = 1.975$	$n = 1.979$			
Straßenverkehr							
$L_{pAeq,24h}$	FRA	0,353	0,227	57,4	9,6	< 35,0	81,7
$L_{pAeq,06-22h}$	FRA	0,353	0,227	58,9	9,6	36,5	83,3
$L_{pAeq,22-06h}$	FRA	0,348	0,232	50,9	9,5	< 35,0	73,4
		$n = 3.172$	$n = 3.162$	$n = 3.172$			
Schienenverkehr							
$L_{pAeq,24h}$	FRA	0,432	0,307	58,3	8,7	35,0	81,8
$L_{pAeq,06-22h}$	FRA	0,430	0,303	57,8	8,7	35,0	81,3
$L_{pAeq,22-06h}$	FRA	0,428	0,308	58,8	9,0	35,0	82,6
		$n = 3.307$	$n = 3.267$	$n = 3.307$			

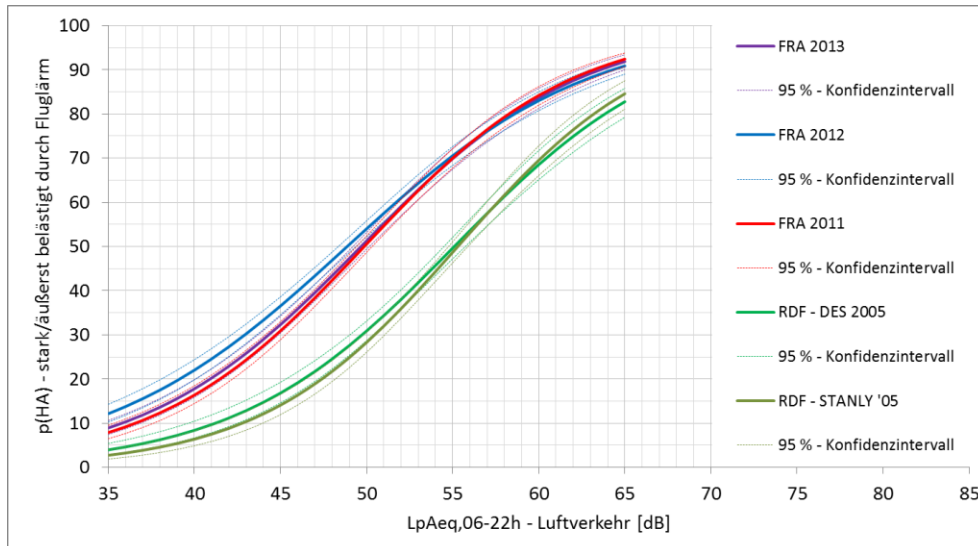
Legende: Überschreitungswahrscheinlichkeit bei allen Korrelationswerten $p < 0,001$. Die Abkürzungen FRA, CGN, BER und STR entsprechen dem IATA-Code der Flughäfen Frankfurt, Köln/Bonn, Berlin-Schönefeld und Stuttgart.

Die Korrelationen der berichteten Schlafstörungen mit den Mittelungspegeln waren insgesamt niedriger als die der Lärmbelästigung; teilweise korrelierten die berichteten Schlafstörungen etwas stärker mit dem Tages- als dem Nachtpegel (Frankfurt 2013, Berlin-Schönefeld, Stuttgart bezogen auf Luftverkehrsgeräusche) - vgl. Tabelle 5-1. Beides lässt vermuten, dass es für Befragte schwierig ist, retrospektiv ein integratives Urteil über konkrete Störungen während der Schlafenszeiten (beim Einschlafen, Durchschlafen, Ausschlafen) vorzunehmen. In den meisten Fällen haben ergänzende Analysen (hier tabellarisch nicht dargestellt) gezeigt, dass die berichteten Schlafstörungen mit dem nächtlichen Maximalpegel mindestens genauso, teils etwas höher korrelierten als die Mittelungspegel. Für die Lärmbelästigung gilt dies nicht. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass nächtliche Störungen durch einzelne Geräuscheignisse mit höheren Pegeln besser erinnert werden und hierauf bezogene Urteile leichter fallen. Die Korrelationen mit der Zahl von Flugbewegungen fiel durchweg bei der Lärmbelästigung und den Schlafstörungen niedriger aus, so dass anzunehmen ist, dass zumindest für die berichteten Schlafstörungen in dieser Studie die Höhe der Geräuschpegel relevanter ist als deren Häufigkeit.

Zu dieser Vermutung kann man auch gelangen, wenn man die Korrelationen bei den Verkehrsgeräuschquellenarten vergleicht: Die jeweiligen Korrelationen der Lärmbelästigung und der berichteten Schlafstörungen mit den Geräuschpegeln fielen beim Straßenverkehr niedriger aus als beim Flug- und Schienenverkehr. Straßenverkehrsgeräusche unterscheiden sich von Flug- und Schienenverkehrsgeräuschen durch ein in der Regel höheres Verkehrsaufkommen bei vergleichsweise moderateren Geräuschpegeln der Einzelfahrzeuge. Ein anderer möglicher Grund für die geringeren Korrelationen beim Straßenverkehr ist, dass die Lärmbelästigungs- und Störungsurteile durch andere mit dem Straßenverkehr in Beziehung stehende Faktoren mit beeinflusst werden, z.B. verkehrsbedingte Luftschadstoffe, die in dieser Untersuchung nicht erfasst wurden. Bei den erhobenen personen- und situationsbezogenen Kontextfaktoren haben sich diesbezüglich keine Auffälligkeiten gezeigt, die die geringere Korrelationshöhe beim Straßenverkehr erklären könnten.

Hinsichtlich der zeitlichen Änderung der Fluglärmbelästigung im ersten (2012) und zweiten (2013) Jahr nach Inbetriebnahme der Nordwest-Landebahn gegenüber der Situation vorher (2011) zeigte sich eine geringfügige Verschiebung der Expositions-Wirkungsbeziehung für den Anteil hoch fluglärmbelästigter Personen (%HA-Anteil) in 2012, insbesondere in unteren/mittleren Mittelungspegelbereichen bis 50 dB $L_{pAeq,06-22h}$ - vgl. Abbildung 5-1. Als „hoch belästigt“ („highly annoyed“, HA) wurden im NORAH-Projekt jene Personen definiert, die eine der beiden obersten Stufen der 5-Stufen-Belästigungsskala gewählt haben. Die Expositions-Wirkungskurve für 2012 liegt höher, d. h. bei gleichem Tagesmittelungspegel $L_{pAeq,06-22h}$ war der Anteil hoch belästigter Personen höher als im Jahr 2011. In den Pegelbereichen von 40 bis 45 dB betrug der Unterschied 5%, bei ca. 50 dB 3%, in höheren Pegelbereichen ging der Unterschied gegen 0%. Die %HA-Kurve von 2013 liegt zwischen der von 2011 und 2012. Die Verschiebung hin zu einem höheren Anteil belästigter Personen im Kontext von Ausbauvorhaben ist in der Forschungsliteratur zur Lärmwirkung bekannt und wird als "Change-Effekt" oder "Überschussreaktion" bezeichnet (u.a. Brown & van Kamp, 2009). Kurz gefasst handelt es sich dabei um einen Effekt, wonach die Lärmbelästigung in Fällen, in

denen sich die Lärmsituation durch Maßnahmen (seien es Verkehrsberuhigungsmaßnahmen oder umgekehrt Ausbauvorhaben) in die Richtung der Geräuschveränderung "überschießend" verändert.



FRA 2011 bis 2013 sind Daten der NORAH-Studie vor Nordwest-Bahneröffnung (2011), im 1. Jahr (2012) und 2. Jahr danach (2013). Für die Luftverkehrsgeräusche aus der RDF-Belastungsstudie (Schreckenberg et al. 2010) wurden zwei Varianten neu berechneter Mittelungspegel verwendet: nach AzB-08 auf Basis des Datenerfassungssystems (DES) 2005 und auf Basis von STANLY-Radardaten zu Flugbewegungen aus dem Jahr 2005. Das Diagramm zeigt die modellbasierten Kurven der Expositions-Wirkungsbeziehungen inklusive 95%-Konfidenzintervalle. Die Expositions-Wirkungsbeziehungen beruhen auf logistische Regressionen des HA-Anteils auf den Luftverkehrs-Tagesmittelungspegeln $L_{pAeq,06-22h}$ (die neu berechneten Geräuschpegel für die RDF-Belastungsstudie wurden getrennt nach Tag und Nacht berechnet, neu berechnete 24-Stunden-Mittelungspegel liegen nicht vor).

Abbildung 5-1. Anteil hoch fluglärm-belästigter Personen (HA; highly annoyed) im Vergleich (modellbasierte Darstellung). Basis: Daten der NORAH-Studie aus den Jahren 2011 bis 2013 versus RDF-Belastungsstudie von 2005 (Schreckenberg et al. 2010).

Insgesamt fiel der "Change-Effekt" am Flughafen Frankfurt relativ gering aus (entspricht etwa 3 dB $L_{pAeq,24h}$ bei 25% stark Belästigten), was in etwa übereinstimmt mit den Ergebnissen einer Längsschnittstudie am Flughafen Amsterdam-Schiphol (Breugelmans et al. 2007; Houthuijs et al. 2012) vor und nach Inbetriebnahme der fünften Flugpiste. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass es am Flughafen Frankfurt erstens schon ab März 2011 Änderungen des Flugbetriebs gab und es zweitens im Zuge der Inbetriebnahme der vierten Bahn lokal sowohl zu Be- als auch Entlastungen gekommen ist. Vertiefende Analysen im Längsschnitt haben gezeigt, dass die befragten Anwohnerinnen und Anwohner bei lokaler Entlastung entsprechend "überschießend" mit geringerer Lärmbelastung reagierten und bei Belastungszunahme mit höherer Lärmbelastung. Neben der Geräuschpegeländerung beeinflussten das vor allem

- das individuell eingeschätzte Lärmbewältigungsvermögen, d. h. die Selbsteinschätzung, wie gut eine Person allgemein mit Lärmsituationen umgehen kann,
- die Einstellung zum Luftverkehr und

- die Erwartungen zu den Auswirkungen des künftigen Flugbetriebs auf die eigene Wohnsituation.

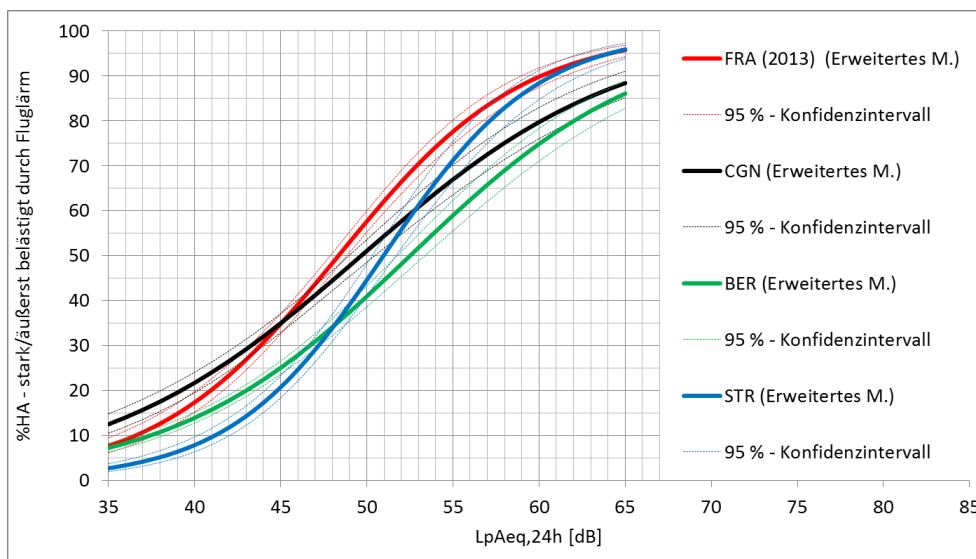
Auffällig sind aber in Abbildung 5-1 nicht nur die Unterschiede im Anteil hoch fluglärmbelästigter Personen zwischen 2011, 2012 und 2013, sondern der deutlich größere Unterschied dieser drei Kurven zu den Ergebnissen der 2005 am Flughafen Frankfurt durchgeführten Belästigungsstudie (sog. „RDF-Belästigungsstudie“ im Auftrag des Regionalen Dialogforums Flughafen Frankfurt (RDF)). Für den Vergleich mit den HA-Kurven der NORAH-Studie wurde die Expositions-Wirkungskurve der RDF-Belästigungsstudie neu berechnet: Nachberechnete Geräuschpegel wurden mit dem gleichen Berechnungsverfahren wie in der NORAH-Studie (AzB 2008) ermittelt; die für den Vergleich benutzten HA-Definitionen in der RDF-Belästigungsstudie und der NORAH-Studie sind identisch. Die „RDF-Kurve“ lag bereits schon über der generalisierten, im Rahmen der EU-Umgebungslärmrichtlinie verwendeten Expositions-Wirkungskurve für Fluglärmbelästigung von Miedema & Oudshoorn, 2001, allerdings auch in etwa auf gleicher Höhe mit anderen europäischen Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Fluglärmbelästigung (Schreckenberget al., 2010). Von verschiedenen Autoren wird diskutiert, dass die Fluglärmbelästigung bei vergleichbaren Mittelungspegeln im Laufe der Zeit insgesamt zugenommen hat (u.a. Gjestland et al. 2015; Guski, 2004; Janssen & Vos, 2009). Ob dies darauf beruht, dass in den vergangenen Jahren im europäischen Raum überwiegend Flughäfen, die sich in einer Änderungssituation befinden, untersucht wurden, dass der Verkehr bei gleichzeitigem technologisch bedingtem Rückgang des Geräuschpegels einzelner Flugzeuge zugenommen hat und/oder ob es an der begrenzten Eignung des Mittelungspegels liegt, die wirkungsrelevanten akustischen Merkmale der Luftverkehrsgeschäftsbelastung hinsichtlich der Belästigung adäquat abzubilden, ist derzeit noch unklar.

Der Vergleich der Expositions-Wirkungskurven zur Fluglärmbelästigung am Frankfurter Flughafen und den Flughäfen Berlin-Schönefeld, Köln/Bonn und Stuttgart (Abbildung 5-2) legt allerdings nahe, dass die Änderungssituation am Frankfurter Flughafen allein die zeitlichen Veränderungen nicht erklären kann. Es zeigte sich, dass trotz aller Unterschiede zwischen den untersuchten Flughäfen an allen Flughäfen der Anteil der hoch belästigten Personen - hier bezogen auf den 24-Stunden-Mittelungspegel - höher liegt als in der RDF-Belästigungsstudie und damit auch höher als bei der generalisierten Expositions-Wirkungskurve von Miedema & Oudshoorn, 2001.

Abbildung 5-2 zeigt, dass sich die modellbasierten Expositions-Wirkungskurven zwischen den Flughäfen im Anstieg unterscheiden. Diese Unterschiede spiegeln die unterschiedliche Korrelation, d. h. den verschiedenen engen Zusammenhang zwischen dem 24h-Mittelungspegel und der Fluglärmbelästigung wider. Der Zusammenhang ist am stärksten am Flughafen Stuttgart (verbunden mit einer steileren Kurve) und am geringsten am Flughafen Köln/Bonn (flachere Kurve). Beide Flughäfen unterscheiden sich deutlich im Nachtfluganteil (30% in Köln/Bonn versus 7% in Stuttgart) und etwas im Pegelbereich der Exposition (<35 - >65 dB in Köln/Bonn vs. <35 - 60 dB $L_{pAeq,24h}$ in Stuttgart).

Die statistischen Analysen haben gezeigt, dass neben dem Mittelungspegel auch andere - nicht-akustische - Einflussgrößen die Belästigung beeinflussten. Dazu gehören an allen

Flughäfen die individuelle Lärmempfindlichkeit und die Bewertung des Luftverkehrs (als nützlich bzw. als umweltschädigend). Die Ergebnisse am Flughafen Stuttgart unterscheiden sich von denen an den anderen Flughäfen dahingehend, dass die nicht-akustischen Faktoren insgesamt einen geringeren Einfluss auf die Lärmbelastigung haben. Die Gesamtzahl der Flugbewegungen am Flughafen Stuttgart betrug mit 111.585 Bewegungen, die den 12 Monaten-Geräuschpegeln zugrundeliegen, etwa ein Viertel der Bewegungszahl am Flughafen Frankfurt (473.231 Bewegungen im selben Zeitraum), kann aber den Unterschied zum Flughafen Köln/Bonn (115.805 Bewegungen, die Grundlage der Berechnungen waren) nicht erklären. Es ist möglich, dass ein unterschiedlicher Verkehrsmix an den Flughäfen einen Grund für die Belastigungsunterschiede darstellt, dies lässt sich allerdings anhand der vorliegenden Daten nicht prüfen. Zu konstatieren ist, dass eine abschließende, erschöpfende Erklärung der genauen Ursachen für die Unterschiede im Anteil der hoch belastigten Anwohnenden anhand der vorliegenden Daten nicht möglich ist, und es bleibt die Feststellung, dass generell die Expositions-Wirkungskurve zur Lärmbelastigung an einem Flughafen nicht oder nur innerhalb breiterer Toleranzgrenzen auf andere Flughäfen übertragbar ist.



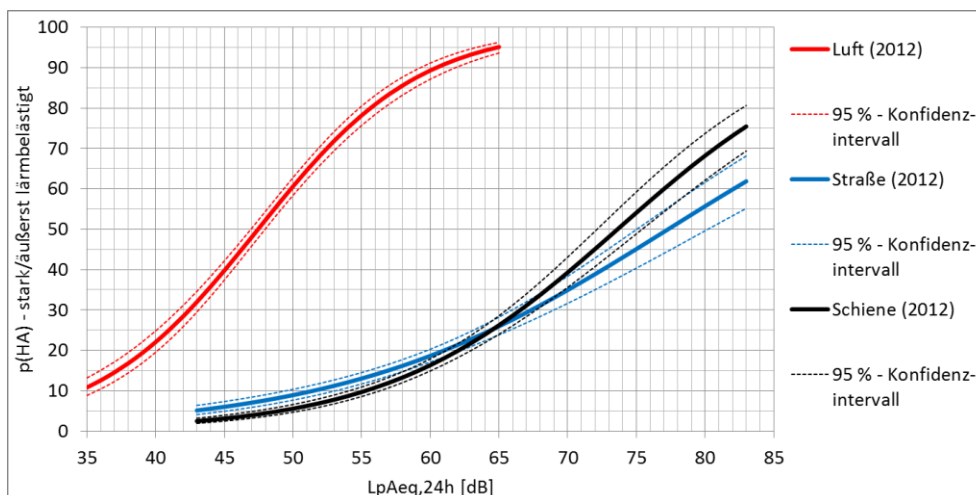
Modelle adjustiert nach Befragungsmodus, Geschlecht, Alter, Wohndauer, Hauseigentum, SWI, Migration, Lärmempfindlichkeit, Luftverkehr bewertet als nützlich, bequem, umweltschädlich, $L_{pAeq,24h}$ - Straßenverkehr und Schienenverkehr, Interaktion Modus * Alter. Stichproben: Berlin-Schönefeld (BER): n = 5.548, Köln/Bonn (CGN): n = 2.955, Stuttgart (STR): n = 1.979, Frankfurt (FRA): 3.508.

Abbildung 5-2. Modellbasierter Anteil hoch fluglärm-belastigter Personen (%HA), Flughäfen Berlin-Schönefeld, Köln/Bonn, Stuttgart vs. Frankfurt 2013.

Vergleicht man den Anteil der hoch durch Luftverkehrsgeräusche belastigten Personen mit den Anteilen durch Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche hoch belastigter Personen, so wird ein Unterschied in den Quellenarten deutlich (Abbildung 5-3). Bei gleichen 24h-Mittelungspegeln waren deutlich mehr Menschen durch Luftverkehrs- als durch Straßen- oder Schienenverkehrsgeräusche hoch belastigt. Dieser Unterschied in den Quellenarten bestätigt jahrzehntelang bekannte Befunde in der Lärmbelastigungsforschung, wenngleich das

Ausmaß des Unterschieds zwischen Luft- und den anderen beiden Verkehrsarten in den NORAH-Untersuchungen sehr hoch ausfällt. In den Sekundäranalysen von Miedema & Vos (1998) und Miedema & Oudshoorn (2001), in denen über 50 Originalstudien mit etwa 54.000 Teilnehmenden (die Zahlen differieren etwas in den beiden Veröffentlichungen) verarbeitet wurden, ist der höhere Anteil lärm-belästigter Personen beim Luftverkehr im Vergleich zum Straßen- und Schienenverkehr aufgezeigt worden.

Allerdings fällt der Unterschied zwischen Straßen- und Schienenverkehr weniger deutlich und anders aus als etwa in den Sekundäranalysen von Miedema und Kollegen oder in Originalstudien zum Vergleich von Straßen- und Schienenverkehr (z. B. Möhler et al. 2000). Dort erwies sich der Schienenverkehr als weniger lästig im Vergleich zum Straßenverkehr. In der NORAH-Studie zeigte sich dieser Effekt im geringeren Maße unterhalb von $L_{pAeq,24h} = 60$ dB. Zwischen 60 und 65 dB kreuzen sich die Kurven, und der Schienenverkehr erwies sich bei $L_{pAeq,24h}$ -Werten größer 65 dB gegenüber dem Straßenverkehr als lästiger. Ein vergleichbares Ergebnis berichten Lercher, de Greve, Botteldoorn und Rüdiger (2008) in der Untersuchung der Wirkung von Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen im Alpenraum (Wipptal). In ihrer Studie zeigte sich eine geringere Lästigkeit des Schienenverkehrs im Vergleich zum Straßenverkehr; oberhalb von Tag-Abend-Nacht-Pegeln L_{den} von 60 - 65 dB allerdings ist der Schienenverkehr lästiger.



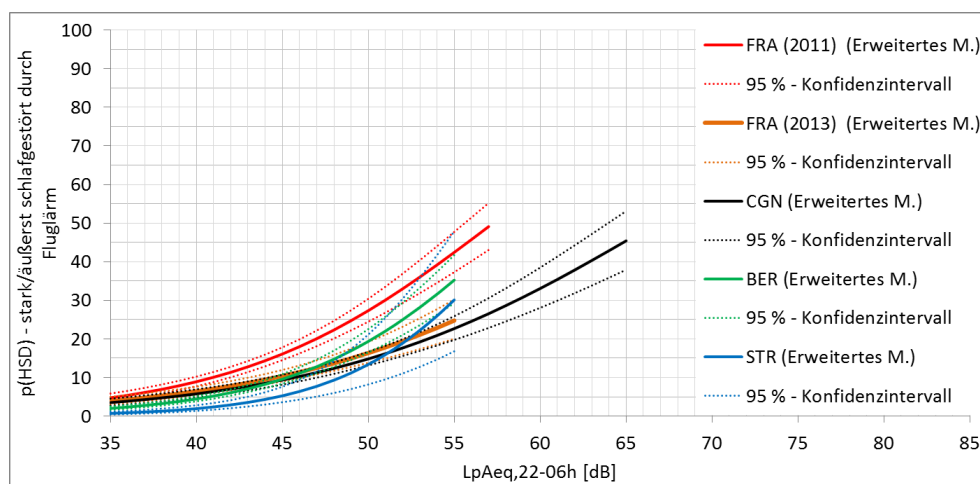
Modelle adjustiert nach Befragungsmodus, Geschlecht, Alter, Wohndauer, Hauseigentum, SWI, Migration, Lärmempfindlichkeit, quellenspezifischer Bewertung des Verkehrs als nützlich, bequem, umweltschädlich, $L_{pAeq,24h}$ der jeweils anderen beiden Verkehrslärmquellenarten, Interaktion Modus * Alter. Stichproben: Luft: Panel-Teilnehmende, Erhebungswelle 2012: $n = 3.508$ (Teilnehmende, die an allen Wellen teilgenommen haben), Straße: Teilnehmende der Studie "QS Straße": $n = 3.172$, Schiene: Teilnehmende der Studie "QS Schiene": $n = 3.162$.

Abbildung 5-3. Modellbasierter Anteil hoch durch Verkehrsgeräusche belastigter Personen (%HA; highly annoyed) im Rhein/Main-Gebiet.

Die geringere Belästigung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm korrespondiert damit, dass die Lärmempfindlichkeit in den Straßen- und Schienenverkehrs-Stichproben geringfügig niedriger ist als in der Panelstichprobe (um 0,1 bis 0,2 Skalenpunkte der 5-stufigen Antwortskala), und der Schienen- und Straßenverkehr gegenüber dem Luftverkehr teilweise

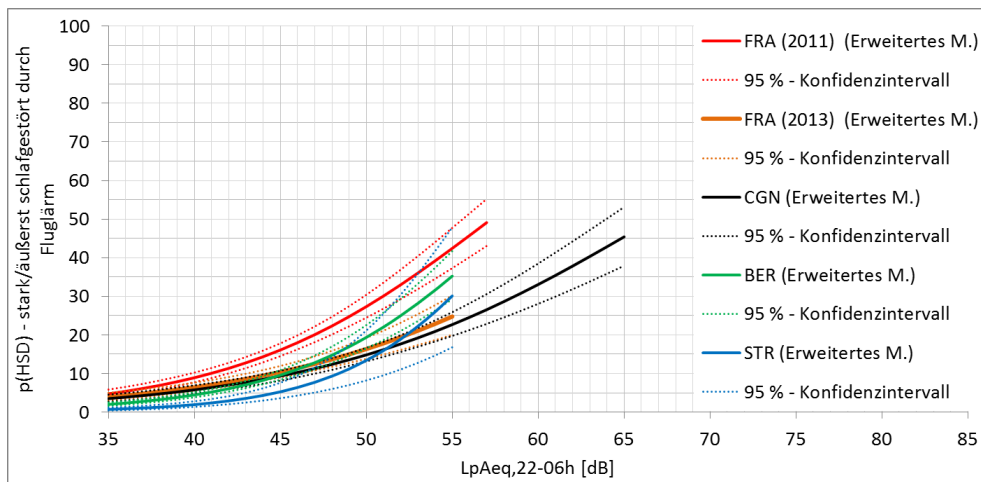
als positiver bewertet werden, insbesondere als nützlicher, der Bahnverkehr zudem auch als weniger umweltschädigend. Ob diese Bewertungsunterschiede oder akustische Aspekte wie z.B. eine unterschiedliche Pegelanstiegssteilheit für die Wirkungsunterschiede der Verkehrslärmquellenarten verantwortlich sind, kann letztlich nicht geklärt werden, da außer dem Dauerschall- und dem mittleren Maximalpegel keine weiteren (psycho-)akustischen Parameter vorliegen.

Ein höherer Anteil von Personen, die hohe Schlafstörungen durch Luftverkehrsgeräusche berichten, zeigte sich im Vergleich zu den übrigen Flughäfen 2011 am Flughafen Frankfurt (Abbildung 5-4). Im 2. Jahr nach Einführung der Kernruhezeit von 23 bis 05 Uhr, 2013, ist die Expositions-Wirkungskurve zu den Schlafstörungen nach unten verschoben und hat sich in etwa der Expositions-Wirkungs-Kurve der am Flughafen Köln/Bonn berichteten Schlafstörungen angeglichen. Die Verschiebung der Kurve könnte ein Hinweis auf einen "Change-Effekt" in eine positive Richtung sein. Dagegen allerdings sprechen vertiefende Analysen, in denen die berichteten Schlafstörungen getrennt nach Ein-, Durch- und Ausschlafphase untersucht wurden. Diese zeigen, dass ein Rückgang der berichteten Schlafstörungen insbesondere bezogen auf Störungen des Nachschlafs, also des Durchschlafens, festzustellen ist. Die auf die Einschlafphase bezogenen Störungen blieben demgegenüber weitgehend unverändert, berichtete Störungen beim Ausschlafen nahmen im Grad eher zu. Der gesamte Rückgang in den Schlafstörungen wäre demnach lediglich eine Reaktion auf den Pegelrückgang in der Durchschlafphase und keine generelle ins Positive "überschießende" Reaktion.



Modelle adjustiert nach Befragungsmodus, Geschlecht, Alter, Wohndauer, Hauseigentum, SWI, Migration, Lärmempfindlichkeit, Luftverkehr bewertet als nützlich, bequem, umweltschädlich, $L_{pAeq,24h}$ - Straßenverkehr und Schienenverkehr, Interaktionen Modus * Alter, Attribut "Luftverkehr = nützlich. Stichproben: Berlin-Schönefeld (BER): n = 5.548, Köln/Bonn (CGN): n = 2.955, Stuttgart (STR): n = 1.979, Frankfurt (FRA 2011, 2013): 3.508 (Teilnehmende, die an allen Erhebungswellen 2011 bis 2013 teilgenommen haben).

Abbildung 5-4. Modellbasierter Anteil hoch durch Luftverkehrsgeräusche schlafgestörter Personen (%HSD), Flughäfen Berlin-Schönefeld, Köln/Bonn, Stuttgart vs. Frankfurt 2011, 2013.



Modelle adjustiert nach Befragungsmodus, Geschlecht, Alter, Wohndauer, Hauseigentum, SWI, Migration, Lärmempfindlichkeit, quellenspezifischer Bewertung des Verkehrs als nützlich, bequem, umweltschädlich, $L_{pAeq,24h}$ der jeweils anderen beiden Verkehrslärmquellenarten, Interaktionen Modus * Alter, Modus * Bewertung Verkehr = nützlich. Stichproben: Luft: Panel-Teilnehmende, Erhebungswellen 2011, 2013: $n = 3.508$ (Teilnehmende, die an allen Wellen 2011 bis 2013 teilgenommen haben), Straße: Teilnehmende der Studie "QS Straße": $n = 3.172$, Schiene: Teilnehmende der Studie "QS Schiene": $n = 3.162$.

Abbildung 5-5. Modellbasierter Anteil hoch durch Luftverkehrsgeräusche schlafgestörter Personen (%HSD; highly sleep disturbed) im Rhein/Main-Gebiet.

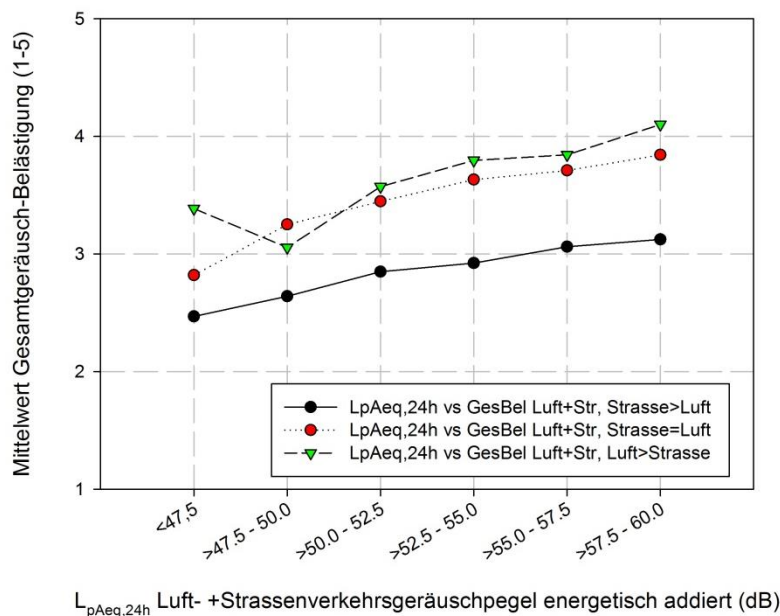
In der Querschnittsuntersuchung zur Gesamtgeräusch-Belastung durch zwei kombinierte Geräuschquellen (Luft- plus Straßenverkehr bzw. Luft- plus Schienenverkehr) wurden v.a. drei Fragen bearbeitet:

1. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Höhe der akustischen Belastung (ausgedrückt als energetische Addition der Einzeldauerschallpegel über 12 Monate) durch zwei Quellen und der Gesamt-Lärmbelastung?
2. Welche Rolle spielt das Pegelverhältnis zwischen den beiden Quellen für die Gesamtgeräuschbelastung?
3. Welche Rolle spielen personale Faktoren bei der Gesamtgeräuschbelastung?

Hinsichtlich der ersten Frage zeigte sich, dass die Gesamtlärmbelastung bei vergleichbaren Dauerschallpegeln in beiden Quellen-Kombinationen zwar mit dem energetisch summierten Gesamtgeräuschpegel signifikant ansteigt ($r = 0,385$ bei Luft+Schiene; $r = 0,396$ bei Luft+Straße, d. h. jeweils ein „mittelstarker“ Effekt), aber die Gesamt-Belastungswerte etwas unterhalb der Einzelbelastung durch Luftverkehrsgeräusche bei energetisch äquivalenten Schallpegeln blieben. Der Einfluss der zweiten Quelle auf die Gesamtbelastung war gering. Es scheint, dass für die Gesamtbelastung ein anderes Bezugssystem wirksam ist als für die Belastung durch die Einzelquellen, und dass die Gesamtbelastung stark durch die Fluglärmbelastung beeinflusst wird.

Hinsichtlich der zweiten Frage wurden drei ähnlich große Subgruppen gebildet, die sich hinsichtlich der akustischen Dominanz (ausgedrückt im 24-Stunden-Dauerschallpegel) der beiden Quellen unterschieden. In Gruppe (1) ist Quelle 1 dominant ($>2,5$ dB mehr als

Quelle 2), Gruppe (2) hat keine dominante Quelle, und in Gruppe (3) ist Quelle 2 dominant (>2,5 dB mehr als Quelle 1).



Anmerkung.

Quellendominanz:

Straße > Luft:

$L_{pAeq,24h}$ für Straßenverkehr ist um mehr als 2,5 dB höher als für Luftverkehr,

Straße = Luft: $L_{pAeq,24h}$ für Straßen- und Luftverkehr im Bereich +/- 2,5 dB gleich,

Luft > Straße: $L_{pAeq,24h}$ für Luftverkehr ist um mehr als 2,5 dB höher als für Straßenverkehr.

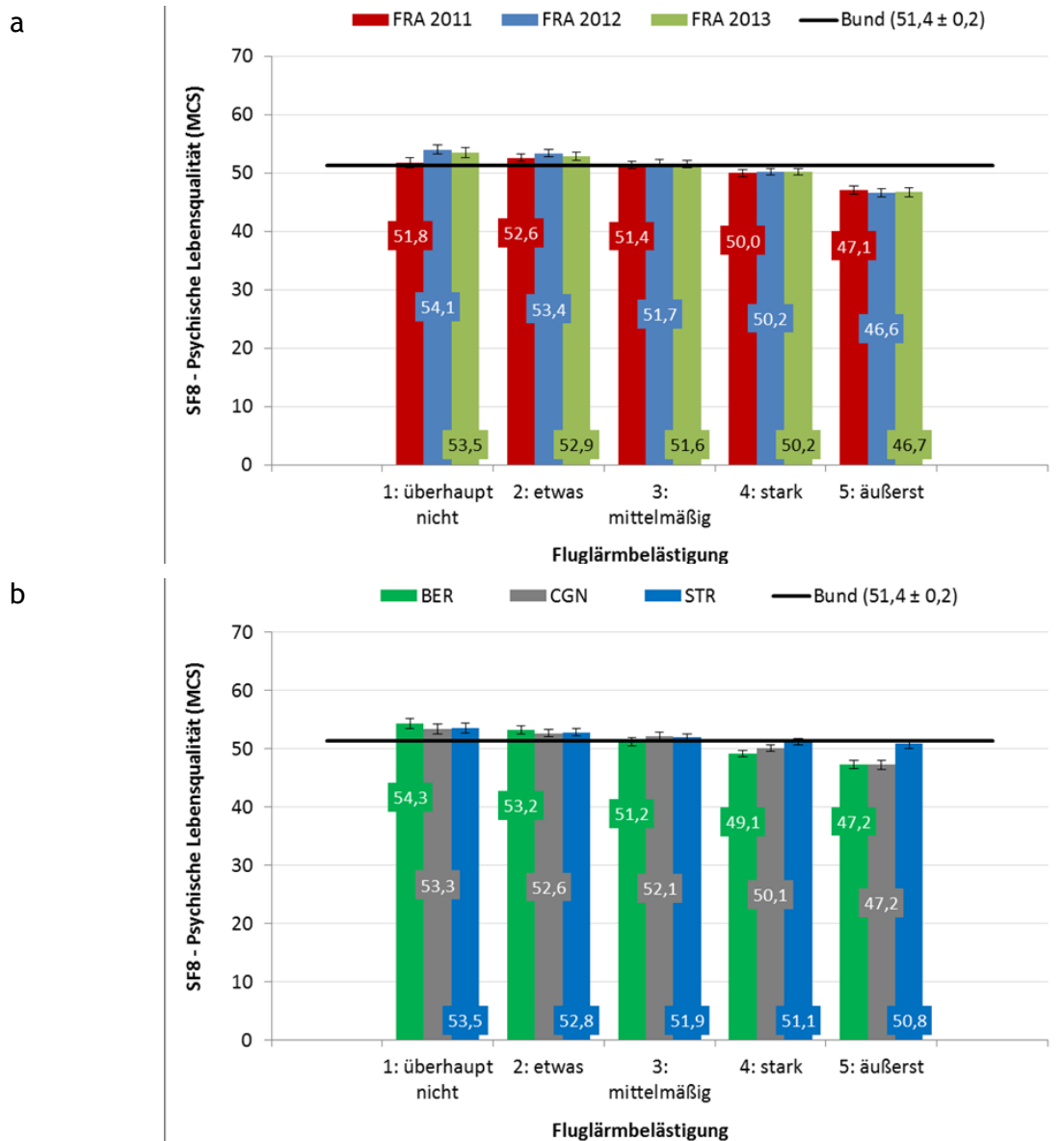
Abbildung 5-6 Gesamtgeräusch-Belastigung durch Luft- und Straßenverkehr in Abhängigkeit von der Quellendominanz.

Es stellte sich heraus, dass die Pegel-Dominanz bei der Kombination Luft- plus Straßenverkehrsgeräusche nur dann eine entscheidende Rolle spielt, wenn der Straßenverkehrsgeräuschpegel über dem Luftverkehrspegel liegt; in diesem Fall liegt die Gesamtgeräusch-Belastigung deutlich unter den entsprechenden Werten für die anderen beiden Dominanzkategorien. Bei der Kombination Luft- plus Schienenverkehrsgeräusche lagen die Gesamtbelastigungswerte für die drei Dominanzkategorien deutlicher getrennt voneinander - bei der Dominanz des Luftverkehrs an der Spitze und der Dominanz des Schienenverkehrs am unteren Ende, während die Werte bei Nicht-Dominanz einer Quelle in der Mitte lagen.

Bei der Varianzaufklärung der Gesamtlärmbelastigung nur durch akustische Variablen plus Befragungsmodus als möglichem Confounder zeigten die Modelle mit getrennten Einzelpiegeln die beste Anpassung im Vergleich mit den Modellen mit energetischem Summenpegel plus Dominanzkategorien. Die Modell-Anpassung wurde in beiden Fällen wesentlich besser, wenn personale Faktoren (wie z.B. Lärmempfindlichkeit und Quellen-Bewertung) mit herangezogen werden.

Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Lebensqualitäts-Variablen und Luftverkehrs-Geräuschpegeln stellte sich heraus, dass die beiden Summenscores zur Lebensqualität, die psychische (MCS) und die körperliche (PCS) Lebensqualität, zwar leichte Zusammenhänge mit dem 24-Stunden-Dauerschallpegel aufweisen, der Einfluss der Geräuschbelastung aber vor allem durch die Fluglärm-belastigung (negativ) vermittelt wird. Dies gilt für die psychische Lebensqualität im stärkeren Maße als für die körperliche Lebensqualität, und zwar an allen untersuchten Flughäfen. Zudem zeigten Subgruppenanalysen am Flughafen Frankfurt, dass im Falle einer Zunahme der Belastung durch Luftverkehrsgeräusche

nach Inbetriebnahme der Landebahn Nordwest der Zusammenhang zwischen 24-Stunden-Dauerschallpegel und psychischer Lebensqualität stärker wurde.



Anmerkung. SF8-Score MCS: Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall; Bund = Normdaten (Mittelwert ± 95%-Konfidenzintervall) des telefonischen Gesundheitssurveys 2003 (GSTel03) des Robert-Koch-Instituts (vgl. Ellert et al., 2005). (a) Frankfurt (FRA) 2011 - 2013, (b) Berlin-Schönefeld (BER), Köln/Bonn (CGN), Stuttgart (STR).

Abbildung 5-7: Psychische Lebensqualität (MCS) gruppiert nach Fluglärmbelästigung (a) in der Rhein/Main-Region und (b) an den Vergleichsflughäfen

5.1.2 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse der Untersuchungen zu Belästigung und Lebensqualität

Die Teilstudie bestätigt eine Entwicklung in der Fluglärmbelästigung, die in den letzten Jahren von mehreren Autoren beschrieben wurde, nämlich eine Verschiebung der Expositions-Wirkungsbeziehung, d. h. eine Zunahme der Belästigung bei gleichen Mittelungspegeln im Laufe der Zeit (Brooker, 2009; Guski, 2004; Janssen & Vos, 2009; van Kempen & van

Kamp, 2005). Es wurde vermutet, dass dies unter anderem ein Ergebnis von Überschussreaktionen aufgrund von Ausbauvorhaben (in Planung oder nach Umsetzung) der Flughäfen ist, die gerade in den letzten Jahren untersucht wurden. Auch für diese Teilstudie wurde dies bezogen auf den Ausbau des Flughafens Frankfurt, insbesondere bezogen auf die Inbetriebnahme der Landebahn Nordwest, angenommen. Tatsächlich wurde auch im ersten Jahr nach der Inbetriebnahme der neuen Landebahn ein Anstieg in der Fluglärmbelästigung gegenüber 2011 bei gleichem Dauerschallpegel festgestellt. Allerdings zeigte sich auch, dass an den übrigen untersuchten Flughäfen die Fluglärmbelästigung höher ausfiel als einige Jahre zuvor in der RDF-Belästigungsstudie am Flughafen Frankfurt im Jahr 2005 (Schreckenbergs & Meis, 2006). Der zeitliche Trend der Zunahme der Fluglärmbelästigung seit 2005 bis 2011 vor Inbetriebnahme der Landebahn Nordwest fiel stärker aus als der Unterschied vor und nach der Inbetriebnahme der neuen Landebahn 2011 vs. 2012/2013. Es kann sich bei dieser Belästigungszunahme um einen kombinierten Effekt von Ausbauplanungen und realen betrieblichen Änderungen ab März 2011 handeln, d. h. um eine Kombination aus Änderungs-Erwartungen und erlebten Belastungs-Änderungen. Beide Aspekte gehören zum sogenannten Change-Effekt, d. h. der Überschussreaktion in der Änderung der Lärmelastung im Zuge maßnahmenbedingter Änderungen der Geräuschexposition. Diese entsteht nicht allein nach Änderung der Geräuschexposition selbst, sondern auch bereits im Vorfeld durch Veränderungen in der Erwartungshaltung, sobald Maßnahmen, die Auswirkungen auf die Geräuschbelastung haben, angekündigt werden.

Mit Inbetriebnahme der Nordwest-Bahn im Oktober 2011 wurde eine nächtliche Kernruhezeit von 23 bis 5 Uhr eingeführt. Die Veränderungen in den berichteten Schlafstörungen 2012 und 2013 gegenüber 2011 legen auf dem ersten Blick nahe, dass die Einführung der Kernruhezeit einen positiven Effekt auf die berichteten fluglärmbedingten Schlafstörungen hat. Allerdings zeigten die weiterführenden Analysen, dass dies für die Durchschlaf-, nicht aber für die Ein- und Ausschlafphase gilt, die den eigenen Berichten der Befragten zufolge überwiegend zwischen 22 und 23 Uhr (am häufigsten genannte Zubettgehzeit) und 6 und 7 Uhr (am häufigsten genannte Aufstehzeit) liegt.

Dass Verkehrsgeräusche, insbesondere über die Lärmelastung vermittelt, einen Effekt auf die (allgemeine) gesundheitsbezogene, vor allem psychische Lebensqualität haben, wurde auch in früheren Studien gezeigt (van Kamp et al., 2007; Dratva et al., 2010; Schreckenbergs et al., 2010). Insgesamt war der Beitrag von Verkehrsgeräuschen auf die Lebensqualität in unserer Teilstudie marginal. Allerdings weist das Ergebnis, dass die negative Korrelation zwischen der Luftverkehrsgeräuschbelastung und psychischen Lebensqualität steigt, wenn eine Zunahme der Geräuschbelastung eingetreten ist, darauf hin, dass insbesondere die (negative) Veränderung der Luftverkehrs-Geräuschbelastung im Wohnumfeld bemerkt wird und möglicherweise zur Wahrnehmung von Kontrollverlust führt (Hatfield et al., 2002), verbunden mit einer Abnahme der psychischen Lebensqualität. Eine mögliche Ursache könnte in der Zunahme depressiver Tendenzen liegen (u.a. La Torre et al., 2007; Wallston et al., 1987).

Hinsichtlich der Wirkung von Verkehrsgeräusch-Kombinationen (Luft- plus Straßen- bzw. Schienenverkehr) auf die Gesamtbelästigung hat sich herausgestellt, dass die rein energetische Summierung der beiden Quellenpegel die Kombinationswirkung auf die Belästigung unterschätzt - insbesondere dann, wenn der Luftverkehrsgeräuschpegel unter dem Pegel der jeweils zweiten Quelle liegt. Günstiger erscheint eine Gewichtung der beiden Pegel entsprechend der Lästigkeit der beteiligten Quellenarten, wobei berücksichtigt werden muss, dass sich die durchschnittliche Belästigung der Bevölkerung sowohl bei Luft- als auch Schienenverkehrsgeräuschen heute gegenüber den sog. EU-Standardkurven (Miedema & Ousdhoorn, 2001) verändert haben.

5.2 Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung

Die sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie untersuchte die statistischen Zusammenhänge zwischen der akustischen Belastung durch Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräusche im Zeitraum 2005-2010 und den Risiken für die Erkrankung an

- Herzinfarkt
- Schlaganfall
- Herzinsuffizienz (Herzschwäche)
- Brustkrebs
- Episoden einer unipolaren Depression (hier auch „Depression“ genannt).

Im Folgenden wird eine zusammenfassende Übersicht über die Ergebnisse der sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie gegeben. Eine ausführliche Ergebnisdarstellung findet sich - wie auch bei den anderen Teilstudien des NORAH-Projekts - im Abschlussbericht der sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie. Dargestellt werden jeweils Odds Ratios als Effektschätzer für die relativen Erkrankungsrisiken. Eine Odds Ratio von 1,05 bedeutet beispielsweise, dass in der entsprechenden Expositions-kategorie das Erkrankungsrisiko auf das 1,05-fache der „nicht exponierten“ Personen in der Referenzkategorie erhöht ist. Anders ausgedrückt: Das relative Erkrankungsrisiko ist gegenüber nicht exponierten Personen um 5% erhöht. Odds Ratios unter 1 bilden erniedrigte Erkrankungsrisiken ab. Statistisch signifikant sind die Odds Ratios immer dann, wenn der Wert 1 nicht innerhalb des 95%-Konfidenzintervalls liegt. In den nachfolgenden Grafiken wird der lineare Risikoverlauf pro 10 dB Zunahme des 24-Stunden-Dauerschallpegels abgebildet. Soweit die Expositions-Risiko-Beziehung adäquat durch ein lineares Modell abgebildet wird, ist der Risikoverlauf in den nachfolgenden Abbildungen mit einer durchgezogenen Linie dargestellt, ergänzt durch das 95%-Konfidenzintervall. In den Fällen, in denen das lineare Modell den Daten nicht optimal entspricht, werden die Risikoschätzer auf einzelnen Pegelstufen mit individuellen Konfidenzintervallen dargestellt.

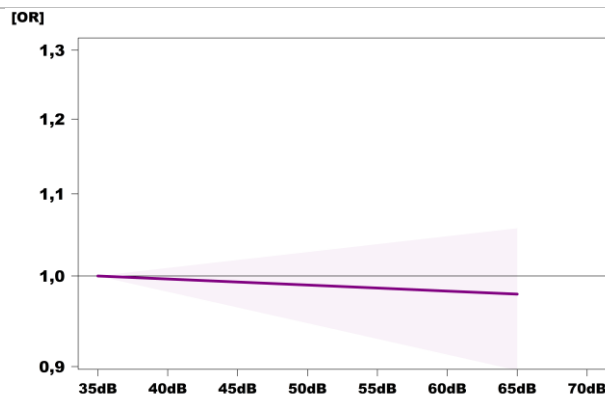
Die in diesem Kapitel genannten Risikoschätzer beziehen sich grundsätzlich auf das für Alter, Geschlecht und Sozialstatus (Bildung, Beruf, regionale SGB II-Quote) („voll“) adjustierte Modell.

Generell wurden die höchsten Risiko-Anstiege pro 10 dB Anstieg des Dauerschallpegels bei allen Verkehrsgeräusch-Quellen in der NORAH-Fallkontrollstudie bei depressiven Episoden gefunden. Weiterhin zeigte sich, dass die Zusammenhänge von Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit den Geräuschpegeln des Straßenverkehrs (gilt insbesondere für die Herzinsuffizienz) und des Schienenverkehrs (gilt für den Herzinfarkt und den Schlaganfall ebenso wie für die Herzinsuffizienz) tendenziell deutlicher sind als mit denen des Luftverkehrs.

5.2.1 Die wichtigsten Ergebnisse zu den einzelnen Erkrankungen

5.2.1.1 Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken (Herzinfarkt, Schlaganfall, Herzinsuffizienz)

Generell zeigte sich kein statistisch signifikanter Anstieg des Herzinfarkt-Risikos mit 10 dB Pegelanstieg (siehe Abbildung 5-8). Luftverkehrsgeräuschpegel ab 60 dB $L_{pAeq,24h}$ waren (statistisch nicht signifikant) mit einem erhöhten Herzinfarkt-Risiko (Odds Ratio = 1,42 [95% KI 0,62-3,25]) und einem erhöhten Schlaganfall-Risiko (Odds Ratio = 1,62 [95% KI 0,79-3,34]; siehe Abbildung 5-9) verbunden. Wenn lediglich Herzinfarkt-Patienten in die Analyse einbezogen werden, die bis zum Jahre 2014 verstorben waren, so ergab sich für Luftverkehrspegel ab 60 dB ein statistisch signifikant erhöhter Risikoschätzer (Odds Ratio = 2,70 [95% KI 1,08 - 6,74]). Beim Schlaganfall veränderten sich die Risiken bei Einschränkung auf die verstorbenen Patient/innen nicht wesentlich. Es fand sich bei Luftverkehrsgeräuschen kein positiver linearer Risikoverlauf des Herzinfarktrisikos und des Schlaganfallrisikos. Für die Herzinsuffizienz fand sich hingegen (auch) beim Luftverkehr eine statistisch signifikante Risikoerhöhung um 1,6% pro 10 dB Dauerschallpegel (OR pro 10 dB = 1,016 [95% KI 1,003-1,030]; siehe Abbildung 5-10) im Sinne einer linearen Expositions-Risikobeziehung.



Anmerkungen:

Lineare Risikoveränderung
(violette Linie mit schraffiertem 95%-Konfidenzbereich):

Gesamt -0,7% pro 10 dB (95% KI -3,4% - 2,0%; nicht sig.)

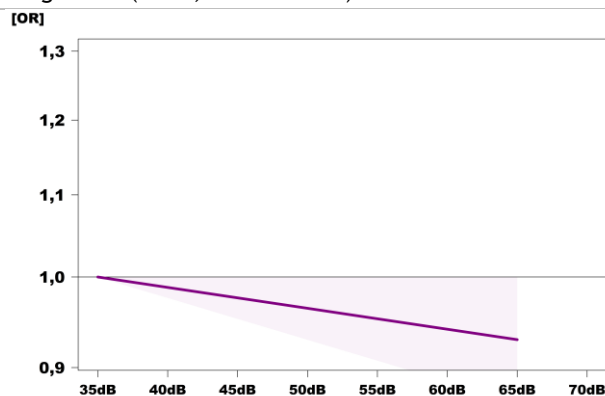
Männer -0,7% pro 10 dB (nicht sig.)

Frauen -0,7% pro 10 dB (nicht sig.)

Abbildung 5-8: Luftverkehrsgeräuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) und Herzinfarkt-Risiko

Legende: Um bei allen Abbildungen die gleiche OR-Skala nutzen zu können, werden ORs <0,9 und >1,3 nicht dargestellt (OR=1,42 für >60 dB)

Maximalpegel wurden in der Darstellung der linearen Risikoveränderung nicht berücksichtigt



Anmerkungen:

Lineare Risikoveränderung
(violette Linie mit schraffiertem 95%-Konfidenzbereich):

Gesamt -2,4% pro 10 dB (95% KI -4,7% - 0,0%; nicht sig.)

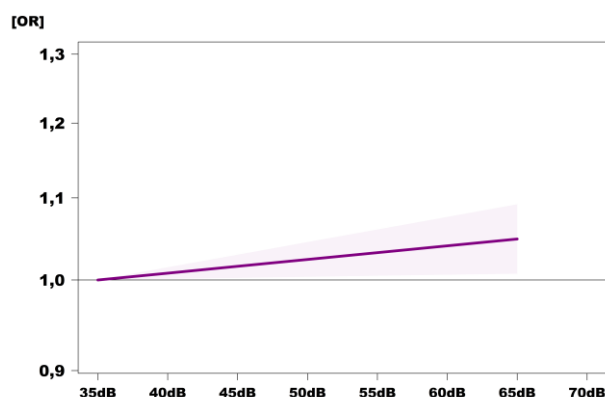
Männer -0,3% pro 10 dB (nicht sig.)

Frauen -4,1% pro 10 dB (stat. sig.)

Abbildung 5-9: Luftverkehrsgeräuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) und Schlaganfall-Risiko

Legende: Um bei allen Abbildungen die gleiche OR-Skala nutzen zu können, werden ORs <0,9 und >1,3 nicht dargestellt.

Maximalpegel wurden in der Darstellung der linearen Risikoveränderung nicht berücksichtigt



Anmerkungen:

Lineare Risikoerhöhung
(violette Linie mit schraffiertem 95%-Konfidenzbereich):

Gesamt 1,6% pro 10 dB (95% KI 0,3% - 3,0%; stat. sig.)

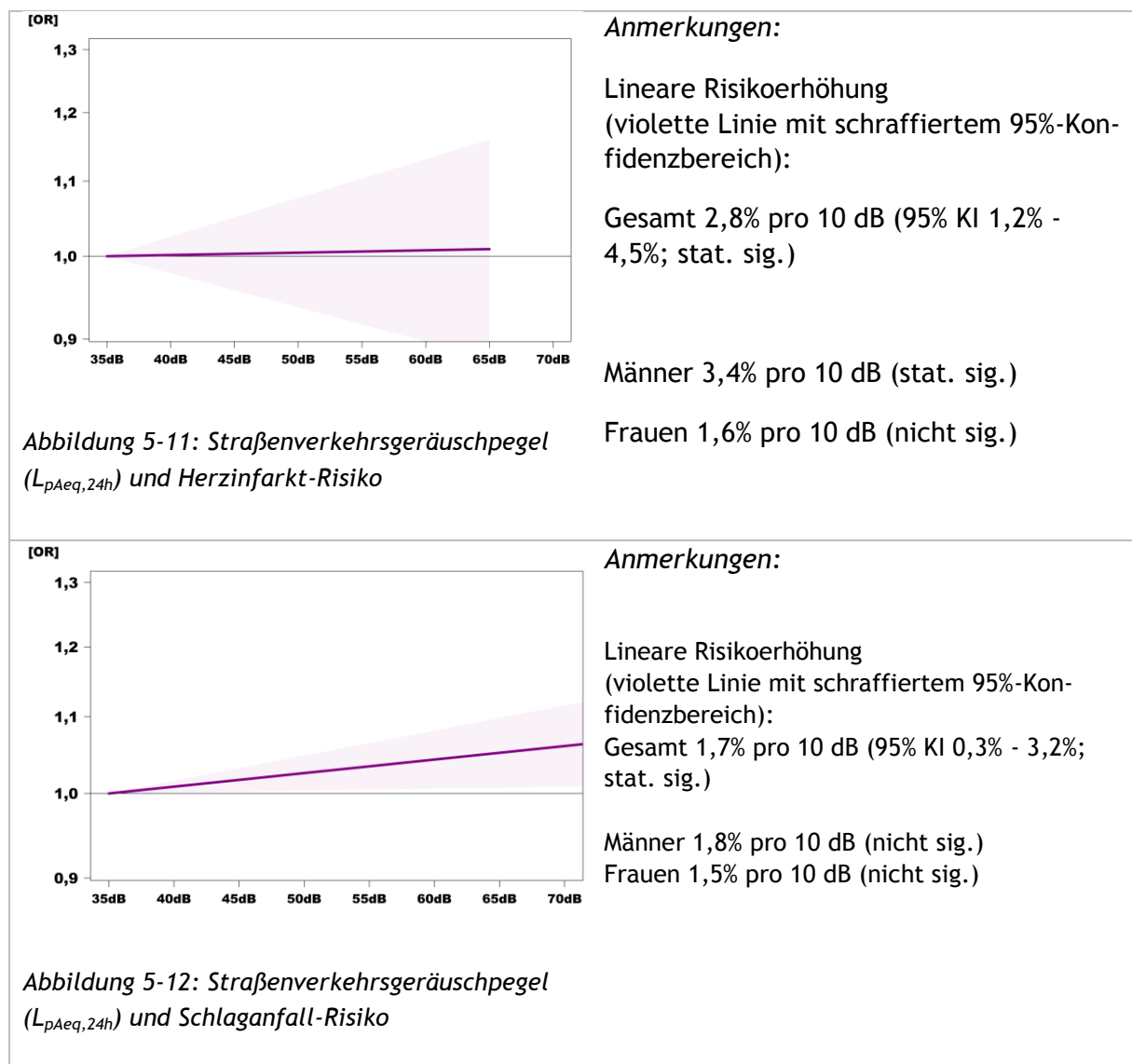
Männer 1,1% pro 10 dB (nicht sig.)

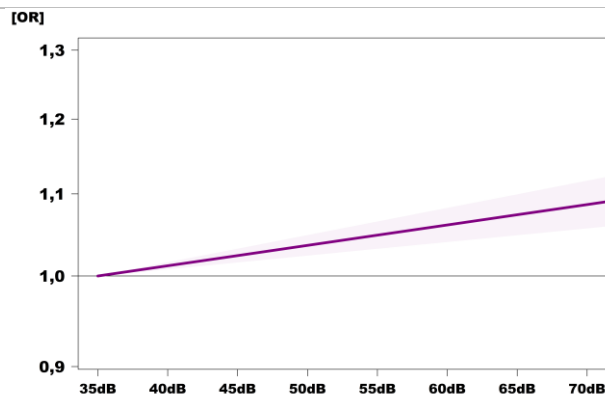
Frauen 2,1% pro 10 dB (stat. sig.)

Abbildung 5-10: Luftverkehrsgeräuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) und Herzinsuffizienz-Risiko

Maximalpegel wurden in der Darstellung der linearen Risikoveränderung nicht berücksichtigt

Auf der Grundlage der 24 Stunden-Dauerschallpegel war der Zusammenhang von Herz-Kreislauf-Erkrankungen mit Straßenverkehrspegeln (Abbildung 5-11 bis Abbildung 5-13; gilt insbesondere für die Herzinsuffizienz) und Schienenverkehrspegeln (Abbildung 5-14 bis Abbildung 5-16; gilt für den Herzinfarkt und den Schlaganfall ebenso wie für die Herzinsuffizienz) deutlicher als der Zusammenhang zu Luftverkehrspegeln: Das Risiko für einen Herzinfarkt, einen Schlaganfall oder eine Herzinsuffizienz war überwiegend ab Straßenverkehrslärmpegeln und Schienenverkehrslärmpegeln von 50 dB, teilweise auch erst ab 55 dB statistisch signifikant erhöht und stieg bei höheren Schallpegeln kontinuierlich weiter an. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass sich für den Schlaganfall auch bei einem Schienenverkehrslärmpegel von 45 bis <50 dB bereits eine deutliche Risikoerhöhung von 14% zeigte, wenn die schienenbezogenen Maximalpegel mindestens 20 dB darüber lagen (sogenannte „Emergenz-Analyse“, siehe Abschlussbericht der Fallkontrollstudie).





Anmerkungen:

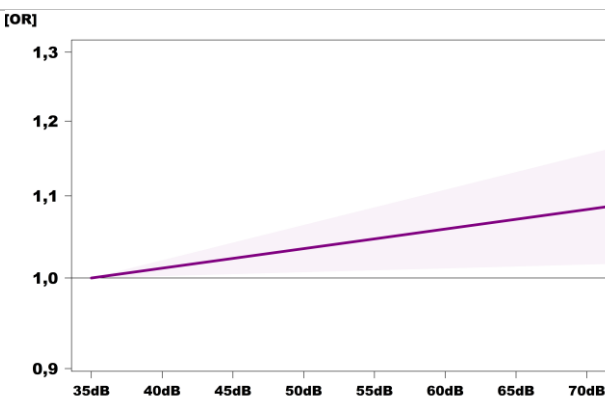
Lineare Risikoerhöhung
(violette Linie mit schraffiertem 95%-Konfidenzbereich):

Gesamt 2,4% pro 10 dB (95% KI 1,6% - 3,2%; stat. sig.)

Männer 2,4% pro 10 dB (stat. sig.)

Frauen 2,2% pro 10 dB (stat. sig.)

Abbildung 5-13: Straßenverkehrsgeräuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) und Herzinsuffizienz-Risiko



Anmerkungen:

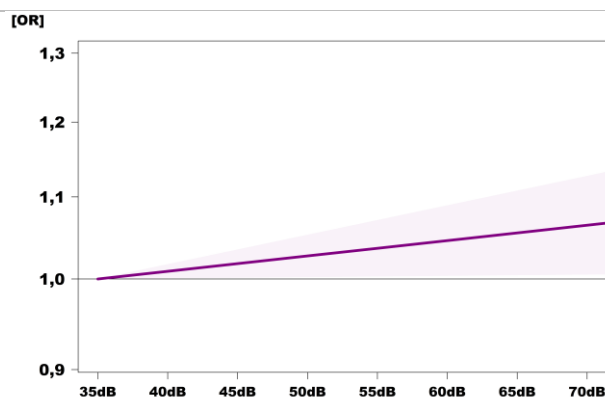
Lineare Risikoerhöhung
(violette Linie mit schraffiertem 95%-Konfidenzbereich):

Gesamt 2,3% pro 10 dB (95% KI 0,5% - 4,2%; stat. sig.)

Männer 1,4% pro 10 dB (nicht sig.)

Frauen 2,9% pro 10 dB (stat. sig.)

Abbildung 5-14: Schienenverkehrsgeräuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) und Herzinfarkt-Risiko



Anmerkungen:

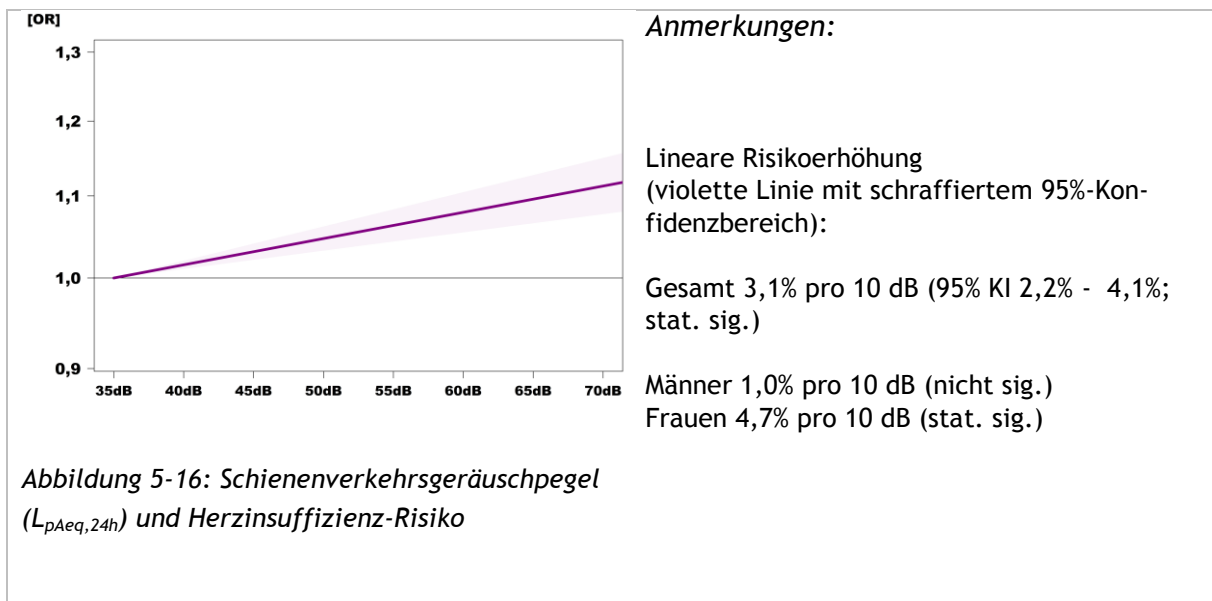
Lineare Risikoerhöhung
(violette Linie mit schraffiertem 95%-Konfidenzbereich):

Gesamt 1,8% pro 10 dB (95% KI 0,1% - 3,4%; stat. sig.)

Männer 1,5% pro 10 dB (nicht sig.)

Frauen 1,6% pro 10 dB (nicht sig.)

Abbildung 5-15: Schienenverkehrsgeräuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) und Schlaganfall-Risiko

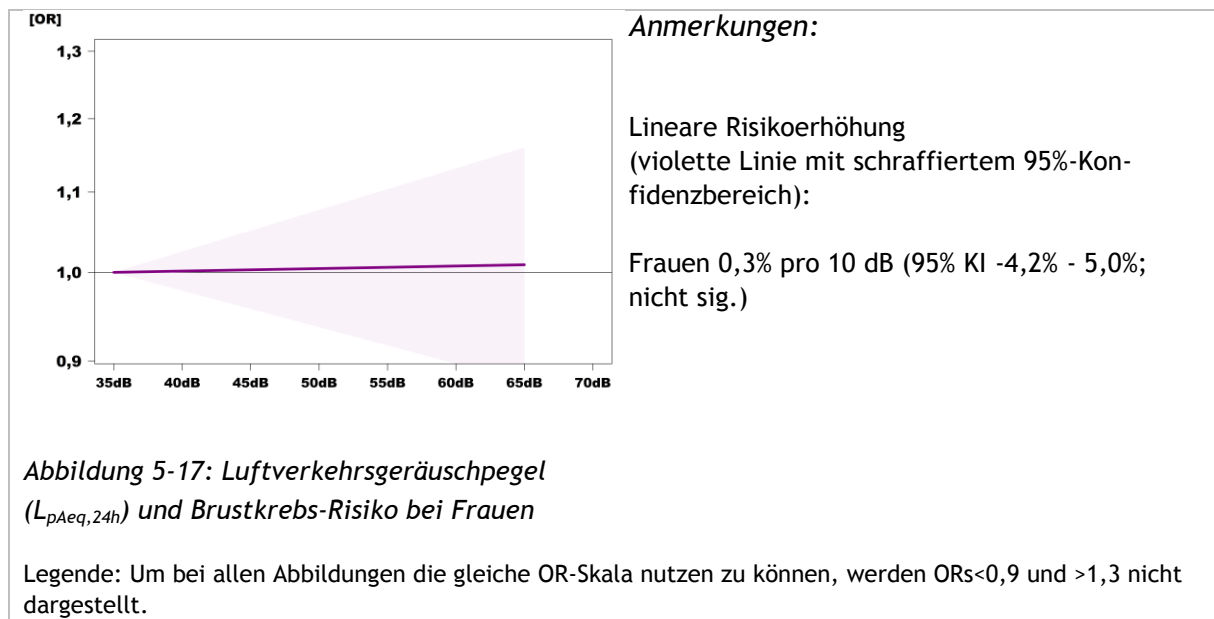


5.2.1.2 Berücksichtigung der nächtlichen Maximalpegel bei den Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken

Als ein wichtiges neues Ergebnis wies die NORAH-Fallkontrollstudie auf die Bedeutung hin, die der Berücksichtigung der nächtlichen Maximalpegel bei der Abschätzung der Herz-Kreislauf-bezogenen Luftverkehrsgeräusch-Wirkungen zukommt: Zum einen waren in der niedrigsten Schallpegelkategorie von <40 dB Personen enthalten, bei denen nächtliche Maximalpegel von >50 dB auftraten. Für diese Gruppe wurden in vielen Analysen erhöhte Risikoschätzer beobachtet. Ein Einschluss dieser Personen in die Referenzkategorie würde deshalb tendenziell zur Unterschätzung der Luftverkehrs-bezogenen Krankheitsrisiken führen. Zum anderen verweisen diese - beim Schlaganfall und bei der Herzinsuffizienz statistisch signifikant (vgl. Abbildung 5-9 und Abbildung 5-10) - erhöhten Risikoschätzer darauf, dass bei Luftverkehrs-Maximalpegeln über 50 dB auch dann bereits Fluglärm-bezogene Krankheitsrisiken bestehen können, wenn der Dauerschallpegel unter 40 dB liegt. Dieser Befund ist bevölkerungsbezogen relevant, bedarf aber zunächst einer wissenschaftlichen Absicherung in weiteren Studien.

5.2.1.3 Brustkrebs-Risiken

In der Fallkontrollstudie fand sich ein Zusammenhang zwischen nächtlichen Luftverkehrsgeräuschpegeln und der Diagnose einer Brustkrebs-Erkrankung; dieser Zusammenhang erreichte für die Zeit zwischen 23 und 5 Uhr („Mediationsnacht“) bei allerdings geringen Felderbelegungen statistische Signifikanz (Odds Ratio = 2,98 [95% KI 1,31-6,79]; Abbildung 5-17). Für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche war kein Zusammenhang mit dem Brustkrebs-Risiko erkennbar.



5.2.1.4 Depressions-Risiken

Schließlich ließ sich in der NORAH-Fallkontrollstudie ein Zusammenhang zwischen allen drei Verkehrsgeräuschquellenarten (Luft-, Straßen- und Schienenverkehr; Abb. 5-20 - 5-22) und der Diagnose einer Episode unipolarer Depression feststellen. Die Risikoerhöhung pro 10 dB Pegelanstieg war bei Luftverkehrsgeräuschen mit 8,9% (Abbildung 5-18) zwar höher als beim Straßenverkehr (4,1%; Abbildung 5-19) und beim Schienenverkehr (3,9%; Abbildung 5-20). Allerdings fanden sich bei höheren Luftverkehrspegeln ebenso wie bei höheren Schienenverkehrspegeln wieder sinkende Depressions-Risikoschätzer (im Sinne einer umgekehrten „U“-Form), und das lineare Modell bildet die Expositions-Risiko-Beziehung beim Luft- wie beim Schienenverkehr nicht adäquat ab.

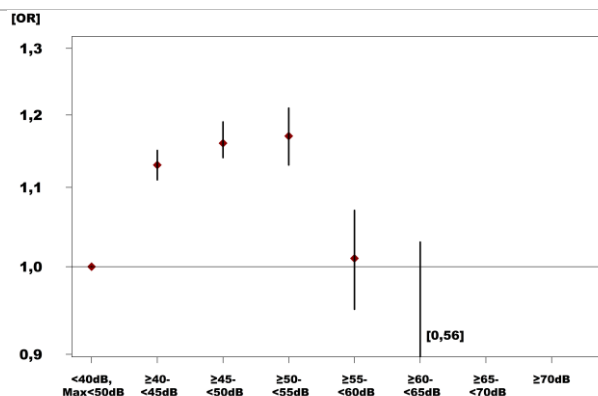


Abbildung 5-18: Luftverkehrsgeräuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) und Risiko für eine Episode unipolarer Depression

Anmerkungen:

Lineare (nicht optimal anpassende) Risikoerhöhung:

Gesamt 8,9% pro 10 dB (95% KI 7,4% - 10,4%; stat. sig.)

Männer 8,6% pro 10 dB (nicht sig.)

Frauen 9,2% pro 10 dB (stat. sig.)

In der nicht dargestellten Kategorie <40 dB, Maximalpegel ≥ 50 dB beträgt die OR 0,94 (95% KI 0,85-1,05)

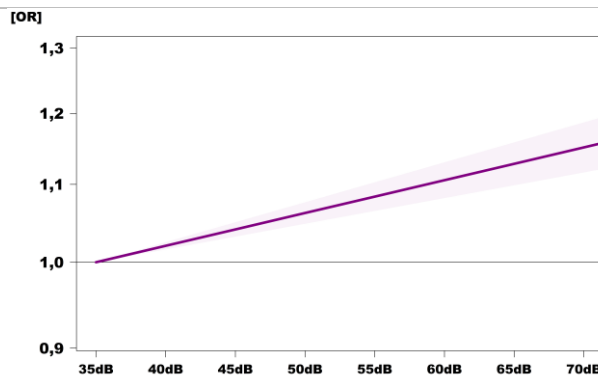


Abbildung 5-19: Straßenverkehrsgeräuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) und Risiko für eine Episode unipolarer Depression

Anmerkungen:

Lineare Risikoerhöhung (violette Linie mit schraffiertem 95%-Konfidenzbereich):

Gesamt 4,1% pro 10 dB (95% KI 3,2% - 5,0%; stat. sig.)

Männer 4,0% pro 10 dB (stat. sig.)

Frauen 4,0% pro 10 dB (stat. sig.)

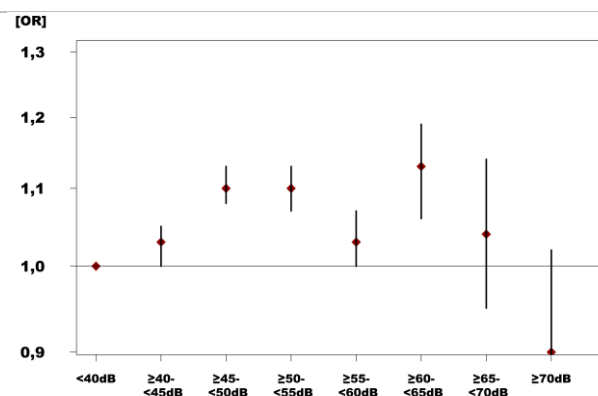


Abbildung 5-20: Schienenverkehrsgeräuschpegel ($L_{pAeq,24h}$) und Risiko für eine Episode unipolarer Depression

Anmerkungen:

Lineare (nicht optimal anpassende) Risikoerhöhung:

Gesamt 3,9% pro 10 dB (95% KI 2,9% - 4,9%; stat. sig.)

Männer 4,0% pro 10 dB (stat. sig.)

Frauen 3,9% pro 10 dB (stat. sig.)

5.2.1.5 *Ergebnisverzerrung durch unerkanntes oder residuelles Confounding? Ergebnisse der vertiefenden Befragung*

Um eine mögliche Ergebnisverzerrung durch nicht oder nur unvollständig in den Krankenkassendaten enthaltene Confounder beurteilen zu können, wurden 8.540 Versicherte mit einem ausführlichen Fragebogen u.a. nach ihrer Bildung, ihrem Beruf, Einkommen, Tabakkonsum, Größe und Gewicht, Alkoholkonsum, Nachtschichtarbeit, Arbeitslärm und körperlicher Aktivität gefragt. Natürlich konnten lediglich Versicherte, die zum Zeitpunkt des Anschreibens (bis zu 10 Jahre nach der inzidenten Diagnose) noch nicht verstorben waren, in die vertiefende Befragung einbezogen werden. Der Ausschluss der Verstorbenen führte beim Herzinfarkt und beim Schlaganfall - beides Erkrankungen mit einer vergleichsweise hohen Sterblichkeit - zu einer deutlichen Erhöhung der sekundärdatenbasierten Risikoschätzer, so dass von einer erheblichen Selektionsverzerrung bei Herzinfarkt und Schlaganfall ausgegangen werden musste. Diese Selektionsverzerrung wurde durch die geringe Antwortrate von durchschnittlich 6% und das damit offenbar verbundene differenzielle Antwortverhalten teilweise noch verstärkt. Bei der Herzinsuffizienz führte die Auswahl der nicht verstorbenen Versicherten aus dem Sekundärdatensatz hingegen nicht zu einer wesentlichen Veränderung der Risikoschätzer: Die sekundärdatenbasierten Herzinsuffizienz-Risikoschätzer für die Befragungsteilnehmer unterscheiden sich nicht wesentlich von den Herzinsuffizienz-Risikoschätzern der Gesamtgruppe. Daher ließ sich die vertiefende Befragung der Fälle mit Herzinsuffizienz (nicht hingegen der Fälle mit Herzinfarkt oder Schlaganfall) und der dazugehörigen Kontrollpersonen zur Beantwortung der Frage nach einer Verzerrung der sekundärdatenbasierten Ergebnisse durch unerkanntes oder residuelles Confounding nutzen - das war das primäre Ziel der vertiefenden Befragung. Im Ergebnis veränderten sich die allein auf den Sekundärdaten beruhenden Herzinsuffizienz-Risikoschätzer nicht substantiell, wenn zusätzlich für den individuellen Sozialstatus (abgebildet durch den Scheuch-Winkler-Index), Tabakkonsum, Body-Mass-Index, Alkoholkonsum, Nachtschichtarbeit, Arbeitslärm und körperliche Aktivität adjustiert wurde. Damit ist für die Ergebnisse zur Herzinsuffizienz nicht von einer substantiellen Verzerrung durch eine unzureichende Berücksichtigung des Sozialstatus und des Lebensstils auszugehen.

5.2.1.6 *Subanalyse der Versicherten mit vorliegenden Informationen zum Sozialstatus in den Krankenkassendaten*

Um auch eine mögliche Verzerrung der Ergebnisse für Herzinfarkt, Schlaganfall, depressive Episoden und Brustkrebs zu überprüfen, wurden in einer zusätzlichen Subgruppenanalyse nur diejenigen Versicherten in die sekundärdatenbasierte Auswertung eingeschlossen, für die individuelle Krankenkassen-Angaben zum Sozialstatus (Bildung, Beruf) vorlagen. Im Ergebnis lässt sich keine substantielle Veränderung der Risikoschätzer feststellen, so dass auch für die vorgenannten Krankheitsgruppen nicht von einer substantiellen Verzerrung durch eine unzureichende Berücksichtigung des Sozialstatus als möglichem Confounder auszugehen ist.

5.2.1.7 Bedeutung der Lärmhistorie: langjährig konstante Wohnadressen und „kumulative Lärmjahre“

Die aufwändige „Rekonstruktion“ historischer Lärmexpositionen für die Jahre 1996 bis 2010 erlaubte die Berücksichtigung einer langjährig „konstanten“ Wohnadresse ebenso wie die - in einer Verkehrslärm-Studie erstmalig möglichen - Berücksichtigung sogenannter „kumulativer Lärmjahre“. Zur Berechnung „kumulativer Lärmjahre“ wurde die Verkehrsgeräusch-bezogene Gesamt-Exposition über einen definierten Zeitraum gebildet. Im Ergebnis führte eine Einschränkung der Analyse auf Fälle mit einer langjährig „konstanten“ Wohnadresse in der Fallkontrollstudie bei mehreren Krankheitsbildern zu tendenziell höheren Risikoschätzern: Die Luftverkehrs-bezogenen Risikoschätzer für einen Schlaganfall in der höchsten Dauerschallpegel-Kategorie ≥ 60 dB erhöhten sich bei einer Wohndauer von mehr als 5 Jahren. Bei einer Wohndauer von mehr als 10 Jahren stiegen die Risikoschätzer weiter, erreichten aber (bei niedriger Felderbelegung) keine statistische Signifikanz. Die Analyse der kumulativen Lärmjahre in den letzten 5 Jahren vor dem Diagnosejahr bzw. (bei Kontrollpersonen) vor dem Jahr 2008 ergab kontinuierlich zunehmende Herzinsuffizienz-Risikoschätzer mit zunehmenden kumulativen Lärmjahren, die für das höchste Quartil der kumulativen Lärmjahre statistische Signifikanz erreichten. Beim Brustkrebs fand sich in der höchsten Dauerschallpegel-Stufe ≥ 60 dB eine deutliche Risikoerhöhung auf eine (statistisch nicht signifikante) Odds Ratio von 3,96 bei Frauen mit einer Wohndauer an der selbstberichteten Indexadresse von mehr als 5 Jahren. Für den Luft- und den Schienenverkehr waren demgegenüber die Ergebnisse bei Berücksichtigung der kumulativen Lärmjahre unauffällig. Schließlich fanden sich für die depressiven Episoden statistisch signifikante Risikoschätzer in den beiden höchsten Kategorien (3. und 4. Quartil) der Luftverkehrs-bezogenen Lärmjahre.

5.2.2 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse der NORAH-Fallkontrollstudie

Insgesamt weisen die Ergebnisse der sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie mit vertiefter Befragung auf einen Zusammenhang zwischen der Verkehrsgeräusch-Exposition und der Entstehung eines Herzinfarktes, eines Schlaganfalls, einer Herzinsuffizienz sowie einer depressiven Episode hin.

Für eine Brustkrebs-Erkrankung bei Frauen konnte überwiegend kein statistisch signifikanter Zusammenhang mit den Dauerschallpegeln der drei Verkehrsgeräuschquellen festgestellt werden. Nur bei Luftverkehrspegeln ab 55 dB in der Zeit zwischen 23 und 5 Uhr zeigte sich ein statistisch signifikant erhöhtes Brustkrebs-Risiko.

In Bezug auf den 10-dB-Pegelanstieg zeigten sich die höchsten mit Verkehrslärm verbundenen Erkrankungsrisiken für die Diagnose einer depressiven Episode - und zwar statistisch signifikant für alle drei Verkehrsgeräuschquellen. Hinsichtlich der Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist bemerkenswert, dass die Effekte des Straßen- und Schienenverkehrs auf Herzinfarkt, Schlaganfall und Herzinsuffizienz deutlicher waren als die des Fluglärms. Bei Stra-

ßenverkehrsgeräuschen zeigten sich die höchsten (statistisch signifikanten) Risiko-Anstiege pro 10 dB Pegelanstieg bei depressiven Episoden (4,1%), Herzinfarkt (2,8%), Herzinsuffizienz (2,4%) und Schlaganfall (1,7%). Bei Schienenverkehrsgeräuschen betrugen die höchsten Risiko-Anstiege pro 10 dB Pegelanstieg für depressive Episoden 3,9% (allerdings durch ein lineares Modell nicht adäquat abgebildet), Herzinsuffizienz 3,1% und Schlaganfall 1,8%. Bei Luftverkehrsgeräuschen waren die höchsten Risiko-Anstiege pro 10 dB Pegelanstieg bei depressiven Episoden (8,9%; (allerdings durch ein lineares Modell nicht adäquat abgebildet) und Herzinsuffizienz (1,6%) zu finden.

Im **Vergleich aktueller Reviews** von Babisch (2014) und Vienneau et al. (2015) zu Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken mit den NORAH-Ergebnissen weisen Letztere etwas geringere Verkehrsgeräusch-bezogene Risikoschätzer auf: Im Ergebnis der gepoolten Analyse findet Babisch (2014) einen Risikoanstieg von 8% pro 10 dB Zunahme des Straßenverkehrsgeräuschpegels. Vienneau et al. (2015) finden einen Risikoanstieg von 4% pro 10 dB Erhöhung des Straßenverkehrsgeräuschpegels (L_{den}). Pro 10 dB Zunahme des Luftverkehrspegels (L_{den}) finden Vienneau et al. einen Risikoanstieg von 6%. Demgegenüber liegt in der NORAH-Fallkontrollstudie der Risikoanstieg pro 10 dB für alle Verkehrsgeräuschquellen bei allen untersuchten Herz-Kreislauf-Erkrankungen unterhalb von 4%. Unsere Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und depressiven Störungen stehen grundsätzlich im Einklang mit der bisherigen Erkenntnislage.

Analog zu früheren Untersuchungen (z. B. Huss et al., 2010; Floud et al., 2013) weisen die NORAH-Ergebnisse auf die Bedeutung einer Berücksichtigung der **Zeitdauer der Lärmexposition** hin. Dabei stellt die Berechnung der „kumulativen Lärmjahre“ einen erfolgversprechenden Ansatz dar, der bisher in der Verkehrslärm-Forschung noch keine Anwendung fand. Allerdings sind die vorgenannten Risikoerhöhungen generell zurückhaltend zu interpretieren, da nicht sicher zwischen einem „echten“ Effekt einer mehrjährigen Verkehrslärm-Exposition und einem Selektionseffekt (z.B. Fortzug lärmempfindlicher Personen) unterschieden werden kann.

Ein erheblicher Aufwand wurde in der NORAH-Studie zur Überprüfung eines **unerkannten oder unvollständig berücksichtigten Confoundings** betrieben: 8.540 in die sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie eingeschlossene Versicherte nahmen an einer vertiefenden Befragung teil. Für die mit Abstand größte Fallgruppe der Herzinsuffizienz ließen sich unter diesen Teilnehmenden die Risikoschätzer der (allein) sekundärdatenbasierten Analyse gut reproduzieren. Eine wesentliche Verzerrung der sekundärdatenbasierten Herzinsuffizienz-Risikoschätzer durch den Sozialstatus oder durch Lebensstil-bezogene Faktoren konnte auf der Grundlage der vertiefenden Befragung ausgeschlossen werden.

Eine Besonderheit der NORAH-Fallkontrollstudie sind sog. **Emergenz-Analysen**: Hier wurden die einzelnen Klassen der 24-Stunden-Dauerschalldruckpegel entsprechend ihrer Differenz zum höchsten Maximalpegel innerhalb der 24 Stunden zweigeteilt: <20 dB Differenz und ≥20 dB Differenz. Der Einfluss dieser Emergenz wurde für alle drei Verkehrsarten untersucht. Dabei stellten sich v.a. deutlich höhere Risikoschätzer für den Zusammenhang zwischen Schienenverkehrsgeräuschpegeln und Herzinfarkt in den höheren Pegelklassen

heraus, während der Beitrag der Emergenz bei anderen Verkehrsarten und anderen Erkrankungen nicht einheitlich war. **Dennoch weisen die Ergebnisse in der Tendenz auf die Bedeutung des Maximalpegels für das Gesundheitsrisiko durch Luft- und Schienenverkehrsgeräuschpegel hin.**

Besondere Beachtung verdient der Umstand, dass die höchsten Risiko-Anstiege pro 10 dB Pegelanstieg bei allen Verkehrsgeräusch-Quellen hinsichtlich Episoden einer unipolaren Depression gefunden wurden. Das kann nicht damit begründet werden, dass depressive Episoden statistisch häufiger vorkommen als andere Krankheiten (für Deutschland insgesamt ca 8%, bei Frauen 10%, vgl. RKI 2013) und teilweise in dem Ruf stehen, ein Krankheits-Label für sonst kaum konkret zu beschreibende Beschwerden zu sein. Da es sich bei der NORAH-Fallkontrollstudie um spezifische Zusammenhänge zur adressgenau berechneten akustischen Belastung handelt, kann der Anstieg der depressiven Episoden auch ein Ausdruck dafür sein, dass Lärmbetroffene mit zunehmender Belastung erkennen, dass sich das Problem nicht verringert und sie kaum etwas Wirksames dagegen unternehmen können (Kontrollverlust). Diese Vermutung wird gestützt durch einen Befund aus dem Teilprojekt "Belästigung und Lebensqualität" zum Summenscore der psychischen Lebensqualität, der auch emotionale, depressive Tendenzen erfasst. Bei Zunahme der Geräuschbelastung nach Eröffnung der Landebahn Nordwest am Flughafen Frankfurt stieg der (negative) Zusammenhang zwischen Luftverkehrsgeräuschpegel und psychischer Lebensqualität - das ist eine Variable, die auch depressive Tendenzen reflektiert. Möglicherweise wird - insbesondere bei erlebter Zunahme der Geräuschbelastung - ein Kontrollverlust und dabei der Lärm als psychisch Lebensqualitäts-mindernd wahrgenommen. Da im Teilprojekt "Belästigung und Lebensqualität" die vermittelnde Rolle der Lärmbelastung deutlich wurde, sollte auch für die Episoden einer unipolaren Depression untersucht werden, welcher statistische Zusammenhang mit der Lärmbelastung besteht.

Generelle Bewertung der Effektstärke: In Übereinstimmung mit der wissenschaftlichen Literatur ist festzuhalten, dass die in der Fallkontrollstudie gefundenen Verkehrsgeräusch-bezogenen Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken deutlich niedriger liegen als die Risiken für „bekannte“ Einflussfaktoren wie Tabakkonsum oder Übergewicht. Allerdings ist ein großer Anteil der Bevölkerung Verkehrsgeräuschpegeln ausgesetzt, die der NORAH-Fallkontrollstudie zufolge mit - wenn auch geringen - Risikoerhöhungen für Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie auch für depressive Episoden einhergehen. Aufgrund der bevölkerungsbezogenen Häufigkeit der Verkehrsgeräusch-Expositionen ebenso wie der untersuchten Erkrankungen kommt selbst geringen Risikoerhöhungen eine bevölkerungsbezogene Bedeutung zu.

5.3 Blutdruckmonitoring

Zunächst wurde geprüft, wieweit sich die Ausgangsstichproben Teilstichprobe 1 (TS!), Teilstichprobe 2 (TS“) und Zusatzstichprobe (ZS) hinsichtlich demografischer Merkmale, der

Blutdruckmesswerte, dem Gesundheitsverhalten sowie der Prävalenz von ausgewählten Erkrankungen voneinander unterscheiden. Dabei zeigten sich große Abweichungen zwischen den Stichproben (insbesondere zwischen TS1 und TS2) u.a. hinsichtlich des Anteils an Frauen, des Alters, des Scheuch-Winkler-Index, des Anteils von Hypertonikern und der mittleren systolischen und diastolischen Blutdruckwerte. Deshalb wurde entschieden, die drei Stichproben nicht gepoolt auszuwerten, sondern die Hauptanalysen auf TS1 des Ursprungsdesigns (N = 844 mit 493 Frauen und 351 Männern) zu beschränken und mit den anderen Stichproben nur Sensitivitätsanalysen durchführen.

Das Alter der Teilnehmenden lag in der Stichprobe TS1 zwischen 19 und 82 Jahren (Median = 49 Jahre), der mittlere systolische Blutdruck (morgens) zwischen 91 und 157 mmHg (Median = 116 mmHg), der mittlere diastolische Blutdruck (morgens) zwischen 48 und 102 mmHg (Median = 72 mmHg).

Die statistischen Modelle zur Analyse des Zusammenhangs zwischen Verkehrsgeräuschpegeln und den Zielgrößen mittlerer systolischer Blutdruckmesswert, mittlerer diastolischer Blutdruckmesswert, Herzfrequenz, Blutdruckamplitude, Hypertonie und 10-Jahres-Herzinfarktrisiko (PROCAM-Score) wurden in der Stichprobe TS1 für die a priori festgelegten Variablen Alter, Geschlecht und Scheuch-Winkler-Index sowie für die Rauchdosis und die körperliche Aktivität adjustiert.

Im Ergebnis dieser Analysen ergab sich bei keiner dieser Zielgrößen ein statistisch signifikanter Zusammenhang zum **Luftverkehrsgeräuschpegel** $L_{pAeq,18-06h}$. Zwar zeigten sich leichte Erhöhungen der systolischen und diastolischen Blutdruckwerte mit zunehmendem Geräuschpegel (0,9 bzw. 0,7 mmHg bei 10 dB Pegelzunahme), jedoch waren diese Erhöhungen so gering, dass sie den Bereich unvermeidbarer messtechnischer Schwankungen (± 5 mmHg) kaum verlassen. Die nach Alter stratifizierten Zusatzanalysen gaben Hinweise darauf, dass ältere Personen in ihren Blutdruckwerten stärker auf Luftverkehrsgeräusche reagieren als jüngere. Weitere Zusatzanalysen gaben Hinweise darauf, dass Personen mit mittlerer Lärmempfindlichkeit in ihren Blutdruckwerten stärker auf Luftverkehrsgeräusche reagieren als Personen mit höherer oder geringerer Lärmempfindlichkeit, und dass Hypertoniker im mittleren diastolischen Blutdruck etwas stärker auf Luftverkehrsgeräusche reagieren als Nicht-Hypertoniker.

Die Zusammenhänge zwischen dem **Straßenverkehrsgeräuschpegel** $L_{pAeq,18-06h}$ und den Blutdruck-Zielgrößen waren ebenfalls nicht statistisch signifikant. Die nach Alter stratifizierte Analyse gab Hinweise darauf, dass ältere Personen stärker auf Straßenverkehrsgeräusche reagieren. Die stärksten Zusammenhänge wurden für die Endpunkte systolischer Blutdruck, diastolischer Blutdruck und Herzfrequenz bei den Teilnehmern über 64 Jahre ermittelt. Die nach Lärmempfindlichkeit stratifizierte Analyse zeigte, dass Personen mit einer hohen Lärmempfindlichkeit stärker auf die Exposition Straßenverkehrsgeräusche reagieren. In dieser Gruppe wurden höhere Effektschätzer für beim systolischen und diastolischen Blutdruck, der Herzfrequenz und der Blutdruckamplitude ermittelt. Bei den Personen mit einer niedrigen oder mittleren Lärmempfindlichkeit waren die Zusammenhänge überwiegend negativ.

Die Zusammenhänge zwischen dem **Schienenverkehrsgeräuschpegel** $L_{pAeq,18-06h}$ und den Blutdruck-Zielgrößen waren ebenfalls statistisch nicht signifikant. Der größte Effekt zeigte sich beim systolischen Blutdruck mit 0,8 mm HG pro 10 dB Pegelzunahme. Außerdem zeigte sich ein signifikanter Anstieg der Herzfrequenz bei Personen mit großer Lärmempfindlichkeit. Die stratifizierte Analyse nach der Wohndauer ergab Hinweise, dass Teilnehmer, die weniger als 14 Jahre am selben Wohnort leben, stärker auf Schienenverkehrsgeräusche im systolischen und diastolischen Blutdruck reagieren, als Personen mit längerer Wohndauer.

Insgesamt sind die Ergebnisse des Blutdruckmonitorings - geringe positive Effektschätzer ohne statistische Signifikanz - mit dem Stand eines Großteils der bisherigen Forschung insbesondere im Bezug auf Luftverkehrsgeräusche (vgl. u.a. Huang et al., 2015) und Schienenverkehrsgeräusche (vgl. Dratva et al., 2012) vergleichbar. Signifikante Zusammenhänge zwischen Luftverkehrsgeräuschen und Hypertonie wie in der HYENA-Studie (Jarup et al., 2008) wurden in NORAH nicht gefunden. Ein direkter, quantitativer Vergleich zwischen den beiden Studien ist aufgrund der methodischen Unterschiede nur eingeschränkt möglich.

5.4 Schlafstudie

Die Wahrscheinlichkeit, durch ein Umweltgeräusch aufzuwachen, ist stark abhängig vom Maximalpegel dieses Geräusches. Der Effekt des Maximalpegels hängt jedoch auch vom aktuellen Hintergrundpegel ab. In der Schlafstudie des NORAH-Projekts wurden akute Luftverkehrsgeräusch-Maximalpegel und Hintergrundpegel am Ohr der Schlafenden gemessen, und es zeigte sich eine Odds Ratio von 1,23 für einen 10 dB Anstieg des Maximalpegels - bei einem mittleren Hintergrundpegel von 28,8 dB (Median der Minutenpegel unmittelbar vor dem Überflug in den Schlaf-Stichproben 2011 und 2012). Dies bedeutet, dass bei einem Hintergrundpegel von 28,8 dB die Odds des Aufwachens bei jedem Anstieg im Maximalpegel des Luftverkehrsereignisses von 10 dB um 23% stiegen. In den Jahren 2011 und 2012 zeigten sich vergleichbare Aufwachwahrscheinlichkeiten.

Es zeigte sich weiterhin, dass die Einführung der Kernruhezeit (23-05 Uhr) im Herbst 2011 am Flughafen Frankfurt unterschiedliche Auswirkungen auf die Schlafqualität der Untersuchungsteilnehmerinnen und -teilnehmer hatte. In den Schlafmessungen 2011 und 2012 vor und nach Einführung der Kernruhezeit im Oktober 2011 haben sich für die Gesamtschlafzeit, die Einschlafzeit, die Schlaffeffizienz, die Wachzeit nach dem Einschlafen und den prozentualen Wachanteil ab 4.30 Uhr keine statistisch signifikanten Änderungen ergeben. Wird die gesamte Schlafzeit betrachtet, so kam es wegen der Verringerung der Anzahl von Flugbewegungen zu einer geringeren Anzahl von nächtlichen Luftverkehrs-assozierten Aufwachreaktionen im Vergleich zur Basiserhebung 2011. Diese „objektive“ summarisch betrachtete Verbesserung der Schlafqualität schlug sich jedoch nicht in den Bewertungen der Teilnehmenden hinsichtlich ihrer eigenen Müdigkeit und Schläfrigkeit am Tage nieder -

diese Werte stiegen eher von 2011 bis 2013. Dies stimmt mit den Ergebnissen der Belästigungs- und Lebensqualitätsstudie überein, wonach sich nach Mittelung der berichteten Einschlaf-, Durchschlaf- und Ausschlafstörungen insgesamt eine Reduktion der berichteten Schlafstörungen ergibt.

Andererseits zeigen Ergebnisse zu den berichteten längerfristigen, auf 12 zurückliegende Monate bezogenen, Störungen beim Einschlafen und beim Ausschlafen im Teilprojekt „Belästigung und Lebensqualität“, dass Betroffene im Jahr 2012 stärker über Störungen beim Ausschlafen berichteten. Die durch die Kernruhezeit bedingte Entlastung in der Durchschlafphase zeigt sich demnach in beiden Teilstudien, die fehlende Entlastung in den Morgenstunden eher auf längerfristig-psychologischer Ebene, nicht auf physiologisch-akuter Ebene. Diese beiden Ebenen können nicht direkt miteinander verglichen werden, da sie sich auf unterschiedliche Zeiträume (integriert über 12 Monate vs. akut in wenigen Nächten) und unterschiedliche Reaktionsbereiche (verbal vs. physiologisch) beziehen.

Bemerkenswert erscheint weiterhin, dass diejenigen Teilnehmenden, die eine **negative Einstellung zum Flugverkehr** hatten, eine statistisch signifikant verlängerte Einschlaf latenz hatten. Sie verbrachten statistisch signifikant mehr Zeit im Wachen in der Zeitspanne vom Einschlafen bis zum Aufstehen, und ihre Schlaffeffizienz war signifikant geringer. Teilnehmende mit einer negativen Einstellung zum Flugverkehr und einer geringen bis mittleren Bewertung der Notwendigkeit des Flugverkehrs verbrachten statistisch signifikant weniger Zeit im Tiefschlaf. Wenn es eine Kausalitätsbeziehung in diesem Zusammenhang geben sollte, ob also der gestörtere Schlaf eine negative Einstellung nach sich zieht oder umgekehrt, konnte in dieser Untersuchung nicht aufgeklärt werden. Ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezogen auf die Aufwachhäufigkeit war nicht feststellbar.

Beim Vergleich der schlafbezogenen Ergebnisse zwischen den Flughäfen Köln/Bonn und Frankfurt stellte sich heraus, dass eine Reihe von Schlafqualitäts-Parametern am Köln/Bonner Flughafen unterhalb denen des Frankfurter Flughafens liegen. Die Schlaffeffizienz, Gesamtschlafzeit und Tiefschlafzeit pro Gesamtschlafzeit waren im Köln/Bonner Datensatz (aus den Jahren 2001/2002) statistisch signifikant verringert, die Einschlaf latenz und die Schlaf fragmentierung waren statistisch signifikant erhöht gegenüber NORAH 2012. Die Wahrscheinlichkeit, bei einem Überflugeräusch bei gleichem Maximalpegel zu erwachen, war im Köln/Bonner Datensatz höher als in NORAH 2012 - z.B. bei 45 dB(A) Maximalpegel um 5,0% höher. Mögliche Gründe für diese Unterschiede können im höheren nächtlichen Verkehrsaufkommen, in der Bündelung der Flüge in den Zeiten 23-1 Uhr und 3.30 - 5 Uhr und im höheren Anteil von altem Fluggerät (Frachtmaschinen) in der älteren Studie am Köln/Bonner Flughafen liegen. Es ist aber auch nicht auszuschließen, dass ein Teil der Differenzen auf unterschiedliche Probandenkollektive, Zubettgehzeiten oder Auswerter zwischen den beiden Studien zurückzuführen ist.

Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Expositions-Wirkungsbeziehung, die 2001/2002 am Flughafen Köln/Bonn erhoben wurde, unter Berücksichtigung der oben gemachten Einschränkungen in der Interpretation der Daten nicht sicher auf den Flughafen Frankfurt mit Kernruhezeit übertragen werden kann.

Sowohl in 2011 als auch 2012 traten vegetativ-motorische Reaktionen bei gleichem Maximalpegel mit höherer Wahrscheinlichkeit auf als im EEG gemessene Aufwachreaktionen. Vegetativ-motorische Reaktionen scheinen daher ein anderes, empfindlicheres Maß für lärminduzierte Störungen zu sein, deren Betrachtung für das Verständnis längerfristiger gesundheitlicher Folgen zukünftig von Bedeutung sein könnte.

5.5 Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern

Als Hauptergebnis zeigten sich statistisch signifikante beeinträchtigende Effekte der Luftverkehrs-Geräuschpegel auf den Leseerwerb in einer linearen Expositions-Wirkungs-Kurve. Die Zunahme des Geräuschpegels um 10 dB geht mit einer Verringerung der Leseleistung um einen T-Wertpunkt (d. h. 1/10 der Standardabweichung) einher (Abbildung 5-21). Dies entspricht einer Verzögerung in der Leseentwicklung um einen Monat. Der Unterschied der Leseleistung zwischen den am höchsten und den am geringsten durch Luftverkehrsgeräusche belasteten Kinder im Untersuchungsgebiet entspricht einer Verzögerung von zwei Monaten. Dieser Effekt ist etwas kleiner als andere Faktoren, die Einfluss auf das Lesenlernen haben. Zum Beispiel waren Kinder, die viele Bücher besitzen, den Kindern ohne eigene Bücher im Textlesen um vier Monate voraus. Allerdings lassen sich die untersuchten Faktoren nicht direkt vergleichen, weil sie für die Betroffenen eine sehr unterschiedliche Bedeutung haben: Das Ausmaß an Leseförderung im Haushalt können sie in gewissem Maße beeinflussen, die Luftverkehrsgeräusche aber nicht.

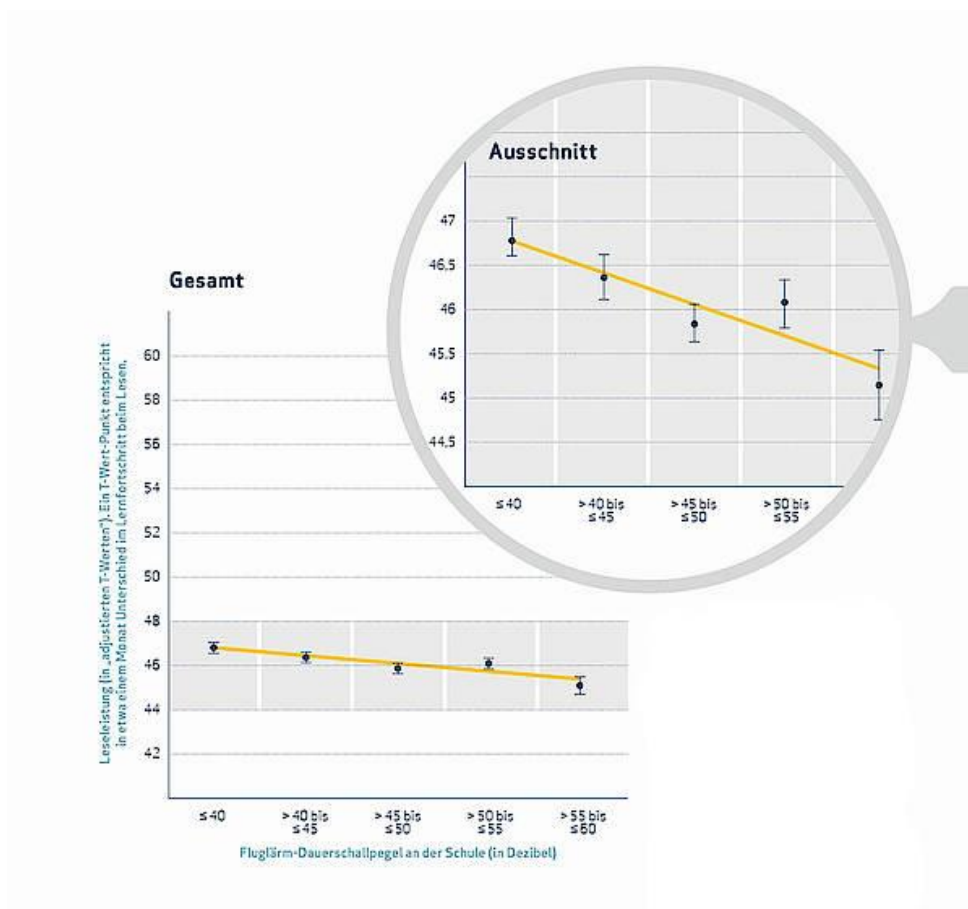


Abbildung 5-21: Zusammenhang zwischen luftverkehrsbedingtem Dauerschallpegel ($L_{pAeq,08-14h}$) und Gesamt-Leseleistung.

Weitere wichtige Ergebnisse:

- Beeinträchtigende Effekte der Luftverkehrs-Geräuschpegel auf die für das Lesenlernen wichtigen lautsprachlichen Fähigkeiten (Kurz- und Langzeitgedächtnis, Phonologische Bewusstheit, Sprachwahrnehmung) konnten nicht festgestellt werden.
- Obwohl die Beurteilungen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität der Kinder insgesamt positiv ausfielen, zeigten sich signifikante negative Effekte der Luftverkehrs-Geräuschpegel auf die Beurteilungen (körperliches und psychisches Wohlbefinden der Kinder nach Elternbeurteilung, körperliches Wohlbefinden und Schlafqualität nach Kinderbeurteilung).
- Während die Beurteilungen des schulbezogenen Wohlbefindens durch die Kinder insgesamt positiv ausfielen, ließ sich ein statistisch signifikanter negativer Effekt der Luftverkehrs-Geräuschpegel auf die Beurteilungen nachweisen.
- Die Lehrerbefragung zeigte eine erhebliche Belastung des Unterrichts durch Luftverkehrsgeräusche in den vergleichsweise hoch belasteten Schulen ($L_{pAeq,08-14h}$: 55 bis 59 dB) auf. Die Lehrkräfte aus diesen Schulen beurteilten die Belastung des Unterrichts durch die Luftverkehrsgeräusche übereinstimmend als hoch bis sehr hoch. Die Beurteilungen korrelierten hoch mit den Luftverkehrs-Geräuschpegeln an

den Schulen ($r = 0.85$). Die Unterrichtsbelastung in den hoch belasteten Schulen resultiert u.a. aus häufigen Unterbrechungen des Unterrichtsgesprächs und merklichen Ablenkungen der Kinder bei Überflügen. Zudem wurde von der Mehrzahl der Lehrkräfte aus diesen Schulen berichtet, dass der Fluglärm in den Klassen auch bei geschlossenen Fenstern oft bis sehr oft hörbar sei.

Bemerkenswert ist, dass das Hauptergebnis der NORAH-Kinderstudie, die Verschlechterung der Leseleistung mit zunehmender Luftverkehrs-Geräuschbelastung, gut mit Ergebnissen der internationalen wissenschaftlichen Literatur übereinstimmt, obwohl einige Randbedingungen unterschiedlich waren: In der RANCH-Studie (Stansfeld et al., 2005; Clark et al., 2012) waren die Kinder im Durchschnitt zwei Jahre älter als die Kinder in der NORAH-Untersuchung, die luftverkehrsbedingte Geräuschbelastung war bis zu 18 dB höher als in der NORAH-Studie, und die eingesetzten Tests sind wegen des Altersunterschieds der Kinder zwangsläufig nicht ganz vergleichbar. Dennoch zeigten sich vergleichbar große Effekte auf die Leseleistung (1/10 Standardabweichung pro 10 dB Zunahme der Geräuschbelastung) in beiden Untersuchungen.

6 Generalisierbarkeit der Aussagen

6.1 Für wen gelten die NORAH-Aussagen?

Wie im Kapitel 4.3 bereits berichtet, hat das NORAH-Team überwiegend Untersuchungen in der Wohnbevölkerung rings um den Flughafen Frankfurt durchgeführt, teils auch rings um die Flughäfen Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin/Schönefeld. Es hat dabei „nur“ Stichproben gezogen und erhebt dennoch den Anspruch, Aussagen zu treffen, die auch für viele Personen gelten, die nicht in den Stichproben enthalten waren.

Wie weit dieser Anspruch gerechtfertigt ist, hängt von mehreren Faktoren ab:

1. von der jeweiligen Populations-Definition, d. h. der Bevölkerungsgruppe, die in der jeweiligen Stichprobe repräsentiert werden sollte,
2. der Qualität der Stichprobe, d. h. dem Erfolg beim Versuch, die betreffende Population zu repräsentieren. Dieser Erfolg ist u.a. abhängig von der Bereitschaft der Bevölkerung, an Studien teilzunehmen,
3. der internen Validität der Untersuchungsergebnisse, d.h. der Gültigkeit für diejenige Stichprobe, in der die Daten erhoben wurden,
4. davon, wieweit es gelingt, solche Eigenschaften der Stichprobe statistisch zu kontrollieren, die einen verzerrenden Einfluss auf die Ergebnisse haben können, und
5. von der externen Validität, d. h. Ähnlichkeiten und Unterschieden zwischen den untersuchten Stichproben und den Populationen, auf die bestimmte Stichproben-Ergebnisse übertragen oder extrapoliert werden sollen.

Die einzelnen NORAH-Teilstudien bezogen sich auf unterschiedliche Populationen: Beispielsweise hatte die NORAH-Kinderstudie das Ziel, Kinder in der 2. Schulklasse zu untersuchen, die mehr oder weniger starken Luftverkehrsgeräuschen vom Flughafen Frankfurt/Main ausgesetzt waren, aber wenig Straßen- oder Schienenverkehrsgeräuschen. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Schlafstudie wurden speziell unter dem Gesichtspunkt der nächtlichen Luftverkehrsgeräusch-Belastung am Frankfurter Flughafen ausgesucht und sollten möglichst keiner anderen Verkehrsgeräusch-Quelle ausgesetzt sein. Das Modul „Belästigung und Lebensqualität“ hatte je nach Teilstudie unterschiedliche Populationsziele; primäres Ziel in der Panelstudie war die möglichst gleichmäßige Abbildung der Varianz der luftverkehrsbedingten Geräuschbelastung in der erwachsenen Wohnbevölkerung. Das Blutdruckmonitoring wählte überwiegend Personen aus der Basisbefragung der Panelstichprobe des Moduls „Belästigung und Lebensqualität“. Dagegen hatte die sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie das Ziel, bevölkerungsbezogene Aussagen zu Erkrankungsrisiken für Personen zu machen, die im Rhein/Main-Gebiet (Regierungsbezirke Darmstadt und Rheinhessen) wohnen und über 40 Jahre alt sind. Nur in diesem Fall spielte die akustische Belastung durch Luft- oder andere Verkehrsgeräusche keine Rolle bei der Definition der Population.

Wenn wir davon ausgehen, dass Stichproben-Qualität und interne Validität gesichert und mögliche Verzerrungen der NORAH-Teilstudien und -Untersuchungsergebnisse kontrolliert sind, können wir fragen, wieweit die NORAH-Ergebnisse nicht nur für die untersuchte Stichprobe gelten, sondern auch für breitere Personenkreise. Die Antwort wird je nach Enge der Stichproben-Definition sowie der Fragestellung der Untersuchung unterschiedlich ausfallen.

Wir sehen v.a. zwei Grenzen für die Extrapolation der NORAH-Ergebnisse:

1. Die luftverkehrsbezogenen Ergebnisse wurden überwiegend am Flughafen Frankfurt erhoben. Dieser Flughafen hat erstens im Oktober 2011 eine wesentliche betriebliche Änderung vollzogen, und zweitens hat er mehr Flugbewegungen als jeder andere deutsche Flughafen, wobei diese Flugbewegungen seit November 2011 auf die Zeit zwischen 05 und 23 Uhr begrenzt sind. Ob die NORAH-Aussagen beispielsweise für den Flughafen Köln/Bonn mit seinen geringeren Flugbewegungen und seinem hohen Nachtflug-Aufkommen gelten, muss von Fall zu Fall geprüft werden. Andererseits bietet das Modul „Belästigung und Lebensqualität“ mit Hilfe der Befragungen an Vergleichsflughäfen eine Möglichkeit, Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen vier verschiedenen Flughäfen zu untersuchen. Auch die Schlafstudie hat durch Rückgriff auf frühere Untersuchungen die Möglichkeit, Vergleiche zwischen den Flughäfen Frankfurt und Köln/Bonn anzustellen.
2. Die NORAH-Auswertungen bezogen sich überwiegend auf die derzeit gebräuchlichen energieäquivalenten Dauerschallpegel als Beschreibung der akustischen Belastung, teils wurden auch Maximalpegel, Anzahl von Geräuschereignissen (NAT-Werte) und die Emergenz (hier definiert als Differenz zwischen Maximal- und Dauerschallpegel) einbezogen. Energieäquivalente Dauerschallpegel sind zwar die international am häufigsten genutzten akustischen Variablen zur Beschreibung der akustischen Belastung, jedoch ist jeweils zu prüfen, ob ein bestimmter Dauerschallpegel X (z.B. 50 dB $L_{pAeq,24h}$) bei unterschiedlicher Verteilung von Maximalpegeln und/oder Ereignishäufigkeiten als wirkungsbezogen vergleichbar anzusehen ist.

6.2 Welchen Einfluss haben Response-Raten auf die NORAH-Ergebnisse?

Mehrere Teilstudien des NORAH-Forschungsverbunds haben eine relativ geringe Response-Rate (die niedrigsten berichteten Raten liegen bei 5 - 7%), und die Gewinnung von teilnehmenden Personen oder Einrichtungen (z. B. Krankenkassen) erwies sich von Beginn an als aufwendig und schwierig. Die erreichten niedrigen Response-Raten sind heute nicht ungewöhnlich - auch Miller et al. (2014) berichten von 12,1% bzw. 35,1% Response-Rate bei einer telefonischen bzw. schriftlichen Befragung an drei US-amerikanischen Flughäfen. Hinsichtlich der **Bedeutung** der Response-Rate hat sich in der wissenschaftlichen Literatur

inzwischen die Erkenntnis durchgesetzt, dass unterschiedliche Non-Response-Gründe unterschiedlich zu bewerten sind (z.B. Nichtkontakt, Verweigerung, Unvermögen, andere Ausfälle), wobei die Verweigerung in vielen Untersuchungs-Designs nicht immer vom Nichtkontakt getrennt werden kann (vgl. Faulbaum, 2014). Verweigerungen sollten nach Möglichkeit hinsichtlich der Gefahr des „selection bias“ untersucht werden, weil das die größte Gefahr ist, die niedrige Response-Raten mit sich bringen (s.u.).

Die Frage, wie hoch die Response-Rate sein muss (bzw. Non-Response-Rate sein darf), um valide Aussagen zu ermöglichen, lässt sich weder pauschal noch exakt beantworten. Die Antwort hängt v.a. von der Fragestellung und dem Untersuchungsdesign ab. Weiterhin ist festzustellen, dass Response-Raten an sich keine entscheidenden Parameter der Untersuchungsqualität sind, solange eine Zufallstichprobe gezogen wurde und die absolute Zahl der Untersuchten ausreicht, um erstens die spezifischen Forschungsfragen zu beantworten, und zweitens genügend demografische Daten vorliegen, um mögliche Verzerrungen der Stichprobe gegenüber der angestrebten Population zumindest im Nachhinein statistisch zu kontrollieren (vgl. Curtin et al., 2000). Das entscheidende Problem, das mit niedrigen Response-Raten verbunden sein kann, sind Selektions-Verzerrungen, d. h. Verzerrungen, die dadurch entstehen, dass die Daten-Ausfälle mit dem Inhalt der Untersuchung verbunden sind. Wenn beispielsweise gerade jene Personen nicht an einer Lärm-Untersuchung teilnehmen, die sich nicht durch Lärm betroffen fühlen, würde dies zu einer Verzerrung der Aussage der Lärm-Wirkungen führen.

6.3 Welchen Einfluss haben Teilnahme-Verweigerungen auf die NORAH-Ergebnisse?

Liegen Hinweise auf hohe Teilnahme-Verweigerungen vor, muss geprüft werden, ob eine selektive Verzerrung der Stichprobe vorliegt (vgl. Groves et al., 2004). Im Fall einer Untersuchung zu Auswirkungen von Umweltgeräuschen ist denkbar, dass eher solche Personen die Teilnahme verweigern, die relativ geringen akustischen Belastungen ausgesetzt sind und deshalb das Thema „Lärm“ für nicht hinreichend wichtig halten, um den Aufwand der Teilnahme zu rechtfertigen.

Beugelmans et al. (2004) gingen einem solchen Verdacht durch eine spezielle Nonresponder-Analyse nach: Als 2002 eine teils schriftliche, teils telefonische Befragung bei Anwohnerinnen und Anwohnern des Amsterdamer Flughafens Schiphol durchgeführt wurde, beteiligten sich 46% der angeschriebenen Personen. (Das ist eine für heutige Verhältnisse höhere Response-Rate; sie erschien den Auftraggebern aber damals suspekt). Insgesamt zeigte sich eine Zunahme der Responserate mit zunehmender Geräuschbelastung. Weiterhin wurde eine (überwiegend telefonische) Befragung bei 255 Nicht-Teilnehmenden durchgeführt, in der sich herausstellte, dass die „Verweigerer“ bei vergleichbarer akustischer Belastung etwas niedrigere Belästigungswerte angaben als die Nicht-Verweigerer.

Eine ähnlich differenzierte Non-Responder-Analyse wurde im NORAH-Modul „Belästigung und Lebensqualität“ bei den Telefon-Interviews an allen vier Flughäfen in Angriff genommen: Falls eine telefonisch erreichte Zielperson das Interview verweigerte, wurde nach den Gründen gefragt und ab 2012 zusätzlich nach dem Ausmaß der Belästigung durch die drei Verkehrsgeräusch-Quellen sowie demografischen Angaben. Die insgesamt 48.042 an allen Flughäfen befragten Non-Responder gaben meist keine oder in Bezug auf Lärm „neutrale“ Gründe an: 30,2% haben wortlos aufgelegt; 39,4% gaben „keine Lust / kein Interesse“ an, 11,6% gaben „Zeitmangel“ an, 9,6% „prinzipielle Ablehnung von Interviews“. Es ist unklar, welchen Anteil lärmbezogene Gründe an den nicht geäußerten bzw. als „neutral“ klassierten Begründungen haben. Immerhin gaben 9,4% der Non-Responder Gründe an, die etwas mit Lärm bzw. der Lärmstudie zu tun haben, davon sagte mehr als die Hälfte, nicht lärmbeeinträchtigt zu sein, aber knapp ein Drittel äußerte sich resignativ lärmbeeinträchtigt (z.B. "die Umfrage ändert ja doch nichts"). Auch die Diskussion um die NORAH-Studie selbst hat im Rhein/Main Gebiet zu Teilnahme-Verweigerungen und -widerrufen geführt, insbesondere im Jahr 2012 (1,7% der explizit genannten Verweigerungsgründe). Der relative Anteil der expliziten Nennung der Studie als Verweigerungsgrund ist gering, jedoch ist unbekannt, wie hoch der verdeckte Anteil der lärmspezifischen oder auf NORAH bezogenen Verweigerungen in der als „neutral“ klassierten Gruppe von Verweigerungsgründen ist.

Lediglich 6 bis 10% der Non-Responder haben an den vier Flughafenstandorten die Fragen zur Belästigung und zu demografischen Angaben beantwortet. Es erscheint sehr fragwürdig, die wenigen vollständigen Antworten auf alle Non-Responder innerhalb einer Geräuschpegelklasse zu verallgemeinern; deshalb kann diese Analyse kaum verwertet werden.

7 Stärken des NORAH-Forschungsverbundprojekts

7.1 Generelle Stärken:

Das NORAH-Forschungsverbundprojekt zählt zu den umfangreichsten Studien zur Wirkung von Verkehrslärm auf den Menschen. Zu seinen Stärken kann gezählt werden:

- Das gesamte Projekt folgte einem ganzheitlichen Konzept, das Gesundheit mehrdimensional erfasst, d. h. sich nicht auf einzelne Wirkungsbereiche beschränkt, sondern Belästigung, Lebensqualität, kognitive Entwicklung von Kindern, Schlafqualität, Blutdruckregulation und Krankheitsrisiken einschließt und jeweils in ihrer Abhängigkeit von der Stärke der Geräusch-Belastung durch Luft-, Schienen- und Straßenverkehr untersucht.
- Der enorme Umfang der akustischen Berechnungen und der dafür erforderliche Aufwand für Datenerhebung, Datenbearbeitung und Datenhaltung sind bisher in Deutschland einmalig. Die unterschiedliche Qualität und Aktualität der Eingangsdaten für die akustischen Berechnungen stellte eine große Herausforderung dar, ebenso das Fehlen von etablierten Berechnungsmethoden für die Maximalpegel von Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen.
- Die Genauigkeit der Berechnungen, insbesondere für die individuellen Luftverkehrsgeräuschpegel der Untersuchungspersonen aller Teilstudien, wurde unseres Wissens bisher in keiner anderen deutschen Untersuchung erreicht. Zu Beginn des Projekts wurde in kürzester Zeit ein Verfahren entwickelt, welches das Problem der zu kurzen Flugbahnen im Datenerfassungssystem des Flughafens Frankfurt und gleichzeitig das Problem der fehlenden Datenerfassungssysteme für die Jahre von 1996 bis 2010 mit Hilfe von Radardaten löste. Dies wurde durch die Kooperation mit der Deutschen Flugsicherung möglich.
- Erstmals wurden in einer Felduntersuchung alle drei Verkehrsgeräuschquellenarten (Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräusche) parallel untersucht.
- Erstmals wurden in Bezug auf die Berechnung der akustischen Belastungen in einer großen Felduntersuchung auch Unsicherheits- bzw. Zuverlässigkeitsbetrachtungen angestellt und die Unsicherheit der akustischen Größen bei allen drei Verkehrsgeräuschquellen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Eingangs- und Modellparameter angegeben. Der Einfluss der Aussageunsicherheit auf die Ergebnisse der Expositions - Wirkungsbeziehung wurde am Beispiel der Kinderstudie überprüft. Dabei zeigte sich, dass sich durch die Einbeziehung der Aussagesicherheit der Verkehrsgeräuschexposition in die interdisziplinären Auswertungen die Gesamtunsicherheit erhöht, der Verlauf der Expositions - Wirkungsbeziehung jedoch nur unerheblich beeinflusst wird.

7.2 Stärken der Studie „Belästigung und Lebensqualität“

Beim Modul „Belästigung und Lebensqualität“ handelt es sich um eine kombinierte sozio-akustische Längs- und Querschnittsstudie zur Wirkung von Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm im Rhein/Main Gebiet und an drei weiteren Flughafenstandorten auf die Lärmbelästigung, berichteten Schlafstörungen und gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Ihre Stärken lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Panel-Studie am Flughafen Frankfurt 2011-2013 ermöglichte die Betrachtung der Entwicklung selbst-berichteter Fluglärmwirkungen 2011-2013 in Abhängigkeit von der Zeit und der betrieblichen Änderungen am Flughafen.
- Die gleichzeitige Einbindung weiterer Flughafenstandorte (multizentrisches Untersuchungsdesign) erlaubte Aussagen zur Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse zur Luftverkehrsgeräuschwirkung über einen einzelnen Flughafen hinaus auf andere Flughafenregionen mit unterschiedlichen Flugbewegungszahlen, deren tageszeitliche Verteilung und verschiedenem Kontext (Flughafen in Änderung vs. "Bestands"-Flughafen).
- Mit den erhobenen Daten wurde eine große Bandbreite von Einzelfragestellungen untersucht, darunter die Lärmwirkungszusammenhänge
 - o bei Verwendung verschiedener akustischer Kenngrößen (Mittelungs-, Maximalpegel, Bewegungszahl);
 - o bei differenzierter Betrachtung verschiedener Tageszeiten, die u.a. eine Wirkungsevaluation zeitlicher Betriebsbeschränkungen (Kernruhezeit) zuließ;
 - o bei Berücksichtigung von (nicht-akustischen) Kontextfaktoren.
- Über den Luftverkehrsbereich hinaus wurden andere Verkehrslärmquellenarten (Straßen- und Schienenverkehr) nicht nur zur statistischen Kontrolle von möglichen Confoundereffekten in den Auswertungen berücksichtigt, sondern eigens hierzu durchgeführte Querschnittserhebungen erlaubten, die Wirkungen des Verkehrslärms quellenartenübergreifend mit gleicher Methodik zu untersuchen und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen.
- Es wurden auch Vergleiche zwischen unterschiedlichen Verkehrsgeräuschquellen-Kombinationen (Luft- plus Straßenverkehr, Luft- plus Schienenverkehr) durchgeführt.
- Der Einsatz standardisierter Fragebögen mit international verwendeten Fragen und Antwortskalen (z.B. die Belästigungserfassung gemäß Empfehlungen der ICBEN/ISO TS 15666) erleichtert die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu anderen internationalen Untersuchungen.
- Mit der umfangreichen psychometrischen Überprüfung der erhobenen Fragenkomplexe anhand der Quer- und Längsschnittdaten wurde ein differenziertes Bild über die Qualität des Erhebungsinstrumentariums bezüglich der Reliabilität (Genauigkeit), Validität (Gültigkeit) und Objektivität der erhobenen Größen auch im Hinblick auf die zeitliche Stabilität der Güte vorgelegt.
- Mit den Längsschnittdaten sind umfassende, vertiefende Analysen zu den Zusammenhängen zwischen Geräuschpegel, potenziellen Co-Determinanten (weiteren Einflussgrößen) und den betrachteten Zielgrößen (Lärmwirkungen)

durchgeführt worden, die eine bessere Unterscheidung von

- moderierenden Größen (Moderatoren),
- zwischen Geräuschpegel und Lärmwirkungsvariable vermittelnden Einflussgrößen (Mediatoren) und
- eher als Sekundärreaktion zu verstehenden Variablen

erlauben. Dadurch ist die Gefahr verringert worden, die Erklärungskraft (aufgeklärte Varianz) von Expositions-Wirkungsbeziehungen allein dadurch zu erhöhen, dass aufgrund der Assoziationen Folgen betrachteter Lärmwirkungen als deren Einflussgrößen behandelt werden, denn eine Korrelation allein sagt noch nichts über Kausalität - speziell die Richtung eines Effekts - aus.

Die Robustheit der ermittelten Expositions-Wirkungsbeziehungen wird auch vor dem Hintergrund niedriger relativer Response als hoch eingeschätzt. Zu dieser Einschätzung haben die Ergebnisse umfassender Sensitivitätsanalysen und der Einsatz des Bootstrapping (d. h. dem häufigen Wiederholen von statistischen Analysen mit unterschiedlichen Sub-Samples derselben Stichprobe) bei zentralen Expositions-Wirkungsmodellen beigetragen.

7.3 Stärken der sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie

Zu den Stärken der sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie zählen:

- Es wurden sowohl ambulante als auch stationäre Diagnosen berücksichtigt.
- Es wurden bestmöglich inzidente (neu aufgetretene) Diagnosen berücksichtigt
- Es wurden individuelle Sozialstatus-Parameter berücksichtigt.
- Die Sensitivitätsanalyse mit Berücksichtigung ausschließlich derjenigen Probanden in der sekundärdatenbasierten Analyse, für die der individuelle Sozialstatus bekannt war (etwa ein Viertel), spricht deutlich gegen ein wesentliches residuelles Confounding durch den Sozialstatus.
- Die Berücksichtigung des Scheuch-Winkler-Index aus der vertiefenden Befragung führte zu keiner wesentlichen Änderung der Herzinsuffizienz-Risikoschätzer.
- Es wurden individuelle Lifestyle-Parameter berücksichtigt (für Herzinsuffizienz).
- Bei zusätzlicher Adjustierung für Tabakkonsum, BMI, Alkoholkonsum, Nachtschicht, Arbeitslärm, körperliche Aktivität (im voll adjustierten Modell) veränderten sich die Risikoschätzer nicht substanziell gegenüber dem Basis-Modell.
- Es wurden für alle betrachteten Verkehrsgeräuschquellen Maximalpegel-Analysen durchgeführt, insbesondere für die Luftverkehrsgeräusche in der Nacht.
- Es wurden Emergenz-Analysen durchgeführt, die den $L_{pAeq,24h}$ unter Berücksichtigung der Differenz zum Maximalpegel $L_{pAmax,24h}$ betrachten.
- Bei Versicherten einer Krankenkasse und vertiefend Befragten waren Informationen zur Wohnanamnese verfügbar. Hier wurde die Dauer der chronischen Geräusch-Einwirkung („Wohnjahre“, „Lärmjahre“) berücksichtigt.
- Mortalitätsrisiken konnten Morbiditätsrisiken gegenübergestellt werden.

7.4 Stärken des Blutdruckmonitorings

- Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden im Rahmen eines Hausbesuchs in der Blutdruck-Selbstmessung geschult, um anschließend über einen Zeitraum von drei Wochen morgens und abends Selbstmessungen ihres Blutdrucks durchzuführen.
- Während dieser Einweisung wurde eine gesundheitliche Erhebung durchgeführt. Dabei wurden Fragen zu chronischen Erkrankungen und zur aktuellen Gesundheit gestellt, weiterhin wurden die eingenommenen Medikamente erfasst und der Körperumfang gemessen.
- Die wiederholte Selbstmessung der Blutdruckwerte in der eigenen Wohnung und deren telemedizinischer Übertragung an die Studienzentrale sicherte sehr verlässliche Blutdruckwerte.
- Zusätzlich wurden Angaben zur Lärmempfindlichkeit, Lärmbelästigung durch die drei Verkehrsarten und zum gesundheitlich relevanten Lebensstil (körperliche Aktivität, Alkoholkonsum, Rauchen) und zum sozioökonomischen Status erhoben und in den finalen Modellen berücksichtigt.
- Formulierungen und Inhalt der Fragen entsprachen dem aktuellen bundesweiten Gesundheitssurvey des Robert-Koch-Instituts.
- Ergänzende klinische Parameter wurden entsprechend dem Fragebogen der DETECT-Studie erhoben.
- Ansatz und Durchführung des Blutdruckmonitorings waren deutlich umfangreicher als bisherige bevölkerungsbezogene Studien zum Thema Lärm und Blutdruck, die sowohl in Ziel- als auch Expositionsparametern eingeschränkt waren.

7.5 Stärken der Schlafstudie

- Es handelte sich um die bisher weltweit größten Felduntersuchungen mit Luftverkehrsgeräusch-gewohnten schlafgesunden erwachsenen Anwohnerinnen und Anwohnern eines Flughafens mit der aufwändigen elektro-enzephalografischen Methode.
- Die Geräuschexposition wurde in diesen Felduntersuchungen sehr genau durch kontinuierliche Messungen am Ohr der Schlafenden bestimmt.
- Die gleichzeitige Erhebung „objektiver“ und „subjektiver“ Schlafparameter ermöglichte den Vergleich unterschiedlicher Verfahren zur Beschreibung der Schlafqualität.
- Die Berücksichtigung von Einstellungen der Teilnehmenden zum Luftverkehr ermöglichte die Untersuchung der Frage, wieweit solche Einstellungen im Zusammenhang mit „objektiven“ Schlafparametern stehen.
- Die Weiterentwicklung einer vegetativ-motorischen Methode (VMM) ermöglichte ihre Anwendung an größeren Stichproben. Dadurch, dass die Methode Herzfrequenzbeschleunigungen misst, bildet sie möglicherweise einen Mechanismus ab, der für Herz-Kreislauferkrankungen aufgrund langjähriger nächtlicher Geräuschexposi-

tion ursächlich verantwortlich sein könnte. Die VMM kann allerdings keine Ergebnisse zur Änderung der Schlafstruktur liefern und auch fluglärmassoziierte Aufwachreaktionen nicht exakt nachbilden, so wie es mit der Polysomnografiemethode möglich ist

7.6 Stärken der Kinderstudie

- In früheren Studien zu Luftverkehrsgeräuschwirkungen auf Kinder wurden andere Einflussfaktoren auf das Lesenlernen wie familiäres Umfeld, Sprachkenntnisse der Kinder und Unterrichtsfaktoren oft nicht genau genug kontrolliert. Die großen Bildungsstudien wie PISA und IGLU zeigen aber, wie stark der Einfluss dieser Faktoren auf den Lernerfolg der Kinder ist, ganz besonders im Lesen. In der NORAH-Studie wurden diese Faktoren mit größtmöglicher Genauigkeit erhoben und statistisch „herausgerechnet“, um den Einfluss der Luftverkehrsgeräusche möglichst genau bestimmen zu können.
- Das Testmaterial wurde speziell für die deutsche Sprache adaptiert, teilweise sogar neu entwickelt.
- Es wurde ein a priori Matching erfolgreich durchgeführt.

8 Herausforderungen für das NORAH-Forschungsverbundprojekt

Ein Problem war die - abgesehen von der Kinderstudie - alle Module durchziehende geringe Responserate. Die Bereitschaft zur Teilnahme an wissenschaftlichen Untersuchungen ist zwar auch in anderen Forschungsbereichen gesunken, aber selten in dem Ausmaß, wie es im Frankfurter Raum beobachtet wurde.

Auf den ersten Blick scheinen die Schwierigkeiten der Teilnehmerge Gewinnung bzw. geringen Responserate im Teilprojekt „Belästigung und Lebensqualität“, der vertiefenden Befragung zur Fallkontrollstudie beim Blutdruckmonitoring und in der Schlafstudie miteinander zu korrespondieren. Der Vergleich hinkt allerdings, denn die Anforderungen an die potenziell Teilnehmenden waren zwischen den Teilprojekten verschieden. Nur im Teilprojekt „Belästigung und Lebensqualität“ konnten (in beschränktem Umfang) auch Motive für die Nichtteilnahme erhoben werden, und hier zeigte sich, dass überwiegend allgemeine, nicht lärmthematische Verweigerungsgründe aufgeführt wurden. Soweit lärmbezogene Gründe genannt wurden, spielten einerseits sowohl eine geringe Lärm-Betroffenheit, andererseits aber auch Resignation (z.B. „Lärmsituation ändert sich nicht“) eine Rolle bei der Entscheidung über die Teilnahme. Schließlich haben möglicherweise auch Diskussionen in der Rhein/Main- Region zur NORAH-Studie selbst Teilnahme-Entscheidungen beeinflusst.

Zwar können Selektionseffekte nicht gänzlich ausgeschlossen werden, jedoch konnte zumindest im Modul „Belästigung und Lebensqualität“ mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen gezeigt werden, dass die dargestellten Expositions-Wirkungsbeziehungen robust sind gegenüber potentiellen Stichprobeneffekten.

Ein weiteres Problem war die unterschiedliche Verfügbarkeit akustischer Parameter für die drei Verkehrsgeschallsquellenarten (Straßen-, Schienen- und Luftverkehr): Während im NORAH-Projekt für den Luftverkehr neben den üblichen Dauerschallpegeln z.B. auch gesicherte Maximalpegel und Ereignishäufigkeiten zur Verfügung standen, gab es dafür bei Straßen- und Schienenverkehr keine gesicherten Berechnungsverfahren. Dafür mussten neue Schätzmethoden entwickelt werden. Dies schränkte die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse zwischen den drei Verkehrsgeschallsquellenarten hinsichtlich über die Dauerschallpegel hinausgehender Analysen etwas ein.

9 Fazit

Das NORAH-Verbundforschungsprojekt gehört zu den größten Forschungsunternehmungen, die jemals in Deutschland zum Thema Lärmwirkungen stattfanden. Auch im internationalen Vergleich ist es ein sehr großes Projekt, mit Einschränkungen vergleichbar dem „Health Impact Assessment“ (vgl. Staatsen et al., 2004), das 1992-2005 vor und nach Eröffnung der fünften Runway in Amsterdam-Schiphol durchgeführt wurde. Entsprechend hoch und vielfältig sind die Erwartungen, die im Land Hessen und in der Bundesrepublik insgesamt herrschen. Auch wenn klar ist, dass kein Projekt alle denkbaren Ansprüche erfüllen kann, ist das NORAH-Team sicher, insgesamt einen großen Beitrag zu den Kenntnissen der Auswirkungen von Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen geleistet zu haben. Die Untersuchungen sind hinsichtlich ihrer Ziele und Fragestellungen umfassender und vielfältiger als frühere Untersuchungen, und die Sorgfalt der Planung, Durchführung und Analyse ist (auch Dank des Wissenschaftlichen Beirats Qualitätssicherung) beispielhaft. Besonders hervorzuheben ist die Sorgfalt, mit der die akustischen Belastungen durch die drei Verkehrsarten adressgenau für alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer aller Teilstudien berechnet wurden (bis auf die Schlafstudie, in der es eigene Akustik-Messungen gab).

NORAH deckte mehr als die vier größten Bereiche ab, in denen die Weltgesundheitsorganisation (WHO 2011) ein Potenzial für gesundheitliche Beeinträchtigung durch Umweltgeräusche sieht: Schlafstörungen, Belästigungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und kognitive Entwicklung von Kindern. Bei NORAH kamen Brustkrebs und Depressionen als „Endpunkte“ hinzu. In jedem Bereich wurden vielfältige Fragen bearbeitet, darunter v.a. die Frage nach der Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen der Höhe der Geräuschbelastung und der Höhe der Wirkung. Wenn aus einer Untersuchung praktische Konsequenzen gezogen werden sollen, reicht es nicht, einfach festzustellen, dass eine Geräuschquelle, wie z.B. der Straßenverkehr, statistisch signifikant z.B. mit einem bestimmten Erkrankungsrisiko oder starker Belästigung verbunden ist. Zur Beantwortung der Frage, ob es eine kausale Beziehung zwischen akustischer Belastung und Beeinträchtigung bzw. Risiko gibt, sowie zur Umsetzung der Erkenntnis in Handlungsempfehlungen ist eine Expositions-Wirkungsbeziehung notwendig. Im ersten Fall gewinnt die Annahme einer Kausalität zwischen Geräuschbelastung und möglichem Effekt an Gewicht, wenn festgestellt wird, dass der Effekt mit Zunahme der Belastung steigt, im zweiten Fall ist diese Kenntnis notwendig, um abschätzen zu können, wie weit die Geräuschbelastung vermindert werden muss, um den Effekt zu verhindern oder wenigstens zu mildern.

Die Expositions-Wirkungsbeziehungen im NORAH-Projekt bieten Informationen über die Höhe und Form des statistischen Zusammenhangs zwischen der akustischen Belastung und ihren möglichen Effekten. Sie geben keine Auskunft über die Zahl der „verlorenen beschwerdefreien Lebensjahre“ oder gar „Lärmtoten“. Wir können aber an ihnen sehen, ob es überhaupt einen statistisch signifikanten Geräuscheffekt gibt und was bei zunehmender akustischer Belastung auf Seiten der Wirkung geschieht. Wir wollen hier nicht versuchen, die verschiedenen Effekte, die sich in den NORAH-Teilstudien gezeigt haben, miteinander zu vergleichen. Dagegen spricht einerseits die unterschiedliche Auftretenshäufigkeit der Effekte in der Bevölkerung, andererseits ihre jeweilige inhaltliche Bedeutung. Aber wir

können versuchen, in den verschiedenen inhaltlichen Bereichen die klarsten Effekte herauszuarbeiten und zu bewerten - wobei diese Bewertung zwangsweise nicht ganz objektiv sein kann.

Sehr starke Effekte von Verkehrsgläuschen traten im Bereich der **chronischen Belästigung** auf - hier bei allen drei Verkehrsarten, am stärksten beim Luftverkehr, in weitem Abstand gefolgt vom Schienen- und Straßenverkehr. Das ist zwar mit der internationalen Literatur im Einklang, aber die Höhe der Luftverkehrs-bedingten Belästigung am Flughafen Frankfurt war extrem im Vergleich zur Straßen- und Schienenverkehrs-bedingten Belästigung. Der Prozentsatz durch Luftverkehrsgläusche stark belästigter Personen rings um den Frankfurter Flughafen war schon vor Eröffnung der NW-Landebahn (2011) bei vergleichbaren Mittelungspegeln höher als 2005 am selben Flughafen und 2012 höher als an mehreren anderen deutschen Flughäfen; er ist nach Eröffnung der Landebahn noch etwas gestiegen und 2013 wieder etwas gesunken. Er betrug im Jahr 2013 bei 50 dB (24-Stunden-Dauer-schallpegel) ca. 57% - gegenüber ca. 5 - 8% beim Schienen- bzw. Straßenverkehr. Die im Vergleich zum Luftverkehr besonders niedrige Belästigung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm mag daher rühren, dass sich die Untersuchungsgebiete auf Flughafenregionen konzentrieren, in der die Geräuschexposition durch Luftverkehr stärker im Fokus steht als außerhalb von Flughafenregionen.

Die Ergebnisse zur Lärmbelästigung bei **Mehrfachbelastungen** im Rhein/Main-Gebiet zeigten, dass die Geräuschexposition des Luftverkehrs über den gesamten untersuchten Mittelungspegelbereich die Gesamtlästigkeit dominiert. Dieses Ergebnis entspricht den generellen Erwartungen, weil die Geräusche des Luftverkehrs im Allgemeinen lästiger sind als die vom Straßen- oder Schienenverkehr. Die absolute Höhe der Belästigung durch Luftverkehrsgläusche **am Flughafen Frankfurt** ist aber nicht direkt auf andere Flughäfen übertragbar, ebenso wenig wie die absolute Höhe der Belästigung durch Straßen- oder Schienenverkehrsgläusche. So ist beispielsweise die Belästigung durch Bahngeräusche an hochbelasteten Bahnstrecken wie denen im Mittelrheintal höher als in der NORAH-Studie (Schreckenberger, 2013). Dennoch liegt diese im Niveau noch unterhalb der durch Luftverkehrsgläusche hervorgerufenen Belästigung.

Selbst dann, wenn wir in Rechnung stellen, dass die Luftverkehrs-bedingte Belästigung heute bei vergleichbaren Pegeln generell höher ist als vor ca. 20 Jahren (vgl. Janssen & Vos, 2009), liegt der Frankfurter Wert 2013 über dem Erwartungswert. Bei einem 24-Stundenpegel von 50 dB beträgt der Anteil der hoch belästigten Personen je nach untersuchtem Flughafen zwischen 40 und 55 Prozent. Wenn wir bedenken, dass 343.316 Personen im Umkreis des Frankfurter Flughafens im Jahre 2012 Luftverkehrsgläuschpegeln ≥ 50 dB $L_{pAeq,24h}$ ausgesetzt waren, ist das in unseren Augen ein sehr ernst zu nehmendes Ergebnis. Mag die gesundheitliche Bedeutung der Belästigung generell auch nicht an die von Erkrankungsrisiken heranreichen - gemessen an der Anzahl der betroffenen Menschen ist das ein schwerwiegendes Ergebnis. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass das deutsche Fluglärmschutzgesetz (Dt. Bundestag 2007) Lärmschutz erst ab 60 dB Tagespegel für bestehende Flughäfen vorsieht.

Aus der Vielzahl der Ergebnisse zu Verkehrsgläusch-bedingten **Erkrankungsrisiken** einige wenige herauszugreifen, erscheint vermessen und vielleicht willkürlich, aber es ist im Bericht zur Sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie deutlich geworden, dass nicht der

Luftverkehr überall die dominante Rolle als Verursacher oder „Verstärker“ von Krankheiten spielte, sondern je nach Erkrankungsbereich Luft-, Schienen- und Straßenverkehr sich abwechselten. Alle drei Verkehrsquellen bargen auch unter Berücksichtigung der relevanten Confounder hinsichtlich ihrer Geräusche statistisch signifikante Risiken – im Fall der Episoden unipolarer Depressionen sogar alle drei. Bei Luftverkehrsgeräuschen waren im Untersuchungszeitraum 2005-2010 die höchsten statistisch signifikanten Risiko-Anstiege pro 10 dB Pegelanstieg bei Episoden unipolarer Depression (8,9%) und Herzinsuffizienz (1,6%) zu finden. Bei Straßenverkehrsgeräuschen zeigten sich die höchsten entsprechenden Risiko-Anstiege für depressive Episoden (4,1%), für Schlaganfall (2,8%) und für Herzinsuffizienz (2,4%). Bei Schienenverkehrsgeräuschen zeigten sich die höchsten entsprechenden Risiko-Anstiege für depressive Episoden (3,9%), Herzinfarkt (3,8% bei Einbezug der Verstorbenen), Herzinsuffizienz (3,1%) und Schlaganfall (1,8%).

Die Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen diagnostizierten **depressiven Episoden** und chronischer Belästigung infolge der Verkehrsgeräusch-Belastung gibt, ließ sich während der Laufzeit des Projekts nicht klären. Deutlich wurde allerdings, dass beide gesundheitliche Endpunkte (Belästigung und Depression) starke statistische Zusammenhänge mit den 24-Stunden-Dauerschallpegeln aller drei Verkehrsgeräuschquellenarten haben, wobei der höchste Zusammenhang jeweils beim Luftverkehr gefunden wurde. Das legt die Frage nahe, welcher Zusammenhang zwischen Lärmbelästigung und Depression besteht. Beide Endpunkte beziehen sich auf die eigene Befindlichkeit; im ersten Fall direkt auf Lärm bezogen, im zweiten Fall unabhängig vom Lärm. Wenn dennoch ein statistischer Zusammenhang zwischen Geräuschbelastung und depressiven Episoden besteht, liegt es nahe, einen wechselseitigen Einfluss zwischen Lärmbelästigung und Depression zu vermuten. Dies wurde erstmals von Tarnopolsky et al. (1980) nahegelegt, und durch Van Kamp (1990) in einen Zusammenhang mit Lärmbewältigungsstrategien gebracht, aber in der Folgezeit nicht systematisch untersucht. Unter Umständen ist auch die selbst-eingeschätzte psychische Lebensqualität beteiligt, die von der Lärmbelästigung abzuhängen scheint.

Da erhöhte Verkehrsgeräusch-bedingte Erkrankungsrisiken bei der Projektplanung v.a. im Bereich der Herz-Kreislauf-Erkrankungen erwartet wurden, lag es nahe, statistisch signifikante Effekte auch bei der Blutdruckregulation zu suchen. Dies ist im Rahmen der Blutdruckstudie geschehen, jedoch konnte kein statistisch signifikanter Anstieg des Ruheblutdrucks mit zunehmender Verkehrsgeräuschbelastung festgestellt werden. Es zeigten sich aber konsistente Tendenzen des Anstiegs bei Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen. Dieses Ergebnis bedeutet nicht, dass die Blutdruckregulation nicht durch chronische Belastung durch Verkehrsgeräusche gestört wird, sondern zunächst nur, dass die Erhöhung der mittleren Blutdruckwerte bei zunehmenden Luft- und Schienenverkehrsgeräuschpegeln schwach ausgeprägt war und gerade eben die konventionelle Signifikanzgrenze nicht erreichte. Der Umstand, dass Schienenverkehrsgeräusche auch in dieser Teilstudie ähnlich auffällig wirkten wie in der Fallkontrollstudie, bleibt bemerkenswert und hängt möglicherweise mit der besonderen Charakteristik dieser Geräusche (hohe Maximalpegel, hohe Pegelanstiegs-Geschwindigkeit) zusammen.

Die Ergebnisse der Schlafstudie sind insbesondere für die Bewertung der sog. „**Kernruhezeit**“ (23-05 Uhr) am Flughafen Frankfurt wichtig. Hier wurden Vor- und Nachteile festge-

stellt: Wird die gesamte Schlafzeit betrachtet, so tritt wegen der Verringerung der Anzahl von Flugbewegungen eine Verbesserung des Schlafes im Vergleich zur Basiserhebung 2011 ein. Im Modul „Belästigung und Lebensqualität“ wurde ein paralleles Ergebnis festgestellt: Die längerfristigen Gesamturteile der Betroffenen über die eigenen Schlafstörungen gingen ab 2012 zurück. Bei den Einzelfragen zu Ein-, Durch- und Ausschlafstörungen zeigte sich bei Einschlafstörungen eine geringe Verbesserung, bei Durchschlafstörungen eine deutliche Entlastung, aber bei Ausschlafstörungen eine Zunahme nach Einführung der Kernruhezeit. (Zur Diskussion vgl. Kap. 5.4).

Das Hauptergebnis der **Kinderstudie**, die statistisch signifikante Verringerung der Leseleistung durch Luftverkehrsgeräusche, wurde bereits publiziert und hat schon zu dem Beschluss der Landesregierung in Hessen geführt, die Schallisolierung von Schulen zu verbessern, die hohen Belastungen durch Luftverkehrsgeräusche ausgesetzt sind.

Betrachten wir **Gemeinsamkeiten und Unterschiede** der NORAH-Hauptergebnisse in Bezug auf die drei Verkehrsgeschallquellen, so fällt auf, dass die stärksten Belästigungseffekte und Auswirkungen auf diagnostizierte unipolare depressive Episoden beim Luftverkehr im Frankfurter Raum festgestellt wurden, aber die stärksten somatischen Effekte (Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken und Blutdruckmonitoring) beim Schienen- und Straßenverkehr. Zwar sind die Untersuchungsdesigns der jeweiligen Teilstudien unterschiedlich, aber wir können feststellen, dass die drei Geräuschquellenarten in diesen Studien - zumindest hinsichtlich der Mittelungspegel - gleich stark berücksichtigt wurden. Der beobachtete Unterschied ist schwer zu interpretieren. Er spricht einerseits dafür, dass die unterschiedlichen Wirkungsbereiche auf unterschiedliche Verkehrsgeschallquellenarten unterschiedlich ansprechen, andererseits auch dafür, dass die verschiedenen Verkehrsgeschallquellenarten beim selben Dauerschallpegel unterschiedlich starke Wirkungen haben. Trifft die erste Interpretation zu, wird es schwierig, eine gemeinsame Lärmwirkungstheorie für unterschiedliche Wirkungsbereiche beizubehalten. Trifft die zweite Interpretation zu, scheint es notwendig, die unterschiedlichen Verkehrsgeschallquellenarten unterschiedlich zu bewerten. Hinsichtlich der unterschiedlichen Wirkungen der drei Verkehrsgeschallquellenarten deuten die NORAH-Ergebnisse auf die Notwendigkeit der Neubewertung der Wirksamkeit von Schienenverkehrsgeräuschen hin. Im Gegensatz zu der landläufigen Vorstellung, dass die Geräusche des Schienenverkehrs beim selben Dauerschallpegel weniger lästig sind als die des Straßenverkehrs, hat sich im Querschnittsvergleich des Moduls „Belästigung und Lebensqualität“ herausgestellt, dass sich Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche in ihrer langfristigen Lästigkeit kaum unterscheiden bzw. bei höheren Mittelungspegeln Schienenverkehrsgeräusche sogar lästiger als Straßenverkehrsgeräusche sind. Außerdem zeigten sich bemerkenswerte Ergebnisse bei Herz-Kreislauf-Erkrankungsrisiken in Bezug auf den Schienenverkehr. Die Ursachen dafür sind noch nicht genau bekannt, aber auch hier besteht der Verdacht, dass hohe Maximalpegel und steile Pegelanstiege bei Vorbeifahrten eine wichtige Rolle spielen.

Literatur

- Babisch, W. (2014). Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. *Noise & Health*, 16(68), 1-9.
- Basner, M., Buess, H., Elmenhorst, D., Gehrlich, A., Luks, N., Maaß, N., Mawet, L., Müller, E.-W., Müller, U., Plath, G., Quehl, J., Rey, E., Samel, A., Schulze, M., Vejvoda, M. & Wenzel, J. (2004). *Nachtfluglärmwirkungen (Band 1): Zusammenfassung*. Köln: DLR.
- Berglund, B. & Lindvall, T. (Eds., 1995). *Community Noise*. Stockholm: Archives of the Center for Sensory Research.
- Bodin, T., Björk, J., Öhrström, E., Ardö, J. & Albin, M. (2012). Survey context and question wording affects self reported annoyance due to road traffic noise: a comparison between two cross-sectional studies. *Environmental Health*, 11(14).
- Breugelmans, O., Houthuijs, D., Kamp, I.v., Stellato, R., Wiechen, C.v. & Doornbos, G. (2007). Longitudinal effects of a sudden change in aircraft noise exposure on annoyance and sleep disturbance around Amsterdam airport. *Proceedings of the 19th International Congress on Acoustics (ICA 2007)*, Paper env-04-002, Madrid, Spain: <http://www.sea-acustica.es/WEBICA07/fchrs/papers/env-04-002.pdf>.
- Breugelmans, O. R. P., van Wiechen, C. M. A. G., van Kamp, I., Heisterkamp, S. H. & Houthuijs, D. (2004). Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002. Tussenrapportage Monitoring Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol [Health and quality of life near Amsterdam Schiphol airport: 2002. Interim report] (Vol. Report 630100001, pp. 128). Bilthoven (NL): RIVM.
- Brooker, P. (2009). Do people react more strongly to aircraft noise today than in the past? *Applied Acoustics*, 70, 747 -752
- Brown, A.L. & van Kamp, I. (2009). Response to a change in transport noise exposure: Competing explanations of change effects. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125 (2), 905-914
- Clark, C., Crombie, R., Head, J., van Kamp, I., van Kempen, E. & Stansfeld, S. A. (2012). Does Traffic-related Air Pollution Explain Associations of Aircraft and Road Traffic Noise Exposure on Children's Health and Cognition? A Secondary Analysis of the United Kingdom Sample From the RANCH Project. *American Journal of Epidemiology*, 176(4), 327-337.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale (USA, NJ): Lawrence Earlbaum Associates.
- Cook, T.D. & Campbell, D.T. (1979). *Quasi-Experimentation: Design and Analysis Issues for Field Settings*. Chicago: Rand-McNally.
- Cappuccio, F. P., Cooper, D., Elia, L., Strazzullo, P. & Miller, M. A. (2011). Sleep duration predicts cardiovascular outcomes: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. [10.1093/eurheartj/ehr007]. *European Heart Journal*.
- Curtin, R., Presser, S. & Singer, E. (2000). The Effects of Response Rate Changes on the Index of Consumer Sentiment. *Public Opinion Quarterly*, 64(4), 413-428.
- Deutscher Bundestag. (2007). Neufassung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm. Bonn: *Bundesgesetzblatt* 2007, Teil 1, Nr. 56.
- Dratva, J., Zemp, E., Dietrich, D. F., Bridevaux, P.-O., Rochat, T., Schindler, C. & Gerbase, M. W. (2010). Impact of road traffic noise annoyance on health-related quality of

life: Results from a population-based study. *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care & Rehabilitation*, 19(1), 37-46.

Dratva, J., Phuleria, H., Foraster, M., Gaspoz, J. M., Keidel, D., Kunzli, N., Liu, L. J., Pons, M., Zemp, E., Gerbase, M. W. & Schindler, C. (2012). Transportation noise and blood pressure in a population-based sample of adults. *Environmental Health Perspectives*, 120(1), 50-55. doi: 10.1289/ehp.1103448.

Ellert, U., Lampert, T. & Ravens-Sieberer, U. (2005). Messung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit dem SF-8. Eine Normstichprobe für Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt*, 12(1330-1337).

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

European Environment Agency. (2014). Noise in Europe 2014. *EEA Report* (Vol. 10/2014). Copenhagen (DK): EEA.

Faulbaum, F. (2014). Total Survey Error. In N. Baur & J. Blasius (Eds.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (pp. 439-453). Wiesbaden (D): Springer Fachmedien.

Floud, S., Blangiardo, M., Clark, C., de Hoogh, K., Babisch, W., Houthuijs, D., Swart, W., Pershagen, G., Katsouyanni, K., Velonakis, M., Vigna-Taglianti, F., Cadum, E. & Hansell, A. (2013). Exposure to aircraft and road traffic noise and associations with heart disease and stroke in six European countries: a cross-sectional study. *Environmental Health*, 12(1), 89.

Giering, K. (2010). Lärmwirkungen -- Dosis-Wirkungsrelationen. In Umweltbundesamt (Hg.), *UBA-Texte* (Vol. 13). Dessau (D): Umweltbundesamt.

Gjestland, T., Gelderblom, F. B., Fidell, S. A. & Berry, B. (2015). Temporal trends in aircraft noise annoyance. Paper presented at the *Inter-Noise 2015*, San Francisco (CA, USA)

Groves, R. M., Presser, S. & Dipko, S. (2004). The role of Topic Interest in Survey Participation Decisions. *Public Opinion Quarterly*, 68(1), 2-31.

Guski, R. (2004). How to forecast community annoyance in planning noisy facilities. *Noise & Health*, 6(22), 59-64.

Hastie, R. & Dawes, R. M. (2001). *Rational Choice in an Uncertain World: The Psychology of Judgement and Decision Making*. 2nd ed. Thousand Oaks (USA, CA): Sage Publications.

Hatfield, J., Job, R. F. S., Hede, A. J., Carter, N. L., Peploe, P., Taylor, R. & Morrell, S. (2002). Human Response to Environmental Noise: The Role of Perceived Control. *International Journal of Behavioral Medicine*, 9(4), 341-359.

Houthuijs, D., van Kamp, I., Breugelmans, O., Ameling, C., Marra, M. & van Poll, R. (2012). Community response to aircraft noise: recent examples from the Netherlands. Paper presented at the *Inter-Noise 2012*, New York City (USA).

Huang, D., Song, X., Cui, Q., Tian, J., Wang, Q. & Yang, K. (2015). Is there an association between aircraft noise exposure and the incidence of hypertension? A meta-analysis of 16784 participants. *Noise & Health*, 17(75), 93-97.

Hurrelmann, K. (2010). *Gesundheitssoziologie. Eine Einführung in sozialwissenschaftliche Theorien von Krankheitsprävention und Gesundheitsförderung*. 7.Aufl. Weinheim, München: Juventa Verlag.

Huss, A., Spoerri, A., Egger, M., Röösli, M. for-the-Swiss-National-Cohort-Study-Group. (2010). Aircraft Noise, Air Pollution, and Mortality From Myocardial Infarction. *Epidemiology*, 21(6), 829-836.

- Janssen, S.A. & Vos, H. (2009). *A comparison of recent surveys to aircraft noise exposure-response relationships*. Delft, NL: TNO report, TNO-034-DTM-2009-01799.
- Jarup, L., Babisch, W., Houthuijs, D., Pershagen, G., Katsouyanni, K., Cadum, E., Dudley, M. L., Savigny, P., Seiffert, I., Swart, W., Breugelmans, O., Bluhm, G., Selander, J., Haralabidis, A., Dimakopoulou, K., Sourtzi, P., Velonakis, M., Vigna-Taglianti, F. & team, H. (2008). Hypertension and Exposure to Noise near Airports - the HYENA study. *Environmental Health Perspectives*, 116, 329-333.
- Koolhaas, J. M., Bartolomucci, A., Buwalda, B., de Boer, S. F., Flügge, G., Korte, S. M., Meerlo, P., Murison, R., Olivier, B., Palanza, P., Richter-Levin, G., Sgoifo, A., Steimer, T., Stiedl, O., van Dijk, G., Wöhr, M. & Fuchs, E. (2011). Stress revisited: A critical evaluation of the stress concept. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(5), 1291-1301.
- La Torre, G., Moscato, U., La Torre, F., Ballini, P., Marchi, S. & Ricciardi, W. (2007). Environmental noise exposure and population health: a cross-sectional study in the Province of Rome. *Journal of Public Health*, 15(5), 339-344.
- Lazarus, R. S. & Launier, R. (1978). Stress-related transactions between person and environment. In L. Pervin & M. Lewis (Eds.), *Perspectives in interactional psychology* (pp. 1-67). New York: Plenum Press.
- Lercher, P., De Greve, B., Botteldooren, D. & Ruedisser, J. (2008). A comparison of regional noise-annoyance-curves in alpine areas with the European standard curves. *Proceedings of the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)*. 562-570. Foxwoods (USA, CT).
- Miedema, H. M. E. & Oudshoorn, C. G. (2001). Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure Metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*, 109, 409-416.
- Miedema, H.M.E. & Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 104(6), 3432-3445.
- Miller, N. P., Cantor, D., Lohr, S., Jodts, E., Boone, P., Williams, D., Fields, J., Gettys, M., Basner, M. & Hume, K. (2014). *Research Methods for Understanding Aircraft Noise Annoyances and Sleep Disturbance*. In Airport Cooperative Research Program (Ed.), Contractor's Final Report for ACRP 02-35. USA.
- Möhler, U., Liepert, M., Schuemer, R., Griefahn, B. Differences between Railway and Road Traffic Noise, *Journal of Sound and Vibration* (2000) 231(3), pp.853-864.
- Möhler, U., Liepert, M., Mühlbacher, M., Beronius, A., Braunstein, G., Gille, M., Schaal, J. & Bartel, R. (2015). Erfassung der Verkehrsgeräuschexposition: Dokumentation zur Berechnung der akustischen Daten in NORAH. In Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), *NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmswirkungen im Flughafenumfeld* (Bd. 2). Kelsterbach: Umwelthaus gGmbH.
- Müller, U. (2010). Verbundprojekt DEUFRAKO/RAPS: Wirkungsorientierte Bewertung unterschiedlicher Verkehrslärmarten. Teilvorhaben DLR: Metaanalyse und Feldstudie. Abschlussbericht. Köln: DLR.
- Robert-Koch-Institut (Hg., 2013). Diagnose Depression: Unterschiede bei Frauen und Männern (GBE kompakt, Vol. 02/2013). Berlin: Robert-Koch-Institut.
- Schreckenberger, D. & Meis, M. (2006). *Gutachten: Belästigung durch Fluglärm im Umfeld des Frankfurter Flughafens - Endbericht*. Bochum + Oldenburg: ZEUS / Hörzentrum Oldenburg.
- Schreckenberger, D., Meis, M., Kahl, C., Peschel, C., Eikmann, T. (2010). Aircraft noise and quality of life around Frankfurt Airport. *International Journal of Environmental Research*

and Public Health, 7, 3382-3405. <http://www.mdpi.com/1660-4601/7/9/3382/>, Abruf am 09.08.2015.

Schreckenberger, D. (2013). Exposure-response relationship for railway noise annoyance in the Middle Rhine Valley. *Proceedings of Internoise 2013, Paper No. 1003*, Innsbruck, Austria.

Schreckenberger, D., Faulbaum, F., Guski, R., Ninke, L., Peschel, C., Spilski, J. & Wothge, J. (2015). Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität. In Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), *NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmbewirkungen im Flughafenumfeld* (Bd. 3). Kelsterbach: Umwelthaus gGmbH.

Shadish, W.R. & Cook, T.D. (2009). The renaissance of field experimentation in evaluation interventions. *Annual Review of Psychology*, 60, 607-629.

Staatsen, B. A. M., Franssen, E. A. M., Van Wiechen, C. M. A. G., Houthuijs, D. & Lebet, E. (2004). HIA in Schiphol airport. In J. Kemm, J. Parry & S. Palmer (Eds.), *Health Impact Assessment: Concepts, theory, techniques and applications* (pp. 265-283). Oxford: Oxford University Press.

Stansfeld, S. A., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Öhrström, E., Haines, M. M., Head, J., Hygge, Staffan. van Kamp, Irene & Berry, B. F. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet*, 365(9475), 1942-1949.

Tarnopolsky, A., Watkins, G. & Hand, D. J. (1980). Aircraft noise and mental health: 1. Prevalence of individual symptoms. *Psychological Medicine*, 10, 683-698.

Van Kamp, I. (1990). *Coping with noise and its health consequences. Dissertation.* Rijksuniversiteit Groningen, Groningen (NL).

Van Kamp, I., Houthuijs, D., Van Wiechen, C., Stellato, R. & Breugelmans, O. (2007). *Environmental noise and mental health.* Paper presented at the 19th International Congress on Acoustics (ICA2007), Madrid (E).

Van Kempen, E.E.M.M. & Van Kamp, I. (2005). *Annoyance from air traffic noise. Possible trends in exposure-response relationships.* Report 01/2005 MGO EvK, Reference 00265/2005, Bilthoven (NL): RIVM.

Vienneau, D., Schindler, C., Perez, L., Probst-Hensch, N. & Rösli, M. (2015). The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis. *Environmental Research*, 138, 372-380.

Virchow, R. (1922). Rede auf der Naturforscherversammlung 1869 in Innsbruck. In K. Sudhoff (Ed.), *Rudolf Virchow und die deutschen Naturforscherversammlungen*. Leipzig: Akademie Verlagsgesellschaft.

Wallston, K.A., Strudler Wallston, B., Smith, S., Dobbins, C.J. (1987). Perceived control and health. *Current Psychological Research & Reviews*, 6, 5-25.

World Health Organization. (1946). *Constitution of the World Health Organization*. New York: WHO.

World Health Organization. (2011). *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe*. Bonn (D): WHO.

World Health Organization. (2014). *Basic Documents, 48th edition*. Geneva (CH): WHO.