

NORAH

Noise-related annoyance, cognition, and health

Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld

Band 3:

Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität

Endbericht

AUTOREN, PROJEKTBEARBEITUNG

Dirk Schreckenber	ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung, 58093 Hagen
Frank Faulbaum	SUZ - Sozialwissenschaftliches Umfragezentrum GmbH, 47051 Duisburg
Rainer Guski	Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum
Lars Ninke	SUZ - Sozialwissenschaftliches Umfragezentrum GmbH, 47051 Duisburg
Christin Peschel	ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung, 58093 Hagen
Jan Spilski	Technische Universität Kaiserslautern, Center for Cognitive Science, 67663 Kaiserslautern
Jördis Wothge	Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

HERAUSGEBER, AUFTRAGGEBER

Gemeinnützige Umwelthaus GmbH
Rüsselsheimer Str. 100
65451 Kelsterbach

GESAMTKOORDINATION DER NORAH-STUDIE

Rainer Guski	Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum
Dirk Schreckenber	ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung, 58093 Hagen

INTERNE QUALITÄTSSICHERUNG DIESES TEILPROJEKTS

August Schick	Universität Oldenburg
Rudolf Schuemer	Hagen
Berthold Vogelsang	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT - EXTERNE QUALITÄTSSICHERUNG

Mark Brink	ETH Zürich Schweiz
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 (ab Januar 2014)
Wolfgang Hoffmann	Universitätsmedizin Greifswald
Christian Maschke	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg, Potsdam (bis Dezember 2013)
Lothar Ohse	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden
Georg Thomann	Amt für Natur und Umwelt, CH-Graubünden (ab Januar 2013)
Irene van Kamp	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, NL-Bilthoven (ab Januar 2013)
Joachim Vogt	Technische Universität Darmstadt (ab April 2014)

06. Oktober 2015

ZUR STUDIE NORAH - VERKEHRSLÄRMWIRKUNGEN IM FLUGHAFENUMFELD – ERSCIENENE 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

COPYRIGHT

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.

Inhalt

Inhalt	5
Zusammenfassung	14
Summary	18
I: Einleitung: Theorie, Hintergrund.....	22
1 Aufgabenstellung	23
2 Wirkung von Verkehrslärm	25
2.1 Stress erzeugende Wirkung von Verkehrslärm	25
2.2 Kontext- und personenbezogene (nicht-akustische) Einflussgrößen, Kontrollvariablen	26
2.3 Stressbezogenes Rahmenmodell zur Wirkung von Verkehrslärm.....	29
2.4 Lärmwirkungen am Flughafen im Änderungsprozess.....	32
2.5 Wirkung von Lärm unterschiedlicher Verkehrslärmquellen.....	34
2.6 Wirkung kombinierter Verkehrslärmquellen	35
II. Untersuchungsplan und Studiendurchführung	38
3 Untersuchungsdesign.....	39
3.1 Flughafenstandorte	39
3.2 Definition der Studienregionen	41
3.3 Untersuchungsdesign der Panelstudie Rhein-Main	42
3.3.1 Geplantes Untersuchungsdesign.....	42
3.3.2 Änderungen im Studiendesign	46
3.4 Untersuchungsdesigns an den Vergleichsflughäfen	47
3.5 Untersuchungsdesigns der weiteren Querschnittsstudien am Flughafen Frankfurt	47
3.5.1 Untersuchungsdesign Straßenverkehrslärm-Querschnittsstudie (QS Straße)	49
3.5.2 Untersuchungsdesign Schienenverkehrslärm-Querschnittsstudie (QS Schiene).....	50
3.5.3 Untersuchungsplan zur Kombinationslärmuntersuchung.....	51
3.5.4 Übersicht der Studiendesigns	52
4 Erhobene Variablen	54
4.1 Verwendete Verkehrslärm-Expositionsmaße	54
4.2 Befragungsdaten	56

4.2.1	Zielgrößen, abhängige Variablen.....	60
4.2.2	Potenzielle Co-Determinanten in den Expositions- Wirkungsanalysen	62
4.2.3	Soziodemographie, sonstige Kontrollvariablen.....	70
4.3	Non-Responder-Befragung	74
5	Hypothesen zur Wirkung von Verkehrslärm auf Belästigung und Lebensqualität	75
5.1	Zeitvergleich - Hypothesen zur Wirkung von Fluglärm bei ausbaubedingten Flugverkehrsänderungen.....	75
5.2	Standortvergleich - Hypothesen zur Wirkung von Fluglärm an verschiedenen Flughafenstandorten	77
5.3	Quellenvergleich - Hypothesen zur Wirkung des Lärms verschiedener Verkehrsarten	78
5.3.1	Hypothesen zum Vergleich der Beeinträchtigung durch den Lärm einzelner Verkehrsarten.....	78
5.3.2	Hypothesen zur Belästigungswirkung kombinierter Einwirkungen von Fluglärm und Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm.....	80
5.4	Hypothesen zu den Zusammenhängen zwischen den Wirkungsbereichen Belästigung sowie Wohn- und gesundheitsbezogene Lebensqualität	81
6	Studiendurchführung.....	82
6.1	Votum der Datenschutzbehörden.....	82
6.2	Auswahl der Befragungsteilnehmenden	82
6.2.1	Auswahl für die Panelstudie Rhein-Main und für die Studien an den Vergleichsflughäfen.....	82
6.2.2	Auswahl der Teilnehmenden der weiteren Querschnittsstudien am Flughafen Frankfurt im Jahr 2012.....	88
6.3	Short Surveys in der Panelstudie Rhein-Main	91
6.4	Pretest.....	91
6.5	Befragungszeiträume und Interviewlänge	92
6.6	Interviewpersonal und Qualitätskontrolle.....	92
7	Datenmanagement und Datenanalysen.....	94
7.1	Datenaustausch	94
7.2	Verwendete Software für die Auswertungen	94
7.3	Datenaufbereitung.....	95
7.3.1	Prüfung und Aufbereitung der Datensätze.....	95
7.3.2	Missingwerte	95
7.3.3	Scorebildung bei Einstellungs- und Bewertungsfragen	97

7.3.4	Deskriptive Statistik und Verteilungsprüfungen.....	100
7.4	Inferenzstatistische Prüfung der Hypothesen (Hauptanalysen)	101
7.5	Verallgemeinerbarkeit, externe Validität, Non-Response	102
7.5.1	Analyse der Non-Responder-Informationen.....	104
7.5.2	Prüfung der Verteilung soziodemografischer Variablen.....	105
7.5.3	Populationsdaten aus den Studienregionen im Umfeld der untersuchten Flughäfen	107
7.5.4	Stichproben, für die Verteilungsvergleiche mit bevölkerungsbezogenen Daten vorgenommen werden.....	107
7.5.5	Modellanpassung durch Stichprobengewichtung anhand der ausgewählten Populationsmerkmale	108
7.5.6	Abschätzung der Robustheit der Ergebnisse.....	109
7.6	Sensitivitätsanalysen, Hauptanalysen.....	110
III.	Ergebnisse	112
8	Beteiligung in der Studie	113
8.1	Überblick über Kapitel 8.....	113
8.2	Erreichte Stichprobenzahlen	113
8.3	Räumliche Verteilung der Stichproben	122
8.4	Verteilungsstatistiken zu den Stichproben.....	125
8.4.1	Verteilung in der Panelstichprobe Rhein-Main (Flughafen Frankfurt).....	125
8.4.2	Verteilung in der Studie "QS Straße" am Flughafen Frankfurt.....	138
8.4.3	Verteilung in der Studie "QS Schiene" am Flughafen Frankfurt	141
8.4.4	Stichprobenverteilung am Flughafen Berlin-Brandenburg.....	144
8.4.5	Stichprobenverteilung an den Flughäfen Köln/Bonn (CGN) und Stuttgart (STR).....	146
8.5	Non-Response-Analyse	148
8.5.1	Vorgehensweise und Methodik.....	148
8.5.2	Basis für die Analyse der Verweigerungsreaktionen.....	157
8.5.3	Ergebnisse der Analyse der Verweigerungsreaktionen	161
8.5.4	Zusammenhang zwischen Responseraten und Personenmerkmalen bzw. ausgewählten Befragungsangaben.....	171
8.5.5	Einordnung der Ergebnisse der Nonresponse-Analyse	172
8.6	Sensitivitätsanalysen I: Verteilung von Personenmerkmalen über Luftverkehrsgeräuschpegelklassen und deren Effekte auf Belästigung,	

berichtete Schlafstörungen und die allgemeine Gesundheitswahrnehmung (SF8-Score GH)	174
8.6.1 Verteilung über Luftverkehrsgeräuschpegelklassen	175
8.6.2 Effekt auf die Fluglärmelastigung	181
8.6.3 Effekt auf berichtete fluglärmbedingte Schlafstörungen	187
8.6.4 Effekt auf den allgemeinen Gesundheitsstatus	193
8.6.5 Schlussfolgerung zu den Zusammenhängen zwischen Personenmerkmalen, der Luftverkehrsgeräuschpegelbelastung und den abhängigen (Ziel-) Variablen	199
9 Überblick über Kapitel 9	201
9.1 Luftverkehrsgeräuschexposition	202
9.1.1 Verwendete akustische Parameter für die Luftverkehrsgeräuschexposition	202
9.1.2 Luftverkehrsgeräuschexposition in der Panelstudie Rhein-Main	203
9.1.3 Veränderung der Luftverkehrsgeräuschexposition in der Rhein-Main Region	208
9.1.4 Luftverkehrsgeräuschexposition an den Vergleichsflughäfen	213
9.2 Fluglärmelastigung	217
9.2.1 Übersicht zum Abschnitt 9.2	217
9.2.2 Deskriptive Statistik zur Fluglärmelastigung in der Panelstudie Rhein-Main	217
9.2.3 Fluglärmelastigung vor und nach Eröffnung der Northwest-Landebahn	218
9.2.4 Fluglärmelastigung am Flughafen Frankfurt zu verschiedenen Tageszeiten	222
9.2.5 Fluglärmelastigung an den untersuchten Flughafenstandorten im Vergleich	227
9.3 Berichtete fluglärmbedingte Schlafstörungen	230
9.3.1 Übersicht zum Abschnitt 9.3	230
9.3.2 Deskriptive Statistik zu berichteten fluglärmbedingten Schlafstörungen in der Panelstudie Rhein-Main	230
9.3.3 Berichtete fluglärmbedingte Schlafstörungen in Abhängigkeit der Veränderung der Luftverkehrsgeräuschexposition nach Eröffnung der Northwest-Landebahn	232
9.3.4 Fluglärmbedingte Schlafstörungen an den untersuchten Flughafenstandorten im Vergleich	238

9.4	Gesundheitsbezogene Lebensqualität und Geräuschexposition durch Luftverkehr	241
9.4.1	Gesundheitsbezogene Lebensqualität an den untersuchten Flughäfen im Vergleich zu Normwerten.....	241
9.4.2	Gesundheitsbezogene Lebensqualität am Flughafen Frankfurt vor und nach Eröffnung der Nordwest-Landebahn	246
9.4.3	Gesundheitsbezogene Lebensqualität an den untersuchten Flughafenstandorten im Vergleich	255
9.5	Auswahl von Co-Determinanten für die Expositions-Wirkungsmodelle.....	257
9.5.1	Auswahl von Co-Determinanten für die Modelle zur Lärmbelästigung	257
9.5.2	Auswahl von Co-Determinanten für die Modelle zu berichteten verkehrslärmbedingten Schlafstörungen	268
9.5.3	Auswahl von Co-Determinanten für die Modelle zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität	271
9.6	Expositions-Wirkungsmodelle zur Fluglärmelastigung	278
9.6.1	Übersicht über die berechneten Modelle zur Fluglärmelastigung ...	278
9.6.2	Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Grad der Fluglärmelastigung.....	280
9.6.3	Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Prozentanteil hoch durch Fluglärm belastigter Personen (HA-Anteil)	290
9.7	Expositions-Wirkungsmodelle zu berichteten fluglärmbedingten Schlafstörungen	294
9.7.1	Übersicht über die berechneten Modelle zu berichteten fluglärmbedingten Schlafstörungen.....	294
9.7.2	Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Grad der fluglärmbedingten Schlafstörungen.....	296
9.7.3	Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Prozentanteil hoch durch Fluglärm schlafgestörter Personen (HSD-Anteil)	305
9.8	Expositions-Wirkungsmodelle zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität (SF8-Scores MCS, PCS).....	309
9.8.1	Ergebnisse zur psychischen Lebensqualität (SF-8 psychischer Summenscore MCS).....	311
9.8.2	Ergebnisse zur körperlichen Lebensqualität (SF-8 körperlicher Summenscore PCS)	316
9.9	Wahrnehmung und Bewertung von Schallschutzmaßnahmen am Flughafen Frankfurt	321

9.9.1	Häufigkeiten der Antworten/Nennungen	323
9.9.2	Häufigkeiten der Nennungen nach Klassen des 24-Stunden-Mittelungspegels.....	326
9.9.3	Bewertung der Wirksamkeit auf die eigene Wohnsituation	329
9.10	Zusammenführung der Ergebnisse zur Wirkung von Fluglärm	330
10	Vertiefende Längsschnittanalysen zur Wirkung von Fluglärm am Flughafen Frankfurt vor und nach Eröffnung der Nordwest-Landebahn (2011 bis 2013).....	336
10.1	Verfahren der Längsschnittanalysen: Latente Wachstumskurvenmodelle	336
10.2	Veränderungseffekte in der Fluglärmbelästigung	341
10.3	Veränderungseffekte in der fluglärmbedingten Schlafstörungen	358
10.4	Veränderungseffekte in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität - "psychische Lebensqualität" (SF8 MCS)	374
10.5	Veränderungseffekte in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität- "körperliche Lebensqualität" (SF8 PCS)	387
10.6	Vergleich des Anteils hoch fluglärmbelästigter Personen in dieser Studie mit den Ergebnissen der RDF-Belästigungsstudie von 2005	396
11	Wirkungsanalysen zum Straßenverkehrslärm, Rhein-Main-Gebiet (Studie QS Straße)	400
11.1	Überblick über Kapitel 11	400
11.2	Straßenverkehrsgeräuschexposition.....	400
11.3	Deskriptive Statistik zu den Zielvariablen in der Teilstudie QS Straße	402
11.4	Expositions-Wirkungsbeziehung zur Belästigung durch Straßenverkehrslärm ..	407
11.5	Expositions-Wirkungsbeziehung zu straßenverkehrslärmbedingte Schlafstörungen	411
11.6	Gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF8) und Straßenverkehrsgeräuschexposition.....	416
12	Wirkungsanalysen zum Schienenverkehrslärm, Rhein-Main-Gebiet (Studie QS Schiene).....	422
12.1	Überblick über Kapitel 12	422
12.2	Schienenverkehrslärmexposition	422
12.3	Deskriptive Statistik zu den Zielvariablen in der Teilstudie QS Schiene	424
12.4	Expositions-Wirkungsbeziehung zur Belästigung durch Schienenverkehrslärm.....	428
12.5	Expositions-Wirkungsbeziehung zu schienenverkehrslärmbedingten Schlafstörungen	432

12.6	Gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF8) und Schienenverkehrsgeräuschexposition	436
13	Zusammenführung der bisherigen Ergebnisse zur Wirkung von Verkehrslärm im Rhein-Main-Gebiet	442
14	Weitere Effekte von Verkehrslärm	449
14.1	Überblick über Kapitel 14	449
14.1.1	Aktivitätsstörung	449
14.1.2	Psycho-vegetative Störungen	455
14.1.3	Lärmbewältigungsvermögen	458
14.1.4	Allgemeine subjektive Schlafqualität der letzten 4 Wochen.....	461
14.1.5	Wohnzufriedenheit	464
14.1.6	Wahrnehmung der Veränderungen: Erwartungen, Einstellungen.....	468
15	Expositions-Wirkungsanalysen zur kombinierten Verkehrsgeräuschexposition	474
15.1	Überblick über Kapitel 15	474
15.2	Wirkungsanalysen zur Kombination Luft- plus Schienenverkehrsgeräusche	474
15.2.1	Stichprobenverteilung	474
15.2.2	Geräusch-Exposition	477
15.2.3	Gesamtlärmbelästigung durch Luft- plus Schienenverkehrsgeräusche.....	478
15.2.4	Expositions- Wirkungsmodelle zur kombinierten Verkehrsgeräuschexposition durch Luft- und Schienenverkehr	483
15.3	Wirkungsanalysen zur Kombination Luft- plus Straßenverkehrsgeräusche	489
15.3.1	Stichprobenverteilung	489
15.3.2	Geräusch-Exposition	492
15.3.3	Gesamtlärmbelästigung durch Luft- und Straßenverkehrsgeräusche	493
15.3.4	Expositions- Wirkungsmodelle zur kombinierten Verkehrsgeräuschexposition durch Luft- und Straßenverkehr	498
15.4	Fazit aus den Untersuchungen zur kombinierten Verkehrsgeräusch-Exposition.....	503
16	Sensitivitätsanalysen zur Response und zur Robustheit der Ergebnisse	505
16.1	Sensitivitätsanalysen II: Effekt der Anpassungsgewichtung der Panelstichprobe Rhein-Main bedingt durch Nonresponse und Panelmortalität	505
16.1.1	Querschnittgewichtung.....	505
16.1.2	Längsschnittgewichtung	506

16.1.3	Effekt der Gewichtung der Panelstichprobe der dritten Erhebungswelle auf die Fluglärmelastigung.....	519
16.1.4	Effekt der Gewichtung der Panelstichprobe der dritten Erhebungswelle auf fluglärmbedingte Schlafstörungen.....	522
16.1.5	Effekt der Gewichtung der Panelstichprobe der dritten Erhebungswelle auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF8).....	524
16.1.6	Fazit zum Effekt der Gewichtung der Panelstichprobendaten.....	527
16.2	Sensitivitätsanalysen III: Vergleich der Expositions-Wirkungsbeziehungen der Teilnehmenden aller Erhebungswellen mit der vollen Teilnehmerzahl pro Erhebungswelle in der Panelstudie Rhein-Main.....	528
16.2.1	Gegenstand der Vergleichsanalysen in der Panelstichprobe Rhein-Main	528
16.2.2	Einfluss von Ausfällen im Rhein-Main Panel auf die Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Fluglärmelastigung, zu Schlafstörungen und zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität	529
16.3	Sensitivitätsanalysen IV: Vergleich der Expositionswirkungsbeziehungen aus Basis- und erweiterten Modellen	533
16.3.1	Expositions-Wirkungsbeziehungen zur Fluglärmelastigung.....	533
16.3.2	Expositions-Wirkungsbeziehungen zu fluglärmbedingten Schlafstörungen.....	538
16.3.3	Expositions-Wirkungsbeziehungen zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität.....	543
16.3.4	Fazit aus dem Vergleich von Expositions-Wirkungsbeziehungen aus Basis- und erweiterten Modellen	548
16.4	Sensitivitätsanalysen V: Fluglärmelastigung und berichtete Schlafstörungen der Panelteilnehmenden in 2013 versus Neurekruitierte in 2013 (Rhein-Main-Gebiet)	549
IV.	Diskussion, Fazit	554
17	Diskussion der Ergebnisse	555
17.1	Aufgabenstellung und Teilstudien	555
17.2	Fluglärm: Zeit- und Standortvergleich.....	557
17.3	Vergleich von Flug-, Schienen- und Straßenverkehrslärm	562
17.4	Wirkung kombinierter Verkehrsgeräuschexposition.....	564
17.5	Gesundheitsbezogene Lebensqualität und Lärmelastigung	565
17.6	Weitere Wirkungen von Verkehrslärm	567
17.7	Nicht-akustische Einflussgrößen	568

17.8	Limitationen der Studie.....	569
17.8.1	Beteiligung in der Studie	569
17.8.2	Verallgemeinerbarkeit der Expositions-Wirkungsbeziehungen zum Schiene- und Straßenverkehrslärm	574
17.8.3	Vergleichbarkeit der Stichproben.....	574
17.9	Stärken der Studie.....	575
18	Schlussbemerkung	577
V.	Verzeichnisse, Glossar	579
	Literaturverzeichnis	580
	Abbildungsverzeichnis.....	598
	Tabellenverzeichnis	609
	Erläuterungen und Glossar	623
	Erläuterungen zu gewählten Schallpegelbezeichnungen	623
	Glossar, Abkürzungsverzeichnis	625
	Danksagung	629

Zusammenfassung

Diese Studie "**Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität**" ist Teil des Forschungsverbundprojekts NORAH (Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health). Sie wurde im Zeitraum von 2011 bis 2013 in der Rhein-Main Region am Flughafen Frankfurt (FRA) durchgeführt sowie in Teilen auch vergleichend an den Flughäfen Köln/Bonn (CGN), Stuttgart (STR) und Berlin-Brandenburg (BER, vor Fertigstellung des Ausbaus des Regionalflughafens Berlin-Schönefeld und Eröffnung als Flughafen BER).

Zu den Hauptzielen der Studie zählen die Erstellung bzw. Aktualisierung von Expositions-Wirkungs-Beziehungen zwischen akustischen und psychologischen Variablen - d. h. adressgenau berechneten Parametern der chronischen akustischen Belastung durch Geräusche vom Straßen-, Schienen- und Luftverkehr einerseits und Antworten von betroffenen Anwohnenden in Befragungen hinsichtlich Lärmbelästigung, erlebten Störungen und Lebensqualität andererseits. Die Studie geht dabei von einem stresstheoretischen Ansatz aus, wonach Stress dadurch definiert ist, dass eine akute Umweltaforderung (Verkehrsgläusche) die psychologischen und physiologischen Regulationsmöglichkeiten eines Menschen überschreitet, insbesondere in Situationen, die Unvorhersehbarkeit und Unkontrollierbarkeit einschließen (vgl. Lazarus & Launier, 1978; Koolhaas et al., 2011).

Die Studie stellt eine **kombinierte sozio-akustische Längs- und Querschnittsstudie** dar. Die Studienregionen wurden an den Flughäfen jeweils durch die umhüllende Kontur der Tages- und Nachtdauerschallpegel in Höhe von 40 dB für Luftverkehr eingegrenzt. Alle Wohnadressen mit einer Luftverkehrsgeräuschbelastung größer oder gleich der Umhüllenden von $L_{pAeq,06-22h}$ und $L_{pAeq,22-06h}$ von 40 dB wurden in die Stichprobenziehung einbezogen.

Die Studie umfasst eine Panelbefragung von Anwohnenden im Rhein-Main-Gebiet im Jahr 2011 vor Inbetriebnahme der Landebahn Nordwest am Flughafen Frankfurt im Oktober 2011 sowie wiederholt in den Jahren 2012 und 2013. Für die Wohnadresse jeder befragten Person wurden zu jeder Erhebungswelle quellenspezifische Mittelungs- und Maximalpegel zur Kennzeichnung der langfristigen (12-Monats-) Geräuschbelastung durch Luft-, Straßen- und Schienenverkehr berechnet. Weitere in der Rhein-Main Region in 2012 durchgeführte vergleichende Querschnittserhebungen (einmalige Erhebungen) beziehen sich auf Straßen- und Schienenverkehrslärm und die kombinierte Wirkung von Flug- und Straßenverkehrslärm bzw. Flug- und Schienenverkehrslärm. Bei den Befragungen und adressgenauen Berechnungen der Verkehrsgeräuschbelastungen an den Flughäfen BER (2012), CGN (2013) und STR (2013) handelt es sich jeweils um einmalige Querschnittserhebungen. Die Befragungen fanden überwiegend als Telefoninterviews statt, 11 bis 18 % nutzten die optionale Möglichkeit der Online-Teilnahme mit dem jeweils gleichen Befragungsinstrument. Für die Gewinnung der teilnehmenden Personen wurden anhand von Einwohnermelde- und Gebäudadressdaten geschichtet nach Verkehrsgeräuschpegeln (umhüllende Kontur des Dauerschallpegels für die Tages- und Nachtzeit) mehrere Stichproben in der Rhein-Main Region und je eine Stichprobe an den Vergleichsflughäfen gezogen und mit recherchierten Tele-

fonrufnummern aus Telefonregistern verknüpft. Am Flughafen Stuttgart erfolgte die Stichprobenziehung in Ermangelung verfügbarer Einwohnermeldedaten anhand von Gebädeadress- und Telefonnummerdaten. Die ausgewählten Personen erhielten vor Befragungsbeginn Informationsschreiben mit Angaben zur Untersuchung und der Bitte um Teilnahme. Zu dem Erhebungsverfahren liegen von den zuständigen Datenschutzbehörden Voten vor, die die Einhaltung der Datenschutz- und -sicherheitsbestimmungen bestätigen. Im Rhein-Main-Gebiet beträgt die Zahl der Untersuchungsteilnehmenden 18.757, die teils mehrfach befragt wurden, an den übrigen Vergleichsflughäfen insgesamt 10.482 Personen.

Die Studie zeigt, dass die Expositions-Wirkungskurve zur **Lärmbelästigung** durch Fluglärm bezogen auf den 24-Stunden-Dauerschallpegel am Flughafen Frankfurt nach Eröffnung der Landebahn Nordwest im Oktober 2011 nach oben verschoben ist. Das heißt, die befragten Anwohnenden reagieren insgesamt bei gleicher Luftverkehrsgeräuschexposition (24-Stunden-Mittelungspegel $L_{pAeq,24h}$), im ersten Jahr nach der Landebahneröffnung mit höheren Fluglärmbelästigungswerten als 2011 vor der Inbetriebnahme der neuen Landebahn. Im Jahr 2012 liegt der Anteil der hoch durch Fluglärm belästigten Personen (%HA; *highly annoyed*) am Flughafen Frankfurt je nach Höhe der Mittelungspegel um 2 bis 5 % höher als 2011. Die Fluglärmbelästigung in 2013 liegt zwischen der von 2011 und 2012. Zu den Veränderungen zwischen den Jahren im Grad der Fluglärmbelästigung bzw. dem Anteil hoch belästigter Personen bei gleichen Mittelungspegeln tragen vor allem das Lärmbewältigungsvermögen und die Erwartungen zu den künftigen Auswirkungen des Flugbetriebs bei. Ein größerer Belästigungsunterschied zeigt sich allerdings im Vergleich mit der Fluglärmwirkungsstudie am Flughafen Frankfurt in 2005 im Auftrag des Regionalen Dialogforum Flughafen Frankfurt (RDF) - der "RDF-Belästigungsstudie" (Schreckenberget al., 2010b). Bereits im Jahr 2011, vor Inbetriebnahme der neuen Landebahn, liegt der %HA-Anteil um eine Differenz von 15 - 20 % höher als in der RDF-Belästigungsstudie. Zu berücksichtigen ist dabei, dass einige Flugrouten schon im März 2011 geändert wurden, bevor die NORAH-Untersuchungen beginnen konnten (Anpassung der Gegenanflüge, Verlagerung der Eindrehbereiche sowie Absenkung des Luftraumes). Die Änderung der Geräuschexposition erfolgte demnach nicht abrupt am Tag der Inbetriebnahme der Landebahn Nordwest, sondern impliziert einen sukzessiven Prozess.

Der %HA-Anteil ebenso wie die durchschnittliche Fluglärmbelästigung ist am Flughafen Frankfurt in allen untersuchten Jahren 2011 bis 2013 höher als an den **Vergleichsflughäfen**. Auffälliger sind aber die Unterschiede im Anstieg der Expositions-Wirkungs-Kurven zwischen den Flughäfen, d. h. der unterschiedlich starke Zusammenhang zwischen dem Mittelungspegel und den Fluglärmbelästigungsurteilen. Unterschiede zwischen den Flughäfen bezüglich der Zahl und tageszeitlichen Verteilung der Flugbewegungen können die Belästigungsdifferenzen nicht erschöpfend erklären. Neben den operativen und akustischen Bedingungen stehen auch nicht-akustische Kontextfaktoren (personale, situative und soziale Faktoren) - bei allen Verkehrsarten - im Zusammenhang mit den Belästigungsurteilen. Hierzu zählen die individuelle Lärmempfindlichkeit sowie die Einstellung zur Lärmquelle (Bewertung der jeweiligen Verkehrsart als "nützlich" oder "umweltschädigend"). Das Einflussgewicht dieser Faktoren im Expositions-Wirkungsmodell zur Fluglärmbelästigung ist

an den untersuchten Flughäfen unterschiedlich ausgeprägt, am höchsten an den Flughäfen Köln/Bonn und Frankfurt, am geringsten am Flughafen Stuttgart. Es ist möglich, dass unterschiedliche "Flughafenhistorien" bzw. Unterschiede im regionalgesellschaftlichen Diskurs über den Flughafen und dessen Betrieb die Einflussstärken der nicht-akustischen Faktoren und damit auch den Anteil des Geräuschpegels an der Erklärung der Lärmbelästigung verändern. Dies lässt sich allerdings anhand der Daten der Studie nicht erschöpfend aufklären, dazu bedürfte es einer längerfristigen Beobachtung der Lärmwirkungen (Längsschnittstudie) an mehreren und nicht nur an einem Flughafen.

Im **Vergleich der Quellenarten** zeigt sich, dass die Luftverkehrsgeräuschbelastung bei gleichem Mittelungspegel mit einer höheren Lärmbelästigung assoziiert ist als die Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschexposition. Dies entspricht den Ergebnissen früherer Originalstudien und Sekundäranalysen zur Lärmbelästigung. Straßen- und Schienenverkehrslärm unterscheiden sich in der Belästigung in dem untersuchten Geräuschpegelbereich kaum, bei höheren Mittelungspegeln ($L_{pAeq,24h} > 65$ dB) allerdings erweist sich der Schienenverkehrslärm gegenüber dem Straßenverkehrslärm als belästigender. Bei **kombinierter Verkehrslärmbelastung** erweist sich der Fluglärm als dominierender Einflussfaktor auf die Gesamtlärmbelästigung. Nicht der energetisch aufsummierte Gesamtdauerschallpegel und auch nicht die im Geräuschpegel dominierende Lärmquelle erweisen sich als maßgebend für die Gesamtlärmbelästigung, sondern die in der Belästigung dominierende Lärmquelle (hier: Luftverkehrsgeräuschbelastung).

Bei den berichteten fluglärmbedingten **Schlafstörungen** ist eine Veränderung am Flughafen Frankfurt 2012 und 2013 gegenüber 2011 erkennbar, die auf die Einführung der Kernruhezeit von 23 bis 05 Uhr im Oktober 2011 zurückgeführt werden kann: In 2011 ist der Grad der berichteten Schlafstörungen bei gleichem Mittelungspegel für die Nachtzeit von 22 bis 06 Uhr am Flughafen Frankfurt deutlich höher als an den Vergleichsflughäfen, auch höher als am Flughafen Köln/Bonn, obwohl dieser mit 30 % der Flugbewegungen den höchsten relativen Nachtfluganteil unter den untersuchten Flughäfen aufweist (Frankfurt: 10 % in 2011, 8 % in 2012 und 7 % in 2013). In den Folgejahren, nach Einführung der Kernruhezeit sinkt bei gleichem Nacht-Mittelungspegel der Grad der Schlafstörungen sowie der Anteil der hoch durch Fluglärm schlafgestörten Personen (%HSD, *highly sleep disturbed*). Der Rückgang der Schlafstörungen bei gleichem Nachtpegel bezieht sich allerdings nur auf Störungen des Nachtschlafs bzw. Störungen beim Durchschlafen. Die berichteten Störungen durch Fluglärm in der Einschlafphase sind dagegen nicht zurückgegangen, die für die Aufwachphase berichteten Schlafstörungen haben zugenommen. Wie auch bei der Lärmbelästigung sind die berichteten Schlafstörungen beim Fluglärm bei gleichem Mittelungspegel höher als beim Schienen- und Straßenverkehrslärm. Die bei der Lärmbelästigung festgestellten Unterschiede zwischen den Verkehrslärmquellenarten zeigen sich in gleicher Reihenfolge auch bei den berichteten lärmbedingten Schlafstörungen.

Verkehrslärm hat in dieser Studie einen kleinen aber statistisch signifikanten Effekt auf die berichtete **gesundheitsbezogene psychische wie körperliche Lebensqualität**. Soweit ein solcher Effekt erkennbar ist, scheint dieser über die Lärmbelästigung vermittelt zu sein, d.

h. danach ist eine höhere Lärmbelastigung mit einer niedrigeren gesundheitsbezogenen Lebensqualität assoziiert. Dies gilt für alle Verkehrslärmquellenarten gleichermaßen.

Mit zunehmender Geräuschbelastung durch Luft-, Schienen- und Straßenverkehr ergeben sich die folgenden **weiteren Wirkungen**: Zunehmende Intensität von berichteten Aktivitätsstörungen am Tage (Kommunikation, Ruhe und Konzentration), Abnahme der Zufriedenheit mit der Wohngegend, Abnahme im Vertrauen um das Bemühen von verantwortlichen Institutionen. Beim Fluglärm kommen hinzu: Zunahme an negativen Erwartungen zum künftigen Flugbetrieb am Flughafen und Abnahme der wahrgenommenen prozeduralen Fairness im Entscheidungsprozess zum Flughafenbetrieb mit zunehmender Geräuschexposition. Ursprünglich waren Vertrauen, Erwartungen und Fairness als Einflussgrößen der Lärmbelastigung, insbesondere der Fluglärmelastigung im Zusammenhang mit dem Ausbau des Frankfurter Flughafens, konzipiert. Aufgrund der Korrelation dieser Variablen mit dem Geräuschpegel durchgeführte Mediatoranalysen stützen allerdings die Annahme, dass diese Einstellungs- und Erwartungsvariablen in der Querschnittsbetrachtung eher eine Sekundärreaktion auf den Verkehrslärm darstellen. In den Längsschnittanalysen zeigt sich allerdings, dass diese Variablen einen Mediatoreffekt auf die in Folgebefragungen erhobene Lärmbelastigung ausüben.

In dieser Studie betragen die erzielten Quoten der **Befragungsteilnahme** (vollständige Interviews bzw. ausgefüllte Onlinefragebögen) zwischen 7 und 31 % bezogen auf die Zahl der versandten Schreiben und zwischen 17 und 31 % bezogen auf die verfügbaren Telefon- und Email-Kontaktdaten. Diese Teilnahmequoten sind niedrig und geben Anlass zu einer umfassenden Non-Responder-Analyse und Prüfung der Abschätzung einer möglichen responsebedingten Verzerrung auf die Ergebnisse. Die zur Prüfung der möglichen Verzerrungseffekte durch Non-Response durchgeführten Sensitivitätsanalysen umfassen: Verteilungsprüfungen von Personenmerkmalen über Geräuschpegelklassen; Prüfung des Zusammenhangs mit den Zielvariablen (Lärmbelastigung, Schlafstörungen, Lebensqualität); Vergleich von Expositions-Wirkungsmodellen unter Ein- vs. Ausschluss von relevanten Personenmerkmalen; Vergleich von Modellen mit ungewichteten Befragungsdaten vs. Modellen mit den gleichen Daten, gewichtet nach verfügbaren relevanten populationsbeschreibenden Zensusdaten der Studienregionen; Einsatz eines Bootstrap-Verfahrens für zentrale Expositions-Wirkungsmodelle. Mit letzterem Verfahren lässt sich die Robustheit der jeweiligen Expositions-Wirkungs-Modellierung an einer großen Anzahl von "Bootstrap"-Stichproben (hier: 5.000) aus der Gesamtstichprobe in verschiedenen Teilstichproben auch ohne Kenntnis von Populationsinformationen abschätzen. Es zeigt sich, dass - trotz vorliegender Unterschiede in der Verteilung von Personenmerkmalen in den Stichproben und der jeweils zugrundeliegenden Population - die Expositions-Wirkungsbeziehungen für die verkehrslärmbedingten Lärmbelastigungen, berichteten Schlafstörungen und möglichen Lebensqualitätsbeeinträchtigungen eine hohe Robustheit aufweisen. Sie können als verallgemeinerbar auf die jeweilige Studienregion (Flughafenstandort) betrachtet werden.