



Gesamtstellungnahme des WBQ zur NORAH-Studie - Gesamtbetrachtung

Schriftleitung: Prof. Dr. Jürgen Hellbrück

Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld Band 7: Gesamtbetrachtung des Forschungsprojekts NORAH

Autoren:

Rainer Guski

Ruhr-Universität Bochum
44780 Bochum

Dirk Schreckenber

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

Inhalt

Das NORAH-Forschungsverbundprojekt	3
<hr/>	
1 Überblick über den Berichtsband 7 „Gesamtbetrachtung des Forschungsprojekts NORAH“	4
<hr/>	
1.1 Gliederung und Kurzdarstellung des Berichts	4
1.2 Inhaltliche Beschreibung der Kapitel	5
2 Bewertung durch den WBQ	15
<hr/>	
2.1 Der WBQ - Zusammensetzung, Aufgaben und Funktion	15
2.2 Gesamteindruck	15
2.3 Stellungnahme des WBQ zur Berechnung der akustischen Expositionsdaten und zu den einzelnen Lärmwirkungs-Teilstudien	18
2.4 Generalisierbarkeit des NORAH-Forschungsverbundprojektes und Fazit	25
3 Empfehlung des WBQ	27
<hr/>	
<hr/>	

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.

Das NORAH-Forschungsverbundprojekt

Das Forschungsverbundprojekt NORAH („Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health“) ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt zur Untersuchung der Auswirkungen von Verkehrslärm – d.h. Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm – auf die Bevölkerung. Das Projekt 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 und Personen 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: Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Grundschulkindern (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 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, Straussberg: Erfassung der akustischen Expositionsdaten 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: Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive

Entwicklung und Lebensqualität von Grundschulkindern (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, Jördis Wothge).
- Sozialwissenschaftliches Umfragezentrum GmbH (SUZ Duisburg) zusammen mit ZEUS GmbH: Wirkungen von Verkehrslärm auf Lärmbelästigung und Lebensqualität (Frank Faulbaum, Lars Ninke).
- ZEUS GmbH, Hagen, zusammen mit Ruhr-Universität Bochum und SUZ Duisburg sowie in Kooperation mit TU Kaiserslautern: Wirkungen von Verkehrslärm auf Lärmbelästigung und Lebensqualität sowie Projektkoordination (Dirk Schreckenber, Christin Peschel, Jördis Wothge, Jan Spilski).

Die hier vorliegende Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats Qualitätssicherung (WBQ) bezieht sich auf die vom Koordinationsteam dargelegte abschließende Gesamtschau der NORAH-Studie.

1 Überblick über den Berichtsband 7 „Gesamtbetrachtung des Forschungsprojekts NORAH“

1.1 Gliederung und Kurzdarstellung des Berichts

Berichtsband 7 „Gesamtbetrachtung“ umfasst 100 Seiten einschließlich eines vierseitigen Literaturverzeichnisses. Der Textteil enthält ein Inhaltsverzeichnis und beginnt mit einer deutschen und englischen Zusammenfassung. Der Text ist untergliedert in neun Hauptkapitel.

Kapitel 1 enthält eine Einführung mit einer kritischen Diskussion des Gesundheitsbegriffes und der Beschreibung der gesundheitswissenschaftlichen und organisatorischen Konzeption des NORAH-Forschungsverbundprojektes.

Es folgt in Kapitel 2 die Darstellung der Ziele des Forschungsverbundprojektes, gegliedert nach übergeordneten Zielen und den Zielen, die in den einzelnen Modulen bzw. Teilprojekten verfolgt wurden. Es handelt sich im Forschungsverbundprojekt NORAH um drei Module. Modul 1 hat „Wirkungen von Verkehrslärm auf Lärmbelästigung und Lebensqualität“ zum Thema. Thema von Modul 2 ist (medizinisch-somatische) Gesundheit. Modul 2 ist in drei Teilstudien untergliedert, nämlich eine „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung“, eine Studie „Blutdruckmonitoring: Wirkungen chronischer Lärmbelastung auf den Blutdruck bei Erwachsenen“ und eine Studie „Auswirkungen von Fluglärm auf den nächtlichen Schlaf“. Das drit-

te Modul hat zum Thema „Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Grundschulkindern“. Das Kapitel 2 schließt mit der zusammenfassenden Zielsetzung, nämlich der modulübergreifenden „Erfassung der Verkehrsgeräuschexpositionen und ihren Wirkungen“.

In Kapitel 3 werden die an dem Forschungsverbundprojekt beteiligten Arbeitsgruppen mit ihren jeweiligen Zuständigkeitsbereichen aufgelistet.

In dem ca. 25 Seiten umfassenden Kapitel 4 wird die Methodik beschrieben, die im NORAH-Forschungsverbundprojekt zur Anwendung kommt. Das Kapitel beginnt mit grundsätzlichen Überlegungen zur Abhängigkeit der Ergebnisse von der Art der Fragestellung und der Untersuchungsmethoden und beschreibt anschließend die Fragestellungen der einzelnen Teilstudien. Ein weiteres Unterkapitel ist dem Analyseansatz – keine der Teilstudien ist als Laborstudie konzipiert, alle beziehen sich auf Menschen, die in den Studienregionen in unterschiedlichem Maße durch Verkehrslärm belastet werden –, der räumlichen Eingrenzung der Studienregion sowie der Vorgehensweise bei der Rekrutierung der Untersuchungsteilnehmer und der Stichprobenziehung in den einzelnen Teilstudien gewidmet. Im letzten Unterkapitel werden die Untersuchungs- und Datenerhebungsmethoden in den jeweiligen Teilstudien beschrieben.

Das Kapitel 5 ist dem Thema „Zentrale Ergebnisse“ gewidmet. Auf ca. 35 Seiten werden Ergebnisse der einzelnen Teilstudien dargestellt und anschließend jeweils hinsichtlich ihrer Bedeutung bewertet.

In Kapitel 6 wird die wichtige Frage aufgeworfen, inwieweit die aus den NORAH-Untersuchungen gewonnenen Aussagen verallgemeinerbar sind, also inwieweit von den untersuchten Stichproben in den einzelnen Modulen auf die jeweils definierten Populationen geschlossen werden darf.

In Kapitel 7 werden die Stärken und Besonderheiten des NORAH-Forschungsverbundprojektes, allgemein und auf die einzelnen Teilstudien bezogen, im Spiegel vergleichbarer Untersuchungen dargestellt. In Kapitel 8 werden die Herausforderungen dieses Projekts beschrieben.

Der Gesamtbericht schließt mit einem Fazit (Kap. 9).

1.2 Inhaltliche Beschreibung der Kapitel

Kapitel 1: „Einführung“

Nach kritischen Überlegungen zur Problematik von Gesundheitsdefinitionen präferieren die Autoren eine von dem Gesundheitswissenschaftler Klaus Hurrelmann stammende Definition, die besagt: *„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.“* Sie ver-

weisen auf die Ähnlichkeit dieser Definition mit modernen Stresdefinitionen und auf die Kompatibilität dieser Definition mit der gesundheitsbezogenen Lärmwirkungsforschung. Sie nehmen anschließend Bezug auf den von der WHO 2011 veröffentlichten Bericht über die Anzahl beschwerdefreier Lebensjahre, die aufgrund von Umweltlärm verloren gehen, und legen dar, dass (bis auf Tinnitus) alle in dem WHO-Bericht genannten lärmbedingten Krankheiten und Beeinträchtigungen in der NORAH-Studie berücksichtigt wurden. Sie begründen anschließend ein an die transaktionale Stresstheorie von Lazarus angelehntes Rahmenmodell als theoretische Grundlage der NORAH-Forschungsverbundstudie.

Kapitel 2: „Ziele des Forschungsprojektes“

Die übergeordnete Zielsetzung des NORAH-Forschungsverbundprojektes ist, eine wissenschaftlich abgesicherte Beschreibung der Wirkung von Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm auf die Gesundheit und Lebensqualität der in der Region Frankfurt lebenden Bevölkerung zu erstellen. Dabei ergibt sich die in einigen Teilprojekten wiederkehrende Frage, ob die Verkehrslärmsituation im dicht besiedelten Rhein-Main-Gebiet mit anderen deutschen Regionen vergleichbar ist und wie sich die Änderung der Situation durch die neue Landebahn in 2011 am Flughafen Frankfurt auf die dortige Bevölkerung im Vergleich zu sog. Bestandsflughäfen auswirkt.

Hauptziele des Moduls 1 „Lärmbelastung und Lebensqualität“ sind, die Beziehungen zwischen chronischer Verkehrslärmbelastung einerseits und berichteter Lärmbelastung und Aussagen zur Lebensqualität andererseits zu eruieren und als Expositions-Wirkungsbeziehungen darzustellen. Dabei sollen Tag-Nacht-Vergleiche gezogen werden, ferner Vergleiche zu den Flughäfen Berlin-Brandenburg, Köln/Bonn und Stuttgart. Darüber hinaus soll untersucht werden, wie sich Mehrfachbelastungen durch Flug-, Straßen- und Schienenverkehr auf die Lärmbelastungsurteile der Bevölkerung auswirken und welche Beziehungen zwischen berichteter Lärmbelastung und berichteter Lebensqualität bestehen. Persönlichen, sozialen und situativen Faktoren soll ebenfalls Rechnung getragen werden.

Das Ziel des Moduls 2 „Gesundheit“ besteht darin, (1) durch eine sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung die mit chronischer Verkehrslärmbelastung zusammenhängenden Risikoerhöhungen für Herz-Kreislaufkrankungen (Herzinfarkt, Schlaganfall, Herzinsuffizienz), unipolare depressive Störungen und Brustkrebs bei Frauen zu untersuchen. Durch eine zusätzliche vertiefende Befragung soll dabei auch die Bedeutung wichtiger potentieller Confounder (also nicht mit Lärm zusammenhängende, aber ebenfalls pathogene Faktoren wie bspw. Rauchen) ermittelt werden. Auch verkehrsbedingte Innen- und Außenpegel sollen in ihrer Wirkung auf Herz-Kreislauftrisiken miteinander verglichen werden. (2) In der Teilstudie „Blutdruckmonitoring“ soll durch Blutdruckmessungen bei freiwilligen Probanden die Wirkung von chronischer Verkehrslärmbelastung auf Blutdruckerhöhungen untersucht sowie das 10-

Jahres-Herzinfarkttrisiko abgeschätzt werden. (3) Ziel der Teilstudie „Schlafqualität“ ist, Lärmexpositions-Wirkungskurven zu flugverkehrsbedingten Aufwachreaktionen am Flughafen Frankfurt mit solchen des Flughafens Köln/Bonn zu vergleichen. Außerdem sollen flugverkehrsbedingte Aufwachreaktionen in der Region um den Flughafen Frankfurt im Zeitverlauf zwischen 2011 und 2012 untersucht werden, da 2011 eine neue Kernruhezeit (d.h. ein Nachtflugverbot von 23:00 bis 05:00 Uhr) in Kraft trat. Ferner sollte ein Vergleich zwischen verschiedenen Chronotypen angestellt werden. Dabei handelte es sich um zwei Gruppen, von denen die eine zwischen 22:30 und 23:00 Uhr zu Bett ging und zwischen 6:00 und 6:30 Uhr aufstand, während die Bettzeit der anderen Gruppe um eine Stunde nach hinten verschoben war.

Im Modul 3 „Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“ geht es um die Frage, wie sich chronische Belastungen durch Luftverkehrsgeräusche auf die Leseleistung von Grundschulkindern sowie auf deren leserelevante kognitive Vorläuferfertigkeiten (z.B. Kurzzeitgedächtnis) auswirken. Ferner werden Befragungen zur Lebensqualität der Kinder durchgeführt. Ziel ist auch hier die Erstellung von Lärmexpositions-Wirkungskurven.

Wichtige Grundlage aller Teilstudien ist die genaue Ermittlung der akustischen Expositionen durch die verschiedenen Verkehrslärmarten. Für die Teilstudien wurde individuell und adressgenau eine Vielzahl von Schallpegelmaßen in unterschiedlichen Tageszeitscheiben berechnet. Einzig bei der Studie zur Schlafqualität wurde der Schallpegel am Ohr des Schläfers gemessen. Auch eine „Lärmhistorie“ zwischen 1996 und 2011 wurde erstellt mit Bezug auf die Teilnehmer der vertiefenden Befragung in der Fallkontrollstudie. Anspruch des Akustik-Moduls des NORAH-Forschungsverbundprojektes war zusätzlich, die mit den Berechnungen verbundenen Unsicherheiten anzugeben. Diese Angaben sind wichtig, um die Genauigkeit der in den einzelnen Teilmodulen getroffenen pegelbezogenen Aussagen abschätzen zu können.

Kapitel 3: „Arbeitsgruppen“

Die oben genannten Arbeitsgruppen sind hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Expertise auf ihren jeweiligen Arbeitsfeldern und ihrer Erfahrung in der Lärmwirkungsforschung durch Publikationen ausgewiesen und in der Scientific Community national und international bekannt. Sie kommen aus renommierten Forschungsinstitutionen und einschlägig bekannten Ingenieurbüros.

Kapitel 4: „Methodik“

Das Kapitel „Methodik“ wird mit grundsätzlichen Überlegungen zu Fragestellungen und Methoden im Forschungsverbundprojekt eingeleitet. Die Methoden müssen dem Differenziertheitsgrad der Untersuchungsfragen gerecht werden. Lärm ist nicht gleich Lärm, sondern muss nach Einwirkungsdauer (akut oder chronisch) und Einwirkungszeit (tagsüber oder nachts), Quelle (Straßen-, Schienen- oder Flugverkehr), Lokalität (bspw. unterschiedliche Flughäfen) sowie

unterschiedlichen Situationen und Kontexten differenziert werden. Anschließend werden die Fragestellungen jeder einzelnen Teilstudie entsprechend der oben dargestellten Zielstellungen im Detail beschrieben und formuliert. Der erste Punkt der methodischen Vorgehensweise betrifft den Analyseansatz und die Stichprobenziehung. Es wird betont, dass es im Forschungsverbundprojekt – wie in der Ausschreibung gewünscht – keine Laborstudien gibt, sondern nur feldbezogene Untersuchungen bei den von Verkehrslärm unterschiedlich stark betroffenen Personen in den jeweiligen Untersuchungsregionen. Bei Felduntersuchungen ist die Zuverlässigkeit (Reliabilität) der Untersuchungen häufig nicht so gut zu kontrollieren wie unter Laborbedingungen, dafür ist die externe Validität, also die Gültigkeit der auf den Untersuchungen basierenden Aussagen für die betroffene Population oft höher einzuschätzen. Die Gültigkeit (Validität) der Aussagen wiederum ist abhängig von der Qualität des Studiendesigns, der Stichprobenziehung und der angewandten Methoden.

Für die Ziehung der Stichprobe ist ein räumliches Abgrenzungskriterium maßgebend. Hier wurde dieses Kriterium als Umhüllende von Tag- und Nachtlärmkonturen von jeweils 40 dB(A) Fluglärm-Durchschnittspegel definiert, da unterhalb von 40 dB oft keine eindeutige Ermittlung der Lärmbelastungen möglich ist. Bei der Fallkontrollstudie wurde die Studienregion unabhängig von akustischen Kriterien durch Regierungsbezirke und Städte definiert. Hier wurde derjenige Teil der Stichprobe mit Belastungen unter 40 dB als Referenzgruppe mit geringer oder keiner verkehrsbedingten Belastung definiert.

Es wird dann beschrieben, wie entsprechend der Fragestellungen der einzelnen Teilstudien – bspw. Vergleich der unterschiedlichen Verkehrslärmquellen, Vergleich vor und nach Inbetriebnahme der Nordwest-Landebahn, Vergleich unterschiedlicher Flughäfen, vertiefende Befragung der Fallkontrollstudie – die einzelnen Zufallsstichprobenziehungen und die Rekrutierung der Untersuchungsteilnehmer erfolgten. Die zahlenmäßige Zusammensetzung der Stichproben wird in Tabellen dargestellt.

Die Untersuchungspläne und -methoden werden für die einzelnen Teilstudien beschrieben.

In der Studie „*Auswirkungen von Verkehrslärm auf Lärmbelästigung und Lebensqualität*“ kommt ein an quasi-experimentelle Versuchspläne angelehntes Design zur Anwendung. Die Datenerhebungen wurden mittels standardisierter Fragebögen meist telefonisch, aber bei einem Teil der Untersuchungsteilnehmer auch online durchgeführt. Die Stichprobenziehungen erfolgten für unterschiedliche Flughafen-Standorte und sind zahlenmäßig im Gesamtbericht in einer Tabelle zusammengestellt.

In der *Fallkontrollstudie* werden Sekundärdaten (Daten aus den Statistiken von drei gesetzlichen Krankenkassen; N = 1.026.658 in 863.200 Gebäuden) adressgenau der Lärmexposition zugeordnet. Die an den a priori definierten und zu untersuchenden Krankheiten leidenden „Fälle“ werden hinsichtlich der Lärmexposition mit denjenigen Personen verglichen, die nicht daran erkrankt sind („Kontrolle“). Durch eine zusätzliche vertiefende Befragung wurden bei einem Teil

der Fälle und Kontrollen mögliche unbekannte Confounder eruiert. Auf dieser Datenbasis werden die Erkrankungsrisiken („Odds Ratios“) ermittelt. Hervorzuheben sind die zusätzlichen Analysen zur Absicherung bzw. tieferen Ergründung der Ergebnisse, nämlich die vertiefende Befragung zur Rolle möglicher, noch nicht oder anhand der Sekundärdaten nicht vollständig adjustierbarer Confounder („residuelles Confounding“), eine Subanalyse von Krankenkassendaten zum Sozialstatus der Versicherten und einer Rekonstruktion vergangener Lärmexposition zur Ermittlung sog. „kumulativer Lärmjahre“, um die Expositionsdauer der jeweiligen Personen mit zu berücksichtigen.

Bei der Teilstudie zum *Blutdruckmonitoring* (Modul 2.2) wurden über eine Dauer von 21 Tagen unter Verwendung telemetrischer Messgeräte Blutdruckdaten (systolischer und diastolischer Blutdruck) sowie Herzfrequenz durch Selbstmessungen registriert und über sichere Datenleitungen an einen Datenserver weitergeleitet. Zusätzlich wurden mittels Fragebogen Daten zum gegenwärtigen Gesundheitszustand sowie zum Lebensstil (z.B. Rauchen, Alkoholkonsum, sportliche Aktivitäten) erhoben. Ferner wurde der PROCAM-Score berechnet, der zur Abschätzung des 10-Jahres-Herzinfarkttrisikos dient. Eine erste Messperiode fand von Juli 2012 bis Juni 2013 mit 1.375 Personen statt, eine zweite von Juli 2013 bis Juni 2014 mit 1.095 Personen, die auch in der ersten teilgenommen hatten.

In der Teilstudie zum Thema *„Auswirkungen von Fluglärm auf den nächtlichen Schlaf“* wurden vor der Einführung der Nordwest-Landebahn und der Kernruhezeit (2011) und danach (2012) eine polysomnografische Schlafmessung bei Probanden zuhause durchgeführt und im Jahr 2013 nur noch Messungen zur Aufzeichnung vegetativ-motorischer Reaktionen erhoben. Gleichzeitig wurden die verkehrsgeräuschbedingten Schallpegel sowie die davon zu trennenden Geräusche kontinuierlich aufgezeichnet. Die wesentlich einfachere Messung der vegetativ-motorischen Reaktionen ersetzte 2013 die aufwändige Polysomnografie.

Für die Schlafstudie wurden solche Wohngebiete ausgewählt, in denen der Luftverkehr die dominante Schallquelle darstellt und gleichzeitig die Belastung durch andere Verkehrsträger möglichst gering war.

In der Studie *„Chronische Fluglärmwirkungen auf kognitive Leistungen und Lebensqualität“ von Grundschulkindern* (im Folgenden kurz: *Kinderstudie*) wurden in 85 Schulklassen aus 29 Schulen im Rhein-Main-Gebiet, die durch Flugverkehrsgeräusche unterschiedlich belastet sind, Untersuchungen mit Leseverständnistests sowie Testverfahren zu kognitiven Leistungen, die dem Lesen zugrunde liegen, durchgeführt. Einbezogen wurden 1.243 Kinder, die sich zum Zeitpunkt der Untersuchung am Ende der zweiten Klassenstufe befanden. Bei allen Testverfahren handelte es sich um standardisierte bzw. normierte Verfahren. Zusätzlich wurden bei Kindern, Eltern und Lehrkräften Befragungen zur schul- und wohnortbezogenen Lärmbelästigung sowie zum körperlichen und psychischen Wohlbefinden durchgeführt. Der mögliche Einfluss durch Sozialstatus, Migrationshintergrund und Deutschkenntnisse sowie der Belastung durch andere Verkehrsgeräuschquellen wurde im Untersuchungsdesign sorgfältig kontrolliert.

Kapitel 5: „Zentrale Ergebnisse“

Im Kapitel 5 des Gesamtberichts werden Ergebnisse des NORAH-Forschungsverbundprojektes dargestellt, von denen hier die wichtigsten wiedergegeben werden.

Zu den wichtigsten Ergebnissen zählen in allen Teilstudien die Lärmexpositions-Wirkungsbeziehungen, die Aufschluss darüber geben, ob ein Zusammenhang zwischen Lärmexposition und dem jeweiligen Effekt statistisch nachweisbar ist und wie stark sich der Effekt mit der Zunahme des Schallpegels erhöht. Die Antworten auf diese Fragen sind sowohl unter wissenschaftlichen wie unter Anwendungsgesichtspunkten von zentraler Bedeutung.

In der Studie *„Wirkungen von Verkehrslärm auf Lärmbelastung und Lebensqualität“* zeigten sich statistisch signifikante Effekte aller drei Verkehrsgeräuscharten auf die von den betroffenen Personen berichtete Belästigung. Bemerkenswert ist hierbei, dass der Luftverkehr sich im Vergleich zu Straßen- und Schienenverkehr sehr viel stärker in den Belästigungsurteilen niederschlägt als aufgrund früherer, in der Literatur berichteter Untersuchungen zu erwarten war, und dass ferner bei Mehrfachbelastung der Luftverkehr stets die hinsichtlich der Belästigung dominierende Lärmquelle darstellt. Bei einem 24-Stunden-Pegel von 50 dB beträgt der Anteil hochbelästigter Personen je nach untersuchtem Flughafen zwischen 40 und 60 Prozent. Hierbei ist zu beachten, dass im Rhein-Main-Gebiet über 343.316 Menschen einem 24-Stunden-Mittelungspegel von ≥ 50 dB ausgesetzt sind. Es zeigte sich ferner ein sog. „Change-Effekt“: Auch ein Jahr nach Inbetriebnahme der neuen Landebahn fiel die beurteilte Lästigkeit bei gleichem Dauerschallpegel höher aus als vorher.

Im Vergleich mit früheren Studien sind die Korrelationen zwischen Lärmbelastung und Lärmbelästigung höher und die Expositions-Wirkungsbeziehungen verlaufen steiler, insbesondere für Fluglärm. Die Korrelationen zwischen Lärmbelastung und akustischer Belastung ($L_{pAeq,24h}$, $L_{pAeq,06-22h}$ und $L_{pAeq,22-06h}$) liegen zwischen $r = 0,35$ und $0,59$. Sie weisen auf mittlere bis starke Effekte der Exposition hin. 78 % der Befragten sind bezogen auf Luftverkehrsgeräusche bei 55 dB des 24-Stunden-Dauerschallpegels im Jahr 2013 stark belästigt. Dies bestätigt eine Verschiebung der Expositions-Wirkungsbeziehung, d.h. eine Zunahme der Belästigung bei gleichen Mittelungspegeln, wie sie in den letzten Jahren auch in anderen Studien beobachtet wurde. Es wird auch deutlich, dass die Expositions-Wirkungsbeziehungen der aktuell untersuchten Flughäfen Berlin-Schönefeld, Frankfurt, Köln/Bonn und Stuttgart über der sog. „EU-Kurve“ von 2002 liegen, die auf noch früher durchgeführten Studien beruht.

In der *„Sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung“* ergeben sich für viele untersuchte Erkrankungen häufig signifikante Risikoerhöhungen insbesondere für höhere Fluglärmexposition. Als relevante neue Risikogruppe wurden Personen ermittelt, die bei niedrigen 24h-Dauerschallpegeln einzelne nächtliche Lärmereignisse mit Maximalpegeln von > 50 dB aufwiesen. Solche Expositionen wurden konsequenterweise in allen Fluglärmanalysen als eigenständige Kategorie geführt.

Die Risiken sind bei Straßen- und Schienenverkehrslärm für den Herzinfarkt, den Schlaganfall und die Herzinsuffizienz tendenziell höher als bei Luftverkehrslärm. Für die Depression steigt das Risiko bei allen drei Verkehrsgeräuscharten mit zunehmendem Schallpegel statistisch signifikant an, ist aber am höchsten mit der Exposition gegenüber Luftverkehrslärm assoziiert. Höhere Risiken ergeben sich weiterhin in der Mehrheit der Analysen durch Beschränkung auf die Subgruppe der Erkrankten, die in der Beobachtungszeit der Sekundärdatenanalyse verstorben sind (Herzinfarkt, Schlaganfall, Herzinsuffizienz).

Für einen tatsächlichen Effekt spricht auch das Ergebnis der Subgruppenanalyse für den Anteil der Versicherten einer einzelnen Krankenkasse, deren Adresshistorie bekannt war und für die deshalb die Wohndauer mit einbezogen werden konnte. In Sensitivitätsanalysen für die Herzinsuffizienzen zeigten sich für Versicherte, die bereits fünf Jahre oder länger an der Indexadresse gewohnt hatten, höhere Risikoschätzer für Luftverkehrsgeräusche. Die gleiche Tendenz wird auch für Schlaganfälle, den weiblichen Brustkrebs und die depressive Episode beobachtet. Für die Herzinsuffizienz zeigte sich eine weitere Erhöhung der Odds Ratio (OR) für den Luftverkehrslärm und eine monoton steigende Expositions-Wirkungsbeziehung bei Beschränkung der Analysen auf diejenigen Versicherten, die bereits länger als zehn Jahre an der Indexadresse gewohnt hatten. Die Risikoschätzer für den Straßen- und Schienenverkehrslärm waren in dieser Sensitivitätsanalyse für den Herzinfarkt, den Schlaganfall und die Herzinsuffizienz weitgehend unverändert, für den weiblichen Brustkrebs und die depressive Episode tendenziell verringert. Die zusätzlichen Sensitivitätsanalysen auf der Basis der Versicherten dieser einzelnen Krankenkasse bestätigen somit die Ergebnisse der Krankenkassen-übergreifenden Analysen. Speziell für Fluglärm deuten sie auch auf eine gewisse Unterschätzung der Risiken in der Gesamtgruppe hin, da nicht alle Umzüge innerhalb der fünf bzw. zehn Jahre vor der Diagnose einer der Zielerkrankungen in den Analysen berücksichtigt werden konnten.

In der Studie zum *Blutdruckmonitoring* wurden aufgrund der bisherigen Forschungsergebnisse zur Beziehung von Verkehrslärm und Herz-Kreislaufkrankungen signifikante Auswirkungen der Verkehrsgeräusche auf den tatsächlich gemessenen Blutdruck und die Herzfrequenz erwartet. Diese konnten jedoch im Rahmen der umfangreichen und sorgfältigen Untersuchungen nicht nachgewiesen werden. Zwar zeigten sich Zunahmen des systolischen und diastolischen Blutdrucks aufgrund zunehmender Fluglärmbelastung und Zunahmen des systolischen Blutdrucks durch zunehmende Belastung durch Schienenverkehrslärm, jedoch waren diese statistisch nicht signifikant. Auch beim PROCAM-Score waren keine signifikanten Zusammenhänge mit Verkehrslärmbelastungen erkennbar. Die Frage nach einer differentiellen Wirkung des Fluglärms auf Hypertoniker und Normotoniker wurde in zusätzlichen Analysemodellen aufgegriffen. Diese veränderten die Gesamtergebnisse jedoch nicht.

Für die *Schlafstudie* kann als wichtigstes Ergebnis festgehalten werden, dass nach der Einführung der Kernruhezeit und der damit zusammenhängenden Verringerung der Anzahl der Flugbewegungen in dieser Zeit sich die Anzahl der Aufwachreaktionen gegenüber vorher signifikant

verringert hat. Hinsichtlich der Gesamtschlafzeit, der Einschlafzeit, der Schlafeffizienz, der Wachzeit nach dem Einschlafen und dem prozentualen Wachanteil ab 4:30 Uhr haben sich keine statistisch signifikanten Änderungen nach Einführung der Kernruhezeit ergeben. Die Einführung der Kernruhezeit wirkte sich positiv auf diejenigen aus, die morgens eher früh aufstehen. Personen mit negativer Einstellung zum Flugbetrieb reagieren mit stärkeren Schlafstörungen. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse von einem Flughafen (hier Flughafen Köln/Bonn vs. Flughafen Frankfurt) auf einen anderen ist nicht möglich, da die ermittelten Konfidenzbereiche für die durch Luftverkehrsgeräusche induzierte Aufwachwahrscheinlichkeit nicht deckungsgleich sind, was möglicherweise mit der unterschiedlichen Struktur (zeitliche Verteilung und Flottenmix) des nächtlichen Flugbetriebs an den beiden Flughäfen zu tun hat.

Im Mittelpunkt der Ergebnisse von Modul 3 (*Kinderstudie*) steht der Befund, dass entsprechend der Expositions-Wirkungsbeziehungen mit einer Zunahme der flugverkehrsbedingten Exposition um 10 dB die Leseleistung von Grundschulkindern um einen Monat statistisch signifikant verzögert ist. Im Extremfall ist eine Verzögerung des Lesenlernens von zwei Monaten zu konstatieren, da innerhalb des untersuchten Gebietes um den Flughafen Frankfurt die größte Differenz des Fluglärm-Dauerschallpegels ca. 20 dB beträgt. Darüber hinaus berichteten Lehrkräfte übereinstimmend, dass der Fluglärm den Unterricht in erheblichem Maße beeinträchtigt. Ferner konnte gezeigt werden, dass höhere Dauerschallpegel mit einer geringeren Einschätzung des körperlichen und psychischen Wohlbefindens sowie negativeren Schuleinstellungen einhergehen. Die Zusammenhänge waren statistisch signifikant, quantitativ aber von eher marginalem Ausmaß.

Kapitel 6: „Generalisierbarkeit der Aussagen“

Im Kapitel 6 der Gesamtbetrachtung wird die Generalisierbarkeit der in dem NORAH-Forschungsverbundprojekt gefundenen Ergebnisse diskutiert. Diese Frage ist im Wesentlichen davon abhängig, für welche Populationen die Ergebnisse Gültigkeit beanspruchen und ob die Stichproben hierfür repräsentativ sind. Unabhängig von allen studienspezifischen Begrenzungen werden im Gesamtbericht zwei Einschränkungen als wesentlich erachtet. Dies ist zum einen die Tatsache, dass es sich bei dem in der hauptsächlich untersuchten Rhein-Main-Region gelegenen Flughafen Frankfurt um einen Flughafen handelt, der mit der Einführung der Nordwest-Landebahn eine betriebliche Änderung erfahren hat; zum anderen, dass überwiegend der Dauerschallpegel als akustische Belastungsgröße eingesetzt wurde. Ein sog. Änderungsflughafen setzt jedoch andere Rahmenbedingungen und entfaltet eine andere Dynamik bei den Reaktionen der Bevölkerung als sog. Bestandsflughäfen und ist daher nur eingeschränkt mit Standorten vergleichbar, an denen keine Änderungen stattgefunden haben. Der (energieäquivalente) Dauerschallpegel ist zwar international die am meisten genutzte Maßzahl zur Beschreibung der Exposition, ihm können jedoch ganz unterschiedliche akustische Bedingungen zugrunde liegen,

etwa unterschiedliche Verteilungen der Maximalpegel, die seine wirkungsbezogene Vergleichbarkeit in Frage stellen können.

Es wird in diesem Kapitel auch insbesondere auf das Problem des hohen Anteils der Antwortverweigerung bei den Befragungen in Modul 1 verwiesen. Wenn die Motive der Antwortverweigerung mit dem Grad der Belästigung korrelieren, besteht die Gefahr eines „selection bias“, der die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränken würde. Diesem versuchte man in der NORAH-Modul-1-Studie durch eine nachträgliche Non-Responder-Analyse zu begegnen und zwar mittels Sensitivitätsanalysen und Gewichtungen unter Verwendung der Verteilung ausgewählter Variablen (Alter, Geschlecht, Familienstand) in der Wohnbevölkerung. In einem Bootstrap-Verfahren zur wiederholten Stichprobenziehung aus der vorliegenden Stichprobe (Resampling) mittels aufwändiger Computersimulation erwiesen sich die Expositions-Wirkungsbeziehungen als robust.

Stärken und Herausforderungen des NORAH-Forschungsverbundprojekts

Die beiden Kapitel 7 und 8 des NORAH-Gesamtberichts werden im folgenden Abschnitt zusammengefasst. In den beiden Kapiteln beschreiben die Autoren des Gesamtberichts die Stärken und Herausforderungen des NORAH-Forschungsverbundprojektes.

Stärken des Forschungsansatzes insgesamt werden von den Autoren vor allem im einheitlichen Gesamtkonzept gesehen, dem ein mehrdimensionales Gesundheitsmodell zugrunde liegt, ferner in der großen Sorgfalt verbunden mit einer hohen Qualität und Detailtreue, mit der die akustischen Expositionen erfasst wurden und in der Angabe von Berechnungsunsicherheiten. Bezüglich der methodischen Vorgehensweise wird auf die strikte Einhaltung von a-priori entwickelten Auswertungsplänen verwiesen, d.h. von Auswertungsplänen, die nicht von den erhaltenen Daten inspiriert werden.

Bei der außerordentlich umfangreichen und komplexen Studie im Modul 1 werden die längsschnittliche Betrachtung (Wirkung der betrieblichen Änderung des Flughafens), der multizentrische Ansatz (Vergleich unterschiedlicher Flughafenstandorte), der Querschnittvergleich (verschiedene Verkehrsgeräuschquellen), die Verwendung standardisierter und international vergleichbarer Fragebögen, die psychometrische Überprüfung von Fragebögen, die Non-Responder-Analysen sowie die Kontrolle weiterer möglicher Einflussgrößen als Stärken hervorgehoben, die außerordentlich differenzierte und zuverlässige Aussagen über die verkehrslärmbedingte Belästigung und Lebensqualität erlauben.

Bei der Fallkontrollstudie wird die Sorgfalt deutlich gemacht, mit der eine große Anzahl von Faktoren erhoben wurde, die außer der Exposition durch Verkehrslärm Einfluss auf das Ergebnis nehmen könnten, darunter Sozialstatus und weitere individuelle gesundheitsrelevante Faktoren (z.B. BMI, Alkohol- und Tabakkonsum, Belastung durch Arbeitslärm etc.). Ferner wird die zu-

sätzliche vertiefende Befragung zur Abklärung weiterer möglicher Confounder genannt, außerdem die Berücksichtigung der Dauer der chronischen Exposition, die Durchführung von Sensitivitäts- und Emergenzanalysen (Maximalpegel und ihr Abstand zum Grundgeräuschpegel) und die aufwändige Berücksichtigung neu aufgetretener Diagnosen (Inzidenz).

Für die Studie zum Blutdruckmonitoring wird als Stärke hervorgehoben, dass sie als Feldstudie, d.h. in der gewohnten Umgebung der Probanden durchgeführt wurde und zwar mittels wiederholter Messungen durch die Probanden selbst, nach sorgfältiger praktischer Einführung in die Handhabung der Messgeräte. Hierdurch werden Auswirkungen der Anwesenheit von medizinischem Personal bzw. eines Laborumfelds auf den Blutdruck vermieden. Durch wiederholte Messungen wird die Zuverlässigkeit der Messwerte verbessert und die Unsicherheiten werden verringert. Zusätzlich wurden individuelle gesundheitsrelevante Einflussfaktoren erfragt sowie subjektive Angaben zur Lärmempfindlichkeit und Lärmbelästigung erhoben.

Auch bei der Schlafstudie ist hervorzuheben, dass es sich um eine Feldstudie handelt, bei der polysomnografische Aufzeichnungen in der normalen Schlafumgebung der Probanden durchgeführt wurden, während gleichzeitig Messungen und Aufzeichnungen der aufgetretenen Geräusche stattfanden; ferner die Entwicklung einer vegetativ-motorischen Messmethode, mit der die Untersuchung an einer größeren Stichprobe bei vertretbarem Aufwand erst möglich wurde, sowie die zusätzliche Erhebung von subjektiven Daten sowohl zum Schlaf als auch zur Einstellung gegenüber dem Luftverkehr.

Bei der Kinderstudie wird die Kontrolle von Confoundern gewürdigt, die sich bspw. in den großen PISA- und IGLU-Studien als hochrelevant für schulisches Lernen erwiesen haben. Die Kontrolle möglicher nicht-fluglärmbedingter Einflussgrößen wurde im Untersuchungsplan durch a-priori-Matching und in den Auswertungsplänen mittels hochdifferenzierter statistischer Verfahren berücksichtigt.

Als *Herausforderungen* der NORAH-Studie werden die geringen Responseraten genannt und die unterschiedliche Qualität von akustischen Parametern, die neben dem Mittelungspegel (außen) für die verschiedenen Verkehrsgeräuscharten ermittelt wurden. So stehen für die Berechnung der Maximalpegel von Straßen- und Schienenverkehr noch keine eingeführten Verfahren zur Verfügung.

2 Bewertung durch den WBQ

2.1 Der WBQ - Zusammensetzung, Aufgaben und Funktion

Mit Beginn des NORAH-Forschungsverbundprojektes wurde der Wissenschaftliche Beirat Qualitätssicherung (WBQ) installiert. Der WBQ setzt sich aus neun Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Deutschland, der Schweiz und den Niederlanden zusammen, die langjährige Erfahrung in der Akustik, Lärmwirkungsforschung und/oder umweltepidemiologischer Forschung und Methodik aufweisen. Die Mitglieder des WBQ sind unabhängig von jeder Interessengruppe und richten ihr Augenmerk allein auf die wissenschaftliche Qualität der NORAH-Untersuchungen. Individuell besitzen die einzelnen Mitglieder des WBQ unterschiedliche Expertise, entsprechend der jeweils besonderen Thematik der Teilprojekte. Diese Expertisen sind verteilt auf die Gebiete der Akustik, der Epidemiologie, der Medizin und der Gesundheitswissenschaften einschließlich der Psychologie, der Kardiologie, der Schlafforschung und der kognitiven Psychologie. Der WBQ hat die NORAH-Studie von der Planung der einzelnen Teil-Untersuchungen bis zur Endberichterstattung kritisch-konstruktiv begleitet und in mehreren Sitzungen pro Projektjahr zusammen mit dem Forschungskonsortium die Teilberichte unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten diskutiert und Empfehlungen formuliert. Zu jedem abgeschlossenen Teilprojekt hat der WBQ eine abschließende Bewertung zur wissenschaftlichen Qualität der Untersuchungen sowie des Forschungsberichtes und eine wissenschaftliche Bewertung der Untersuchungsergebnisse vorgenommen. Berichtersteller waren jeweils diejenigen WBQ-Mitglieder, die für das jeweilige Teilprojekt besonders sachverständig sind. Nach ausgiebiger Diskussion im WBQ wurde dann jeweils eine gemeinsame Stellungnahme verabschiedet.

In der folgenden Bewertung des Gesamtberichts werden die Stellungnahmen des WBQ zu den einzelnen Teilberichten mit herangezogen. Die vorliegende Stellungnahme beinhaltet somit nicht nur eine Bewertung des Gesamtberichtes, sondern implizit auch des NORAH-Forschungsverbundprojektes insgesamt.

2.2 Gesamteindruck

Der von den für die Koordination des Forschungsverbundes verantwortlichen Autoren Guski und Schreckenbergs verfasste Gesamtbericht stellt eine konzise Zusammenfassung der umfangreichsten und komplexesten Studie zur Wirkung von Verkehrsgeräuschen auf die Lebensqualität und Gesundheit der Bevölkerung dar, die bisher im deutschsprachigen Bereich – und wahrscheinlich auch weltweit – durchgeführt wurde. Der Umfang von ca. 100 Seiten ist dem Volumen einer aus sechs Teilberichten, die jeweils ca. 300 Seiten und mehr aufweisen, bestehenden Gesamtstudie angemessen. Der Gesamtbericht bietet interessierten Leserinnen und Lesern alle wesentlichen Informationen und Ergebnisse zur NORAH-Studie, ohne sie mit Details

zu überfrachten. Dennoch verlangt der Bericht den Lesern einiges an Vorkenntnissen und Fachwissen über Akustik und Forschungsmethodik ab. Aber auch wenn nicht jedes Detail unmittelbar verstanden würde, sind die essentiellen Aussagen für den sog. „gebildeten Laien“ nachvollziehbar. Ausgesprochene Experten und Sachverständige werden ohnehin die Einzelberichte im Original studieren. Der Sprachstil ist zwar – der wissenschaftlichen Diktion folgend und der Konzentration auf das Wesentliche geschuldet – insgesamt verdichtet, ermöglicht aber dennoch ein flüssiges Lesen und verschleiert nichts hinter Worthülsen oder schwülstigen Formulierungen.

Der Gesamtbericht ist logisch und übersichtlich gegliedert; der Leser wird gut durch die Thematik der Gesamtstudie geführt, der rote Faden ist erkennbar. Die Ziele des NORAH-Forschungsverbundprojektes sind sowohl im Hinblick auf die in der Einführung dargelegten theoretischen Grundlagen als auch hinsichtlich der anwendungsbezogenen Problemstellung, nämlich wissenschaftlich begründeter Aussagen zum Ausmaß der Verkehrslärmbelastung der Anwohner in der Rhein-Main-Region und deren Auswirkungen auf die Gesundheit, gut begründet und verständlich dargestellt. Dies gilt sowohl für die übergreifende Zielstellung als auch für die Zielstellungen der jeweiligen Teilstudien.

Der WBQ begrüßt die Formulierung eines theoretischen Rahmenmodells, das im Einklang mit einer eingangs favorisierten Gesundheitsdefinition steht, weist aber auch darauf hin, dass dieses Rahmenmodell, wenngleich heuristisch wertvoll, beim gegenwärtigen wissenschaftlichen Stand nur als grobe Orientierung dienen kann. Gleichwohl macht aber die Formulierung eines solchen Modells deutlich, dass sich die Forscher der medizinisch-psychologisch-soziologischen Komplexität eines Lärmwirkungsmodells bewusst sind und dieser Komplexität im Forschungsansatz Rechnung tragen.

Zur Methodik des NORAH-Forschungsverbundprojekts ist allgemein zu konstatieren: Die in den Teilstudien zum Einsatz kommenden Methoden sind den Fragestellungen in begründeter Weise angepasst und zur Hypothesenprüfung geeignet. Alle Teilstudien zeichnen sich durch einen hohen Aufwand aus, der von keiner der bisherigen vergleichbaren Studien übertroffen wird. Die Stichprobenziehungen – wichtig für die Übertragung der Ergebnisaussagen auf die Population – erfolgten mit großer Sorgfalt. Das in allen Teilstudien (mit Ausnahme der Kinderstudie) aufgetretene Problem einer relativ hohen Teilnahmeverweigerung (Non-Response), das im Übrigen heute zu einem allgemeinen Problem sozialwissenschaftlicher und epidemiologischer Forschung geworden ist, wurde zum Teil mit nachträglicher Non-Responder-Befragung, Sensitivitätsanalysen und Modellgewichtungen in seinen möglichen Auswirkungen überprüft. Die Methoden der Datenerhebung, ob apparative Messmethoden, Fragebogensurveys oder psychologische Testverfahren, sind in allen Teilstudien „state of the art“. Die jeweils möglichen konfundierenden Faktoren wurden sorgfältig kontrolliert bzw. in der Datenanalyse berücksichtigt. Fehlende Daten wurden mittels begründeter Imputationstechniken ersetzt. Die Auswertung und

statistische Analyse der Daten erfolgte anhand a-priori entwickelter Auswertepläne mit elaborierten statistischen Verfahren, die den aktuellen Stand der Statistik widerspiegeln.

Die allen Teilstudien zu Lärmwirkungen zugrunde liegenden akustischen Expositionsdaten wurden adressgenau berechnet und mit Angaben zur Berechnungsunsicherheit versehen.

Der WBQ bescheinigt der NORAH-Forschungsverbundstudie insgesamt ein hohes methodisches Niveau, hinsichtlich dessen die NORAH-Studie keinen Vergleich mit anderen Lärmwirkungsstudien scheuen muss. Man darf erwarten, dass die NORAH-Studie wegweisend in der Lärmwirkungsforschung werden wird.

Die Ergebnisse werden im Gesamtbericht transparent und hinsichtlich ihrer Bedeutung in einer neutralen und objektiven Weise gewürdigt und in den wissenschaftlichen Kontext eingeordnet. Dabei werden die beobachteten Risiken weder aufgebauscht noch heruntergespielt. Globale Effektstärkemaße konnten bei den Studien, in denen multivariate logistische Regressionen verwendet wurden, wegen der besonderen Eigenschaften logistischer Regressionsmodelle nicht berechnet werden. Probleme, die die Aussagekraft relativieren könnten, werden klar benannt. Die Autoren verweisen ohne falsche Bescheidenheit auf die Stärken dieses Projekts und verschweigen auch nicht die Limitationen und die mit der Durchführung verbundenen Herausforderungen. In einem Fazit betonen sie nochmals die nach ihrer Interpretation wichtigsten Erkenntnisse der Studie.

Der WBQ stimmt, eine allgemeine Schlussfolgerung ziehend, darin überein: Die Studienergebnissen stehen nicht in grundsätzlichem Widerspruch zu bisherigen Erkenntnissen der Lärmwirkungsforschung. Einzelne Kausalzusammenhänge zwischen einzelnen Verkehrsgeräuschbelastungen und Wirkungen können nun als abgesichert gelten, teilweise müssen aber auch bisher eher pauschale Antworten differenziert und das Ausmaß einzelner Lärmwirkungen erneut diskutiert werden. Herausragende, statistisch signifikant nachgewiesene Ergebnisse sind die hohe Dominanz des Fluglärms gegenüber den Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen bei der Lärmbelästigung, die in diesem Ausmaß aufgrund früherer Studien nicht erwartet werden konnte; ferner die mit der Verkehrslärmbelastung einhergehende Risikoerhöhung für depressive Episoden, die für alle Verkehrslärmarten festgestellt wurde, bei Flugverkehrsgeräuschen jedoch am höchsten ist. Festzuhalten ist auch die mit zunehmendem Schallpegel einhergehende statistisch abgesicherte Verzögerung des Leselernprozesses um einen Monat pro 10 dB Zuwachs des Dauerschallpegels bei Grundschulkindern der zweiten Klasse. Dass eine direkte Wirkung der Verkehrsgeräusch-Exposition auf den Blutdruck trotz umfangreicher Messungen und sorgfältiger Vorgehensweise nicht statistisch signifikant nachgewiesen werden konnte, war aufgrund der bisherigen Diskussion um die Zusammenhänge zwischen Lärmexposition und Herz-Kreislauferkrankungen überraschend. Der quantitative Zusammenhang zwischen Verkehrsgeräusch-Exposition und Blutdruckveränderung sollte daher neu überdacht werden und mit anderen Kollektiven erneut untersucht werden.

Die Autoren legen in ihrem Fazit den Fokus auf die wissenschaftliche Einordnung der Ergebnisse der NORAH-Studie. Der WBQ begrüßt diese neutrale Darstellung, die auch Zurückhaltung bei Anwendungsempfehlungen und politischen Einordnungen impliziert.

2.3 Stellungnahme des WBQ zur Berechnung der akustischen Expositionsdaten und zu den einzelnen Lärmwirkungs-Teilstudien

Berechnung der akustischen Expositionsdaten

Der WBQ würdigt den hohen Aufwand der adressgenauen Berechnung akustischer Kenngrößen sowohl für die Luft- als auch für die Schienen- und Straßenverkehrsräusche. Diese Kenngrößen wurden, mit unterschiedlichen Anforderungen, für die einzelnen Module berechnet. Die Expositionsparameter für Flugverkehrsräusche wurden unter direkter Verwendung von Radardaten berechnet, einem vom Akustikteam neu entwickelten Verfahren. Zudem mussten die akustischen Größen für die Vergleichsstandorte in der Umgebung der Flughäfen Stuttgart, Köln/Bonn sowie Berlin-Schönefeld sowohl für den Flugverkehr als auch für Straßen- und Schienenverkehr ermittelt werden. Das Anforderungsprofil an die akustischen Berechnungen wurde komplettiert durch die Notwendigkeit, zum einen tageszeitgenaue Pegelgrößen („Zeitscheiben“) für Modul 1, „Belästigung und Lebensqualität“ und zum anderen historisierte Pegel für die Jahre 1996 bis 2010 für die „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie“ des Moduls 2 anzugeben. Ferner sollten für die Module 2 und 3 Innenraumpegel auf der Basis von Erhebungen zu den Eigenschaften der Außenbauteile, zur Ausrichtung der Wohn- und Schlafräume zu den Verkehrsgeräuschquellen Straße und Schiene sowie zum Fensteröffnungsverhalten abgeleitet werden. Die Unsicherheit der Mittelungspegel für alle Verkehrsgeräuscharten wurde unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Eingangs- und Modellparameter ermittelt und beispielhaft in ihren Auswirkungen auf einen Expositions-Wirkungszusammenhang von Modul 3 untersucht. Diese komplexen Aufgabenstellungen der modulübergreifenden Erfassung der Exposition durch Verkehrslärm werden im Gesamtbericht prägnant zusammengefasst, ohne die im dazugehörigen Bericht nachzulesenden Detaillierungen auszubreiten.

Die in der NORAH-Studie erlangten Ergebnisse werden unter dem Titel „Zentrale Ergebnisse“ modulweise vorgestellt. Neben Aussagen zu den Expositions-Wirkungsbeziehungen werden die Wertebereiche der akustischen Größen (Mittelungspegel) aufgeführt. Besondere Erwähnung soll auch die Berücksichtigung der Maximalpegel der Straßen- und Schienenverkehrsräusche im Rahmen der sogenannten „Emergenzanalyse“ finden. Sowohl die Historisierung von Pegeln („kumulative Lärmjahre“) als auch die Berücksichtigung der Maximalpegel von Schienen- und Straßenverkehrsräuschen sind für derartige Untersuchungen bisher einmalig.

Als Stärken aus akustischer Sicht gelten neben dem hohen Detaillierungsgrad sowie den Unsicherheitsbetrachtungen auch der enorme Umfang der Berechnungen und der dafür erforderlichen Datenerhebung, Datenbearbeitung und Datenerhaltung. 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. Zudem musste zu Beginn der Studie in kürzester Zeit ein Verfahren entwickelt werden, welches durch direkte Verwendung von Radaraufzeichnungen individueller Flüge im Rechenmodell das Problem der zu kurzen Flugbahnen im Datenerfassungssystem des Flughafens Frankfurt und das Problem der fehlenden Datenerfassungssysteme für die Jahre von 1996 bis 2010 elegant löste. Eine weitere Herausforderung war auch der Aufbau geeigneter Datenbankstrukturen, der einen enormen Arbeitsaufwand voraussetzt. Diesem hohen Arbeitsaufwand ist es wahrscheinlich auch geschuldet, dass das neu entwickelte Verfahren zur Berechnung der Dauerschallpegel (direkte Verarbeitung von individuellen Flugbahnen) im Bericht nicht ausschöpfend beschrieben wurde. Vor allem aber ist die unvollständige Dokumentation des den Berechnungen zugrunde liegenden Flugbetriebs zu kritisieren (Bewegungsstatistiken, detaillierte Darstellungen von Flugspuren und Flugprofilen fehlen). Eine derartige Dokumentation würde jedoch angesichts der unzähligen Varianten, die berechnet wurden, Bände füllen und war im Rahmen der Fertigstellung des Akustikberichts nicht mehr zu leisten. Aus Sicht des WBQ kann darauf unter der Voraussetzung verzichtet werden, dass die verwendeten Flugbetriebsdatenbanken sowie Auswahl- und Aufbereitungstools dem Auftraggeber zusammen mit einer technischen Dokumentation übergeben werden. Trotz dieser Kritik kann aus akustischer Sicht gesagt werden, dass die angewandten und entwickelten Methoden nicht nur dem Stand der Technik entsprechen, sondern sogar über diesen hinausgehen. Die Berechnungen wurden mit großer Sorgfalt ausgeführt, so dass für die Wirkungsanalysen gesicherte Expositionsdaten verschiedener Verkehrsgeräuscharten zur Verfügung stehen, um den Effekt von Langzeitbelastungen durch Verkehrsgeräuscharten auf die Lebensqualität und Gesundheit aufzeigen zu können.

Der WBQ bescheinigt der Akustik-Arbeitsgruppe, dass sie den Zielen und qualitativen Anforderungen des Gesamtprojektes gerecht wurde.

Modul 1: Wirkungen von Verkehrslärm auf die Lärmbelästigung und Lebensqualität

Der WBQ stellt fest, dass die methodische Vorgehensweise und die zentralen Ergebnisse von Modul 1 im Gesamtbericht transparent dargestellt wurden und dass sie aufzeigen, dass Modul 1 seine Ziele laut Ausschreibung erfüllt hat, nämlich Kausalitäten und Expositions-Wirkungsbeziehungen im Zeitvergleich, Standortvergleich, Quellenvergleich und bei Kombinationswirkungen zu identifizieren sowie Bezüge zur nationalen und internationalen Lärmwirkungsliteratur herzustellen.

Als Stärken von Modul 1 werden im Gesamtbericht die längsschnittlichen (Panel Rhein-Main) und multi-zentrischen (Standortvergleiche) Ansätze betont. Auch die große Bandbreite der in der Untersuchung berücksichtigten akustischen, tageszeitlichen und anderen nicht-akustischen

Kontextfaktoren ist genannt. Die Erhebung der Wirkungen verschiedener Quellen mit gleicher Methodik, die Analysen von Moderator- bzw. Mediatorvariablen, die psychometrische Qualitätskontrolle der Befragungsinstrumente sowie die Überprüfung der Robustheit der Expositions-Wirkungsbeziehungen werden vom WBQ als Stärken bewertet. Der ebenfalls zu den Stärken von Modul 1 gehörende Umgang mit fehlenden Werten und deren Imputation wird jedoch im Gesamtbericht weniger gewürdigt und soll daher an dieser Stelle explizit erwähnt werden.

Die Limitationen bezüglich der Teilnehmergewinnung – Unterdeckung durch Telefoninterview als Haupterhebungsmodus und die im Vergleich zur Erwartung geringe Responserate, welche die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränkt – werden im Gesamtbericht nicht verschwiegen und mit Hinweis auf die Non-Responder- und weitere Sensitivitätsanalysen beantwortet, deren Durchführung vom WBQ gefordert war.

Die hervorstechendsten Ergebnisse, die Modul 1 erbrachte, wurden im Gesamtbericht angemessen zusammengefasst und bewertet. Dies sind die im Vergleich zu früheren Expositions-Wirkungsbeziehungen starken Wirkungen der Verkehrsgeräusche auf die Belästigung, die besonders ausgeprägt sind für Luftverkehrsgeräusche in der Rhein-Main-Region in 2013 und die bei mehreren, kombinierten Verkehrslärmquellen durch den Luftverkehr stets dominiert werden. Zwei weitere Ergebnisse aus Modul 1 werden im Fazit mit Verweisen auf Modul 2.3 zu Recht herausgestellt: Zum einen die Abnahme der berichteten Durchschlafstörungen sowie die Zunahme der berichteten Ausschlafstörungen nach Einführung der Kernruhezeit (letzteres Ergebnis ist konsistent mit Ergebnissen der Befragungen in der Schlafstudie); zum anderen die relativ starke Wirkung von Schienenverkehrsgeräuschen auf die Belästigung (konsistent mit Ergebnissen mit Bezug auf gesundheitsbezogene Variablen in der Schlaf- und Blutdruckstudie sowie der Fallkontrollstudie), die mit den Maximalpegeln und deren Emergenz über dem Grundgeräuschpegel zusammenhängen könnte.

Der WBQ attestiert dem Gesamtbericht, eine nach Anzahl und Bedeutung angemessene Auswahl von zentralen Ergebnissen getroffen zu haben und hält fest, dass das Modul 1 eine außergewöhnlich umfangreiche und komplexe Studie zur Wirkung von Verkehrslärm auf Belästigung und Lebensqualität darstellt, die sehr hohe methodische Qualitätsstandards erfüllt.

Modul 2.1: Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung

Die sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung wird im Gesamtbericht übersichtlich und verständlich dargestellt. Dies gilt für die methodische Vorgehensweise dieser Studie wie auch für die ausgewogene Darstellung der Ergebnisse. Der WBQ zollt der Darstellung dieser Studie im Gesamtbericht seinen besonderen Respekt, da es sich um eine sehr komplexe Studie mit differenzierten Fragestellungen handelt, deren Beantwortung für die Öffentlichkeit wegen der zur Debatte stehenden Risiken für schwerwiegende Erkrankungen hoch relevant ist. Hinzu kommt, dass eine sachgerechte Kommunikation über gesundheitsbezogene

Risiken beim Adressaten ein gewisses Grundverständnis über Risikobegriff, Wahrscheinlichkeit und epidemiologische Forschung voraussetzt. Angesichts dieser Schwierigkeit einerseits und der gesellschaftlichen Brisanz der Studienergebnisse andererseits ist die Ausgewogenheit der Darstellung besonders zu würdigen. Die Ergebnisse werden in neutraler Form offengelegt, ohne zu übertreiben oder zu verharmlosen. Auf die Tatsache, dass ein allgemeiner Zusammenhang zwischen Dauerschallpegel der Flugverkehrsgeräusche und Herzinfarkttrisiko statistisch nicht signifikant nachgewiesen werden konnte, wird hingewiesen, und die sich abzeichnende Bedeutung nächtlicher Maximalpegel für Erkrankungsrisiken als ein Thema weiterer Forschung betont. Die „lärnhistorische“ Betrachtung wird als eine innovative Herangehensweise gewürdigt.

Die sekundärdatenbasierte NORAH-Fallkontrollstudie weist eine Reihe besonderer methodischer Qualitätsmerkmale auf: So werden neben den stationären auch ambulante Versorgungsdaten einbezogen, die Identifizierung inzidenter Krankheitsdiagnosen erfolgte aufwändig und die akustischen Eingangsdaten zum Luftverkehr wurden speziell für die NORAH-Studie adressgenau erzeugt. Das wissenschaftliche Auswertungskonzept wurde vorab entwickelt und mit dem WBQ ausführlich diskutiert. Damit ist die sekundärdatenbasierte NORAH-Fallkontrollstudie sehr gut dazu geeignet, die Validität methodisch vergleichbarer Studien zu überprüfen. In den genannten Aspekten geht die NORAH-Studie einen erheblichen Schritt weiter als alle bisher vorliegenden Analysen zu Auswirkungen von Verkehrsgeräuschbelastungen in der Allgemeinbevölkerung auf der Basis von Sekundärdaten.

Die im Abschlussbericht von Modul 2.1 vorgelegten und im Gesamtbericht referierten Ergebnisse zeigen nachdrücklich, dass die Einbeziehung der vertiefenden Befragung eine wichtige Voraussetzung für eine sinnvolle und zielführende Untersuchung von Sekundärdaten im Rahmen der NORAH-Studie war. Gleichzeitig werden die Ergebnisse aus NORAH-Modul 2.1 durch diese Komponente zu einer Referenz für die sekundärdatenbasierten Verkehrslärmstudien in Deutschland, was die Bedeutung dieses Moduls für die Gesamtstudie unterstreicht.

Der WBQ bescheinigt daher dem Forscherteam, das die Fallkontrollstudie verantwortete, die angestrebten Ziele erreicht und eine qualitativ höchst anspruchsvolle Studie vorgelegt zu haben, die im Gesamtbericht in ihren wesentlichen Grundzügen sehr verständlich beschrieben wurde.

Modul 2.2: Blutdruckmonitoring

Die Studie zum Blutdruckmonitoring umfasste neben einer initialen Stichprobe zwei weitere, später gezogene Teilstichproben. Ausgeprägte systematische Unterschiede zwischen der initialen und den zwei späteren Ziehungen von Teilnehmern verhinderten die zunächst angestrebte Zusammenführung („Pooling“) der Daten in eine einzige Stichprobe. In Abstimmung mit dem WBQ wurde in die Auswertung nur die im Studiendesign geplante Teilstichprobe (Teilnehmer, die im Rahmen des Basisinterviews aus der Panelstudie des Moduls 1 rekrutiert wurden) einbe-

zogen. In einer nachträglichen Poweranalyse erwies sich die Anzahl von 844 Untersuchungsteilnehmern als ausreichend, um in multiplen Regressionsanalysen auch kleine lärmbedingte Änderungen des systolischen und diastolischen Blutdrucks mit einer Power von 80 % anzuzeigen.

Der große Vorteil dieser NORAH-Teilstudie besteht nach Auffassung des WBQ darin, dass das an einer ausreichend großen Stichprobe durchgeführte Blutdruckmonitoring über einen Zeitraum von drei Wochen mit den Schallpegeln aller drei gleichzeitig erfassten Verkehrslärmquellen, nämlich des Luft-, Schienen- und Straßenverkehrslärms, korreliert werden konnte. Dadurch konnte die Hypothese geprüft werden, dass eine regelmäßig wiederkehrende Lärmbelastung zu einer höheren psychophysiologischen Beanspruchung führt, die am Blutdruck erkennbar ist. Das Innovative dieser Studie gegenüber anderen großen Lärmwirkungsstudien, die ebenfalls die Wirkung von Verkehrsgeräuschen auf den Blutdruck thematisierten, ist die tatsächliche Blutdruckmessung, die im häuslichen Umfeld mittels Selbstmessungen durchgeführt wurde. Im Gegensatz dazu beziehen sich andere, häufig genannte Studien in der Regel auf selbstberichtete Diagnosen und Krankenkassenstatistiken und führten allenfalls wenige punktuelle Blutdruckmessungen durch, häufig durch Projektmitarbeiter (wie in der HYENA-Studie). Die NORAH-Blutdruckstudie zeigt gering ausgeprägte, aber konsistent positive Wirkungsbeziehungen zwischen Verkehrslärmexposition und systolischem sowie diastolischem Blutdruck. Statistisch signifikante oder klinisch relevante Zusammenhänge zwischen den einzelnen Geräuscharten und dem Blutdruck konnten allerdings in dieser NORAH-Teilstudie nicht nachgewiesen werden, auch nicht mit den nächtlichen Lärmexpositionen.

Sehr interessant waren die allerdings nur tendenziell bestehenden Hinweise darauf, dass die Subgruppe der bekannten Hypertoniker (nur Fluggeräuschexposition) sowie Teilnehmer mit einer mittleren (Fluggeräuschexposition, Schienengeräuschexposition) oder höheren Lärmempfindlichkeit (Straßengeräuschexposition) mit einem Blutdruckanstieg reagierten. Diesen theoretisch gut nachvollziehbaren und für das allgemeine Verständnis wichtigen Aspekt sollte man zukünftig genauer untersuchen.

Die in der NORAH-Studie angewandte Methode zur Ermittlung des diastolischen und systolischen Blutdruckes und der übrigen relevanten Outcome-Variablen entspricht dem aktuellen wissenschaftlichen Stand. Die telemedizinische Datenübertragung ist innovativ und wurde in einer Studie dieser Größe erstmals erfolgreich angewendet. Fehler in der Anwendung der Messgeräte und der Datenerfassung sowie in der statistischen Datenanalyse wurden vom WBQ nicht gesehen. Der WBQ bescheinigt daher dem Forscherteam, welches für die Studie zum Blutdruckmonitoring verantwortlich zeichnet, eine aufwändige, methodisch innovative Studie in hoher Qualität durchgeführt zu haben, welche die Lärmwirkungsforschung bereichert und trotz der Probleme mit der Heterogenität der Teilstichproben die angestrebten Ziele erfüllt hat.

Modul 2.3: Auswirkungen von Fluglärm auf den nächtlichen Schlaf

Auch der Arbeitsgruppe, welche die Schlafstudie durchführte, ist ein sehr gewissenhaftes Vorgehen zu bescheinigen.

Die Auswahl der Gebiete, in denen Probanden zur Teilnahme gewonnen wurden, orientierte sich an einer möglichst breiten Streuung der im Schlafraum zu erwartenden Schalldruckpegel. Dies ist die unabdingbare Voraussetzung für die Errechnung von Expositions-Wirkungskurven, die einen Vergleich mit entsprechenden aus der Literatur bekannten Kurven ermöglichen.

Bei der Auswahl der Probanden gingen die Autoren sorgfältig vor, wobei sie die schon seit Jahren im DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) angewandten Ausschlusskriterien nutzten. Damit ist aber auch jeder Versuch, Repräsentativität der Stichprobe zu erreichen, ausgeschlossen, was bei der geringen Anzahl an Probanden ohnehin kaum realisierbar gewesen wäre.

Die Autoren nutzten vielfach erprobte und validierte Verfahren. Dazu gehörte in den Jahren 2011 und 2012 die Polysomnografie und deren Auswertung nach den Regeln von Rechtschaffen und Kales. Ein Verfahren zur Erfassung vegetativ-motorischer Körperreaktionen (Vegetativ-Motorische Methode VMM) zur Detektion des Aufwachens wurde gemeinsam mit Prof. Mathias Basner, University of Pennsylvania, weiterentwickelt und in den Schlafstudien des Erhebungsjahrs 2013 erstmals bei einer größeren Anzahl an Probanden eingesetzt. Das Verfahren ermöglicht eine sichere Erkennung passagerer Beschleunigungen der Herzschlagfrequenz. Die Wahrscheinlichkeit einer vegetativ-motorischen Reaktion (VMR) lag in der Frankfurter Stichprobe deutlich über der der Aufwachwahrscheinlichkeit, wobei die Expositions-Wirkungskurven aber weitgehend parallel verlaufen. Die Validität dieses Verfahrens im Hinblick auf langfristige gesundheitliche Folgen, insbesondere ein Zusammenhang mit dem Auftreten kardiovaskulärer Erkrankungen ist jedoch noch ungeklärt. Die Möglichkeiten, die dieses neuartige Verfahren bietet, sollten aus Sicht des WBQ unbedingt in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Zur Dokumentation subjektiver Reaktionen auf den nächtlichen Lärm wurden Schlaferleben, Müdigkeit, Schläfrigkeit und Belästigung mit international etablierten und validierten Fragebögen erfasst.

Die zur statistischen Analyse eingesetzten Verfahren, insbesondere die multivariablen Regressionsmodelle sowie die Auswahl der Prädiktoren in den finalen Modellen werden vom WBQ als angemessen erachtet. Darüber hinaus ist – neben der besonderen Qualität – der Studie auch wissenschaftliche Originalität zu attestieren, wurde doch ein vergleichsweise großer Aufwand betrieben, um eine neue, bisher nicht validierte Methode zur Quantifizierung von Fluglärmwirkungen zu erproben.

Die Verfasser haben alle im Angebot bzw. Auftrag adressierten Aspekte bearbeitet. Durch zu nächst nicht erkannte technische Mängel bei der polysomnografischen Aufzeichnung des

Schlafs im Jahr 2011 war die beabsichtigte Schlaftiefenanalyse nicht möglich. Auf der Basis aufwändiger und zeitraubender Fehleranalysen ließ sich die Ursache eingrenzen. Einer anschließenden statistischen Analyse zufolge konnten wesentliche Schlafparameter für Vergleiche mit den 2012 erfassten Schlafdaten genutzt werden, so dass die wesentlichen Fragestellungen beantwortet werden konnten.

Modul 3: Chronische Fluglärmwirkungen auf kognitive Leistungen und Lebensqualität von Grundschulkindern

Im Gesamtbericht werden zu Modul 3 die Fragestellungen der Studie vor dem Hintergrund der gegenwärtigen Befundlage zu Fluglärmwirkungen und dem Stand der Theorien und Modelle zur Psychologie des Leseerwerbs nachvollziehbar dargestellt. Die Gebietsauswahl und die Stichprobengewinnung erfolgten unter den Gesichtspunkten der repräsentativen Abbildung unterschiedlicher Fluglärmbelastungen und der Kontrolle theoretisch möglicher Confounder sowie unter Beachtung der anzustrebenden Power der Untersuchung. Die Datenerhebungsinstrumente, d.h. die Testverfahren und Fragebögen wurden entsprechend der theoretischen Grundlagen, der Fragestellungen und der Hypothesen ausgewählt bzw. entwickelt und dort, wo es sich um neu konzipierte Fragebogen handelte, soweit dies möglich war hinsichtlich testtheoretischer Kriterien überprüft. Der Untersuchungsplan berücksichtigte die Kontrolle aller nach dem Stand der Erkenntnis möglichen Confounder, mit dem Ziel, einen eindeutigen Wirkungszusammenhang zwischen Fluglärm und Leseleistungen einerseits und der Lebensqualität andererseits festzustellen.

Die Datenanalyse wurde mittels hoch differenzierter statistischer Verfahren durchgeführt. Bei der Datenauswertung wurden alle Maßnahmen, wie die der Datenergänzung bei fehlenden Daten, der Datenaggregation und der Datenverdichtung sorgfältig hinsichtlich möglicher Alternativen geprüft und die gewählte Vorgehensweise jeweils überzeugend begründet.

Die methodische Vorgehensweise der Studie entspricht insgesamt hohen Standards. Die Studie stellt zusammen mit der RANCH-Studie zweifellos die methodisch anspruchsvollste Untersuchung zur Frage der Einflüsse von Verkehrslärmbelastungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Grundschulkindern dar.

Insgesamt betrachtet hat diese NORAH-Teilstudie ihre Untersuchungsfragen überzeugend beantwortet und wichtige Erkenntnisse erbracht. Dazu zählt vor allem die Verzögerung des Leselernprozesses um einen Monat pro 10 dB Pegelanstieg von Luftverkehrsgeräuschen sowie die übereinstimmende Einschätzung der Lehrkräfte, dass der Fluglärm eine „hohe“ bis „sehr hohe“ Belastung im Unterricht darstellt und die Unterrichtsqualität beeinträchtigt.

Die Studie zur Wirkung des Fluglärms auf kognitive Leistungen und Lebensqualität von Grundschulkindern wurde bereits im Herbst 2014 veröffentlicht und hat zu dem Beschluss der Hessi-

schen Landesregierung geführt, die Schallisolierung von Schulen zu verbessern, die hohen Belastungen durch Fluglärm ausgesetzt sind.

2.4 Generalisierbarkeit des NORAH-Forschungsverbundprojektes und Fazit

Der Gesamtbericht vermittelt ein in sich geschlossenes und abgerundetes Bild des aus einzelnen Teilstudien bestehenden NORAH-Forschungsverbundprojektes. In diesem Forschungsverbundprojekt werden alle mit Verkehrslärmexpositionen zusammenhängenden gesundheitlichen Wirkungen auf den Menschen thematisiert, die heute – siehe auch den einleitend erwähnten WHO-Bericht – in Wissenschaft und Öffentlichkeit diskutiert werden. Die NORAH-Studie deckt somit insgesamt den gesundheitsbezogenen Lärmwirkungsbereich thematisch umfassend ab. Dies gilt auch für die drei untersuchten Hauptverkehrsträger Straßen-, Schienen- und Luftverkehr. Die Datenerfassungsinstrumente entsprechen dem Stand der Wissenschaft und weisen hohe Validität und Reliabilität auf. Die Ergebnisse der NORAH-Module erlauben daher gültige und zuverlässige Aussagen über die einzelnen Wirkungsbereiche. Durch die Vorgehensweisen bei Stichprobenziehungen, Untersuchungsdesigns und statistischen Analysen werden Störvariablen kontrolliert und in den Teilstudien, in denen Repräsentativität angestrebt war, statistisch abgesicherte Schlussfolgerungen von den untersuchten Stichproben auf die Population ermöglicht. Soweit es hierbei inhaltlich begründete Einschränkungen (bspw. „Änderungsflughäfen“ vs. „Bestandsflughäfen“) oder methodisch bedingte Probleme (bspw. Antwortverweigerung) gibt, werden diese transparent diskutiert und hinsichtlich ihrer Auswirkungen analysiert.

Die NORAH-Studie ist die umfangreichste und aufwändigste Studie zu Verkehrslärmwirkungen, die im deutschen Sprachraum bis heute durchgeführt wurde. Sie hat die Wissenschaft bereichert, indem sie die Beziehungen zwischen Belastungen durch Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche einerseits und Belästigung, gesundheitlichen Gefährdungen und kognitiven Entwicklungsbeeinträchtigungen andererseits empirisch absicherte, hinsichtlich ihres Ausmaßes präzisierte und deutliche Hinweise auf wichtige Einflussfaktoren gab.

Gemäß den Ergebnissen der NORAH-Studie müssen bisherige Aussagen über gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Verkehrslärm nicht grundsätzlich umgeschrieben werden, vielmehr gilt:

Chronische Verkehrslärmexposition beeinträchtigt die Gesundheit gemäß der einleitend zitierten Gesundheitsdefinition, in dem Sinne dass „das Stadium des Gleichgewichtes von Risikofaktoren und Schutzfaktoren“ nicht mehr gewährleistet ist, weil den Menschen eine „Bewältigung sowohl der inneren (körperlichen und psychischen) als auch der äußeren (sozialen und materiellen) Anforderungen“ nicht mehr gelingt. Dies äußert sich in dem Gefühl der Belästigung und in psychischen und psychosomatischen Reaktionen und manifesten Störungsbildern (auch wenn sie im Falle der direkten Messung von Blutdruck- und Herzfrequenzveränderungen statistisch

nicht signifikant nachgewiesen werden konnten) und einem mit zunehmendem Schallpegel ansteigenden Erkrankungsrisiko für Herz-Kreislaufkrankungen und depressive Episoden. Überraschend ist der relativ hohe Anstieg im Falle depressiver Episoden, der bereits bei mittleren Pegelklassen beginnt und den der Herz-Kreislaufkrankungen quantitativ „überholt“. Man kann davon ausgehen, dass in der Nach-NORAH-Zeit das Thema „Depression“ in den Fokus der gesundheitsorientierten Lärmwirkungsforschung rücken und Nachuntersuchungen zur Folge haben wird.

Man muss aber auch differenzieren: Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm haben unterschiedliche Auswirkungen, wobei sich – auch bei gemeinsamer Einwirkung – der Fluglärm summa summarum als der wichtigste erweist; im Falle der Belästigung ist der Unterschied zu den beiden anderen Verkehrslärmarten über Erwartungen groß. Es muss aber auch betont werden, dass sich in verschiedenen NORAH-Teilstudien (Studie zur Belästigung, Fallkontrollstudie und Blutdruckmonitoring) Hinweise finden lassen, dass das Wirkungspotenzial des Schienenverkehrslärms gegenüber dem Straßenverkehrslärm entgegen früheren Befunden deutlich stärker zu gewichten ist.

Dass chronische Flugverkehrsbelastungen den Leselernprozess verzögern, konnte ebenfalls in einer groß angelegten Teilstudie des NORAH-Forschungsverbands nachgewiesen werden. Dies steht im Einklang mit früheren Untersuchungen (RANCH-Studie) und verbreitert damit die empirische Evidenz für diesen Befund.

In besonderem Maße hervorzuheben ist die überaus detaillierte, adressgenaue Erfassung der akustischen Expositionsdaten, für die auch die Berechnungsunsicherheit angegeben wurde. Da – mit Ausnahme der Schlafstudie – die akustischen Expositionsdaten die Grundlage aller Lärmwirkungs-Teilstudien darstellen, kommt dieser Arbeit, die der NORAH-Studie hinsichtlich Aufwand, Differenziertheit und Detaillierungsgrad bislang ein Alleinstellungsmerkmal in der Lärmwirkungsforschung zuweist, besondere Bedeutung zu.

Auch ein so umfassendes Forschungsverbundprojekt wie NORAH hinterlässt noch offene Fragen, die aber nicht darauf zurückzuführen sind, dass die Forscher ihre Aufgaben und Aufträge nicht mit der gebotenen Sorgfalt erfüllt hätten, sondern die sich – wie bei jedem empirischen Forschungsprojekt – aus der Dynamik des Forschungsprozesses selbst ergeben und aus Ergebnissen, die mit den Arbeitshypothesen nicht im Einklang standen oder hinsichtlich ihrer Effektstärke überraschend ausfallen.

3 Empfehlung des WBQ

Der WBQ bescheinigt dem NORAH-Forschungsverbundprojekt und den es tragenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, dass die im Angebot niedergelegten Aufgaben und Aufträge verantwortungsvoll und sorgfältig erfüllt und die angestrebten Ziele erreicht wurden. Insgesamt ist die NORAH-Studie somit vollständig und erfüllt die in sie gesetzten hohen Qualitätserwartungen. Dies bestätigt der WBQ, indem er den vom Koordinationsteam verfassten NORAH-Gesamtbericht annimmt.

Auf seiner Sitzung vom 09. September 2015 hat der WBQ den NORAH-Gesamtbericht eingehend mit den Verfassern diskutiert. Der WBQ empfahl am 18. September 2015, nachdem die Verfasser die Kommentare und Kritikpunkte des WBQ aufgegriffen und im Gesamtbericht adäquat umgesetzt hatten, der Umwelthaus gGmbH, den Band 7 „*Gesamtbetrachtung des Forschungsprojektes NORAH*“ zur Veröffentlichung freizugeben.