

# Fluglärm und Gesundheit 2008–2016 – HYENA, RANCH, NORAH etc. Was gibt es Neues in der Fluglärmforschung?

Katrin Steul und Ursel Heudorf

## Zusammenfassung

Die Wirkung von Verkehrslärm auf die menschliche Gesundheit ist in zunehmendem Maße von öffentlichem Interesse. Im Umfeld großer Verkehrsflughäfen wird intensiv auch über die Lärmbelastung durch Fluglärm diskutiert. Vor diesem Hintergrund stellte das Gesundheitsamt Frankfurt im Jahr 2008 erstmals einen Überblick über die Studienlage von den 1970er Jahren bis 2008 zusammen. Aktuell wurde erneut ein Bericht durch das Gesundheitsamt Frankfurt herausgegeben „Fluglärm und Gesundheit 2008–2016“. Dieser beinhaltet alle neuen Veröffentlichungen, darunter insbesondere die großen Fluglärmstudien HYENA, RANCH und NORAH, die größtenteils nach 2008 veröffentlicht wurden. Die Untersuchungen umfassen die Themen Belästigung, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, allgemeine Gesundheit und Schlaf. Für die kindliche Bevölkerungsgruppe können die Untersuchungen unterteilt werden in Bezug auf die Themen: Belästigung, allgemeine Gesundheit und kognitive Entwicklung. Die Fluglärmforschung ist konfrontiert mit verschiedenen Herausforderungen. So zeigte sich übereinstimmend in mehreren Untersuchungen, dass die Belästigung bei identischer Fluglärm-Belastung über die letzten Jahre zugenommen hat. Zudem sind Ergebnisse an einem Standort nicht unbedingt auf andere Standorte übertragbar.

Schlagworte: Fluglärm, Belästigung, Gesundheit, epidemiologische Studien, RANCH, NORAH, HYENA

## Abstract

The effects of traffic noise are discussed widely in public. In the vicinity of airports there are special concerns about the effects of air traffic noise. Therefore the public health department Frankfurt released a report in 2008 compiling epidemiological studies regarding air traffic noise and its health effects. Currently a second version was published including publications between 2008 and 2016. Most of the big air traffic noise studies (HYENA; RANCH, NORAH) have been published in this time period. The report was divided into sections for adults: annoyance, cardiovascular diseases, general health concerns, sleep. For children it is divided into annoyance, general health concerns and cognitive abilities. Air traffic noise research is confronted with some difficulties: In some studies it can be shown that annoyance due to air traffic noise increased over time. Additionally it was shown that results cannot be transformed from one location to another.

Key words: Noise, aircraft, annoyance, health, epidemiological studies, RANCH, HYENA, NORAH

## Einleitung

Viele Menschen in Deutschland fühlen sich durch Umweltlärm belästigt. Am häufigsten wird über Straßenverkehrslärm geklagt gefolgt von Nachbarschaftslärm und anderen Verkehrslärmarten (Schack 2015). Insbesondere im Umfeld größerer Verkehrsflughäfen ist Fluglärm ein großes Problem. Der Flughafen Frankfurt ist der größte Verkehrsflughafen in Deutschland (Airport Traffic Report 2015). Vor diesem Hintergrund erstellte das Gesundheitsamt Frankfurt im Jahr 2008 erstmals einen Bericht mit dem Titel „Fluglärm und Gesundheit“ (Heudorf 2008). Ziel war, der interessierten Öffentlichkeit einen Überblick über die Untersuchungen der Fluglärmwirkung auf die menschliche Gesundheit zu geben. Dieser Bericht umfasste damals ca. 50 Studien beginnend mit den späten 1970er Jahren bis 2008 (Kasten 1). Angesichts des großen Interesses am Thema wurde im Jahr 2017 ein neuer Bericht erstellt, basierend auf Studien der Jahre 2008–2016. Über

die wesentlichen Studien und deren Ergebnisse soll nachfolgend berichtet werden.

## Methode

Auf der Basis einer erneuten strukturierten Internetrecherche aller zwischen 2008 bis 2016 erschienenen Studien zur Fluglärmwirkung wurde eine weitere Literaturübersicht (Fluglärm und Gesundheit 2008–2016) erstellt (Steul und

## Korrespondenzautorin:

Dr. Katrin Steul  
Abteilung Infektiologie und Hygiene  
Gesundheitsamt  
Breite Gasse 28  
60313 Frankfurt  
E-Mail: [katrin.steul@stadt-frankfurt.de](mailto:katrin.steul@stadt-frankfurt.de)

Heudorf 2017). Aus den großen multizentrischen Studien HYENA und RANCH wurden auch vor 2008 erschienene Publikationen einbezogen, um ein umfassendes Bild dieser Studien geben zu können. Aber auch noch nicht in Pubmed veröffentlichte Berichte vorliegender großer Studien zu den Auswirkungen des Fluglärms auf die Gesundheit wurden berücksichtigt. Insgesamt flossen ca. 70 neue Publikationen der Jahre 2008–2016 ein. Die genaue Anzahl der Studien divergiert je nach Einteilung. So sind zum Beispiel auch Reviews tabellarisch aufgeführt, die keine eigenen Daten beinhalten. Zum anderen wird auch über ältere Publikationen berichtet, die zur besseren Nachvollziehbarkeit der großen Studien erneut behandelt werden.

Es wurden in den Bericht alle Studien einbezogen, die sich mit der Fluglärmwirkung und gesundheitlichen Folgen des Fluglärms beschäftigen und im entsprechenden Zeitraum veröffentlicht wurden. Die Suchkriterien waren zunächst: aircraft, health impact, noise, annoyance. Es wurden jedoch auch Studien einbezogen, die bislang noch nicht über pubmed veröffentlicht sind, sondern nur in Studienberichten. Studien, die einen starken Fokus auf Luftbelastungsparameter durch Flugverkehr legten oder den Fokus stark auf andere Lärmfaktoren (Straße, Schiene, Haushalt), wurden nicht einbezogen. In diesem Review wurden hauptsächlich die Veröffentlichungen der großen Fluglärmstudien berichtet, da sie sowohl inhaltlich als auch im Ergebnis die Hauptaussagen widerspiegeln.

#### Fluglärm und Gesundheit 1: Literatur bis 2008

Der Bericht war gegliedert nach den hauptsächlich untersuchten Symptomkomplexen:

- **Auswirkungen bei Erwachsenen**
- Belästigung
- Bluthochdruck
- Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Herzinfarkt
- Schlafstörungen
- Allgemeine Gesundheit
- **Auswirkungen bei Kindern**
- Belästigung
- Schwangerschaft, Geburtsgewicht
- Blutdruck
- Allgemeine Gesundheit
- Kognitive Fähigkeiten

Es zeigte sich in allen Studien, die sich mit der **Belästigung** durch Fluglärm beschäftigten, eine zunehmende Belästigung bei zunehmendem „gemitteltem Schalldruckpegel“. In Bezug auf die Wirkung auf **Blutdruck** und **Herz-Kreislauf-Erkrankungen** zeigten sich in zahlreichen Studien signifikante Zusammenhänge (insbesondere in den älteren Studien). Bei **Schlafstörungen** lagen methodisch sehr unterschiedliche Studien vor. Generell wurde ein Zusammenhang mit nächtlichem Fluglärm angenommen. Die älteren Untersuchungen wiesen auf Zusammenhänge zwischen der Fluglärmbelastung und einem schlechteren **Gesundheitszustand** hin. Dies konnte in neueren Studien so nicht belegt werden. Deutliche Zusammenhänge ließen sich erkennen zwischen der Belästigung durch Fluglärm und verschiedenen Beschwerdegruppen.

Eine zunehmende **Belästigung** bei zunehmendem Fluglärm zeigte sich auch bei den **Kindern**. In Bezug auf die Wirkung auf **Schwangerschaftsdauer und Geburtsgewicht** konnten bei unzureichender Studienlage und methodischen Mängeln der wenigen Studien keine klaren Schlussfolgerungen gezogen werden. **Blutdruckwirkungen** zeigten sich bei den Kindern in älteren Studien, nicht jedoch in den neueren mit deutlich höheren Teilnehmerzahlen. In Bezug auf die **allgemeine Gesundheit** bei Kindern zeigten sich keine konsistenten Ergebnisse. Ein Schwerpunkt lag schon damals auf einer möglichen Beeinträchtigung der **kognitiven Funktion** bei Kindern. Es gab Hinweise, dass andere Faktoren (z.B. familiäre) deutlich stärkere Effekte aufwiesen und somit einen möglichen Einfluss des Fluglärms überlagerten. Am ehesten zeigten sich Beeinträchtigungen in Bezug auf das **Leseverständnis**. (Heudorf 2008)

### Fluglärm und extra-aurale Wirkungen

Grundsätzlich kann bei Lärmwirkungen zwischen solchen unterschieden werden, die direkt auf das Gehör wirken (aurale), und solchen, die auf den übrigen Organismus einwirken (extra-aurale). Aurale Lärmwirkungen mit irreversibler Schädigung des Innenohrs treten z. B. nach einmaliger Lärmexposition von > 130 dB oder nach jahrelanger täglicher Schallbelastung von >85 dB auf. Man kennt sie hauptsächlich bei beruflich (Fluglärm)-Exponierten. Bei Anwohnern von Flughäfen spielen sie eine stark untergeordnete Rolle (Reichl 2011). Die Untersuchungen zur Fluglärmwirkung auf z.B. Anwohner beziehen sich auf die extra-auralen Wirkungen.

### Stresshypothese

Man geht davon aus, dass einem Teil der extra-auralen Wirkungen des (Flug-)Lärms eine unspezifische Aktivierung des zentralen und peripheren vegetativen Nervensystems zugrunde liegt, wie sie auch von anderen Stressfaktoren hervorgerufen werden kann. Akut kommt es stressbedingt zu einem Anstieg der Hormone Adrenalin und Noradrenalin; im weiteren auch zur übermäßigen Freisetzung von ACTH (Adreno-corticotropes Hormon) und Cortisol. Reaktionen des Herz-Kreislaufsystems werden so erklärt. In einigen wenigen Studien stand in diesem Zusammenhang auch eine Wirkung auf den BMI (Body Mass Index) und die Entstehung der Typ 2 Diabetes mellitus im Fokus (vermehrte Freisetzung von Cortisol könnte zur Störung des Zuckerstoffwechsels führen) (Eriksson et al. 2014).

### Epidemiologische Studien

Zur Darstellung der Fluglärmwirkung auf die menschliche Gesundheit eignen sich epidemiologische Studien. Die wichtigsten Studientypen sind Kohortenstudien, Fall-Kontroll-Studien und Querschnittstudien (Surveys) (Klug et al. 2004). **Kohortenstudien** sind Längsschnittuntersuchungen. Individuen werden bezüglich einer Exposition (Exponierte und Nicht-Exponierte) ausgesucht und über

die Zeit beobachtet. Personen, die bei Beginn der Untersuchung an der Zielerkrankung leiden, werden ausgeschlossen. Effektmaße sind Inzidenz und relatives Risiko. Bei der **Fall-Kontroll-Studie** werden retrospektiv erkrankte und nicht-erkrankte Personen bezüglich der Risikofaktoren untersucht. Das Effektmaß hier ist die Odds Ratio. **Querschnittsstudien** umfassen eine definierte Auswahl von Personen einer Zielpopulation. Es werden Exposition und Erkrankung zu einem Stichtermine ermittelt. Sie eignen sich zur Analyse großer Personengruppen. Ein Kausalitätsnachweis ist jedoch eher schwierig, da häufig lange Zeit zwischen Exposition und Erkrankung liegt (Klug et al. 2004). Als Effektmaß wird die Prävalenz berechnet. In der Fluglärmforschung werden häufig (insbesondere in den großen Studienprojekten: RANCH, HYENA, NORAH) mehrere Studiendesigns miteinander verbunden. Auch die Analyse biologischer Materialien oder die Messung klinischer Parameter (Blutdruck, Aufwachhäufigkeit etc.) wird durchgeführt.

**Studienprojekte zu den Wirkungen von Fluglärm**

Insbesondere drei großangelegte multizentrische Studienprojekte brachten in den letzten Jahren Publikationen zum Thema Fluglärmwirkung auf die menschliche Gesundheit hervor: HYENA, RANCH, NORAH. Die inhaltlichen Schwerpunkte betrafen hauptsächlich die Belästigung, kardiovaskuläre Risikofaktoren (Blutdruck) und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Schlafqualität und bei Kindern die Belästigung und die kognitive Entwicklung.

**HYENA**

Die HYENA-Studie (*Hypertension and Exposure to Noise Near Airports*) wurde in den Jahren 2003–2005 im Umfeld von 6 Großflughäfen in Europa (London-Heathrow, Berlin-Tegel, Amsterdam-Schiphol, Stockholm-Arlanda, Mailand-Malpensa, Athen-Elephtheros) durchgeführt. Primäres Ziel war es, den Zusammenhang zwischen Flug- und Straßen-

verkehrslärm und Bluthochdruck (> 140/90 mm Hg) bei Erwachsenen zu untersuchen.

Alle Teilnehmer – insgesamt 4861 Personen (2404 Männer, 2467 Frauen) im Alter von 45–70 Jahren, die länger als mindestens 5 Jahre im Umfeld der Flughäfen lebten, wurden an einem Tag (unterschiedliche Tageszeiten bei verschiedenen Probanden, um den ganzen Tag abzubilden) von einem geschulten Mitarbeiter besucht. Im Rahmen dieses (einen) Besuchs wurde den Probanden 3x der Blutdruck mit einem automatischen Blutdruckmessgerät gemessen.

Bei einer Untergruppe von 87 Exponierten und 62 Nicht-Nachtfluglärm-Exponierten im Umfeld von 4 Flughäfen (Athen/Griechenland, Malpensa/Italien, Arlanda/Schweden, London/GB) wurden 24h-Blutdruckmessungen im häuslichen Umfeld durchgeführt.

Im Hinblick auf die Stresshypothese sollte in einer Untergruppe von 500 Personen stratifiziert nach Fluglärmbelastung das „Stresshormon Cortisol“ im Speichel untersucht werden.

Im Umfeld der Flughäfen London-Heathrow, Amsterdam-Schiphol und Arlanda-Schweden wurden zusätzlich Luftbelastungsdaten der Probanden berechnet. Ziel war es, den Einfluss der Luftbelastung durch NO<sub>2</sub> als möglichen Confounder im Zusammenhang zwischen Fluglärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen und zwischen Straßenlärm und Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu überprüfen.

Zur Beachtung möglicher Confounder wurde mit umfangreichen Interviews in der Wohnung der Teilnehmer der Gesundheitszustand einschließlich Medikamenteneinnahme erhoben. Es wurden die Ernährungsweise, Rauchen, Lebensstilfaktoren incl. Lärm am Arbeitsplatz, Persönlichkeitsfaktoren mit Lärmsensitivität sowie Einstellung zum Flughafen erfragt.

Tabelle 1 zeigt die aus der HYENA bereits hervorgegangenen Publikationen und die wesentlichen Ergebnisse.

**Tabelle 1:** Verzeichnis der Literatur (HYENA-Studie), erhoben 2003–2005

Jahr	Autoren, Zeitschrift	Teilnehmer	Fragestellung	Ergebnisse
2005	Jarup et al., Environmental Health Perspectives	6 000 Personen (45–70 Jahre)	Darstellung des Studiendesigns und der Lärmmodelle der HYENA Studie	Ziel ist, den Einfluss von Flug- und Straßenlärm auf den Blutdruck und das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen zu untersuchen
2008	Jarup et al., Environmental Health Perspectives	4861 Personen aus 6 EU Ländern, 45–70 Jahre	Auftreten von Bluthochdruck in Abhängigkeit von L <sub>Aeq 24h</sub> , L <sub>Aeq 16h</sub> , L <sub>Aeq night</sub> für Flug- und Straßenverkehrslärm	Sign. Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und der nächtlichen Fluglärmbelastung, sign. Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und der 24h Lärmbelastung durch Straßenverkehr

Jahr	Autoren, Zeitschrift	Teilnehmer	Fragestellung	Ergebnisse
2008	Haralabidis et al., European Heart Journal	140 Personen aus 4 EU Ländern, (Griechenland, Italien, Schweden, Großbritannien)	Akute Wirkung von Geräuschspitzen in der Nacht im Schlafzimmer auf den Blutdruck und den Puls; (automatisierte, nicht invasive Blutdruckmessung; Lärmmessung im Schlafzimmer)	15 min nach einem Lärmereignis kommt es zu signifikanten Anstiegen des Blutdrucks (systolisch und diastolisch), nicht der Herzfrequenz – bei allen Geräuschquellen (Flug, Straße, Innenraum)
2009	Babisch et al., Environment International	4861 Personen aus 6 EU Ländern, 45–70 Jahre	Belästigung durch Fluglärm bzw. Straßenverkehrslärm, Veränderungen im Laufe der Zeit?	Die Belästigung durch Fluglärm hat (bei gleicher Lärmbelastung) in allen Ländern im Vergleich zur EU-Kurve (Daten aus 1978–1991) erheblich zugenommen; nicht bei Straßenverkehrslärm
2009	Selander et al. Environmental Health Perspectives	439 Personen aus 6 Ländern, Teilnehmer der HYENA-Studie	Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und morgendlichen Cortisol-Werten	Frauen mit >60 dB Lärmbelastung hatten einen signifikant höheren morgendlichen Cortisolspiegel als die mit <50 dB Belasteten; bei den Männern keine Korrelation
2011	Haralabidis et al., J Epidemiol Community Health	149 Personen, 45–70 Jahre, aus Griechenland, Italien, Schweden und Großbritannien	Zusammenhang zwischen Belastung durch Fluglärm, Straßenverkehrslärm und Innenraumgeräusche auf eine Absenkung des nächtlichen (diastolischen) Blutdrucks	Straßenverkehrslärm war mit einem fehlenden diastolischen Blutdruck-Dipping in der Nacht assoziiert; Fluglärm und Innenraumgeräusche nicht.
2011	Floud et al., Occup Environ Med	4861 Personen aus 6 EU Ländern, 45–70 Jahre	Erhebung des Verbrauches von verschreibungspflichtigen Medikamenten (Blutdruckmittel, Angstlöser, Säureblocker, Schlafmittel, Asthmamedikamente), in Abhängigkeit vom Fluglärm und Straßenverkehrslärm	Nur in Großbritannien und Holland sign. Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung an der Wohnadresse und der Verschreibung von blutdrucksenkenden Medikamenten (in Italien sign. negativer Zusammenhang); angstlösende Medikamente sign. pos. Zusammenhang in allen Ländern; kein Zusammenhang zw. Fluglärmbelastung und der Einnahme der anderen Medikamente: sign. Zusammenhang zwischen der Verschreibung von Beruhigungsmitteln und Straßenverkehrslärm
2013	Babisch et al., Science of the total Environment	4861 Personen aus 6 EU Ländern, 45–70 Jahre	Erhebung des 24h-Schalldruckpegels ( $L_{Aeq}$ ) am Wohnort, selbst-angegebene Belästigung durch Fluglärm; Blutdruck; beeinflusst die Belästigung den Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und Bluthochdruck	Hinweis, dass der Lärmpegel eine stärkere Vorhersagekraft auf das Verhältnis Lärmexposition und Bluthochdruck hat als die Lärmbelastigung; Lärmbelastigung modifiziert den Effekt zw. Lärmbelastung und Bluthochdruck
2013	Floud et al., Environmental Health	4712 Personen aus 6 Ländern	NO <sub>2</sub> als Marker für Luftverschmutzung; verändert dieser Parameter den Einfluss von Straßen- und Fluglärm auf kardiovaskuläre Erkrankungen	Der Einfluss von Fluglärm auf das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und Schlaganfälle bleibt auch nach der Korrektur für NO <sub>2</sub> bestehen; nicht so bei Straßenverkehrslärm

## RANCH

Im Rahmen der multizentrischen RANCH-Studie (*Road traffic and aircraft noise exposure and children's cognition and health: exposure-effect relationships and combined effects*) wurde folgenden Fragen nachgegangen: Wie ist der

Einfluss von Flug- und Straßenverkehrslärm auf die individuell empfundene Belästigung, die Gesundheit (insbesondere der Blutdruck) und die kognitive Entwicklung von Kindern? Haben verkehrsbedingte Luftschadstoffe einen moderierenden Effekt auf die untersuchten Wirkungen zur Kognition?

In den Jahren 2001–2003 wurden insgesamt 2 844 Kinder im Alter von 9–10 Jahren aus 89 Schulen im Umfeld der Flughäfen London Heathrow, Amsterdam Schiphol und Madrid Barajas untersucht. In jedem Land wurden Schulen entsprechend sozioökonomischem Status der Kinder ausgesucht.

Folgende Untersuchungsmethoden wurden angewandt:

- *Leseverständnis*: standardisierte nationale Tests
- *Gedächtnis* (Kurz- und Langzeit, Abruf und Wiedererkennung)
- *Aufmerksamkeitstest* nach Toulouse Pierron
- Fragebögen nach selbst angegebenen Gesundheitszustand, psychischer Gesundheit, Stress
- *Strength and Difficulties Questionnaire* (SDQ), weitverbreiteter Test zur psychologischen Morbidität
- *Allgemeine Gesundheit*: Fragebogen zur Einschätzung des Gesundheitszustands
- *Blutdruckmessung*
- *Neurobehavioural Evaluation System, NES*, eine Computertest-Batterie

- *Lärmbelästigung*
- *Luftbelastung (London)*: Für eine spätere Sekundäranalyse wurden für die Gruppe der in England untersuchten Kinder Daten zur Luftbelastung – Straßenverkehrsbedingte NO<sub>2</sub>-Belastung erhoben.

Als Confounder wurde bei RANCH das Alter der Kinder betrachtet, der Beschäftigungsstatus der Eltern, Wohnungsdichte, Wohnungseigentum, chronische Krankheiten des Kindes, die Muttersprache zu Hause, die Unterstützung der Kinder durch die Eltern und die Verglasung der Schulräume.

In der englischen Population der Untersuchung wurde eine Nachuntersuchung nach 6 Jahren durchgeführt. Von 1.355 Kindern des ersten Untersuchungsdurchgangs nahmen 461 Kinder/Jugendliche im Alter von 15-16 Jahren an der Nachuntersuchung teil.

Tabelle 2 zeigt die Publikationen der RANCH Studie mit den wesentlichen Ergebnissen.

**Tabelle 2:** Verzeichnis der Literatur (RANCH Studie), erhoben 2001-2003

Publikationsjahr	Autoren, Zeitschrift	Teilnehmer	Fragestellung	Ergebnisse
2005	Stansfeld et al., Lancet	2 844 Kinder, 9–11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam	Flug- und Straßenverkehrsbelastung und Belästigung sowie kognitive Fähigkeiten und Gesundheit der Kinder	Sign. Zusammenhang zw. der Belästigung und Verkehrslärm; Fluglärm belästigt mehr als Straßenverkehrslärm; Fluglärm beeinträchtigt das Leseverständnis (insb. schwierige Aufgaben), jedoch nicht Aufmerksamkeit oder versch. Gedächtnisleistungen; Straßenverkehrslärm war mit einer Verbesserung von Gedächtnisleistungen assoziiert; weder Flug- noch Straßenverkehrslärm waren mit der Aufmerksamkeit und der selbst angegebenen psychischen und physischen Gesundheit assoziiert.
2006	Clark et al., Am. J Epidemiol.	2 844 Kinder, 9–11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam	Flug- und Straßenverkehrsbelastung an der Schule und zu Hause sowie kognitive Fähigkeiten	Sowohl Fluglärm an der Schule als auch zu Hause waren sign. assoziiert mit abnehmendem Leseverständnis; nach Adjustierung für Fluglärm an der Schule kein zusätzl. Effekt von Fluglärm zu Hause.
2006	Van Kempen et al., Occup Environ Med	853 Kinder, 9–11 Jahre; England, Holland	Flug- und Straßenverkehrsbelastung und Blutdruck sowie Stresshormone	Blutdruck: Ergebnisse bei Fluglärm nicht konsistent: sign. Einfluss in Holland bezogen auf Schule und Wohnung, nicht in England; abnehmende Blutdruckwerte bei zunehmender Straßenverkehrsbelastung an der Schule (nicht erklärbar).
2009	Van Kempen et al., J. Acoust Soc Am	2 844 Kinder, 9–11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam	Flug- und Straßenverkehrsbelastung und Belästigung	Starker Effekt der Fluglärmbelastung auf die Belästigung – sowohl an der Schule als auch an der Wohnung; vergleichbar in allen Ländern; bei > 55 dB waren Kinder weniger belästigt als ihre Eltern; geringerer, in allen Ländern übereinstimmender Effekt des Straßenverkehrslärms an der Schule.
2009	Stansfeld et al., Journal of Environmental Psychology	2 844 Kinder, 9–10 Jahre, Madrid, London, Amsterdam	Parameter der mentalen Gesundheit und der Zusammenhang zu Flug- und Straßenverkehrslärm	Bei den mit dem SDQ abgebildeten Fragen zur mentalen Gesundheit (incl. Hyperaktivität, Verhaltensstörungen, Peer-Problemen, Sozialverhalten und emotionalen Problemen) zeigten sich keine Zusammenhänge zum Verkehrslärm (Ausnahme: Hyperaktivität und Fluglärm sowie Verhaltensstörungen und Straßenverkehrslärm).

Publi- kations- jahr	Autoren, Zeitschrift	Teilnehmer	Fragestellung	Ergebnisse
2010a	Van Kempen et al., J Acoust Soc Am	2 844 Kinder, 9–11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam RANCH	Zusammenhang zwischen individuell empfundener Belästigung durch Lärm und Gesundheitszustand, Blutdruck, kognitiven Leistungen (NES)	Der selbst angegebene Gesundheitszustand war mit der angegebenen Belästigung, nicht mit der Belastung assoziiert – auch nach Adjustierung der Belastung mit der Belästigung; es zeigten sich sign. Zusammenhänge zw. Belästigung und verschiedenen kognitiven Tests
2010b	Van Kempen et al., Environmental Health	553 Kinder, 9–11 Jahre, RANCH (Amsterdam)	Lärmexposition ( $L_{Aeq\ 7-23\ Uhr}$ ) in Straßen- und Flugverkehr als Einflussfaktor auf kognitive Leistungen (Bildschirmbasiert, NES) und papiergestützt	Bildschirmbasierte Tests können bzgl. Aufmerksamkeit (Reaktionsschnelligkeit, Fähigkeit zwischen verschiedenen Aufgaben zu wechseln) papierbasierte Tests ergänzen; Lärmeffekt bei komplexen, nicht bei einfachen Aufgaben
2010	Matheson et al., Noise and Health	2 844 Kinder, 9–11 Jahre, Madrid, London, Amsterdam RANCH	Erinnerungsvermögen (episodic memory) erhoben in Papier-basierten Testungen und Einfluss durch Flug- und Straßenverkehrslärm	Negative Assoziation zw. Fluglärm und Wiedererkennen/Erinnern, positive Assoziation zwischen Straßenverkehrslärm und Informations-/Begriffserinnerung; Fluglärm kann einzelne Aspekte der Gedächtnisleistung beeinträchtigen.
2010	Stansfeld et al., Noise and Health	326 Kinder München Studie, 9–11 Jahre, 857 Kinder RANCH (London), 9–10 Jahre	Nächtliche Lärmexposition bzw. Schlafqualität als unabhängiger Einflussfaktor auf Leseverständnis, Erinnerung, Papier-basiertes Testverfahren	Nächtlicher Fluglärm hat keinen über den Verkehrslärm am Tage hinausgehenden Einfluss auf die kognitiven Leistungen der Kinder, Fehlerhäufigkeit bei Aufmerksamkeits-tests (München) oder Leseverständnis (RANCH, London).
2012	Van Kempen et al., Environmental Research	553 Kinder, 9–11 Jahre, RANCH (Amsterdam)	Lärmexposition und Belastung durch Stickstoffdioxid; Ist Luftbelastung ein Einflussfaktor auf kognitive Leistungen (NES)?	Geringere Erinnerungsspanne bezogen auf NO <sub>2</sub> und mehr Fehler im SAT-Test (Switching attention) bei Verkehrslärm; aber: geringe Effekte; Interpretation schwierig, Zufallseffekte laut Autoren nicht auszuschließen
2012	Clark et al., American Journal of Epidemiology	960 Kinder, 9–10 Jahre, RANCH (London), 719 davon mit Daten zur Luftbelastung am Schulort	Verändert Stickstoffdioxid (als unabhängiger Parameter) den Einfluss von Verkehrslärm auf die kognitiven Leistungen (Papier-basiert)? Hat die Luftverschmutzung einen Einfluss auf kognitive Leistungen?	Insgesamt veränderte der Faktor Luftverschmutzung durch NO <sub>2</sub> nicht den Einfluss von Fluglärm auf die kognitiven Leistungen von Grundschulkindern.
2013	Clark et al., Journal of Environmental Psychology	461 Jugendliche, vorherige Teilnahme an RANCH (London), 15–16 Jahre, 6-Jahres Follow-up, Schulort in der Nähe von London Heathrow über gesamten Zeitraum	Langzeitverlauf, Follow-up 6 Jahre, Einfluss von Fluglärm auf Belästigung, Leseleistungen und Gesundheitsparameter	Die Belästigung durch Fluglärm nimmt im Verlauf zu. Die Beeinträchtigung des Leseverständnisses ist im Verlauf nicht mehr signifikant nachweisbar. Es fand sich keine Assoziation zwischen Fluglärm und psychischer Gesundheit. Der Zusammenhang zwischen Hyperaktivität und Fluglärm zum Zeitpunkt 1 war im Follow-up nicht mehr nachweisbar.

## NORAH

Die NORAH-Studie (*Noise-related annoyance, cognition, and health*) ist die bislang größte, umfassendste Studie zu den Auswirkungen von Verkehrslärm, insbesondere Fluglärm, auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen. Sie besteht aus 3 Modulen mit teilweise mehreren Teilstudien.

## Modul 1: Belästigung und Lebensqualität

Ziele der Untersuchung zur Belästigung und Lebensqualität in Abhängigkeit von der Verkehrsgeräuschbelastung (Flug-, Straße-, Schienenverkehr) waren:

- Vergleich der Fluglärmbelastung im Umfeld des Frankfurter Flughafens vor und nach Eröffnung einer

- weiteren Landebahn bzw. nach Einführung der Kernruhezeit in der Nacht (Längsschnitt Fluglärm).
- Vergleich von Fluglärmbelastung, berichteten Störungen und gesundheitsbezogener Lebensqualität im Umfeld des Flughafens Frankfurt mit dem Umfeld der Flughäfen Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin (Querschnittsstudie Fluglärm).
  - Vergleich der Belastung, berichteten Schlafstörungen und der Lebensqualitätsminderung durch Luftverkehrsgeräusche mit jenen durch Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche; einschließlich der Untersuchung von Mehrfachbelastung durch verschiedene Verkehrsgeschichten (Vergleich verschiedener Verkehrsträger).
  - Beziehung zwischen Lärmbelastung und der berichteten gesundheitsbezogenen Lebensqualität.

Durchgeführt wurde jeweils eine

- Querschnittuntersuchung an 4 Flughäfen: Frankfurt, Stuttgart, Köln/Bonn, Berlin
- Längsschnittuntersuchung in Frankfurt 2011 und nach Eröffnung der neuen Landebahn und Einführung der Kernruhezeit (23-5 Uhr, 2012) und 2013

## Modul 2: Gesundheit

Das Modul 2 besteht insgesamt aus 3 Teilstudien mit unterschiedlichen Untersuchungsinhalten.

- Modul 2, Teilstudie 1: Blutdruckmonitoring

Ziel war die Untersuchung des Blutdrucks in Abhängigkeit von der Verkehrslärmbelastung (Flug, Straße, Schiene) in den vorangegangenen 12 Monaten. Darüber hinaus sollte der Einfluss der Verkehrsgeschichtenbelastung auf das kardiovaskuläre Gesamtrisiko untersucht werden. Insgesamt wurden 3272 Personen für die Untersuchungsteilnahme rekrutiert. Es erfolgte eine ausführliche Anamnese in der Wohnung der Teilnehmer incl. Medikamentenanamnese (überprüft durch In-Augenscheinnahme der Medikamente). Nach detaillierter Einführung führten die Probanden täglich Selbstmessungen am Morgen nach dem Aufstehen und am Abend vor dem zu-Bett-Gehen über drei Wochen mit automatischen Geräten durch. Als Confounder wurden betrachtet: Alter, Geschlecht, sozioökonomischer Status, Rauchen, körperliche Aktivität, Alkoholkonsum und Taille-Hüft-Verhältnis.

- Modul 2, Teilstudie 2: Sekundärdatenbasierte Fall-Kontroll-Studie mit vertiefender Befragung

Eingeschlossen wurden 1026658 Versicherte in der Region > 40 Jahre mit Daten von drei großen Krankenkassen. Betrachtet wurden neu diagnostizierte Erkrankungen der Berichtsjahre 2005–2010: Herzinfarkt, Schlaganfall, Herzinsuffizienz, depressive Episoden und Brustkrebs bei Frauen.

Zusätzlich fand eine vertiefende Befragung einer Stichprobe von 19632 Fällen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie von Kontrollpersonen (8540 Teilnehmer) statt, ent-

sprechend gesamt 5,5 % der angeschriebenen 154068 Versicherten. Dadurch war es möglich, die Ergebnisse einmal nach den Confoundern Alter und Geschlecht individuell sowie nach dem regionalen Sozialstatus und zum anderen adjustiert nach umfangreich erhobenen individuellen Confoundern zu berechnen.

- Modul 2, Teilstudie 3: Schlaf

In einer quasi-experimentellen Untersuchung wurden die Auswirkungen nächtlichen Fluglärms auf den Schlaf gesunder Personen in deren häuslichen Schlafzimmern untersucht (Feldstudie).

Untersuchungsmethoden:

- Polysomnographie: Hirnstromkurve EEG, Muskelspannung, EMG, Sauerstoffsättigung des Blutes, Augen-, Atem- und Herzaktivitäten (EKG) sowie Bewegungsaufnehmer für Körperbewegungen.
- Vegetativ-motorische Körperreaktionen: EKG und Körperbewegung.
- Morgendliche Befragung zur Schlafqualität, Müdigkeit etc.
- Schallpegelmessung im Innenraum am Ohr des Schlafers. Vergleich mit Außenlärm parallel gemessen vor dem Haus.

Als „fluglärmassoziierte Aufwachreaktion“ wurde eine Aufwachreaktion bewertet, die bis 90 sec nach Beginn eines Flugereignisses eintrat (Erfahrungswerte aus früheren Studien).

## Modul 3: Kinder

Im Frühjahr 2012 wurden die Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf Leseleistungen und sprachliche Vorläuferfertigkeiten des Lesens sowie auf die Lebensqualität bei Grundschulkindern im Rhein-Main-Gebiet untersucht. Die Leseleistung wurde anhand eines Schulleistungstests für Grundschüler mit deutscher Unterrichtssprache erfasst. Die sprachlichen Vorläuferfertigkeiten des Lesens umfassten Sprachwahrnehmung, phonologisches Arbeitsgedächtnis, phonologische Bewusstheit, schnellen Abruf von Wortrepräsentationen sowie auditives Gedächtnis.

Die Leistungserhebungen wurden in 85 Schulklassen aus 29 unterschiedlich fluglärmbelasteten Grundschulen im Rhein-Main-Gebiet durchgeführt. Gleichzeitig gab es Fragebögen für Kinder und Eltern bezogen auf das schulische, körperliche und psychische Wohlbefinden sowie auf die schulbezogene und wohnortbezogene Belastung durch Lärm. Nicht-fluglärmbezogene Einflussfaktoren, insbesondere Sozialstatus, Migrationshintergrund und Deutschkenntnisse der Kinder sowie die Belastung durch andere Lärmquellen (Straßen- und Schienenverkehr, Raumakustik der Klassenräume) wurden kontrolliert.

Die Kinder befanden sich zum Zeitpunkt der Erhebung am Ende der zweiten Klassenstufe. Für alle Kinder wurden die

Fluglärmpegel an den Schulstandorten sowie Adress-genau an den Wohnorten für den Zeitraum von 12 Monaten vor Beginn der Datenerhebung bestimmt. In die Analysen gingen Datensätze von 1 243 Kindern ein.

Tabelle 3 zeigt die bisher erschienen Publikationen der NORAH-Studie. Sämtliche Ergebnisse wurden zusätzlich in Abschlussberichten veröffentlicht. Auch diese sind Tabelle 3 zu entnehmen.

**Tabelle 3:** Verzeichnis der Berichte und Publikationen der NORAH-Studie

Jahr	Autoren	Teilnehmer, Alter	Fragestellung	Ergebnisse
2015	Schrecken-berg et al. Band 3, <b>Modul 1</b>	9 244 Erwachsene, älter als 18 Jahre	Expositions-Wirkungsbeziehungen zwischen dem Flug-, Straßen- und Schienenlärmbelastung am Wohnort und der Belästigung sowie der Lebensqualität. Längsschnittuntersuchung (Fluglärm) im Rhein-Main-Gebiet; Querschnittvergleich (Fluglärm) mit anderen Flughäfen	Die Belästigung durch Fluglärm hat in allen untersuchten Regionen im Vergleich zu früheren Studien bei gleichem Geräuschmittlungspegel zugenommen. Sie war deutlich stärker als durch vergleichbaren Straßenlärm. – Die psychische und physische Lebensqualität war enger mit der Belästigung als mit der Belastung (Fluglärm) assoziiert.
2016	Schrecken-berg et al. DAGA	Siehe oben	Unterschiede bei der Wahrnehmung von Luft-, Straßen- und Schienenverkehrslärm	Siehe oben
2015	Seidler et al. Band 6, <b>Modul 2, Teilstudie 1</b>	1 026 658 Erwachsene, ab 40 Jahre	Einfluss von Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm auf die Neuerkrankungen und Mortalität an Herz-Kreislaufkrankungen, psychischen Erkrankungen und Brustkrebs	Herzinfarkte, Schlaganfälle und Herzinsuffizienz waren enger mit Straßen- und Schienenverkehrslärm als mit Fluglärm assoziiert. Depressive Episoden waren am stärksten mit Fluglärm assoziiert. Brustkrebs war mit allen Lärmarten am geringsten assoziiert (nicht sign.).
2016a	Seidler et al. Deutsches Ärzteblatt, 2016	19 632 Patienten mit Herzinfarkt, 834 734 Kontrollen	Expositios-Wirkungsbeziehung zwischen Flug- (Straßen- und Schienenverkehrslärm) und Herzinfarkt	Risikoanstieg bei Straßen- und Schienenverkehrslärm, nicht bei Fluglärm. Fluglärmpegel ab 60dB war bei den bis 2014/2015 Verstorbenen mit erhöhtem Risiko verbunden.
2016b	Seidler et al., Int J Hyg Env Health	104 145 mit Herzins./Bluthochdruck 654 172 Kontrollen	Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und Herzinsuffizienz sowie Bluthochdruck	Lineare Expositions-Wirkungsbeziehung zwischen Herzinsuffizienz und Bluthochdruck für Fluglärm (1,6 % für 10 dB Zunahme), Straßen- (2,4 %) und Schienenlärm (3,1 %); grundsätzlich lagen die Risiken für Bluthochdruck über denen für Herzinsuffizienz
2015	Eikmann et al. Band 5, <b>Modul 2, Teilstudie 2</b>	1 375 Erwachsene, älter als 18 Jahre	Zusammenhang zwischen Fluglärm (Verkehrslärm) und dem mittleren Blutdruck oder anderen kardiologischen Parametern?	Kein signifikanter Zusammenhang zwischen Verkehrslärm (Flug-, Straße-, Schienen-) und den Zielgrößen (Blutdruck, Herzfrequenz, Bluthochdruck, 10-Jahres Herzinfarktrisiko) Die Ergebnisse wurden nach einem Jahr bestätigt.
2015	Müller et al. Band 4, <b>Modul 2, Teilstudie 3</b>	202 Erwachsene, zwischen 18 und 78 Jahren	Einfluss der Einführung der Kernruhezeit (2011) auf die Schlafqualität? Sind Daten eines Flughafens (Köln/Bonn) auf andere Flughäfen (Frankfurt) übertragbar? Entwicklung einer einfacheren Methode zur objektiven Untersuchung der Schlafqualität: Vegetativ-motorische Reaktion (VMR)	Nach Einführung der Kernruhezeit keine Änderung der polysomnographisch gemessenen Gesamtschlafdauer, Einschlaf latenz, Wachdauer und -anteil etc. jedoch Abnahme der nächtlichen Aufwachreaktionen. In der subjektiven Bewertung der Teilnehmer Verschlechterung der Schlafqualität und vermehrte Müdigkeit. – Ergebnisse sind nicht auf andere Standorte übertragbar. Die VMR scheinen ein probates und empfindliches Maß für lärm-induzierte Schlafstörungen zu sein.
2014	Klatte et al. Band 1, <b>Modul 3</b>	1 243 Kinder, Beginn der Untersuchung 2. Klasse	Einfluss von Fluglärm auf kognitive Leistungen (Leseleistung), Lebensqualität, Belästigung und Erkrankungsrisiken bei Zweitklässlern	Es zeigten sich beeinträchtigende Effekte von Fluglärm auf den Leseerwerb, die in etwa einer Verzögerung von einem Monat bei 10 dB Mehrbelastung entsprechen. Beeinträchtigende Effekte der sog. Vorläuferfertigkeiten konnten nicht festgestellt werden. Die Lebensqualität der Kinder war grundsätzlich hoch. Es zeigten sich signifikant negative Effekte durch Fluglärm. Die Befragung der Lehrer gab Hinweise darauf, dass Unterbrechungen des Unterrichts für den Leserückstand verantwortlich sein könnten.
2016	Klatte et al. Environment und Behavior	Siehe oben	Siehe oben	Siehe oben

## Ergebnisse 2008–2016

Insgesamt wird über mehr als 70 neue Publikationen der Jahre 2008–2016 berichtet. Entsprechend der Forschungsschwerpunkte der Jahre 2008–2016 wurden die Ergebnisse nach den untersuchten Symptomenkomplexen/Wirkungen strukturiert:

- Auswirkungen bei Erwachsenen
  - Belästigung
  - Herz-Kreislauf-Erkrankungen
  - Lebensqualität, allgemeine Gesundheit, Krankheit, Medikamenteneinnahme
  - Schlaf
- Auswirkungen bei Kindern
  - Belästigung
  - Allgemeine Gesundheit
  - Kognitive Fähigkeiten

**Erwachsene – Belästigung:** Es gibt einen generellen Trend zu einer höheren Fluglärmbelastung: die Belästigung hat bei gleichem gemitteltem Schalldruckpegel über die letzten Jahrzehnte zugenommen. Das zeigte sich in HYENA, in NORAH und mehreren anderen Studien (Babisch et al. 2009, Schreckenberg et al. 2015, Guoqing et al. 2012, Janssen et al. 2011). Diesen Trend gab es so nicht beim Straßenverkehrslärm (HYENA) (Babisch et al. 2009).

Bei „Veränderungsflughäfen“, also Flughäfen mit einer Änderung der Fluglärmbelastung wegen Neubau etc., ist die angegebene Belästigung höher als bei Flughäfen ohne aktuelle Veränderung. Dieses wird auch als „Change Effect“ benannt (NORAH) (Schreckenberg et al. 2015).

Fluglärm wirkt bei vergleichbarem Mittelungspegel deutlich stärker belästigend als Straßen- oder Schienenverkehrslärm. Allerdings ist der frühere sog. „Schienenbonus“ so nicht mehr nachweisbar; denn die Belästigungsangaben über Straßen- und Schienenverkehrslärm sind weitgehend identisch (NORAH) (Schreckenberg et al. 2015).

Bei gleichzeitiger Belastung durch mehrere Verkehrslärmquellen folgt die Belästigung insgesamt der „lätigsten“ Quelle; bei Kombination mit Fluglärm also dem Fluglärm (das sog. Dominant-Source Modell) (NORAH) (Schreckenberg et al. 2015, 2016).

Die Belästigung ist nur zum Teil aus dem Mittelungspegel erklärbar; wichtig erscheinen weitere Lärm-Merkmale wie Anzahl der Überflüge beispielsweise und situations- und personenbezogene Faktoren (Bartels et al. 2015). Belästigung durch Verkehrslärm ist eng assoziiert mit Besorgnis um Gesundheit und Sicherheit. Es sind neben Umgebungsfaktoren auch personenbezogene Faktoren stark beeinflussend (van den Berg et al. 2015).

**Erwachsene – Blutdruck, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, allgemeine Gesundheit:** Die Ergebnisse der Untersuchungen

zu „Vorläufern“ für Bluthochdruck (Cortisol als Stresshormon oder arterielle Flussparameter) sind uneinheitlich. Es ergab sich kein konsistenter Hinweis auf eine Fluglärm-assoziierte fehlende Blutdruckabsenkung (Dipping) in der Nacht, wohl aber auf eine fehlende Blutdruckabsenkung bei nächtlicher Straßenverkehrslärmbelastung. Dieses kann aus HYENA und aus mehreren anderen Untersuchungen so zusammengefasst werden (Selander et al. 2009, Schmidt et al. 2013, Schmidt et al. 2015, Haralabidis et al. 2011). Ein Zusammenhang zwischen Bluthochdruck und der Fluglärmbelastung konnte nicht in allen Analysen nachgewiesen werden. Bei einer Untersuchung war nur bei Männern, nicht bei Frauen ein Zusammenhang zwischen der nächtlichen Fluglärmbelastung und dem Bluthochdruck erkennbar (Evrard et al. 2016). In der HYENA-Studie war insbesondere nächtlicher Fluglärm mit einer Blutdrucksteigerung assoziiert (Jarup et al. 2008). In der NORAH-Studie war kein signifikanter Zusammenhang zwischen Verkehrslärmbelastung (Schiene, Straße Flug) und Blutdruckparametern erkennbar (Eikmann et al. 2015). Es war die erste große Studie, in der die Probanden ihren Blutdruck selbst über mehrere Wochen gemessen haben, statt diesen – wie in früheren Studien üblich – nur einmalig an einem einzelnen Tag durch medizinisches Personal messen zu lassen. Diese Selbstmessung gilt inzwischen als Goldstandard.

Die NORAH-Studie (sekundärdatenbasierte Fall-Kontroll-Studie auf Basis der Krankenkassendaten) zeigte außerdem, dass die Neuerkrankungsraten an Herzinfarkt, Herzinsuffizienz und Schlaganfall stärker mit Straßen- und Schienenverkehrslärm als mit Fluglärm assoziiert sind (Seidler et al. 2015, 2016a, 2016b). Bei Senioren (> 65 J) in den USA waren Krankenhausaufnahmen wegen kardiovaskulärer Erkrankungen bei zunehmender Fluglärmbelastung häufiger (teilweise signifikant) (Correia et al., 2013). Auch in einer britischen Studie waren bei Menschen mit hoher im Vergleich mit geringer Fluglärmbelastung die Krankenhausaufnahmen und die Mortalität für Herz-Kreislauf-Erkrankungen signifikant erhöht, wobei Confounder nicht ausreichend ausgeschlossen werden konnten (Hansell et al. 2013). Die Krankenhausaufnahmen wegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen waren bei Unterbrechung des Flugbetriebs für 6 Tage unverändert (Pearson et al. 2016). Mortalitätsregisterdaten aus Frankreich zeigten mit zunehmender Fluglärmbelastung signifikant erhöhte Odds Ratios für Herz-Kreislauf-Erkrankungen insgesamt (OR 1,18), sowie für koronare Herzerkrankung (OR 1,24), Herzinfarkt (OR 1,28) und Schlaganfall (OR 1,08, n.s.) (Evrard et al. 2015). Mortalitätsregisterdaten aus der Schweiz wiesen nur geringe Assoziationen zwischen Fluglärmbelastung und kardiovaskulären Erkrankungen auf (die erst nach langer Wohndauer unter Belastung signifikant wurden) (Huss et al. 2010). Wenn verschiedene Verkehrslärmquellen betrachtet wurden, war Straßenverkehrslärm eher mit kardiovaskulären Effekten und Krankheiten assoziiert als Flugverkehrslärm (NORAH) (Huss et al. 2010, Seidler et al. 2015, 2016a, 2016b).

Bei NORAH wurde erstmals auch der Zusammenhang zwischen Fluglärm und dem Auftreten depressiver Episoden dargestellt. Hier war das Erkrankungsrisiko durch Fluglärm bei gleicher Pegelbelastung etwa doppelt so hoch wie bei Straßen- oder Schienenverkehrslärm (Seidler et al. 2015).

**Erwachsene – Schlaf:** Die meisten Studien zeigen Zusammenhänge zwischen der Fluglärmbelastung und Schlafstörungen (unter anderem NORAH) (Perron et al. 2016, Schreckenberget al. 2015, 2016, Kwak et al. 2016), einige nicht (Janssen et al. 2014, Holt et al. 2015). Nachtflugverbote resp. die Einführung einer Kernruhezeit verbessern die angegebenen Durchschlafstörungen, nicht jedoch die Ein- und Ausschlafstörungen – wahrscheinlich bedingt durch den intensiven „Tages-Randverkehr“ (NORAH) (Schreckenberget al. 2015).

Die angegebene Schlafqualität und die messtechnisch erhobene Schlafqualität müssen nicht übereinstimmen. Im Umfeld des Flughafens Frankfurt verschlechterte sich zwischen 2011 und 2013 (neue Landebahn etc.) die angegebene Schlafqualität, während die mittels Polysomnographie messtechnisch erhobenen Parameter Gesamt-, Tiefschlafdauer, Einschlafzeit, Wachdauer nach dem Einschlafen keine Änderung aufwiesen (NORAH). Die Messung fluglärmbedingter Einflüsse auf die Schlafqualität an einem Flughafen ist offenbar nicht auf andere Flughäfen übertragbar, kann also nicht generalisiert werden (Müller et al. 2015).

Für differenzierte Untersuchungen lärmbedingter Effekte auf die Schlafqualität stand bisher die Polysomnographie als Goldstandard zur Verfügung. Diese umfasst EEG, EMG, EKG, Bewegungsaufnahme des Körpers und Sauerstoffsättigung. Angesichts dieser umfangreichen Methoden war die Polysomnographie bislang nur auf kleine Studienkollektive begrenzt. Um größere Kollektive im Feld untersuchen zu können, wurde im Rahmen der NORAH-Studie die Methode VMR (vegetativ-motorische Reaktion), d.h. die Erfassung von EKG und Körperbewegungen, als Indikator für die Schlafqualität entwickelt und getestet. Die VMR hat sich dabei als ein probates und empfindliches Maß für die Untersuchung Lärm-induzierter Störungen erwiesen und wird bereits in weiteren Untersuchungen außerhalb Deutschlands eingesetzt (NORAH) (Müller et al. 2015)

**Kinder – Belästigung:** Fluglärm belästigt auch Kinder (RANCH, NORAH und andere) (Stansfeld et al. 2005, Klattete et al. 2014, Van Kempen et al. 2009, Seabi 2013). Kinder scheinen bei Lärmbereichen >55 dB weniger belästigt zu sein als ihre Eltern (RANCH) (Van Kempen et al. 2009). Auch nach längerer Belastung durch Fluglärm bleibt die Belästigung durch Fluglärm hoch (RANCH) (Clark et al. 2013). Nimmt der Fluglärm beispielsweise durch Verlegung des Flughafens ab, sinkt auch die Belästigungsreaktion (Seabi 2013).

Die Angaben zur allgemeinen Gesundheit respektive zu verschiedenen Symptomen waren enger mit der angegebenen

Belästigung als mit der tatsächlichen Lärmbelastung assoziiert (RANCH) (Van Kempen et al. 2010).

**Kinder – allgemeine Gesundheit:** Die selbst berichtete Gesundheit und die erfragten Symptome der Kinder zeigten in einer Untersuchung geringe, statistisch signifikante Zusammenhänge zur Fluglärmbelastung ebenso wie das von den Eltern berichtete körperliche und mentale Wohlbefinden der Kinder (NORAH) (Klatte et al. 2014). In anderen Untersuchungen ließen sich keine eindeutigen Zusammenhänge zur Belastung mit Fluglärm erkennen (RANCH) (Van Kempen et al. 2010, Seabi 2013). Sie waren in einer Untersuchung eher mit der Belästigung durch Fluglärm assoziiert als mit dem Fluglärm selbst (RANCH) (Van Kempen et al. 2010).

Bei der mit dem Strength and difficulties-Fragebogen (SDQ) erhobenen geistigen und körperlichen Gesundheit einschließlich Verhaltensauffälligkeiten konnten keine konsistenten Zusammenhänge zur Fluglärmbelastung nachgewiesen werden, weder in der ersten Querschnitt- noch in der Längsschnittuntersuchung (RANCH) (Stansfeld et al. 2009, Clark et al. 2013). Die bei der Erstuntersuchung erkennbaren Zusammenhänge zur Hyperaktivität waren bei den 6 Jahre später nachuntersuchten Kindern nicht mehr nachweisbar (RANCH) (Clark et al. 2013). Auch Kinder mit hohem Geburtsrisiko wiesen bei höheren Fluglärmbelastungen keine höheren SDQ-Score oder Einzelsymptome auf (RANCH) (Crombie et al. 2011).

Die zusätzliche Berücksichtigung von verkehrsbedingter Luftverschmutzung (NO<sub>2</sub>) veränderte die Assoziationen zwischen den Angaben zur Gesundheit und den gemessenen Blutdruckwerten und der Verkehrslärmbelastung nicht; sie war nicht mit der angegebenen Gesundheit assoziiert (RANCH) (Clark et al. 2012).

**Kinder – kognitive Fähigkeiten:** Die neueren Studien zeigen, dass das Leseverständnis in schwierigen Aufgaben durch Fluglärm signifikant beeinträchtigt wird, nicht in leichteren Aufgaben (RANCH; NORAH) (Stansfeld et al. 2005, Clark et al. 2013, Klattete et al. 2016). Sogenannte Vorläuferfertigkeiten des Lesens waren nicht beeinträchtigt (NORAH) (Klatte et al. 2014, 2016).

Dieser Effekt ist gering im Vergleich zu anderen Einflussfaktoren wie z. B. der Bildung der Eltern oder der soziodemographischen Faktoren. Er ist bei Kindern mit Migrationshintergrund kaum nachweisbar im Vergleich zu denen ohne Migrationshintergrund (Klatte et al. 2016). Kinder mit Migrationshintergrund hatten eine deutlich niedrigere Ausgangsposition, die durch Fluglärm nicht weiter signifikant reduziert wurde (NORAH). Ähnliche Ergebnisse deuteten sich auch aus einer Untersuchung südafrikanischer Kinder an: dort hatten Kinder mit Englisch als Zweitsprache deutlich schlechtere Ergebnisse beim Leseerwerb, bei ihnen wurde aber nur ein geringer zusätzlicher Einfluss des Fluglärms gefunden – ganz im Gegensatz zu den Kindern mit Englisch als Erstsprache, bei denen der Fluglärm den Leseerwerb sehr stark negativ beeinflusste (Seabi et al. 2012).

Die zusätzliche Berücksichtigung des nächtlichen Fluglärms steigerte die beeinträchtigende Wirkung des Fluglärms am Tage auf den Leseerwerb nicht weiter (RANCH) (Stansfeld et al. 2010).

In einer Langzeituntersuchung (nach 6 Jahren) bei weiterhin fluglärmbelasteten Kindern war eine Beeinträchtigung des Leseverständnisses im Langzeitverlauf nicht mehr nachweisbar (RANCH) (Clark et al. 2013).

Im Bereich der **Kognition** wurden in verschiedenen Studien unterschiedliche Tests eingesetzt, teilweise papier-, teilweise computergestützt. Hier waren die Ergebnisse in den Untersuchungen nicht ganz einheitlich. Es zeigte sich beispielsweise ein negativer Einfluss von Fluglärm bei einem Teil der Gedächtnisleistungen, nicht bei anderen, bzw. teilweise waren die Leistungen bei Straßenverkehrslärm sogar besser (RANCH) (Matheson et al. 2010).

Wie auch bei der selbstberichteten Gesundheit gab es Hinweise, dass die kognitiven Fähigkeiten der Kinder enger mit der Belästigung als mit der Belastung zusammenhängen könnten, bzw. durch die Belästigung vermittelt sind (RANCH) (Van Kempen et al. 2010).

## Diskussion und Schlussfolgerung

Die Fluglärmforschung ist gekennzeichnet durch mehrere Herausforderungen:

Wie oben dargestellt, befassen sich Untersuchungen häufig mit den sogenannten „Volkskrankheiten“ z. B. Bluthochdruck und kardiovaskuläre Erkrankungen. Analysiert werden vergleichsweise kleine Effekte auf diese „Volkskrankheiten“. Es steht außer Frage, dass auch vergleichsweise kleine Effekte auf diese Volkskrankheiten eine relevante Anzahl an Personen betreffen. Es ist in diesem Zusammenhang jedoch auch wichtig zu diskutieren, inwiefern sog. Confounder diese kleinen Effekte überlagern können. Denkbar wäre, dass ein Confounder, wie zum Beispiel der sozio-ökonomische Status, nicht ausreichend zu kontrollieren ist: In stark lärmbelasteten Gegenden sind ggf. Mietpreise niedriger. Das führt zu einer anderen Bevölkerungszusammensetzung als in Wohngebieten mit höheren Mietpreisen. Zur Kontrolle des Confounders „sozio-ökonomischer Status“ werden in den verschiedenen Studien auch verschiedene Faktoren genutzt: in den Kinder-Studien häufig die Muttersprache zu Hause, kostenfreie Schulspeisungen etc. Möglicherweise ist jedoch eine komplette Beseitigung dieses Confounders nicht möglich.

Die Analyse zeigt des Weiteren, dass Ergebnisse, die an einem Standort erhoben wurden, nicht unbedingt auf andere übertragen werden können (NORAH). Das heißt, Studien sind auch sehr spezifisch für den jeweils erhobenen Standort und können nicht generalisiert werden.

Wie sich übereinstimmend in fast allen Studien gezeigt hat, korreliert die individuell empfundene Belästigung stark mit Fluglärmbelastung. Gleichzeitig nimmt diese in den letzten Jahren zu. Außerdem zeigt sich, dass die Belästigung an den sogenannten Veränderungsflughäfen (Flughäfen mit Wechsel der Fluglärmbelastung) höher ist. Daher muss diskutiert werden, ob eine Untersuchung nicht nur spezifisch für den jeweiligen Standort ist, sondern auch für die jeweilige Situation, in der sie erhoben wurde (gleichzeitige öffentliche Diskussion, Jahr der Durchführung etc.)?

Die Analyse der Maßnahmen zur Lärmreduktion kann dadurch beeinträchtigt werden, dass mehrere Maßnahmen gleichzeitig durchgeführt werden: Ausweitung des Nachtflugverbotes, Veränderung der Flotte (geräuschärmere Flugzeuge), Asphalt etc.

Eine Aufstellung der Ergebnisse zum Thema Fluglärmwirkung auf die menschliche Gesundheit stellt meist die Ergebnisse mit signifikantem Zusammenhang in den Mittelpunkt. Ergebnisse, die keinen (signifikanten) Zusammenhang zeigten oder möglicherweise auch einen widersprüchlichen Zusammenhang, werden nicht primär diskutiert, z. B. zunehmender Straßenverkehrslärm war mit einer Verbesserung der Gedächtnisleistung und mit einem niedrigeren Blutdruck bei Kindern assoziiert (RANCH). Das heißt, Studienergebnisse, die einen Zusammenhang zwischen Fluglärm und einer gesundheitlichen Beeinträchtigung zeigen, werden intensiver diskutiert. Untersuchungen, die keinen (signifikanten) Effekt zeigten, werden nicht als Hinweis gewertet, dass ein Zusammenhang nicht besteht, z. B. eine Beeinträchtigung des Leseverständnisses durch Fluglärm im Langzeitverlauf ist nicht nachweisbar (RANCH).

Die Ergebnisse der Studien (zur Fluglärmwirkung) sind stark abhängig von der Berücksichtigung von Confoundern. Teilweise unterscheidet sich die Methodik der Studien erheblich. Insbesondere die großen Fluglärmstudien (HYENA, RANCH, NORAH) zeichnen sich aus durch eine gute Methodik, Confounder zu erheben und zu bewerten.

Insgesamt gab es in den vergangenen Jahren umfangreiche Aktivitäten zum Thema Fluglärmwirkung auf die menschliche Gesundheit. Wie sich in den großen multizentrischen Studien (HYENA, NORAH) zeigte, waren die intensiv untersuchten kardio-vaskulären Erkrankungen wie Herzinfarkt, Schlaganfall und Herzinsuffizienz enger mit Straßen- und Schienenverkehr assoziiert als mit Fluglärm. Daher ist es sinnvoll, auch die übrigen Verkehrslärmarten in den Fokus zu nehmen.

## Literaturverzeichnis

- The Port Authority of New York and New Jersey (2016): Airport Traffic Report 2015. ([https://www.panynj.gov/airports/pdf-traffic/ATR\\_2015.pdf](https://www.panynj.gov/airports/pdf-traffic/ATR_2015.pdf))
- Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Cadum E, Katsouyanni K, Velonakis M, Dudley ML, Marohn HD, Swart W, Breugelmans O, Bluhm G, Selander J, Vigna-Taglianti F, Pisani S, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Zachos I, Järup

- L (2009): Annoyance due to aircraft noise has increased over the years – Results of the HYENA study. 35 (8), 1169-76 Environment international
- Babisch W, Pershagen G, Selander J, Houthuijs D, Breugelmans O, Cadum E, Vigna-Taglianti F, Katsouyanni K, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Sourtzi P, Floud S, Hansell A (2013): Noise annoyance - A modifier of the association between noise level and cardiovascular health? Science of the Total Environment 452/453, 50-57
- Bartels S, Marki F, Müller U (2015): The influence of acoustical and non-acoustical factors on short-term annoyance due to aircraft noise in the field - The COSMA study. Science of the total Environment 538, 834-843
- Clark C, Martin R, van Kempen E, Alfred T, Head J, Davies HW, Haines MM, Lopez Barrio I, Matheson M, Stansfeld SA (2006): Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project. Am J Epidemiol. 163 (1) 27-37
- Clark C, Crombie R, Head J, van Kamp I, Van Kempen E, Stansfeld S (2012): Does Traffic-related Air Pollution Explain Associations of Aircraft and Road Traffic Noise Exposure on Children's Health and Cognition? A Secondary Analysis of the United Kingdom Sample from the RANCH Project. American Journal of Epidemiology 176 (4) 327-37
- Clark C, Head J, Stansfeld S (2013): Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: a sixyear follow-up of the UK RANCH cohort. Journal of Environmental Psychology 35, 1-9.
- Correia A, Peters J, Levy J, Melly S, Dominici F (2013): Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases: multi-airport retrospective study. British Medical Journal, 1-11
- Crombie R, Clark C, Stansfeld S (2011): Environmental noise exposure, early biological risk and mental health in nine to ten year old children: a cross-sectional field study. Environmental health : a global access science source 10, 39
- Eikmann, T, Zur Nieden A, Lengler A, Harpel S, Ziedorn D, Bürger M, Pone-Kühnemann J, Römer K, Hudel H, Spilski J (2015): NORAH. Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Blutdruckmonitoring. Wirkung chronischer Lärmbelastung auf den Blutdruck bei Erwachsenen. Endbericht Band 5. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH 35 (8) 1169-76 (<https://www.norah-studie.de/de/publikationen.html>)
- Eriksson C, Hilding A, Pyko A, Bluhm G, Pershagen G, Östenson CG (2014): Long-Term Aircraft Noise Exposure and Body Mass Index, Waist Circumference, and Type 1 Diabetes: A Prospective Study. Environmental Health Perspectives 122 (7) 687-94
- Evrard AS, Lefevre M, Champelovier P, Lambert J, Laumon B (2017): Does aircraft noise exposure increase the risk of hypertension in the population living near airports in France? Occupational and environmental medicine 74 (2) 123-129
- Evrard A, Bouaoun L, Champelovier P, Lambert J, Laumon B (2015): Does exposure to aircraft noise increase the mortality from cardiovascular disease in the population living in the vicinity of airports? Results of an ecological study in France. Noise and Health 17 (78), 328-336
- Floud S, Vigna-Taglianti F, Hansell A, Blangiardo M, Houthuijs D, Breugelmans O, cadum E, Babisch W, Selander J, Pershagen G, Antoniotti M, Pisani S, Dimakopoulou K, Haralabidis A, Velonakis V, Jarup L (2011): Medication use in relation to noise from aircraft and road traffic in six European countries: results of the HYENA study. Occup Environ Med 68, 518-24
- Floud S, Blangiardo M, Clark C, de Hoogh K, Babisch W, Houthuijs D, Swart W, Pershagen G, Katsouyanni K, Velonakis M, Vigna-Taglianti F, Cadum E, Hansell A (2013): Exposure to aircraft and road traffic noise and associations with heart disease and stroke in six European countries: a cross-sectional study. Environmental Health 12, 89
- Guoqing D, Xiaoyi L, Xiang S, Zhengguang L, Qili L (2012): Investigation of the relationship between aircraft noise and community annoyance in China. Noise and Health 14 (57), 52-7
- Hansell A, Blangiardo M, Fortunato L, Floud S, de Hoogh K, Fecht D, Ghosh R, Laszlo H, Pearson C, Beale L, Beevers S, Gulliver J, Best N, Richardson S, Elliott P (2013): Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. BMJ (347), 1-10
- Haralabidis A, Dimakopoulou K, Velonaki V, Barbaglia G, Mussin M, Giampaolo M, Selander J, Pershagen G, Dudley ML, Babisch W, Swart W, Karsouyanni K, Jarup L (2011): Can exposure to noise affect the 24h blood pressure profile? Results from the HYENA study. J Epidemiol Community Health 65, 535-41
- Haralabidis A., Dimakopoulou K., Vigna-Taglianti F., Giampaolo M., Borgini A., Dudley ML., Pershagen G., Bluhm G., Houthuijs D, Babisch W., Velonakis M., Katsouyanni K., Jarup L. (2008) Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. European Heart Journal (29: 658-664)
- Heudorf, U (2008): Fluglärm und Gesundheit. Ergebnisse epidemiologischer Studien - Literaturübersicht. Gesundheitsamt Frankfurt. ([https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=4735799&\\_ffmpar\[\\_id\\_inhalt\]=5392990](https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=4735799&_ffmpar[_id_inhalt]=5392990))
- Holt JB, Zhang X, Sizov N, Croft JB (2015): Airport noise and self-reported sleep insufficiency, United States, 2008 and 2009. Prev Chronic Dis April 12 (E49), 1-12
- Huss A, Spoerri A, Egger M, Rössli M (2010): Aircraft Noise, Air Pollution, and Mortality from Myocardial Infarction. Epidemiology 21 (6), 829-836
- Janssen S, Centen M, Vos H, van Kamp I (2014): The effect of the number of aircraft noise events on sleep quality. Applied Acoustics 84, 9-16
- Janssen S, Vos H, van Kempen E, Breugelmans O, Miedema H (2011): Trends in aircraft noise annoyance. The role of study and sample characteristics. J Acoust Soc Am 129 (4), 1953-62
- Jarup L, Babisch W, Houthuijs D, Pershagen G, Katsouyanni K, Cadum E, Dudley ML, Savigny P, Seiffert I, Swart W, Breugelmans O, Bluhm G, Selander J, Haralabidis A, Dimakopoulou K, Sourtzi P, Velonakis M, Vigna-Taglianti F (2008): Hypertension and Exposure to Noise Near Airports: the HYENA Study. Environmental Health Perspectives 116 (3) 329-33
- Jarup L, Dudley ML, babisch W, Houthuijs D, Swart W, Pershagen G, Bluhm G, Katsouyanni K, Velonakis M, Cadum E, Vigna-Taglianti F (2005): Hypertension and Exposure to Noise near Airports (HYENA): Study Design and Noise Exposure Assessment. Environmental Health Perspectives 113 (11), 1473-1478
- Klatte K, Bergström K, Spilski J, Mayerl J, Meis M (2014): NORAH. Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern. Endbericht Band 1. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH. (<http://www.laermstudie.de/wissen/veroeffentlichungen/>)
- Klatte M, Spilski J, Mayerl J, Möhler U, Lachmann T, Bergström K (2016): Effects of aircraft Noise on Reading and Quality of Life in Primary School Children in Germany: Results from the NORAH Study. Environment and Behavior 1-35
- Klug S, Bender R, Blettner M, Lange S (2004): Wichtige epidemiologische Studien. Artikel Nr. 18 der Statistik-Serie in der DMW. Deutsche medizinische Wochenschrift (129), T7-T10
- Kwak KM, Ju YS, Kwon YL, Chung YK, Kim BK, Kim H, Youn K (2016): The effect of aircraft noise on sleep disturbance among the residents near a civilian airport: a cross-sectional study. Annals of Occupational and Environmental Medicine 28, 38
- Matheson M, Clark C, Martin R, van Kempen E, Haines M, Lopez Barrio I, Hygge S, Stansfeld S (2010): The effects of road traffic and aircraft noise exposure on children's episodic memory: The RANCH Project. Noise and Health Oct-Dec 12 (49), 244-54
- Müller U, Aeschbach D, Elmenhorst EM, Mendolia F, Quehl J, Hoff A, Rieger I, Schmitt S, Littell W (2015): NORAH. Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Fluglärm und nächtlicher Schlaf. Endbericht Band 4. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH. (<http://www.laermstudie.de/wissen/veroeffentlichungen/>)
- Pearson T, Campbell MJ, Maheswaran R (2016): Acute effects of aircraft noise on cardiovascular admissions- an interrupted time-series analysis of six-day closure of London Heathrow Airport caused by volcanic ash. Spatial and Spatio-temporal Epidemiology (18), 38-43.
- Perron S, Plante C, Ragettli MS, Kaiser DJ, Goudreau S, Smargiassi A (2016): Sleep Disturbance from Road Traffic, Railways, Airplanes and from Total Environmental Noise Levels in Montreal. Int J Environ Res Public Health 13 (8)
- Reichl FX (2011): Moderne Umweltmedizin: Lehmanns media.
- Schack K, Gellrich A (2015): Umweltbewusstsein in Deutschland 2014. BMUB.
- Schmidt F, Basner M, Kröger G, Weck, Schnorbus B, Muttray A, Sariyar M, Binder H, Gori T, Warnholtz A, Münzel T (2013): Effect of nighttime aircraft noise exposure on endothelial function and stress hormone release in healthy adults. European Heart Journal 34, 3508-3514
- Schmidt F, Kolle K, Kreuder K, Schnorbus B, Wild P, Hechtner M, Binder H, Gori T, Münzel T (2015): Nighttime aircraft noise impairs endothelial function and increases blood pressure in patients with or at high risk for coronary artery disease. Clin Res Cardiol 104 (1), 23-30
- Schreckenber D, Faulbaum F, Guski R, Ninke L, Peschel C, Spilski J, Wothge J (2015): NORAH. Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität. Endbericht Band 3. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH. (<http://www.laermstudie.de/wissen/veroeffentlichungen/>)
- Schreckenber D, Wothge J, Möhler U, Guski R (2016): Belästigungswirkung der Kombination von Fluglärm mit Straßen- oder Schienenverkehrslärm – Eine Untersuchung im Rahmen des NORAH-Forschungsverbundprojektes. DAGA 2016
- Seabi J, Cockcroft K, Goldschagg P, Greyling M (2012): The impact of aircraft noise exposure on South African children's reading comprehension: the moderating effect of home language. Noise & health 14 (60) 244-252

- Seabi J. (2013): An Epidemiological Prospective Study of Children's Health and Annoyance Reactions to Aircraft Noise Exposure in South Africa. *Int J Environ Res Public Health* 10 (7), 2760-77
- a Seidler A, Wagner M, Schubert M, Dröge P, Pons-Kühnemann J, Swart E, Zeeb H, Hebewald J (2016): Herzinfarktrisiko durch Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm - Ergebnisse einer sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie. *Deutsches Ärzteblatt Int* 113, 407-14
- b Seidler A, Wagner M, Schubert M, Dröge P, Römer K, Pons-Kühnemann J, Swart E, Zeeb H, Hegewald J (2016): Aircraft, road and railway traffic noise as risk factors for heart failure and hypertensive heart disease – A case-control study based on secondary data. *Int J Hyg Env Health* (219), 749–758.
- Seidler A, Wagner M, Schubert M, Dröge P, Hegewald J (2015): NORAH. Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld. Erkrankungsrisiken. Endbericht 6. Gemeinnützige Umwelthaus GmbH. (<http://www.laermstudie.de/wissen/veroeffentlichungen/>)
- Selander J, Bluhm G, Theorell T, Pershagen G, Babisch W, Seiffert I, Houthuijs D, Breugelmans O, Vigna-Taglianti F, Antonioti MC, Veonakis E, Davou E, Dudley ML, Järup L (2009): Saliva Cortisol and Exposure to Aircraft Noise in Six European Countries. *Environmental Health Perspectives* 117 (11), 1713-7
- Stansfeld S, Berglund B, Clark C, Lopez-Barrio I, Fischer P, Öhrström E (2005): Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet* (365), 1942–1949
- Stansfeld S, Clark C, Cameron R, Alfred T, Head J, Haines M, van Kamp I, van Kempen E, Lopez-Barrio I (2009): Aircraft and road traffic noise exposure and children's mental health. *Journal of Environmental Psychology* 29, 203-207
- Stansfeld S, Hygge S, Clark C, Alfred T (2010): Night time aircraft noise exposure and children's cognitive performance. *Noise and Health* 12 (49), 255-62
- Steul K, Heudorf U. (2017): *Fluglärm und Gesundheit 2008-2016. Literaturübersicht II*. 500. Aufl. Gesundheitsamt Frankfurt. Frankfurt/Main.
- van den Berg F, Verhagen C, Uitenbroek D (2015): The relation between self-reported worry and annoyance from air and road traffic. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (3), 2486–2500
- van Kempen E, van Kamp I, Fischer P, Davies H, Houthuijs D, Stellato R, Clark C, Stansfeld S (2006): Noise exposure and children's blood pressure and heart rate: the RANCH project. *Occup Environ Med* 63 (9), 632–639
- a Van Kempen E, Van Kamp I, Nilsson M, Lammers J, Emmen H, Clark C, Stansfeld S (2010): The role of annoyance in the relation between transportation noise and children's health and cognition. In: *J Acoust Soc Am* (128 (5): 2817-28).
- Van Kempen E, Fischer P, Janssen N, Houthuijs D, Van Kamp I, Stansfeld S, Cassee F (2012): Neurobehavioral effects of exposure to traffic-related air pollution and transportation noise in primary schoolchildren. *Environmental Research* 115, 18-25
- b Van Kempen E, Van Kamp I, Lebert J, Emmen H, Standfels S (2010): Neurobehavioral effects of transportation noise in primary schoolchildren: a cross-sectional study. *Environmental Health* 9(25)
- Van Kempen E, Van Kamp I, Stellato R, Lopez-Barrio I, Haines M, Nilsson M, Clark C, Houthuijs D, Brunekreef B, Berglund B, Stansfeld S (2009): Children's annoyance reactions to aircraft and road traffic noise. *J Acoust Soc Am* 125 (2), 895–904