

Lebensqualität  
Gesundheit  
Entwicklung

# NORAH

## Wissen Nr. 10

### Lärmwirkungsstudie NORAH Fluglärm und nächtlicher Schlaf

#### Ergebnisse

# NORAH

## Wissen Nr. 10

### Lärmwirkungsstudie NORAH

#### Fluglärm und nächtlicher Schlaf

#### Ergebnisse

„NORAH Wissen“ informiert über Methoden und Ergebnisse der Lärmwirkungsstudie NORAH. Ziel dieser Reihe ist es, möglichst vielen Menschen zu vermitteln, was genau bei NORAH erforscht wurde. Deshalb finden Sie zu allen mit „Glossar“ gekennzeichneten Begriffen eine Erklärung im Glossar am Ende dieses Heftes.

Wenn Sie weitere Ausgaben von „NORAH Wissen“ erhalten möchten, nutzen Sie bitte das beiliegende Bestellformular.

Die NORAH-Studie untersuchte die Auswirkungen von Flug-, Straßen- und Schienenlärm auf den Menschen.



NORAH („Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health“) ist die umfangreichste Untersuchung zu den Auswirkungen von Flug-, Straßen- und Schienenverkehrslärm, die es in Deutschland bisher gegeben hat. Sie wurde von neun unabhängigen wissenschaftlichen Einrichtungen aus ganz Deutschland durchgeführt. Auftraggeber war das Umwelt- und Nachbarschaftshaus, eine Tochter des Landes Hessen und Teil des Forums Flughafen und Region. Neben dem Land Hessen beteiligten sich Kommunen, die Fraport AG und die Lufthansa an der Finanzierung.

Die NORAH-Studie untersuchte die langfristigen Wirkungen von Verkehrslärm auf Gesundheit, Lebensqualität und die kindliche Entwicklung im Rhein-Main-Gebiet. Initiator der Studie war das Forum Flughafen und Region (FFR). Ein externer Wissenschaftlicher Beirat Qualitätssicherung (WBQ) beriet die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von Beginn an. Das unterscheidet NORAH von ähnlichen Vorgängerstudien. Die Studie widmete sich einigen der aktuellsten Fragen, die die internationale Lärmwirkungsforschung derzeit beschäftigt. Dabei berücksichtigte sie mehr Untersuchungsaspekte als frühere Studien. Um mehr darüber zu erfahren, wie der Mensch auf Verkehrslärm reagiert, haben die NORAH-Wissenschaftler unter anderem die Krankheitsgeschichten von rund einer Million Menschen einbezogen und die Lärmbelastung an etwa 900.000 Adressen im Rhein-Main-Gebiet berechnet.

Insgesamt fünf Teilstudien bilden das Herzstück der NORAH-Studie. Jede von ihnen knüpfte an den aktuellen internationalen Forschungsstand an. Zusätzlich wurde mittels sehr aufwendiger und innovativer Verfahren die akustische Belastung berechnet. In dieser Ausgabe von „NORAH Wissen“ stellen wir Ihnen die Ergebnisse der Schlafstudie, einer der fünf Teilstudien, vor.

## Inhalt

Die Schlafstudie im Überblick

→ Seite 2

Methode und Fragen der Schlafstudie

→ Seite 4

Die Schlafqualität im Rhein-Main-Gebiet

→ Seite 6

Das Schlaferleben aus Sicht der Teilnehmenden

→ Seite 10

Schlafen Flughafenanwohner in Frankfurt besser als in Köln?

→ Seite 11

Neue Methode zur Beurteilung von Reaktionen auf Lärm im Schlaf

→ Seite 13

Interview mit Studienleiter Dr. Uwe Müller: „Das Herz will sich in der Nacht ausruhen“

→ Seite 14

Ausblick

→ Seite 16

Weitere Informationen zur NORAH-Studie finden Sie im Internet unter

[www.laermstudie.de](http://www.laermstudie.de).

### Kontakt

**Bitte wenden Sie sich bei Fragen rund um die NORAH-Studie an das Umwelt- und Nachbarschaftshaus:**

Gemeinnützige Umwelthaus GmbH  
Rüsselsheimer Str. 100  
65451 Kelsterbach

Tel	06107 98868-0
Fax	06107 98868-19
E-Mail	<a href="mailto:norah@umwelthaus.org">norah@umwelthaus.org</a>
Web	<a href="http://www.laermstudie.de">www.laermstudie.de</a>

## DIE SCHLAFSTUDIE IM ÜBERBLICK

Gut sieben Stunden schlafen wir durchschnittlich jede Nacht. Wie wichtig diese Ruhepause ist, spürt jeder am eigenen Leib, sobald er einmal eine Nacht lang zu wenig geschlafen hat. In der Umgebung von Flughäfen fällt es Menschen nicht immer leicht, nachts zur Ruhe zu kommen und Schlaf zu finden. Wie sich nächtliche Überflüge auf den Schlaf auswirken, hat die NORAH-Schlafstudie untersucht.

Besonderes Augenmerk widmete die Studie den Auswirkungen von zwei Neuerungen, die im Oktober 2011 die Lärmkulisse im Rhein-Main-Gebiet veränderten. Zum einen gilt seitdem am Flughafen Frankfurt ein Verbot planmäßiger Starts und Landungen zwischen 23 und 5 Uhr. Zum anderen nahm damals die neue Landebahn Nordwest den Betrieb auf. Ein Vergleich der Schlafmessungen von 2011 und 2012 zeigt, wie sich die Veränderungen auf den Schlaf der ansonsten „schlafgesunden“ Anwohnerinnen und Anwohner ausgewirkt haben.

## Die Schlafqualität im Flughafenumfeld messen

---

Um ihre Forschungsfragen zu beantworten, führten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in den Sommern 2011 bis 2013 Schlafmessungen direkt in den Schlafzimmern von Anwohnern des Flughafens Frankfurt durch. Insgesamt nahmen über 200 Personen an den Messungen teil, mehrere von ihnen in allen drei oder in zwei Jahren.

Jeweils drei bis vier Nächte in Folge verbrachten die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer mit mehreren Elektroden am Körper. Diese zeichneten während des Schlafs die Hirnströme, den Herzschlag und andere Körpersignale auf. Ein Schallpegelmessgerät erfasste außerdem alle nächtlichen Geräusche, die das Ohr der Schlafenden erreichten. So konnte das NORAH-Team ermitteln, wie sich Überflüge auf den Schlaf auswirkten. In Fragebogen machten alle Teilnehmenden weitere Angaben – unter anderem, wie sie subjektiv ihren Schlaf erlebten und wie positiv oder negativ sie den Flugverkehr beurteilten.

## Ruhigere Nächte verbessern die Schlafqualität

---

Das seit Oktober 2011 geltende Verbot von planmäßigen Flügen zwischen 23 und 5 Uhr zeigt positive Wirkung: Da 2012 nachts weniger Überflüge in den Schlafzimmern zu hören waren, wachten die Menschen insgesamt seltener auf ([📖 Glossar: Aufwachreaktion](#)). Personen, die zwischen 22 und 22.30 Uhr zu Bett gingen und zwischen 6 und 6.30 Uhr aufstanden, erwachten dabei im Mittel seltener als Teilnehmende, die eine Stunde später zu Bett gingen und aufstanden. Diese erwachten in den frühen Morgenstunden im Schnitt häufiger durch Fluglärm.

## Müdigkeit am Morgen gestiegen

Obwohl die Messungen zeigen, dass die Studienteilnehmer 2012 im Mittel insgesamt weniger aufwachten als 2011, spiegelt sich diese positive Entwicklung nicht in der Wahrnehmung der Menschen wider: Sie fühlten sich in jedem Jahr der Untersuchung bei gleicher Lärmbelastung morgens etwas müder und schläfriger als im Vorjahr, insgesamt aber in allen Jahren im mittleren Bereich der Müdigkeitsskala. Aus den Daten können die Wissenschaftler keine Erklärung für diesen Effekt ableiten. Er muss daher auf Faktoren zurückgehen, die die Studie nicht untersucht hat.

## Wer den Flugverkehr eher kritisch sieht, schläft schlechter

Einige Fragen des NORAH-Teams betrafen die Einstellung der Teilnehmenden zum Flugverkehr. Anhand der Antworten und Schlafmessungen zeigte sich, dass Menschen, die den Flugverkehr eher negativ sehen, schlechter schliefen: Sie brauchten länger, um einzuschlafen, lagen nachts häufiger wach und verbrachten weniger Zeit im Tiefschlaf. Ob der schlechtere Schlaf die Folge oder die Ursache der negativen Einstellung gegenüber dem Flugverkehr ist, lässt sich anhand der Daten nicht beurteilen.

Das seit Oktober 2011 geltende Verbot planmäßiger Flüge zwischen 23 und 5 Uhr zeigt positive Wirkung: Da 2012 nachts weniger Überflüge in den Schlafzimmern zu hören waren, wachten die Menschen seltener auf.



Wavebreakmedia/Shutterstock

## Ergebnisse aus Köln/Bonn nicht sicher auf Frankfurt übertragbar

Bereits 2001 und 2002 hatte das DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.) die Schlafqualität von Flughafenanwohnerinnen und -anwohnern gemessen – allerdings nicht im Rhein-Main-Gebiet, sondern in der Umgebung des Köln/Bonner Flughafens, an dem nachts fast durchgängig viele Frachtmaschinen starten und landen. Lärmschutzberechnungen und -indizes ([Glossar: Frankfurter Fluglärmindizes](#)) an mehreren Flughäfen orientieren sich an den Ergebnissen dieser Untersuchung. Im Rahmen der Schlafstudie fand das NORAH-Team nun heraus, dass sich die Ergebnisse von damals nicht eindeutig auf die aktuelle Situation am Flughafen Frankfurt übertragen lassen. Die Menschen in Köln/Bonn schliefen 2001 und 2002 schlechter als die Teilnehmenden im Rhein-Main-Gebiet im Jahr 2012 nach Einführung des Verbots planmäßiger Flüge zwischen 23 und 5 Uhr. Gleichzeitig fühlten sich die NORAH-Teilnehmer aber stärker vom nächtlichen Fluglärm belästigt.

## METHODE UND FRAGEN DER SCHLAFSTUDIE

Wie stark stören Starts und Landungen von Flugzeugen in der Nacht den Schlaf? Wann und wie oft wachen eigentlich „schlafgesunde“ Flughafenanwohnerinnen und -anwohner durch Überflüge zusätzlich auf? Dr. Uwe Müller vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Köln hat mit seinem Team in der Region um den Flughafen Frankfurt nach Antworten auf diese Fragen gesucht. Die Region bot neben dem größten deutschen Flughafen eine weitere Besonderheit: In Frankfurt gilt seit Oktober 2011 zwischen 23 und 5 Uhr ein Verbot planmäßiger Flüge. Zudem hat im selben Monat die neue Landebahn Nordwest den Betrieb aufgenommen. Das NORAH-Team konnte deshalb untersuchen, ob die Anwohnerinnen und Anwohner nach diesen Lärmänderungen anders schliefen als vorher.

### Lärm als Teilnahmekriterium

Über 200 Personen nahmen zwischen 2011 und 2013 an der Studie teil. Entscheidend für ihre Auswahl war der Lärm, der in ihren Schlafzimmern ankam. Fluglärm musste deutlich zu hören sein, dafür aber kaum Straßen- und Schienenlärm. Ein weiteres Kriterium: Die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer mussten einen regelmäßigen Schlafrhythmus pflegen und „schlafgesund“ sein. Menschen, die im Schichtdienst arbeiteten oder an Erkrankungen litten, die das Schlafverhalten beeinflussen, durften nicht teilnehmen. Diese strenge Auswahl war wichtig, um andere Ursachen als Lärm für Schlafstörungen so weit wie möglich auszuschließen.

Vor dem Zubettgehen legt eine Projektmitarbeiterin einem Studienteilnehmer die Elektroden an. Jeweils drei oder vier Nächte in Folge schliefen die Teilnehmenden mit den Elektroden am Körper.

## Schlaf genau vermessen

Im Zentrum der Studie standen die Messungen des Schlafs aller Teilnehmenden. Wie in einem Schlaflabor (☞ [Glossar](#)) „verkabelte“ das NORAH-Team 2011 und 2012 die Männer und Frauen abends vor dem Zubettgehen mit mehreren Elektroden an Kopf und Körper. So zeichneten sie verschiedene Körpersignale während des Schlafs auf. Gleichzeitig registrierte ein Schallpegelmessgerät alle Geräusche, die während der Nacht das Ohr der Schlafenden erreichten. Die Daten erlaubten es den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, genau zu analysieren, wie tief die Teilnehmenden wann schliefen und wie sie auf die Überflüge von Flugzeugen reagierten.

### Drei Messphasen

Die ersten Messungen fielen in den Sommer 2011, also noch vor die Einführung der Ruhepause zwischen 23 und 5 Uhr und die Eröffnung der Landebahn Nordwest. In den Sommern 2012 und 2013 folgten weitere Messphasen. Jeweils drei bis vier Nächte in Folge zeichnete das NORAH-Team den Schlaf jedes Teilnehmenden auf.

### Fragebogen erfassten das persönliche Schlaferleben

Ergänzend zu den Schlafmessungen baten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Teilnehmenden nach jeder Messnacht darum, ihren Schlaf zu bewerten – zum Beispiel, ob sie sich müde oder schläfrig fühlten. Außerdem machten die Befragten unter anderem Angaben zu ihrer Lärmempfindlichkeit und ihrer Einstellung zum Flugverkehr.



Knost, DLR



## Suche nach einer neuen Methode zur Schlafmessung

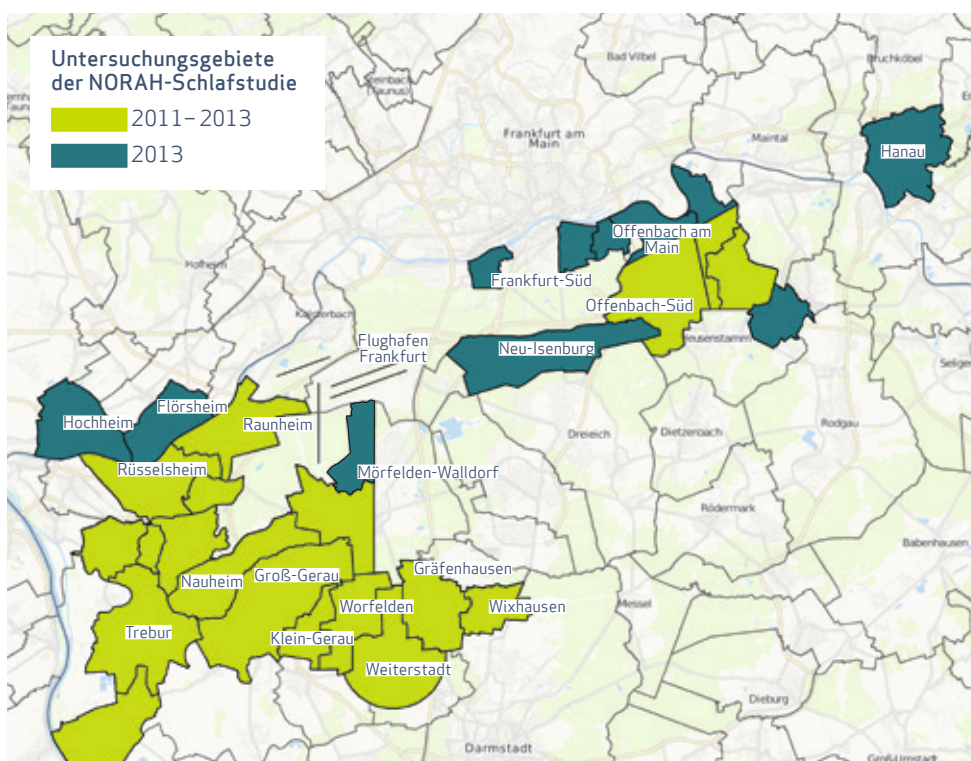
Die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer schliefen während der Messungen in ihrem eigenen Bett. Bei den Untersuchungen 2011 und 2012 trugen sie zehn Elektroden am Kopf und zwei weitere am Körper. Weil diese Art der Untersuchung – die Schlafforschung spricht von „Polysomnografie“ ([Glossar](#)) – sehr aufwendig ist, entwickelte das NORAH-Team für 2013 eine einfachere Methode. Vorarbeiten für eine solche Methode hatten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bereits im Jahr 2008 begonnen. Die neue „vegetativ-motorische“ Methode kommt mit nur zwei Elektroden aus und ist leichter auszuwerten. Deshalb konnten im dritten Jahr der Untersuchung mehr Menschen teilnehmen als in den Vorjahren. Allerdings misst die neue Methode nicht dasselbe wie die Polysomnografie, sondern erfasst nur Veränderungen des Herzschlags und Körperbewegungen.

## Das Besondere an der NORAH-Schlafstudie

Im Bereich der Schlafforschung geht NORAH weiter als viele andere Studien: Bisher haben sich die meisten Untersuchungen mit Befragungen begnügt. Nur wenige Lärmwirkungsstudien haben vor NORAH mit polysomnografischen Methoden bei den Anwohnerinnen und Anwohnern vor Ort gearbeitet – darunter eine Studie im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn in den Jahren 2001 und 2002. Deren Ergebnisse flossen in den Frankfurter Nachtindex ([Glossar](#), „Frankfurter Fluglärmindizes“) ein. Eine Aufgabe von NORAH war es auch, zu prüfen, ob sich die Ergebnisse dieser älteren Studie auf den Frankfurter Raum übertragen lassen. Keine Studie weltweit hat vor der NORAH-Schlafstudie polysomnografische Untersuchungen bei einer so großen Anzahl an Teilnehmenden zu Hause durchgeführt.

Mehr über Methode und Fragestellungen der Schlafstudie können Sie in „NORAH Wissen“ 5 nachlesen.

## Gebiete, in denen die Schlafstudie durchgeführt wurde



## DIE SCHLAFQUALITÄT IM RHEIN-MAIN-GEBIET

Die Ergebnisse der NORAH-Schlafstudie zeigen erstmals detailliert, wie gut „schlafgesunde“ Menschen im Rhein-Main-Gebiet schlafen und wie sich der Fluglärm auf ihre Nachtruhe auswirkt.

Die ersten Schlafmessungen fanden 2011 statt, bevor das Verbot planmäßiger Flüge zwischen 23 und 5 Uhr in Kraft trat. Alle Teilnehmenden gingen zwischen 22 und 22.30 Uhr zu Bett und standen zwischen 6 und 6.30 Uhr auf. Die zweite Messphase folgte 2012. In diesem Jahr nahmen fast alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Vorjahres wieder teil. Zusätzlich untersuchte das NORAH-Team 2012 eine weitere Gruppe von Personen, die eine Stunde später, also zwischen 23 und 23.30 Uhr, zu Bett gingen und auch eine Stunde später aufstanden. Der Vergleich beider Jahre erlaubte es dem NORAH-Team, einzuschätzen, wie sich die sechsstündige Flugpause auf den Schlaf der Anwohner auswirkte und ob es im zweiten Jahr für den Schlaf eine Rolle spielte, wann die Teilnehmenden zu Bett gingen und wieder aufstanden.

## Frühschläfer profitieren von der Flugpause zwischen 23 und 5 Uhr

---

Aufgrund der geringeren Anzahl der Überflüge 2012 schliefen Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer, die zwischen 22 und 22.30 Uhr zu Bett gingen, im zweiten Jahr der Untersuchung besser. 2011 wachten sie im Schnitt 2,0-mal pro Nacht zum Zeitpunkt eines Überflugs zusätzlich auf („fluglärmassoziierte Aufwachreaktion“). 2012 hingegen wachten sie im Schnitt nur 0,8-mal pro Nacht zusätzlich durch Überflüge auf.

## Spätschläfer erwachen häufiger

---

Die zweite Teilnehmergruppe im Jahr 2012, die zwischen 23 und 23.30 Uhr zu Bett ging und entsprechend eine Stunde später als die „Frühschläfer“ aufstehen wollte, wachte häufiger auf. Im Schnitt 1,9-mal pro Nacht erlebten sie eine „fluglärmassoziierte Aufwachreaktion“, also eine Unterbrechung des Schlafs während eines Überfluges. Der Grund für den deutlichen Unterschied zwischen Früh- und Spätschläfern: Die Aufstehzeit der Spätschläfer lag etwa zwei Stunden nach Ende des Verbots planmäßiger Flüge. Dadurch waren die Menschen am frühen Morgen dem wieder einsetzenden Flugverkehr länger ausgesetzt.



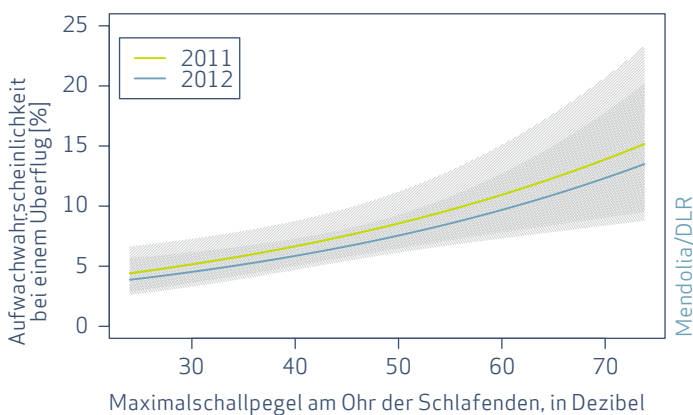
## Nicht jeder Überflug stört gleich stark

Der überwiegende Teil der Überflüge führte nicht zum Aufwachen. Das NORAH-Team wollte genauer wissen, ob manche Überflüge den Schlaf stärker stören als andere. Dazu analysierten sie unter anderem den Maximalschallpegel (☞ [Glossar](#)), also die höchste Lautstärke jedes Überflugs, und die Uhrzeit.

Sie fanden heraus, dass – wenig überraschend – lautere Überflüge häufiger zum Aufwachen führten. Allerdings spielte auch der Unterschied zwischen den allgemeinen Hintergrundgeräuschen und dem Maximalschallpegel des Überflugs eine Rolle: Waren die Hintergrundgeräusche lauter und der Unterschied zum Überfluglärm deshalb geringer, wachten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer seltener auf. Und auch die Uhrzeit spielt eine Rolle: Gegen Ende der Nacht, wenn der Schlafdruck nachließ, wachten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer leichter auf als zu Beginn der Nacht.

**Gegen Ende der Nacht, wenn der Schlafdruck nachließ, wachten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer leichter auf als zu Beginn der Nacht.**

### Fluglärmassoziierte Aufwachwahrscheinlichkeit



Die Grafik zeigt die Wahrscheinlichkeit, bei einem Überflug mit einem bestimmten Maximalschallpegel zu erwachen. Die Aufwachwahrscheinlichkeiten unterschieden sich 2011 und 2012 nicht signifikant (☞ [Glossar](#)). Das ist an der starken Überlappung der schraffierten „Vertrauensbereiche“ (Konfidenzintervalle) zu erkennen.

## So schliefen die Teilnehmenden

Trotz der unterschiedlichen Lärmbelastung in den Jahren 2011 und 2012 konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler keine bedeutenden Unterschiede bei verschiedenen Schlafkenngrößen zwischen den beiden Jahren feststellen. Um möglichen Auswirkungen nächtlichen Fluglärms auf die Spur zu kommen, hatte das NORAH-Team unter anderem gemessen, wie lange die Teilnehmerinnen und Teilnehmer nachts wach lagen und wie lange sie zum Einschlafen benötigten.

Bei keiner der untersuchten Schlafkenngrößen (siehe Tabelle) konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Jahren und Gruppen feststellen. Die Durchschnittswerte im Überblick:

Bei keiner dieser sechs untersuchten Schlafkenngrößen zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Jahren und Gruppen.

## Wer den Flugverkehr eher kritisch sieht, schläft schlechter

Zudem befragte das NORAH-Team die Teilnehmenden, wie positiv oder negativ sie den Flugverkehr bewerteten und für wie notwendig sie ihn hielten. Die Antworten veränderten sich im Lauf der drei Untersuchungsjahre kaum. Allerdings konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in allen drei Jahren feststellen, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Schlaf der Teilnehmenden und ihrer Bewertung des Flugverkehrs gibt: Anwohner, die den Flughafen eher negativ beurteilten, brauchten länger, um einzuschlafen, verbrachten weniger Zeit im Tiefschlaf und lagen nachts länger wach.

Das Autorenteam konnte aus den Daten allerdings keine Rückschlüsse auf Ursache und Wirkung ziehen: Die negative Einstellung könnte eine Folge des schlechten Schlafs sein – aber ebenso denkbar ist es, dass die negative Einstellung den Schlaf beeinträchtigt.

	2011 Schlafenszeit: 22/22:30 bis 6/6:30 Uhr	2012 Schlafenszeit: 22/22:30 bis 6/6:30 Uhr	2012 Schlafenszeit: 23/23:30 bis 7/7:30 Uhr
Gesamtschlafdauer	7:06 Stunden	7:08 Stunden	7:07 Stunden
Dauer zwischen Zubettgehen und Einschlafen	13,9 Minuten	14,5 Minuten	13,1 Minuten
Schlafeffizienz (Anteil Schlaf an Zeit im Bett)	90 %	90 %	91 %
Wachdauer nach dem Einschlafen	36,7 Minuten	34,4 Minuten	33,8 Minuten
Differenz zw. geplantem und tatsächlichem Schlafende	3,3 Minuten	5,4 Minuten	5,7 Minuten
Wachanteil in Prozent zwischen 4:30 Uhr und geplantem Schlafende	14 %	14 %	12 %

## Körperliche Reaktionen auf Lärmveränderungen gemessen

2013, im dritten Jahr der Untersuchung, setzten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine weniger aufwendige Messmethode mit nur zwei Elektroden ein: Sie erfasst, wie häufig die Teilnehmenden auf Überflüge körperlich reagieren – mit beschleunigtem Herzschlag und Körperbewegungen. Anders als bei den polysomnografischen Untersuchungen (☞ [Glossar](#)) der Vorjahre konnten die Teilnehmer die zwei nötigen Elektroden abends allein befestigen. Auf diese Weise konnte das NORAH-Team mit gleichem Budget den Schlaf von deutlich mehr Personen messen als 2011 und 2012.

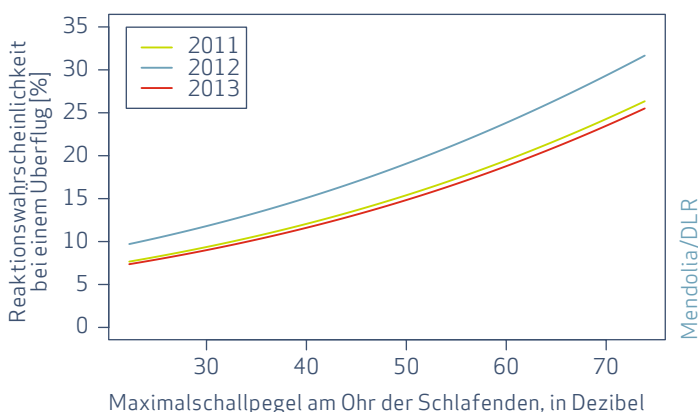
Die Ergebnisse zeigen, dass die körperlichen Reaktionen auf Überflüge von 2011 bis 2012 deutlich gestiegen sind: 2011 reagierten die Teilnehmenden auf 10,7 Prozent der nicht durch andere Geräusche gestörten Überflüge, 2012 auf 16,2 Prozent. 2013 lag der Anteil bei 13 Prozent, hatte also wieder abgenommen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler schließen nicht aus, dass es sich bei diesem Verlauf um einen sogenannten Change Effekt handelt. So nennen Lärmwirkungsforscher es, wenn Menschen auf erwartete oder tatsächliche Lärmveränderungen wie zum Beispiel einen Flughafenausbaubau vorübergehend stärker reagieren.

### Der Fachbegriff Aufwachreaktion

Die Schlafstudie hat in den Jahren 2011 und 2012 untersucht, wie wahrscheinlich es ist, dass die Probanden durch den Einfluss von Fluglärm eine sogenannte Aufwachreaktion zeigten. So bezeichnen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Wechsel von einem tieferen Schlafstadium entweder in den Wachzustand oder in das leichteste Schlafstadium.

Nicht nur Geräusche verursachen Aufwachreaktionen. Auch in ruhiger Umgebung wachen Schlafende mehrmals in der Nacht auf. In den meisten Fällen erinnern sie sich am Morgen nicht daran. Das NORAH-Team konnte in vorherigen Studien im Schlaflabor (☞ [Glossar](#)) zeigen, dass sich Menschen in der Regel erst dann an Aufwachreaktionen erinnern, wenn diese länger als 90 Sekunden dauern.

## Fluglärmassoziierte Wahrscheinlichkeit einer „vegetativ-motorischen“ Reaktion



Die Grafik zeigt die Wahrscheinlichkeit, bei einem Überflug mit einem bestimmten Maximalschallpegel mit erhöhtem Herzschlag und Körperbewegungen zu reagieren. Die Reaktionswahrscheinlichkeit war von 2011 auf 2012 gestiegen, 2013 dann wieder auf das Niveau von 2011 gesunken.

## DAS SCHLAFERLEBEN AUS SICHT DER TEILNEHMENDEN

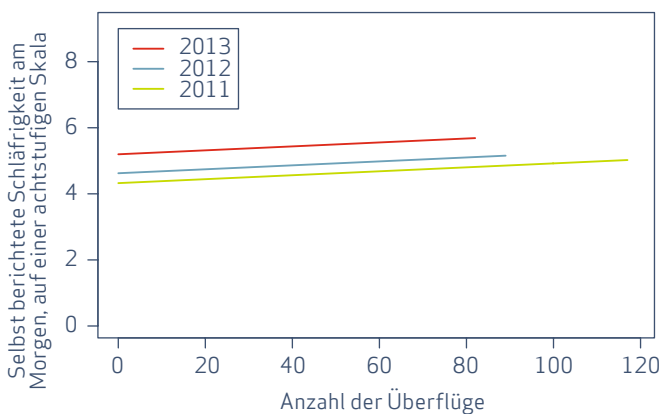
Zusätzlich zu den Schlafmessungen befragte das NORAH-Team alle Teilnehmenden, wie sie selbst ihren Schlaf beurteilten – schließlich sind das Schlaferleben und die Störung durch Fluglärm auch in hohem Maße eine Frage der persönlichen Wahrnehmung.

### 2011: Häufige Überflüge machen müde

Am Morgen nach jeder beobachteten Nacht fragte das NORAH-Team alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer, wie schläfrig und müde sie sich fühlten. Für die Antworten nutzten sie mehrere Skalen, die in wissenschaftlichen Schlafstudien zum Standard gehören. Die Forscherinnen und Forscher hatten damit gerechnet, dass die Anwohner bei einer höheren Lärmbelastung ihren Schlaf auch subjektiv schlechter bewerten würden. Und tatsächlich ergab sich für das Untersuchungsjahr 2011, in dem noch regelmäßig nächtliche Flüge stattfanden, dass die Befragten nach einer Nacht mit vielen Überflügen am Morgen subjektiv müde waren.

2013 fühlten sich die Teilnehmenden morgens schläfriger und müder als in den Vorjahren.

### Schläfrigkeit am Morgen nach dem Aufstehen



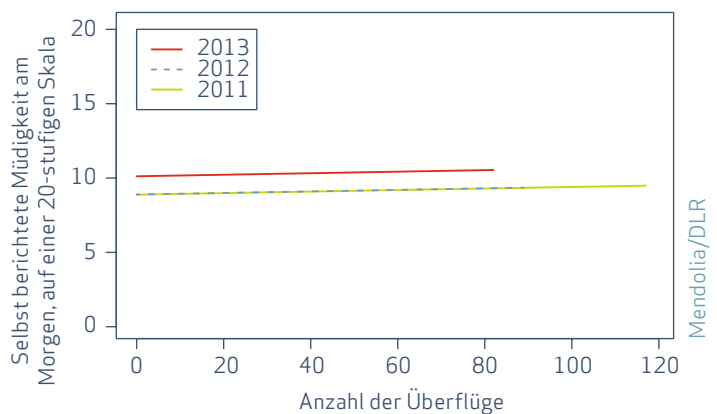
1 → sehr wach  
8 → sehr müde, große Probleme, wach zu bleiben, mit dem Schlaf kämpfend

## 2012 und 2013: Schläfrigkeit steigt trotz seltenerem Aufwachen

Überraschender fanden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Antworten der Befragten im zweiten und dritten Jahr der Studie. Denn obwohl die Schlafmessungen zeigten, dass die Anzahl der Überflüge und der Aufwachreaktionen (☞ [Glossar](#)) abgenommen hatte, fühlten sich die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer morgens zunehmend schläfriger und müder. Die Einführung des Verbots planmäßiger Flüge zwischen 23 und 5 Uhr hatte demnach nicht dazu geführt, dass die Menschen ihren Schlaf subjektiv besser bewerteten. Dieses Ergebnis lässt sich auch in Zahlen ausdrücken: Bei der gleichen Anzahl von Überflügen stieg das negative Erleben des Schlafs von 2011 bis 2013 um fünf bis elf Prozent. Insgesamt lagen die subjektiven Schläfrigkeits- und Müdigkeitsbewertungen in allen drei Untersuchungsjahren im mittleren Bereich der verwendeten Müdigkeitsskala.

Das Ergebnis zeigte sich auch bei Personen, die in allen drei Jahren teilnahmen. Das NORAH-Team geht daher davon aus, dass nicht erhobene und vermutlich nicht akustische Faktoren zu diesem Ergebnis geführt haben.

### Müdigkeit am Morgen nach dem Aufstehen



0 → hellwach  
20 → todmüde

## SCHLAFEN FLUGHAFENANWOHNER IN FRANKFURT BESSER ALS IN KÖLN?

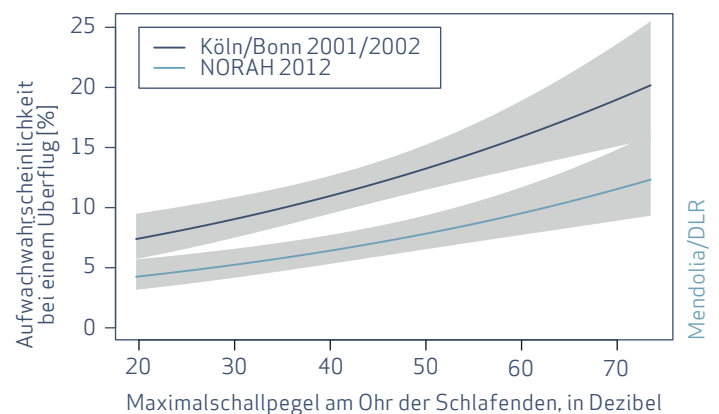
Rund zehn Jahre vor NORAH hatte das DLR die Schlafqualität im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn untersucht. Auch der Leiter der NORAH-Schlafstudie, Dr. Uwe Müller, gehörte zu den Forscherinnen und Forschern, die 2001 und 2002 den Schlaf im Rheinland vermessen hatten. Die Ergebnisse der Köln/Bonner Studie haben bis heute auch für die Anwohnerinnen und Anwohner des Flughafens Frankfurt konkrete Bedeutung: Sie liefern die Grundlage für die Berechnung des Frankfurter Nachtindexes ([📖 Glossar](#)).

Allerdings unterschied sich die Lärmsituation in Köln/Bonn zu Beginn des Jahrtausends in wichtigen Punkten von der Situation im Frankfurter Raum zur Zeit von NORAH: Zum einen flogen 2001/2002 in Köln/Bonn auch nachts durchgehend Flugzeuge, zum anderen war der Anteil älterer Frachtmaschinen deutlich höher. Dieser Flugzeugtyp erzeugt mehr Lärm in anderen Frequenzbereichen als die Passagiermaschinen, die heute in Frankfurt vorwiegend starten und landen. Es gehörte auch zu den Aufgaben der NORAH-Schlafstudie, zu überprüfen, inwieweit sich die Köln/Bonner Ergebnisse auf den Frankfurter Raum übertragen lassen. Dabei stellten die Forscherinnen und Forscher Unterschiede in der Schlafqualität der damaligen und heutigen Studienteilnehmer fest.

## Köln/Bonner wachten häufiger auf

Aufgrund des höheren nächtlichen Flugaufkommens wachten die Anwohnerinnen und Anwohner im Köln/Bonner Raum häufiger auf. Auch die Wahrscheinlichkeit, durch einen Überflug mit einem bestimmten Schallpegel wach zu werden, lag am Köln/Bonner Flughafen höher.

### Fluglärmassoziierte Aufwachwahrscheinlichkeit an den Flughäfen Frankfurt und Köln/Bonn



Die NORAH-Teilnehmer wachten bei einem Überflug weniger wahrscheinlich auf als die Teilnehmer einer Studie 2001/2002 im Raum Köln/Bonn.

## Weniger Zeit im Tiefschlaf

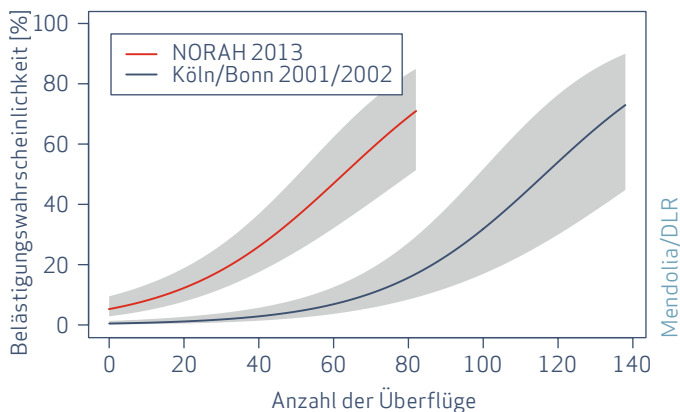
Die Anwohnerinnen und Anwohner des Köln/Bonner Flughafens konnten sich im Schlaf schlechter erholen als die Frankfurter Studienteilnehmer nach Einführung des Verbots planmäßiger Flüge zwischen 23 und 5 Uhr. Den Schlafmessungen im Rheinland zufolge verbrachten die Teilnehmenden weniger Zeit pro Nacht im für die Erholung wichtigen Tiefschlaf.

Mehrere Gründe könnten für diesen Unterschied verantwortlich sein, weshalb die Ergebnisse vorsichtig zu interpretieren sind. Das NORAH-Team hält es für möglich, dass es den Personen in Köln/Bonn aufgrund häufiger Unterbrechungen zu Beginn der Nacht schlechter gelang, tiefere Schlafstadien zu erreichen. Außerdem könnten die unterschiedlichen Frequenzen der Flugzeugtypen eine Rolle gespielt haben. Ebenfalls hält es das NORAH-Team für denkbar, dass sich die untersuchten Personengruppen voneinander unterscheiden. Eine vierte Erklärungsmöglichkeit hängt damit zusammen, dass die Auswertung von Schlafaufzeichnungen nicht automatisiert erfolgt, sondern einen menschlichen Blick benötigt. Deshalb könnte es auch sein, dass die Auswerter beider Studien die Schlafaufzeichnungen nicht ganz einheitlich interpretiert haben.

## Belästigung in Frankfurt höher als in Köln/Bonn

Ergänzend zu den Schlafmessungen hatten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Teilnehmenden in beiden Studien gefragt, wie stark sie sich durch den Fluglärm der vergangenen Nacht belästigt fühlen. Dabei stellten sie fest, dass sich die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer im Raum Frankfurt von vergleichbaren Lärmpegeln und einer vergleichbaren Anzahl an Überflügen erheblich stärker gestört fühlen als die Befragten zehn Jahre zuvor im Rheinland. Eine Erklärung für dieses Ergebnis lässt sich aus den Daten nicht ableiten. Es deckt sich aber mit Ergebnissen der NORAH-Lebensqualitätsstudie.

## Fluglärmassoziierte Aufwachwahrscheinlichkeit an den Flughäfen Frankfurt und Köln/Bonn



Im Vergleich zu einer Studie im Umfeld des Köln/Bonner Flughafens 2001/2002 fühlten sich die Teilnehmenden der Schlafstudie 2013 von der gleichen Anzahl nächtlicher Überflüge deutlich stärker belästigt.

Mendolia/DLR



## NEUE METHODE ZUR BEURTEILUNG VON REAKTIONEN AUF LÄRM IM SCHLAF

Schlafen ist abwechslungsreicher, als den meisten Menschen bewusst ist: Wir durchlaufen nachts verschiedene Schlafstadien. Träume und traumlose Phasen folgen aufeinander. Schlafforscherinnen und -forscher können alle diese verschiedenen Stadien messen. Als „Goldstandard“-Methode dafür gilt die sogenannte Polysomnografie (📖 [Glossar](#)): Über mehrere Elektroden an Kopf und Oberkörper einer schlafenden Person lässt sich damit unter anderem genau ermitteln, welche Schlafstadien die Person wann erreicht. Die Methode hat viele Vorteile – aber auch einen für viele Forschungsvorhaben entscheidenden Nachteil: Sie ist sehr aufwendig. Deshalb müssen Schlafstudien häufig mit sehr geringen Teilnehmerzahlen auskommen.

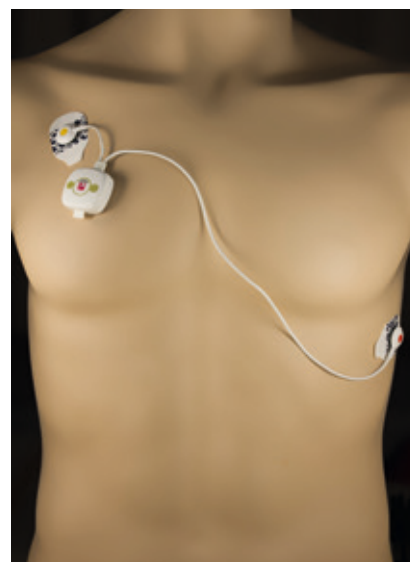
Um dieses Hindernis zu überwinden, entwickelte das NORAH-Team in Zusammenarbeit mit US-Wissenschaftlern von der University of Pennsylvania eine vereinfachte Methode, die in Zukunft auch genutzt werden könnte, um den vom Lärm beeinträchtigten nächtlichen Schlaf zu beurteilen – dazu ist aber zunächst weitere Forschung nötig. Die sogenannte „vegetativ-motorische“ Methode kommt mit nur zwei Elektroden aus. Die Methode misst die nächtliche Herzfrequenz und die Körperbewegungen von Schlafenden. Die US-Forscher setzten die Methodik 2014/2015, nach den Messungen in NORAH, bereits bei einer Studie am Flughafen in Philadelphia ein. Weitere US-Flughäfen sollen folgen.

## Auch Schlafende reagieren auf Fluglärm

Aus den Messergebnissen der „vegetativ-motorischen“ Methode lassen sich nicht die gleichen Schlüsse ziehen wie aus den Resultaten einer polysomnografischen Messung. Zum Beispiel kann man damit nicht erkennen, in welchem Schlafstadium sich jemand befindet.

Trotzdem sind die Messergebnisse für NORAH sehr wertvoll: Sie zeigen, dass Schlafende auf Geräusche wie zum Beispiel Fluglärm körperlich reagieren – mit beschleunigtem Herzschlag und verstärkter Körperbewegung. Bei vielen Überflügen konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei einem Vergleich der polysomnografischen und der „vegetativ-motorischen“ Messdaten feststellen, dass die Schlafenden zwar nicht erwachten, aber trotzdem körperlich reagierten.

Ob diese nächtlichen Reaktionen gesundheitliche Folgen haben, müssen zukünftige Studien klären. Das NORAH-Team hält es aber für möglich, dass sich durch den regelmäßig beschleunigten Herzschlag langfristig das Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten erhöht.



Schmidt, DLR

Bei der „vegetativ-motorischen“ Methode müssen nur noch zwei Elektroden am Körper angebracht werden. Sie messen den Herzschlag der untersuchten Person, zusätzlich wird auch die Körperbewegung aufgezeichnet.

## INTERVIEW MIT STUDIENLEITER DR. UWE MÜLLER: „DAS HERZ WILL SICH IN DER NACHT AUSRUHEN“

Dr. Uwe Müller vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Köln leitete die NORAH-Schlafstudie. Im Interview erzählt der Physiker, ob ihn die Ergebnisse überrascht haben und wie er selbst während des Forschungsprojekts geschlafen hat.



Schmitt/DLR

Dr. Uwe Müller leitete die NORAH-Schlafstudie.

### **NORAH Wissen: Herr Dr. Müller, was brauchen Menschen, um gut zu schlafen?**

Müller: Ganz wichtig ist eine dunkle und ruhige Umgebung. Sie sollten bequem liegen und von den Sorgen des Alltags abschalten können. Hilfreich ist es, immer zur ungefähr gleichen Zeit und mit dem gleichen Ablauf zu Bett zu gehen. Außerdem wissen wir aus der Forschung, dass das Licht am Abend eher gedämpft sein sollte, damit das Schlafhormon Melatonin ausgeschüttet werden kann.

### **Apropos „die Sorgen des Alltags“: Sorgen spielen ja auch bei NORAH eine Rolle. Menschen, die den Flugverkehr eher negativ sahen, schliefen schlechter. Haben Sie eine Erklärung dafür?**

Nein, das ist wie bei Henne und Ei. Wir können anhand des Studiendesigns von NORAH nicht feststellen, was zuerst da war. Trotzdem ist der Zusammenhang eindeutig: Menschen, die objektiv schlechter schlafen, bewerten in der Regel auch den Fluglärm oder den Flughafen eher negativ.

### **Die NORAH-Teilnehmer schliefen besser als Studienteilnehmer vor zehn Jahren im Köln/Bonner Raum. Trotzdem fühlen sie sich stärker vom Fluglärm belästigt. Wie passt das zusammen?**

Da decken sich unsere Ergebnisse mit denen der NORAH-Lebensqualitätsstudie. Auch dort zeigt sich, dass sich die Menschen heute stärker von Fluglärm belästigt fühlen als vor einigen Jahren. Die Belästigung hängt eben nur zum Teil von der Lärmbelastung ab. Daneben spielen auch nicht akustische Faktoren eine Rolle – zum Beispiel könnte mangelndes Vertrauen in Behörden oder in die Mitteilungen des Flughafens einen Einfluss haben. Ob das in diesem Fall so war, wissen wir nicht. Ich halte es aber für plausibel, dass die Antworten der Lebensqualitätsstudie auch auf unsere Teilnehmenden zutreffen.

### Welche Ergebnisse haben Sie besonders überrascht?

Ich war gespannt, ob sich die Aufwachwahrscheinlichkeit in Frankfurt nach Einführung der Kernruhezeit von den Ergebnissen der Köln/Bonner Studie unterscheiden würde. In Köln/Bonn gab es ja damals einen durchgehenden Nachtflugbetrieb. Es gibt moderate Unterschiede, die aber aufgrund unterschiedlicher Studienbedingungen sehr vorsichtig interpretiert werden müssen. Für mich ist das Ergebnis ein weiteres Indiz dafür, dass wir in Deutschland im Fluglärmschutzgesetz zur Bestimmung der nächtlichen Schutzzonen endlich von rein physikalisch-akustischen Größen hin zu physiologischen Größen wie etwa der Aufwachreaktion kommen müssen. Und mich hat gefreut, dass die „vegetativ-motorische“ Methode so gut funktioniert. Sie misst zwar nicht die Aufwachreaktionen, man kann aber erkennen, wann der Herzschlag aufgrund von Lärm beschleunigt, auch wenn es gar nicht zum Aufwachen kommt. Die Methode ist also sensitiver als die alleinige Berücksichtigung der Aufwachreaktion. Möglicherweise haben wir damit sogar eine von möglichen weiteren Erklärungen dafür gefunden, wie nächtlicher Fluglärm das Herz-Kreislauf-Risiko erhöhen könnte. Ob das tatsächlich so ist, müssen aber zukünftige Studien klären.

### Wie sähe denn dieser Zusammenhang aus?

Die „vegetativ-motorische“ Methode misst Herzfrequenzbeschleunigungen und Körperbewegungen. Das Herz will sich in der Nacht ausruhen. Wir haben aber herausgefunden, dass Überflüge diese Ruhe unterbrechen und den Herzschlag beschleunigen. Das könnte dazu führen, dass sich nach langjähriger Lärmexposition Herz-Kreislauf-Erkrankungen einstellen.

### Wie gut haben Sie selbst eigentlich während der NORAH-Studie geschlafen?

Ganz unterschiedlich! Zum Beispiel war der Stress in den Sommern 2011 und 2012 hoch, das wirkte sich auch auf den Schlaf aus. Ich war damals vor Ort, um Studienteilnehmer zu gewinnen und Voruntersuchungen durchzuführen. Ich finde es sehr wichtig, persönlich vor Ort zu sein. Es ist etwas völlig anderes, am Schreibtisch Lärmkarten zu studieren oder den Lärm selbst zu erfahren.

An dieser Stelle möchte ich auch noch einmal meinen ganz herzlichen Dank allen Versuchspersonen der Schlafstudie für ihr Interesse, ihre Geduld und Ausdauer und ihren Zeitaufwand aussprechen! Und mein Dank gilt auch den Mitarbeitern und Studierenden der Universität Gießen, die uns durch die Betreuung der Studienteilnehmer abends und morgens vor Ort entscheidend unterstützt haben, sowie den Kollegen von der University of Pennsylvania für die wertvolle und intensive Zusammenarbeit bei der Entwicklung der neuen Methodik.

### Herr Dr. Müller, vielen Dank für das Gespräch!

## AUSBLICK

Die NORAH-Schlafstudie hat ermittelt, wie die Menschen im Rhein-Main-Gebiet in den Untersuchungszeiträumen schliefen, wie Fluglärm ihren Schlaf beeinflusste und wie sie selbst ihren Schlaf beurteilten. Außerdem haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Methode weiterentwickelt, die es in Zukunft ermöglichen könnte, Studien mit mehr Teilnehmenden als bisher durchzuführen. Die Schlafstudie hat aber auch neue Fragen aufgeworfen, die weitere Studien klären müssen.

### Welche Folgen hat beschleunigter Herzschlag in der Nacht für die Gesundheit?

Mit der neuen, „vegetativ-motorischen“ Methode bei NORAH ist noch einmal deutlich in den Blick der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gerückt, dass nächtliche Überflüge in vielen Fällen den Herzschlag von Schlafenden erhöhen. Es kommt sogar vor, dass Menschen scheinbar ungestört weiterschlafen, trotzdem aber körperlich reagieren. Die Schlafstudie konnte diese unmittelbaren Reaktionen dokumentieren. Sie kann aber nicht beurteilen, ob diese Reaktionen langfristig die Gesundheit beeinträchtigen können und zum Beispiel das Risiko für Herz-Kreislauf-Krankheiten erhöhen. Dazu sind in Zukunft weitere Studien nötig.

### Wie oft führt nächtlicher Fluglärm zum Aufwachen?

Auch wenn die „vegetativ-motorische“ Methode im Rahmen von NORAH viel Potenzial für zukünftige Schlafstudien verspricht, misst die Forschung nach wie vor auch der „Aufwachreaktion“ ([📖 Glossar](#)) große Bedeutung zu – dem Wechsel von einem tieferen Schlafstadium in das leichteste oder in den Wachzustand. Die Frage, wie häufig Fluglärm eine solche Aufwachreaktion auslöst, ist nicht ganz einfach zu beantworten. Denn auch in einer ruhigen Umgebung wachen Schlafende mehrfach in der Nacht „spontan“ auf. Deshalb müssen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Lärmwirkungsstudien wie NORAH versuchen zu erkennen, welche Aufwachreaktionen ihrer Studienteilnehmer auf Lärm zurückzuführen sind und welche zum normalen Schlafverhalten gehören. Dank des Verbots planmäßiger Flüge zwischen 23 und 5 Uhr bei NORAH konnten die NORAH-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler viel genauer als in früheren Studien analysieren, wie sich das zeitliche Auftreten von Aufwachreaktionen mit und ohne Fluglärm verändert. Trotzdem könnten weitere Untersuchungen dazu beitragen, besser zu verstehen, wie oft wir nachts spontan und ohne Einfluss von außen aufwachen und wie flexibel der Körper dieses Aufwachen an Lärmeinflüsse anpassen kann.

**Mit der neuen, „vegetativ-motorischen“ Methode bei NORAH ist noch einmal deutlich in den Blick der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gerückt, dass nächtliche Überflüge in vielen Fällen den Herzschlag von Schlafenden erhöhen.**

# Glossar

---

Weitere Erläuterungen finden Sie auch im Glossar auf [www.laermstudie.de](http://www.laermstudie.de).

## **Aufwachreaktion**

Wechselt ein Schlafender von einem tieferen ins leichteste Schlafstadium oder wacht vollständig auf, sprechen die Schlaf-forscher des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) von einer Aufwachreaktion. Auch in ruhiger Umgebung erleben Schlafende etwa 20- bis 30-mal in der Nacht eine solche Aufwachreaktion. Meistens erinnern sie sich am nächsten Morgen nicht daran.

---

## **Frankfurter Fluglärmindizes**

Die vom Forum Flughafen und Region (FFR) entwickelten Frankfurter Fluglärmindizes errechnen die Fluglärmbelastung tagsüber und nachts im Gebiet rund um den Flughafen Frankfurt. Sie berücksichtigen die gesamte An- und Abflugsituation auf der Grundlage der sechs verkehrsreichsten Monate. Die Frankfurter Fluglärmindizes basieren auf Dosis-Wirkungs-Beziehungen, die im Rahmen von Studien im Rhein-Main-Gebiet und am Flughafen Köln/Bonn ermittelt wurden.

---

## **Maximalschallpegel**

Die physikalische Größe, die am besten beschreibt, wie stark nächtlicher Fluglärm auf den Schlaf wirkt, ist der Maximalschallpegel des Überflugeräusches. Die Störwirkung insgesamt in der Nacht ist abhängig von der Höhe und der Häufigkeit auftretender Maximalschallpegel.

---

## **Polysomnografie**

Eine polysomnografische Untersuchung erfasst mehrere körperliche Messwerte während des Schlafs, unter anderem die Hirnstromwellen und Augenbewegungen, den Herzschlag und den Atemrhythmus. Diese Informationen helfen Ärzten zum Beispiel dabei, die Ursachen für Schlafstörungen zu finden.

---

## **Schlaflabor**

In Schlaflaboren messen und beobachten Wissenschaftler, wie der Schlaf eines Menschen verläuft und wann er von einem Schlafstadium in ein anderes wechselt. Fast alle Untersuchungen in Schlaflaboren arbeiten mit der Methode der Polysomnografie.

---

### **Impressum**

Gemeinnützige Umwelthaus GmbH  
Rüsselsheimer Str. 100  
65451 Kelsterbach

**Tel** 06107 98868-0

**Fax** 06107 98868-19

**E-Mail** [norah@umwelthaus.org](mailto:norah@umwelthaus.org)

### **Konzept, Text und Gestaltung**

Mann beißt Hund – Agentur für Kommunikation GmbH  
[www.mann-beisst-hund.de](http://www.mann-beisst-hund.de)

### **Stand**

Oktober 2015