



# Verkehrslärm

## Wirkungen auf Schlaf und Leistung

**Barbara Griefahn**<sup>2</sup>

**Mathias Basner**<sup>1</sup>

**Thomas Penzel**<sup>3,4</sup>

unter Mitwirkung von  
Markus Breimhorst<sup>2</sup>

Peter Bröde<sup>2</sup>

Sebastian Canisius<sup>3</sup>

Werner Cassel<sup>3</sup>

Eva-Maria Elmenhorst<sup>1</sup>

Christian Glatz

Uwe Müller<sup>1</sup>

Thomas Ploch<sup>3</sup>

Julia Quehl<sup>1</sup>

Sibylle Robens<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Abteilung Flugphysiologie, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin  
des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln

<sup>2</sup> Lehrstuhl 'Mathematische Statistik und biometrische Anwendungen'  
und Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund (IfADo)

<sup>3</sup> Schlaflabor der Inneren Klinik des Universitätsklinikums Marburg

<sup>4</sup> Charité - Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Kardiologie - Mitte,  
Interdisziplinäres Schlafmedizinisches Zentrum

2007



## Ergebnisbericht des Virtuellen Instituts

# 'Transportation Noise Effects on Sleep and Performance'

Impulsfonds-Projektnummer	<b>VH-VI-111</b>
Projekttitel	Transportation Noise - Effects on Sleep and Performance
Federführender Wissenschaftler	Dr. rer. nat. Alexander Samel, DLR Köln *
Federführendes Helmholtz- Zentrum	Abteilung Flugphysiologie, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln
Weitere Helmholtz-Zentren	–
Beteiligte Universitäten und andere Partner	Lehrstuhl 'Mathematische Statistik und biometrische und Anwendungen' (Univ.-Prof. Dr. Katja Ickstadt) und Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund (IfADo) (Univ.-Prof. Dr. Barbara Griefahn)  Schlaflabor der Inneren Klinik des Universitätsklinikums Marburg (Prof. Dr. Thomas Penzel)
Berichts-Förderzeitraum	01.09.2004 – 31.10.2007

Dr. Alexander Samel initiierte dieses Projekt, entwickelte das Grundkonzept dieses Vorhabens und hat die Arbeiten engagiert vorangetrieben. Dr. Samel ist am 19. Mai dieses Jahres verstorben. Die Mitglieder des Virtuellen Instituts haben in ihm einen hervorragenden Wissenschaftler und Freund verloren.

Nach seinem Tod hat Univ.-Prof. Dr. Barbara Griefahn dessen Aufgaben im Rahmen dieses Projekts übernommen und zu Ende geführt.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
<b>1 Tätigkeitsbericht</b>	<b>9</b>
1.1 Einleitung	9
1.2 Datengrundlage und methodisches Vorgehen	10
1.2.1 Datengrundlage	10
1.2.2 Methodik der Untersuchungen	11
1.2.3 Auswertung	12
1.3 Lärmbedingte Schlafstörungen	13
1.3.1 Primäre Störungen	13
1.3.1.1 Ereigniskorrelierte Änderungen in PSG und EKG	13
1.3.1.2 Strukturelle Änderungen des Gesamtschlafablaufs	14
1.3.2 Sekundäre Störungen, Folgen lärmbedingter Schlafstörungen	15
1.3.2.1 Subjektive Schlafbewertung nach nächtlicher Lärmbelastung	15
1.3.2.2 Leistung nach nächtlicher Lärmbelastung	16
1.3.2.3 Moderierende Einflussfaktoren	17
1.3.2.4 Schallbewertungsmaße	18
1.4 Klinische Relevanz lärmbedingter Schlafstörungen	18
1.5 Prävention lärmbedingter Schlafstörungen	20
1.6 Ausblick, Forschungsbedarf	21
1.7 Einwerbung von Drittmitteln	22
<b>2 Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses</b>	<b>23</b>
<b>3 Öffentlichkeitsarbeit</b>	<b>25</b>
<b>4 Publikationen</b>	<b>27</b>
4.1 Publierte und zur Publikation eingereichte Arbeiten	27
4.2 Abstracts	31



# Zusammenfassung

Lärm verursacht zahlreiche extraaurale Reaktionen, von denen die Störungen des Schlags mit konsekutiver Beeinträchtigung von Leistung und Befinden am gravierendsten empfunden werden. Die bedeutsamste Quelle extrinsischer Schlafstörungen ist der Verkehr auf Schiene und Straße sowie in der Luft, der in den kommenden Jahren weiter zunehmen wird, in den Tagesrandstunden und in der Nacht stärker als am Tage.

Basierend auf einem umfangreichen Datenmaterial waren der Stand des Wissens darzustellen, die klinische Relevanz lärmbedingter Schlafstörungen einzugrenzen, Handlungsempfehlungen und Hypothesen für weitere Untersuchungen abzuleiten.

Für alle 3 Ebenen lärmbedingter Schlafstörungen wurden Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen akustischer Belastung und Reaktion erarbeitet.

- Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen dem im Polysomnogramm (PSG) identifizierten lärminduzierten Aufwachen und den Maximalpegeln bilden die Grundlage umfassender Konzepte zum Schutz von Flughafenrainern. Die Berücksichtigung zahlreicher Moderatorvariablen erlaubt darüber hinaus die Identifizierung quellenorientierter Maßnahmen der Lärmbekämpfung.

Mittels spezieller Algorithmen automatisch detektierte kardiale Arousals korrelieren sehr hoch mit dem Aufwachen, was die Entwicklung einer für Feldstudien geeigneten (auf das Aufwachen beschränkten) Alternative zur Polysomnographie ermöglicht.

Der Gesamtschlaf ist durch mäßige und eher unspezifische strukturelle Änderungen gekennzeichnet, für die ein Schlafstörungsindex entwickelt wurde. Signifikante Korrelationen mit dem Alter und dem Schweregrad der Schlafapnoe weisen auf die mögliche klinische Relevanz lärmbedingter Schlafstörungen hin.

- Die Belästigung nimmt nichtlinear mit dem äquivalenten Pegel, dem Maximalpegel und der Anzahl der Überflüge zu.
- Die Reaktionszeit ist linear mit der akustischen Belastung verknüpft. Bei nicht beeinträchtigter Leistung finden sich physiologische Kosten in Form reduzierter Lidschlagfrequenzen und alterierter Hirnpotenziale.

Die Wahrscheinlichkeit ereigniskorrelierter Schlafstörungen (Aufwachen, Schlaftiefenänderungen, kortikale/autonome Arousals) wird am besten durch das Einzelschallereignis, die der Nachwirkungen besser durch den äquivalenten Pegel vorhergesagt.

Ein besonderes Anliegen war das Heranführen von Jungwissenschaftlern an die komplexe Problematik der Aufzeichnung und Bewertung des Schlags. Dem interdisziplinären Charakter dieser Arbeiten entsprechend, waren junge Kollegen aus Medizin, Psychologie, Physik, Ingenieurwissenschaften, Statistik und Mathematik beteiligt.

Informationen über die Arbeiten des 'Virtuellen Instituts sind auf einer eigenen Homepage ([www.dlr.de/vinesh](http://www.dlr.de/vinesh)) dargestellt.



# 1 Tätigkeitsbericht

## 1.1 Einleitung

Lärm verursacht zahlreiche unterschiedliche Reaktionen, er belästigt und er beeinträchtigt die Kommunikation, den Schlaf, vegetative Funktionen und die Leistung. Es ist anzunehmen, dass die langfristige Lärmexposition, gemeinsam mit vielen anderen Einflussfaktoren zur Entwicklung multifaktorieller, insbesondere kardiovaskulärer Erkrankungen beitragen kann.

Am gravierendsten werden die Störungen des Schlafs empfunden, zumal wenn diese Beeinträchtigungen des Befindens und der Leistung nach sich ziehen.

Schlaf ist für die physische und mentale Restitution essenziell. Seine Störungen gehören zu den häufigsten Klagen in der ärztlichen Sprechstunde und werden überwiegend rein symptomatisch unter Vernachlässigung der Ursache behandelt. In zunehmendem Umfang werden Schlafstörungen durch Umwelteinwirkungen verursacht, zu denen psychosoziale Spannungen ebenso zählen wie die nächtliche Schallexposition. Die bedeutsamste Quelle nächtlicher Schallimmissionen ist der Straßen-, Schienen- und Luftverkehr. Diese heute schon bedenkliche Belastung wird mit dem zu erwartenden weiteren Anstieg der Verkehrsdichte noch deutlich zunehmen. Da aber weder das Schienen- noch das Straßennetz oder die Verkehrsflughäfen entsprechend ausgebaut werden, wird sich der Verkehr und damit die Lärmbelastung zunehmend auf die Tagesrandstunden und auf die Nacht ausdehnen.

Unter diesen Rahmenbedingungen wurde das Virtuelle Institut 'Transportation Noise – Effects on Sleep and Performance' gegründet und durch die Helmholtz-Gemeinschaft gefördert. Es war nicht vorgesehen, neue und notwendigerweise begrenzte Untersuchungen zur Klärung einiger weniger Probleme durchzuführen, sondern das umfangreiche und in mehreren Untersuchungen erarbeitete Datenmaterial zusammenzutragen und zu analysieren, um auf dieser Basis den gegenwärtigen Wissensstand darzustellen, die klinische Relevanz dieser Störungen einzugrenzen, daraus Handlungsempfehlungen abzuleiten, Hypothesen für weitere Untersuchungen zu generieren und Anträge zur Förderung entsprechender Vorhaben zu stellen.

Die Arbeiten im Rahmen des Virtuellen Instituts sind in den Kapiteln 1.2 bis 1.6 zusammengefasst. In eckigen Klammern wird auf die unter 4.2 abgedruckten und entsprechend durchnummerierten Abstracts verwiesen. Letztere sind denjenigen Arbeiten entnommen, die in wissenschaftlichen Zeitschriften und in Kongressbänden publiziert bzw. zur Publikation eingereicht wurden.

## 1.2 Datengrundlage und methodisches Vorgehen

### 1.2.1 Datengrundlage

Eine qualitativ und quantitativ valide Erfassung und Bewertung des Schlafs ist nur auf der Grundlage polysomnografischer Aufzeichnungen möglich. Da dies zeit-, personal- und kostenintensiv ist, beschränken sich die meisten Untersuchungen zur Wirkung des Lärms auf nur wenige Personen bzw. wenige Nächte je Person. Die vom DLR durchgeführten Untersuchungen umfassen ein Vielfaches dieser Studien und nehmen daher eine singuläre Stellung ein [2, 12-14, 18, 41-43]. Komplettiert wird dieses Datenmaterial durch die an der Universität Dortmund (UDO) in enger Kooperation mit dem Institut für Arbeitsphysiologie (*IfADo*) vorgenommenen Untersuchungen [4, -6, 17, 19, 21]. Für die Analysen im Rahmen des Virtuellen Instituts standen die in Tabelle 1 spezifizierten Datensätze zur Verfügung. Die Zusammenführung der Daten ist unproblematisch, da zwischen dem DLR und der UDO bzw. dem *IfADo* eine nunmehr 10 Jahre dauernde enge Kooperation besteht.

Hinzu kamen die zahlreichen für spezielle Fragestellungen im Schlaflabor der Universitätsklinik Marburg über viele Jahre aufgezeichneten Nächte. Im Vordergrund stand hier die Diagnose bestimmter mit Schlafstörungen verbundener Erkrankungen, vor allem der obstruktiven Schlafapnoe. Dies erfordert, anders als im DLR und im *IfADo* ein eher flexibles Herangehen, was auch wegen der im Allgemeinen umfangreicheren polysomnografischen Aufzeichnungen, eine Zusammenführung der Daten nur in Einzelfällen erlaubt.

Tabelle 1: Darstellung der Datensätze nach Anzahl Probanden und Nächte in Ruhe bzw. unter Einwirkung der verschiedenen Verkehrsgeräuscharten.

	Anzahl Probanden	Anzahl der Lärmnächte			Anzahl Ruhenächte	Gesamtanzahl der Nächte
		Fluglärm	Straßenverkehr	Schieneverkehr		
DLR+IfADo (Ruhennächte)	24	-	-	-	312	312
DLR (Fluglärm)	112	1008	-	-	448	1456
IfADo (Flug/Straße/Schiene)	24	72	72	72	96	312
IfADo (Straße/Schiene, TF)	16	-	48	48	48	144
IfADo (Straße/Schiene Zeit)	24	-	72	72	72	216
DLR (Flug/Straße/Schiene)	72		⇐ 576	⇒	216	792
DLR Feldstudie Fluglärm	64	⇐	576	⇒	-	576
<b>Σ Labor + Feld</b>	<b>336</b>	<b>1656</b>	<b>192</b>	<b>192</b>	<b>1256</b>	<b>3808</b>

## 1.2.2 Methodik der Untersuchungen

Den generellen Ablauf der Untersuchungen zur Ermittlung lärmbedingter Schlafstörungen und das methodische Vorgehen zeigen Abbildung 1 und Tabelle 2. Die Untersuchungen beginnen mit einer Gewöhnungsnacht, der eine oder mehrere Referenz- bzw. Ruhenächte sowie Lärmnächte mit unterschiedlichen Expositionen folgen [z. B. 2, 6].

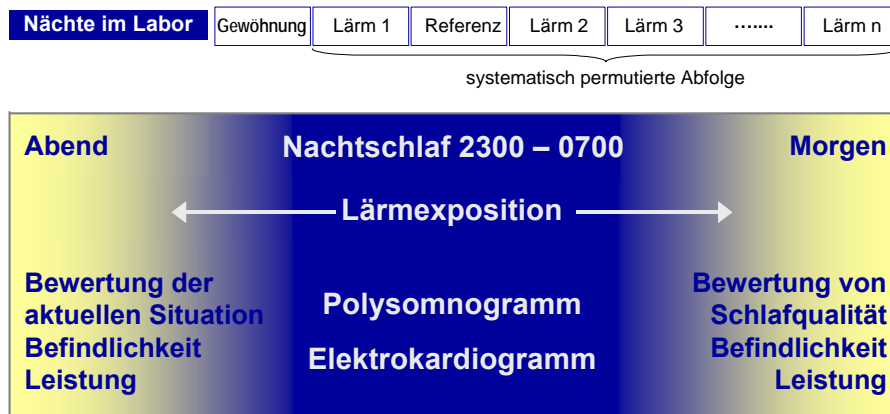


Abb. 1: Genereller Ablauf der Untersuchungen zu lärmbedingten Schlafstörungen.

Während der Nächte wird das Polysomnogramm nach den international anerkannten Vorgaben von Rechtschaffen und Kales [1968] abgeleitet und ausgewertet. Zudem wird das EKG zur Bestimmung der Herzschlagfrequenz aufgezeichnet. Das DLR registriert darüber hinaus die periphere Durchblutung, die Atmungsfrequenz und die Position der Probanden im Bett.

Tabelle 2: Aufzeichnung primärer und sekundärer Schlafstörungen (tertiäre Störungen im Sinne von gesundheitlichen Schäden lassen sich nur im epidemiologischen Ansatz untersuchen).

<b>Primäre Schlafstörungen</b>		<b>Sekundäre Störungen</b>	
<b>Störungen während der Bettzeit</b>			
	<b>Ereigniskorrelierte Änderungen</b>	<b>Strukturelle Änderungen (gesamte Bettzeit)</b>	
PSG	Arousals Schlafstadienwechsel Aufwachreaktionen	Häufigkeit einzelner Ereignisse, Gesamtdauer und zeitliche Organisation einzelner Schlafstufen	Leistung u.a.: SRT, MST, UTT Go/Nogo, Switch
Motilität	Motorische Arousals	Gesamtzahl der Bewegungen	Bewertung: Schlafqualität (SQ) Müdigkeit, SSS Belästigung
Autonome / hormonelle Reaktionen	Herz-Kreislauf, periphere Durchblutung, Atmung, Lage im Bett	Adrenalin-, Noradrenalin- und Cortisolausscheidung	

Abends schätzen die Probanden die aktuelle Situation und am folgenden Morgen den Schlaf qualitativ und quantitativ ein und führen sowohl abends als auch morgens Leistungstests durch [z. B. 6, 9, 10].

### 1.2.3 Auswertung

Für die Aufzeichnung und Bewertung umweltbedingter Schlafstörungen ist die Ableitung zweier EEGs, zweier EOGs und eines EMGs völlig ausreichend. Für klinische Zwecke sind weitere Ableitungen sowie die Aufzeichnung von Atmung, Kreislauf und Bewegung mit mindestens 12 Kanälen unerlässlich. Während die Auswertung des Schlafablaufs in den Untersuchungen zur Lärmbelastung computergestützt über die gesamte Bettzeit erfolgt, sind computergestützte Analysen klinischer Ableitungen noch in der Erprobung, sodass die Auswertung sich häufig auf die Detektion und ausführliche Analyse bestimmter Ereignisse konzentriert [29].

Trotz detaillierter Vorschriften zur Schlafstadienklassifikation kommt es zu teilweise erheblichen voneinander abweichenden Bewertungen. Deshalb ist bei jeder Kooperation zunächst das Ausmaß der Übereinstimmung/Abweichung zwischen einzelnen Auswertern und Institutionen zu ermitteln. Dies wurde auch von den Partnern des 'Virtuellen Instituts' mit 60 Aufzeichnungen (20 je Partner) vorgenommen, wobei zur plastischen Darstellung der Übereinstimmungen/Abweichungen erstmals Venn-Diagramme verwendet wurden (siehe Abb. 2) [30, 35].

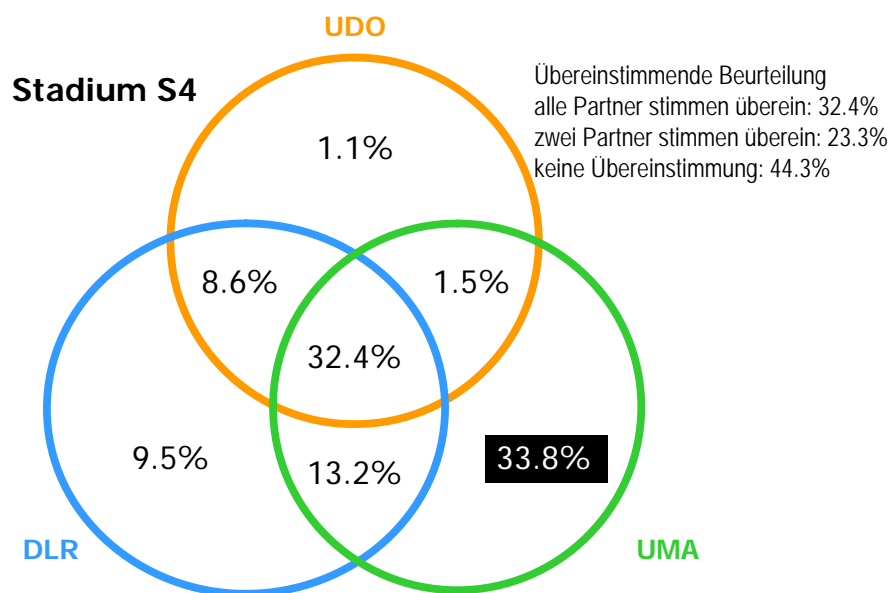


Abb. 2: Interrater-Vergleich – übereinstimmende/abweichende Einordnung des Stadiums S4 durch die 3 Partner (DLR: Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum, UDO: Universität Dortmund, UMA: Universität Marburg).

## **1.3 Lärmbedingte Schlafstörungen**

In der Lärmwirkungsforschung werden als primäre Schlafstörungen alle während der Bettzeit registrierten Änderungen im Polysomnogramm sowie vegetativer und endokriner Funktionen verstanden, während sekundäre Schlafstörungen alle im Anschluss an den Schlaf messbaren Änderungen bezeichnen.

### **1.3.1 Primäre Störungen**

Zur Bewertung lärmbedingter Schlafstörungen werden sowohl ereigniskorrelierte Änderungen im Polysomnogramm (PSG) als auch strukturelle Änderungen des Gesamtschlafs erfasst [1-7]. Ein Teil der nachfolgend dargestellten Ergebnisse wurde schon von anderen Untersuchern beschrieben, erreichte wegen der meist sehr kleinen Stichproben aber nur selten das erforderliche Signifikanzniveau. Das umfangreiche Datenmaterial vor allem des DLR führte zu statistisch gesicherten Ergebnissen und neuen Erkenntnissen.

#### **1.3.1.1 Ereigniskorrelierte Änderungen in PSG und EKG**

Arousals, Schlafstadienänderungen und Aufwachreaktionen wurden hinsichtlich ihrer Sensitivität und Spezifität untersucht. Dabei erwies sich die Aufwachreaktion als die aussagekräftigste Variable, wenngleich die zusätzliche Erfassung von Arousals und Schlafstadienänderungen zusätzliche Informationen bietet [3, 23]. Speziell berücksichtigt wurden im 'Virtuellen Institut' auch autonome Arousals, insbesondere die Änderung der Herzschlagfrequenz (kardiale Arousals), deren Form und Ausmaß durch die Geräuschart sowie durch das Auftreten bzw. das Fehlen einer gleichzeitigen Aufwachreaktion bestimmt ist [3, 7]. Da diese meist in Verbindung mit den relativ schwer auszuwertenden kortikalen Arousals auftreten, wurde ein Algorithmus zur automatischen Detektion der kardialen Arousals entwickelt, der jedoch als Alternative zur visuellen Auswertung kortikaler Arousals verbessert werden muss [31, 36]. Die hohe Übereinstimmung der kardialen Arousals mit dem im PSG identifizierten Aufwachen ermöglicht u.U. letztere durch Aufzeichnung des EKG zu erfassen [32].

Ereigniskorrelierte Änderungen nach Lärmeinwirkung wurden in begrenztem Umfang bereits Ende der 60er Jahre vorgenommen. Die Erhebung großer Datenmengen und deren detaillierte Analyse, wie etwa die Berechnung von Dosis-Wirkungsbeziehungen mit Hilfe logistischer Regressionen ist aber erst jetzt mit den heute zur Verfügung stehenden Verfahren der Registrierung, den Rechnerkapazitäten und den modernen multivariaten statistischen Verfahren möglich. Dabei werden neben dem Schallpegel zahlreiche physikalische Geräuschparameter, situative und individuelle Moderatoren berücksichtigt, wie etwa die Geräuschart, die Pegelanstiegszeit, die Dauer der Geräusche und der lärmfreien Intervalle, das Geschlecht, das Alter sowie Persönlichkeitsmerkmale. Basierend auf solchen Analysen wurden gezielte Maßnahmen zur Lärmbekämpfung und Konzepte zum Schutz der Flughafenrainer vor Lärm entwickelt (Kap. 5) [2, 4, 14-16].

Abbildung 3 zeigt Dosis-Wirkungskurven für die Aufwachwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Maximalpegel und der Art des Verkehrslärms. Danach führt Schienenverkehrslärm bei gleichem Maximalpegel deutlich häufiger zum Aufwachen als Flug- und Straßenverkehrslärm [4, 17-19]. Die Art des Verkehrslärms wirkt sich auch, wie Abbildung 4 zeigt, auch auf die Form der kardialen Arousal aus [7].

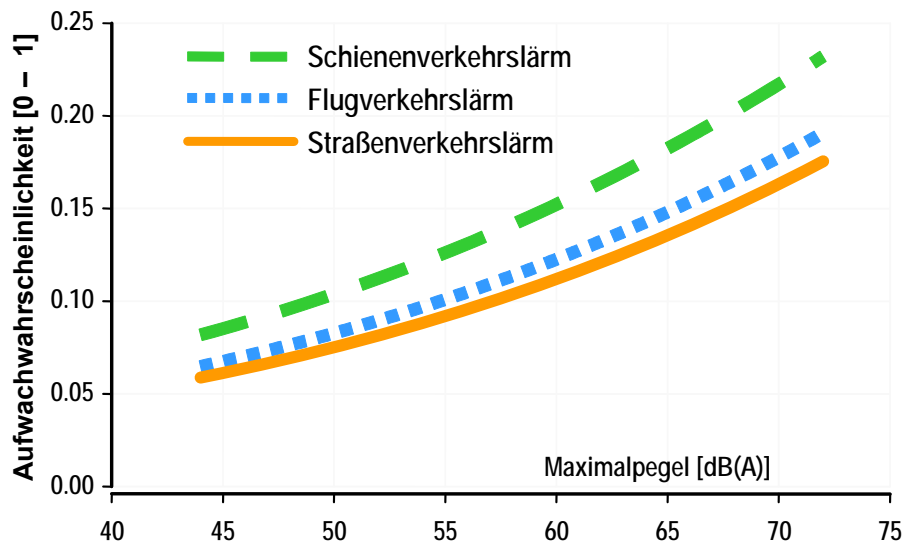


Abb. 3: Wahrscheinlichkeit ereigniskorrelierter Aufwachreaktionen bezogen auf den Maximalpegel unterschiedlicher Verkehrslärmarten.

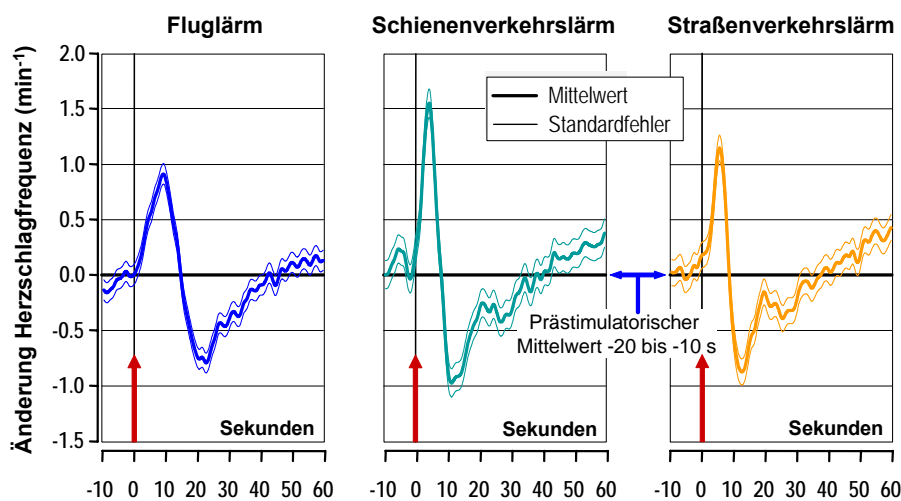


Abb. 4: Änderungen der Herzschlagfrequenz in Abhängigkeit von der Art des Verkehrslärms.

### 1.3.1.2 Strukturelle Änderungen des Gesamtschlafablaufs

Trotz massiver ereigniskorrelierter Reaktionen kommt es in der Regel zu nur mäßigen Änderungen der Schlafstruktur, die Gesamtschlafzeit bleibt nahezu unverändert, die

intermittierte Wachzeit und das Schlafstadium S1 sind geringfügig verlängert und die Schlafstadien S3 und S4 (SWS) mäßig verkürzt. Die Art des Verkehrslärms spielt auch hier eine entscheidende Rolle. Unter Einwirkung von Schienenverkehrslärm ist die Zeit im Tiefschlaf am stärksten verkürzt, die Zeit in den Stadien Wach und 1 am stärksten verlängert [2, 6, 14-19].

Weitere Analysen bestätigen die Beobachtungen aus früheren Untersuchungen, in denen sich wiederholt geringfügige und meist nicht signifikante Veränderungen der Einschlaf-latenz, der Tiefschlaf-latenz, der Dauer der Stadien S1, SWS, REM und der Anzahl der Wachphasen > 3 Minuten zeigten. Mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse wurden diese Parameter aus zahlreichen Ruhenächten gewichtet und zu einem Schlafstörun-gsindex aufsummiert, der sich als valider Indikator der insgesamt eher moderaten lärmbe-dingten Schlafstörungen erwies [33].

### 1.3.2 Sekundäre Störungen, Folgen lärmbedingter Schlafstörungen

#### 1.3.2.1 Subjektive Schlafbewertung nach nächtlicher Lärmbelastung

Zur subjektiven Bewertung des vorangegangenen Schlafs werden die empfundene Schlafqualität, das Ausmaß der aktuellen Müdigkeit und der Belästigung durch Lärm erfragt. Für die Belästigung ließ sich erstmals eine Dosis-Wirkungsbeziehung, d. h. eine nichtlineare Zunahme mit dem äquivalenten Pegel, dem Maximalpegel und der Anzahl der Überflüge errechnen (Abb. 5 [10, 11]).

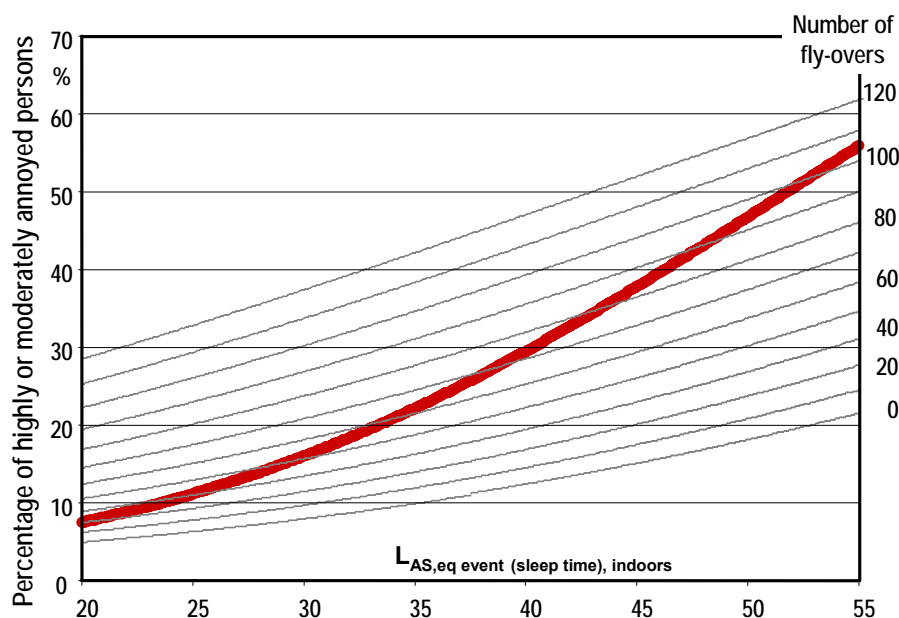


Abb. 5: Anteil hoch und mittel belastigter Personen in Beziehung zum äquivalenten Pegel nächtlicher Schalleinwirkungen.

Untersuchungen im Schlaflabor Marburg ergaben, dass in der Lärmwirkungsforschung erfolgreich eingesetzte Fragebögen bei Patienten mit Schlafapnoe nur begrenzt einsetzbar sind und kaum mit der Schwere der Erkrankung korrelieren [39].

### 1.3.2.2 Leistung nach nächtlicher Lärmbelastung

Berichte zum Leistungsverhalten nach lärmbedingten Schlafstörungen sind kontrovers. Häufig blieb die Leistung, möglicherweise als Folge ungeeigneter Tests oder vermehrter Anstrengungen der Probanden unverändert. In den hier analysierten Untersuchungen wurden sowohl abends als auch morgens Leistungstests durchgeführt, die unterschiedliche Aspekte der Informationsverarbeitung beleuchten.

Geprüft wurden vor allem die Geschwindigkeit und die Genauigkeit der Arbeitsleistung. Erstere wird als einfache Reaktionszeit mit dem Simple Reaction Time Test (SRT) oder im Rahmen anderer Leistungstests erfasst, u. a. mit

- Switch Tests, die mit einem Aufgabenwechsel verbunden sind,
- Gedächtnissuchaufgaben (Memory Search Task, MST),
- Go/Nogo-Tests, die auf die Inhibition intendierter Aktionen fokussieren.

Die Arbeitsgenauigkeit wird mittels der schon genannten Tests (Switch, MST, Go/Nogo) sowie mit dem Unstable Tracking Test erfasst.

Von diesen Tests erwies sich die einfache Reaktionszeit als besonders sensitiv gegenüber der Einwirkung nächtlicher Fluggeräusche [9]. Das umfangreiche Datenmaterial erlaubte erstmals die Ableitung einer in Abbildung 6 gezeigten linearen Dosis-Wirkungsbeziehung. Abgesehen vom äquivalenten Pegel war die Reaktionszeit auch linear mit dem Maximalpegel und der Anzahl der Geräusche verknüpft.

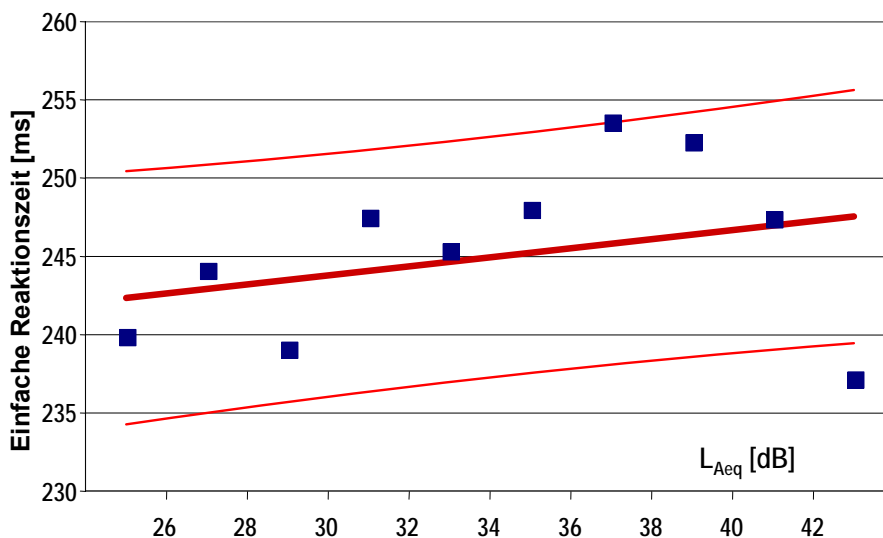


Abb. 6: Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Reaktionszeit und äquivalentem Pegel nächtlicher Schalleinwirkungen.

Verlängerte Reaktionszeiten ergaben sich auch im Switch-Test, bei dem zwischen verschiedenen Aufgaben gewechselt wird. Die Reaktionszeit korrelierte hier signifikant mit der Reduktion des Tiefschlafs (SWS) in der vorangegangenen Nacht. Da die Verkürzung des Tiefschlafs mit der Zunahme des äquivalenten Pegels assoziiert war, legen diese Ergebnisse ein Wirkungsmodell von der Lärmeinwirkung über die Verkürzung des Tiefschlafs bis zum Abfall der Arbeitsleistung nahe [19, 24].

**Anspannung, Konzentration.** Leistungsbeeinträchtigungen lassen sich in einem gewissen Ausmaß durch erhöhte Anstrengung und Konzentration kompensieren. Ein Indikator hierfür ist u. a. die Lidschlagfrequenz, die mit zunehmender Konzentration geringer wird. Sie fällt, wie Abbildung 7 zeigt, bei der Durchführung einer Go/Nogo-Aufgabe mit zunehmender nächtlicher Schallbelastung ab, bei der Switch-Aufgabe jedoch erst nach Nächten mit höchster Lärmbelastung.

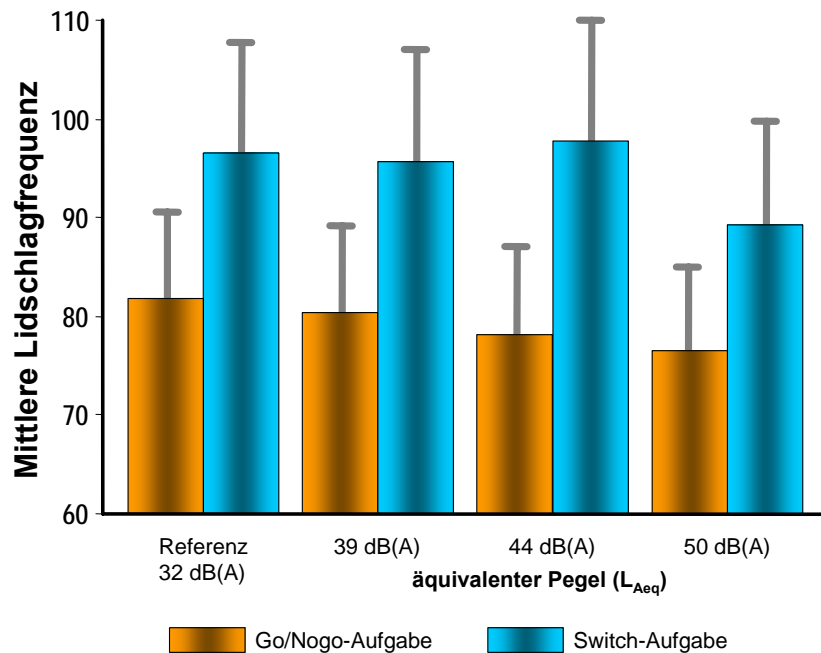


Abb. 7: Mittlere Lidschlagfrequenz bei der Durchführung einer Switch- und einer Go/Nogo-Aufgabe bezogen auf den äquivalenten Pegel in der vorausgegangenen Nacht.

**Ereigniskorrelierte evozierte Hirnpotenziale.** Obwohl im Go/Nogo-Test weder die Reaktionszeiten noch die Fehlerraten nach nächtlicher Lärmexposition (Schiene-, Straßen-, Flugverkehr) beeinträchtigt waren, kam es in dem gleichzeitig registrierten EEG zu Änderungen der inhibitorischen Komponenten ereigniskorrelierter Potenziale (EKP). Die Amplituden der Nogo-N2 und der Nogo-P3 waren nach Lärmnächten geringer als nach den Ruhenächten [8, 12, 13, 24-26]. Solche Veränderungen scheinen, wie weitere Analysen zeigen, für schlechten Schlaf typisch zu sein [28].

Diesen Untersuchungen zufolge sind nächtliche Lärmbelastungen durchaus mit psychophysiologischen Kosten verbunden, ohne dass offensichtliche Leistungsbeeinträchtigungen auftreten. Dafür spricht auch die Tatsache, dass die Probanden ihre Arbeitsbelastung in solchen Situationen höher eingeschätzten [9].

### 1.3.2.3 Moderierende Einflussfaktoren

In den Untersuchungen über lärmbedingte Schlafstörungen wurden zahlreiche physikalische, individuelle und situative Variablen berücksichtigt bzw. systematisch variiert, die zumindest potentiell das Ausmaß und den Verlauf der Reaktion modifizieren.

Die systematische Variation der Geräuschart und der physikalischen Charakteristika des Lärms, der Lärmexposition wie etwa die Pegelanstiegszeit, die Intervalle zwischen den Geräuschen, die Dauer der einzelnen Geräusche sowie die verstrichene Schlafzeit, ergaben Hinweise für gezielte quellenorientierte Präventivmaßnahmen [2, 4, 17-19].

Geschlecht und Alter erwiesen sich als wenig bedeutsam. Die Lärmempfindlichkeit, die das Ausmaß der Belästigung entscheidend beeinflusst, moderierte weder die strukturelle Änderung des Schlafs noch das ereigniskorrelierte Aufwachen, wohl aber die subjektive Schlafbewertung. Weitere Persönlichkeitsmerkmale wie die emotionale Stabilität, die Extraversion etc. hatten ebenfalls einen nur unerheblichen Einfluss, während z. B. die Amplituden der Nogo-N2 und der Nogo-P3 bei Personen mit Versagensängsten geringer waren als bei Personen, die solche Ängste nicht hatten [22, 27].

Unter den situativen Moderatoren ist vor allem die Tatsache, dass die Probanden im Labor schlafen, hervorzuheben. Anrainer des Flughafens Köln-Bonn, die sowohl in ihrer gewohnten häuslichen Situation als auch im Labor untersucht worden waren, wachten in der ungewohnten experimentellen Situation häufiger auf als zu Hause [2, 14-164].

Welchen Einfluss die aktuelle Situation auf die Lärmverarbeitung hat zeigt auch eine Befragung der Patienten an der Charité, Berlin, die sich weniger durch den vom Hauptbahnhof ausgehenden Lärm als durch die von den Mitpatienten verursachten Geräusche gestört fühlen [47].

#### **1.3.2.4 Schallbewertungsmaße**

Integrierte, die Lärmbelastung über die gesamte Nacht oder gar über den 24-h Tag beschreibende Maße, wie der äquivalente Pegel ( $L_{Aeq, 22-6 h}$ ), der in der Europäischen Union nunmehr verbindliche Tag-Abend-Nachtpegel ( $L_{DEN}$ , Day-Evening-Night-Level) sind in der Lärmwirkungsforschung schon lange umstritten. Die in den vorangehenden Abschnitten beschriebenen Ergebnisse machen deutlich, dass sich Aufwachreaktionen und andere ereigniskorrelierte Änderungen am besten durch das Einzelschallereignis, insbesondere den Maximalpegel vorhersagen lassen. Nachwirkungen lärmbedingter Schlafstörungen wie verminderte Schlafqualität, erhöhte Belästigung und Müdigkeit sowie Leistungsbeeinträchtigung werden hingegen besser durch den äquivalenten, über den Schlafzeitraum errechneten Pegel beschrieben [1, 46].

### **1.4 Klinische Relevanz lärmbedingter Schlafstörungen**

Insgesamt zeigen die im Rahmen des 'Virtuellen Instituts' vorgenommenen Untersuchungen sowohl eine Zunahme ereigniskorrelierter Aufwachreaktionen als auch strukturelle Änderungen des Schlafs. Konsekutiv werden erhöhte Belästigung und Leistungsbeeinträchtigung bzw. bei unveränderter Leistung psychophysiologische Kosten in Form erhöhter Konzentration und reduzierter Amplituden der ereigniskorrelierten Hirnpotentiale beobachtet. Der Vergleich mit klinisch relevanten Krankheitsbildern, insbe-

sondere der obstruktiven Schlafapnoe erwies sich als problematisch, da das Muster der damit verbundenen Störungen nicht dem der moderaten Störungen durch Lärmeinwirkungen entspricht. Erste Korrelationsberechnungen zwischen dem Schweregrad der Schlafapnoe und dem Schlafstörungs-Index führten aber zu signifikanten Ergebnissen. Sollte sich dies auch für andere Krankheitsbilder bestätigen, so liessen sich daraus Hinweise auf die klinische Relevanz lärmbedingter Schlafstörungen ableiten.

Die unter Lärmeinwirkung ermittelte mäßige Zunahme der intermittierten Wachzeit, des Schlafstadiums S1 und die Verkürzung der Tiefschlafzeit sind aber auch für die allmählichen mit dem Alter einhergehenden strukturellen Änderungen des Schlafs charakteristisch. Abbildung 8 zeigt den Zusammenhang zwischen dem im Rahmen des Virtuellen Instituts entwickelten Schlafstörungsindex (SDI [33]), der mit dem Alter hochsignifikant korreliert. Wird der bei 19 bis 28-Jährigen in Nächten mit Lärmexposition (Schiene-, Straßen-, Flugverkehr,  $L_{Aeq}$ : 39-50 dBA) ermittelte SDI (0.4 bis 0.84) auf das Lebensalter projiziert, in dem dieser Wert in ungestörten Nächten zu finden ist, so ist das Schlafverhalten in den Lärmnächten dieser Personen mit dem 37 bis 47-Jähriger in ungestörten Nächten vergleichbar. Damit ist die klinische Relevanz lärmbedingter Schlafstörungen keineswegs belegt, der Vergleich weist jedoch auf die Bedenklichkeit lärmbedingter Schlafstörungen hin.

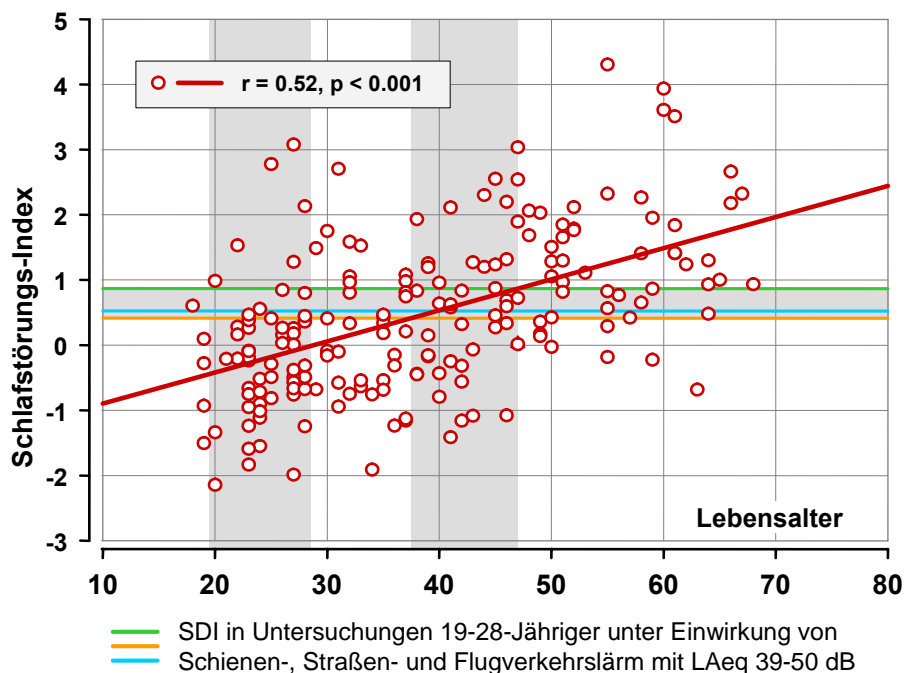


Abb. 8: Schlafstörungsindex in ungestörten Nächten von 200 Personen zwischen 18 und 68 Jahren. Grau hinterlegt ist die Altersgruppe der 19 – 28-Jährigen. Die farbigen Horizontallinien (grün, blau, orange) kennzeichnen den SDI dieser Personen in Lärmnächten. Diese SDI finden sich in den Ruhenächten der 37 – 47-Jährigen.

## 1.5 Prävention lärmbedingter Schlafstörungen

Obwohl die klinische Relevanz lärmbedingter Schlafstörungen auch in diesem Vorhaben nicht geklärt werden konnte, ist die Hypothese der pathogenen Wirkung bei langfristiger Exposition nicht zurückzuweisen. Der begründete Verdacht einer letztlich pathogenen Wirkung, die Belästigung und der Leistungsabfall nach nächtlicher Lärmexposition erfordert die Entwicklung und Einführung geeigneter Schutzkonzepte, um die Lärmbelastung des Einzelnen auf ein vertretbares Maß zu reduzieren. Basierend auf den oben beschriebenen umfangreichen Untersuchungen wurde im DLR ein Konzept zum Schutz von Flughafenanrainern entwickelt, was erstmals beim Ausbau des Flughafens Leipzig/Halle zu einem Nachhub zur Anwendung kommt [40-45]. Im Gegensatz zur bisherigen Praxis, durch äquivalente Pegel definierte Schutzzonen um den Flughafen auszuweisen fokussiert das Konzept des DLR nicht allein auf die akustischen Kriterien sondern auf die Vermeidung bestimmter Lärmwirkungen. Dies sind

- (1) die Vermeidung von im Mittel eines zusätzlichen Aufwachens pro Nacht,
- (2) die Vermeidung erinnerbarer (länger anhaltender Wachphasen),
- (3) der Fluglärm soll das Wiedereinschlafen so wenig wie möglich behindern.

Abbildung 9 zeigt beispielhaft den Vergleich dieses Schutzkonzepts mit konventionellen Verfahren (graue Flächen) für den Großflughafen Frankfurt für den Fall der Zulassung von einer, zwei oder drei durch Fluglärm verursachten Aufwachreaktionen.

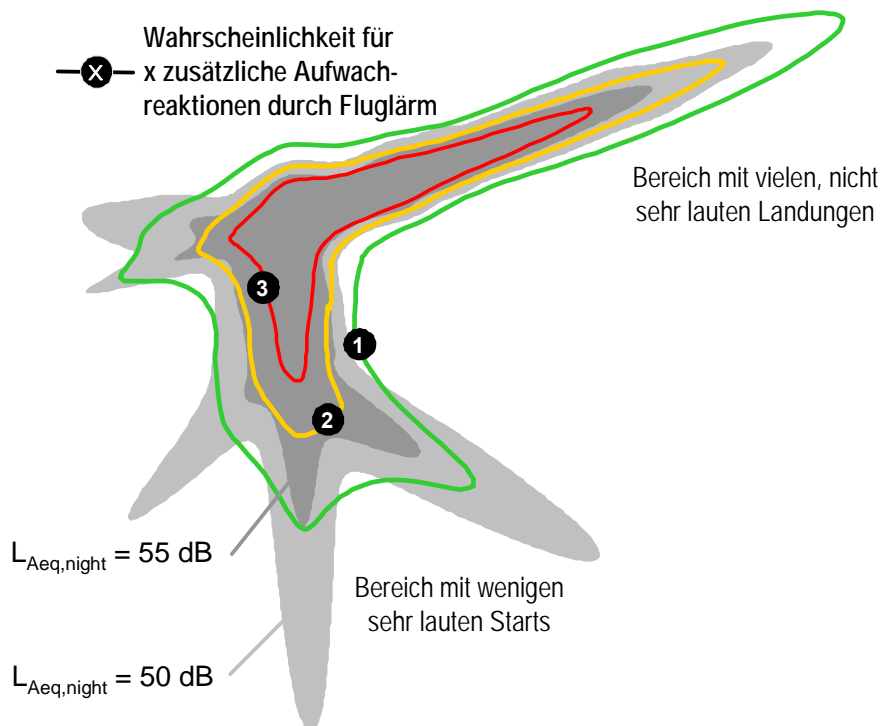


Abb. 9. Schutzkonzept zur Begrenzung nächtlicher Fluglärmbelastungen am Beispiel des Flughafens Frankfurt. Graue Flächen: konventionelle Belastungsgrenzen. Durch rote, gelbe und grüne Linien begrenzte Flächen entsprechen dem Schutzkonzept des DLR für die Zulassung von 3, 2 bzw. einer zusätzlichen Aufwachreaktion.

Die Tragfähigkeit dieses Konzepts wurde durch auf Markov-Prozessen beruhende Simulationsberechnungen geprüft, die strukturelle Änderungen des Schlafes in Abhängigkeit von der realistischen Dichte und zeitlichen Abfolge der Flüge und deren Maximalpegel prognostiziert. Dabei zeigte sich, dass in der zweiten Nachthälfte stärkere Schlafstörungen als am Anfang der Nacht zu erwarten sind, weshalb das DLR-Schutzkonzept um einen Malus von 1,4 dB für die zweite Hälfte der Nacht erweitert wurde [34, 37, 38].

Mit diesem Markov-Verfahren lassen sich auch alternative Modelle, wie etwa das einer Kernruhezeit von 2300 bis 0500 Uhr prüfen, das für den Fall des Flughafens Frankfurt/Main aber eine nur geringe Entlastung gegenüber unregelmäßigem Verkehr vorhersagt. Diese Entlastung wird weiter abgeschwächt, wenn sich die von 2300 bis 0500 Uhr vorgesehenen Flugbewegungen auf die Randstunden am Abend und am Morgen verteilen.

Zu einer deutlichen Entlastung (verminderten Schlafstörungen) führte auch die gezielte Reduktion des Bodenverkehrs in den späten Nacht- bzw. den frühen Morgenstunden [219].

## 1.6 Ausblick, Forschungsbedarf

Aus den hier erarbeiteten Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen der akustischen Belastung einerseits und den physiologischen im Polysomnogramm sowie im Elektrokardiogramm ermittelten Reaktionen sowie aus der Korrelation der physiologischen Variablen untereinander ergeben sich im Wesentlichen zwei Ansätze für weiterführende Untersuchungen.

- Weiterentwicklung der automatischen Detektion kardialer Arousals zur Identifizierung des Aufwachens.

Leitsymptom lärmbedingter Schlafstörungen ist das Aufwachen, das die stärkste zerebrale Erregung darstellt, zuverlässig aber nur mit dem aufwändigen Verfahren der Polysomnografie erfasst werden kann. Im Rahmen der hier vorgenommenen Analysen wurde ein Algorithmus zur automatischen Detektion kardialer Arousals aus dem Elektrokardiogramm entwickelt. Die hohe Korrelation dieser Arousals mit dem polysomnografisch ermittelten Aufwachen legt die Weiterentwicklung dieses Verfahrens (allerdings auf das Aufwachen beschränkten) Alternative zur Polysomnografie für anwendungsorientierte Fragestellungen nahe. Damit wären groß angelegte Feldstudien mit vertretbarem finanziellem Aufwand möglich, wie etwa die Ermittlung der Häufigkeit und der Verteilung

- umweltbedingter Schlafstörungen (Lärm, Klima etc.)
- und von Schlafstörungen bei epidemiologisch relevanten Erkrankungen.

- Weiterentwicklung des Schlafstörungsindex zur Bewertung von Schlafstörungen.

Für mäßige und eher unspezifische strukturelle Änderungen des Schlafes wurde ein Schlafstörungsindex entwickelt, dessen signifikante Korrelation mit dem Schwere-

grad der Schlafapnoe auf die mögliche klinische Relevanz lärmbedingter Schlafstörungen hinweist.

- Da Lärm mutmaßlich zur Genese multifaktorieller, insbesondere kardiovaskulärer Erkrankungen beiträgt wären die Indexwerte lärmbedingter Schlafstörungen mit denen von Patienten unterschiedlicher epidemiologisch relevanter Diagnosen zu vergleichen. Ähnlich wären andere umweltbedingte Schlafstörungen zu bewerten.
- Obwohl für fest vorgegebene Schlafzeiten im Labor entwickelt, wurden mit dem Index auch altersbegleitende Schlafstörungen in der Realsituation mit (begrenzt) variierenden Schlafdauern dargestellt. Deshalb ist zu erwarten, dass dieses Verfahren auch die Bewertung massiverer Schlafstörungen z. B. von Schichtarbeitern (Piloten, Flugbegleitern, Fluglotsen) zulässt, was jedoch die Integration der Schlafdauer als weiteren Schlafparameter in den Index erfordert.

## **1.7 Einwerbung von Drittmitteln**

Im Rahmen des Virtuellen Instituts wurden im Wesentlichen zwei Anträge zur Förderung von Forschungsvorhaben gestellt.

- Im Rahmen der deutsch-französischen Kooperation ein Antrag, der sich im Wesentlichen auf den Vergleich nächtlicher Expositionen gegenüber verschiedenen Verkehrslärmarten konzentriert. Dieser Antrag wurde bewilligt.
- Ein bei der DFG eingereichter Vorschlag, der auf die Einführung einer erheblichen nächtlichen Fluglärmbelastung von derzeit 17 Bewegungen auf weit mehr als 100 Bewegungen am Flughafen Halle/Leipzig fokussierte, wurde abgelehnt.

## 2 Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses

Ein besonderes Anliegen des 'Virtuellen Instituts' war das Heranführen von Jungwissenschaftlern, Doktoranden und Diplomanden aber auch Praktikanten an die komplexen Anforderungen, die mit der Aufzeichnung und der Bewertung des Schlafs im Rahmen experimenteller Untersuchungen oder der Diagnose bestimmter mit Schlafstörungen einhergehender Erkrankungen verbunden sind. Dem interdisziplinären Charakter dieser Untersuchungen entsprechend waren auch hier mehrere Disziplinen vertreten, insbesondere Medizin, Psychologie, Ingenieurwissenschaften und Statistik. Im Einzelnen haben mitgearbeitet:

- Dipl.-Psych. Markus Breimhorst, Universität Dortmund, kognitive Leistung, ereigniskorrelierte Hirnpotentiale, Lidschlagfrequenz
- Dr. med. Sebastian Canisius, Universität Marburg, Diagnose von Schlafstörungen auf dem Hintergrund klinischer Erkrankungen
- Dr. med. Eva-Maria Elmenhorst, DLR Köln, kognitive Leistung nach lärmbedingten Schlafstörungen
- Christian Glatz, DLR Köln, Vergleich ereigniskorrelierter Änderungen im PSG (Diplomarbeit *Hochschule Bremerhafen (Bericht: DLR-IB 316-2005-04)*)
- Dipl.-Ing. Martin Glos, Charité Berlin, Tech. Informatik und Medizinphysik, Betreuung der Dissertation von David Wiesenäcker (Studienprotokoll, statist. Auswertung)
- Dipl.-Stat. Sibylle Robens, Entwicklung des Schlafstörungs-Index

Praktikantinnen und Praktikanten

- Jennifer von Buch, Psychologie (Philipps-Universität Marburg)
- Luciana Besedovsky, Psychologie (Heinrich-Heine Universität Düsseldorf)
- Karolina Borowski, Medizin (Universität Jena) Datenerhebung und -dokumentation
- Sonja Denjean, Medizin (Charité) Datenerhebung und Teilauswertung der Dissertation von David Wiesenäcker
- David Wiesenäcker, Medizin (Charité), Dissertation: Lärmverarbeitung stationärer Patienten)

Weiterhin waren zwei Fortbildungsveranstaltungen für junge Wissenschaftler und Praktiker geplant und vorbereitet worden (Winterschule: 18./19.11.2005, Sommerschule: 25./26.08.2006). Es sollte in die Problematik der Schlafforschung und die Methodik der Aufzeichnung und Auswertung des Schlafs (Polysomnogramm) sowie der damit einhergehenden (Änderungen der) kognitiven Leistung, der subjektiven Schlafbewertung und des Befindens eingeführt werden. Vorgesehen waren auch praktische Übungen im Schlaflabor. Trotz umfangreicher Werbung kam die Mindestanzahl von 10 jungen Teilnehmern nicht zusammen, so dass die Veranstaltungen abgesagt wurden.

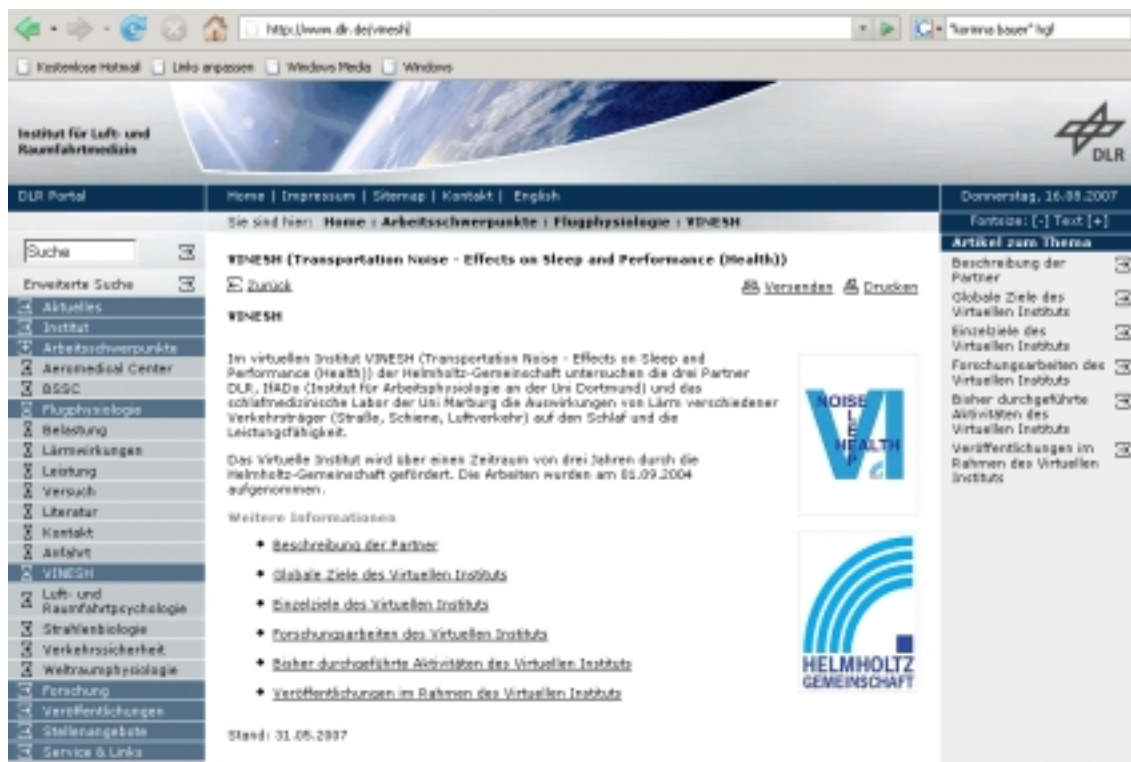


### 3 Öffentlichkeitsarbeit

Gleich zu Beginn des Projektes wurde von den beteiligten Partnern im Rahmen des Internetauftritts des DLR ([www.dlr.de/vinesh](http://www.dlr.de/vinesh)) eine gemeinsame Homepage erstellt, die neben der Beschreibung der Partner dezidiert die globalen und die Einzelziele dieses Virtuellen HGF-Instituts für die Öffentlichkeit aufbereitet darstellt.

Die bisherigen Forschungsarbeiten der Partner, deren Ergebnisse ins Virtuelle Institut einfließen, werden ebenso ausführlich dargestellt bzw. verlinkt wie die im Projekt erzielten Ergebnisse. Die Auflistung der im Rahmen des Virtuellen Instituts erstellten Publikationen erlaubt dem Leser zudem einen weiterführenden und vertiefenden Einblick in die Auswirkungen von Lärm verschiedener Verkehrsträger auf den Schlaf.

Die Homepage wird auch nach Abschluss des Virtuellen Instituts weiterhin für die Öffentlichkeit sichtbar sein.





## 4 Publikationen

### 4.1 Publierte und zur Publikation eingereichte Arbeiten

In der nachfolgenden alphabetischen Literaturliste sind die laufenden Nummern der zugehörigen unter 4.2 abgedruckten thematisch sortierten Abstracts aufgeführt.

	Lfd Nr
Basner M, Elmenhorst E-M, Maaß H, Müller U, Quehl J, Vejvoda M, Samel A, 2006: Single and combined effects of air, road and rail traffic noise on sleep. 5 <sup>th</sup> Int Congr on Noise Control, internoise 2006, Honolulu/USA, Paper No. INO6022.	20
Basner M, Elmenhorst E-M, Müller U, Griefahn B, Aircraft noise effects on sleep: a systematic comparison of EEG awakenings and automatically detected cardiac arousals. <i>Submitted to J Acoust Soc Am</i>	32
Basner M, Glatz C, Griefahn B, Penzel T, Samel A, Aircraft noise: Effects on macro- and micro-structure of sleep. <i>in press Sleep Medicine</i>	3
Basner M, Griefahn B, Müller U, Plath G, Samel A, An ECG-based algorithm for the automatic identification of autonomic activations associated with cortical arousal. <i>in press SLEEP</i>	31
Basner M, Griefahn B, Penzel T, Interrater agreement in sleep stage classification between centers with different backgrounds. <i>submitted to Somnologie</i>	30
Basner M, Griefahn B, Penzel T, Samel A, 2006: Interrater agreement between scorers from three laboratories – kappa does not account for all chance expected agreement. <i>Somnologie</i> 10(1):1	35
Basner M, Isermann U, Samel A, 2006: Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study. <i>JASA</i> 119:2772-2784.	40
Basner M, Müller U, Plath G, Samel A, 2007: An ECG-based algorithm for the automatic identification of autonomic activations associated with cortical arousal. Meeting of the Associated Professional Sleep Societies (APSS) 2007, Minneapolis	36
Basner M, Samel A, 2005: Aircraft noise effects on sleep: results of 2240 polysomnographically recorded subject nights in laboratory and field studies. Congr World Association of Sleep Medicine (WASM), <i>Sleep Medicine</i> 6(2):12-13.	15
Basner M, Samel A, 2005: Effects of nocturnal aircraft noise on sleep structure. <i>Somnologie</i> 9:84-95.	2
Basner M, Samel A, 2007: Eine schlafphysiologische Bewertung nächtlicher Flugbetriebsbeschränkungen vor dem Hintergrund aktueller Urteile des Bundesverwaltungsgerichts. <i>Lärmbekämpfung</i> 2(3):86-94	41

Basner M, Samel A, Isermann U, 2006: Aircraft noise effects on sleep: DLR research and application. 35 <sup>th</sup> Int Congress on Noise Control Engineering, Honolulu/USA, 2006 Paper No INO6-478	43
Basner M, Siebert U, 2005: Markov Modelle zur Vorhersage fluglärmbedingter Schlafstrukturänderungen. <i>Somnologie 10(4):176-19</i>	34
Basner M, Siebert U, 2006: Markov state transition models for the prediction of changes in sleep structure induced by aircraft noise. Int Conf on 'Monitoring Sleep and Sleepiness – From Physiology to New Sensors, Basel/Switzerland, 2006.	37
Basner M, Siebert U, 2007: Markov state transition models for the prediction of changes in sleep structure induced by aircraft noise. Meeting of the Associated Professional Sleep Societies (APSS) 2007, Minneapolis, <i>Sleep 30(Suppl) A359</i>	38
Breimhorst M, Falkenstein M, Marks A, Griefahn B, 2006: Schlafqualität und ihre Auswirkung auf inhibitorische Funktionen. Forum Arbeitsphysiologie 2006, Großbothen/FRG	28
Breimhorst M, Marks A, Falkenstein M, Griefahn B, The relationship between sleep quality and inhibitory functions indicated by event-related potentials. <i>Exp Bain Research (under revision)</i>	8
Breimhorst M, Sandrock S, Marks A, Griefahn B, 2007: Bedingungsbezogene Analyse von EEG-Arousals unter Lärmeinwirkung. Jahrestagung Ges Arbeitswiss (GfA) 2007, Magdeburg/FRG, GfA –Press, pp 549-552	23
Denjean S, Lärmwirkungsstudie im stationären Bereich und der Einfluss auf die Schlafqualität. Praktikumsarbeit	47
Elmenhorst E-M, Basner M, Samel A, Effects of aircraft noise on performance. Interner DLR-Bericht	9
Griefahn B, Basner M, Peter Bröde P, Marks A, Robens S, Samel A, Development of a sleep disturbance index for the assessment of noise-induced sleep disturbances. <i>Submitted to Journal of Sleep Research</i>	33
Griefahn B, Bröde P, Marks A, Basner M, Autonomic arousals related to traffic noise during sleep. <i>SLEEP (under revision)</i>	7
Griefahn B, Marks A, Basner M, 2006: Awakenings related to noises from various traffic modes. Honolulu/USA, In: Institute of Noise Control Engineering of the USA (ed): Proceedings of internoise 2006, Honolulu USA. CD-ROM 9p.	18
Griefahn B, Marks A, Kuenemund C, Basner M, 2005: Awakenings by road-, rail- and airtraffic noise. Forum Acusticum 2005, <i>Acta Acustica 91(suppl 1)105</i>	17
Griefahn B, Marks A, Robens S, 2006: Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep. <i>Journal of Sound and Vibration 295:129-140</i>	6
Griefahn B, Marks A, Robens S, 2007: Effects of temporarily limited noise-calming periods during sleep. Int Congr Sound and Vibration 2007 (ICSV) Cairns/Australia	21

Griefahn B, Marks A, Schapkin SA, 2004: Performance and event-related potentials after noise-disturbed nights. <i>J Sleep Res 13(Suppl 1)</i> 283	25
Marks A, Griefahn B, 2006: Noise-induced alterations of sleep and performance under the influence of neuroticism and extraversion. Congress of the European Sleep Research Society (ESRS) 2006, Innsbruck	22
Marks A, Griefahn B, Basner M, Event-related awakenings caused by nocturnal traffic noise. <i>Submitted to Noise Control Engineering Journal</i>	4
Marks A, Griefahn B, 2005: Die Beziehung zwischen elektrophysiologischen Schlafparametern und kognitiver Leistung. <i>Verh Dt Ges Arbeitsmed 45:744-745</i>	24
Marks A, Griefahn B, Künemund C, Basner M, 2007: Nächtliches Aufwachen durch Straßen- und Schienenverkehrslärm. Jahrestagung Dt Ges Arbeits- und Umweltmed (DGAUM) 2007, Mainz/FRG, <i>ASU 42:102-103</i>	19
Marks A, Griefahn B, 2005: Railway Noise – its effects on sleep, subjective assessment, and performance. <i>Somnologie 9:68-75</i>	5
Penzel T, Fietze I, 2007: Aktueller Stand der Polysomnographie. <i>in press Klin Neurophysiol 38:1-6</i>	29
Ploch T, Cassel W, Speicher T, Loh A, Canisius S, 2006: Subjektive Einschätzung zu Befindlichkeit und Schlaf bei Patienten mit schlafbezogenen Atmungsstörungen. <i>Dt Ges Schlafmedizin (DGSM) 2006, Regensburg.</i>	39
Quehl J, 2005: Nachtfluglärm, Belästigung und Schlaferleben. <i>Somnologie 9(2):76-83.</i>	10
Quehl J, Basner M, 2006: Annoyance from nocturnal aircraft noise exposure: Laboratory and field-specific dose–response curves. <i>Journal of Environmental Psychology 26: 127–140.</i>	11
Samel A, Basner M, 2005: Extrinsische Schlafstörungen und Lärmwirkungen. <i>Somnologie 9(2):58-67.</i>	1
Samel A, Basner M, 2006: Aircraft noise effects on sleep: DLR research results and their application. EURONOISE 2006, Tampere/Finland, CD-Rom Vol. 92	44
Samel A, Basner M, 2006: Aircraft noise effects on sleep: Results of large polysomnographic studies under laboratory and field conditions. 35 <sup>th</sup> Int Congress on Noise Control Engineering. <i>internoise 2006, Paper No. IN06-479</i>	16
Samel A, Basner M, Griefahn B, Sleep disturbances: What are adequate descriptions? <i>internoise 2007, Istanbul/Türkei</i>	46
Samel A, Basner M, Isermann U, Aircraft noise effects on sleep: DLR research results and their application. 21 <sup>st</sup> Annual Meeting of the Associated Professional Sleep Societies (APSS) 2007, Minneapolis/USA, Abstr. No. 0379 in: <i>Sleep Vol. 30:A130.</i>	45
Samel A, Basner M, Isermann U, 2007: Nachtfluglärmwirkungen: Forschung und Anwendung. <i>Flug- und Reisemedizin 14(1):27-31</i>	42

- Samel A, Basner M, Maaß H, Quehl J, Wenzel J, 2005: Effects of nocturnal aircraft noise on performance, annoyance and stress hormone excretion. Overview and results of the DLR-study. Congr World Association of Sleep Medicine 2005 14
- Schapkin SA, Falkenstein M, Marks A, Griefahn B, 2006: After effects of noise-induced sleep disturbances on inhibitory functions. *Life Sciences* 78:1135-1142. 12
- Schapkin SA, Falkenstein M, Marks A, Griefahn B, 2006: Executive brain functions after exposure to nocturnal traffic noise: effects of task difficulty and sleep quality. *Eur J Appl Physiol* 96:693-702. 13
- Schapkin SA, Falkenstein M, Griefahn B, 2005: Nacheffekte des nächtlichen Verkehrslärms auf inhibitorische Hirnfunktionen. In: Brüning T, Harth V, Zaghaw M (Hrsg): *Verh Dt Ges Arbeitsmed* 45:474-475. 27
- Schapkin SA, Falkenstein M, Marks A, Griefahn B, Effects of achievement motivation on inhibitory brain mechanisms after noise-induced sleep disturbance. Congr of the Federation of European Psychophysiology Society (FEPS), 2006, Budapest 26

## **4.2 Abstracts**



---

# GRUNDLAGEN

## Zeitschriftenartikel

---

### **Extrinsische Schlafstörungen und Lärmwirkungen**

Alexander Samel, Mathias Basner

Verkehrslärm kann zu extrinsischen Schlafstörungen führen. Die Definition extrinsischer Schlafstörungen wird vorgestellt. Akustischen Variablen, die Lärm beschreiben, und die Wirkung von Verkehrslärm auf den Schlaf und andere Körperfunktionen wird angegeben. Die in der Lärmwirkungsforschung häufig verwendeten Begriffe 'primäre, sekundäre und tertiäre Lärmwirkungen' werden erläutert. Die Schwierigkeit, durch Lärm erzeugte Schlafstörungen auf Grund von bisherigen Studienergebnissen hinsichtlich ihrer langfristigen Gesundheitswirkungen zu bewerten, wird aufgezeigt. Die Evidenz der Untersuchungsergebnisse ist häufig auf Grund geringer Fallzahlen, unterschiedlicher statistischer Auswertemethoden und fehlender Kontrollgruppen zu hinterfragen. Akustische Grenzwerte, die zum Lärmschutz der Bevölkerung durch Gesetze und Verordnungen für die verschiedenen Verkehrsträger gelten, müssen trotz manchmal fehlender wissenschaftlicher Begründung 'plausibel' sein. Sowohl über die Plausibilität als auch über manche neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse und deren Bewertung entzündet sich eine Diskussion unter Lärmwirkungsforschern und unter interessierten Gruppen. Um dieses Dilemma zumindest teilweise lösen zu können, bietet sich eine enge Zusammenarbeit zwischen Lärmwirkungsforschung und Schlafmedizin an.

*Somnologie* (2005) 9(2):58-67

1

### **Effects of nocturnal aircraft noise on sleep structure**

Mathias Basner, Alexander Samel

*Question of the study* To systematically investigate the influence of nocturnal aircraft noise on sleep structure.

*Methods* Between 1999 and 2003, 128 subjects were polysomnographically studied for 13 consecutive nights each in the laboratory. Sixteen subjects served as controls. A total of 112 subjects received 4 to 128 aircraft noise events (ANEs) per night with maximum sound pressure levels (SPLs) ranging from 45 to 80 dBA in a randomised incomplete block design. Mixed models were used to analyse the influence of aircraft noise on changes in sleep stage amounts, sleep onset latency, and number of awakenings.

*Results* Aircraft noise was associated with signs of sleep fragmentation, as both amounts of stage 1 and the number of awakenings were significantly increased. Addi-

tionally, SWS was significantly reduced by 5.3 min in exposure compared to baseline nights. Unexpectedly, total sleep time increased on average by 2.5 min, most probably caused by a statistically significant reduction in sleep onset latency and decrements in the duration of spontaneous awakenings in exposure nights. Both may be interpreted as adaptation mechanisms to partial sleep deprivation of previous exposure nights. Amounts of stage 2 and REM were nonsignificantly increased. Dose-response relationships with both increasing number and maximum SPL of ANEs were observed as well as a prominent first-exposure-night effect.

*Conclusions* There were no significant changes in sleep structure if combinations of number and maximum SPL of ANEs did not exceed 4×80 dBA, 8×70 dBA, 16×60 dBA, 32×55 dBA and 64×45 dBA in a single night.

*Somnologie (2005) 9(2):84-95*

2

### **Aircraft noise: Effects on macro- and micro-structure of sleep**

Mathias Basner, Christian Glatz, Barbara Griefahn, Thomas Penzel, Alexander Samel

In this study the effects of aircraft noise on sleep macro-structure (Rechtschaffen & Kales) and micro-structure (AASM arousal criteria) were investigated. For each of 10 subjects (mean age 35.3 years, 5 males), a baseline night without aircraft noise (control), and two nights with exposure to 64 noise events with a maximum sound pressure level (SPL) of either 45 dBA or 65 dBA were chosen. Spontaneous and noise-induced alterations during sleep classified as arousals (ARS), changes to lighter sleep stages (CSS), awakenings including changes to sleep stage 1 (AS1), and awakenings (AWR) were analyzed. The number of events per night increased in the rank order AWR, AS1, CSS and ARS, under control conditions as well as under the two noise conditions. Furthermore, probabilities for sleep disruptions increased with increasing noise level. ARS were observed about fourfold compared to AWR, irrespective of the control or noise condition. From the results of this study, it can be concluded that under the conditions investigated, different sleep parameters show different sensitivities, but also different specificities for noise-induced sleep disturbances. We further conclude that most information on sleep disturbances can be achieved by investigating robust classic parameters like AWR, although AASM EEG arousal might add relevant information in situations with low maximum SPLs, chronic sleep deprivation or chronic exposure situations.

*Sleep Medicine (in press)*

3

## **Event-related awakenings caused by nocturnal traffic noise**

Anke Marks, Barbara Griefahn, Mathias Basner

The present study focused on awakenings caused by nocturnal noises emitted from aircraft, road and rail vehicles. A laboratory study with 24 participants (12 male, 12 female, 19-28 years) was performed with polysomnographic recordings during 13 nights. Event-related awakenings were determined for each traffic mode. The influence of acoustical parameters (maximum noise level, slope of rise, duration of noise events and of the noiseless intervals), situational parameters (elapsed sleep time, sleep stage prior to the occurrence of a noise event) as well as individual parameters (age and noise sensitivity) on noise-induced awakenings was tested by means of logistic regression analyses. On the basis of the results conclusions could be drawn concerning directed noise abatement measures.

*Submitted to Noise Control Engineering Journal*

4

## **Railway Noise – its effects on sleep, subjective assessment, and performance**

Anke Marks, Barbara Griefahn

*Aim of the study.* This study tested the assumption that rail noise impairs sleep, subjective sleep quality and performance.

*Methods.* Sixteen women and 16 men (19 to 28 years) slept from 2300 to 0700 hours during 4 consecutive nights of 3 consecutive weeks in the laboratory. Eight participants were never and ever 8 participants were exposed to rail noise in the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> week, respectively. During the four nights a pink noise (32 dBA) and rail noise with equivalent noise levels of 40, 44 and 50 dBA were randomly applied. The polysomnogram was recorded continuously throughout all nights. Sleep quality was evaluated after awakening and performance tests focused on executive functions were completed in the evening and in the morning.

*Results.* Physiological sleep variables revealed an all-or-none response where sleep was almost equally impaired by all equivalent noise levels. Subjective evaluation decreased equally to noise levels of 40 and 44 dBA and stronger to 50 dBA. Performance was not associated with noise levels but with the amount of slow-wave-sleep.

*Conclusions.* The results suggest an admissible limit between  $L_{Aeq} = 32$  and 40 dB. Performance was probably not affected by nocturnal noise exposure, but significantly related to slow-wave-sleep indicating that the executive functions are degraded even after minor sleep disturbances.

*Somnologie (2005) 9:68-75*

5

## **Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep**

Barbara Griefahn, Anke Marks, Sibylle Robens

This study compared the effects of road-, rail-, and aircraft noise and tested the applicability of the equivalent noise level for the evaluation of sleep disturbances. Sixteen women and sixteen men (19-28 years) slept during 3 consecutive weeks in the laboratory. Eight persons slept in quiet throughout. Twenty-four persons were exposed to road-, rail-, or aircraft noise with weekly permuted changes. Each week consisted of a random sequence of a quiet night (32 dBA) and 3 nights with equivalent noise levels of 39, 44, and 50 dBA and maximum levels of 50-62, 56-68, and 62-74 dBA, respectively. The polysomnogram was recorded during all nights, sleep quality was assessed and performance tests were completed in the morning. Subjectively evaluated sleep quality decreased and reaction time increased gradually with noise levels, whereas most physiological variables revealed the same reactions to both the lower and considerably stronger reactions to the highest noise load. Aircraft noise, rail and road traffic noise caused similar after-effects but physiological sleep parameters were most severely affected by rail noise. The equivalent noise level seems to be a suitable predictor for subjectively evaluated sleep quality but not for physiological sleep disturbances.

*Journal of Sound and Vibration* (2006) 295:129-140

6

## **Autonomic arousals related to traffic noise during sleep**

Barbara Griefahn, Peter Bröde, Anke Marks, Mathias Basner

*Aim.* This study analyzed the cardiac effects of traffic noise and the influence of noise levels, rise time, time of night, and momentary sleep stage on these responses.

*Participants.* Twelve women and twelve men (19-28 years).

*Measurements and Results.* The participants slept in three consecutive weeks four nights each in the laboratory and were exposed to aircraft, road or rail traffic noise with weekly permutations. The four nights of each week consisted of a random sequence of a quiet night (32 dBA) and 3 nights where either aircraft, rail- or road traffic noises occurred with maximum levels of 45-77 dBA. The polysomnogram and the electrocardiogram were recorded during all nights.

The alterations of heart rate were mainly determined by the occurrence or absence of awakenings. Awakenings were associated with monophasic increases for more than one minute with mean maxima of +10 to +12 bpm and moderately influenced by acoustic rise time and momentary sleep stage. Without awakenings the responses were biphasic. Initial accelerations with mean maxima of +1.5 bpm after 4-11 seconds were followed by decelerations to mean minima of -1 bpm after 12-23 seconds. Railway noise caused

the largest and aircraft noise the smallest effect. These alterations were mainly influenced by acoustic rise time and momentary sleep stage.

*Conclusions.* Neither of these responses decreased with the time of night indicating a lack of habituation, allowing to interpret these responses as potentially pathogenetic. If so, these consequences are more likely for responses accompanied by awakenings than for situations without awakenings.

*SLEEP (under revision)*

7

## **The relationship between sleep quality and inhibitory functions indicated by event-related potentials**

Markus Breimhorst, Anke Marks, Michael Falkenstein, Barbara Griefahn

The present study focused the relationship between objective sleep quality and cognitive, especially inhibitory functions, as reflected in event-related potentials (ERPs). These functions are assumed to be weakened after reduced sleep quality often provoked by external sources of interference. The question was whether normal variability of sleep quality (measured by objective means) also influences inhibitory functions. For this reason one quiet night of 21 healthy participants was analysed. After waking up the next morning all participants completed a Go-/Nogo task. On the basis of a newly developed sleep disturbance index, each of the 21 participants was allocated an index of objective sleep quality. A cluster analysis was calculated to separate good and poor sleepers.

Performance data showed no differences in Reaction time, Missings and False Alarms between good and poor sleepers. The ERP results showed that N2 amplitude was lower in poor sleepers for Nogo tasks only. Moreover P3 amplitude was generally smaller and P3 latency delayed in poor sleepers. These findings suggest that poor sleep however both impairs general cognitive processes (P3) and specifically inhibitory processes (Nogo-N2).

*Experimental Brain Research (under revision)*

8

## **Effects of aircraft noise on performance**

Eva-Maria Elmenhorst, Mathias Basner, Alexander Samel

*Objective.* The present study examined the effects of aircraft noise on human cognitive performance.

*Methods.* In a laboratory study lasting 13 consecutive nights 112 subjects were exposed to between 4 – 128 aircraft noise events with sound pressure levels (SPLs) ranging from 45 – 80 dBA in the night, resulting in equivalent noise levels (Leq) between 30 – 57

dB(A). Sixteen subjects served as control without noise exposure. In a field study in the vicinity of Cologne/Bonn Airport 64 subjects were examined in their home environment during 9 consecutive nights. Recorded maximum SPLs ranged from 16 – 73 dB(A). A simple reaction time task (SRT), a memory search task (MST) and an unstable tracking task (UTT) were trained in advance to minimise training effects. During the study the tests were executed in the morning shortly after awakening. The subjective estimate of workload was registered using the NASA-Taskload Index. Dose-response relationships were calculated in consideration of SPL, Leq, number of noise events, day to day effect, age and gender.

*Results.* Dose-response relationships of the laboratory study showed linear performance impairments of 0.13 ms/dB Leq plus 0.03 ms/noise event and impairments of 0.04 ms/dB SPL plus 0.03 ms/noise event for the average reaction time. Interactions proved non-significant. The cumulative performance loss with increasing time in study was 0.5 ms/night. MST results indicated a change in working strategy. Subjects tended to work faster at the expense of an increased error rate. Because of ongoing training effects it was impossible to detect noise induced changes in UTT performance. The subjective workload increased slowly and significantly with Leq but did not exceed the category 'low'. In the field study average reaction times worsened linearly at about 0.3 ms/dB Leq and 0.5 ms/night. The number of noise events per night did not show a significant effect.

*Conclusion.* SRT proved to be most sensitive to detect the impact of aircraft noise on performance. Performance was influenced by the nightly Leq, the maximum SPL and the number of noise events. Observed impairments in objective performance were small but significant, as were the observed alterations in subjective workload. Increasing time in study caused performance decrements which could be due to cumulative partial sleep deprivation or a loss of motivation. As expected, effects of aircraft noise on performance were stronger in the laboratory than in the field study, which may be due to lower noise levels and the familiar sleeping environment in the field. **9**

## **Nachtfluglärm, Belästigung und Schlaferleben**

Julia Quehl

In einer laborexperimentellen Studie wurde mit 128 Probanden die humanspezifische Wirkung von Nachtfluglärm auf die Belästigung und hinsichtlich der Schlafquantität und –qualität, Aufwachhäufigkeit und Ermüdung mittels Fragebogen untersucht. Die 112 Versuchspersonen der Experimentalgruppen wurden in 9 aufeinander folgenden Nächten mit Fluglärm unterschiedlicher Intensität und Häufigkeit beschallt. Es wurde überprüft, inwieweit sich die physikalischen Parameter Maximalpegel  $L_{AS,max}$ , Anzahl an Flugereignissen (Pegelhäufigkeit) und energieäquivalenter Dauerschallpegel  $L_{AS,eq}$  zur Vorhersage fluglärminduzierter Sekundärreaktionen eignen. Es zeigen sich signifi-

kante Haupteffekte der drei Fluglärmparameter für alle untersuchten Reaktionen, was in Einklang mit bisherigen Lärmwirkungsstudien steht. Zwischen den Faktorstufen des  $L_{AS,max}$  bestehen jedoch nur signifikante Unterschiede für die Fluglärmbelästigung, die sich mit ansteigendem  $L_{AS,max}$  vergrößert. Einzelvergleiche der Pegelhäufigkeitskategorien weisen darauf hin, dass Verdoppelungen der Anzahl über 4 bzw. 8 Lärmereignisse pro Nacht zu signifikanten Einbußen des Schlaferlebens (außer der Schlafquantität) und erhöhten Belästigungsreaktionen führen. Demzufolge spielt für das Schlafempfinden die Häufigkeit an Überflügen eine wichtigere Rolle als der maximale Schallpegel. Anhand von Paarvergleichen der Dauerschallpegelstufen zeigen sich signifikante Verschlechterungen der Sekundärstörungen (außer der Ermüdung) mit zunehmendem  $L_{AS,eq} > 33$  dB(A).

*Somnologie* (2005) 9(2):76-83

10

### **Annoyance from nocturnal aircraft noise exposure: Laboratory and field-specific dose–response curves**

Julia Quehl, Mathias Basner

Dose–response curves regarding the annoying impact of nocturnal aircraft noise were calculated for the (1) maximum noise level  $L_{AS,max}$  combined with the number of aircraft noise events and for the (2) energy equivalent noise level  $L_{AS,eq}$  event by means of random effects logistic regression. These parameters were compared according to their predictive properties for annoyance ratings. Questionnaire surveys with 128 subjects of a laboratory study performed at the DLR Institute of Aerospace Medicine served as data basis. The laboratory results were compared to the results of a field study carried out with 64 airport residents living in the vicinity of the Airport Cologne/Bonn. In the laboratory setting there was a significant rise of the portion of annoyed people depending on  $L_{AS,max}$  and frequency of fly-overs. Unlike previous studies, the percent annoyed by aircraft noise also increased with  $L_{AS,max}$  in nights with less than 16, but louder aircraft noise events. The group of annoyed subjects also significantly increased with the  $L_{AS,eq}$  event; however, above 50 dBA it decreased again since fewer but louder events were presented in the underlying combinations of noise level (45–80 dBA  $L_{AS,max}$ ) and number of noise events per night (4 to 128). Data from the field study confirmed the trend of the laboratory dose–response relationships. Nevertheless, the curves established in the laboratory lay above the field-specific curves, i.e., subjects felt more annoyed by aircraft noise in the laboratory setting than in their domestic environment. This was most probably caused by the increased number of awakenings in the laboratory compared to field conditions. The findings of the studies indicate that not only the energy equivalent noise level, as used in noise abatement rules of many countries, but also the number of aircraft events are a major source of nocturnal aircraft noise induced annoyance.

*Journal of Environmental Psychology* (2006) 26: 127–140

11

## **After effects of noise-induced sleep disturbances on inhibitory functions**

Schapkin SA, Falkenstein M, Marks A, Griefahn B

This study focuses on possible after-effects of noise-induced sleep disturbances on inhibitory processes. Following a quiet night and three nights, in which railway noise was presented with different levels, twelve women and ten men (18-30 yrs) performed a visual Go/Nogo task that contained stimuli either compatible or incompatible with a response.

Noise-induced sleep disturbances did not show up in significant changes of reaction time and error rate overall. However, disturbed sleep increased the reaction time to incompatible stimuli vs. compatible stimuli and was associated with a decreased blink rate. A smaller N2 amplitude and longer latency to incompatible than to compatible stimuli and an unspecific attenuation of N2 amplitude under Noise were found. The amplitude of the fronto-central P3 was reduced under Noise compared to baseline mainly in Nogo trials. The amplitude of the parietal P3 in Go trials was smaller to incompatible as compared with compatible stimuli but was not affected by Noise.

The results suggest that physiological costs to maintain performance are increased after noisy nights. The N2 and the P3 are selectively impaired by stimulus-response compatibility and by nocturnal noise exposure suggesting that the components might reflect two functionally distinctive inhibitory processes. Decisional processes underlying implementation of an overt response (Go-P3) are less vulnerable to noise-disturbed sleep than those related to inhibition (Nogo-N2, Nogo-P3). In conclusion, inhibition-related ERPs might be more sensitive indicators of moderate sleep disturbances caused by noise than performance measures.

*Life Sciences (2006) 78:1135-1142*

12

### **The after effects of nocturnal traffic noise on cognitive performance and inhibitory brain activity were investigated**

Schapkin SA, Falkenstein M, Marks A, Griefahn B

Twenty participants (19 – 30 years) performed an easy and a difficult visual Go/Nogo task with simultaneous EEG recording after a quiet night as well as during three nights when aircraft noise was presented with equivalent noise levels of 39, 44, 50 dBA, respectively, between 11 p.m. and 7 a.m. Based on subjective sleep quality ratings, the participants were separated into 'good' versus 'bad' sleepers. The performance and inhibition-related components (N2, P3) of event-related potentials were analyzed. The N2 and P3 amplitudes were smaller and latencies were prolonged in the difficult as compared to the easy task. The effect was more pronounced for Nogo than for Go-trials. The Nogo-P3 amplitude was smaller in noisy than in quiet conditions in the difficult task only. In the difficult task the Nogo-P3 latency was more prolonged in bad sleepers than

in good sleepers. The Nogo-P3 amplitude was reduced in noise as compared to quiet conditions in bad sleepers only. Sleep quality in bad sleepers worsened steadily with increasing noise levels. No effects of subjective sleep quality on performance were found. Inhibitory processes appear to be selectively impaired after nocturnal noise exposure. The task difficulty and perceived sleep quality are important factors moderating noise effects. The results suggest that nocturnal traffic noise increases physiological costs for inhibitory functions during the day even if no overt performance decrement is observed.

*Eur J Appl Physiol* 96:693-702

**13**



---

# GRUNDLAGEN

## Kongressbeiträge

---

Congress of the World Association of Sleep Medicine 2005  
(WASM) Berlin

**Effects of nocturnal aircraft noise on performance,  
annoyance and stress hormone excretion.  
Overview and results of the DLR-study**

Alexander Samel, Mathias Basner, Hartmut Maaß, Julia Quehl, Jürgen Wenzel

*Aim.* From 1999 to 2004, the DLR-Institute of Aerospace Medicine studied human reactions to nocturnal aircraft noise in laboratory and field experiments in order to develop statistically sound criteria for the protection of residents living in the vicinity of airports.

*Methods.* In total, 192 healthy volunteers (m/f), aged between 18 and 65 years, underwent altogether 2240 study nights. In the isolation facility of the institute, 128 subjects were examined during 13 consecutive nights. 16 subjects served as control. For 112 subjects, aircraft noise events were applied between 4 and 128 times per night with maximum sound pressure levels (SPLs) between 45 and 80 dBA. Sleep disturbances were assessed by EEG, EOG, EMG and EKG, by respiration, finger-pulse amplitude and position in bed. These signals were simultaneously recorded with the acoustic signals for calculating event-correlated reactions. The concentration of cortisol, epinephrine and norepinephrine was determined from all night urine samples. At evening and morning, performance tests and questionnaires (fatigue, well-being, annoyance) were applied. These data and results were validated in two field studies with 64 volunteers during 9 consecutive nights at their homes near Cologne airport.

*Results.* Performance and most of the psychological parameters did not show significant dose-effect relationships, whereas annoyance on night aircraft noise did. Epinephrine and norepinephrine did not alter under nocturnal aircraft noise, cortisol excretion only changed under laboratory conditions. When effects occurred, they were much less pronounced in the field than in the laboratory.

*Conclusions.* The results of these studies contribute profound experimental knowledge to the very controversial disputes about the degree of impairing effects on human specific reactions to nocturnal aircraft noise.

14

Congress of the World Association of Sleep Medicine 2005  
(WASM) Berlin

**Aircraft noise effects on sleep:  
results of 2240 polysomnographically recorded  
subject nights in laboratory and field studies**

Mathias Basner, Alexander Samel

*Aim.* Sleep is vital for the recovery of physical and mental capacities. Environmental noise is a potential disrupter of the sleep process and may lead to an extrinsic sleep disorder. In order to develop scientifically sound criteria for the restriction of nocturnal air traffic, the DLR-Institute of Aerospace Medicine investigated the influence of nocturnal aircraft noise on sleep, mood and performance in four laboratory and two field studies between 1999 and 2003.

*Methods.* In the lab, 128 subjects aged 18-65 (53 male) were investigated during 13 consecutive nights (total: 1664 nights). Between 4 and 128 aircraft noise events (ANEs) with maximum sound pressure levels (SPLs) between 45 and 80 dBA were played back between 11 p.m. and 7 a.m. during nights 3 to 11. Results were compared to the findings of two field studies with 64 subjects (aged 19-61, 29 male) and 576 nights in total. Here, SPLs were simultaneously measured indoors and outdoors. Electrophysiological signals included polysomnography, EKG, plethysmography, respiration and actigraphy. Synchronous recording with acoustic data assured event related analysis. Mixed models were used to analyse the influence of aircraft noise on changes in sleep stage fractions, sleep onset latency and number of awakenings. Random effects logistic regression was used for the prediction of noise induced awakenings depending on maximum sound pressure level and for the calculation of dose-response curves.

*Results.* In the laboratory, aircraft noise was associated with signs of sleep fragmentation, as both amounts of Stage 1 ( $p < .001$ ) and the number of awakenings ( $p < .001$ ) were significantly increased. Additionally, SWS was significantly reduced by 5.1 min ( $p < .001$ ) in exposure compared to baseline nights. Unexpectedly, total sleep time increased on average by 2.5 min ( $p = .354$ ), most probably caused by a statistically significant reduction in sleep onset latency ( $p = .002$ ) and decrements in the duration of spontaneous awakenings in exposure nights. Both may be interpreted as adaptation mechanisms to partial sleep deprivation of previous exposure nights. Fractions of Stage 2 ( $p = .110$ ) and REM ( $p = .319$ ) were non-significantly increased. Dose-response relationships with both increasing number and maximum SPL of ANEs were observed as well as a prominent first-exposure-night effect. In the field, aircraft noise lead to no obvious changes in sleep structure. Additionally, at the same maximum SPL awakening probability was much lower in the field compared to the laboratory. Based on these results, new criteria for the restriction of nocturnal air traffic were developed and will be exemplified for the extension of Airport Leipzig/Halle.

*Conclusions.* Altogether, 2240 subject nights were recorded with identical methodology in the laboratory and in the field. This large database and new statistical procedures allow for a precise prediction of the influence of nocturnal aircraft noise on sleep, which again can be used for the proposal of enhanced laws for the protection of residents living near airports. **15**

internoise 2006, Honolulu/USA

## **Aircraft noise effects on sleep: Results of large polysomnographic studies under laboratory and field conditions**

Alexander Samel, Mathias Basner

*Aim.* Environmental noise potentially disrupts sleep and may lead to extrinsic sleep disorders. To assess sleep disturbances and to establish dose-response relations, DLR investigated the influence of nocturnal aircraft noise on sleep under laboratory and field conditions.

*Methods.* In the laboratory, 128 subjects were investigated during 13 consecutive nights (1664 nights), applying 4 and 128 aircraft noise events (ANEs) with maximum sound pressure levels (maxSPLs) between 45 and 80 dBA during nights 3 to 11. Results were compared with findings of field studies conducted at Cologne airport with 64 subjects (576 nights). Here, SPLs were simultaneously measured indoors and outdoors. Electrophysiological signals included polysomnography, EKG, plethysmography, respiration and actigraphy. Synchronous recording with acoustic data assured event related analysis.

*Results.* Based on TIB, aircraft noise was associated with some sleep fragmentation in the laboratory, as Stage1 and number of awakenings increased. SWS decreased by 5.1 min in exposure nights. Dose-response relationships with both increasing number and maxSPL of ANEs were established. Awakenings duration increased with MaxSPL, especially above 65 dBA. In the field, aircraft noise lead to no obvious changes in sleep structure. At the same maxSPL awakening probability was much lower.

*Conclusion* The results were used as a basis for proposing a new protection concept for residents living near airports. **16**

## Forum Acusticum, Budapest 2005

### **Awakenings by road-, rail- and airtraffic noise**

Barbara Griefahn, Anke Marks, Christa Kuenemund, Mathias Basner

*Aim.* This study compared sleep disturbances due to road-, rail-, and aircraft noise.

*Methods.* 12 women and 12 men (19-28 years) slept 3 consecutive weeks in the laboratory where they were exposed with weekly changes to road-, rail-, or aircraft noise, respectively. Each week consisted of a random sequence of a quiet night (32 dBA) and 3 nights with  $L_{Aeq}$  of 39, 44, 50 dB and  $L_{Amax}$  of 50-62, 56-68, and 62-74 dB, respectively. The polysomnogram was recorded during all nights, sleep quality was assessed and performance tests were completed in the morning.

*Results.* Subjective sleep quality decreased with noise levels and was equal for all 3 noise types. Awakenings and alterations of sleep depth were dose-dependent. Awakenings were most frequent and sleep depth altered most during nights with rail noise.

*Conclusions.* The equivalent noise level seems to be a suitable predictor for subjectively evaluated sleep quality but not for the physiological disturbances of sleep. Road-, rail- and aircraft noise caused the same after-effects but physiological indicators were most severely affected by rail noise. 17

## internoise 2006, Honolulu/USA

### **Awakenings related to noises from various traffic modes**

Barbara Griefahn, Anke Marks, Mathias Basner

*Aim.* To test the hypothesis that aircraft noise causes more awakenings and alterations of sleep structure than rail and road traffic noise.

*Methods.* 12 women and 12 men (19-28 years) slept, following a habituation night, 4 nights each during 3 consecutive weeks in the laboratory. They were exposed with weekly changes to road-, rail-, or aircraft noise. Each week consisted of a random sequence of a quiet night and 3 nights with equivalent noise levels of 39, 44, and 50 dBA indoors. The polysomnogram was recorded throughout all nights, sleep quality was assessed and performance tests were completed in the morning.

*Results.* Noise-induced awakenings and structural parameters of sleep, subjective sleep quality and performance indicated more disturbances with increasing noise levels. Where decreased subjective sleep quality was not related to the type of noise, noise-induced awakenings and other physiological parameters of sleep were most affected by rail and least by road traffic noise.

*Conclusions.* As road-, rail- and aircraft noise caused the same after-effects but different physiological effects integrated noise metrics might be suitable for the prediction of subjective sleep quality but not for the physiological disturbances of sleep. 18

Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und  
Umweltmedizin (DGAUM) 2007, Mainz/FRG

**Nächtliches Aufwachen durch  
Straßen- und Schienenverkehrslärm**

Anke Marks, Barbara Griefahn, Christa Künemund, Mathias Basner

*Ziel der Studie.* Aufwachreaktionen stellen die stärkste Form der Aktivierung des schlafenden Organismus dar, die zu Veränderungen der Schlafstruktur führen können. Die Wahrscheinlichkeit aufzuwachen steigt mit zunehmender Umgebungsbelastung, wobei Lärm die Umweltbelastung ist, die in den nächsten Jahren weiterhin ansteigen wird. Die Wahrscheinlichkeit lärmbedingten Aufwachens sowie mögliche Einflussfaktoren werden unter Straßen- und Schienenverkehrslärm mit Szenarien aus Originalgeräuschen und Geräuschen mit gedämpften tiefen Frequenzen untersucht.

*Methoden.* 8 Männer und 8 Frauen zwischen 19-28 Jahren ( $22.4 \pm 2.34$ ) schliefen je 9 Nächte in zwei aufeinander folgenden Wochen im Labor. Nach einer Gewöhnungsnacht wurden 8 Probanden Schienen- und 8 Probanden Straßenverkehrslärm ausgesetzt. In jeder Woche wurden eine Ruhenacht (28 dB(A) Rosa Rauschen) sowie drei Lärmnächte mit äquivalenten Dauerschallpegeln von 39, 44 sowie 50 dB(A) permutiert dargeboten. Je eine Woche wurden die Probanden Lärmszenarien mit Originalgeräuschen ausgesetzt, in der anderen Woche Geräusche, in denen die tiefen Frequenzen unter 250 Hz um 12 dB gedämpft waren. In allen Nächten wurde das Polysomnogramm (2 EEG, 2 EOG, 1 EMG) aufgezeichnet.

*Ergebnisse.* Insgesamt gingen 8329 Straßen- und 6260 Schienengeräusche in die logistische Regressionsanalyse mit ein. Durch Schienenverkehrslärm (9.2%) wurden mehr Aufwachreaktionen hervorgerufen als durch Straßenverkehrslärm (7%). Von den physikalischen Parametern hatten der Maximalpegel, die Dauer der Geräusche, die Anstiegszeit sowie der lärmfreie Intervall einen signifikant moderierenden Effekt auf die Aufwachwahrscheinlichkeit, während die Filterung der tiefen Frequenzen keinen Einfluss hatte. Die Lärmempfindlichkeit als individueller Faktor beeinflusste das Aufwachen nicht, während sich situative Parameter (verstrichene Schlafzeit, vorher Tiefschlaf oder REM-Schlaf) als bedeutsam erwiesen.

*Schlussfolgerungen.* Durch nächtlichen Verkehrslärm werden intermittierte Aufwachreaktionen hervorgerufen, die von den physikalischen Parametern der Geräusche sowie von der Schlafsituation bei der Exposition abhängen. Diese lärmbedingten Veränderungen der Schlafstruktur führen häufig zu Beeinträchtigungen der physischen und mentalen Erholung.

19

internoise 2006, Honolulu/USA

**Single and combined effects  
of air, road and rail traffic noise on sleep**

Mathias Basner, Eva-Maria Elmenhorst, Hartmut Maaß, Uwe Müller,  
Julia Quehl, Martin Vejvoda, Alexander Samel

*Introduction.* It is a well known fact that noise annoyance depends on the traffic mode. Much less is known about differences in physiological effects, especially on combined effects. Therefore, the German Aerospace Center (DLR) investigated the effects of air (AI), road (RO) and rail (RA) traffic noise on sleep in the AIRORA study.

*Methods.* 72 subjects ( $40 \pm 13$  years, 32 male) were polysomnographically investigated during 11 consecutive nights in the laboratory. Electrophysiological signals included EEG, EOG, EMG, EKG, respiratory movements and finger pulse amplitude. Cortisol and noradrenalin were measured in nocturnal urine samples. Each traffic mode consisted of five noise categories (maximum SPL 45, 50, 55, 60 and 65 dBA) with 8 different noise events, i.e. 40 noise events in total. Therefore, between 40 and 120 noise events were realistically played back during single (AI, RO, RA, RORO), double (AIRO, AIRA, RORA) and triple (AIRORA) exposure nights. The design was complemented with a noise-free control night and carefully balanced.

*Results.* Although annoyance due to aircraft noise was stronger compared to both rail and road traffic noise, preliminary analyses of parts of the physiological data do not support the same order. Final results will be shown and discussed on the conference. **20**

International Congress on Sound and Vibration 2007 (ICSV)  
Cairns/Australia

**Effects of temporarily limited noise-calming periods  
during sleep**

Barbara Griefahn, Anke Marks and Sibylle Robens

As traffic density will increase in the forthcoming years, more during the shoulder hours and during the night than during the day and due to the deleterious effects of noise on sleep this paper evaluates 3 models of temporary quiet periods during the night. As the times of these periods are oriented to the sleep behaviour of the majority of the adult population persons with different bedtimes are concerned.

Twenty-four healthy young persons (12 women, 12 men, 21 – 27 yrs) slept in 2 consecutive weeks, four nights each week in the laboratory while during one week each exposed to road or railway noises. Three models of temporary quiet periods were realized: two starting at 11 pm and lasting 4 or 6 hours and one starting at 3 am and lasting until 7 am. Eight normal sleepers went to bed at 11 pm, eight early sleepers at 10 pm

and eight late sleepers at 12 pm, wake-up call was eight hours later. The overall 9 exposure patterns were reduced to three main exposure patterns, defined by the quiet period in the beginning, in the middle or at the end of the subjective night. During all nights polysomnograms were recorded continuously, sleep was evaluated subjectively every morning.

Noise in the beginning of the night caused disturbances before and shortly after noise onset. If the night is terminated by a quiet period only, the initial disturbances are fully compensated. However, whenever the subjective night is terminated with an even short noise period, sleep structure and subjective evaluation of sleep are significantly impaired. Thus, whenever a temporary quiet period during the night is considered, it is strongly recommended to locate this period at the end of the subjective night. In any case late sleepers profit less from such regulations. **21**

Congress of the European Sleep Research Society (ESRS)  
2006, Innsbruck

**Noise-induced alterations of sleep and performance  
under the influence of neuroticism and extraversion**

Anke Marks, Barbara Griefahn

*Introduction.* This study concerned the influence of extraversion and neuroticism on the effects of nocturnal traffic noise on sleep, subjective evaluation of sleep and subsequent performance. It was hypothesized that personality traits could explain differences in the effects of noise on the aforementioned variables.

*Methods.* 24 healthy and normal hearing participants (12 male, 12 female; 19-28 yrs) took part in the study. After a habituation night the participants slept over a period of three consecutive weeks 13 nights in the laboratory, being weekly exposed to permuted changes of aircraft, rail and road traffic noise. Each week consisted of a permuted sequence of a quiet night with 32 dBA pink noise and 3 nights with traffic noise of equivalent noise levels of 39, 44, and 50 dBA. The polysomnogram (2 EEG, 2 EOG, 1 EMG) was recorded continuously throughout all nights. Subjective sleep quality was evaluated after awakening and a switch task indicating executive functions was completed. Extraversion and neuroticism were measured using the FPI-R (Fahrenberg et al. 1989) and the trait groups were classified via median split.

*Results.* During noisy nights physiological sleep (wakefulness after sleep onset and sleep efficiency) was more disturbed by emotional stables than by emotional unstables. After noisy nights subjective evaluation of sleep was rated worse by extraverts than by introverts. Concerning performance data emotional stables made more errors after noise disturbed nights than emotional unstables and extraverts showed prolonged reaction times comparing to introverts after quiet as well as after noisy nights.

*Discussion.* Noise-induced alterations of some sleep parameters and performance were related to extraversion and to neuroticism, whereof extraverts and emotionally stables revealed stronger reactions. Nevertheless, these results should be handled with care because of the small sample size and non-balanced trait groups. 22

Jahrestagung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA) 2007  
Magdeburg/FRG

**Bedingungsbezogene Analyse von EEG-Arousals  
unter Lärmeinwirkung**

Markus Breimhorst, Stephan Sandrock, Anke Marks, Barbara Griefahn

*Einleitung.* In der Lärmwirkungsforschung werden EEG-Arousals als Indikator für gestörten Schlaf angesehen. Dabei werden EEG-Arousals als kortikale Frequenzbeschleunigungen von mindestens drei Sekunden definiert. Raschke (2001) gibt jedoch zu bedenken, '(...) dass die Mikro-Arousals der ASDA [American Sleep Disorders Association] in der Lärmwirkungsforschung als Indikator für Schlafstörungen und Lärmbelästigungen nicht einsetzbar sind (...)'. Die aktuelle Studie geht daher der Frage nach, auf welche Bedingungen EEG-Arousals unter Lärmeinwirkung zurückzuführen sind.

*Experimentelles Design.* An der Untersuchung nahmen 16 Probanden teil. Die Probanden schliefen zwei Wochen im Labor (Montag abend bis Donnerstag abend), wobei die erste Nacht eine Gewöhnungsnacht ohne Lärmeinwirkung darstellte. 8 Probanden wurden in der Nacht nächtlichem intermittierenden Straßenlärm ausgesetzt, während den anderen 8 Probanden Schienenlärm dargeboten wurde. Die äquivalenten Lärmpegel (62, 68, 74 dBA) wurden jeweils in gedämpfter als auch in ungedämpfter Form permutiert dargeboten. Eine Nacht der jeweiligen Woche diente als Ruhebedingung mit einem Hintergrundrauschen von 32 dB(A).

*Statistische Analyse.* Für die einzelnen Nächte wurde ein Arousal-Index (AI) berechnet ( $\Sigma$  Arousals pro Nacht / gesamte Schlafzeit). Basierend auf dem hierarchischen Untersuchungsdesign wurde eine 4-faktorielle Varianzanalyse (1. Faktor: Lärmart, 2. Faktor: Person -geschachtelt unter Lärmart-, 3. Faktor: Pegel, 4. Faktor Dämpfung) durchgeführt. Daran anschließend wurde basierend auf den mittleren Quadratsummen eine Schätzung der Varianzkomponenten durchgeführt.

*Ergebnisse.* Der mit 59.6 % größte Varianzanteil konnte auf den Faktor Person zurückgeführt werden. Die Faktoren Lärmart, Pegel und Dämpfung trugen nicht zur Varianzaufklärung bei. Der Varianzanteil für die Wechselwirkung zwischen den Faktoren Person und Pegel betrug 9.1 %. Auf die dreifache Wechselwirkung zwischen Lärmart, Pegel und Dämpfung konnte keine nennenswerte Varianz zurückgeführt werden.

*Diskussion.* Die Ergebnisse zeigen, dass die größte Varianzkomponente auf den Faktor Person zurückzuführen ist. Da die Faktoren Lärmart, Pegel und Dämpfung keine Varianz aufklären, bleibt fraglich, ob der Arousal-Index zur Erklärung von lärmbedingten Schlafstörungen angesehen werden kann. 23

Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und  
Umweltmedizin (DGAUM) 2005, Bochum/FRG

**Die Beziehung zwischen elektrophysiologischen  
Schlafparametern und kognitiver Leistung**

Anke Marks, Barbara Griefahn

*Ziel der Studie.* Ob moderate Schlafstörungen sich auf die Leistung am nachfolgenden Tag auswirken, ist bislang weitgehend unklar, was mutmaßlich auf die Anwendung ungeeigneter Leistungstests zurückzuführen ist. Basierend auf Hinweisen, dass insbesondere exekutive Funktionen durch Schlafdeprivation beeinträchtigt sind (Jones & Harrison, 2001), war zu prüfen, ob moderate Schlafstörungen, wie sie z. B. durch nächtliche Lärmbelastung hervorgerufen werden, die exekutiven Funktionen stören.

*Methoden.* 12 Männer und 12 Frauen zwischen 20 und 29 Jahren gaben ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an der von der Ethikkommission genehmigten Studie.

Nach einer Gewöhnungsnacht schliefen die Probanden in drei aufeinander folgenden Wochen von Montag Abend bis Freitag Morgen im Labor. Um moderate Schlafstörungen zu erzeugen, wurden die Probanden jeweils eine Woche lang Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräuschen in permutiertem Wechsel ausgesetzt. In den 4 Nächten jeder Woche gab es in randomisierter Folge eine Ruhenacht mit 32 dB(A) Hintergrundrauschen und 3 Nächten mit äquivalenten Dauerschallpegeln von 39, 44 und 50 dB(A).

In allen Nächten wurde während der gesamten Bettzeit (23 – 7 Uhr) das Polysomnogramm (2 EEG, 2 EOG, 1 EMG) zur Beurteilung der Schlaftiefe aufgezeichnet. Nach dem Aufstehen führten die Probanden eine Leistungsaufgabe (switch) zur Prüfung exekutiver Funktionen durch. Bei dieser Aufgabe werden Reaktionszeit und Fehler bei Aufgabenwechsel (switch) und Aufgabenwiederholungen (non-switch) gemessen.

*Ergebnisse.* Die Auswertung der Polysomnogramme zur Beurteilung der Schlaftiefe erfolgte nach den Kriterien von Rechtschaffen & Kales (1968).

Im Vergleich zu den Ruhenächten nahm der Anteil der Wachzeit in den Lärmnächten mit dem Pegel zu und der Anteil des Tief- und Traumschlafes hingegen ab.

Bei gleich bleibender Fehlerrate verlängerten sich in der Switchaufgabe sowohl beim Aufgabenwechsel ( $p=.079$ ) als auch bei Aufgabenwiederholungen ( $p=.061$ ) tendenziell die Reaktionszeiten mit steigendem Pegel. Regressionsanalytisch ermittelte Zusammenhänge zwischen Schlafparametern und Leistungsdaten zeigten, dass die Reaktionszeit mit abfallendem Anteil an Tiefschlaf in beiden Aufgabenbedingungen zunahm (Abbildung 1).

*Schlussfolgerung.* Moderate, durch nächtlichen Verkehrslärm hervorgerufene Schlafstörungen reduzieren nachfolgend die Leistung. Eine mögliche Ursache hierfür ist die partielle Suppression des Tiefschlafes, die, wie frühere Untersuchungen zeigten (Born &

Plihal 2000), bei gleichzeitiger Zunahme der Cortisolausschüttung mentale Prozesse beeinträchtigen.

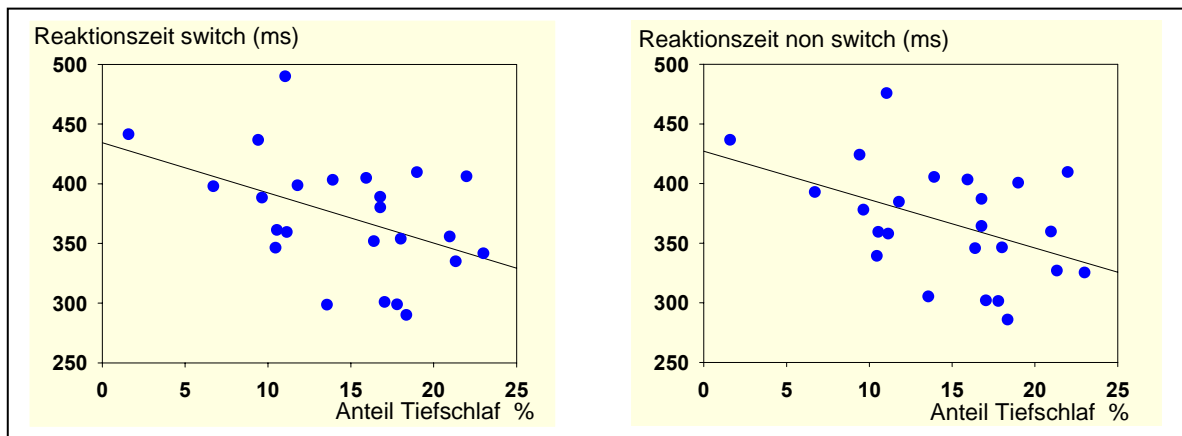


Abb. 1: Regressionsanalytisch ermittelte Zusammenhänge über alle 12 Nächte  
(switch:  $r = -.447$ ,  $p = .028$ ; non-switch:  $r = -.452$ ,  $p = .026$ )

#### Literatur

Born J & Plihal W (2000). Gedächtnisbildung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Stresshormonfreisetzung. *Psychologische Rundschau*, 51 (4), 198-208

Jones K, Harrison Y (2001): Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. *Sleep Medicine Reviews* 5:463-475.

Rechtschaffen A, Kales A (1968): A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages in human subjects. US Dept of Health, Education, and Welfare. Public Health Service – National Institutes of Health, National Institute of Neurological Diseases and Blindness, Neurological Information Network, Bethesda, Maryland 20014

24

## Congress of the European Sleep Research Society (ESRS) 2004, Prag

### Performance and event-related potentials after noise-disturbed nights

Barbara Griefahn, Anke Marks, Sergei A. Schapkin

*Introduction.* Effects of nocturnal noise on cognitive performance the next day are contradictory even in case of clearly disturbed sleep. The reasons are inadequate tests and/or increased effort to avoid impairments, which then may cause additional physiological costs such as increased heart rates or elevated releases of stress hormones.

*Aim of the study.* To study the effects of railway noise on sleep, on subjective evaluation of sleep as well as on executive functions while applying a Go-Nogo task and recording brain potentials.

*Methods.* 12 women and 12 men (19 – 28 yrs) slept from 2300 to 0700 hours during 4 consecutive nights of 3 consecutive weeks in the laboratory. Ever 4 women and 4 men were exposed to railway noise in the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, and 3<sup>rd</sup> week, respectively. During the four nights of the week a quiet night (32 dBA, pink noise) and 3 noisy nights (railway noise of  $L_{Aeq} = 40, 44$  and 50 dBA were randomly applied. The polysomnogram was recorded continuously throughout all nights. Sleep quality was evaluated after awakening and performance tests, focused on executive functions (Go-Nogo, Switch) were completed in the evening and in the morning while recording EEG and EOG.

*Results.* Concerning physiological sleep variables sleep was almost equally impaired by all noise levels. Subjective sleep quality decreased equally to noise of 40 and 44 dBA and stronger to 50 dBA. Performance was not affected but working speed seemed to be lowered to maintain error rate.

The eye blink rate tended to decrease with increasing noise level. Both N2- and P3- amplitudes and N2d latency increased in Nogo as compared to Go trials and amplitudes decreased after nocturnal noisy as compared to quiet nights. The analysis of contrasts revealed no significant differences between the three noise conditions.

*Discussion.* Decreasing eye blink rate indicate increased physiological costs due to increased concentration to maintain performance. Alterations of Nogo-N2 and P3 amplitude suggest that noise-induced sleep disturbances affect inhibition processes at the pre-motor level and at the motor level.

*Conclusions.* The results suggest that performance was not affected by nocturnal noise exposure, but maintained due to increased concentration that is accompanied by additional physiological costs as evidenced by the alterations of N2 and P3 amplitudes, i.e. affected executive functions. 25

Congress of the Federation of European Psychophysiology Society  
(FEPS), 2006, Budapest

**Effects of achievement motivation on inhibitory brain mechanisms after noise-induced sleep disturbance**

Sergei A. Schapkin, Michael Falkenstein, Anke Marks, Barbara Griefahn

Compensatory mechanisms underlying performance after noise-induced sleep disturbance were investigated. The achievement motive was supposed to affect performance positively through the involvement an executive control and/or through the increase in general activation of the cognitive network. Thirty-four healthy young subjects performed a visual Go/Nogo task with simultaneous EEG recording after a quiet night and after three nights with railway noise at equivalent noise levels ( $L_{eq}$ ) of 40, 44, and 50 dBA, respectively. As motive components the hope of success (HS) and fear of failure (FF) were assessed by the MMG (Schmalt et al., 2000) and by the Achievement Orien-

tation scale of the FPI (Fahrenberg et al. 1989). Noise-induced sleep disturbances did not affect behavioural data. In the ERP an attenuation of the N2 and P3 amplitude as well as increase in N2 latency in Noise conditions were found. Only subjects with low HS scores showed a reduction of the N2 under Noise, while subjects with high HS scores did not. The N2 and P3 were larger in high HS than in low HS subjects in Nogo trials only. Similarly, persons with low FF had larger N2 and P3 than persons with high FF in Nogo trials only. The result suggests that achievement motivation influences task-relevant ERP components and their resistance against after-effects of noise-induced sleep disturbance

26

## Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM) 2005, Bochum/FRG

### **Nacheffekte des nächtlichen Verkehrslärms auf inhibitorische Hirnfunktionen**

Sergei A. Schapkin, Michael Falkenstein, Barbara Griefahn

*Ziel der Studie.* Verkehrslärm beeinträchtigt sowohl die objektive als auch die subjektive Schlafqualität (Griefahn et al., 2000). Es gibt Hinweise darauf, dass nächtlicher Verkehrslärm nicht nur direkte negative Effekte auf Schlaf haben kann, sondern auch Nacheffekte auf die kognitive Leistung am Tag (Jones and Harrison, 2001). Die Befunde über Lärmeffekte auf die Leistung sind jedoch äußerst inkonsistent. Wir nehmen an, dass der Mensch meistens in der Lage ist, Schlafdefizite zu kompensieren, so dass Beeinträchtigungen auf der Leistungsebene nicht zu sehen sind. Es kann sich dabei um latente Beeinträchtigungen von Hirnprozessen handeln, die der Leistung am Tag zugrunde liegen. Derzeit gibt es keine Befunde über Nacheffekte lärminduzierter Schlafstörungen auf kognitive Hirnprozesse. In der vorliegenden Studie wurden die Effekte von Schienen-, Strassen- und Fluglärm unter Berücksichtigung der Aufgabenschwierigkeit untersucht.

*Methoden.* 24 Probanden führten – unter gleichzeitiger Registrierung des EEG – leichte und schwierige Go-Nogo-Aufgaben nach drei ruhigen Nächten (RN) sowie nach je drei Nächten mit Schienen- (SL), Straßen- (StL) und Flugverkehrslärm (FL) mit äquivalenten Dauerschallpegeln (Leq) von 40 dB(A), 44 dB(A) und 50 dB(A) aus.

*Ergebnisse.* Bei der schwierigen Aufgabe waren die Amplituden der inhibitionsbezogenen Komponenten der EKPs (Nogo-N2 und Nogo-P3, Falkenstein et al. 1999) kleiner und ihre Latenzen größer als bei der leichten Aufgabe. Bei der schwierigen Aufgabe waren die Nogo-N2 und Nogo-P3- Amplituden nach SL und FL kleiner als nach den RN (Abb.1). Es gab keine Reduktion dieser EKP-Komponenten nach StL. Unter allen Lärmbedingungen zeigten sich keine negativen Nacheffekte auf die Go-P3-Komponente, die Prozesse der Handlungsausführung widerspiegeln. Zwischen den RN

und den Lärmnächten gab es keine Leistungsunterschiede gemessen als Reaktionszeit und Fehlerrate.

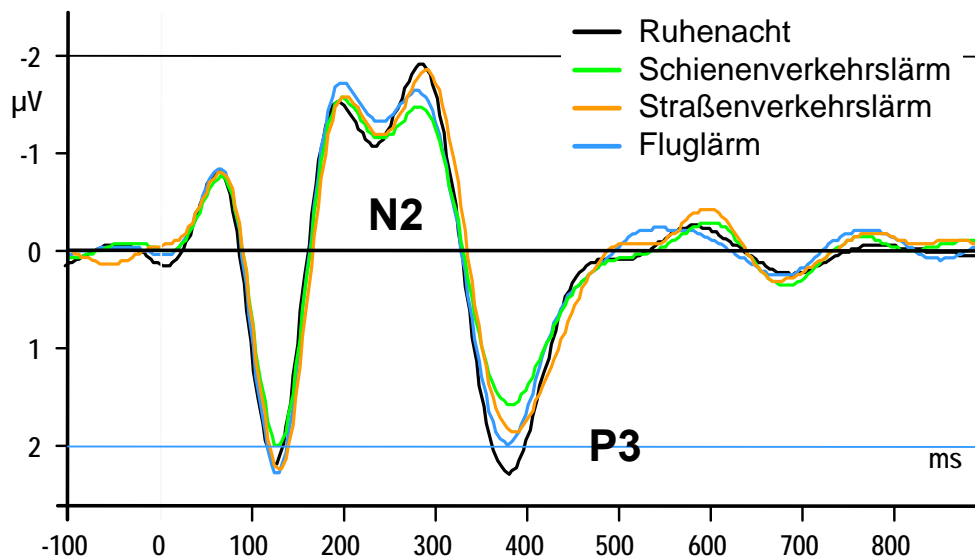


Abb.1. Inhibitionsbezogene N2- und P3-Komponenten des EKPs nach ruhigen Nächten und Nächten mit Exposition gegenüber Verkehrslärm.

*Schlussfolgerungen.* Die Befunde zeigen, dass die lärminduzierten Schlafbeeinträchtigungen auch Nacheffekte auslösen können, die auf dem Leistungsniveau zwar nicht zu sehen sind, wohl aber auf der Ebene der Hirnaktivität. Dabei sind insbesondere Prozesse der Handlungsinhibition betroffen, die für die effektive Handlungskontrolle wesentlich sind. Prozesse der Reizkategorisierung waren bei der Handlungsausführung hingegen resistent gegenüber lärmbedingten Schlafstörungen. Die inhibitionsbezogenen Lärmefekte sind jedoch nur in relativ komplexen Aufgaben zu sehen; eine Erklärung dafür wäre, dass die Kontrollprozesse, die sich in Nogo-N2 und Nogo-P3 niederschlagen, nur bei relativ höher Beanspruchung des kognitiven Systems involviert werden. Die Nacheffekte scheinen bezüglich der Lärmart spezifisch zu sein: SL und FL wirken auf inhibitorische Hirnprozesse stärker als StL. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass der StL vertrauter als die anderen Lärmarten ist, dass damit also nur die weniger vertrauten Geräusche (d.h. SL und FL) während des Schlafs eine Orientierungsreaktion und damit verbundene Schlafbeeinträchtigungen auslösen. Diese Hypothese soll jedoch weiterhin genauer geprüft werden.

#### Literatur

Falkenstein M, Hoormann J, Hohnsbein J. ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychol* 101;1999; 267-291.

Griefahn B, Schuemer-Kohrs A, Schuemer R, Moehler U, Mehnert P. Physiological, subjective, and behavioural responses during sleep to noise from rail and road traffic. *Noise and Health* 3;2000; 59-71.

Jones K, Harrison Y. Frontal lobe function, sleep loss and fragmented sleep. *Sleep Med Rev* 2001;463-475.

## **Schlafqualität und ihre Auswirkung auf inhibitorische Funktionen**

Markus Breimhorst, Michael Falkenstein, Anke Marks, Barbara Griefahn

*Einleitung.* Gestörter Schlaf führt zu einer Beeinträchtigung kognitiver Prozesse. Diese Prozesse können mit ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs) untersucht werden. Studien zum Zusammenhang zwischen Schlafqualität und EKPs beschränken sich vorwiegend auf subjektive und weniger auf objektive Schlafqualität. Die vorliegende Studie untersucht den Zusammenhang von objektiver Schlafqualität und kognitiven Prozessen, insbesondere von exekutiven Kontroll-Funktionen des präfrontalen Kortex, die besonders vulnerabel gegenüber Schlafdeprivation aber auch gegenüber geringen verkehrslärmbedingten Schlafstörungen sind. Dabei wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich eine verminderte Schlafqualität eher auf EKP-Komponenten der motorischen Antworthemmung (Nogo-N2, Nogo-P3) im Sinne einer Verminderung der Amplitude und/oder Verlängerung der Latenz auswirkt, als auf Potentiale, die allgemeine kontrollierte kognitive Prozesse widerspiegeln (Go-P3/P3b).

*Methodik.* Die Stichprobe bestand aus 24 Versuchspersonen (Vpn), davon 12 Männer und 12 Frauen. Die Vpn schliefen drei Wochen (Montag bis Freitag) im Labor unter einem wöchentlichen permutierten Wechsel von Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgerauschen, deren Mittelungspegel in jeweils drei Stufen (40, 44 und 50 dB(A)) variiert wurden. Eine Nacht der Woche diente mit 32 dB(A) Hintergrundrauschen als Ruhenacht. Für die vorliegende Untersuchung wurde nur die Ruhenacht der ersten Woche berücksichtigt. Während der gesamten Nacht wurde das Polysomnogramm registriert.

Am nächsten Morgen führten die Vpn eine Go-/Nogo-Aufgabe durch. Die Go-/Nogo-Aufgabe besteht aus der Darbietung visueller Reize; auf eine Reizkategorie soll eine motorische Reaktion ausgeführt (Go), auf die andere die Reaktion unterdrückt werden (Nogo). Diese Aufgabe wurde sowohl in einfacher als auch in komplexer Version dargeboten. Bei der Bearbeitung der Aufgabe wurde das Hirnstrombild (EEG) an drei Stellen (frontal, zentral, parietal) registriert. Aufgrund technischer Probleme bei der EEG-Registrierung mussten drei Personen von den Analysen ausgeschlossen werden.

Um gute und schlechte Schlafqualität zu bestimmen, wurde eine Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren mit einem aus den Schlafparametern errechneten Schlafstörungsindex durchgeführt. Um Unterschiede der kognitiven Prozesse zwischen guten und schlechten Schläfern festzustellen, wurden die Daten varianzanalytisch ausgewertet.

*Ergebnisse.* Nach der Clusteranalyse konnten die Vpn in 13 schlechte und 8 gute Schläfer eingeteilt werden. Die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigen, dass schlechte Schläfer generell eine verminderte Amplitude und verlängerte Latenz der P3 aufwiesen, wobei tendenziell eher die Go-P3-Komponente von einer Verminderung der Schlafqualität betroffen war. Die N2-Amplitude unterschied sich tendenziell bei guten und schlechten

Schläfern, wobei letztere eine verringerte N2-Amplitude zeigten. Darüber hinaus konnte eine starke Interaktion zwischen 'Schläfer x Aufgabenart' festgestellt werden, wonach schlechte Schläfer eine verminderte N2-Amplitude nur bei Nogo-Durchgängen aufwiesen, jedoch nicht bei Go-Durchgängen.

*Diskussion.* Vpn mit schlechtem Schlaf zeigen eine Reduktion und Verzögerung der P3 sowohl in Go- als auch in Nogo-Aufgaben. Darüber hinaus zeigen sie spezifisch für Nogo-Aufgaben eine Verringerung der N2-Amplitude. Dies deutet darauf hin, dass die Schlafqualität kontrollierte Reizverarbeitung (Go-P3) beeinträchtigt. Zusätzlich zeigt sich auch eine Beeinträchtigung inhibitorischer Funktionen in Form einer Abschwächung prämotorischer Inhibitionsprozesse (Nogo-N2) und eine Reduktion und Verzögerung motorischer Inhibitionsprozesse (Nogo-P3). Trotz dieser Ergebnisse bleibt unklar, ob die verminderte Schlafqualität als alleinige Ursache der Defizite informatorischer Reizverarbeitung angesehen werden kann. **28**



---

# METHODEN, METHODENENTWICKLUNG

## Zeitschriftenartikel

---

### **Aktueller Stand der Polysomnographie**

Thomas Penzel, Ingo Fietze

Im Schlafmedizinischen Zentrum stellt die Polysomnographie die diagnostische Referenz dar. Bei der kardiorespiratorischen Polysomnographie werden die Funktionen Schlaf, Atmung, Kreislauf und Bewegung kontinuierlich mit mindestens 12 Kanälen gemessen und aufgezeichnet. Eine akustische (Mikrofon) und optische (Video) Überwachung ist Bestandteil des Monitorings. Eine Überwachung durch die Anwesenheit geschulten Personal ist bei einer kardiorespiratorischen Polysomnographie in einem Schlaflabor der klinischen Versorgung erforderlich. Nach der Aufzeichnung wird diese nach definierten Kriterien auf Schlafstadien, Atmungsstörungen, Bewegungsstörungen und weitere Ereignisse ausgewertet und die Ergebnisse zu einem Befund zusammen gefasst. Eine computergestützte Aufzeichnung und Wiedergabe der Polysomnographie ist heute Standard und dafür existieren Empfehlungen. Die computergestützte Auswertung ist jedoch noch nicht standardisiert und verschiedene Methoden sind noch in der Erprobung.

*in press Klin Neurophysiol (2007) 38:1-6*

29

### **Interrater agreement in sleep stage classification between centers with different backgrounds**

Mathias Basner, Barbara Griefahn, Thomas Penzel

*Question of the study.* To investigate interrater agreement between scorers from three centers with clinical (UMA) or research (DLR, UDO) backgrounds.

*Patients and Methods.* Each of three centers contributed 20 nights. All 60 nights (37 subjects, 9 female, mean age $\pm$ sd = 41.8 $\pm$ 16.1 years) were scored by each center according to the rules of Rechtschaffen and Kales. 20 subjects underwent OSA diagnosis, the remaining subjects participated in studies on the effects of traffic noise on sleep and were free of intrinsic sleep disorders.

*Results.* According to kappa statistics, interrater agreement between the three centers was excellent in 38%, fair to good in 62% and never poor. Mean kappa values decreased in the order REM, Wake, S2, SWS, S4, S1 and S3. Time spent in the different sleep stages was positively correlated with kappa values. Pair wise comparisons revealed that agreement on S1 was significantly worse for UDO, but concerning all other

stages none of the centers deviated significantly from the other two. Analyses of Venn diagrams showed tendencies of UDO for scoring Wake alone and of UMA for scoring S4 alone.

*Conclusions.* Differences between clinical and research centers were overall minor. Pair wise kappa comparisons of several centers/scorers as well as Venn diagrams may detect systematic deviances of single centers/scorers that consequently should receive additional training.

*Submitted to Somnologie*

30

## **An ECG-based algorithm for the automatic identification of autonomic activations associated with cortical arousal**

Mathias Basner, Barbara Griefahn, Uwe Müller, Gernot Plath, Alexander Samel

*Objectives.* EEG arousals are associated with autonomic activations. Visual EEG arousal scoring is time consuming and suffers from low inter-observer agreement. We hypothesized that information on changes in heart rate alone suffice to predict the occurrence of cortical arousal.

*Methods.* Two visual AASM EEG arousal scorings of 56 healthy subject nights (mean age  $37.0 \pm 12.8$  years, 26 male) were obtained. For each of five heartbeats following the onset of 3581 consensus EEG arousals and of an equal number of control conditions, differences to a moving median were calculated and used to estimate likelihood ratios (LRs) for 10 categories of heartbeat differences. Comparable to five consecutive diagnostic tests, these LRs were used to calculate the probability of heart rate responses being associated with cortical arousals.

*Results.* EEG and ECG arousal indexes agreed well across a wide range of decision thresholds, resulting in a receiver operating characteristic (ROC) with an area under the curve of 0.91. For the decision threshold chosen for the final analyses, a sensitivity of 68.1% and a specificity of 95.2% were obtained. ECG and EEG arousal indexes were poorly correlated ( $r=0.19$ ,  $p<0.001$ ,  $ICC=0.186$ ), which could in part be attributed to three outliers. The Bland-Altman plot showed an unbiased estimation of EEG arousal indexes by ECG arousal indexes with a reasonably small variance. In about 2/3 of all cases, ECG arousal scoring was matched by at least one (22.2%) or by both (42.5%) of the human scorings. Sensitivity of the algorithm increased with increasing duration of EEG arousals. The ECG algorithm was also successfully validated with 30 different nights of 10 subjects (mean age  $35.3 \pm 13.6$  years, 5 male).

*Conclusions.* In its current version, the ECG algorithm cannot replace visual EEG arousal scoring. Sensitivity for detecting  $< 10$  s arousals needs to be improved. However, in a non-clinical population, it may be valuable to supplement visual EEG arousal scoring by this automatic, objective, reproducible, cheap and time-saving method.

*in press SLEEP*

31

## **Aircraft noise effects on sleep: a systematic comparison of EEG awakenings and automatically detected cardiac arousals**

Mathias Basner, Eva-Maria Elmenhorst, Uwe Müller, Barbara Griefahn

Polysomnography is the gold standard for investigating noise effects on sleep. However, data collection and analysis are sumptuous and expensive. Based on heart rate information derived from single channel electrocardiogram (ECG), we recently developed an algorithm for the automatic identification of cardiac activations associated with cortical arousals. In this manuscript, polysomnographic EEG awakenings and automatically detected cardiac activations were systematically compared using laboratory data of 82 subjects (47 female, mean (SD) age 39.7 (12.6) years), 801 subject nights and 17,433 aircraft noise events (ANEs).

The probability of automatically detected cardiac arousals increased monotonously with increasing sound pressure levels (SPLs) of ANEs, exceeding the probability of EEG awakenings in both exposure and noise-free baseline nights by 2.4% to 17.6%. Dose-response curves for reactions (additionally) induced by aircraft noise were practically identical for EEG awakenings and cardiac arousals.

We conclude that automatically detected cardiac arousals can be used as surrogates for EEG awakenings. This inexpensive, objective, and non-invasive method facilitates large scale field studies on the effects of noise on sleep. More studies are needed to further validate the ECG algorithm in the field and to investigate inter-individual differences in its ability to predict EEG awakenings.

*Submitted to Journal of the Acoustical Society of America*

**32**

## **Development of a sleep disturbance index for the assessment of noise-induced sleep disturbances**

Barbara Griefahn, Mathias Basner, Peter Bröde, Anke Marks,  
Sibylle Robens, Alexander Samel

This paper aimed at the development of a sleep disturbance index (SDI) for the assessment of noise-induced physiological alterations of sleep. Seven variables, repeatedly reported to alter during noise exposure were derived from polysomnograms of a reference sample of 38 men and 28 women (19-34 yrs) as recorded in quiet conditions in the laboratory after at least one habituation night. The variables were then submitted to a principal component analysis. The scores of the first principal component that explained 35 % of the variance were used for the calculation of the SDI.

Reliability was ascertained by application of the SDI to a quiet night of 82 persons of the same age from two other laboratory studies where the index-value did not differ from that of the reference sample. Validity was verified by significantly higher index-values determined for noisy nights of 50 persons (25 men, 25 women, 19-28 yrs) and for the first night in the laboratory of 62 persons (37 men, 25 women, 19-34 yrs) as

compared with quiet reference nights of the respective sample. This is supported by a gradual increase of the index-values with age as determined with polysomnograms recorded in 2 large laboratory studies with 128 and 72 participants and a field study with 61 persons whose age varied between 18 and 68.

The SDI may facilitate the interpretation of sleep disturbances caused by environmental influences and its application would improve the comparability of studies performed in this area.

*Submitted to Journal of Sleep Research*

33

## **Markov Modelle zur Vorhersage fluglärmbedingter Schlafstrukturänderungen**

Mathias Basner, Uwe Siebert

*Einleitung.* Aus polysomnographischen Labor- und Feldstudien leitete das DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin Kriterien zum Schutz vor nächtlichen Fluglärm für den Flughafen Leipzig/Halle ab, der zu einem Frachtdrehkreuz ausgebaut werden soll. Mit den hier vorgestellten Analysen sollte untersucht werden, ob die prognostizierte dichte Flugabfolge in der Nacht bei Einhaltung der empfohlenen Kriterien zu gravierenden makrostrukturellen Änderungen des Schlafes führt oder nicht.

*Methodik.* Als Datengrundlage diente eine Feldstudie, in der am Flughafen Köln/Bonn 64 Anwohner polysomnographisch untersucht wurden. Markov Prozesse wurden für die Modellierung einer achtstündigen Bettzeit verwendet. Es wurde nur zwischen den beiden Zuständen Wach und Schlaf (S1 – S4, REM) unterschieden. Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den beiden Zuständen wurden mit logistischen Regressionsmodellen in Abhängigkeit vom aktuellen Zustand, von der in diesem Zustand bereits verbrachten Dauer, von der verstrichenen Schlafzeit und vom Maximalpegel des Fluggeräusches bestimmt. Drei Flugbetriebsszenarien wurden simuliert: Ruhe, Fluglärm vorwiegend am Anfang der Nacht (Modell A) und Fluglärm vorwiegend am Ende der Nacht (Modell E).

*Ergebnisse.* Bezogen auf eine Bettzeit von acht Stunden war der Wachanteil im Vergleich zum Ruhemodell (81,1 min) im Modell A um 3,8 min (+4,7%) und im Modell E um 5,9 min (+7,3%) erhöht. Fluglärm am Ende der Nacht führte jedoch zu größeren Schlafstörungen als Fluglärm am Anfang der Nacht, weshalb empfohlen wird, Fluggeräusche in der zweiten Nachthälfte mit einem Malus von 1,4 dB zu belegen.

*Diskussion.* Im Zusammenhang mit Fluglärmwirkungen auf den Schlaf erlauben Markov Prozesse die flexible Modellierung abhängiger Ereignisse und unterschiedlicher Betriebsszenarien. Bei Einhaltung der vom DLR vorgeschlagenen Schutzkriterien ermitteln die vorgestellten Modelle nur geringfügige fluglärmbedingte Erhöhungen von Wachanteil und der Anzahl zusätzlicher erinnerbarer Aufwachreaktionen.

*Somnologie (2005), 10(4):176-191*

34

---

# METHODEN, METHODENENTWICKLUNG

## Kongressbeiträge

---

Deutsche Gesellschaft für Schlafmedizin (DGSM) 2006,  
Regensburg

### **Interrater agreement between scorers from three laboratories – kappa does not account for all chance expected agreement**

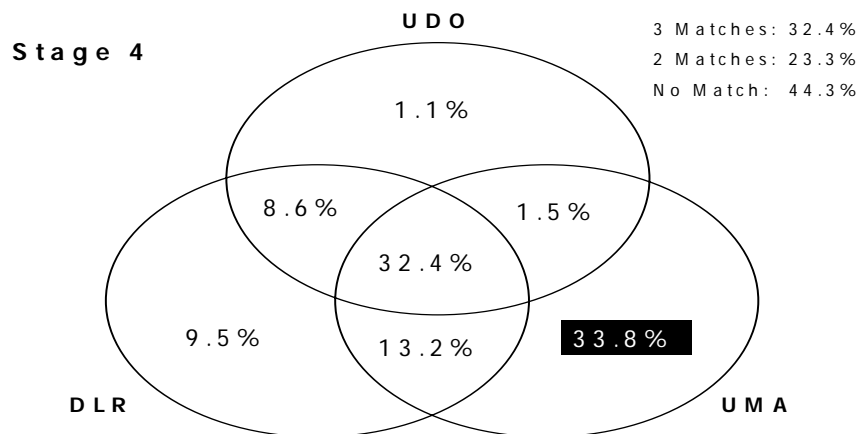
Mathias Basner, Barbara Griefahn, Thomas Penzel, Alexander Samel

*Introduction.* In sleep stage classification, the calculation of interrater agreement is crucial, especially for multi-center studies and for the evaluation of automatic sleep stage classification systems. Even within one-and-the-same lab, the identification of 'bad' scorers is very helpful in order to provide them with additional training. This investigation concentrated on interrater agreement between scorers from three different laboratories.

*Patients and Methods.* Each of three labs (DLR, UDO, UMA) contributed with 20 nights. All 60 nights (57,836 epochs, 28 male and 9 female, mean age $\pm$ sd = 41.8 $\pm$ 16.1 years) were scored by each lab according to the rules of Rechtschaffen *et al.* (1968). Movement time was scored as time awake. 20 subjects underwent OSA diagnosis, the rest participated in studies on the effects of traffic noise on sleep and were free of intrinsic sleep disorders. Interrater agreement was assessed by kappa (Fleiss *et al.* Psycholog.Bull. 1971; 76 378-92), which should adjust for chance expected agreement. By convention, agreement may be excellent (kappa>0.75), good (kappa 0.4-0.75) or poor (kappa<0.4). Kappa values were calculated for all institutions at the same time (1-2-3) as well as pair wise (1-2, 1-3, 2-3). Pair wise comparisons were used to identify systematic deviations of one institute from the other two. Non-parametric tests were used for all statistical analyses. Venn-diagrams were used to investigate preferences of individual labs: All cases where at least one lab scored the specific sleep stage were included in this analysis.

*Results.* Interrater agreement between the three labs was excellent in 38%, good in 62% and never poor. Mean kappa values decreased in the order REM (0.878), Wake (0.820), S2 (0.745), S4 (0.403), S1 (0.352) and S3 (0.284). If S3 and S4 were merged to SWS, kappa increased from 0.284 (S3) and 0.403 (S4) to 0.570 (SWS). Additionally, overall agreement increased significantly from kappa=0.719 to 0.754 (p<.001). Overall, all three labs agreed in 73.1%, at least two agreed in 24.5% and all three disagreed in only 2.4%. The combinations S2/S3/S4, Wake/S1/S2, S1/S2/REM and Wake/S1/REM accounted for 95% of the cases where all labs disagreed. Although kappa should adjust for

all chance expected agreement, the time spent in the different sleep stages was still positively correlated with kappa values. Wake ( $r=0.369$ ), S3 ( $r=0.532$ ) and S4 ( $r=0.773$ ) were statistically significantly ( $p<0.005$ ) correlated with kappa. Here, almost 60% of kappa variance were explained by the time spent in S4. Pair wise comparisons revealed that agreement on S1 was significantly worse for UDO compared to DLR and UMA, but otherwise none of the labs deviated significantly from the other two. The following Venn diagram exemplary shows that UMA scored S4 alone in 33.8% (for OSA patients even in 99.8%). In these cases, the other two labs scored S2/S2 in 46.3%, S2/S3 in 25.8% and S3/S3 in 27.8%.



*Conclusion.* (1) The three labs showed good to excellent interrater agreement. (2) Generally, interrater agreement may be significantly improved if S3 and S4 are combined to SWS. (3) Unexpectedly, kappa did not account for all chance expected agreement. Long passages of the same sleep stage are a possible reason for the increased agreement between different scorers. (4) Pair wise comparisons of several raters may detect systematic deviances of single scorers, that consequently should receive additional training. (5) Venn diagrams may be a helpful tool for detecting, and therefore eliminating, scoring preferences of single scorers/institutions. 35

## Meeting of the Associated Professional Sleep Societies (APSS) 2007, Minneapolis

### **An ECG-based algorithm for the automatic identification of autonomic activations associated with cortical arousal**

Mathias Basner, Uwe Müller, Gernot Plath and Alexander Samel

*Introduction.* EEG arousals are associated with autonomic activations including increases in heart rate. Visual EEG arousal scoring is time consuming and suffers from low inter-observer agreement. We hypothesized that information on changes in heart rate alone suffice to predict the occurrence of cortical arousal.

*Methods.* AASM EEG arousal scorings of 56 healthy subjects (mean age  $37.0 \pm 12.8$  years, 26 male) were obtained by a human scorer and by an automatic scoring system (The Siesta Group<sup>TM</sup>). For each of five heartbeats following the onset of 2697 consensus EEG arousal and of an equal number of control conditions, differences to a moving median were calculated and used to estimate likelihood ratios (LRs) for 10 categories of heartbeat differences. Comparable to five consecutive diagnostic tests, these LRs were used to calculate the probability of heart rate responses being associated with cortical arousal.

*Results.* EEG and ECG arousal indexes agreed well across a wide range of decision thresholds, resulting in a receiver operating characteristic (ROC) with an area under the curve (AUC) of 0.95. For the decision threshold chosen for the final analyses, a sensitivity of 80% and a specificity of 94.5% were obtained. ECG and EEG arousal indexes were significantly correlated ( $r=0.41$ ,  $p<0.001$ ). The Bland-Altman plot showed an unbiased estimation of EEG arousal indexes by ECG arousal indexes with a reasonably small variance. In about 2/3 of all cases, an ECG arousal scoring was matched by at least one (26.4%) or by both (39.1%) of the human or automatic scoring.

*Conclusion.* We conclude that, in a non-clinical population, it is possible to reliably predict autonomic activations associated with cortical arousal by changes in heart rate alone, and that it may be valuable to supplement visual EEG arousal scoring by this automatic, objective, reproducible, cheap and time-saving method.

*Support.* This work was partially financed by the HGF-Virtual Institute 'Transportation Noise Effects on Sleep and Performance' (grant #VH-VI-111). The data used for the analysis were financed within the DLR/HGF-project 'Quiet Air Traffic'. 36

Sensation Conference 2006, Basel/Switzerland

## **Markov state transition models for the prediction of changes in sleep structure induced by aircraft noise**

Mathias Basner, Uwe Siebert

*Purpose.* By dividing polysomnographic recordings into intervals of 30 sec, human sleep can be classified in six distinct states: Awake, stages 1&2 (light sleep), stages 3&4 (slow wave sleep, SWS), and rapid eye movement (REM) sleep. The sleep states differ in their contribution to the restorative power of sleep. Environmental noise is a potential disruptor of the sleep process and may cause changes in the structure of sleep. The goal of this study was to predict changes in total sleep structure depending on sound pressure levels and time patterns of aircraft noise events (ANE).

*Methods.* In four laboratory studies with 128 subjects lasting from 1999 to 2003, the Institute of Aerospace Medicine of the German Aerospace Center (DLR) investigated the influence of aircraft noise on human sleep. Quiet baseline nights of 125 subjects

were used to build and validate a Markov state transition model for the simulation of noise-free nights based on autoregressive multinomial logistic regression. Data of 33,000 ANE and related events were used to incorporate the effects of ANE on transition probabilities. Three noise scenarios (see results) were compared regarding their impact on total sleep structure.

*Results.* A first order autoregressive model with elapsed sleep time as the only additional explanatory variable showed a good fit according to the validation criteria. Comparison of mean sleep stage fractions of baseline nights and 10,000 first-order Monte Carlo trials showed good agreement (model vs. raw data: Awake +0.3%, S1 +1.4%, S2 +0.2%, S3 -0.2%, S4 ±0%, REM -0.6%). Noise restriction between 11 pm and 5 am (scenario 2: 65.2 min SWS, 40 min awake) revealed small benefits compared to unrestricted traffic (scenario 1: 60.7 min SWS, 43.1 min awake), although these benefits were reduced if the traffic that formerly took place between 11 pm and 5 am was rescheduled to the time before and after the silent period (scenario 3: 64 min SWS, 41.7 min awake).

*Conclusions.* It was possible to validly reproduce key features of noise-free baseline nights with a Markov state transition model based on multinomial autoregressive logistic regression. The extension of the model based on extensive data on the reactions to ANEs allows for the comparison of sleep structures induced by different noise patterns and may serve as a valuable tool for structuring nocturnal air traffic and for political decision making. 37

## Meeting of the Associated Professional Sleep Societies (APSS) 2007, Minneapolis

### **Markov state transition models for the prediction of changes in sleep structure induced by aircraft noise**

Mathias Basner, Uwe Siebert

*Introduction.* This investigation quantitatively assessed the effects of the introduction of a noise-free period at Frankfurt Airport between 11 pm and 5 am on sleep structure.

*Methods.* A six state (Wake, S1, S2, S3, S4 and REM) Markov state transition sleep model was built. Transition probabilities between states were calculated for both noise-free and noise conditions with autoregressive multinomial logistic regression based on polysomnographic laboratory studies, where 125 healthy subjects were investigated for 13 consecutive nights. First-order Monte Carlo simulation trials were performed for modelling a noise-free night and three noise scenarios: (1) traffic at Frankfurt Airport on 16 August 2005, (2) as (1), but flights between 11 pm and 5 am cancelled and (3) as (2), with flights between 11 pm and 5 am from (1) rescheduled to periods before 11 pm and after 5 am.

*Results* The results of the models indicate that there will be a small benefit for airport residents compared to the current situation without a ban of air traffic in terms of sleep structure even if all traffic is rescheduled to periods before 11 pm and after 5 am (average time spent awake -3.2%, S1 -4.6%, S2 -0.9%, S3 +3%, S4 +9.2%, REM +0.6%, number of sleep stage changes -2.5%). This benefit is likely to be outweighed by the increase in air traffic during shoulder hours, especially for those who choose to or have to go to bed before 10:30 pm or after 1 am.

*Conclusion.* Alternative strategies might be necessary to both guarantee undisturbed sleep of airport residents and to minimize economic and legal disadvantages accompanied by a ban of air traffic between 11 pm and 5 am. The models developed in this investigation may serve as a valuable tool for optimizing air traffic patterns at airports, and therefore guide political decision making.

*Support.* This work was partially financed by the HGF-Virtual Institute 'Transportation Noise Effects on Sleep and Performance' (grant #VH-VI-111). The data used for the analysis were financed within the DLR/HGF-project 'Quiet Air Traffic'. **38**

Deutsche Gesellschaft für Schlafmedizin (DGSM) 2006,  
Regensburg

## **Subjektive Einschätzung zu Befindlichkeit und Schlaf bei Patienten mit schlafbezogenen Atmungsstörungen**

Thomas Ploch, Werner Cassel, T Speicher, A Loh, Sebastian Canisius

*Fragestellung.* Die subjektive Einschätzung der Befindlichkeit und des Schlafes bei Patienten mit Verdacht auf schlafbezogene Atmungsstörungen (SBAS) stellt ein wichtiges diagnostisches Instrument in der Schlafmedizin dar. Es ist jedoch weiterhin unklar, in wie weit sich der Ausprägungsgrad der schlafbezogenen Atmungsstörungen (AHI) in den verschiedenen Fragebögen zu Befindlichkeit und Schlaf widerspiegelt.

*Patienten und Methoden.* Von Patienten mit dem Verdacht auf schlafbezogene Atmungsstörungen wurden der Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), die Epworth Sleepiness Scale (ESS), der Morgenfragebogen vom Insitiut für Arbeitsphysiologie an der Uni Dortmund (siehe Abbildung 1, im folgenden IfADo-Fragebogen genannt) ausgefüllt sowie die Daten der diagnostischen Polysomnographie erfasst. Es wurden Fragebögen an 200 Patienten verschickt, 138 sandten die Fragebögen zurück, 99 Bögen waren auswertbar. Die Patienten wurden in drei Gruppen abhängig vom Schweregrad der SBAS eingeteilt (AHI 0-5, AHI 5-20, AHI > 20/h) und die Scores der Fragebögen gruppenbezogen analysiert.

*Ergebnisse.* Es wurden 99 Patienten (mittl. Alter  $54,9 \pm 11,8$  Jahre, mittl. BMI  $32,7 \pm 11,3$  kg/m<sup>2</sup>, mittl. AHI  $28,1 \pm 23,5$ /h) untersucht, nur bei 5 Patienten zeigte sich eine

gute subjektive Schlafqualität (PSQI < 5). Es zeigten sich außer für den PSQI keine signifikanten Unterschiede zwischen den Patientengruppen.

*Schlussfolgerungen.* Die geringe Rücklaufquote sowie Auswertbarkeit der Fragebögen deuten eine uneinheitliche Brauchbarkeit z.B. bei Schichtarbeitern und die Notwendigkeit präziserer Anleitungen zum Ausfüllen an. Es zeigt sich keine Abhängigkeit subjektiv guten Schlafes vom Schweregrad der Erkrankung. Die Verwendbarkeit des PSQI bei Patienten mit Verdacht auf SBAS ist möglicherweise eingeschränkt. **39**

---

# ANWENDUNG

## Zeitschriftenartikel

---

### **Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study.**

Mathias Basner, Ullrich Isermann, Alexander Samel

The Institute of Aerospace Medicine at the German Aerospace Center (DLR) investigated the influence of nocturnal aircraft noise on sleep in polysomnographic laboratory and field studies between 1999 and 2004. The results of the field studies were used by the Regional Council of Leipzig (Germany) for the establishment of a noise protection plan in the official approval process for the expansion of Leipzig/Halle airport.

Methods and results of the DLR field study are described in detail. Special attention is given to the dose-response relationship between the maximum sound pressure level of an aircraft noise event and the probability to wake up, which was used to establish noise protection zones directly related to the effects of noise on sleep. These protection zones differ qualitatively and quantitatively from zones that are solely based on acoustical criteria.

The noise protection plan for Leipzig/Halle airport is presented and substantiated: (1) on average, there should be less than one additional awakening induced by aircraft noise, (2) awakenings recalled in the morning should be avoided as much as possible, (3) aircraft noise should interfere as little as possible with the process of falling asleep again. Issues concerned with the representativeness of the study sample are discussed.

*Journal of the Acoustical Society of America* (2006) 119:2772-2784

40

### **Eine schlafphysiologische Bewertung nächtlicher Flugbetriebsbeschränkungen vor dem Hintergrund aktueller Urteile des Bundesverwaltungsgerichts**

Mathias Basner, Alexander Samel

Nachtflugverbote haben für Konzepte zum Schutz der Bevölkerung vor den Folgen nächtlichen Fluglärms an Bedeutung gewonnen, seitdem das Bundesverwaltungsgericht in 2006 der planfeststellenden Behörde im Fall Flughafen Berlin Brandenburg International (BBI) die beantragte, bis auf wenige Ausnahmen uneingeschränkte Betriebserlaubnis in der Nacht versagt hat und im Fall Flughafen Leipzig/Halle (FLH) zwar den nächtlichen Verkehr des Express-Fracht-Kreuzes billigte, im Übrigen aber wie bei BBI eine erneute Abwägung der Zulassung nächtlichen Flugverkehrs verlangte. Das

höhere passive Schallschutzniveau des DLR-Konzeptes im Vergleich zu anderen Schutzkonzepten spielte im Fall Leipzig/Halle für das Bundesverwaltungsgericht keine entscheidende Rolle.

Anhand subjektiver Daten zu Bettzeiten und objektiver Daten zum Schlafverhalten werden mögliche Folgen der durch das Bundesverwaltungsgericht vorgenommenen Dreiteilung der Nacht in Kernruhezeit (0:00 bis 5:00 Uhr), Nachtrandstunden (22:00 bis 0:00 Uhr und 5:00 bis 6:00 Uhr) und Tagesstunden für den Schutz des Schlafs diskutiert.

Wir kommen zu dem Schluss, dass aus schlafphysiologischer Sicht (1) die Tagesrandstunden keineswegs als unproblematisch eingestuft werden dürfen, insbesondere für die nicht erwachsene Bevölkerung und bei Flughäfen mit relevantem Verkehrsaufkommen in dieser Zeitperiode, (2) dass es deshalb bei derzeitigem Kenntnisstand unklar ist bzw. einer Einzelfallprüfung unterliegt, ob eine Kernruhezeit einem kontingentierten, aber zeitlich unbeschränkten Flugbetrieb in der Nacht tatsächlich vorzuziehen ist, und dass (3) die Gleichstellung der für BBI und FLH aufgestellten Schutzkonzepte hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung zur Abwehr unzumutbarer Belastungen durch das Bundesverwaltungsgericht wahrscheinlich dazu führen wird, dass bevorzugt das Schutzkonzept mit dem geringeren Schutzniveau Anwendung findet, was aus schlafphysiologischer Sicht nicht unbedenklich ist.

*Lärmbekämpfung* (2007) 2(3):86-94

41

## **Nachtfluglärmwirkungen: Forschung und Anwendung**

Alexander Samel, Mathias Basner, Ullrich Isermann

Das Flugverkehrsaufkommen steigt kontinuierlich an. Einerseits wird durch die Luftfahrt das Mobilitätsbedürfnis der Menschen für sich und ihre Güter erfüllt, andererseits hat der Flugverkehr auch negative Seiten. So wird besonders der durch den Flugbetrieb erzeugte Lärm von der Bevölkerung in der Umgebung von Flughäfen als sehr unangenehm empfunden. Das gravierendste Problem stellen Schlafstörungen durch nächtlichen Fluglärm dar. Mit einer umfangreichen Studie zum Einfluss von Nachtfluglärm auf den Schlaf hat das DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin wichtige neue Erkenntnisse gewonnen. Die daraus abgeleiteten Schutzkriterien werden zum Ausbau des Flughafens Leipzig/Halle zum Nutzen sowohl der Betroffenen als auch der Verursacher von Fluglärm angewendet.

*Flug- und Reisemedizin* (2007) 14(1):27-31

42

---

# ANWENDUNG

## Kongressbeiträge

---

internoise 2006, Honolulu/USA

### **Aircraft noise effects on sleep: DLR research and application**

Mathias Basner, Alexander Samel, Ullrich Isermann

The Institute of Aerospace Medicine at the German Aerospace Center (DLR) investigated the influence of nocturnal aircraft noise on sleep in polysomnographic laboratory and field studies between 1999 and 2004. The results of the field study were used by the Regional Council of Leipzig (Germany) for the establishment of a noise protection plan in the official approval process for the expansion of Leipzig/Halle airport to an international freight hub.

Of the results, special attention is given to the dose-response relationship between the maximum sound pressure level of an aircraft noise event and the probability to wake up, which was used to establish noise protection zones directly related to the effects of noise on sleep. These protection zones differ qualitatively and quantitatively from zones that are solely based on acoustical criteria.

The noise protection plan for Leipzig/Halle airport is presented and substantiated: (1) on average, there should be less than one additional awakening induced by aircraft noise, (2) awakenings recalled in the morning should be avoided as much as possible, and (3) aircraft noise should interfere as little as possible with the process of falling asleep again. Issues concerned with the representativeness of the study sample are discussed.**43**

EURONOISE 2006, Tampere/Finland

### **Aircraft noise effects on sleep: DLR research results and their application**

Alexander Samel, Mathias Basner

DLR studied human reactions to nocturnal aircraft noise in laboratory and field experiments for developing sound criteria for the protection of residents living near airports. The results of the field studies were utilized by the Regional Council of Leipzig for establishing a noise protection plan during night in the official approval process of the expansion of airport Leipzig/Halle.

In the laboratory, 128 subjects were examined during 13 consecutive nights, including 16 subjects as control. 4 to 128 aircraft noise events (ANEs) were applied per night with

maximum sound pressure levels (SPLs) between 45 and 80 dBA. Sleep was assessed by polysomnography. Electrophysiological signals were simultaneously recorded with ANEs for analyzing event-related reactions. Data and results were validated in the field with 64 residents during 9 consecutive nights living near Cologne airport.

In the laboratory, aircraft noise led to some sleep fragmentation, as stage 1 and awakenings were significantly increased, and slow wave sleep reduced compared to baseline nights. Dose-response relationships were established regarding number and maximum SPL of ANEs. In the field, aircraft noise hardly changed sleep structure. At the same maximum SPL awakening probability was much lower, but habituation was not complete.

Based on the field results, new criteria for protecting residents against nocturnal aircraft noise were developed and exemplified for the extension of airport Leipzig/Halle. The aims of the protection plan are: (1) on average, less than one additional awakening should be induced by aircraft noise, (2) awakenings recalled in the morning should be avoided, (3) aircraft noise should interfere with the process of falling asleep again as little as possible. 44

## Meeting of the Associated Professional Sleep Societies (APSS) 2007, Minneapolis

### **Aircraft noise effects on sleep: DLR research results and their application**

Alexander Samel, Mathias Basner, Ullrich Isermann

*Introduction.* DLR studied the effects of nocturnal aircraft noise in laboratory and field experiments in order to develop sound criteria for the protection of residents living near airports.

*Methods.* In the laboratory, 128 subjects (18-65 years, 53 male) were polysomnographically examined during 13 consecutive nights. 4 to 128 aircraft noise events (ANEs) were applied per night with maximum sound pressure levels (SPLs) between 45 and 80 dBA. Data and results were validated in the field with 64 (19-61 years, 29 male) subjects during 9 consecutive nights living near Cologne airport.

*Results.* In the laboratory and based on TIB, aircraft noise led to sleep fragmentation, as both amounts of Stage 1 (+2.2 min,  $p < .001$ ) and the number of awakenings (+3.5,  $p < .001$ ) were increased with noise exposure. SWS was reduced by 5.3 min ( $p < .001$ ). Unexpectedly, total sleep time increased on average by 2.5 min ( $p = .354$ ), most probably caused by a reduction in sleep onset latency (-3.1 min,  $p = .002$ ) and decrements in the duration of spontaneous awakenings in exposure nights. Both may be attributed to minor partial sleep deprivation accumulated during previous exposure nights. Dose-response relationships with both increasing number and maximum SPL of ANEs were

observed as well as a prominent first-exposure-night effect. In the field, aircraft noise lead to no obvious changes in sleep structure. Additionally, at the same maximum SPL awakening probability was much lower compared to the laboratory.

*Conclusions.* Based on the field results, new criteria for protecting residents against nocturnal aircraft noise were developed for the extension of Airport Leipzig/Halle. The aims of the protection plan are: (1) on average, less than one additional awakening should be induced by aircraft noise, (2) awakenings recalled in the morning should be avoided, (3) aircraft noise should interfere with the process of falling asleep again as little as possible. **45**

internoise 2007, Istanbul/Türkei

### **Sleep disturbances: What are adequate descriptions?**

Alexander Samel, Mathias Basner, Barbara Griefahn

To correctly describe effects of community noise on human behavior and health is of supreme interest, since protection concepts highly depend on the ability to predict these effects for future developments (of traffic infrastructure and) traffic volume.

Currently, various acoustical measures are used to directly or indirectly estimate the effects of noise on different human functions. The acoustical parameters serve as the independent variables predicting human responses. Optimally, this results in a dose-response relationship. The best acoustical descriptor for these relationships depend both on noise assessment and on the human response of interest. In particular, noise effects on human sleep can be assessed in various ways: If e.g. annoyance and subjective assessments of sleep disturbances are central for an investigation, integrated values of noise levels usually describe the exposure-effect relationship best. The ICBEN-scale for the assessment of annoyance by a noise source estimated by the  $L_{DEN}$  or  $L_{night}$  is one example. However, if physiological correlates of sleep disturbances (e.g. awakenings, sleep stage changes) are of particular interest, such an integrated acoustical metric will not be sufficient to describe the effects. Here, descriptors of single noise events are essential to develop dose-response relationships. Suitable metrics are the  $L_{AS,max}$  or SEL and the number of acoustical events. The latter metrics were accepted by the German Supreme Federal Administrative Court as an alternative method to estimate physiological sleep disturbances caused by aircraft noise.

In a meta-analysis of different field and laboratory experiments which is still under way, it will be evaluated whether different traffic modes lead to different dose-response relationships for physiological sleep disturbances. **46**



---

# PRAKTIKUMSBERICHT

---

## Lärmwirkungsstudie im stationären Bereich und der Einfluss auf die Schlafqualität

Sonja Denjean

Die vom interdisziplinären schlafmedizinischen Zentrum der Charité betreute 'Lärmwirkungsstudie' beschäftigt sich mit der Schlafqualität stationärer Patienten im Krankenhaus im Vergleich zu zuhause und einem möglichen Zusammenhang mit einer erhöhten Lärmbelastung im Krankenhaus. Anlass für die Studie war die Erkenntnis, dass sich schlechter Schlaf nachhaltig negativ auf die Gesundheit auswirkt. Die Querschnittsstudie wurde anhand von bislang nicht validierten Fragebögen auf allen Stationen des Bettenhochhauses der Charité durchgeführt. Bislang haben 50 Personen an der Studie teilgenommen, davon 31 Männer und 17 Frauen, im Alter zwischen 19 und 75 Jahren.

Es konnte gezeigt werden, dass die Patienten im Krankenhaus im Durchschnitt kürzer schliefen als zuhause. Auch war im Gegensatz zum Schlaf zuhause, kein Unterschied in der Schlafdauer im Krankenhaus unter der Woche und am Wochenende festzustellen.

Die Gesamtgestörtheit durch Lärm wurde im Krankenhaus besonders in der Nacht als negativer als zuhause empfunden, die Mehrheit der Patienten fühlte sich im Krankenhaus jedoch nicht sehr stark durch Lärm gestört. Als störend empfundene Geräuschquellen konnten vor allem laute Zimmernachbarn, technische Geräte und Baustellenlärm identifiziert werden.

Außerdem hat sich gezeigt, dass die Patienten im Krankenhaus vermehrt auf Schlafhilfen wie Schlafmittel und Gehörstöpsel zurückgreifen. Trotz dieser Schlafhilfen, schliefen die Patienten mit Schlafhilfen im Durchschnitt deutlich schlechter als die Patienten ohne Schlafhilfen.

Die gewonnenen Erkenntnisse decken sich mit dem aktuellen Forschungsstand. Durch diese Studie konnte allerdings gezeigt werden, dass bei den Patienten des Bettenhochhauses der Charité tatsächlich die Notwendigkeit der Verbesserung der Schlafqualität besteht. Durch welche Mittel dies geschehen könnte bleibt offen.

Die Studie hat gezeigt, dass die Gabe von Schlafhilfen alleine nicht ausreicht. Ein Anfang wäre die Reduktion von vermeidbarem Lärm. 47