

Lärmbedingte Schlafstörungen – vergleichende Untersuchung dreier Verkehrslärmarten

Barbara Griefahn, Jürgen Damaschke, Christa Künemund und
Anke Marks

Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund

Einleitung/Hypothese

Im Rahmen des Forschungsverbundes ‚Leiser Verkehr‘ werden am *IfADo* derzeit Untersuchungen zur wirkungsorientierten Bewertung unterschiedlicher Verkehrslärmarten auf den Schlaf durchgeführt, wovon hier Teilergebnisse präsentiert werden.

In vielen Ländern – wie in der Bundesrepublik Deutschland – gibt es einen gesetzlich verankerten Schienenbonus, der an Bahntrassen einen höheren Mittelungspegel als an Straßen erlaubt. Dieser Bonus basiert auf Ergebnissen mehrfach replizierter sozialwissenschaftlicher Untersuchungen, in denen die Anrainer lärmemittierender Verkehrswege zur Belästigung durch Verkehrslärm befragt wurden. Die Ergebnisse von 55 methodisch vergleichbaren sozialwissenschaftlichen Untersuchungen fassten Miedema und Mitarbeiter in einer Metaanalyse zusammen (Miedema & Vos 1998; Miedema & Oudshoorn 2001). Danach zeigt sich sehr deutlich, dass Fluglärm am stärksten und Schienenverkehrslärm am wenigsten belästigt. Ob diese bezüglich der Belästigung unstrittigen Unterschiede aber auch für andere Funktionen, wie etwa die Leistung und den Schlaf gelten, ist fraglich, zumal eine Feldstudie an 377 Anwohnern frequentierter Verkehrswege (Straße, Schiene)

in bzw. nach 2x5 aufeinander folgenden und jeweils vor einem Arbeitstag gelegenen Nächten weder für das aktimetrisch (durch Körperbewegungen) indizierte Schlafverhalten, noch für die Einschätzung der Schlafqualität oder die psychomotorische Leistung Unterschiede zwischen Anwohnern zeigte, die eher dem Straßen- bzw. dem Schienenverkehrslärm ausgesetzt waren.

Da das Gehirn auch während des Schlafes akustische Reize perzipieren, analysieren und adäquat beantworten kann, wurde aus den Ergebnissen von Miedema die Hypothese abgeleitet, dass der Mensch auch im Schlaf entsprechend differenziert auf Lärm reagiert.

In der hier dargestellten laborexperimentellen Untersuchung wurden die von den drei wichtigsten Verkehrsträgern (Schiene, Straße, Luft) emittierten Geräusche mit gleichen Mittelungspegeln, gleichen Maximalpegeln und gleichem Verlauf über die Nacht appliziert und deren Wirkung auf den Schlaf, auf die subjektive Bewertung und auf die Leistung geprüft, wobei erstmals spezielle, auf exekutive Funktionen fokussierte Tests zur Anwendung kamen.

Material und Methoden

Probanden. An der von der Ethik-Kommission genehmigten Untersuchung beteiligten sich 32 gesunde Probanden (16 Frauen, 16 Männer) im Alter von 19 bis 28 Jahren.

Experimentelles Design. Nach einer Gewöhnungsnacht von Sonntag auf Montag schliefen die Probanden in drei aufeinander folgenden Wochen, jeweils vier aufeinander folgende Nächte, von Montag bis Freitag im Labor. Die Kontrollgruppe (vier Frauen, vier Männer) schlief durchgehend unter Ruhebedingungen (Rosa Rauschen, 32 dB(A)). Die Experimentalgruppe wurde in wöchentlich permutiertem Wechsel dem Straßen-, Schienen- bzw. Luftverkehrslärm, in den vier Nächten einer Woche in wiederum permutierter Folge einer Ruhenacht und drei Lärmnächten mit Mittelungspegeln von 39, 44 bzw. 50 dB(A) ausgesetzt.

Versuchsablauf. Die Probanden kamen gegen 21.00 Uhr ins Institut, wo die Elektroden zur Registrierung des Polysomnogramms (zur Bestimmung der Schlaftiefe) fixiert wurden. Nach Durchführung zweier Leistungstests schätzten sie die aktuelle Situation mittels eines Kurzfragebogens ein und gingen danach ins Bett. Um 23.00 Uhr wurde das Licht gelöscht, mit der Applikation der Geräusche und mit der Aufzeichnung der physiologischen Parameter begonnen. Die Probanden schliefen in getrennten schallisolierten Räumen, in denen die Lufttemperatur auf 20 °C eingestellt war.

Nach dem Wecken um 07.00 Uhr wurden die Schlafqualität und die aktuelle Stimmung mittels kurzer Fragebögen

eingeschätzt und danach wiederum die beiden Leistungstests durchgeführt.

Verkehrsgläusche. Die Geräusche wurden über jeweils zwei Lautsprecher in die Schlafräume eingespielt. In den Ruhenächten wurde kontinuierlich ein Rosa Rauschen mit 32 dB(A) appliziert, das in den Lärmnächten mit Schienen-, Straßen- bzw. Luftverkehrslärm überlagert war. Da die Wirkungen des Verkehrslärms auf der Basis der Mittelungspegel verglichen werden sollten, wurden möglichst viele akustische Parameter konstant gehalten. Alle drei Geräuscharten wurden mit gleichen Mittelungspegeln (L_{eq}), gleichen Maximalpegeln und gleichem für den Straßenverkehr und den Flugverkehr charakteristischen Verlauf, d. h. einer bis 01.00 Uhr abnehmenden und ab 04.00 Uhr bis zum frühen Morgen wieder zunehmenden Verkehrsdichte, appliziert. Um bei gleichen Maximalpegeln einen für alle Geräuscharten gleichen Mittelungspegel zu erzielen, war die Anzahl der Ereignisse unterschiedlich. Für jede Verkehrsart wurden drei Belastungsstufen mit Mittelungspegeln von 39, 44, und 50 dB(A) entwickelt.

Aufzeichnung abhängiger Variablen

Polysomnogramm. Das Polysomnogramm (zwei EEG, zwei EOG, EMG) wurde kontinuierlich während der gesamten Nacht nach den international anerkannten Kriterien von Rechtschaffen und Kales (1968) registriert.

Subjektive Bewertung. Die Probanden schätzten mit Hilfe kurzer Fragebögen

abends die aktuelle Situation und das aktuelle gesundheitliche Befinden, am folgenden Morgen die Schlafqualität, die Stimmung und die Müdigkeit ein.

Leistungstests. Zwei in einer vorausgegangenen Sitzung eingeübte Leistungstests wurden jeden Abend und jeden Morgen am PC durchgeführt.

Go/Nogo-Test. In der einfachen Version leuchteten die Worte 'drück' und 'stopp' jeweils 50 Mal in randomisierter Folge 170 ms lang in der Mitte des Bildschirms auf. Die Probanden sollten nur auf das Signal 'drück' mit einem Tastendruck reagieren. In der komplexen Version erschienen beide Worte je 50 Mal sowohl in Klein- als auch in Großbuchstaben, wobei nur auf 'drück' und 'STOPP', nicht aber auf 'DRÜCK' und 'stopp' zu reagieren war. Das Interstimulus-Intervall betrug 1750 ms.

Switch-Test. Eine zweistellige Zahl leuchtete jeweils 170 ms lang in jeweils einer Ecke eines virtuellen, einen Fixpunkt (kleiner Kreis) in der Mitte des Bildschirms umgebenden Quadrates auf. Bei Zahlen oberhalb der virtuellen Mittellinie war die Position der geraden Ziffer, bei Zahlen unterhalb der Mittellinie die der größeren Ziffer mittels zweier entsprechend angeordneter Tasten anzugeben. Da die insgesamt 240 Zahlen im Uhrzeigersinn präsentiert wurden, konnten sich die Probanden auf die nachfolgende Aufgabe (Wiederholung/Wechsel) vorbereiten. Das Reaktions-Stimulus-Intervall betrug jeweils 1000 ms.

Auswertung. Zwei in der Schlaftiefenanalyse erfahrene Mitarbeiter werteten

die Polysomnogramme von jeweils 16 nach Geschlecht und Versuchsbedingung gleich verteilten Probanden nach den Kriterien von Rechtschaffen und Kales (1968) aus, die zehn Nächte jedes Probanden jeweils in Zufallsfolge. Die Inter-Rater-Reliabilität war deutlich über 90 %, was nach Untersuchungen von Danker-Hopfe et al. (2004) als ausreichend zu beurteilen ist. Aus jedem Polysomnogramm wurden folgende Parameter abgeleitet: Gesamtwachzeit, Gesamtschlafzeit (TST), reine Schlafzeit (PST), Schlaffeffizienz-Index (SEI = PST/TST), Anteile der Stadien 1, 2, Tiefschlaf (slow-wave-sleep, SWS), REM (rapid-eye-movements), Einschlafdauer, Latenz bis zum SWS, Dauer des 1. Schlafzyklus.

Die subjektive Schlafqualität wurde mittels sechs durch zehn Stufen unterteilte Skalen ermittelt, die einer Faktorenanalyse zufolge auf einem Faktor luden. Diese Subskalen wurden zu einem Schlafqualitätsindex (SQ) aufaddiert.

Leistung. Reaktionszeiten und Fehleraten im Switch-Test wurden getrennt für Wiederholungen und Aufgabenwechsel gerechnet und die Differenz zwischen beiden als Indikator der Wechselkosten gerechnet. Für den Go/Nogo-Test wurden wiederum Reaktionszeiten und Fehleraten bestimmt. Da die Fehlerrate in keinem Test, weder im Vergleich zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe, noch zwischen den Ruhe- und Lärnächten der Experimentalgruppe, einen Lärmeinfluss zeigte, wurden diese im Ergebnisteil nicht präsentiert.

Statistik. Statistische Unterschiede zwischen den Ruhe- und Lärmnächten der Experimentalgruppe wurden mit dem t-Test für verbundene Stichproben, Unterschiede zwischen der Kontroll- und der Experimentalgruppe, für den Einfluss der Lärmpegel und der Geräuschart mit dem Generalisierten linearen Modell gerechnet. Korrelationen zwischen physiologischen Schlafparametern, subjektiver Bewertung und Leistung wurden mit Hilfe linearer Regressionsmodelle gerechnet. Ein p-Wert < 0.05 wurde als signifikant, ein p-Wert < 0.10 als signifikanter Trend eingestuft. Alle Berechnungen wurden mit SPSS 11.0 für Windows durchgeführt.

Ergebnisse

Kontrollgruppe vs Experimentalgruppe. In den drei Ruhenächten der Experimentalgruppe und den entsprechenden Nächten der Kontrollgruppe waren Schlafverhalten, subjektive Einschätzung und Leistung vergleichbar. Die neun Lärmnächte der Experimentalgruppe zeigten nur geringe Unterschiede zu den entsprechenden ungestörten Nächten der Kontrollgruppe. Die Gesamtschlafzeit war tendenziell verkürzt ($p=0.071$), die Wachzeit war signifikant verlängert ($p=0.045$) und die reine Schlafdauer verkürzt ($p=0.043$). Die Probanden bewerteten ihre Schlafqualität signifikant schlechter ($p=0.027$) und tendierten im Switch-Test zu höheren Wechselkosten ($p=0.079$).

Reaktion der Experimentalgruppe auf Lärm

Globale Lärmwirkung. In den neun über alle Verkehrslärmarten und Pegel gemittelten Lärmnächten war das Schlafverhalten der Experimentalgruppe im Vergleich zu den drei Ruhenächten deutlich verändert (Tab. 1). In den Lärmnächten war die Gesamtwachzeit signifikant länger, die reine Schlafzeit war verkürzt und die Schlafeffizienz entsprechend reduziert. Der Anteil des Stadiums 1 war höher, der Tiefschlaf wurde später erreicht und der erste Schlafzyklus war verlängert. Tiefschlaf und REM-Schlaf waren verkürzt. Nach den Lärmnächten wurden Schlafqualität und Stimmung schlechter bewertet und die Müdigkeit höher eingestuft. Die Reaktionszeiten im Switch-Test waren nach den Lärmnächten sowohl bei Aufgabenwiederholungen als auch bei Aufgabenwechseln tendenziell verlängert.

Verkehrslärmarten. Die über alle Pegelstufen der drei Verkehrsgeräusche gemittelten Reaktionen waren varianzanalytisch auf Unterschiede getestet worden. Keine der subjektiven Bewertungen und keiner der Leistungsparameter zeigte ein auf die Lärmart bezogenes unterschiedliches Verhalten, ebenso wenig wie die meisten physiologischen Schlafvariablen. Unter Einwirkung von Luft- und Schienenverkehrslärm war der Tiefschlaf aber deutlich später als bei Straßenverkehrslärm erreicht (Abb. 1). Der Anteil des Tiefschlafs war signifikant, der des REM-Schlafs tendenziell verkürzt, am wenigsten unter Einwirkung von Luftver-

Tabelle 1: Physiologische Schlafvariablen, subjektive Bewertung und Leistung in bzw. nach den drei Ruhenächten und den neun Lärmnächten der Experimentalgruppe. Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (SD), p-Werte berechnet mit dem t-Test.

Abhängige Variablen	Ruhenächte		Lärmnächte	p-Werte
	AM ± SD		AM ± SD	
<i>Polysomnogramm</i>				
Einschlafdauer (min)	21.8 ± 12.6		23.5 ± 10.6	.276
Gesamtwachzeit (%)	11.4 ± 4.9		13.2 ± 4.5	.006
Gesamtschlafzeit TST	455.3 ± 19.6		454.6 ± 10.3	.110
Reine Schlafzeit PST	425.3 ± 23.5		415.7 ± 22.2	.002
Schlafeffizienz SEI	0.93 ± 0.03		0.91 ± 0.04	.005
Stadium 1 (%)	4.1 ± 1.5		4.9 ± 2.0	.002
Stadium 2 (%)	47.1 ± 5.5		46.6 ± 3.9	.545
SWS (%)	15.3 ± 5.3		14.2 ± 5.4	.025
REM (%)	22.3 ± 3.0		21.0 ± 3.2	.012
Latenz Tiefschlaf	17.7 ± 9.5		22.5 ± 15.6	.001
Dauer 1. Schlafzyklus	84.2 ± 21.0		91.7 ± 23.6	.007
<i>Subjektive Bewertung</i>				
Subjektive Schlafqualität	21.7 ± 4.8		28.1 ± 5.4	<.001
Stimmung	2.8 ± 1.2		3.4 ± 1.1	.010
Müdigkeit	4.3 ± 1.8		5.0 ± 1.5	<.001
<i>Leistungstests</i>				
Switch Reaktionszeit	370.6 ± 49.0		374.4 ± 50.4	.075
non-Switch Reaktionszeit	365.4 ± 47.4		369.5 ± 47.7	.091
Switch Wechselkosten	5.2 ± 7.4		4.9 ± 7.5	.419
Go/Nogo	370.4 ± 27.1		372.8 ± 27.5	.210

kehrslärm und am stärksten unter der Einwirkung von Schienenverkehrslärm.

Entsprechende, wenn auch nicht signifikante Rangfolgen zeigten Gesamtwachzeit, reine Schlafzeit und Schlafeffizienz. Diese Unterschiede zeigen sich auch im Paarvergleich, der für den Schienenverkehrslärm im Vergleich zu den Ruhenächten am häufigsten signifikant ausfiel.

Schallpegel. Der varianzanalytisch geprüfte Einfluss des Mittelungspegels ergab, gemittelt über alle Geräuscharten mit zunehmendem Pegel, dass die Gesamtwachzeit länger, die reine Schlafzeit entsprechend kürzer und die Schlafeffizienz geringer wurde (Abb. 2).

Der Anteil des Stadiums 1 nahm zu, der des Tiefschlafs signifikant und der des REM-Schlafs tendenziell ab. Die Dauer des ersten Schlafzyklus war sowohl unter der geringsten als auch der höchsten Pegelstufe verlängert.

Alle drei subjektiven Variablen waren signifikant mit dem Pegel verknüpft. Die Schlafqualität und die Stimmung waren sukzessive reduziert, die Müdigkeit nahm entsprechend zu (Abb. 3).

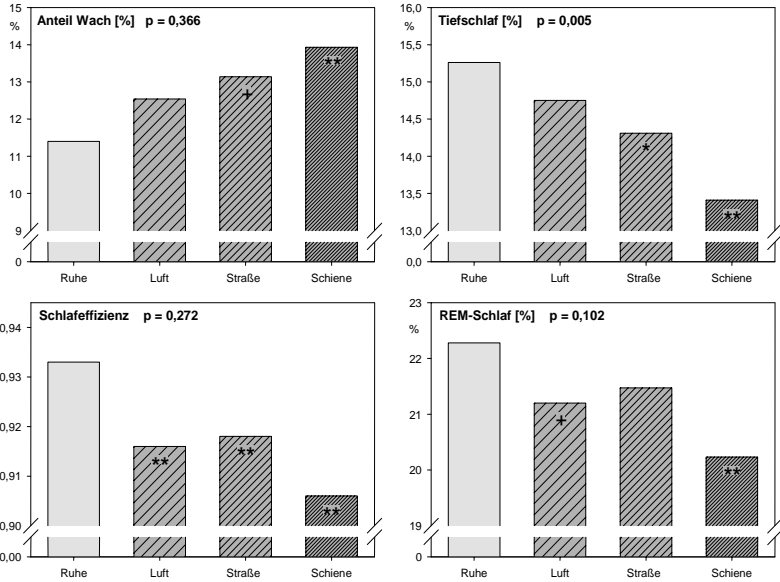


Abb. 1: Änderung physiologischer Schlafparameter durch verschiedene Verkehrslärmarten. Paarvergleich mit den Ruhenächten: + p < 0,1; *p < 0,05; **p < 0,01

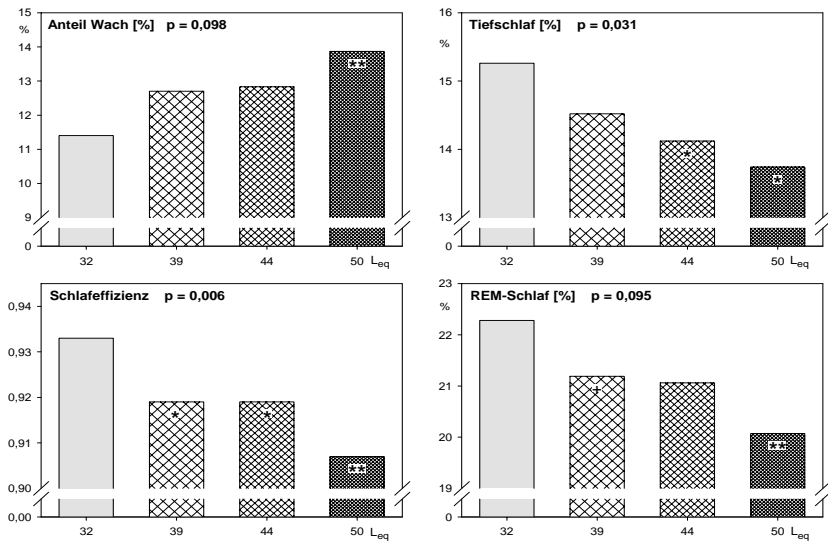


Abb. 2: Änderung physiologischer Schlafparameter in Relation zum äquivalenten Dauerschallpegel. Paarvergleich mit den Ruhenächten: + p < 0,1; *p < 0,05; **p < 0,01

Die Reaktionszeiten im Switch-Test waren, wie der Paarvergleich zeigt, unter Einwirkung der akustisch höchsten Belastung signifikant verlängert, über alle Pegelstufen zeigte sich ein Trend zur allmählichen Zunahme (Abb. 3).

Korrelationen. Zwischen den einzelnen Variablen bestanden nur wenige statistisch signifikante Zusammenhänge. Je höher der Anteil im Stadium 1 und je später der Tiefschlaf erreicht wurde, desto geringer wurde die Schlafqualität bewertet ($r=0.413$, $p=0.044$ bzw. $r=0.415$, $p=0.043$). Mit zunehmendem Anteil des Stadiums 1 wurde auch die Stimmung schlechter ($r=0.437$, $p=0.032$). Die Reaktionszeiten im Switch-Test waren um so länger, je kürzer der Anteil des Tiefschlafs war (Aufgabenwiederholung $r=-0.432$, $p=0.013$ bzw. Aufgabenwechsel $r=-0.403$, $p=0.022$) und je später dieser erreicht wurde (Aufgabenwiederholung $r=0.502$, $p=0.003$ bzw. Aufgabenwechsel $r=0.465$, $p=0.007$).

Diskussion

Methodische Aspekte

Polysomnographie. In den letzten Jahren wurden Schlafstörungen insbesondere in Feldstudien mittels aktimetrisch registrierter Körperbewegungen indiziert, einem Verfahren, das einfacher zu handhaben und deutlich leichter auszuwerten ist als die Polysomnographie (Fidell et al. 1995; Griefahn et al. 2000; Ollerhead et al. 1992; Passchier-Vermeer et al. 2002). Aus den Aufzeichnungen lassen sich aber weder intermittierte Wachphasen erkennen, noch Informationen über die Schlaftiefe ableiten. Deshalb wurde hier das Polysomnogramm nach international anerkannten Kriterien registriert und ausgewertet (Rechtschaffen & Kales 1968). Die Inter-Rater-Reliabilität der beiden Auswerter war mit über 90 % als gut zu bezeichnen (Danker-Hopfe et al. 2004).

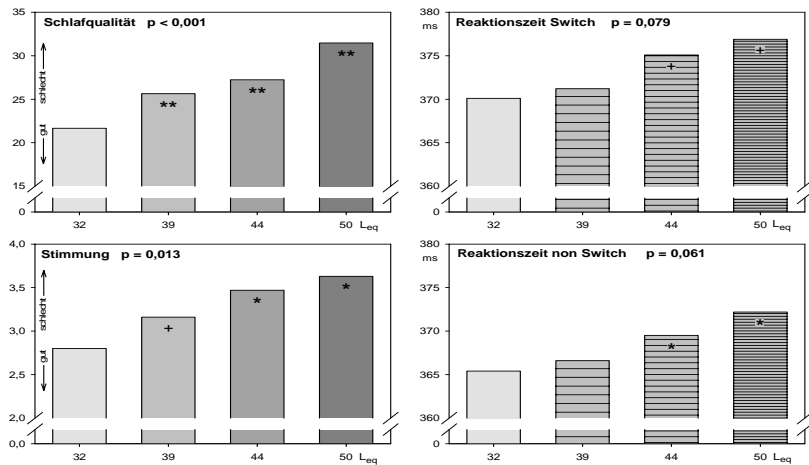


Abb. 3: Änderung der subjektiven Bewertung und der Reaktionszeit im Switch-Test in Relation zum äquivalenten Dauerschallpegel: + $p < 0.1$; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$

Schlafqualität. Da die subjektive Bewertung des Schlafs für die Betroffenen die größte Bedeutung hat, wurden morgens kurz nach dem Aufwachen Kurzfragebögen, die mit denen anderer Autoren kompatibel sind, ausgefüllt. Die Schlafqualität, die in den Untersuchungen anderer Autoren (z. B. Öhrström 1995; Kawada et al. 1993) mit der Einschlafdauer korrelierte, war hier – im Wesentlichen entsprechend – mit erschwertem Einschlafen, indiziert durch die Verlängerung des Stadiums 1 und der Zeit bis zum Erreichen des Tiefschlafs, reduziert.

Leistung. Leistungsbeeinträchtigungen wurden bisher eher selten berichtet (LeVere et al. 1975; Öhrström 1995), wobei die Verursachung durch Lärm durchaus infrage gestellt wird (Tulen et al. 1986). Die meisten Untersuchungen ergaben jedoch keinen Leistungsabfall (Arnberg et al. 1990; Basner et al. 2001; Griefahn et al. 2000; Passchier-Vermeer et al. 2002). Da die überwiegend verwendeten einfachen oder Wahlreaktionstests möglicherweise nicht sensitiv genug sind, um moderate Schlafstörungen, wie sie durch Lärm verursacht werden, zu reflektieren, wurden hier erstmals exekutive, im Frontallappen des Gehirns lokalisierte Funktionen geprüft, die nach völligem und nach partiellem Schlafentzug beeinträchtigt sein können (Heuer et al. 1998; Jones & Harrison 2001). Mit den hier eingesetzten Tests wurden Wiederholungen und Wechsel zwischen 2 Aufgaben (Switch-Test) sowie die Unterdrückung intendierter Handlungen (Go/Nogo-Test) erfasst. Die Reaktion im Switch-Test wurde mit zunehmender Lärmbelastung langsamer. Da die Reaktionszeiten andererseits mit dem Anteil des Tief-

schlafs korrelierten, lässt sich hieraus ein Kausalzusammenhang ableiten, dessen Plausibilität sich u. a. auf Untersuchungen von Born und Plihal (2000) stützt, die über eine Beeinträchtigung deklarativer Gedächtnisleistungen nach einer Reduktion des Tiefschlafs berichteten. Diese Ergebnisse, die in weiteren Untersuchungen überprüft werden sollten, rechtfertigen aber die Annahme, dass die exekutiven Funktionen schon durch moderate Schlafstörungen nachweisbar beeinträchtigt sein können.

Lärmwirkungen

Experimental- vs Kontrollgruppe.

Der Unterschied zwischen den Lärmnächten der Experimentalgruppe und den entsprechenden Nächten der Kontrollgruppe war deutlich kleiner als der intraindividuelle Unterschied zwischen den Ruhe- und den Lärmnächten der Experimentalgruppe. Da alle Probanden in gleicher Weise darüber informiert wurden, dass während der Nacht Verkehrsgeräusche auftreten könnten und dass sowohl Geräuschart als auch Pegel rechnergesteuert seien, könnte die Kontrollgruppe eine entsprechende Erwartungshaltung entwickelt und daher schlechter geschlafen haben, während die Experimentalgruppe durchaus die Erfahrung machte, dass selbst beim lautesten Geräusch noch geschlafen werden kann. Diese Annahme stützt sich zum einen auf spontane Berichte der Probanden aus der Kontrollgruppe, nachts Verkehrsgeräusche gehört zu haben, zum anderen auf Berichte von Williams (1973) und Jansen (1970), wonach allein die Information und insbesondere die Instruktion, z. B. bei jedem Aufwachen ein Signal zu betäti-

gen, die Wahrscheinlichkeit von Weckreaktionen erhöht.

Globale Lärmwirkungen. Die Probanden der Experimentalgruppe schliefen unter dem Einfluss von Lärm deutlich schlechter als in den Ruhenächten. Anders als in früheren Untersuchungen, in denen meist entweder der Anteil des REM-Schlafs oder – weniger häufig – der des Tiefschlafs abnahm (Arnberg et al. 1990; Griefahn 1986; Muzet et al. 1985), war hier der Anteil beider Stadien signifikant verkürzt. Dies kann seine Ursache im Verlauf der akustischen Belastung haben, die zu Beginn der Nacht, in dem der Tiefschlaf dominiert, und am frühen Morgen, wenn der REM-Schlaf überwiegt, deutlich höher als im mittleren Teil der Nacht war.

Schallpegel. Signifikante Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen den Mittelungspegeln und den über die Gesamtnacht integrierten, physiologischen Schlafparametern wurden bisher kaum beobachtet, während die ereigniskorrelierte Auswertung intermittierender Geräusche eine deutliche Zunahme von Aufweckreaktionen und Körperbewegungen mit dem Maximalpegel ergab (Basner et al. 2001; Griefahn et al. 2004; Passchier-Vermeer et al. 2002). Die hier beobachtete Beziehung zum Mittelungspegel ist sicherlich damit zu erklären, dass die Maximalpegel proportional mit dem Mittelungspegel geändert wurden.

Schlafqualität, Stimmung und Müdigkeit änderten sich hypothesenkonform mit dem Mittelungspegel. Dies war erwartet und in der Literatur wiederholt berichtet worden, selbst in den Unter-

suchungen, in denen die globalen über die Nacht integrierten physiologischen Parameter nicht mit der Lärmbelastung korrelierten (Griefahn 1985; Maschke et al. 1995; Öhrström 1995). Da die subjektiven Daten (z. B. Muzet et al. 1985) einer schnellen Gewöhnung unterliegen, bleiben solche Beobachtungen im Wesentlichen aber auf experimentelle Untersuchungen sowie auf Interventionsstudien im Feld beschränkt, in denen dieselben Probanden unter verschiedenen akustischen Belastungen beobachtet wurden, wohingegen sich in der Realsituation beobachtete Personen mit hoher Belastung bezüglich der Schlafbewertung kaum von Personen mit geringer Belastung unterschieden (Griefahn et al. 2000; Passchier-Vermeer et al. 2002).

Geräuschart: Die dieser Arbeit zugrunde liegende Hypothese wurde einerseits aus der Tatsache abgeleitet, dass der Bedeutungsgehalt eines Reizes auch die Reaktion während des Schlafs bestimmt (Oswald et al. 1960; Strauch et al. 1976), andererseits aus der Metaanalyse von Miedema (Miedema & Vos 1998), wonach Fluglärm am stärksten und Schienenverkehrslärm am wenigsten belästigt. Die Ergebnisse widersprechen dieser Hypothese. Die meisten Variablen zeigten keine mit der Geräuschart assoziierten Reaktionsunterschiede, während die Anteile des für die physische und die psychische Erholung wesentlichen Tief- und des REM-Schlafs in den Nächten mit Schienenverkehr am stärksten und am wenigsten in den Nächten mit Flugverkehr reduziert waren. Andere Schlafparameter (Gesamtwachzeit, reine Schlafzeit) zeigten ei-

nen ähnlichen, jedoch nicht signifikanten Trend.

Nur wenige Untersuchungen befassten sich mit der Wirkung unterschiedlicher Geräuscharten auf den Schlaf. Den hier vorgelegten Ergebnissen widerspricht eine Feldstudie von Vernet (1979), die bei gleichem Mittelungspegel stärkere Reaktionen auf den Straßenverkehr beobachtete, was sie auf die höhere Ereigniszahl zurückführte. Eine neuere Feldstudie (Griefahn et al. 2000), in der 377 dem Schienen- oder dem Straßenverkehr unterschiedlicher Mittelungspegel ausgesetzte Personen über 2x5 Nächte beobachtet wurden, ergab keine Unterschiede, weder bezüglich der aktimetrisch registrierten Körperbewegungen, noch der subjektiven Bewertung oder der Leistungstests, wohingegen ausführliche Interviews derselben Probanden einen deutlichen Bonus für die Schiene ergaben. In sehr begrenzten laborexperimentellen Untersuchungen registrierten Muzet et al. (1985) sowie Hofman et al. (1993) die ereigniskorrelierten Reaktionen auf die drei Geräuscharten und fanden die stärksten auf Schienenverkehrsgeräusche, deren Maximalpegel teilweise geringer als die des Fluglärms waren. Dieses Ergebnis wurde mit der längeren Dauer der Schienenverkehrsgeräusche und mit dem langsameren Pegelanstieg bei Fluglärm erklärt.

Schlussfolgerung

In dieser Untersuchung wurden die Wirkungen des vom Straßen-, Schienen- und Flugverkehr emittierten Lärms auf den Schlaf miteinander verglichen.

Dabei zeigten sich deutliche, mit dem Pegel zunehmende Störungen der physiologischen Indikatoren des Schlafes, der subjektiv bewerteten Schlafqualität und der Leistung. Die Geräuschart wirkte sich signifikant nur auf die Anteile des Tief- und des REM-Schlafs aus, die durch Schienenverkehrslärm am stärksten, durch Fluglärm am geringsten ausfiel, was von den wenigen hierzu durchgeführten Untersuchungen gestützt wird. Eine Modifikation des für die Belästigung sicherlich unstrittigen Schienenbonus für die Nacht bedarf jedoch weiterer Untersuchungen mit unterschiedlichen Geräuscharten.

Literatur

Arnberg PW, Bennerhult O, Eberhardt JL (1990) Sleep disturbances caused by vibrations from heavy road traffic. *J Acoust Soc Am* 88:1486-1493.

Basner M, Buess H, Luks N, Maaß H, Mawet L, Müller E-W, Müller U, Piehler C, Plath G, Quehl J, Rey E, Samel A, Schulze M, Vejvoda M, Wenzel J (2001) Nachtfluglärmwirkungen – eine Teilauswertung von 64 Versuchspersonen in 832 Schlaf-labornächten. Köln: DLR. (DLR-Forschungsbericht 2001-26).

Born J, Plihal W (2000) Gedächtniskonsolidierung im Schlaf: Die Bedeutung von Schlafstadien und Stresshormonfreisetzung. *Psychol Rundsch* 51: 198-208.

Danker-Hopfe H, Kunz D, Gruber G, Klösch G, Lorenzo JL, Himanen SL, Kemp B, Penzel T, Röschke J, Dorn H, Schlögl A, Trenker E, Dorffner G (2004) Interrater reliability between scorers from eight European sleep laboratories in subjects with different sleep disorders. *J Sleep Res* 13: 63-69.

Fidell S, Howe RR, Tabachnick BG, Pearsons KS, Sneddon MD (1995) Noise-induced sleep disturbance in residences near two civil airports. Langley: National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center. (NASA Contractor Report 198252).

Griefahn B (1985) Schlafverhalten und Geräusche. Feld- und Laboruntersuchungen über Straßenverkehr, EEG-Analyse, Literaturlauswertung. Stuttgart: Enke. [nicht im Text genannt]

Griefahn B (1986) A critical load for nocturnal high-density road traffic noise. *Am J Ind Med* 9: 261-269.

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

Griefahn B, Bisping R, Hellbrück J, Kuhnt S, Schick A, Schreckenberger D, Sust C (2004) Research network 'Quiet Traffic'. Research on the effects of noise. In: *Inter-Noise 2004. The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, Prague, Czech Republic, Aug. 22-25, 2004 (8 pp.). Prague.

Heuer H, Spijkers W, Kiesswetter E, Schmidtke V (1998) Effects of sleep loss, time of day and extended mental work on implicit and explicit learning of sequences. *J Exp Psychol: Applied* 4: 139-162.

Hofman W, Kumar A, Eberhardt J (1993) Comparative evaluation of sleep disturbance due to noises from airplanes, trains and trucks. In: Vallet M (ed.): *Noise & man '93. Noise as a public health problem. Proc. of the 6th International Congress*, Vol. 2 (pp 559-562). Lyon: Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité.

Jansen G (1970). Beeinflussung des natürlichen Nachtschlafes durch Geräusche. Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag. (Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2131).

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

Kawada T, Suzuki S, Aoki S, Ogawa M (1993). Relationship between subjective sleep rating and objective sleep parameters: a case study. *Environ Res* 60: 136-144.

LeVere TE, Morlock GW, Hart FD (1975) Waking performance decrements following minimal sleep disruption: the effects of habituation during sleep. *Physiol Psychol* 3: 147-154.

Maschke C, Arndt D, Ising H, Lauder G, Thierfelder W, Contzen S (1995) *Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner*. Stuttgart: G. Fischer. (Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Bd. 96).

Miedema HME, Oudshoorn CGM (2001) Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environ Health Perspect* 109:409-416.

Miedema HME, Vos H (1998) Exposure-response relationships for transportation noise. *J Acoust Soc Am* 104: 3432-3445.

Muzet A, Weber LD, Di Nisi J, Ehrhart J (1985) *Comparaison de la réactivité cardiovasculaire au bruit au cours de la veille et du sommeil*. Strasbourg: Centre d'étude bioclimatique du CNRS. (Convention No. 822431).

Öhrström E (1995) Effects of low levels from road traffic noise during night: a laboratory study on number of events, maximum noise levels and noise sensitivity. *J Sound Vib* 179: 603-615.

Ollerhead JB, Jones CJ, Cadoux RE, Woodley A, Atkinson B, Horne JA, Pankhurst F, Reyner L, Hume KL, Van F, Watson A, Diamond ID, Egger P, Holmes D, McKean J (1992) Report of a field study of aircraft noise and sleep disturbance. London: The Department of Transport.

Oswald I, Taylor AM, Treisman M (1960) Discriminative responses to stimulation during human sleep. *Brain* 83: 440-453.

Passchier-Vermeer W, Vos H, Steenbekkers JHM, van der Ploeg FD, Groothuis-Oudshoorn K (2002) Sleep disturbance and aircraft noise exposure. Exposure-effect relationships. Leiden: TNO-PG. (TNO report 2002.027).

Rechtschaffen A, Kales A (1968) A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages in human subjects. Bethesda, MD: US Dept of Health, Education, and Welfare.

Strauch I, Schneider-Düker M, Zayer H, Heine HW, Heine I, Lang R, Müller N (1976) Der Einfluss sinnvoller akustischer Signale auf das Schlafverhalten. *Arch Psychol* 128: 75-95.

Tulen JHM, Kumar A, Jurriëns AA (1986) Psychophysiological acoustics of indoor sound to traffic noise during sleep. *J Sound Vib* 110: 129-141.

Vernet M (1979) Effect of train noise on sleep for people living in houses bordering the railway line. *J Sound Vib* 66: 483-492.

Williams H (1973) Effect of noise on sleep: a review. In: Ward WD (ed.): Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem, Dubrovnik, Yugoslavia, May 13-18, 1973 (pp 501-511). Washington, DC: US Environmental Protection Agency.

Arbeitsphysiologie *heute*

H.M. Bolt
B. Griefahn
H. Heuer
(Hrsg.)

Bd. 6 (2004)

„75 Jahre Arbeitsphysiologie in Dortmund“

Arbeitsphysiologie *heute*

Bd. 6 (2004)

Themenband

*„75 Jahre Arbeitsphysiologie
in Dortmund“*

Herausgegeben von

H.M. Bolt
B. Griefahn
H. Heuer



Dortmund

ISBN 3-9808342-2-0

Alle Rechte vorbehalten.

© 2004 *IfADo*

Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund
Ardeystr. 67, D-44139 Dortmund
Tel.: 0231/1084-0
Fax: 0231/1084-308
<http://www.ifado.de>

Vorwort

Im Jahre 1912 erfolgte der Gründungsbeschluss für ein Institut für Arbeitsphysiologie, das im Jahre 1929 von Berlin, dem Ort der Gründung, nach Dortmund verlagert wurde. Damit war eine Fokussierung auf die arbeitsphysiologischen Themen der früheren Schwerindustrie intendiert. Somit können wir im Jahre 2004 das 75jährige Jubiläum arbeitsphysiologischer Forschung in Dortmund begehen. Diesem Jubiläum ist der vorliegende 6. Band von „Arbeitsphysiologie *heute*“ gewidmet. Er enthält fachübergreifend Beiträge aus unterschiedlichen Projektgruppen, die sich mit unterschiedlichen Aspekten der Arbeitsphysiologie und ihrer Dortmunder Historie befassen. Die Auswahl der Beiträge des vorgelegten Bandes zeigt wiederum, dass auch in Zukunft dem hier umschriebenen Felde fachübergreifend neue Akzente gesetzt werden.

Dortmund, im Herbst 2004

Die Institutsleitung des *IfADo*