

Nachtfluglärmwirkungen und ihr Einfluß auf die Gesundheit

Dr.-Ing. C. Maschke, F. Pleines
Institut für Technische Akustik, TU-Berlin
Prof. Dr. med. Hecht, Insitut für Streßforschung

1. Einleitung

Gesundheit ist nicht nur ein individuelles sondern auch ein gesellschaftliches Gut. Für die Gesundheit des Einzelnen besteht demzufolge sowohl eine gesellschaftliche als auch eine individuelle Verantwortung.

Im Laufe seines Lebens erfährt jeder Mensch, daß Schall sowohl erwünschter als auch unerwünschter Natur sein kann. Als erwünschter Schall ist insbesondere unsere sprachliche Kommunikation oder das Hören von Musik zu nennen. Leider besitzt unser Ohr keinen Verschlößmechanismus, wie es das Auge aufweist und so hören wir auch den unerwünschten Schall.

Unerwünschter Schall, d.h. Schall der belästigt, der stört, oder die Gesundheit beeinträchtigt, wird als Lärm bezeichnet. Lärm dring tief und völlig rücksichtslos in unsere Privatsphäre ein, nimmt keinerlei Rücksicht darauf, ob wir ihn wahrnehmen wollen oder nicht, und zwingt uns zu einer andauernden Auseinandersetzung mit dem akustischen Reiz. Mit dem Wahrnehmungsprozeß ist in vielen Fällen eine unspezifische Aktivierung des Organismus verbunden, um ihn auf mögliche außergewöhnliche Anforderungen vorzubereiten. Diese Fähigkeit wird in unserer lauten, technisierten Umwelt zum Problem. Lärm ist nahezu überall und akustische „Erholungspausen“ werden immer weiter eingeschränkt oder sind nicht mehr vorhanden.

Das Ausmaß der erlebten Lärmbelastung zeigen repräsentative Bevölkerungsumfragen, wie sie z.B. seit 1984 vom IPOS-Institut durchgeführt werden. Diese Untersuchungen hat Dr. Ortscheid vom Umweltbundesamt getrennt für die neuen und alten Bundesländer ausgewertet und die Ergebnisse in der Zeitschrift für Lärmbekämpfung veröffentlicht (Ortscheid 1996). In der Tabelle 1 sind ausgewählte Ergebnisse seiner Arbeit zusammengefaßt.

Lärmquelle	Belästigung	Ortsgröße									
		Gesamt		bis 5.000		bis 20.000		bis 100.000		> 100.000	
		%		%		%		%		%	
		neue	alte	neue	alte	neue	alte	neue	alte	neue	alte
Straßenverkehr	stark belästigt	37	18	36	15	34	15	47	15	34	26
	nicht so stark	42	48	38	44	41	44	45	55	47	51
	gar nicht	21	34	26	41	25	41	8	30	19	24
Flugverkehr	stark belästigt	3	10	3	11	3	14	3	7	5	9
	nicht so stark	23	36	23	44	18	30	26	33	26	39
	gar nicht	73	54	74	45	78	56	71	60	69	52

Tabelle 1: Belästigung durch Lärm (Quelle: Ortscheid 1996)

Dominierende Lärmquelle in Ost und West ist der Straßenverkehr. So geben etwa 3 von 4 Bürgern an, vom Verkehrslärm belästigt zu sein. In der gesamten Bundesrepublik fühlen sich durch den Straßenverkehrslärm annähernd 50 Millionen Bürger belästigt.

Der Flugverkehr belegt den zweiten Rang bei den Lärmbelastigungsquellen. So gibt mehr als jeder 3. Bürger an, durch Fluglärm belästigt zu sein.

Obwohl die Anzahl der Belästigten deutlich kleiner ist als beim Straßenverkehrslärm, muß dem Fluglärm besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Als besonders schwerwiegend ist die Tatsache zu bewerten, daß i.a. der Fluglärm die gesamte Wohnung betrifft, so daß den Bewohnern keine Rückzugsmöglichkeit bleibt. Beim Straßenverkehrslärm ist es oft möglich, dem Lärm zeitweilig, durch einen Aufenthalt in solchen Räumen, zu entgehen, deren Fenster nicht zur Straße zeigen. Beim Fluglärm besteht diese Möglichkeit nicht.

Die Konsequenz dieser Aussage wird besonders bei nächtlichem Fluglärm deutlich. Die Betroffenen können sich dem nächtlichen Fluglärm nicht entziehen und viele der Betroffenen müssen mit fluglärmbedingten Störungen des Schlafes leben.

2. Die Auswirkungen von Lärm auf den Schlaf

Der Schlaf ist kein statischer Zustand, sondern ein dynamischer Prozeß. Die biologische Komponente dieses Prozesses wird in der schlafmedizinischen Diagnostik mittels der Schlafpolygraphie (Elektroenzephalogramm, Elektromyogramm, Elektrookulogramm; Elektrokardiogramm u. a.) untersucht und als Schlafzyklogramm (Schlafprofil) dargestellt. Das Schlafzyklogramm enthält fünf Schlafstadien, die in ihrer zeitlichen Abfolge über der Schlafzeit des Schlafers aufgetragen sind. Zusätzlich sind die Zeiten erhöhter Muskelaktivität

(Movementtime) und die Wachphasen eingezeichnet. Die Abbildung 1 zeigt ein typisches Schlafzyklogramm für einen ungestörten Schlaf.

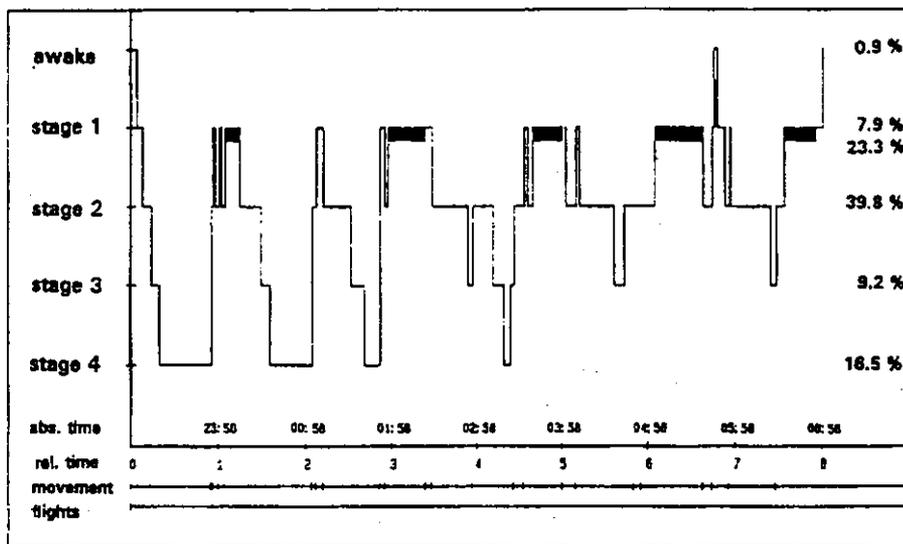


Abbildung 1: Typisches Schlafprofil unter Ruhebedingungen (Quelle: Maschke 1992)

Der Schlaf beginnt mit dem Übergang vom Wachzustand in das Schlafstadium 1 (NONREM 1). Nach wenigen Minuten wird das Schlafstadium 2 (NONREM 2) erreicht. Wird der Schläfer nicht gestört, erreicht er nach einer kurzen Verweildauer im Stadium 3 (NONREM 3) den Tiefschlaf (NONREM 4). Die Weckschwelle nimmt mit jeder Schlafvertiefung zu. Die Ordinatenwerte der vier Schlafstadien spiegeln diese verminderte "Weckbarkeit" wider. Das Ende eines Schlafzyklus bildet der (meist) als Balken auf dem Niveau des Stadium 1 verzeichnete REM-Schlaf (Traumschlaf). Im Traumschlaf ist eine EEG-Tätigkeit zu beobachten, die dem Wachzustand sehr ähnlich ist. Dieses Schlafstadium wird durch heftige Bewegungen der Augäpfel unter den geschlossenen Lidern (Rapid Eye Movements) gekennzeichnet und daher als REM-Schlaf bezeichnet.

Im ungestörten Schlaf folgt auf eine Schlafvertiefung eine schnelle Schlafverflachung, die mit dem REM-Stadium beendet wird. Diesen Schlafzyklus "durchwandert" der Schlafende während einer 8-stündigen Nacht vier- bis fünfmal. Die Verweildauer in den tiefen Schlafstadien nimmt mit der Schlafzeit ab, die Verweildauer im REM-Schlaf mit der Schlafzeit zu. Der zyklische Ablauf der Schlafstadien ist Teil einer ultradianen Periodik. Am rechten Rand des Schlafzyklogramms sind die relativen Schlafstadien-Zeiten für jedes Schlafstadium vermerkt. Die (relativen) Schlafstadien-Zeiten weisen bei einem ungestörten Schlaf eine charakteristische Verteilung auf. Eine deutliche Änderung dieser Schlafstadienverteilung ist mit einem gestörten Schlaf verbunden.

Ein gesunder erwachsener Schläfer mittleren Alters verbringt 40 - 50 % der Gesamtschlafzeit im Stadium 2, 10 - 20 % in den Stadien 3 und 4, ca. 25 % im REM-Schlaf und die restliche Schlafzeit in den Stadien 0 und 1.

Als Störungen des Schlafes werden alle objektiv meßbaren und/oder subjektiv empfundenen Abweichungen vom normalen Schlafablauf bezeichnet (z.B. Griefahn1985). Dabei ist zu beachten, daß Schlafstörungen sowohl durch endogene als auch durch exogene Einflußgrößen hervorgerufen werden können. Zum Spitzenfeld der Ursachen, welche den Schlaf stören, gehört der Lärm. Ein durch Fluglärm gestörter Schlafverlauf ist in der Abbildung 2 verzeichnet

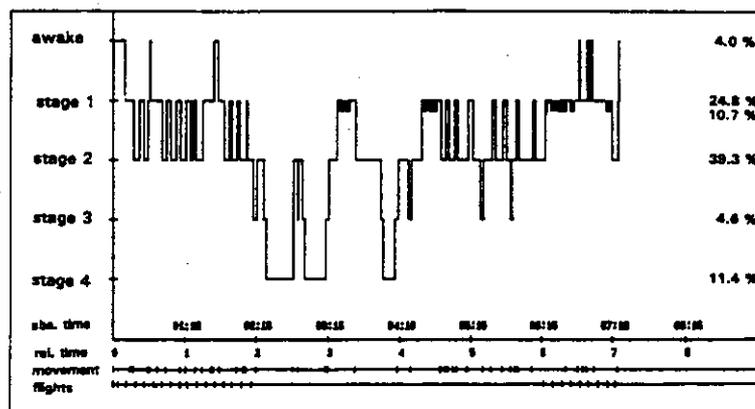


Abbildung 2: Typisches Schlafprofil unter Fluglärm (Quelle: Maschke 1992)

Vergleichen wir das Schlafzyklogramm des in Ruhe Schlafenden (Abb. 1) mit dem Schlafzyklogramm der durch Fluglärm gestörten Person (Abb. 2), so ist sowohl eine Reduzierung der Tief- und REM-Schlafphasen zu verzeichnen, als auch eine Zerstörung der Zeitarchitektur (Schlafzyklen), d.h. der rhythmischen Ausgewogenheit. Bei nächtlicher Fluglärmbelastung ist ein fragmentierter, d.h. ein zerhackter Schlafverlauf zu beobachten. Der Schlafende wird immer wieder gezwungen einen neuen Schlafzyklus zu beginnen, wozu ein hoher Energieaufwand notwendig ist. Im Sinne der Streßtheorie ist der nächtliche Lärm als Stressor einzustufen (Maschke et al. 1996).

Lärm ist aber nicht nur ein physikalischer Reiz, der die Menschen belastet, sondern ein individuelles Erleben. Lärm erzeugt Emotionen, denn er stört die Gedanken, erschreckt und erzeugt Aggressivität. Lärm ist für den Menschen ein sozio-psycho-physiologischer Wirkungsfaktor. Aus diesem Grund darf sich die Lärmwirkungsforschung nicht nur auf die momentane Lärmexposition beschränken, sondern muß auch die psychoemotionale Einstellung der Menschen berücksichtigen, die sich in der Auseinandersetzung mit der Belastung entwickelt hat.

2.1 Primär-, Sekundär und Tertiärreaktionen

Die Wirkungen von Lärm auf den schlafenden Menschen lassen sich in Primär-, Sekundär- und Tertiärreaktionen unterteilen.

Unter Primärreaktionen werden Veränderungen des Schlafablaufs, der Motorik (Körperbewegungen) oder der vegetativen Funktionen zusammengefaßt. Sie ereignen sich direkt nach dem Schallreiz oder im Verlauf einer lärmgestörten Nacht.

Sekundärreaktionen sind im Wachzustand nach einer lärmgestörten Nacht zu beobachten. Hierzu zählen z.B. die Verschlechterung der subjektiven Schlafqualität oder die Minderung der Leistungsfähigkeit. Nach Beendigung der Lärmexposition bleiben diese Reaktionen aus.

Unter Tertiärreaktionen sind Gesundheitsbeeinträchtigungen zu verstehen, die in Folge langanhaltender Lärmexposition zu erwarten sind. Sie bleiben auch nach Beendigung der Exposition bestehen. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Primär- und Sekundärreaktionen.

Primärreaktionen		Sekundärreaktionen
EEG, EOG, EMG	vegetativ-hormonell	
Verlängerungen der Latenzzeiten (insbesondere der Einschlaf latenz)	Änderungen der Atemfrequenz	Beeinträchtigung der physischen Verfassung
kurzfristige Änderungen im EEG (Nullreaktionen)	Änderungen der peripheren Durchblutung	Beeinträchtigung der psychischen Verfassung
Verflachung der momentanen Schlaftiefe bis hin zu Aufwachreaktionen (Stadienwechsel)	Änderungen des Stoffwechsels	Beeinträchtigung des Wohlbefindens
Veränderungen der Schlafstadienverteilung	Änderungen der Hormonausschüttung	Beeinträchtigung der Leistung
Zunahme (Dauer) der Zeiten hoher Muskelanspannung (Movementtime)		Beeinträchtigung der Konzentration
Verkürzung der Gesamtschlafzeit		Beeinträchtigung des Immunsystems

Tabelle 2: Primär- und Sekundärreaktionen

2. Präventivmedizinischer Handlungsbedarf

Nächtliche Lärmbeschränkungen werden national und international als notwendig erachtet, sofern für die Exponierten eine lärmbedingte Gesundheitsbeeinträchtigung zu befürchten ist. In diesem Zusammenhang ist die Frage zu beantworten, bis zu welchen „Lärmpegeln“ eine Gesundheitsbeeinträchtigung mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Diese Grenze wird als Zumutbarkeitsgrenze bezeichnet.

Die Bestimmung von Zumutbarkeitsgrenzen gestaltet sich außerordentlich schwierig, da die gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm eine Latenzzeit von schätzungsweise 5-10 Jahren haben, in denen die Betroffenen ebenso einer Vielzahl von nichtakustischen gesundheitsbelastenden Bedingungen ausgesetzt sind. Es ist daher experimentell kaum möglich eine lärmbedingte Gesundheitsbeeinträchtigung zu isolieren.

Einen ersten Anhaltspunkt liefern experimentell ermittelte Schwellenwerte für die Primär- und Sekundärreaktionen. Es ist naheliegend daß eine Gesundheitsgefährdung ausgeschlossen werden können, sofern keine Primär- bzw. Sekundärreaktionen zu verzeichnen sind.

2.1 Ergebnisse experimenteller Studien

Der wissenschaftlichen Untersuchung von Primär- und Sekundärreaktionen dienen hauptsächlich experimentelle Studien, da sie eine umfassende Kontrolle der Untersuchungsbedingungen ermöglichen. Eine Übersicht über die Ergebnisse von experimentellen Studien die seit 1980 mit Verkehrslärm durchgeführt worden sind, ist in der Tabelle 3 enthalten [Maschke et al 1995].

Jede Zeile dieser Matrix kennzeichnet eine Primär- bzw. Sekundärreaktion, die in der ersten Spalte benannt wird. Die folgenden Spalten dieser Zeile geben die Ergebnisse der verschiedenen untersuchten Studien wieder. Jede Spalte beschreibt demzufolge eine (Teil)Untersuchung die in der ersten Zeile durch eine Nummer kodiert ist. Die Titel der Untersuchungen können durch das Literaturverzeichnis zugeordnet werden.

Eingetragen sind die Untersuchungsergebnisse in Form von Symbolen. Ein + Zeichen symbolisiert, das in der betreffenden Studie die Primär- bzw. Sekundärreaktion verlängert, erhöht oder verbessert vorlag. Ein - Zeichen symbolisiert eine verkürzte, verminderte oder verschlechterte Reaktion. Ein = Zeichen symbolisiert eine unveränderte Reaktion. Weitere „Leseanleitungen“ sind der Tabellenlegende zu entnehmen.

Nr. der Studie	1	2	3	4.1	4.2	5	6	7.1	7.2	8	9	10	11	12	13	14	15	
Gesamtschlafdauer				-	-		-			(-)				-s				
Schlafstadienlatenz			3)++	2)+-	+s	+s	+	-		+s	=	+s	-	-	-			
Arousalreaktionen		3)+	3)-#s	#s	#	#	#s	#						#				
Schlafstadienwechsel		3)+s	3)-			3)+s	#s											
Aufwachreaktionen				#s		#s	#s	3)+				3)+s	3)+	#s				
Dauer der Wachphasen				+s	+		+s			+s			+s	+s	+			
Dauer des Leichtschlaf			+	-	-	4)++s	=			+						+s		
Dauer des Tiefschlaf			-	-	+	4)+-s	-			-s		-s	+	-s	-s			
Dauer des REM-Schlaf			+	-	-s	-s	-s			-s	-s	+s	-	=	-s			
Herzrhythmusstörungen	#	-																
Herzfrequenz (mittlere)													+s					
Herzfrequenz (nach LE.)								+s	+					+	+s			
Körperbeweg. (ges.)			-		-	4)++s	+											
Körperbeweg. (ind.)			ja	ja s	ja		ja s	ja s										
Movementtime										=							+	
Stresshormone		(-)														+s	+s	+s
subjektive Schlafqualität			-	-s	=	-s	-				-s	-s	-	-	-s	-s	-s	
erinnerbares Erwachen			+s	+s	-	+s	+s				+s					+s		
Leistung											=	-s	=					

Nr. der Studie	16.1	16.2	17	18	19	20	21.1	21.2	21.3	22	23.1	23.2	24	25	26	27.1	27.2	28	
Gesamtschlafdauer							-s	-	1)+	-			=	-				+	-
Schlafstadienlatenz							+s	+	1)-	=	=	=	+s	+		+s		3)+-	
Arousalreaktionen													3)+s#						
Schlafstadienwechsel																		3)+s	
Aufwachreaktionen							3)+s	3)+			3)+	3)+	3)+					3)+s	
Dauer der Wachphasen							+s	+		(*)			+s			+s	+s	-	
Dauer des Leichtschlaf							+s	+		(=)			+			+	+	=	
Dauer des Tiefschlaf							-	-	3)+s	(=)	+	+	-	+		=	-s	-s	
Dauer des REM-Schlaf							-s	-		(-s)			-s			-s	-	+	
Herzrhythmusstörungen																			
Herzfrequenz (mittlere)				=						+			+						-s
Herzfrequenz (nach LE.)				-										+	+				+
Körperbeweg. (ges.)	+	+s	+s	-	-	-													
Körperbeweg. (ind.)	ja	ja		ja	ja s	ja s													
Movementtime										(=)								+	
Stresshormone																			
subjektive Schlafqualität	-s	-s	-	-s	-s	-s	-s	-s	1)+s				-s						-s
erinnerbares Erwachen	+s	+s		3)++	+s	+							+						+
Leistung	4)+-	-		-s	-	-s							-s						-s

ges: gesamt
ind: Induziert
LE: Lärmereignis
=: unverändert
+: verlängert, erhöht, verbessert
-: verkürzt, vermindert, verschlechtert
s: signifikant
#: durch Lärmereignisse induziert
(): methodisch bedenklich

- 1): Veränderung ergab sich beim Vergleich der ersten Lärmnacht
- 2): Einschlaf-, Tiefschlaf- oder REM-Latenz, deshalb mehrere Zeichen für eine Studie möglich
- 3): +, -, = bezieht sich auf die Gesamtzahl der Reaktionen
- 4): erstes Zeichen bezieht sich auf eine kontinuierliche Lärmbedingung, das zweite auf eine intermittierende Lärmbedingung
- 5): erstes Zeichen gilt für Nicht-Lärmempfindliche, zweites für Lärmempfindliche

Tabelle 3: Ergebnismatrix (Quelle: Maschke et al 1995)

Die Literaturlauswertung bestätigt die bisherigen Ausführungen und belegt, daß Verkehrslärm zu einer Verminderung des REM - Schlafes, des Schlaferlebens und der Leistungsfähigkeit führt. Die Aufwachreaktionen, die Herzfrequenz, das erinnerbare Erwachen und die Stresshormonausschüttung nehmen zu. Von besonderer Bedeutung für eine präventivmedizinische Bewertung sind die Stresshormone. Bevor die Bedeutung einer erhöhten Stresshormonausscheidung im Kapitel „Schlafstörungen und Gesundheit“ diskutiert wird, ist es wichtig, die Pegelbereiche vorzustellen, bei denen die angegebenen Sofortreaktionen beobachtet werden können.

2.2 Schwellenwerte der Primär- und Sekundärreaktionen

Der Pegel bei dem die einzelnen Sofortreaktionen, im Vergleich zu einer Kontrollbedingung, zu beobachten sind, wird als Schwelle bezeichnet und ist in der Tabelle 4 verzeichnet. Es werden Schwellenwerte sowohl für den äquivalenten Dauerschallpegel (L_{Aeq}) als auch für den Maximalpegel (L_{Amax}) angegeben. Die beiden Schwellen kennzeichnen unterschiedliche Störungsmechanismen die vereinfachend als "Überbeanspruchung" (L_{Aeq}) bzw. als "Übersteuerung (Dysregulation)" (L_{Amax}) bezeichnet werden können.

Parameter	kontinuierlicher Lärm	intermittierender Lärm
Gesamtschlafdauer	ab $L_{eq} = 45$ dB(A) verkürzt	bei $L_{max} = 45$ dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Schlafstadienlatenz	Einschlaflatenz ab $L_{eq} = 45$ dB(A) verlängert, Tiefschlaflatenz ab $L_{eq} = 36$ dB(A) verlängert, Tendenz zur Verlängerung der Traumschlaflatenz	Einschlaflatenz keine Daten, Tiefschlaflatenz bei $L_{max} = 45$ dB(A) (50 Ereignissen) verlängert, Tendenz zur Verkürzung der Traumschlaflatenz
Arousalreaktionen und Schlafstadienwechsel		ab $L_{max} = 45$ dB(A) induziert *
Aufwachreaktionen	Erhöhung oberhalb von $L_{eq} = 60$ dB(A)	ab $L_{max} = 45$ dB(A) induziert *
Dauer der Wachphasen	Verlängerung oberhalb von $L_{eq} = 66$ dB(A)	ab $L_{max} = 65$ dB(A) (15 Ereignisse) verlängert
Dauer des Leichtschlaf	Verlängerung oberhalb von $L_{eq} = 66$ dB(A)	bei $L_{max} = 75$ dB(A) (16 Ereignisse) verlängert
Dauer des Tiefschlaf	ab $L_{eq} = 36$ dB(A) verkürzt	bei $L_{max} = 45$ dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Dauer des REM-Schlaf	oberhalb von $L_{eq} = 36$ dB(A) verkürzt	bei $L_{max} = 55$ dB(A) (50 Ereignisse) verkürzt
Herzrhythmusstörungen		Häufigkeit kann durch Ereignisse mit $L_{max} > 50$ dB(A) erhöht werden
Herzfrequenz		ab Modulationstiefe von 7 dB(A) erhöht
Körperbewegungen	oberhalb von $L_{eq} = 35$ dB(A) vermehrt	bei $L_{max} = 45$ dB(A) vermehrt und induziert *
subjektive Schlafqualität	ab $L_{eq} = 36$ dB(A) verschlechtert.	bei $L_{max} = 50$ dB(A) (64 Ereignisse) bereits um 25 % verschlechtert
erinnerbares Erwachen		ab $L_{max} = 55$ dB(A) erhöht, nimmt mit L_{Amax} und Ereignisanzahl zu
Leistung	oberhalb von $L_{eq} = 45$ dB(A) verschlechtert	bei $L_{max} = 45$ dB(A) (16 Ereignisse) verschlechtert

* Induziert: Reaktion in einem Zeitfenster nach Lärmereignis (das Zeitfenster variiert in den einzelnen Untersuchungen zwischen 30 und 90 Sekunden)

Tabelle 4 : Schwellen der Primär- und Sekundärreaktionen (Quelle: Maschke et al 1995)

Der Tabelle ist zu entnehmen, daß die Schwellen für verkehrslärmbedingte Schlafbeeinträchtigungen (Immissionspegel) bei einem äquivalenten Dauerschallpegel zwischen 35 und 66 dB(A) liegen. Bei den Maximalpegeln ist

ein Bereich zwischen 45 und 75 dB(A) zu nennen. Betrachten wir die Aufwachreaktionen über die gesamte Nacht, so liegt die Schwelle für kontinuierlichen Lärm bei einem L_{Aeq} von 60 dB(A). Bei den Maximalpegeln ist eine Schwelle von $L_{Amax} = 55$ dB(A) für die erinnerbaren Aufwachreaktionen zu verzeichnen. Die Schwelle für die Aufwachreaktionen liegt im mittleren bis oberen Bereich. Das ist bemerkenswert, da in der Vergangenheit eine Gesundheitsgefährdung von nächtlichem Verkehrslärm nur an vermehrten (erinnerbaren) Aufwachreaktionen gemessen wurde [vgl. Jansen 1995; Griefahn 1990].

Als wichtige nichtakustische Einflußgrößen (Moderatoren) sind das Alter der Probanden, ihre Persönlichkeitseigenschaften und der Zeitpunkt der Lärmexposition zu nennen.

Die experimentellen Studien zeigen, daß Verkehrslärm auf den Nachtschlaf von Kindern geringere Auswirkungen hat. Hier ist ein Bonus von etwa 5 dB(A) zu verzeichnen. Die „Störanfälligkeit“ nimmt mit dem Alter zu und erreicht bei älteren Menschen einen Malus von ca. 3 dB(A) [Maschke et al 1996].

Bei den Persönlichkeitseigenschaften ist festzuhalten, daß ängstliche oder lärmempfindliche Personen auf nächtlichen Verkehrslärm stärker reagieren als weniger ängstliche oder lärmempfindliche Personen.

Der Zeitpunkt der Lärmexposition erweist sich ebenfalls als wesentlicher Moderator. Besonders negativ wirken sich Lärmexpositionen in der Mitte und am Ende der Nacht aus.

3. Schlafstörungen und Streß

Neben den zentralnervösen Erregungsprozessen gehören verschiedene endokrine Funktionsabläufe zu den markanten Charakteristika von Schlafstörungen. Lärm ruft - wie jeder Stressor - ein reizunspezifisches Verhaltensmuster hervor, daß in erster Linie aus neuronalen und humoralen Prozessen besteht. Abbildung 3 enthält eine vereinfachte Darstellung der vegetativ-hormonellen Funktionsabläufe.

Die durch Lärm ausgelösten Nervenimpulse gelangen nicht nur über die Hörnerven zur Hörrinde sondern auch zum Hypothalamus-Hypophysensystem. Lärm kann auf diesem Wege den Körper zu einer Streßreaktion veranlassen, bei der u. a. Adrenalin, Noradrenalin (Katecholamine) und Kortisol ausgeschüttet werden.

Kortisol und die Katecholamine beeinflussen z.B. das Herz-Kreislaufsystem, den Stoffwechsel und die Blutfette und werden zum großen Teil mit dem Harn ausgeschieden. Gleichzeitig wird über das aufsteigende retikuläre Aktivierungssystem der Schlafverlauf und sein subjektives Abbild, das Schlaferleben, beeinflußt. Die Stärke der Streßreaktion wird ihrerseits durch psycho-emotionale Einflüsse moderiert.

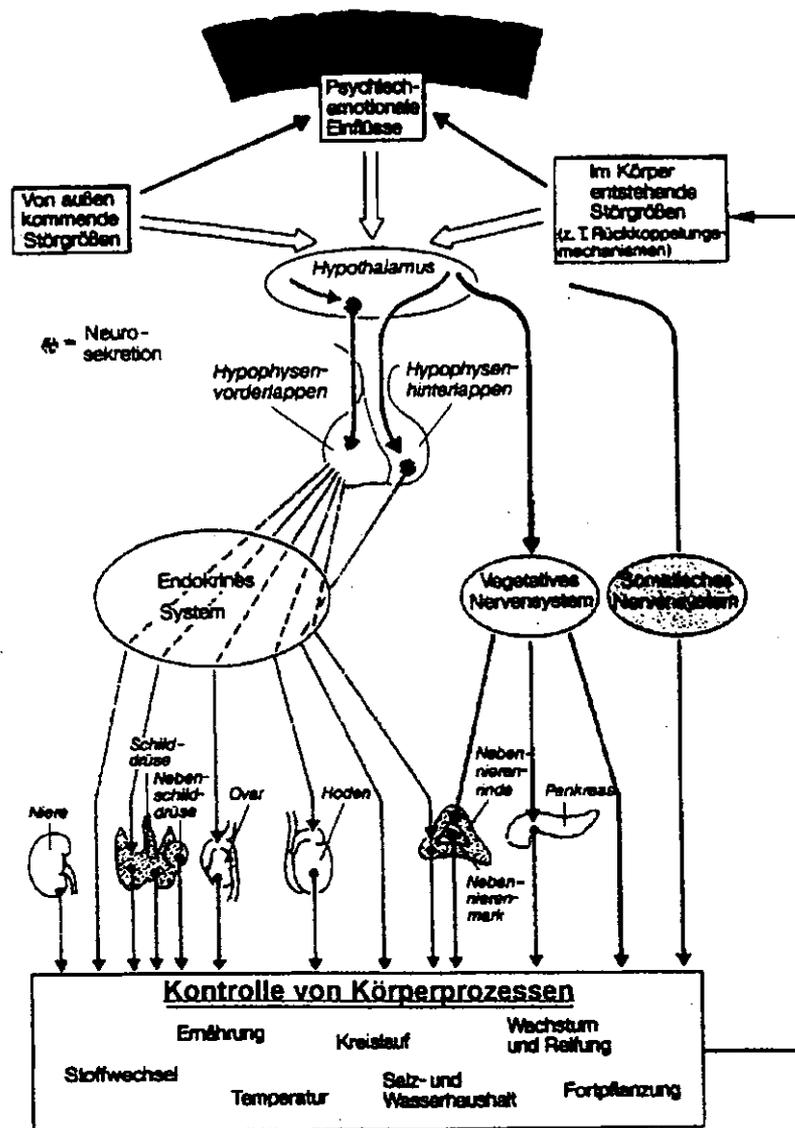


Abbildung 3 : Steuerung vegetativ-hormoneller Funktionsabläufe (Quelle: nach Silbernagel 1991)

Eine Streßreaktion kann direkt über die Ausscheidungsmengen der Katecholamine bzw. des Kortisols im Sammelurin nachgewiesen werden, und die Stärke der Streßreaktion ist aus deren Konzentrationen abzulesen.

4. Schlafstörungen und Gesundheit

Aufschlußreiche Ergebnisse über den Zusammenhang von Schlafstörungen und Gesundheit sind sowohl den streßorientierten Berliner Fluglärmuntersuchungen, (Maschke 1992 und Maschke et al. 1995) als auch einer epidemiologischen Untersuchungen des Umweltbundesamtes (Bellach et al 1995) zu entnehmen.

Bereits 1992 wurde im Institut für Technische Akustik der TU-Berlin eine Pilotstudie zur Streßhormonausscheidung bei nächtlichem zivilem Fluglärm durchgeführt. Dieser Laborstudie folgte 1995 eine experimentelle Feldstudie.

In der Laborstudie wurde sowohl der Einfluß von Nachtfluglärm auf die Schlafstadienverteilung (Schlafqualität) untersucht als auch in einer Teilstudie der Katecholamingehalt im acht Stunden Sammelurin bestimmt.

Die Studie zeigte, daß die mittlere Adrenalinausscheidung durch den Fluglärm signifikant erhöht wurde (60%). Das Schlaferleben und die morgendliche Befindlichkeit der Versuchspersonen war deutlich verschlechtert. Die in der Hauptstudie erhobene Schlafstadienverteilung war von den Expositionszeiten (Flugvarianten) abhängig. Besonders schlafstörend war der Morgen/Abendflug. [Maschke 1992; Maschke et al. 1995 b,c].

In der experimentellen Feldstudie wurde der Einfluß von Nachtfluglärm auf das Schlaferleben, die Streßhormonausscheidung und die Blutwerte in häuslicher Umgebung untersucht. Zusätzlich wurde der Zusammenhang zwischen Persönlichkeitsmerkmalen und dem Schlaferleben bzw. der Streßhormonausscheidung geprüft.

Die wichtigsten Ergebnisse waren eine signifikante Erhöhung der Adrenalinausscheidung (17 %) und eine signifikante Erhöhung der Kortisolausscheidung (19%) in den Nächten mit Fluglärm. Für die mittlere Kortisolausscheidung war eine hohe Determination mit dem Persönlichkeitsmerkmal "Aggressivität" zu verzeichnen. Die Thrombozytenzahl nahm um 11% ab und die subjektive Schlafqualität verschlechterte sich um ca. 30 %.

Zur Bewertung der erhöhten Hormonausscheidung wurden die gemessenen Werte auf absolute Ausscheidungsmengen im 24-Stunden-Zeitraum umgerechnet und den medizinischen Normbereichen gegenübergestellt. Das Verfahren ist auf Prof. Spreng zurückzuführen, der es im Rahmen eines Gutachtens (Spreng 1996) angewandt hat.

Die Berechnungen zeigen, daß die durch Nachtfluglärm erhöhten „Adrenalinausscheidungen“ an der unteren Grenze des Normbereiches liegen. Völlig anders verhalten sich die Kortisolwerte. Die Kortisolwerte im Harn der untersuchten Flughafenanwohner lagen bereits ohne Nachtfluglärm leicht über der Norm und wiesen in den Nächten mit Fluglärmbelastung eine deutliche und hochsignifikante Steigerung auf, die im Vergleich zur Adrenalinausscheidung als gesundheitlich äußerst bedenklich angesehen werden muß. In diesem Zusammenhang muß beachtet werden, daß Adrenalin- und Kortisolausschüttungen eng miteinander verzahnt sind. Adrenalin leitet den Streß ein, Kortisol hält ihn aufrecht (Schedlowski et al 1992).

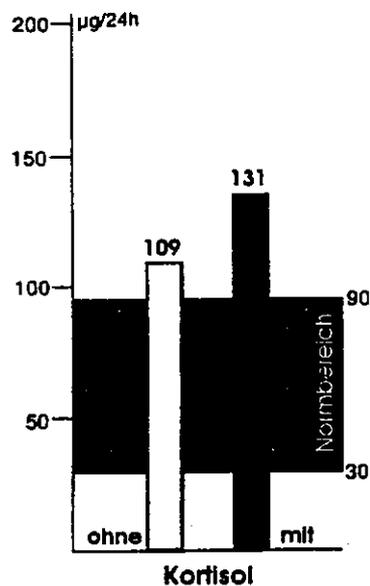


Abbildung 4: Kortisolausscheidung unter Fluglärm

Diese massive Kortisolfreisetzung läßt den Rückschluß auf eine permanent erhöhte Konzentration des adrenocorticotropen Hormons (ACTH) im Blut zu, was längerfristig eine Vielzahl von negativen Wirkungen nach sich zieht. Insbesondere ist ein Überspielen bzw. Bevormunden der fein abgestimmten peripheren Regulationsmechanismen und damit ein Fehlverhalten zu befürchten. Die Problematik erhöhter Kortisolkonzentrationen kann nach Spreng wie folgt zusammengefaßt werden [Spreng 1996]:

- Hemmung des Glukose-Transportes und der Glukoseverwertung mit einer Erhöhung des Blutzuckerspiegels; **Diabetogene Wirkung**
- Verstärkter Abbau von Eiweißen, Förderung des Knochenabbaus und des Abbaus der Muskulatur; **Katabole Wirkung**
- Verringerung des Thymusgewebes und desjenigen der Lymphknoten; **Hemmung von Immunprozessen**
- Absenkung der zirkulierenden eosinophilen und basophilen Leukozythen und der Lymphozythen; **Immunsuppression**
- Verringerung der zellulären Immunität und Blockade der Freisetzung, sowie des Effektes der meisten Lymphokine; **Immunsuppression**
- Steigerung der Empfindlichkeit von Adrenozeptoren und anderer vasokonstriktiver Substanzen; **Hypertoniegefahr**
- Steigerung der Magensaftsekretion; **Magengeschwüre**

Die Feldstudie, die mit einer minimalen Fluglärmbelastung von 16 Überflügen und Überflugpegeln von $L_{Amax} = 55$ dB(A) durchgeführt wurden, widerlegt zweifelsfrei die Annahme, daß nur ein wiederholtes nächtliches Erwachen (6 mal 60 dB(A)) eine gesundheitliche Gefährdung darstellt.

Die besondere Bedeutung der Nachtruhe für die Gesundheit wird auch durch die epidemiologische Studie „Umwelteinwirkungen und Beschwerdebhäufigkeit (Bellach et al 1995) bestätigt.

In dieser Studie wurden 1002 Probanden im Abstand von 11 Jahren (1974 und 1985) zu Lebensstil, Streßfaktoren, Belastungen am Arbeitsplatz und in der Familie sowie zu gesundheitlichen Beschwerden und Krankheiten befragt. Die Studie berücksichtigte folgende Krankheitsgruppen:

Erkrankungen des

- Herz-Kreislauf-System;
- Halte- und Bewegungsapparat;
- Atmungssystem;
- Verdauungssystem;
- Urogenitalsystem;
- endokrines System;
- und allergische Beschwerden.

Aus dem Spektrum von über 100 verschiedenen Krankheiten und Beschwerden erschien der Wohn- und Arbeitslärm gerade dort als risikoe erhöhender Faktor , wo er nach Ergebnissen der Streßforschung auch zu erwarten waren: bei Erkrankungen des Magen-Darm-Trakts und des Herz-Kreislauf-Systems.

Zusätzlich wurde die Wechselwirkung von Wohn- und Arbeitslärm in den folgenden vier Ausprägungen untersucht:

- Lärm(0)= kein Arbeitslärm; kein Wohnlärm
- Lärm(1)= belastender Arbeitslärm; kein Wohnlärm
- Lärm(2)= kein Arbeitslärm; Wohnlärm
- Lärm(3)= belastender Arbeitslärm; Wohnlärm

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt. Angegeben sind das relative Risiko (RR) und das 95% Konfidenzintervall (c1-c2).

Variable	Herz-Kreislauf-Erkrankungen			Angina pectoris			Herzinfarkt			Herzasthma		
	c1	RR	c2	c1	RR	c2	c1	RR	c2	c1	RR	c2
Geschlecht	0,79	1,22	1,87	0,77	1,19	1,82	1,02	2,48	6,05	0,38	0,77	1,56
Alter	1,01	1,04	1,06	1,03	1,05	1,07	0,97	1,01	1,05	1,06	1,10	1,14
psych.Stör.	0,54	1,67	5,16	1,17	2,41	4,97	0,44	1,64	6,12	0,29	0,91	2,88
Lärm (0)		1,00			1,00			1,00			1,00	
Lärm (1)	0,34	0,66	1,32	0,21	0,47	1,09	0,79	2,59	8,45	0,34	0,99	2,93
Lärm (2)	0,68	1,03	1,57	0,73	1,09	1,64	0,42	1,04	2,53	0,38	0,78	1,58
Lärm (3)	0,89	2,81	8,87	0,47	1,22	3,14	0,79	3,54	15,75	0,60	2,38	9,34

Variable	Durchblutungsstörungen								
	Hypertonie			Extremitäten			Gehirn		
	c1	RR	c2	c1	RR	c2	c1	RR	c2
Geschlecht	0,66	1,04	1,64	0,42	0,71	1,19	0,77	1,42	2,62
Alter	1,00	1,03	1,05	1,01	1,03	1,06	1,02	1,05	1,08
psych.Stör.	0,80	0,30	1,11	0,56	1,34	3,22	0,48	1,26	3,34
Lärm (0)		1,00			1,00			1,00	
Lärm (1)	0,20	0,48	1,15	0,17	0,46	1,26	0,17	0,51	1,56
Lärm (2)	0,60	0,92	1,42	0,81	1,29	2,06	0,54	0,96	1,71
Lärm (3)	0,42	1,32	4,11	0,70	1,80	4,63	0,30	1,14	4,42

Außer für die angegebenen Faktoren wurde adjustiert für Übergewicht, Rauchen, Alkoholkonsum, Schichtzugehörigkeit, belastende Arbeitsbedingungen, sportliche Aktivität und persönliche Probleme

Tabelle 5 : Wohn- und Arbeitslärm als Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Quelle: Bellach et al 1995)

Die Studie zeigt durchgängig erhöhte Erkrankungsrisiken bei gleichzeitigem Vorhandensein von Wohn- und Arbeitslärm und bestätigt die experimentellen Arbeiten. Nächtlicher Verkehrslärm gefährdet - sofern er den Schlaf stört - die Gesundheit infolge anhaltender Streßreaktionen.

5. Präventivmedizinische Bewertung von nächtlichem Fluglärm

Kausalität zu verifizieren ist bei allen chronischen Krankheiten ein schwieriges Unterfangen, da immer multifaktorielle Summeneffekte in der Pathogenese eine Rolle spielen. Die folgenden Aussagen über die gesundheitlichen Gefahren durch nächtlichen (Verkehrs)Lärm stützen sich auf die Konsistenz experimenteller und epidemiologischer Ergebnisse, d.h. auf die Übereinstimmung von "Theorie" und "Praxis". Der direkte empirische Kausalbeweis - und das gilt auch für die Primärreaktion "Aufwachhäufigkeit" - ist bei der langen Latenzzeit lärmbedingter Gesundheitsbeeinträchtigung kaum zu erbringen. Die Kausalkette zwischen nächtlichem Lärm und Gesundheitsbeeinträchtigung kann wie bei allen Stressoren nur durch verschiedene experimentelle und empirische "Bausteine" abgesichert werden.

Es ist nach den vorliegenden Erkenntnissen davon auszugehen, daß extraaurale Auswirkungen auf die Gesundheit durch langfristige nächtliche Umweltlärmaxposition infolge anhaltender Streßreaktionen hervorgerufen bzw. verstärkt werden. Die bekannten Änderungen von vegetativen Reaktionen, z.B. der peripheren Durchblutung und des Stoffwechsels, stellen Folgeerscheinungen der Streßreaktion dar. Unter diesem Gesichtspunkt kommt

der nächtlichen, lärmbedingten Streßreaktion eine besondere Bedeutung bei der präventivmedizinischen Grenzwertdiskussion zu.

Die vorliegende experimentelle Feldstudie belegt, daß bereits bei 16 nächtlichen Überflügen mit einem maximalen Überflugpegel von 55dB(A) - das entspricht einem fluglärmbedingten Dauerschallpegel von $L_{eq} = 29\text{dB(A)}$ - für "ältere" Flughafenanwohner von einer abnormen Kortisolausschüttung auszugehen ist. Für diese Personengruppe ist bei langfristiger Fluglärmbelastung eine Gesundheitsbeeinträchtigung zu befürchten.

Um insbesondere auch die ältere Bevölkerung vor Gesundheitsbeeinträchtigungen zu schützen, sollten Flugbewegungen in der zweiten Nachthälfte vermieden werden. Sollte dies nicht möglich sein, sind maximale Immissionspegel deutlich unterhalb von $L_{Amax\ innen} = 55\text{ dB(A)}$ zu fordern.

Gleichzeitig muß mit dem äquivalenten Dauerschallpegel die Anzahl von solchen Flügen begrenzt werden, deren Maximalpegel zumutbar sind.

Nach den Vorschlägen von Berglund und Lindvall für die World Health Organization (Berglund 1995), soll ein nächtlicher äquivalenter Dauerschallpegel von $L_{Aeq\ innen} = 30\text{dB(A)}$ nicht überschritten werden, um Schlafstörungen zu vermeiden. Vergleichbare Empfehlungen sind auch dem interdisziplinären Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt (UBA 1990) zu entnehmen. Ein nächtlicher äquivalenter Dauerschallpegel von 30 dB(A) am Ohr des Schläfers und Maximalpegel von 40 dB(A) sind nach Ansicht des Arbeitskreises geeignet, Schlafstörungen weitgehend zu vermeiden. In den Materialien zum 4. Immissionsschutzbericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag (UBA 1989) wird festgehalten, daß Mittelungspegel von 25 bis 35 dB(A) am Ohr des Schläfers noch im schlafgünstigen Bereich liegen.

Vergleichbare Ergebnisse liefert auch die Analyse der experimentellen Studien (seit 1980). Sie zeigt daß ein äquivalenter Dauerschallpegel von $L_{Aeq\ innen} = 35\text{ dB(A)}$ nicht überschritten werden sollte um Primärreaktionen zu vermeiden.

Die vorliegenden Empfehlungen in Verbindung mit den Ergebnissen zur Streßhormonausscheidung lassen unter Beachtung des intermittierenden Charakters den präventivmedizinisch sinnvollen Bereich einer nächtlichen Fluglärmbegrenzung erkennen.

Nach heutigem Kenntnisstand ist für den nächtlichen Fluglärm eine Teilung der Nacht vorzunehmen.

In der Zeit von 1:00 Uhr bis 6:00 Uhr sind Flugbewegungen grundsätzlich zu vermeiden.

Sprechen schwerwiegende Gründe dagegen, dann muß auf einen nächtlichen Maximalpegel deutlich unter 55 dB(A) bezug genommen werden.

Bei der nächtlichen Zumutbarkeitsgrenze für den Zeitraum von 22:00 Uhr bis 1:00 Uhr kann die Tatsache berücksichtigt werden, daß zwischen 01:00 Uhr und 06:00 Uhr "Flugruhe" herrschen soll. Unter dieser Bedingung kann die Zumutbarkeit für den Zeitraum von 22:00 Uhr bis 1:00 Uhr an den erinnerbaren Aufwachreaktionen orientiert werden. Es ist demzufolge eine Begrenzung des Maximalpegels auf 55 dB(A) zu fordern (vgl. Tabelle 3). Gleichzeitig ist der äquivalente Dauerschallpegel auf Werte unter $L_{Aeq\ innen} = 36$ dB(A) zu begrenzen. Das entspricht einem Mittelungspegel von ca. 32 dB(A) über die Nachtzeit von 8 Stunden.

Diese Forderungen können dazu beitragen, der gesellschaftlichen Verantwortung für die Gesundheit gerecht zu werden.

6. Literatur

Berglund, B.; T. Lindvall

Community Noise

University of Karolinska Institut, 1995

Born, J.; R. Pietrowski; W. Plihal; H. L. Fehm:

Neuroendokrine Funktionen des Schlafes

in: Becker-Carius, C. (Hrsg), Aktuelle psychophysiologische Schlafforschung

Forum Streß- und Schlafforschung, Band 1, 1995

Griefahn, B.:

Schlafverhalten und Geräusche

Enke Verlag, 1985

Jansen, G.; A. Linnemeier; M. Nitzsche:

Methodenkritische Überlegungen und Empfehlungen zur Bewertung von Nachtfluglärm

Zeitschrift f. Lärmbekämpfung 42, 1995

Maschke, C.:

Der Einfluß von Nachtfluglärm auf den Schlafverlauf und die

Katecholaminausscheidung

Dissertation TU-Berlin, 1992

Maschke, C; D. Arndt, H. Ising, D. Laude, W. Thierfelder, S. Contzens.:

Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner:

Gustav Fischer Verlag, Stuttgart / New York, 1995 a

Maschke, C.; D. Arndt; H. Ising:

Nächtlicher Fluglärm und Gesundheit:

Ergebnisse von Labor- und Feldstudien

Bundesgesundheitsblatt 3, 1995 b

Maschke, C.; D. Arndt, H. Ising, M. Druba:
Nocturnal Traffic Noise and Stress: Results of Field- and Laboratory Studies
ISEE/ISEA Konferenz Noordwijkerhout, 1995
in: Epidemiology Vol. 6, Nr. 4, S. F28, Supplement Juni 1995 c

Maschke, C.; M. Druba; F. Pleines:
Wirkungen von Straßenverkehrs- und Fluglärm auf den Nachtschlaf des
Menschen - eine Literaturübersicht -
im Auftrag des Umweltbundesamtes
Entwurf 1996 a

- 1 Carter, N. L.; Ingham, P.; Tran, K.; Hunyor, S. N. (1994). A field study on the effects of traffic noise on heart rate and cardiac arrhythmia during sleep. *Journal of Sound and Vibration* 169(2), 211-227
- 2 Carter, N. L.; Hunyor, S. N.; Crawford, G.; Kelly, D.; Smith, A. J. M. (1994). Environmental noise and sleep - A study of arousals, cardiac arrhythmia and urinary catecholamines. *Sleep* 17(4), 298-307
- 3 Eberhardt, J. L.; Akselsson, K. R. (1987). The disturbance by road traffic noise on the sleep of young male adults as recorded in the home. *Journal of Sound and Vibration* 114(3), 417-434
- 4 Eberhardt, J. (1990). The disturbance by road traffic noise of the sleep of prepubertal children as studied in the home. in *Noise as a Public Health Problem* 2(5), 65-74
- 5 Eberhardt, J. L.; Strale, L.-O.; Berlin, M. H. (1987). The influence of continuous and intermittent traffic noise on sleep. *Journal of Sound and Vibration* 116(3), 445-464
- 6 Eberhardt, J. L.; Öhrström, E. (1987). When during the night is traffic noise most disturbing to sleep? in: Eberhardt, J. L. *The influence on sleep of noise and vibrations caused by road traffic*. Universität Lund (Dissertation), 111-129 (enthält auch 3, 4 und 5)
- 7 Ehrenstein, W.; Schuster, M.; Müller-Limroth, W. (1982). Felduntersuchungen über Wirkungen von Lärm auf schlafende Menschen. Abschlussbericht des Umweltbundesamtes, 1-101
- 8 Ehrenstein, W.; Müller-Limroth, W.; Pirke, K. M. (1981). Experimentelle Untersuchungen über Langzeitwirkungen von Lärm auf den schlafenden und wachen Menschen. Umweltbundesamt, 1-141
- 9 Griefahn, B. (1986) Grenzwerte nächtlicher Belastbarkeit durch Straßengeräusche. *Applied Acoustics* 19, 265-284
- 10 Griefahn, B.; Gros, E. (1985). Zur Wirkung von Straßengeräuschen auf den Schlaf. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin* 20(4), 73-77
- 11 Hofman, W. (1994). An experimental study on the influence of traffic noise on sleep. in: *Sleep disturbance and sleep quality*. Universität Amsterdam (Dissertation) S.95-131
- 12 Kumar, A.; Hofman, W.; Eberhardt, J.; Spreeuw, I. (1995). Comparative evaluation of sleep disturbance due to noises from airplanes, trains and trucks. Manuscript
- 13 Maschke, C. (1992). Der Einfluß von Nachtfluglärm auf den Schlafverlauf und die Katecholaminausscheidung. TU Berlin (Dissertation), 1-168
- 14 Maschke, C.; Arndt, D.; Ising, H.; Laude, G.; Thierfelder, W.; Contzen, S., Hrsg. (1995). Nachtfluglärmwirkungen auf Anwohner. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 96, 1-140
- 15 Maschke, C.; Ising, H.; Arndt, D. (1995). Nächtlicher Verkehrslärm und Gesundheit: Ergebnisse von Labor- und Feldstudien. *Bundesgesundheitsblatt* 38(4), 130-137
- 16 Öhrström, E.; Rylander R. (1982). Sleep disturbance effects of traffic noise - A laboratory study on after effects. *Journal of Sound and Vibration* 84(1), 87-103
- 17 Öhrström, E.; Björkman, M. (1983). Sleep disturbance before and after traffic noise attenuation in an apartment building. *Journal of the Acoustical Society of America* 73(3), 877-879
- 18 Öhrström, E.; Björkman, M. (1988). Effects of noise disturbed sleep - A laboratory study on habituation and subjective noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration* 122(2), 277-290
- 19 Öhrström, E.; Rylander, R. (1990). Sleep disturbance by road traffic noise - A laboratory study on number of noise events. *Journal of Sound and Vibration* 143(1), 93-101

- 20 Öhrström, E. (1995). Effects of low levels of road traffic noise during the night: A laboratory study on number of events, maximum noise levels and noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration* 179(4), 603-615
- 21 Saletu, B.; Grünberger, J. (1989). Straßenlärm und Schlaf: Ganznachtsumnopolygraphische, psychometrische und psychophysiologische Studien im Vergleich zu Normdaten. *Wiener Medizinische Wochenschrift* 139(11), 257-263
- 22 Sato, T.; Kawada, T.; Ogawa, M.; Aoki, S.; Suzuki, S. (1993). Effect of some factors on sleep polygraphic parameters and subjective evaluations of sleep. *Environmental Research* 61, 337-348
- 23 Thiessen, G. J.; Lapointe, A. C. (1982). Effect of continuous traffic noise on percentage of deep sleep, waking, and sleep latency. *Journal of the Acoustical Society of America* 73(1), 225-229
- 24 Vallet, M.; Gagneux, J.-M.; Blanchet, V.; Favre, B.; Labiale, G. (1983). Long term sleep disturbance due to traffic noise. *Journal of Sound and Vibration* 90(2), 173-191
- 25 Vallet, M.; Gagneux, J. M. Simonnet, F. (1980). Effects of aircraft noise on sleep: An in situ experience. *ASHA Reports No. 10*, 391-396
- 26 Vallet, M.; Gagneux, J. M.; Clairet, J. M.; Laurens, J. F.; Letisserand, D. (1983). Heart rate-reactivity to aircraft noise after a long term exposure. in *Noise as a Public Health Problem* 2, 965-971
- 27 Wagner, W. (1988). Der Einfluß von Straßenverkehrsgläuschen unterschiedlicher Pegel- und Zeitstruktur auf den Nachtschlaf. TU Berlin (Dissertation), 1-229
- 28 Wilkinson, R. T.; Campbell, K. B. (1984). Effects of traffic noise on sleep: Assessment by EEG, subjective report, or performance the next day. *Journal of the Acoustical Society of America* 75(2), 469-475

Maschke C., K. Hecht, H.U. Balzer, S. Bärndal, D. Erdmann, M. Greusing, H. Hartmann, F. Pleines, T. Renner:
 Lärmmedizinisches Gutachten Flughafen Hamburg Vorfeld II
 Berlin, 1996 b

Ortscheid, J.:
 Daten zur Belästigung der Bevölkerung durch Lärm
 Ergebnisse repräsentativer Bevölkerungsumfragen 1984-1994
 Z. Lärmbekämpfung 43, 1996

Silbernagel, S.; A. Despopoulos
 Taschenatlas der Physiologie
 Thieme Verlag, 1991

Spreng, M.:
 Gutachterliche Stellungnahme
 Verwaltungsrechtsstreit Flughafen Hahn (7 C 11843/93.OVG)
 Erlangen 1996

Umweltbundesamt
 Interdisziplinärer Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt
 Gutachterliche Stellungnahmen zu Lärmwirkungsbereichen (1982-1990)
 Berlin, 1990

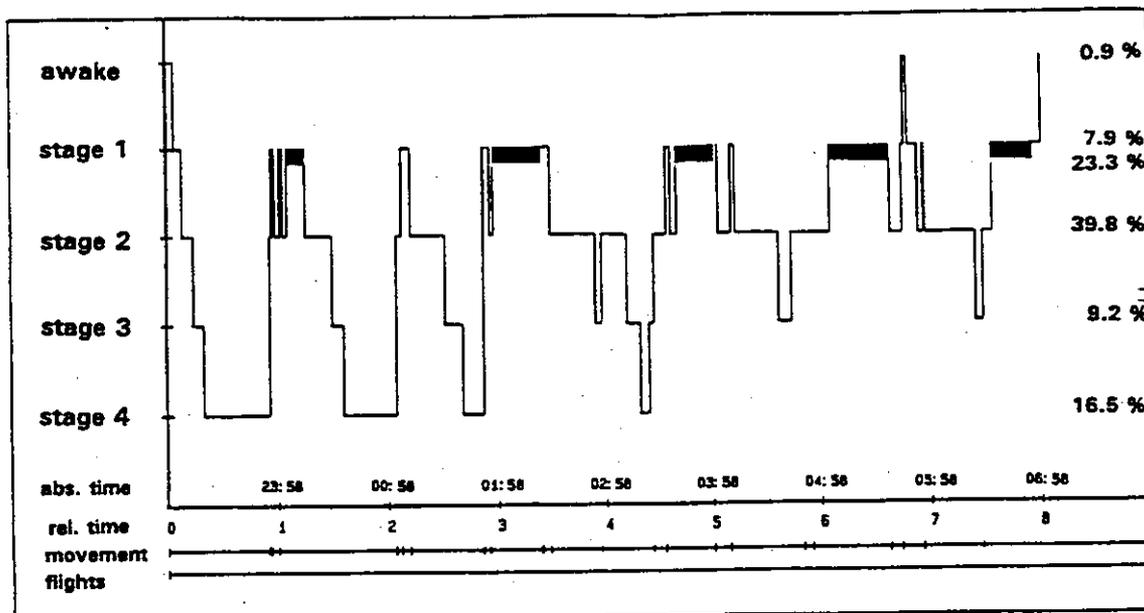
Daten zur Belästigung durch Lärm

Lärmquelle	Belästigung	Ortsgröße											
		Gesamt		bis 5.000		bis 20.000		bis 100.000		> 100.000			
		neue	alte	neue	alte	neue	alte	neue	alte	neue	alte		
Straßenverkehr	stark belästigt	37	18	36	15	34	15	47	15	34	34	26	
	nicht so stark	42	48	38	44	41	44	45	55	47	51	51	
	gar nicht	21	34	26	41	25	41	8	30	19	24	24	
Flugverkehr	stark belästigt	3	10	3	11	3	14	3	7	5	9	9	
	nicht so stark	23	36	23	44	18	30	26	33	26	39	39	
	gar nicht	73	54	74	45	78	56	71	60	69	52	52	

Belästigung durch Lärm, ipos-Befragung 1994: Alte und Neue Bundesländer (Quelle: Ordscheidt 1996)

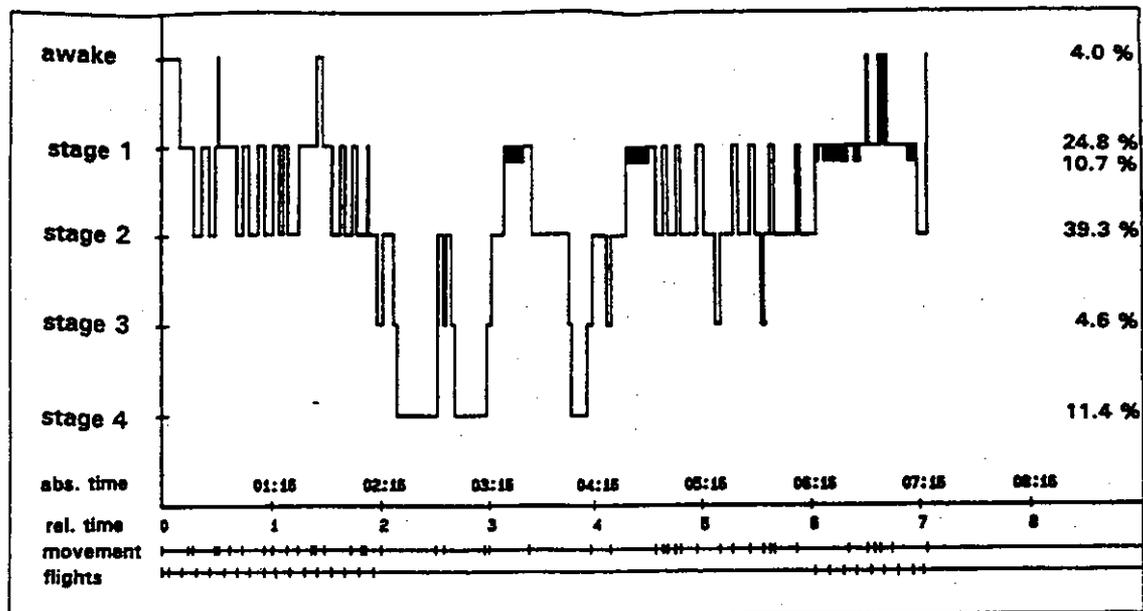
Zugrundeliegende Fragestellung: „Ich nenne Ihnen jetzt einige Lärmquellen. Bitte sagen Sie mir, ob Sie davon stark, nicht so stark oder gar nicht belästigt werden.“

Typisches Schlafprofil eines ungestörten Schlafes



Die Versuchsperson schlief bei einem nächtlichen Mittelungspegel von $L_{Aeqnenn} < 30dB(A)$.
 (Quelle: Maschke 1992)

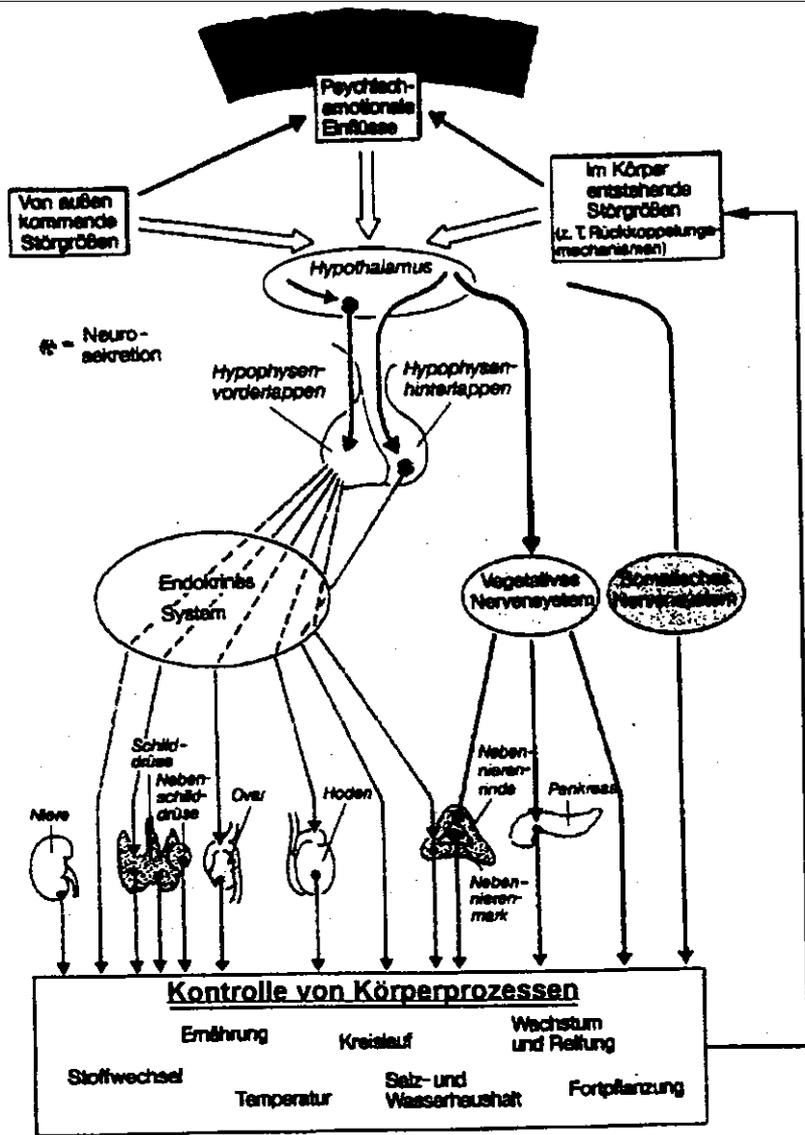
Typisches Schlafprofil eines fluglärmgestörten Schlafes



Die Versuchsperson schlief bei nominal 32 nächtlichen Überflügen.
 Das entsprach einem Mittelungspegel von $L_{Aeq \text{ innen}} = 53 \text{ dB(A)}$.
 (Quelle: Maschke 1992)

Parameter	kontinuierlicher Lärm	intermittierender Lärm
Gesamtschlafdauer	ab $L_{eq} = 45 \text{ dB(A)}$ verkürzt	bei $L_{max} = 45 \text{ dB(A)}$ (50 Ereignisse) verkürzt
Schlafstadienlatenz	Einschlaflatenz ab $L_{eq} = 45 \text{ dB(A)}$ verlängert, Tiefschlaflatenz ab $L_{eq} = 36 \text{ dB(A)}$ verlängert, Tendenz zur Verlängerung der Traumschlaflatenz	Einschlaflatenz keine Daten, Tiefschlaflatenz bei $L_{max} = 45 \text{ dB(A)}$ (50 Ereignissen) verlängert, Tendenz zur Verkürzung der Traumschlaflatenz
Arousalreaktionen und Schlafstadienwechsel		ab $L_{max} = 45 \text{ dB(A)}$ induziert*
Aufwachreaktionen	Erhöhung oberhalb von $L_{eq} = 60 \text{ dB(A)}$	ab $L_{max} = 45 \text{ dB(A)}$ induziert*
Dauer der Wachphasen	Verlängerung oberhalb von $L_{eq} = 66 \text{ dB(A)}$	ab $L_{max} = 65 \text{ dB(A)}$ (15 Ereignisse) verlängert
Dauer des Leichtschlaf	Verlängerung oberhalb von $L_{eq} = 66 \text{ dB(A)}$	bei $L_{max} = 75 \text{ dB(A)}$ (16 Ereignisse) verlängert
Dauer des Tiefschlaf	ab $L_{eq} = 36 \text{ dB(A)}$ verkürzt	bei $L_{max} = 45 \text{ dB(A)}$ (50 Ereignisse) verkürzt
Dauer des REM-Schlaf	oberhalb von $L_{eq} = 36 \text{ dB(A)}$ verkürzt	bei $L_{max} = 55 \text{ dB(A)}$ (50 Ereignisse) verkürzt
Herzrhythmusstörungen		Häufigkeit kann durch Ereignisse mit $L_{max} > 50 \text{ dB(A)}$ erhöht werden
Herzfrequenz		ab Modulationstiefe von 7 dB(A) erhöht
Körperbewegungen	oberhalb von $L_{eq} = 35 \text{ dB(A)}$ vermehrt	bei $L_{max} = 45 \text{ dB(A)}$ vermehrt und induziert *
subjektive Schlafqualität	ab $L_{eq} = 36 \text{ dB(A)}$ verschlechtert	bei $L_{max} = 50 \text{ dB(A)}$ (64 Ereignisse) bereits um 25 % verschlechtert
erinnerbares Erwachen		ab $L_{max} = 55 \text{ dB(A)}$ erhöht, nimmt mit L_{Amax} und Ereignisanzahl zu
Leistung	oberhalb von $L_{eq} = 45 \text{ dB(A)}$ verschlechtert	bei $L_{max} = 45 \text{ dB(A)}$ (16 Ereignisse) verschlechtert

Schwellen der Primär- und Sekundärreaktionen bei Verkehrslärm (Quelle: Maschke 1996)



Variable	Herz-Kreislauf-Erkrankungen			Angina pectoris			Herzinfarkt			Herzasthma		
	c1	RR	c2	c1	RR	c2	c1	RR	c2	c1	RR	c2
Geschlecht	0,79	1,22	1,87	0,77	1,19	1,82	1,02	2,48	6,05	0,38	0,77	1,56
Alter	1,01	1,04	1,06	1,03	1,05	1,07	0,97	1,01	1,05	1,06	1,10	1,14
psych. Stör.	0,54	1,67	5,16	1,17	2,41	4,97	0,44	1,64	6,12	0,29	0,91	2,88
Lärm (0)		1,00			1,00			1,00			1,00	
Lärm (1)	0,34	0,66	1,32	0,21	0,47	1,09	0,79	2,59	8,45	0,34	0,99	2,93
Lärm (2)	0,68	1,03	1,57	0,73	1,09	1,64	0,42	1,04	2,53	0,38	0,78	1,58
Lärm (3)	0,89	2,81	8,87	0,47	1,22	3,14	0,79	3,54	15,75	0,60	2,38	9,34

Variable	Hypertonie			Durchblutungsstörungen					
	c1	RR	c2	Extremitäten			Gehirn		
	c1	RR	c2	c1	RR	c2	c1	RR	c2
Geschlecht	0,66	1,04	1,64	0,42	0,71	1,19	0,77	1,42	2,62
Alter	1,00	1,03	1,05	1,01	1,03	1,06	1,02	1,05	1,08
psych. Stör.	0,80	0,30	1,11	0,56	1,34	3,22	0,48	1,26	3,34
Lärm (0)		1,00			1,00			1,00	
Lärm (1)	0,20	0,48	1,15	0,17	0,46	1,26	0,17	0,51	1,56
Lärm (2)	0,60	0,92	1,42	0,81	1,29	2,06	0,54	0,96	1,71
Lärm (3)	0,42	1,32	4,11	0,70	1,80	4,63	0,30	1,14	4,42