

### Einleitung

Um den prognostizierten Anstieg des Luftverkehrsaufkommens zu bewältigen wird der Flugverkehr in Zukunft immer mehr auf die Tagesrandzeiten und die Nacht ausweichen müssen. Der Nachtschlaf ist für die physische und mentale Erholung des Menschen von außerordentlicher Bedeutung. In Abhängigkeit von der Lautstärke ist nächtlicher Fluglärm ein potentieller Störfaktor dieses Regenerationsprozesses und führt immer stärker zu Belastungsreaktionen der betroffenen Bevölkerung.

Aus diesem Grund führt das DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin im Rahmen des DLR-/HGF-Projektes „Leiser Flugverkehr“ seit 1999 umfangreiche Labor- und Feldstudien zu humanspezifischen Nachtfluglärmwirkungen durch.

Erklärtes Ziel ist das Aufstellen eines statistisch abgesicherten Kriterienkatalogs zur Bewertung von Nachtfluglärmwirkungen auf den Schlaf, das Befinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen.



### Studiendesign und Methoden

In den Laborstudien werden insgesamt 128 altersentsprechend gesunde Probanden nach einer Anpassungs- und einer Basisnacht in 9 aufeinanderfolgenden Nächten mit 4 bis 128 Fluggeräuschen und Maximalpegeln zwischen 50 und 80 dB(A) realitätsnah und ‚doppelt-blind‘ beschallt. Die Verteilung der Pegel-Häufigkeitskombinationen ist randomisiert im Cross-Over-Design. Die in den ersten beiden Laborstudien verwendeten Kombinationen sind in Abbildung 1 dargestellt.

Neben elektrophysiologischen Parametern (EEG, EOG, EMG, EKG, Fingerpulsamplitude, Atmung) werden Stresshormone im nächtlichen Sammelurin bestimmt. Sekundäre Schlafstörungen werden am nächsten Morgen mit Fragebögen und computergestützten Leistungstests objektiviert. In zwei Feldstudien werden die Ergebnisse aus dem Labor im heimischen Schlafzimmer von insgesamt 64 Flughafenanwohnern validiert. Die nun folgenden Ergebnisse beziehen sich auf eine Teilauswertung der ersten beiden Laborstudien, wobei 64 Probanden und 832 Nächte analysiert wurden.

		Pegelhäufigkeit n / Anzahl der Nächte					
		4	8	16	32	64	128
Maximalpegel $L_{AS,max}$ [dB(A)]	50 (29,9 s)			8	16	16	16
	55 (40,4 s)	24	24	16	16	8	8
	60 (39,3 s)	24	24	16	16	16	
	65 (43,0 s)	16	16	16	16	16	
	70 (39,9 s)	16	16	16	8		
	75 (58,8 s)	16	16	8			
	80 (58,8 s)	8	0				

Abbildung 1: In den Laborstudien 1 und 2 verwendete Pegel-Häufigkeits-Kombinationen. Beispiel: 24 Probandennächte mit 4 x 55 dB(A).

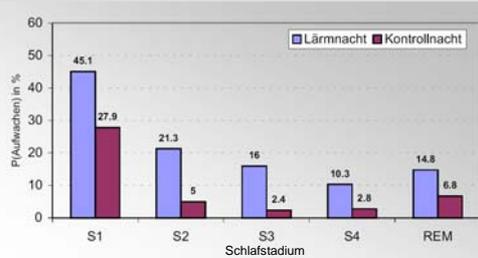


Abbildung 2: Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit einer Aufwachreaktion vom Schlafstadium in den Lärm- und in den lärmfreien Kontrollnächten.

### Ergebnisse 1

Sowohl unter Lärmeinfluss als auch bei den spontanen Aufwachreaktionen konnte eine Abhängigkeit vom Schlafstadium, in dem sich der Proband unmittelbar vor dem untersuchten Zeitraum befand, gefunden werden. Die Aufwachwahrscheinlichkeit sank von Schlafstadium 1 und 2 (S1&S2, Leichtschlaf) bis Schlafstadium 3 und 4 (S3&S4, Tiefschlaf) kontinuierlich, während die Wahrscheinlichkeit einer spontanen Aufwachreaktion im REM-Schlaf (Traumschlaf) zwischen S1 und S2, unter Lärm hingegen zwischen S3 und S4 lag (Abbildung 2).

Außerdem konnte eine Veränderung der Schlafstadienverteilung bei Einspielung von Fluglärm beobachtet werden: Der Tiefschlafanteil, dem eine besondere Bedeutung für die erholsame Wirkung des Schlafs beigemessen wird, war signifikant um 9 min (-12%) reduziert (t-Test,  $p < 0,001$ ), während der Anteil von S1 signifikant um 3,9 min (+92%) erhöht war ( $p < 0,001$ ). Der Anteil von S2 war praktisch unverändert (+0,2%), während die Anteile von Wach (+8,4%) und REM (+2,1%) anstiegen. Dieser Anstieg war jedoch jeweils nicht statistisch signifikant.

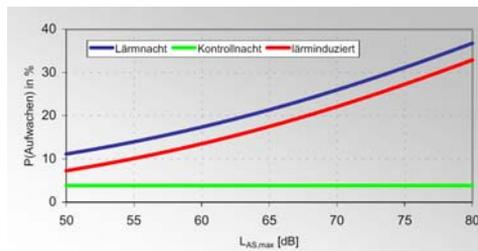


Abbildung 3: Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit einer Aufwachreaktion vom Maximalpegel  $L_{AS,max}$  in den Lärm- und in den Kontrollnächten.

### Ergebnisse 2

Mit der logistischen Regressionsanalyse mit Zufallseffekten (LRA) wurde ein Vorhersagemodell fluglärmbedingter Aufwachreaktionen erstellt. Neben der Anzahl und Lautstärke der Geräusche werden in diesem Modell wichtige Kontroll- und Moderatorvariablen wie das Schlafstadium, die bereits verstrichene Schlafzeit, das lärmfreie Intervall zwischen zwei Geräuschen und das Alter, Geschlecht und die subjektive Einschätzung der Fluglärmvorbelastung der Probanden mit berücksichtigt.

In Abbildung 3 ist die Abhängigkeit der Aufwachwahrscheinlichkeit vom Maximalpegel  $L_{AS,max}$  des Fluggeräusches unter Standardbedingungen (s. [1]) dargestellt. Man erkennt eine stetige, nur annähernd lineare Zunahme der Aufwachwahrscheinlichkeit mit zunehmendem Maximalpegel. Die Wahrscheinlichkeit einer spontanen Aufwachreaktion wurde von der unter Lärm beobachteten Aufwachwahrscheinlichkeit subtrahiert, um das allein dem Fluglärm attribuerbare Risiko einer demnach lärminduzierten Aufwachreaktion zu erhalten (rote Linie in Abb. 3).

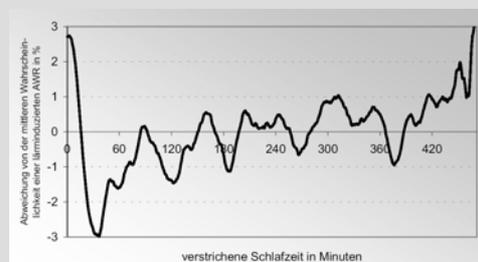


Abbildung 4: Lärmempfindlichkeit im Verlauf der Nacht

### Ergebnisse 3

Von besonderem Interesse für die Organisation des Nachtflugbetriebs (Stichwort: Lärmkontingenzierung) ist die Identifikation von Zeiträumen, in denen der Schlaf der betroffenen Bevölkerung besonders empfindlich auf Fluglärm reagiert.

In Abbildung 4 ist die Lärmempfindlichkeit im Verlauf der Nacht, berechnet durch die Logistische Regressionsanalyse unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Moderatoren, dargestellt.

Man erkennt, dass die Wahrscheinlichkeit einer lärminduzierten Aufwachreaktion in den ersten drei Stunden der Nacht besonders gering ist. Hier findet der lärmunempfindliche Tiefschlaf statt. Mit zunehmender Entmüdung und Abnahme des Tiefschlafanteils gegen Ende der Nacht nimmt die Empfindlichkeit in den frühen Morgenstunden besonders deutlich zu. Durch den geringen Schlafdruck kann ein Wiedereinschlafen durch weitere Fluggeräusche in diesem Zeitraum erschwert werden, was zu erhöhten Belastungsreaktionen der Anwohner führen kann.

### Vorläufiges Fazit

Fluglärm ist ein potentieller Störfaktor des natürlichen Schlafverhaltens. Durch eine Einschränkung der Erholbarkeit des Schlafs kann er zu Sekundärreaktionen im Sinne von Belastungsreaktionen und erhöhter Müdigkeit mit Einschränkung der Leistungsfähigkeit am Tage führen.

Aus diesem Grund muss der Stellenwert politischer und technischer Maßnahmen, die verkehrslärmbedingte Schlafstörungen zu verhindern suchen, als besonders hoch angesehen werden.

Die oben dargestellten Ergebnisse beziehen sich bisher nur auf ein Drittel der z.T. noch zu erhebenden und auszuwertenden Daten. Zudem fehlt bislang die Validierung der im Schlaflabor gewonnenen Daten im Feld, d.h. bei Flughafenanwohnern zu Hause.

Endgültige Schlüsse sollen deshalb erst gezogen werden, wenn alle Daten gesammelt und analysiert wurden. Endergebnisse werden gegen Ende 2003 erwartet.

### Literatur

Basner M, Buess H, Luks N, Maaß H, Mawet L, Müller EW, 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 Schlaflabornächten.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Köln-Porz, DLR-FB-2001-26

zu beziehen über: [www.dlr.de/flugphysiologie](http://www.dlr.de/flugphysiologie)