

# Belästigung durch Nachtfluglärm: Dosis-Wirkungs-Beziehungen

Julia Quehl, Mathias Basner

DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Linder Höhe, 51147 Köln, Deutschland

Email : julia.quehl@dlr.de, mathias.basner@dlr.de

## Einleitung

Die Belästigung durch unerwünschten und störenden Schall ist die zentrale psychologische Größe in der Lärmwirkungsforschung. Eine Belästigung (annoyance) entsteht immer dann, wenn eine gewünschte Tätigkeit durch Lärm beeinträchtigt wird. Störungen des Nachtschlafs sind eine der häufigsten Ursachen von Lärmbeschwerden. Nach bevölkerungsrepräsentativen Befragungen des Umweltbundesamtes ist Fluglärm nach dem Straßenlärm die zweite Verkehrslärmquelle, durch die die Bevölkerung in Deutschland gestört und belästigt wird [8]. Verwendet man das Kriterium, eine starke oder erhebliche Belästigung (highly annoyed) sei dann gegeben, wenn die oberen beiden Kategorien einer 5-stufigen Antwortskala verwendet werden, sind laut Umfrage etwa 6% durch Fluglärm betroffen.

Die Belästigung ist eine der wenigen Wirkgrößen in der Lärmwirkungsforschung, für die etablierte Dosis-Wirkungs-Kurven vorliegen [6]. Die Belastung durch Fluglärm wird dabei häufig durch den (A-bewerteten) energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{AS,eq}$  beschrieben [1, 7]. Untersuchungen zur Lärmbelästigung von Flughafenanwohnern zeigen allerdings, dass die fluglärmspezifische Störwirkung durch mittlungspegelorientierte Messverfahren unterschätzt wird [5]. Nach Björkman et al. [3] lässt sich die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Fluglärmbelastung und Belästigung am besten durch die Parameter Maximalpegel und Anzahl an Flugereignissen charakterisieren, da diese dem intermittierenden Charakter von Fluglärm gerecht werden. In den 70er und 80er Jahren wurden zahlreiche Studien zur Bestimmung von Dosis-Wirkungs-Kurven mit diesen beiden Parametern durchgeführt [4, 11]. Ihre Aktualität ist jedoch umstritten, da sich in den letzten beiden Jahrzehnten die lärmpsychologische Belastung von Flughafenanwohnern infolge der starken Zunahme des Flugverkehrs bei gleichzeitiger Reduktion der Emissionspegel einzelner Flugereignisse qualitativ verändert hat.

## Methode

In einer laborexperimentellen Studie wurde mit 128 Versuchspersonen (53 Männer, 75 Frauen im Alter von 19 bis 65 Jahren) die humanspezifische Belästigungswirkung von Nachtfluglärm untersucht. Die Studie wurde während 13 aufeinander folgender Nächte in der Arbeitsmedizinischen Simulationsanlage des DLR Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln durchgeführt. Die 112 Probanden aus den Experimentalgruppen wurden in neun aufeinander folgenden Nächten mit Fluglärm unterschiedlicher Intensität und Häufigkeit beschallt (Tabelle 1). Der  $L_{AS,max}$  „am Ohr des Schlafers“ lag zwischen 45 und 80 dB(A), die Anzahl variierte zwischen 4 und 128 Ereignissen pro Nacht, wobei als Reizabstufung 5 dB(A) bzw. eine Verdoppelung der Anzahl verwendet wurde. Dies ergab energieäquivalente

Dauerschallpegel  $L_{AS,eq}$  (berechnet über 8 Schlafstunden von 23 bis 7 Uhr) von 30,0 bis 54,5 dB(A).

		Anzahl Fluggeräusche					
		4	8	16	32	64	128
Maximalpegel $L_{AS,max}$	45						32
	50						32
	55	40	40	32	32	32	32
	60	40	40	32	32	32	32
	65	32	32	32	32		56
	70	32	32	32	32		
	75	32	32	32			
	80	32	24				

**Tabelle 1:** Maximalpegel-Häufigkeits-Kombinationen. In der linken Spalte stehen die Maximalpegel  $L_{AS,max}$  (45 bis 80 dB(A)), die gleichverteilt in der Nacht mit der Häufigkeit  $n$  (1. Zeile) dargeboten wurden. In den Zellen ist die Anzahl der Nächte, die mit der entsprechenden Kombination beschallt wurden, dargestellt.

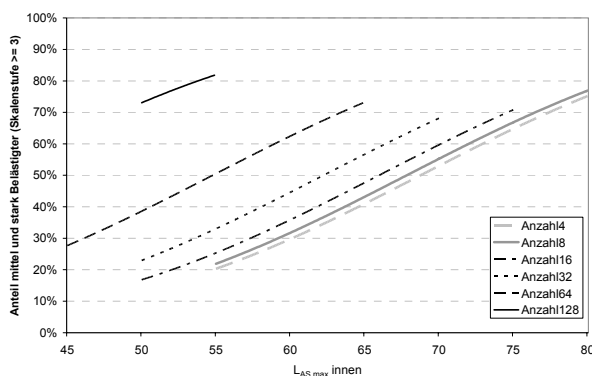
Die Belästigung wurde am Morgen nach dem Aufstehen retrospektiv anhand einer 5-stufigen Antwortskala (von „1 = nicht“ bis „5 = sehr“ belästigt) erfragt.

## Dosis-Wirkungs-Kurven

Es wurden Dosis-Wirkungs-Kurven zur Belästigung durch Nachtfluglärm für den (1) Maximalpegel  $L_{AS,max}$  in Kombination mit der Anzahl an Fluglärmereignissen sowie den (2) energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{AS,eq}$  mit Hilfe von logistischen Regressionsanalysen (LRA) mit Zufallseffekten (random effects logistic regression) berechnet [9, 10]. Nicht-akustische, insbesondere fluglärmrelevante Moderatorvariablen der Belästigung (z.B. der Grad an Fluglärmvorbelastung) wurden bei der Modellbildung berücksichtigt. Aufgrund der Häufigkeitsverteilung der Belästigungsbewertungen der neun Lärmnächte auf den oberen beiden Kategorien der Antwortskala (highly annoyed) von zusammen 22%, wurden die Stufen 3, 4 und 5 zusammengefasst (Wert 1 = Bestehen einer Fluglärmbelastung), um eine dichotom abhängige Belästigungsvariable zu bilden. Dadurch wurde auch dem (quantitativ ebenfalls bedeutenden) Teil der Befragten, deren Lärmbelästigung im mittleren Bereich der verwendeten Antwortskala liegt, Rechnung getragen. Mit Hilfe der LRA wurden die Einzeleffekte der akustischen Parameter und ihrer quadratischen Terme getestet. Es erwiesen sich der  $L_{AS,max}$  und die Anzahl (Modell L1) sowie der  $L_{AS,eq}$  und  $L_{AS,eq}^2$  (Modell L2) als signifikant. In beide Regressionsmodelle wurden verschiedene Moderatoren integriert und sukzessive deren Signifikanz geprüft. Interaktionen zwischen akustischen und Moderatorvariablen wurden bei der Modellierung ebenfalls berücksichtigt. Am Ende zeigten sich in beiden Regressionsmodellen die Moderatoren Geschlecht, Fluglärmvorbelastung und eingestufte „Notwendigkeit“ des Flugverkehrs als signifikant.

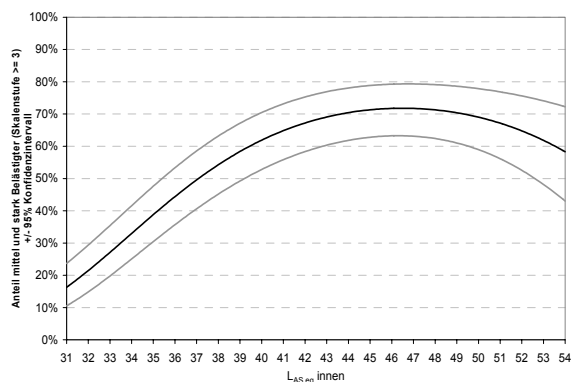
Abbildung 1 veranschaulicht den durch Modell L1 vorhergesagten Anteil durch Fluglärm mittel und stark Belästigter (Skalenstufe  $\geq 3$ ) in Abhängigkeit vom Maximalpegel  $L_{AS,max}$  und der Anzahl an Fluglärmereignissen. In den Be-

rechnungen wurde für die im Regressionsmodell berücksichtigten Moderatoren jeweils der Median der untersuchten Experimentalgruppen eingesetzt, d.h. konkret: Geschlecht = weiblich, Fluglärmvorbelastung = 2, d.h. „wenig“, „Notwendigkeit“ des Flugverkehrs = 4, d.h. „ziemlich“. Es besteht eine signifikante Zunahme des Anteils an Fluglärm-belastigten in Abhängigkeit vom  $L_{AS,max}$  und der Anzahl an Flugereignissen. 128 mal 55 dB(A) führen zum höchsten Prozentsatz prognostizierter Lärmbelastigter von über 80%. Vier Ereignisse mit einem Maximalpegel von 70 dB(A) bewirken im Vergleich dazu nur noch 52% Lärmbelastigte, obwohl diese Pegelhäufigkeitskombination den gleichen Mittelungspegel ergibt wie 128 mal 55 dB(A). Anders als bei älteren Untersuchungen steigt der Anteil der Belastigten auch bei niedrigeren Überflug-Häufigkeiten (< 16 Überflüge pro Nacht) mit zunehmendem Maximalpegel deutlich an.



**Abbildung 1:** Anteil mittel und stark Fluglärm-belastigter in Abhängigkeit vom  $L_{AS,max}$  und der Anzahl.

Abbildung 2 beschreibt den durch Modell L2 vorhergesagten Anteil durch Fluglärm mittel und stark Belastigter (Skalenstufe  $\geq 3$ ) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{AS,eq}$ . Die Moderatoren im Modell entsprechen dem Median der Experimentalgruppen. Der Prozentsatz an Lärmbelastigten vergrößert sich mit ansteigendem  $L_{AS,eq}$ , geht aber oberhalb von 46,6 dB(A) zurück. Dies ist vermutlich auf die zugrunde liegenden Pegelhäufigkeitskombinationen aus weniger lauten Fluglärmereignissen (d.h. Maximalpegel  $\geq 65$  dB(A) kombiniert mit Häufigkeiten  $\leq 32$ ) in der Nacht zurückzuführen.



**Abbildung 2:** Anteil mittel und stark Fluglärm-belastigter in Abhängigkeit vom  $L_{AS,eq}$ .

Für beide Regressionsmodelle gilt, dass der vorhergesagte Anteil durch Fluglärm Belastigter bei (1) Frauen, (2) bereits durch Fluglärm sehr Vorbelastigten und (3) bei Personen,

die die „Notwendigkeit“ des Flugverkehrs als sehr gering erachten, signifikant höher ist.

## Diskussion

Im Einklang mit bisherigen Untersuchungen zur belästigenden Wirkung von Fluglärm zeigt sich anhand der abgeleiteten Dosis-Wirkungs-Kurven eine signifikante Zunahme des Anteils an Lärmbelastigten mit dem Ansteigen des Maximalpegels  $L_{AS,max}$  und der Anzahl an Fluglärmereignissen. Anders als bei älteren Studien nimmt der Teil an Belastigten auch bei wenigen Flugbewegungen mit dem  $L_{AS,max}$  deutlich zu. Dies lässt sich vermutlich auf die Laborsituation der Untersuchten zurückführen. Im Labor wachen die Probanden deutlich häufiger als im gewohnten, häuslichen Umfeld auf [2]. Die Einschätzung der Belästigung als Folge lärminduzierter Schlafstörungen ist nur indirekt auf der Basis erinnelter und bewusst erlebter Wachzeiten und Einschlafschwierigkeiten möglich. Bei einer großen Anzahl an nächtlichen Flügen ist es wahrscheinlich, dass in den Phasen des Wachseins und Einschlafens mehr Fluglärmereignisse bewusst erlebt werden, die den Nachtschlaf stören und definitionsgemäß einen erhöhten Grad an Belästigung herbeiführen. Laut den Prognosen der Dosis-Wirkungs-Kurve, die auf dem energieäquivalenten Dauerschallpegel  $L_{AS,eq}$  beruht, vergrößert sich der Anteil an Lärmbelastigten zunächst in Abhängigkeit vom  $L_{AS,eq}$ . Oberhalb von 46,6 dB(A) bildet sich der Prozentanteil belastigter Personen zurück, was sich mit der Darbietung lauter, aber dafür weniger häufiger Flugereignisse begründen lässt. Dadurch wird die Bedeutsamkeit der Anzahl von nächtlichen Flugbewegungen für die Belästigung untermauert. Gleichzeitig wird die nach wie vor in der Lärmwirkungsforschung vorherrschende Stellung des Mittelungspegels als bestes (objektives) Messverfahren zur Prognose von Lärmbelästigungen, zumindest für die Nacht, in Frage gestellt. Die akute Störwirkung von Fluglärm wird im Wesentlichen vom Einzelereignis erzeugt, d.h., dass Betroffene nicht auf eine globale Lärmimmission, charakterisiert durch den Mittelungspegel, sondern vielmehr auf Eigenschaften einzelner Flugereignisse wie ihre Lautstärke und Anzahl reagieren.

## Literatur

- [1] Aasvang, G.M., Engdahl, B.: Aircraft noise in recreational areas: a quasi-experimental field study on individual annoyance responses and dose-response relationships. *Noise Control Eng. Journal*, 47 (1999), 158-161.
- [2] Basner, M. et al.: *Nachtfluglärmwirkungen – Band 1: Zusammenfassung*. Köln: DLR-Forschungsbericht 2004-07/D.
- [3] Björkman, M. et al.: Aircraft noise annoyance: an average versus maximum noise levels. *Archives of Environmental Health*, 47 (1992), 326-329.
- [4] Fields, J.M.: The effect of number of noise events on people's reactions to noise: an analysis of existing survey data. *JASA*, 75 (1984), 447-467.
- [5] Kastka, J.: *Untersuchung der Fluglärmbelastungs- und Belästigungssituation der Allgemeinbevölkerung der Umgebung des Flughafens Frankfurt*. Frankfurt/Main: Gutachten im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen 1999, URL: [http://www.mediation-flughafen.de/gutachte/oe4\\_g/gutacht.pdf](http://www.mediation-flughafen.de/gutachte/oe4_g/gutacht.pdf).
- [6] Miedema, H.M.E., Vos, H.: Exposure-response relationships for transportation noise. *JASA*, 104 (1998), 3432-3445.
- [7] Muzet, A.: The need for a specific noise measurement for population exposed to aircraft noise during night-time. *Noise and Health*, 4 (2002), 61-64.
- [8] Ortscheid, J., Wende, H.: *Lärmbelästigung in Deutschland - Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage*. *ZfL*, 49 (2002), 41-45.
- [9] Quehl, J., Basner, M.: *Belästigung durch Nachtfluglärm: Dosis-Wirkungskurven*. *ZfL*, 52 (2005), im Druck.
- [10] Quehl, J.: *Nachtfluglärmwirkungen – Band 4: Psychologische Wirkungen*. Köln: DLR-Forschungsbericht 2004-10/D.
- [11] Rylander, R. et al.: Aircraft noise contours: importance of over flight frequency and noise level. *J. of Sound and Vibration*, 69 (1980), 583-595.