

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

Forschungsbericht 2004-10/D

Nachtfluglärmwirkungen
Band 4
Psychologische Wirkungen

J. Quehl

Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
Köln

179 Seiten
114 Bilder
31 Tabellen
136 Literaturstellen



Nachtfluglärmwirkungen Band 4 Psychologische Wirkungen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
Abteilung Flugphysiologie
Linder Höhe
51147 Köln
flugphysiologie@dlr.de
www.dlr.de/flugphysiologie

Köln, im März 2005

Institutsleiter:
Prof. Dr. med. R. Gerzer

Verfasser:
Dr. phil. J. Quehl

Abteilungsleiter:
Dr. rer. nat. A. Samel

Nachtfluglärmwirkungen: Psychologische Wirkungen

Julia Quehl

Inhaltsverzeichnis

TEIL 1: LÄRMBELÄSTIGUNG	6
1.1 Einleitung.....	6
1.2 Theoretische Grundlagen: Definitionen, Modelle und Skalierungsmethoden der Lärmbelästigung	7
1.2.1 Definitionen von Lärmbelästigung	7
1.2.2 Modelle der Lärmbelästigung	8
1.2.2.1 Der psycho-physische Ansatz	8
1.2.2.2 Der stresstheoretische Ansatz	9
1.2.2.3 Der quasi-rationale Ansatz („rational choice theory“).....	11
1.2.2.4 Der kognitive Ansatz	12
1.3 Skalierungsmethoden der Lärmbelästigung	12
1.4 Dosis-Wirkungs-Beziehungen	13
1.4.1 Physikalische Parameter der Lärmbelästigung	14
1.4.2 Psychologische Parameter der Lärmbelästigung	18
1.5 Akustische Grenzwerte zur Vermeidung „erheblicher“ Lärmbelästigungen	21
1.6 Methoden	22
1.7 Fragestellungen.....	30
1.8 Ergebnisse aus der Schlaflaborstudie	33
1.8.1 Interindividueller Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppen	33
1.8.1.1 Deskriptive Statistik	33

1.8.1.2	Inferenzstatistik.....	34
1.8.2	Fluglärminduzierte Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen.....	35
1.8.2.1	Deskriptive Statistik.....	35
1.8.2.2	Inferenzstatistik.....	40
1.8.2.2.1	Messwertverläufe über die Zeit	40
1.8.2.2.2	Physikalische Fluglärmparameter.....	46
1.8.2.3	Dosis-Wirkungs-Kurven.....	57
1.8.3	Belästigung durch Fluglärm vor der Laborstudie.....	68
1.8.3.1	Semantische Analyse zur Fluglärmvorbelästigung	69
1.8.3.2	Der Einfluss psychologischer Moderatoren auf die Fluglärmvorbelästigung	72
1.9	Ergebnisse aus der Feldstudie	83
1.9.1	Fluglärminduzierte Sekundärreaktionen der Feldstudienprobanden	83
1.9.1.1	Deskriptive Statistik.....	83
1.9.1.2	Inferenzstatistische Analyse zu Messwertverläufen über die Zeit	88
1.9.1.3	Dosis-Wirkungs-Kurven.....	93
1.9.2	Belästigung durch Fluglärm vor der Feldstudie	100
1.9.2.1	Semantische Analyse zur Fluglärmvorbelästigung	100
1.9.2.2	Der Einfluss psychologischer Moderatoren auf die Fluglärmvorbelästigung	103

TEIL 2: BEFINDLICHKEIT, BEANSPRUCHUNG UND ERHOLUNG

2.1 Einleitung	114
2.2 Fragestellungen	117
2.3 Ergebnisse aus der Schlaflaborstudie	120
2.3.1 Interindividueller Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppen	120
2.3.1.1 Deskriptive Statistik	120
2.3.1.2 Inferenzstatistik	123
2.3.2 Fluglärminduzierte Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen	126
2.3.2.1 Inferenzstatistik	126
2.3.2.1.1 Messwertverläufe über die Zeit.....	126
2.3.2.1.2 Physikalische Fluglärmparameter	129
2.3.2.2 Dosis-Wirkungs-Kurven.....	130
2.4 Ergebnisse aus der Feldstudie	136
2.4.1 Fluglärminduzierte Sekundärreaktionen der Feldstudienprobanden	136
2.4.1.1 Deskriptive Statistik	136
2.4.1.2 Inferenzstatistische Analyse zu Messwertverläufen über die Zeit	139
2.4.1.3 Dosis-Wirkungs-Kurven.....	152
ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION	159
LITERATUR	171

TEIL 1: LÄRMBELÄSTIGUNG

1.1 Einleitung

Die Belästigung durch unerwünschten und störenden Schall ist die zentrale psychologische Größe im Bereich der Lärmwirkungsforschung. Sie gilt als statistisch wichtigste psychologische Lärmwirkung. In vielen sozialpsychologischen Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass insbesondere die „öffentlichen“ Lärmquellen - d.h. der Straßen-, Schienen- und Flugverkehr - zu einer Belästigung breiter Bevölkerungskreise führen [Guski 1987, 2001a, 2001b; Guski et al. 1999; Kryter 1985; Ortscheid & Wende 2002a, 2002b; Rohrman et al. 1978].

Grundsätzlich wird beim Begriff der Belästigung davon ausgegangen, dass es sich um einen psychologischen Sachverhalt handelt, der zwar nicht demonstrierbar pathogen ist, jedoch einen potentiell negativen Faktor für das physische, mentale und soziale Wohlbefinden eines Individuums darstellt, der mit hin unterhalb der Schwelle der unmittelbaren Gesundheitsbeeinträchtigungen einzuordnen ist [Kastka 2001a; WHO 1947]. Ob jedoch gesundheitlich negative Auswirkungen von einer Langzeitbelästigung ausgehen, ist bis heute ungeklärt. Es ist lediglich bekannt, dass keine Adaptation bzw. Habituation an eine chronische Lärmexposition bezüglich der Belästigungsreaktion besteht [z.B. Rohrman 1974]; in Langzeitstudien nahm die Belästigung sogar über die Zeit hinweg zu [z.B. Weinstein 1982].

Das Gefühl der Belästigung resultiert im Wesentlichen aus Störungen der Kommunikation, der Ruhe, Entspannung und des Schlafs, die auch als *Primärreaktionen* im Sinne von Akutreaktionen, welche zeitlich eng mit der Geräuscheinwirkung verbunden sind, bezeichnet werden. Lärminduzierte, primäre Schlafstörungen beinhalten beispielsweise Änderungen des natürlichen Schlafablaufs (z.B. Verzögerungen des Einschlafens, Aufwachen, im EEG registrierbare Schlaftiefenveränderungen, Körperbewegungen). Störungen des

Nachtschlafs sind eine der häufigsten Ursachen von Lärmbeschwerden [Guski 1987, 1991]. Da sich die Belästigung zeitlich verzögert den primären Lärmwirkungen anschließt, gehört sie zu den so genannten *Sekundärreaktionen*. Hierzu zählen ebenfalls die empfundene Schlafqualität und -menge, der eigene Ermüdungsgrad, Änderungen der Befindlichkeit als auch der mentalen bzw. psychomotorischen Leistungsfähigkeit am Morgen nach einer lärmexponierten Nacht. Die Auswertung fokussiert auf die Beschreibung fluglärmbedingter Sekundärstörungen, wobei ein Schwerpunkt auf die Belästigung durch Lärm gesetzt wird.

1.2 Theoretische Grundlagen: Definitionen, Modelle und Skalierungsmethoden der Lärmbelästigung

1.2.1 Definitionen von Lärmbelästigung

Obwohl die Belästigung als die Hauptlärmwirkung vielfach bestätigt und immer wieder untersucht wurde, existiert bis dato wenig Einigkeit darüber, was der Begriff der Lärmbelästigung eigentlich meint. Sowohl die Definitionen als auch die Erhebungsmethoden unterscheiden sich zwischen den entsprechenden Studien teilweise erheblich. Koelega [1987] stellt z.B. einige Definitionen vor, die im internationalen Forschungskontext zu Lärmwirkungen zu finden sind. Seine Zusammenfassung zeigt, dass Belästigung („annoyance“) die bewusste Wahrnehmung und negative Bewertung der Störung einer gewünschten Tätigkeit durch Lärm beinhaltet. Als besonders störungssensitiv gelten hierbei die Tätigkeitsbereiche Kommunikation, Erholung und Entspannung sowie Schlaf. Vorherrschende Affekte sind Unbehagen, Verärgerung, Unzufriedenheit, aber auch Schrecken und Angst. In Wahrnehmung und Denken herrschen Erlebnisse des Verlustes an persönlicher Autonomie und Kompetenz (z.B. Einschränkung der Entscheidungsfreiheit und Hilflosigkeit, da eine intendierte Aktivität behindert wurde und diese Störung entweder gar nicht oder nur mit erheblichen Kosten bekämpft werden kann), der Bedrohung (z.B. Ge-

fährdung von Gesundheit und Leben) sowie der Nötigung (z.B. Veranlassung zu einem Umzug) vor [Guski 1987, 1999; Guski et al. 1999; Hellbrück & Fischer 1999; Schick 1997]. Guski et al. [1999] weisen in einer interkulturellen Studie zur inhaltlichen Bedeutung des Begriffs der Lärmbelästigung mit Hilfe der Methode des semantischen Differentials länderspezifische Unterschiede bezüglich seines konnotativen Inhalts nach. Es zeigt sich, dass im deutschen Sprachraum der Belästigungsbegriff semantisch dem Konzept der Störung¹ am nächsten liegt, während etwa in Japan stärker emotionale Komponenten wie Verärgerung im Vordergrund stehen. Alles in allem ist die Lärmbelästigung ein vielschichtiges Konzept, das sowohl Verhaltens- als auch evaluative Komponenten integriert [Guski & Schick 2004]. Nach der Auffassung von Koelega [1987] unterscheiden die meisten Forscher jedoch nicht explizit zwischen diesen Komponenten, insbesondere im Hinblick auf emotionale und kognitive Aspekte der Belästigung.

1.2.2 Modelle der Lärmbelästigung

Entsprechend der unterschiedlichen Definitionen des Begriffs Lärmbelästigung gibt es verschiedene Modelle, die die Beziehung zwischen akustischer Belastung und resultierender Belästigung beschreiben, von denen im Folgenden vier Ansätze dargestellt werden:

1.2.2.1 *Der psycho-physische Ansatz*

Nach dem psycho-physischen Modell sind Geräusche (unabhängig von ihrer Bedeutung) unspezifische „Zusatzreize“, die in Abhängigkeit von ihrem Schallpegel zu einer mehr oder weniger starken Arousal-Reaktion (d.h. einer erhöhten psycho-physischen Aktivierung) im zentralen Nervensystem führen. Dabei spielt das aufsteigende Retikulärsystem neurologisch eine wichtige

¹Nach Kastka [2001a] wird die „Störung“ als unmittelbare Reaktion auf eine vorausgehende Lärmexposition verstanden, die in einen intendierten Verhaltensablauf eingreift wie etwa in einen Kommunikationsprozess oder eine gewollte Verhaltensabsicht verhindert, z.B. das Durchschlafen in der Nacht.

Rolle. Mittlere Arousalniveaus führen nach diesem auch als *Arousaltheorie* bekannten Ansatz gemäß dem *Yerkes-Dodson-Gesetz* [Yerkes & Dodson 1908] zu Leistungssteigerungen, während niedrige und höhere Niveaus zu einer Übererregung und damit zu weniger effektiven Handlungen führen. Laut diesem Erklärungsmodell kann Lärm Störungen von Aktivitäten (Kommunikation, Erholung, Schlaf) bedingen, was meistens eine Belästigung nach sich zieht. An diesem Ansatz wurde kritisiert, dass physikalischen Geräuscheigenschaften (primär dem Schallpegel) im Hinblick auf physiologische Reaktionen eine zu große Bedeutung beigemessen wird. Kognitive Faktoren sowie personale und situative Moderatoren werden hingegen außer Acht gelassen, so dass weder individuelle Unterschiede in der Lärmbelästigung noch Belästigungsunterschiede zwischen Lärmquellen bei gleicher akustischer Belastung erklärt werden können [Düker 1963; Hall et al. 1983; Lazarus 1966].

1.2.2.2 *Der stresstheoretische Ansatz*

In der Folgezeit des psycho-physischen Ansatzes dominierten unterschiedliche Ansätze, die unter dem Konzept „Stress“ zusammengefasst werden können. Der Begriff „Stress“ ist entgegen seines alltäglichen Sprachgebrauchs operationalisierbar als *Stressor*, als *Reaktion* sowie als *Transaktion*.

In der reizbezogenen Operationalisierung des Stressbegriffs dient das Konzept zur Spezifizierung von vielfältigen physikalischen, chemischen und psychosozialen Umwelteinflüssen, die auf den menschlichen Organismus einwirken (physiologisch und psychologisch), und denen er sich anpassen muss [Baum et al. 1982; Cohen 1978; Evans & Cohen 1987; Lepore & Evans 1996]. In der Stresstaxonomie von Campbell [1983] sind Umweltgeräusche typische Umgebungsstressoren („ambient stressors“), d.h. chronische, relativ stabile, schwer zu verändernde Bedingungen der physischen Umwelt. Oft sind diese umgebenden Stressoren Hintergrundbedingungen, die zunächst nicht beachtet, in bestimmten Situationen aber die Gesundheit und Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen vermögen. Hierzu zählen Lärmbedingungen, wie z.B. die chronische Exposition durch Fluglärm [Lepore & Evans 1996]. Es existieren *physiolo-*

gische Modelle (Stress als Reaktion) und *psychologische Ansätze* (Stress als Transaktion) zur Beschreibung der Wirkungsweise von Umweltstressoren, die nach Baum et al. [1982] eher ergänzend als einander ausschließend zu betrachten sind:

Um physiologische Effekte von Umweltstressoren modellhaft aus einer medizinischen Perspektive zu beschreiben, definierte Selye [1957, 1974, 1991], ein Pionier der Stressforschung, das *Allgemeine Adaptationssyndrom* („General Adaptation Syndrom“), das in einer sequentiellen unspezifischen „Stress“ Reaktion auf Umgebungsanforderungen (den Stressoren) in Form von Alarm- und Widerstandsprozessen besteht und zu einer Erschöpfung der Ressourcen des Organismus führen kann. Selyes Stressmodell basiert auf Befunden von Cannon [1932], der Stress als (wiederherstellende) Reaktionen auf Störungen des homöostatischen Gleichgewichts des Organismus durch äußere Umweltbedingungen interpretierte. Diese Reaktionen sind nach heutigen Erkenntnissen [Schandry 1998] physiologisch in zwei neurohumoralen Regelkreisen (Hypothalamus-Nebennierenmarksystem, Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrindensystem) begründet und dienen der Wiederherstellung des ursprünglichen homöostatischen Gleichgewichts des Organismus. Henry & Stephens [1977] erweiterten den physiologischen Ansatz, indem sie die psychologische Wirksamkeit eines Reizes von genetischen oder durch Lernen erworbenen Bewältigungsmustern abhängig machen.

Aus psychologischer Sicht ist Stress weder Reiz noch Reaktion, sondern das Ergebnis eines individuell wahrgenommenen Abwägungsprozesses zwischen Umweltanforderungen (Stressoren) und eigenen Fähigkeiten und Möglichkeiten, diese Anforderungen adäquat zu bewältigen („Coping“). Je höher die Anforderungen relativ zu den eigenen Handlungsmöglichkeiten sind, umso größer ist der Ungleichgewichtszustand in einem Menschen und der damit resultierende Stress. Bei dem so genannten *transaktionalen Stressmodell* kommt es primär auf die kognitive Auseinandersetzung zwischen Mensch und Umwelt (die Transaktion) an, weniger auf die physikalischen Aspekte einer Belastung [Lazarus 1966, 1990, 1991; Lazarus & Cohen 1977; Lazarus & Folkman

1984]. Lärm wird in diesem Kontext umso belästigender empfunden, je weniger die betroffene Person die Möglichkeit sieht, die unerwünschten Geräusche bzw. deren negativen Folgen, die sich aus ihnen ergeben (Störung von Tätigkeiten), erfolgreich zu bewältigen [Guski & Schick 2004]. Die relative Machtlosigkeit der Betroffenen gegenüber der Lärmquelle (bzw. deren geringe Kontroll-Kompetenz) wird als ein wesentlicher Aspekt der Belästigungswirkung angesehen [de Jong 1990; Evans 1982; Glass & Singer 1972; Gunn 1987; Stallen 1999]. Für dieses Modell spricht vor allem die hohe Varianzaufklärung, die durch die Berücksichtigung interindividuell unterschiedlicher Bewältigungskompetenzen erreicht wird. Stallen [1999, 2000] erweiterte das psychologische Stresskonzept um soziale Komponenten. Er nimmt an, dass der Grad an wahrgenommener Störung, unterschiedliche (soziale) Einstellungen zur Lärmquelle, die individuell wahrgenommene Bedrohung und ihre Bewältigungs- und Kontrollmöglichkeiten sowie das Vertrauen, das man dem Lärmverantwortlichen entgegenbringt, wesentliche Moderatoren der Belästigung durch Lärm sind.

1.2.2.3 *Der quasi-rationale Ansatz („rational choice theory“)*

Nach Fidell [1987; Fidell et al. 1988; Green & Fidell 1991] ist ein Lärmbelästigungsurteil das Ergebnis eines mehr oder minder *rationalen Entscheidungsprozesses* („rational choice“). In die Entscheidung (d.h. in das Belästigungsurteil) fließen die gegenwärtige akustische Belastung, Erfahrungen bzw. vermittelte Informationen über frühere akustische Belastungen, die eigene Empfindlichkeit gegenüber Störungen des eigenen Verhaltens von außen sowie Kosten-Nutzen-Überlegungen bezüglich der getroffenen Entscheidung (z.B. Vor- und Nachteile, die sich aus der Angabe eines bestimmten Lärmbelästigungsurteils ergeben) ein. Das Modell bezieht sich ausdrücklich auf das *Belästigungsurteil*, nicht auf das Belästigungserleben. Der Einfluss emotionaler Aspekte und weiterer nicht-akustischer Moderatoren wird nicht berücksichtigt.

1.2.2.4 Der kognitive Ansatz

Nach dem kognitiven Modell der Lärmbelastigung von Höger et al. [2001] bilden Betroffene eine *kognitive Repräsentation der Lärmsituation* anhand der Geräuschbelastung sowie psychologischer, situativer und sozialer Rahmenbedingungen. Die mentale Repräsentation umfasst rationale Bewertungen, Erfahrungen, emotionale Komponenten, Stresserleben und Einstellungen. Auf diese kognitive Repräsentation der eigenen Lärmsituation beziehen sich Betroffene, wenn sie Belästigungs- und Gestörtheitsurteile abgeben und sich beschweren. Belästigungs-, Gestörtheitsurteile und Beschwerden stehen dabei untereinander in Beziehung, deren Kausalrichtung jedoch bisher nicht spezifiziert wurde.

1.3 Skalierungsmethoden der Lärmbelastigung

In der Vergangenheit wurde die Lärmbelastigung der Bevölkerung auf sehr unterschiedliche Weise erhoben. Einen Teil der methodischen Unterschiede hat Guski [1997] diskutiert. In der Lärmwirkungsforschung wurden zur Messung der globalen Belästigung, bei der rückblickend für einen bestimmten Zeitraum eine zusammenfassende Bewertung abgegeben wird, *Ratingskalen unterschiedlichen Antwortformats* (graphische oder verbale Kategorien) mit einer unterschiedlichen Anzahl an Skalenstufen verwendet, was eine Vergleichbarkeit der Untersuchungen erschwert [Guski & Schick 2004]. So finden sich etwa 3-stufige verbale Skalen bei Anderson et al. [1983], 4-stufige bei Fields & Walker [1982] und Aasvang & Engdahl [1999], 5-stufige bei Finke et al. [1980], Fidell & Teffeteller [1981], sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft [1974], 7-stufige Antwortformate bei Kastka et al. [1995] und 9-stufige bei Hall et al. [1981] sowie Aasvang & Engdahl [1999]. Besonders häufig wird das so genannte „Lärmbarometer“ eingesetzt, bei dem die Befragten ihre Belästigung durch Lärm auf einem 11-stufigen „Belästigungsthermometer“ [Oliva 1998; Winneke & Liu 1995] einschätzen soll. Es wird allerdings vermutet, dass diese Skala überdifferenziert und nicht äquidistant ist. Miedema & Vos [1998, 1999] haben versucht, die unterschiedlichen Antwortskalen in ein ein-

heitliches Format zu transformieren. Zur internationalen Standardisierung der Belästigungsmessung empfehlen Felscher-Suhr et al. [2000] den Einsatz einer Lärmbelästigungsskala mit fünf verbalen Antwortstufen, die eine differenzierte Erfassung erlaubt und am ehesten dem Kriterium der Äquidistanz entspricht [vgl. auch Fields et al. 2001].

1.4 Dosis-Wirkungs-Beziehungen

Die Belästigung ist die bisher einzige Wirkgröße, für die etablierte Dosis-Wirkungs-Beziehungen vorliegen [Fidell et al. 1991; Miedema & Vos 1998, 1999; Schultz 1978]. In der Regel wird ein statistisch *monotoner Zusammenhang zwischen Schallpegel und Belästigung* nachgewiesen, d.h. die Belästigungsreaktion nimmt mit dem Ansteigen des Schallpegels zu und zwar je nach zugrunde gelegtem Pegelmaß (vgl. *Kapitel 1.4.1*) unterschiedlich stark [Fields 1984, 1993; Rylander et al. 1972, 1980, 1986; Schultz 1978]. Es wurden mehrfach *integrierende Dosis-Wirkungs-Kurven* zur Beschreibung der psycho-physischen Beziehung zwischen Maßen der Verkehrslärmbelastung und -belästigung erstellt, indem mehrere Dosis-Wirkungs-Kurven zu einer gemeinsamen Kurve zusammengefasst wurden. Der Vorreiter dieser Art von Datenaggregation ist Schultz [1978]. Seine Kurve wurde von Fidell et al. [1991] und später durch Schuemer & Schreckenbergs [2000] durch die Hinzunahme neuerer Studien erweitert, blieb allerdings im Verlauf mehr oder weniger identisch. Zentral kritisiert an dieser Art des Vorgehens wurde das Zusammenfassen verschiedener akustischer Daten zu einer quellenunspezifischen „Dosis“ sowie die Integration unterschiedlich erfasster Belästigungsvariablen zur einer „Wirkung“ [Kryter 1982]. In einer Weiterführung dieses Ansatzes entwickelte Miedema [1993, 1998] daher *quellenspezifische Dosis-Wirkungs-Kurven*. Es zeigt sich, dass die Steigung der Fluglärmkurve steiler verläuft als die der anderen Verkehrslärmquellen. Dies bedeutet, dass bei glei-

chem Pegelzuwachs prozentual mehr Personen sich durch Fluglärm belästigt fühlen als durch Straßen- und Schienenverkehrslärm.²

Der statistische Zusammenhang zwischen Pegelmaßen und Lärmbelästigung ist selten so hoch, dass man von einer befriedigenden Varianzaufklärung durch die akustischen Parameter sprechen könnte [Fields 1993; Passchier Vermeer 1993; Stallen 1999]. Das Ausmaß der Wirkung steigt zwar mit der Ausbildung der verwendeten akustischen Größe, dennoch variieren die Belästigungsreaktionen auf denselben Reiz interindividuell sehr stark. Folglich sind die Zusammenhänge (und damit der Anteil an gemeinsamer Varianz zwischen unabhängiger und Reaktionsvariable) zwar stets statistisch gesichert, aber auf individueller Ebene verhältnismäßig gering, während sie auf der Basis populationsbezogener gemittelter Daten mit $r \sim .60$ höher ausfallen [Job 1988; Winneke & Liu 1995]. Dieser Umstand impliziert, dass an individuellen Lärmwirkungen auch nicht-akustische Faktoren beteiligt sind. Zusammenfassende Darstellungen dazu finden sich u. a. bei Rohrmann et al. [1978], Guski [1987, 1999, 2001c], Job [1988] und Fields [1993] sowie in *Kapitel 1.4.2*.

1.4.1 Physikalische Parameter der Lärmbelästigung

Zur Herstellung der Beziehung zwischen akustischem Reiz und resultierender Störwirkung ist es auf beiden Seiten erforderlich, Operationalisierungen der zu erhebenden Größen vorzunehmen. Auf der Reaktionsseite wird hierbei die Lärmbelästigung mittels unterschiedlicher Skalierungsinstrumente erfasst (vgl.

²Qualitativ betrachtet hat der Fluglärm bei vergleichbarer Schallenergie gegenüber den anderen Verkehrslärmarten das höchste Störpotential, wobei diese Unterschiede mit zunehmendem Schallpegel größer werden [Miedema & Vos 1998]. In dB-Äquivalenten ausgedrückt ist Fluglärm im Sinne eines Malus um etwa 5 dB belästigender als Straßenlärm [Miedema 1998]. Quantitativ gesehen ist Fluglärm nach dem Straßenverkehrslärm die zweite Lärmquelle, durch die die Bevölkerung in der BRD gestört und belästigt wird. Dies zeigt sich etwa in einer bevölkerungsrepräsentativen Befragung des Umweltbundesamtes [Ortscheid & Wende 2002]. Verwendet man das Kriterium, eine erhebliche Belästigung („highly annoyed“) sei dann gegeben, wenn die oberen beiden Kategorien einer 5-stufigen Antwortskala verwendet werden, dann sind laut Umfrage etwa 18% der Bevölkerung durch Straßenlärm und 6% durch Fluglärm betroffen.

Kapitel 1.3). Auf der Reizseite stehen hierfür verschiedene Pegelmaße und weitere ereignisbeschreibende Parameter zur Verfügung:

Mittelungspegel gelten in der Wirkungsforschung nach wie vor als bestes (objektives) Messverfahren zur Prognose von Lärmbelastungen [Hellbrück 1993; Schick 1997]. In empirischen Untersuchungen zum Belästigungserleben durch Lärm ergeben sich meistens mehr oder weniger stringente Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen akustischer Belastung und Belästigungsreaktion. Dabei wird die Lärmbelastung üblicherweise durch den (A-bewerteten) energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} (auch Mittelungspegel L_M genannt) beschrieben [z.B. Aasvang & Engdahl 1999], der nach den energetischen Gesichtspunkten Energie und Häufigkeit der einzelnen Lärmereignisse über die Messzeit erfasst, summiert und mittelt.³ Untersuchungen zur Belästigungswirkung von Fluglärm auf die Anwohner an Flughäfen haben allerdings ergeben, dass die fluglärmbedingte Störwirkung oberhalb von 55 dB(A) durch mittelungspegelorientierte Messverfahren tendenziell unterschätzt wird [Kastka 2001a, 2001b]. Die akute Störwirkung bei intermittierendem Lärm (z.B. Bahn- oder Fluglärm) wird vor allem durch das Einzelereignis erzeugt, so dass es sinnvoll ist, Einzelereignisse durch den *maximalen Schallpegel* L_{max} anstelle des L_{eq} zu charakterisieren. Er beschreibt die maximale Stärke in dB, die beispielsweise während eines Überfluges erreicht wird.

Neben dem Geräuschpegel ist die *Anzahl an Schallereignissen* (auch *Pegelhäufigkeit* genannt) ein wichtiger Einflussparameter fluglärminduzierter Belästigungsreaktionen. Schon ältere Studien [z.B. DFG 1974; Finke et al. 1980] haben gezeigt, dass Belästigungsurteile praktisch gleich hoch mit dem Mittelungspegel wie auch der Anzahl lauter Ereignisse kovariieren. Nach Fields [1984] schwankt der Zusammenhang zwischen Belästigung und der Anzahl

³Die deutsche Gesetzgebung (Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm vom 30. März 1971) verwendet den A-bewerteten, energieäquivalenten Dauerschallpegel als Basis für Grenzwerte der Fluglärmbelastung. Maximalpegel und deren Häufigkeit werden nicht verwendet. Die Berechnung des Mittelungspegels erfolgt im Unterschied zur Berechnung anderer Lärmquellen ($q = 3$) mit einem Halbierungsparameter von 4, d.h. eine Erhöhung des Schallpegels um 4 dB in der Wirkung einer Verdoppelung der Einwirkzeit gleichgesetzt. Somit ist L_{eq4} immer kleiner als L_{eq3} , außer, wenn das zu beurteilende Geräusch über den gesamten Beurteilungszeitraum andauert.

an Fluglärmereignissen zwischen einem deutlichen und einem nicht erkennbaren Einfluss der Ereigniszahl. Guski's [1999] Auffassung zufolge reagieren Lärmbetroffene nicht nur auf eine globale Lärmimmission, charakterisiert durch den Mittelungspegel, sondern vielmehr auf Lärmereignisse, d.h. auf die Anzahl, Verteilung, Dauer, Lautstärke und Bedeutung akustischer Immissionen. Deswegen ist es nicht weiter verwunderlich, wenn beispielsweise Flughafenanwohner trotz leiseren Fluggeräts behaupten, es sei lauter geworden, da sie sich auf die erhöhte Anzahl an Flugbewegungen und die verkürzten Ruhezeiten zwischen Flugereignissen beziehen. Während Kalveram [1996] davon ausgeht, das Lärmaufkommen lasse sich kontingentieren, d.h. bei gleich bleibendem Mittelungspegel könne die Anzahl der Flugbewegungen gesteigert werden (de Lijster [1996] nennt dies *energieäquivalente Pegel-zu-Häufigkeitskonvertierung*), ohne dass dadurch die lärmpsychologische Belastung der Bevölkerung erhöht wird, vertreten andere Forscher die Position, dass die starke Zunahme des Flugverkehrs bei gleichzeitiger Reduktion der Emissionspegel einzelner Flugereignisse zu einer qualitativen Änderung der Lärmbelastung führt, so dass Betroffene heute vor allem fehlende Pausen im Lärmverlauf beklagen. Kastka [1999] fand beispielsweise Hinweise auf einen Anzahleffekt aus Längsschnittstudien über einen Zeitraum von 8 Jahren, in denen sich trotz gleich bleibender Mittelungspegel, aber bei steigender Häufigkeit der Lärmereignisse die Belästigungsreaktion der Anwohner erhöhte [vgl. auch Guski 2001b; Kastka 2001a, 2001b]. Kastka entwickelte das Belastungsmaß *NAT70*⁴ und verwendete es zur Beschreibung der Belästigung an mehreren Flughäfen.

Nach der Auffassung von Björkman et al. [1992] lässt sich die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen akustischer Fluglärmbelastung und Belästigung am ehes-

⁴Kastka belegt durch empirische Studien mit Flughafenanwohnern, dass mit der Anzahl der Einzellschallereignisse, deren L_{max} den Wert 70 dB(A) überschreiten (Number above Threshold: NAT70), sich am besten die Anwohnerbelästigung (gemessen im prozentualen Anteil stark bzw. erheblich Belästigter bzw. *highly annoyed*) darstellen lässt [Kastka 2001a, 2001b]. Kastka empfiehlt maximal 60 Überschreitungen bei Tag und 8 Überschreitungen bei Nacht als Richtwerte für Wohngebiete. In Anlehnung an NAT70 sollten nach Guski [2001b] Schallschutzmassnahmen primär auf eine Verminderung lauter Schallereignisse abzielen, da sie den Betroffenen eine größere Erleichterung verschaffen als eine bloße Reduktion des Mittelungspegels.

ten unter Zuhilfenahme der beiden Parameter *Anzahl an Schallereignissen* und *Maximalpegel* charakterisieren [siehe auch Rylander & Björkman 1988]. In den 70er und 80er Jahren wurden zahlreiche Feldstudien durchgeführt, in denen versucht wurde, die Beziehung zwischen beiden physikalischen Einflussgrößen im Hinblick auf die Belästigungsreaktion zu spezifizieren [z.B. Fields 1984; Rylander et al. 1972, 1980, 1986; Schultz 1978]. In der Regel erfolgt ab einem bestimmten Schwellenwert (z.B. $L_{\max} = 70 \text{ dB(A)}_{\text{außen}}$) durch die Zunahme an Überflügen eine Steigerung der Belästigung [siehe auch Öhrström & Rylander 1990; Öhrström 1995 sowie Sato et al. 1999 im Zusammenhang mit Straßenverkehrslärmbelästigung]. Laut de Lijster [1996] besteht eine Abhängigkeit des Anzahleffektes vom Niveau der Fluglärmbelastung: Bei geringer Lärmbelastung hat die Anzahl der Flugereignisse einen geringeren Einfluss auf die Belästigung als die Lautstärke der Einzelereignisse (unter-energetischer Anzahleffekt). Mit zunehmender Belastung bildet sich ein über-energetischer Anzahleffekt aus. Für sehr hohe Lärmbelastungsniveaus bildet sich dieser Anzahleffekt wieder zurück, ohne jedoch unter-energetisch zu werden. Rylander et al. [1972] haben gefunden, dass nur bei einer relativ großen Anzahl von Schallereignissen (etwa mehr als 60 Starts in 24 h) eine enge Beziehung zwischen dem Schallpegel und der Belästigung besteht; dagegen ändert sich das Ausmaß der Lärmbelästigung bei niedrigeren Überflug-Häufigkeiten (bis etwa 36 Starts in 24 h) mit zunehmendem Schallpegel zunächst kaum, um erst jenseits etwa $90 \text{ dB(A)}_{\text{außen}}$ in Korrelation mit dem Pegel zu wachsen. Bei kleineren Flughäfen scheint demnach die Anzahl von Überflügen bezüglich der Fluglärmbelastung eine wichtigere Rolle zu spielen als der Schallpegel [siehe auch Rylander & Björkman 1997; Sato et al. 1999]. Letzteres steht in Einklang mit Befunden der Studie „Fluglärmwirkungen“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft [DFG 1974], derzufolge im psychischem Bereich – wie etwa bei der Belästigung durch Lärm - der Anzahl der Flugereignisse eine größere Bedeutung zukommt als dem maximalen Schallpegel [vgl. auch Gunn et al. 1981].

1.4.2 Psychologische Parameter der Lärmbelästigung

Da die Belästigung außer durch die physikalischen Eigenschaften des unerwünschten Geräusches von verschiedenen intervenierenden personalen, sozialen und situativen Faktoren abhängt, ist üblicherweise der statistische Zusammenhang zwischen akustischer Belastung und Störwirkung nicht so hoch, als dass individuelle Belästigungsreaktionen sicher aus physikalischen Parametern prognostiziert werden könnten. Diese nicht-akustischen Einflussgrößen werden im Rahmen der Untersuchung von Mensch-Umwelt-Beziehungen als *Moderatoren* bezeichnet [Evans & Lepore 1997; Guski 1997]. Moderatorvariablen sind stets unabhängig vom physikalischen Reiz und kovariieren mit der untersuchten Wirkgröße. Die Mitwirkung von Moderatoren ist für die Varianzaufklärung mindestens ebenso wichtig wie die physikalische Belastung selbst. Eine Faustregel innerhalb der Lärmwirkungsforschung besagt, dass in etwa ein Drittel der Belästigung durch akustische Faktoren bestimmt wird, ein weiteres Drittel durch nicht-akustische Moderatoren, während das letzte Drittel der Belästigung nach heutigem Forschungsstand nicht erklärt werden kann [Fields 1993; Guski 1997, 1999, 2001c; Höger 1999; Job 1988; Oliva 1998; Passchier Vermeer 1993; Schick 1996, 1997; Schuemer & Schuemer-Kohrs 1984; Stallen 1999; Vallet 1987].

Situative bzw. kontextuelle Moderatorvariablen beinhalten u. a. Eigenschaften im Umfeld der exponierten Wohnung (z.B. Infrastruktur, Grünflächen, Erholungs- und Einkaufsmöglichkeiten) im Sinne einer „Umweltästhetik bzw. -qualität“ [Booth 1999; Guski 1987; Oliva 1998],⁵ die aktuelle Tätigkeit oder Beschäftigung einer Person zum Zeitpunkt der Exposition sowie den Auftretenszeitpunkt der akustischen Belastung (Tag vs. Nacht). Der Vergleich der Fluglärmbelästigung bei geöffnetem Fenster ergibt beispielsweise für Tag und Nacht einen Unterschied von ca. 10 dB(A) L_{eq3} , d.h. die Anwohner sind bei

⁵Nach Ortscheid & Wende [2002a] besteht zwischen der eingeschätzten Qualität der Wohngegend und der erfragten Belästigung durch Straßenverkehrslärm ein signifikanter Zusammenhang in der Größenordnung von $r \approx -0,30$, was einer Varianzaufklärung von knapp 9% entspricht. Die Belästigung durch Straßenverkehrslärm nimmt demgemäß mit „besserer Qualität“ der Wohngegend ab.

gleichem Pegel nachts so empfindlich wie tags bei einem 10 dB(A) höheren Schallpegel [Kastka 2001a].

Zu den *sozialen Moderatoren* zählen die gesellschaftliche Bewertung und Einstellung gegenüber einer Lärmquelle (ihr „Image“)⁶, das Vertrauen in die Bemühungen der für Lärmschutz Verantwortlichen, die Geschichte der Entstehung einer Lärmexposition sowie Erwartungen der Anwohner [Fields 1993; Guski 1999]. Es gibt Variablengruppen, die spezifisch für Fluglärm sind, weil sie flugzeugbezogene Inhalte thematisieren (z.B. Gesundheitsschädlichkeit des Fluglärms). Nach Guski [1999] spielen soziale Moderatorvariablen bei der Lärmbekämpfung und damit bei der Reduzierung der Lärmbelästigung eine wichtige Rolle, da sie individuell nicht sehr unterschiedlich sind und ganze Gruppen von Menschen betreffen. Für die Verringerung der Belästigung ist daher eine intensive Betreuung der Betroffenen sinnvoll, insbesondere sollten diese über geplante bzw. vorhersehbare Bemühungen um Lärmreduktion informiert und in Diskussionen über effiziente Schutzmassnahmen einbezogen werden, um ihr Vertrauen in die Verantwortlichen zu fördern und ihnen die Möglichkeit zur kognitiven Kontrolle des Lärms einzuräumen [Felscher-Suhr et al. 2001; Guski 1987, 1999, 2001b].

Wichtige *personale Einflussgrößen* der Belästigung sind schließlich die individuelle Lärmempfindlichkeit⁷, die eigene Bewertung und Einstellung gegenüber

⁶In verschiedenen Lärmwirkungsstudien der 80er Jahre, die sich vor allem den quellenspezifischen Wirkungen von Schienen, Straßen- und anderen Lärmquellen gewidmet haben [Fields & Walker 1982; Finke et al. 1980] wurde gezeigt, dass große Anteile der Varianz in den Lärmbelästigungsurteilen durch die Berücksichtigung von Moderatoren wie die vermutete Gesundheitsgefährdung durch die Quelle (bis zu 26%), die gesellschaftliche Bewertung des Lärms als vermeidbar (bis zu 7%) sowie die allgemeine Überzeugung, dass die Betreiber etwas gegen den Lärm unternehmen könnten, aufgeklärt werden. Guski [1987] verweist auf der Basis der empirischen Befunde der Studie „Betroffenheit einer Stadt durch Lärm“ [Finke et al. 1980] darauf, dass imagebezogene Moderatoren teilweise höhere Anteile der Reaktionsvarianz aufklären als pegelbezogene Maße.

⁷Die individuelle Lärmempfindlichkeit ist der einflussreichste personale Moderator. Sie gilt als eine über die Zeit stabile, generelle Persönlichkeitseigenschaft, die die individuelle Einschätzung der eigenen Empfindlichkeit gegenüber unerwünschten Geräuschen als auch die generelle Einstellung gegenüber Lärm widerspiegeln soll [Fields 1993; Job 1988, 1993, 1999; Jones & Davies 1984; Stallen 1999; Stansfeld 1992; Taylor 1984; Weinstein 1978]. Schon McKennell [1963] konnte zeigen, dass Personen, die sich selbst als lärmempfindlich bezeichnen, deutlich stärker auf den Grad der akustischen Belastung durch Fluglärm reagieren als Personen, die sich selbst als neutral oder weniger lärmempfindlich bezeichnen (vgl. auch Öhrström & Rylander [1988] bezüglich straßenverkehrslärminduzierter Sekundärstörungen). Bezogen auf die Fluglärmelastung werden in der Regel Korrelationen in der Größenordnung von $r \leq$

der Lärmquelle⁸, die wahrgenommenen und bewerteten Bewältigungsmöglichkeiten⁹ des Lärms und die damit verbundene „Lärmgewöhnung“ [Fields 1993; Guski 1987; Miedema & Vos 1999]. Soziodemographische Merkmale wie das Alter, Geschlecht, die Bildung, das Einkommen, der Wohnstatus (Eigentümer vs. Mieter)¹⁰ oder das Nutzungsverhalten von Verkehrsmitteln¹¹ haben in der Regel einen geringen oder keinen systematischen Einfluss [Fields 1993; Miedema & Vos 1999; Oliva 1998].

.50 aufgezeigt. Die Lärmempfindlichkeit ist nach dem Schallpegel der zweitstärkste Prädiktor von Lärm-belästigungen. Nach Guski [1999] kann durch ihre Berücksichtigung der Anteil an Varianzaufklärung der Belästigungsreaktion um etwa 10% gesteigert werden. In Pegeläquivalenten ausgedrückt hat die Lärmempfindlichkeit im Hinblick auf das Belästigungsurteil eine Wirksamkeit von etwa 11 dB [Miedema & Vos 1999]. Sie wird teilweise durch Einzelfragen (z.B. *„Wie empfindlich gegen Lärm jeglicher Art halten Sie sich?“*), meistens aber als Summe von Selbstaussagen über Erfahrungen im Umgang mit Lärm in eigens konstruierten Skalensätzen [z.B. Weinstein 1978] erhoben. Ein relativ neuer, nach psychometrischen Kriterien überprüfter deutschsprachiger Lärmempfindlichkeitsfragebogen stammt von Zimmer & Ellermeier [1997, 1998, 1999].

⁸In einer Literaturanalyse kommt Job [1988] zu dem Ergebnis, dass individuelle Bewertungen und Einstellungen gegenüber der Lärmquelle ähnlich wie die Lärmempfindlichkeit mehr Varianz in der Belästigungsvariable erklären als der Lärmpegel selbst [vgl. hierzu auch Berglund & Lindvall 1995]. Konzeptualisiert werden Einstellungsvariablen sehr unterschiedlich, es wird etwa nach der Wichtigkeit der Lärmquelle [DFG 1974] oder der Gefährlichkeit der Quelle und damit verbundene Furchtassoziationen [Finke et al. 1980], nach der eingeschätzten Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm [DFG 1974; Finke et al. 1980; Leonard & Borsky 1973; McKennell 1963], nach dem Vertrauen bzw. Misstrauen gegenüber dem Fluglärmverantwortlichen [Finke et al. 1980; Leonard & Borsky 1973; Mc Kennell 1963] sowie der allgemeinen Haltung zum Flugverkehr [Kastka 2001b] gefragt.

⁹Die erlebte Belästigung durch Lärm hängt nach dem transaktionalen Stressmodell davon ab, welche Möglichkeiten die Betroffenen zur erfolgreichen Bewältigung des Umweltstressors sehen (Coping-Strategien). Damit verbunden ist das Ausmaß an kognitiver Kontrolle, d.h. inwieweit Betroffene die Lärmsituation als von ihnen selbst kontrollierbar wahrnehmen, in dem Sinne, dass der Lärm für sie vorhersehbar bzw. durch sie selbst beeinflussbar ist, was die negativen Lärmwirkungen erheblich reduzieren kann. Da es sich bei Fluglärm um intermittierende Schallereignisse handelt, ist das Ausmaß an Vorhersagbarkeit und Kontrollierbarkeit allerdings beschränkt [Glass & Singer 1972; Guski 1999; Stallen 1999].

¹⁰Wohnungs- und Hauseigentümer sind im Vergleich zu Mietern weniger mobil, können Fluglärm folglich schwerer entrinnen, so dass zu vermuten wäre, dass die Fluglärm-belästigung hierdurch beeinflusst wird. Einen derartigen Effekt konnten Ortscheid & Wende [2000] jedoch nicht belegen.

¹¹Ortscheid & Wende [2000, 2002a] finden keine moderierende Wirkung durch das eigene Nutzungsverhalten von Flugzeugen auf die Belästigung durch Fluglärm, d.h. die Nutzer von Flugzeugen und Nichtnutzer unterscheiden sich entgegen den Erwartungen hinsichtlich zu unterstellender unterschiedlicher Einstellungen zur Lärmquelle nicht bezüglich ihres Belästigungserlebens.

1.5 Akustische Grenzwerte zur Vermeidung „erheblicher“ Lärmbelästigungen

Da die Belästigung durch Lärm das individuelle Wohlbefinden und damit die Gesundheit beeinträchtigen kann, gehört sie laut WHO zu den Belastungsparametern, die unter das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen fallen [Paulsen et al. 1992]. Das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) definiert eine Belästigung, sofern sie „erheblich“ ist, als schädliche Umwelteinwirkung [Guski 2001a; Jansen 1986; Rohrman 1984a]. Die Formulierungen im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm sowie die 16. Bundesimmissionsschutz-Verordnung (BImSchV) lauten ähnlich. Lärmbelästigung ist der wichtigste Indikator für die Entscheidung, welche Geräuschbelastungen als erheblich oder unzumutbar angesehen werden müssen.

Die inhaltliche Ausfüllung des Ausdrucks der *Erheblichkeit* spielt eine wichtige Rolle in der Rechtsauslegung und Wirkungsforschung. In der Gesetzgebung und Normung wird versucht, durch die Angabe von *Lärmgrenzwerten* festzulegen, ab wann sich die Erheblichkeit der Umweltimmissionen im Sinne des BImSchG manifestiert. Durch die Benennung von Schutzzonen und innerhalb derselben geltenden akustischen Grenzwerte soll der Schutz der betroffenen Bevölkerung gewährleistet werden. Da psycho-physische Dosis-Wirkungskurven über der physikalischen Belastungsachse in der Regel linear sind (d.h., dass die Belästigung stetig mit zunehmender physikalischer Belastung ansteigt) und keine markanten „Sprünge“ aufweisen, die eine qualitative Wirkungsänderung entsprechend einer „Wirkschwelle“ nahe legen [Oliva 1998], gelten in Ermangelung eines eigentlichen Schwellenwertes im internationalen Schrifttum gemäß dem so genannten Schutz-Kriterium Lärmimmissionen, die einen Anteil von 25% bis 28% „ziemlich“ bzw. „stark“ Belästigter („highly annoyed“) prognostizieren, als nicht mehr tolerabel [Fidell et al. 1991; Miedema & Vos 1998; Schultz 1978]. Unter Berücksichtigung mehrerer Untersuchungen zur Belästigungswirkung von Fluglärm nennen Griefahn et al. [2002] einen (theoretischen) Grenzwert von $L_{eq,16h} = 62$ dB(A) als präventiven Richtwert, ab dem mit 25% erheblich belästigter Personen in der exponierten Be-

völkerung zu rechnen ist. Als „Schwellenwert“ wird ein (theoretischer) Grenzwert von $L_{eq,16h} = 55 \text{ dB(A)}$ aufgeführt. Schallimmissionen im Bereich dieses Wertes sollen zu deutlichen psychologischen Veränderungen führen, die Anpassungs- und Bewältigungsprozesse auslösen.

Welches Ausmaß an Belästigung durch Fluglärm für die Bevölkerung vertretbar ist, ist aber letztlich keine wissenschaftliche, sondern eine politische Frage. In jedem Fall bedeutet die Festlegung eines kritischen Grenzwertes unabhängig von seiner Größe, dass eine bestimmte Anzahl an Personen nicht geschützt werden kann, da Grenzwerte auf der Basis von gemittelten Daten abgeleitet werden. Der Zusammenhang zwischen akustischer Belastung und resultierender Störwirkung wird jedoch von vielen nicht-akustischen Faktoren moderiert, die in die Grenzwertfindung nicht einfließen. Das heißt, dass nicht alle gleichermaßen geschützt werden können, da die interindividuelle Variation der Lärmreaktionen sehr unterschiedlich und damit die Effektivität des Schutzes einzelner Individuen geringer ist. Je weniger aber die physikalische und juristische Definition eines Grenzwertes mit der psychologisch kritischen Belastungsgrenze einhergeht, desto mehr Personen verbleiben in der Gruppe der ungeschützt Schutzbedürftigen [Rohrmann 1993].

1.6 Methoden

In einer Schlaflaborstudie wurden die humanspezifischen Wirkungen von Nachtfluglärm untersucht. Die Studie wurde in vier Studienabschnitten STRAIN¹² I bis IV durchgeführt. Es handelte sich dabei jeweils um Laborexperimente, die unter kontrollierten, aber realitätsnahen Bedingungen durchgeführt wurden. Um eine Vorhersagbarkeit des Fluglärms zu vermeiden, wurden alle vier Studienabschnitte als Doppel-Blind-Versuche im „unvollständig randomisierten Block-Design“ angelegt, d.h. weder Probanden noch Versuchsleiter wussten, welche und wie viele Fluglärmereignisse dargeboten wurden. Der

Studienzeitraum erstreckte sich über 13 aufeinander folgende Nächte in der Arbeitsmedizinischen Simulationsanlage (AMSAN) des DLR Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin (Abbildung 1). Jedem Proband stand ein eigener Schlafraum zur Verfügung.

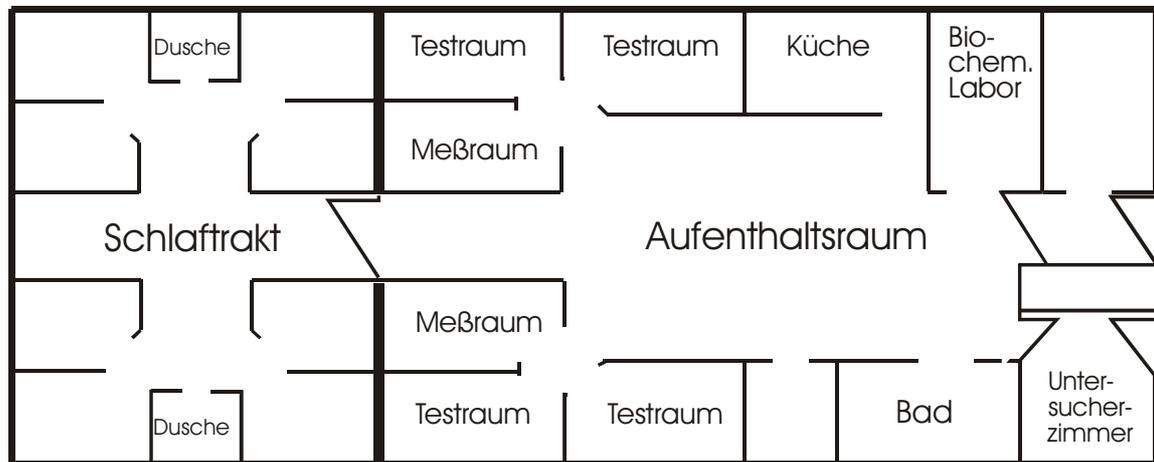


Abbildung 1: Arbeitsmedizinische Simulationsanlage (AMSAN): Größe ca. 300 qm.

Der Ablauf des Studienabschnitts STRAIN I ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Jede der 4 Studienphasen begann am Montagabend und endete am Sonntagmorgen der darauf folgenden Woche. Die ersten beiden Nächte waren lärmfrei: die erste Nacht diente der Gewöhnung an die Laborbedingungen, die zweite wurde als Basisnacht zur Erfassung von Kontrollwerten verwendet, um diese mit den folgenden fluglärmexponierten Nächten zu vergleichen.

¹²STRAIN ist die Abkürzung für „**S**tudy on Human Specific **R**esponse to **A**ircraft **N**oise“.

		Versuchsnacht												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Studienphase	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	0	0
	III	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	0	0
	IV	0	0	L	L	L	L	L	L	L	L	L	0	0

Abbildung 2: Studienabschnitt STRAIN I mit insgesamt 32 Probanden. Vier Gruppen mit je acht Personen wurden in 13 aufeinanderfolgenden Nächten untersucht. Hierbei gab es jeweils zwei Anpassungs- und Kontrollnächte (0). Die Lärmnächte (L) waren nach Anzahl und Maximalpegel der Fluggeräusche randomisiert, die Beschallung erfolgte doppelt blind. Gruppe I diente als Kontrollgruppe, d.h es wurde kein Fluglärm (0) eingespielt.

Die Nächte 3 bis 11 enthielten randomisierte Fluglärmbeschallungen mit wechselnden *Pegelhäufigkeitskombinationen* und unterschiedlichen zeitlich äquidistanten Mustern (Abbildung 3). Die letzten beiden (lärmfreien) Nächte wurden für zusätzliche, vergleichende Kontrolluntersuchungen verwendet.¹³ Abbildung 3 ist die Anzahl von Vpn, denen die einzelnen Pegelhäufigkeitskombinationen dargeboten wurden, zu entnehmen. Aus ethischen sowie aus Gründen der ökologischen Validität wurden keine extremen Kombinationen (z.B. 128 mal 80 dB(A) oder 4 mal 50 dB(A)) verwendet („unvollständig mehrfaktorieller Versuchsplan“).¹⁴

¹³In der vierten Laborstudie (STRAIN IV) erfolgte in den Nächten 12 und 13 ebenfalls eine Fluglärmexposition, die jedoch in der vorliegenden Auswertung nicht berücksichtigt wurde.

¹⁴Bei unvollständig mehrfaktoriellen Versuchsplänen werden nicht alle möglichen Faktorstufenkombinationen schematisch miteinander kombiniert, sondern es werden nur diejenigen Kombinationen ausgewählt, die benötigt werden, um Informationen über hypothesengeleitete und gezielt ausgewählte Haupteffekte zu erhalten [Bortz 1989].

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

Abbildung 3: Pegelhäufigkeitskombinationen in STRAIN I bis IV. In der linken Spalte stehen die Maximalpegel (45 dB(A) bis 80 dB(A)), die gleichverteilt in der Nacht mit der Häufigkeit n (2. Zeile) dargeboten wurden. In den Zellen ist die Anzahl der Vpn bzw. Nächte, die mit dem entsprechenden Pegelhäufigkeitsmuster beschallt wurden, dargestellt.

In der Laborstudie wurden 128 gesunde und altersentsprechend normalhörende Personen (53 Männer, 75 Frauen) im Alter von 19 bis 65 Jahren untersucht. Die Vpn eines Studienabschnittes ($N = 32$) wurden auf 4 Gruppen von je acht Personen aufgeteilt, die gleichzeitig eine Untersuchungsphase von 13 Nächten unter denselben Bedingungen absolvierten. Die Probanden wurden zufällig auf die Experimental- und Kontrollbedingungen verteilt („Randomisierung“). In den Kontrollgruppen (erste Phase von STRAIN I und vierte Phase von STRAIN II, $N = 16$) wurde während der gesamten Untersuchung kein Fluglärm eingespielt, lediglich die Geräuschemissionen der Klimaanlage ergaben einen konstanten Hintergrundpegel von $L_{AS,eq} \simeq 30$ dB(A). Alle Studienteilnehmer verbrachten lediglich den Abend und die Nacht im AMSAN (von etwa 19:00 bis 8:00 Uhr), um ihren normalen Tagesablauf im Sinne der ökologischen Validität der Studie so wenig wie möglich zu beeinträchtigen. In allen Nächten war der Beginn der Nachtruhe um 23:00 Uhr, das Wecken fand um 7:00 Uhr statt, so dass eine Schlafzeit von acht Stunden ermöglicht wurde.

Bei dem Begriff „(Flug-)Lärm“ handelt es sich wie einleitend erörtert um die Bewertung eines Fluggeräusches als unerwünschtes und störendes Schallergebnis. Seine Operationalisierung erfolgte in der Studie mit Hilfe folgender akustischer Parameter im Sinne der unabhängigen Variablen:

- *Anzahl von Fluglärmereignissen pro Nacht* (Pegelhäufigkeit),
- *Maximalpegel eines Fluglärmereignisses* ($L_{AS,max}$),
- *Mittelungspegel bzw. energieäquivalenter Dauerschallpegel* $L_{AS,eq}$ über acht Schlafstunden (23:00 bis 7:00 Uhr),
- Unterscheidung zwischen *startenden* und *landenden Flugzeugen*.

Korrekterweise müsste eigentlich von „Flugschall“ gesprochen werden, da ausschließlich akustische Kenngrößen für die Operationalisierung herangezogen wurden. Da aber die Verwendung des Begriffs „Fluglärm“ in der Wirkungsforschung durchaus gängig ist, wird auch im Folgenden von Fluglärm die Rede sein, selbst wenn rein akustische Merkmale gemeint sind. Wichtige nicht-akustische Einflussgrößen wurden ebenfalls berücksichtigt und getrennt als psychologische Moderatorvariablen operationalisiert.

Während der neun Beschallungsnächte im Labor wurden den Experimentalgruppen ($N = 112$) Fluglärmereignisse in die zuvor eingemessenen Schlafräume über Lautsprecher dargeboten. Dabei wurden wechselnde Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen mit verschiedenen temporalen Mustern in den verschiedenen Nächten realisiert, wodurch sich unterschiedliche Abstufungen des Mittelungspegels ergaben (Abbildung 3). Da für jeden Probanden nur jeweils neun Nächte mit Fluglärm gegenüber 30 möglichen Expositionsmustern zur Verfügung standen, die zufällig auf die neun Lärmnächte verteilt wurden, handelt es sich um ein „unvollständiges Block-Design“ (Blocks entsprechen Probanden). Der $L_{AS,max}$ lag zwischen 45 dB(A) und 80 dB(A), die Häufigkeit der Ereignisse variierte zwischen 4 und 128 Ereignissen pro Nacht, wobei als Reizabstufungen 5 dB(A) bzw. eine Verdoppelung der Anzahl verwendet wurden (Abbildung 3). Dies ergab energieäquivalente Dauerschallpegel im Be-

reich von 30.0 dB(A) bis 54.5 dB(A).¹⁵ Der Fluglärm einer Nacht wurde über den Zeitraum von 23:15 bis 6:45 Uhr äquidistant verteilt. Für seine zeitgesteuerte Wiedergabe wurde eine Acoustic Workstation eingesetzt.

Mit Hilfe eines Fragebogens wurden folgende fluglärmbedingten Sekundärstörungen am Morgen nach dem Aufstehen im Sinne der abhängigen Variablen erhoben:

- *Belästigung* durch den nächtlichen Fluglärm,
- *Schlafquantität* und *Schlafqualität*,
- *Aufwachhäufigkeit*,
- *erlebte Fluglärmbelastung*, d.h. *Fluglärmstärke* und *Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche* in der vergangenen Nacht.

Bei den einzelnen Items handelte es sich jeweils um 5-stufige Antwortskalen mit unterschiedlicher verbaler Verankerung. Zusätzlich wurde die momentane Ermüdung durch einen standardisierten Fatigue-Fragebogen (FAT) erfasst, der in der deutschen Übersetzung des amerikanischen Originals angewendet wurde [Samn & Pirelli 1982]. Die insgesamt 10 FAT-Items haben das gleiche, 3-stufige Antwortformat („2 = schlechter“, „1 = genau“, „0 = besser“) und werden zu einem Gesamtwert verrechnet (von „0 = hellwach“ bis „20 = todmüde“). Zur Belästigungsmessung wurde ein 5-stufiges Item (von „1 = nicht“ bis „5 = sehr“ belästigt) entsprechend den Standardisierungsempfehlungen von Felscher-Suhr et al. [2000] und Fields et al. [2001] eingesetzt.

Folgende nicht-akustische Einflussgrößen der Fluglärmbelastung wurden bereits im Vorfeld der Untersuchung mittels eines allgemeinen Fragebogens ermittelt:

¹⁵Zur deskriptiven und inferenzstatistischen Auswertung wurde der LAS_{eq} in 9 Kategorien unterteilt: ≤ 33 dB(A), ≤ 36 dB(A), ≤ 39 dB(A), ≤ 42 dB(A), ≤ 45 dB(A), ≤ 48 dB(A), ≤ 51 dB(A), ≤ 54 dB(A) und ≤ 57 dB(A). Als Reizabstufung wurden 3 dB(A)-Schritte entsprechend einer Verdoppelung bzw. Halbierung der Schallenergie gewählt.

a) Situative bzw. kontextuelle Moderatoren

- *Zufriedenheit mit bestimmten Aspekten der Wohngegend,*
- *allgemeine Wohnzufriedenheit,*
- *Wohndauer im Sinne einer zeitlich sukzessiven Lärmgewöhnung,*
- *Art des häuslichen Schallschutzes (Fensterverglasung),*
- *unterschiedliche Fensterstellungen im exponierten Wohnraum.*

b) Soziale Moderatoren

- *Einstellung gegenüber, Lärmgewöhnung an und -belästigung durch die drei Hauptverkehrsträger Straßen-, Schienen- und Flugverkehr,*
- *„Gesundheitsschädlichkeit“, „Vermeidbarkeit“ und „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ sowie die allgemeine Einstellung gegenüber dem Flugverkehr (also das „Image“ des Flugverkehrs),*
- *„Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm“,*
- *Vertrauen in Verantwortliche für Fluglärm,*
- *Glaube an Chancen auf Fluglärmreduktion.*

c) Personale Moderatoren

- *Lärmempfindlichkeit,*
- *subjektive Gewöhnung an Fluglärm,*
- *Wohnstatus (Eigentümer vs. Mieter),*
- *Nutzungsverhalten von Flugzeugen (Flieger vs. Nichtflieger),*
- *Beteiligung an Aktivitäten gegen Fluglärm.*

Laborstudien sind in der Regel durch eine *eingeschränkte ökologische Validität* gekennzeichnet und müssen mit dem Mangel leben, nur einen kleinen

Ausschnitt der zu untersuchenden Problematik abzubilden und einer Untersuchung zugänglich zu machen. So ist etwa die Analyse der Lärmbelastung im Labor schwierig, da unter Laborbedingungen die Bewertung von Fluggeräuschen hinsichtlich ihres Störungspotentials zur Primäraufgabe der Probanden wird, was nicht unbedingt der natürlichen Störsituation im häuslichem Umfeld entspricht [z.B. Guski & Bosshardt 1992; Rohrmann 1984]. Zur Validierung der Laborergebnisse wurde daher zusätzlich zu der Schlaflaboruntersuchung eine Feldstudie (unterteilt in die zwei Studienabschnitte STRAIN V und VI¹⁶) durchgeführt. Die Feldstudie fand in der Umgebung des Konrad-Adenauer-Flughafens Köln/Bonn statt, der eine hohe Belastung durch nächtliche Flugbewegungen aufweist. Es wurde nur in solchen Wohngebieten gemessen, die möglichst ausschließlich durch Fluglärm und nicht durch andere Verkehrslärmarten wie Straßen- oder Schienenverkehr exponiert sind. Da witterungsbedingt Flugrouten wechseln bzw. die Anzahl der Flugbewegungen vom Wochentag abhängen, wurden in neun aufeinander folgenden Nächten Messungen durchgeführt. Jede Untersuchung begann am Montagabend und endete am Donnerstagmorgen der darauf folgenden Woche. Es wurden neben Innen- und Außengeräuschen dieselben abhängigen Variablen wie im Labor erfasst, d.h. die gleichen Fragebögen verwendet. Die Aufzeichnung der Innen- und Außengeräusche diente der Berechnung einer Vielzahl akustischer Parameter. In der vorliegenden Auswertung wurden davon die Anzahl an nächtlichen Flugereignissen sowie der $L_{AS,eq}$ ¹⁷ ausgewählt. Im Unterschied zur der Laborstudie konnten die Vpn die Schlafzeit entsprechend ihren Gewohnheiten selbst bestimmen. Das Einhalten einer Kernschlafzeit von 0:00 bis 6:00 Uhr war jedoch unabdingbar, da sich die Studie dem Einfluss von *nächtlichem* Fluglärm widmete. Der Tagesablauf der Probanden sollte wie in der Laborun-

¹⁶Feldstudien werden anders als Laboruntersuchungen, die stets unter kontrollierten Bedingungen zur Ausschaltung untersuchungsrelevanter Störvariablen stattfinden, in einer „natürlichen“, d.h. vom Untersucher kaum veränderten Umgebung durchgeführt [Bortz & Döring 1995]. Im gegebenen Fall bedeutete dies, Anwohner des Flughafens Köln/Bonn zu Hause unter möglichst natürlichen Bedingungen zu untersuchen. Dabei wurde kein zusätzlicher Fluglärm über Lautsprecher dargeboten, sondern ausschließlich der real auftretende Fluglärm außen und im Schlafräum zeitgleich aufgezeichnet.

¹⁷Es handelte sich dabei um den fluglärmbezogenen, A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel im Schlafräum, der dem $NAT35_{innen}$ für den Zeitraum 00:00 bis 06:00 Uhr entspricht.

tersuchung möglichst unbeeinflusst bleiben. Die Feldstudie wurde mit 64 Personen im Alter von 19 bis 61 Jahren durchgeführt (29 Männer, 35 Frauen). 20 Teilnehmer nahmen sowohl an der Labor- als auch der Feldstudie teil.

1.7 Fragestellungen

Die humanspezifischen psychologischen Wirkungen von Nachtfluglärm wurden anhand folgender Fragestellungen untersucht:

1. *In welchem Ausmaß besteht ein Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und wahrgenommener Störwirkung?* Dies ist die Frage nach der empirisch zu schätzenden Funktion im Sinne einer *Dosis-Wirkungs-Beziehung*, in der eine Sekundärreaktion als Funktion der Belastung konzipiert wird.
2. *Von welchem Niveau der Fluglärmbelastung beginnt die wahrgenommene Störwirkung relevant zu werden?* Dies ist eine Frage nach dem sogenannten *Schwellenwert*. Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen akustischer Belastung und Sekundärstörung sollen „Wirkschwellen“ liefern, ab deren Erreichen eine Lärmbelastung für einen bestimmten Anteil an Personen (z.B. 28%) z.B. als „ziemlich“ bzw. „stark“ belästigend („highly annoyed“) eingestuft wird. Eine Einschränkung auf den Teil der Personen, die erheblich durch Lärm belästigt sind, hat allerdings den Nachteil, dass der (quantitativ ebenfalls bedeutende) Anteil der Personen, deren Lärmbelästigung im mittleren Bereich der verwendeten Antwortskala liegt, außer Acht gelassen wird.
3. *Welches sind die Hauptmerkmale der Fluglärmbelästigung?* Dies ist eine Frage nach den *grundlegenden Eigenschaften* bzw. *Dimensionen*, auf die sich eine fluglärmbedingte Belästigungsreaktion reduzieren lässt.
4. *Was sind wesentliche Einflussgrößen der Belästigung durch Fluglärm?* Dies ist eine Frage nach den *psychologischen Moderatoren* der Fluglärmbelästigung.

Zur Untersuchung der Fragestellungen 1 und 2 wurden deskriptive (*Kapitel 1.8.1.1*) und inferenzstatistische (*Kapitel 1.8.1.2*) interindividuelle Vergleiche zwischen Kontrollgruppen (N = 16 Vpn) und Experimentalgruppen (N = 112 Vpn) vorgenommen, um einen *generellen Einfluss des Fluglärms* unabhängig von seiner Höhe bezüglich der erhobenen Reaktionsgrößen aufzuzeigen. Des Weiteren wurden für die Experimentalgruppen die Messwerte verschiedener Untersuchungstage im Labor miteinander verglichen.

Zur Ableitung von *Dosis-Wirkungs-Kurven* wurde von der Hypothese ausgegangen, dass sich die untersuchten Sekundärreaktionen mit *steigender* nächtlicher Fluglärmbelastung folgendermaßen verändern:

- *Reduzierung der Schlafquantität und Schlafqualität,*
- *Anstieg der Belästigung, Ermüdung, Aufwachhäufigkeit, eingestuften Fluglärmbelastung, d.h. Fluglärmstärke und Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche.*

Ausgehend von diesen Annahmen wurden deskriptive Häufigkeits- (*Kapitel 1.8.2.1*) und inferenzstatistische (*Kapitel 1.8.2.2*) sowie logistische Regressionsanalysen (*Kapitel 1.8.2.3*) für die Experimentalgruppen durchgeführt. Bei der Inferenzstatistik wurden Kruskal-Wallis Rangvarianzanalysen zur Überprüfung der Haupteffekte der drei Fluglärmparameter $L_{AS,max}$, $L_{AS,eq}$ und Anzahl von Flugereignissen durchgeführt sowie die einzelnen Faktorstufen der unabhängigen Variablen mittels Mann-Whitney U-Tests miteinander verglichen.

Im Hinblick auf die 3. Fragestellung wurde eine Hauptkomponentenanalyse verwendet, um die *inhaltliche Bedeutung des Begriffs der Fluglärmbelastung* zu bestimmen [Guski et al. 1999; Guski & Schick 2004; Oliva 1998] und die Integration kognitiver und emotionaler Komponenten im Konzept nachzuweisen [Koelega 1987]. Zu diesem Zweck wurden Daten aus einem allgemeinen Fragebogen, der bereits im Vorfeld der Studie verschickt wurde, verwendet. Neben der Belästigung durch Fluglärm, die bereits im Vorfeld der eigentlichen Laboruntersuchung (im Sinne einer Fluglärmvorbelastung) bestand, wurde

eine Vielzahl an weiteren Variablen zur möglichen Störwirkung des Fluglärms zu Hause erfragt (*Kapitel 1.8.3.1*).

Anhand des allgemeinen Fragebogens wurden auch wichtige *psychologische Moderatoren der Fluglärmbelästigung* (z.B. persönliche Einstellung gegenüber der Lärmquelle, Lärmempfindlichkeit) ermittelt und bei der Bearbeitung der 4. Fragestellung berücksichtigt. Nicht-akustische, insbesondere fluglärmrelevante Moderatorvariablen wurden bei der Modellierung von Dosis-Wirkungs-Kurven zur Belästigung integriert (*Kapitel 1.8.2.3*). Mit Hilfe von Kruskal-Wallis Rangvarianzanalysen wurde zudem der Einfluss nicht-akustischer Einflussgrößen auf die Fluglärmvorbelastung getestet (*Kapitel 1.8.3.2*).

Um die *ökologische Validität*, d.h. die Übertragbarkeit der Laborstudie auf die Gegebenheiten in der realen Wohnumgebung von Flughafenanwohnern zu überprüfen, erfolgte eine Validierung der Laborbefunde zu den Fragestellungen 1 bis 4 anhand einer Felduntersuchung mit insgesamt 64 Probanden, die alle im Umfeld des Konrad-Adenauer-Flughafens Köln/Bonn wohnten (*Kapitel 1.9*).

1.8 Ergebnisse aus der Schlaflaborstudie¹⁸

1.8.1 Interindividueller Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppen

1.8.1.1 Deskriptive Statistik

Tabellen 1 und 2 führen die dem nicht-metrischen Skalenniveau entsprechenden Maße der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und Streuung (Spannweite) der abhängigen Variablen für die Experimental- und Kontrollgruppen auf. Dabei werden nur die Messungen nach der Basisnacht und den anschließenden neun Fluglärmnächten berücksichtigt.¹⁹

		Statistiken						
		Schlafquantität	Schlafqualität	Aufwach häufigkeit	Stärke des gehörten Fluglärms	Belästigung durch Fluglärm	Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche	Ermüdung morgens (FAT)
N	Gültig	1117	1117	1117	1117	1117	1117	1117
	Fehlend	4	4	4	4	4	4	4
	Median	2	3	3	2	2	2	10
	Modus	2	3	2	2	2	1	9
	Spannweite	5	5	5	5	5	5	20

Tabelle 1: Kennwerte der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) für die abhängigen Variablen der Experimentalgruppen (N = 112).

¹⁸Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikpakets SPSS 11.5 für Windows. Infolge des nicht-metrischen Skalenniveaus und der nicht hinreichenden Normalverteilung aller Daten, die sich im Kolmogorov-Smirnov-Test mit den Labordaten zeigte, wurden nicht-parametrische Verfahren gewählt. Bei allen Analysen wurde die zugrunde gelegte Irrtumswahrscheinlichkeit nach Bonferoni in Abhängigkeit von der Anzahl der durchgeführten Einzeltests auf α/n korrigiert.

¹⁹Der dargebotene Fluglärm im Labor umfasste sowohl startende als auch landende Flugzeuge, da die Ergebnisse eines Mann-Whitney U-Tests zum Vergleich der Wirkung von Start- und Landegeräuschen lediglich für die Variablen „Schlafqualität“ (mittlerer Rang_{landend} = 480.84; mittlerer Rang_{startend} = 525.84; Z = -2.60; p < .009) und „Ermüdung“ (mittlerer Rang_{landend} = 532.51; mittlerer Rang_{startend} = 472.60; Z = -3.285; p < .001) signifikante Unterschiede belegen. Dies bedeutet, dass nach Nächten mit Fluglärm von startenden Flugzeugen die Schlafqualität signifikant besser und die Ermüdung am Morgen signifikant geringer eingestuft wird.

Statistiken

		Schlafquantität	Schlafqualität	Aufwach häufigkeit	Stärke des gehörten Fluglärms	Belästigung durch Fluglärm	Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche	Ermüdung morgens (FAT)
N	Gültig	158	157	158	158	158	158	158
	Fehlend	2	3	2	2	2	2	2
Median		3	3	2	1	1	1	8
Modus		3	3	2	1	1	1	8
Spannweite		3	4	3	2	1	2	18

Tabelle 2: Kennwerte der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) für die abhängigen Variablen der Kontrollgruppen (N = 16).

1.8.1.2 Inferenzstatistik

Der interindividuelle Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppen bezüglich ihrer Sekundärreaktionen auf die Nächte 3 bis 11 (Fluglärmnächte für alle Experimentalgruppen) erfolgte mit Hilfe von Mann-Whitney U-Tests. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 aufgeführt:

	QN	QL	AW	STÄ	BEL	UNZ	FAT
Mittlerer Rang...Ex	561.13	566.16	588.57	636.93	628.82	622.33	600.77
.....Ko	668.45	629.51	475.62	135.75	192.71	238.35	389.90
Z	-3.966	-2.268	-4.041	-17.436	-15.234	-13.540	-7.145
Asymptot. Sign.	.000**	.023	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**

Tabelle 3: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Sekundärreaktionen von Kontroll- und Experimentalgruppen nach den Nächten 3 bis 11. Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/7 = .007$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: QN = Schlafquantität, QL = Schlafqualität, AW = Aufwachhäufigkeit, STÄ = Fluglärmstärke, BEL = Belästigung, UNZ = Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche, FAT = Ermüdung).

Zur Überprüfung interindividueller Unterschiede zwischen Kontroll- und Experimentalgruppen, die möglicher Weise bereits vor der Einführung der Fluglärmbedingung bestanden haben, werden in Tabelle 4 die Ergebnisse des U-Tests für den Vergleich nach der Basisnacht (Nacht 2) dargestellt:

	QN	QL	AW	STÄ	BEL	UNZ	FAT
Mittlerer Rang...Ex	64.02	63.59	61.93	63.38	63.31	63.73	64.99
.....Ko	63.83	67.07	79.43	68.63	69.13	66.00	56.60
Z	-.021	-.376	-1.894	-1.541	-1.901	-.741	-.833
Asymptot. Sign.	.983	.707	.058	.123	.057	.459	.405

Tabelle 4: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Sekundärreaktionen von Kontroll- und Experimentalgruppen nach der Basisnacht (Nacht 2). Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/7 = .007$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: QN = Schlafquantität, QL = Schlafqualität, AW = Aufwachhäufigkeit, STÄ = Fluglärmstärke, BEL = Belästigung, UNZ = Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche, FAT = Ermüdung).

Bei der Beurteilung der Schlafquantität nach den Nächten 3 bis 11 weisen die Experimentalgruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen signifikant niedrigere Skalenwerte (d.h. weniger Schlaf) auf. Im Hinblick auf die Aufwachhäufigkeit, Stärke des gehörten Fluglärms, Belästigung, Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche und den Ermüdungsgrad sind die Werte der Experimentalgruppen gegenüber denen der Kontrollgruppen signifikant höher. Bezüglich der bewerteten Schlafqualität unterscheiden sich Kontroll- und Experimentalgruppen nicht signifikant. Es bestehen auch keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen nach der Basisnacht (Nacht 2). Alles in allem konnte demnach ein genereller Effekt der unabhängigen Variablen $L_{AS,eq}$, $L_{AS,max}$ und Pegelhäufigkeit bezüglich der gemessenen Reaktionen festgestellt werden. Bei den *Experimentalgruppen* existieren für fast alle abhängigen Variablen *signifikant fluglärminduzierte Veränderungen*. Die Ergebnisse zu den Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen werden im Folgenden detailliert dargestellt.

1.8.2 Fluglärminduzierte Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen

1.8.2.1 Deskriptive Statistik

Die deskriptive Statistik zu den abhängigen Variablen ist im Wesentlichen eine Darstellung zur prozentualen Häufigkeitsverteilung. Kennwerte der zentralen

Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) sind *Kapitel 1.8.1.1* zu entnehmen.

Abbildung 4 illustriert die prozentuale Verteilung der *Schlafquantitätsbeurteilung* der Experimentalgruppen mittels einer 5-stufigen Antwortskala. Unter Berücksichtigung der Basisnacht (Nacht 2) und der anschließenden 9 Fluglärmnächte ergeben sich die Quartile Q_1 und $Q_2 = 2$ sowie $Q_3 = 3$. 54% der Einstufungen verteilen sich auf die ersten beiden Skalenstufen („viel zu wenig“ und „etwas zu wenig“ Schlaf). Immerhin 43% der Bewertungen fallen auf die Kategorie 3 („gerade richtig“). Die obersten beiden Skalenstufen („etwas zu viel“ und „viel zu viel“ Schlaf) sind dagegen kaum besetzt.

In Abbildungen 5 und 6 findet sich die Häufigkeitsverteilung für die Einschätzung der Schlafqualität und Aufwachhäufigkeit. Die Kategorien 1 und 2 der *Schlafqualität* („nicht“ und „wenig“) sind mit 21%, die Mitte („mittelmäßig“) mit 40% und die beiden oberen Kategorien („ziemlich“ und „sehr“) mit 39% vertreten. Es liegen die Quartile Q_1 und $Q_2 = 3$ und $Q_3 = 4$ vor. Bei der *Aufwachhäufigkeit* sind die unteren Skalenstufen 1 und 2 („nie“ und „selten“) mit 50%, die 3. Stufe („gelegentlich“) mit 33% und die oberen beiden Stufen („oft“ und „immer“) mit 17% besetzt. Es gibt die Quartile $Q_1 = 2$ sowie Q_2 und $Q_3 = 3$.

Abbildung 7 zeigt die prozentuale Häufigkeitsverteilung der Antworten auf einer 5-stufigen Ratingskala bezüglich der *Belästigung durch Fluglärm*. Es ergeben sich die Quartile $Q_1 = 1$, $Q_2 = 2$ sowie $Q_3 = 3$. Wie dargestellt, fühlt sich der überwiegende Teil der Befragten (ca. 60%)²⁰ durch den dargebotenen Fluglärm nicht oder nur wenig belästigt. 20% geben an, „ziemlich“ bzw. „sehr“ belästigt zu sein, weitere 20% fühlen sich mittelmäßig belästigt. Die relativ große Anzahl von Personen, die die unterste Skalenstufe wählten, ist darauf zurückzuführen, dass einerseits eine Entscheidung gefällt werden musste zwischen „gar nicht belästigt“ und irgendeiner Stufe der Belästigung und dass andererseits die unterste Stufe keine weitere Differenzierung zulässt.

²⁰Fehlende Prozente (hier 1%) sind durch fehlende Messwerte („missing values“) begründet.

In diesem Sinne könnte man von einem „Bodeneffekt“ („floor effect“) sprechen. Die Antworten zur *Fluglärmstärke* und *Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche* verteilen sich ähnlich (Abbildungen 8 und 9). Lediglich bei der Fluglärmstärke ist die 1. Stufe („nicht“) mit 18% deutlich geringer besetzt. Für alle abhängigen Variablen liegen keine „Deckeneffekte“ („ceiling effects“) vor.

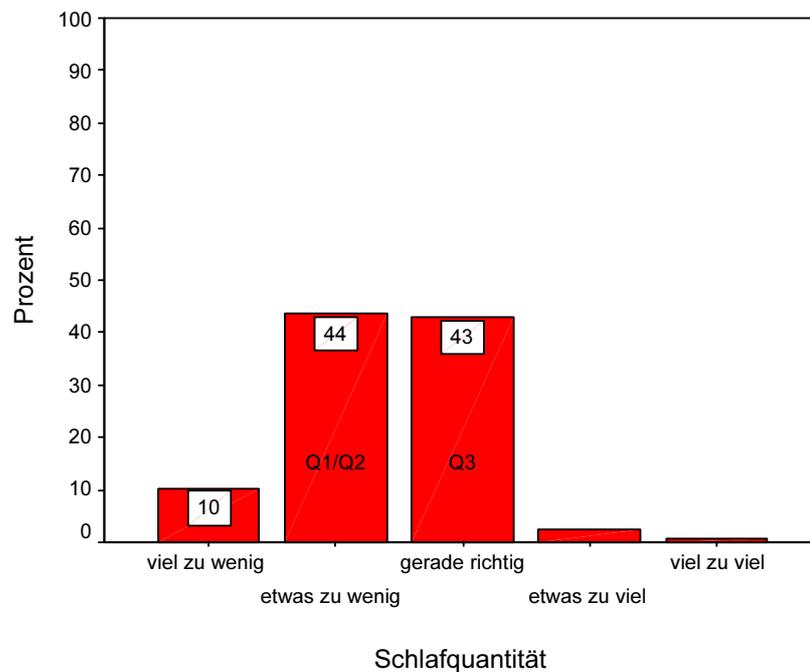


Abbildung 4: Prozentuale Verteilung der Schlafquantitätsbeurteilung („Wie viel Schlaf haben Sie in der vergangenen Nacht bekommen?“) für die Experimentalgruppen (N = 112) gemittelt über die Nächte 2 bis 11.

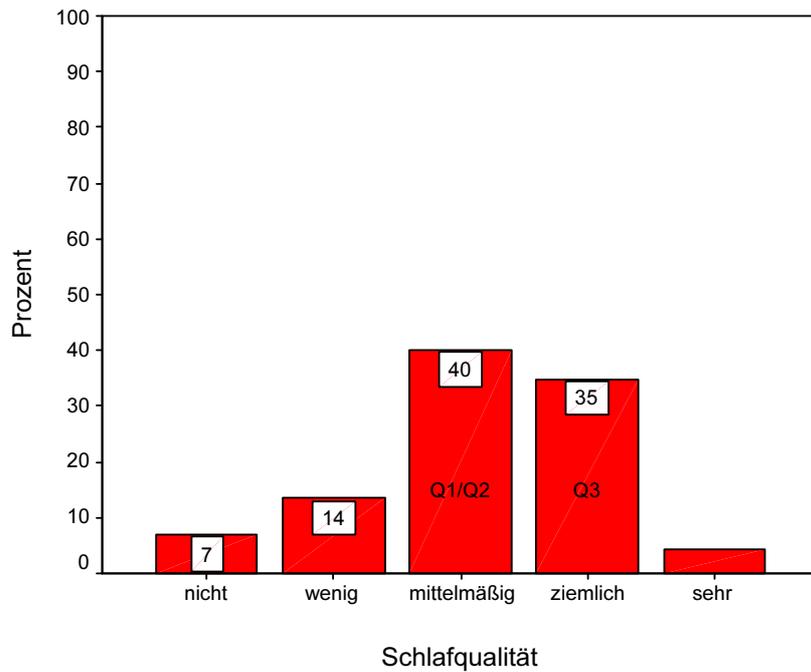


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der Schlafqualitätsbeurteilung („Für wie gut halten Sie Ihren Schlaf der vergangenen Nacht?“) für die Experimentalgruppen (N = 112) gemittelt über die Nächte 2 bis 11.

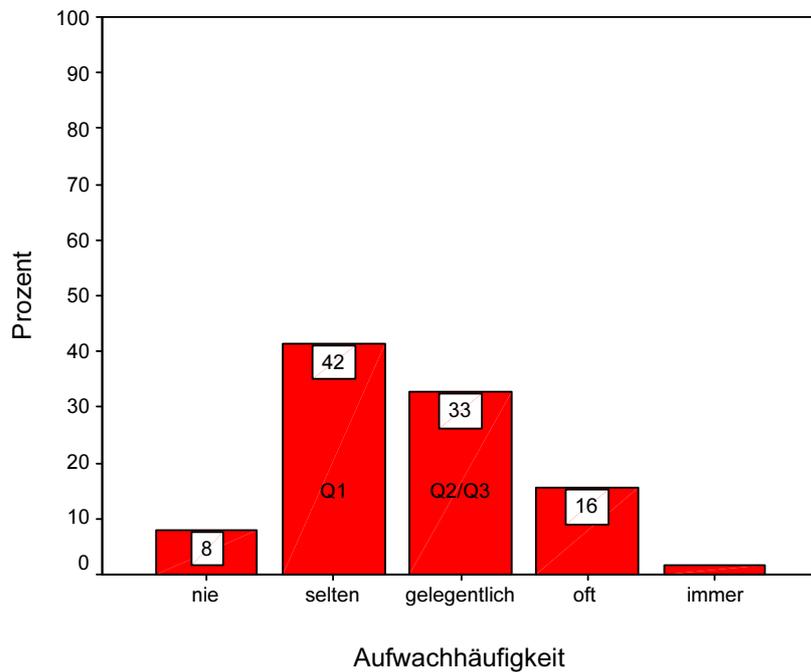


Abbildung 6: Prozentuale Verteilung der Beurteilung der Aufwachhäufigkeit („Wie häufig sind Sie in der vergangenen Nacht aufgewacht?“) für die Experimentalgruppen (N = 112) gemittelt über die Nächte 2 bis 11.

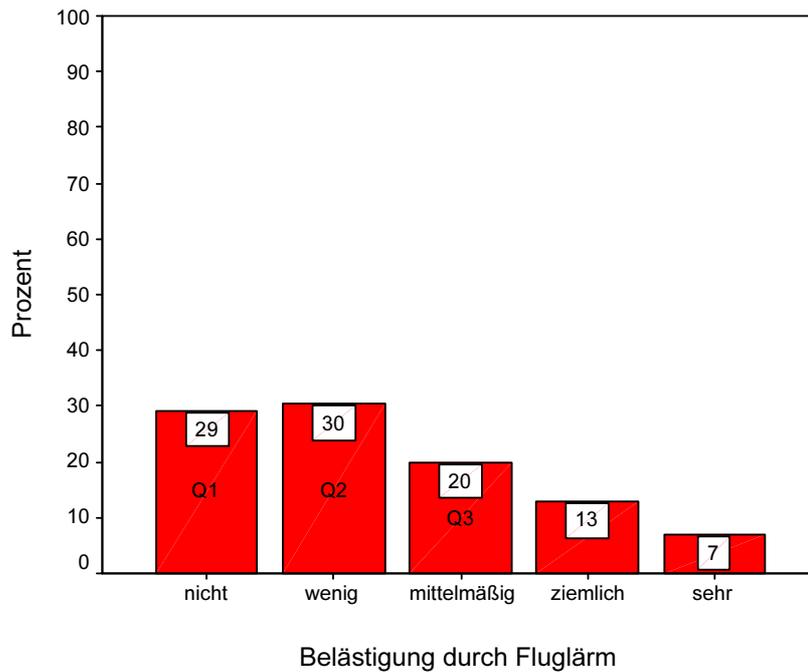


Abbildung 7: Prozentuale Verteilung der Belästigungsbeurteilung („Wie stark wurden Sie durch den Fluglärm der vergangenen Nacht belästigt?“) für die Experimentalgruppen (N = 112) gemittelt über die Nächte 2 bis 11.

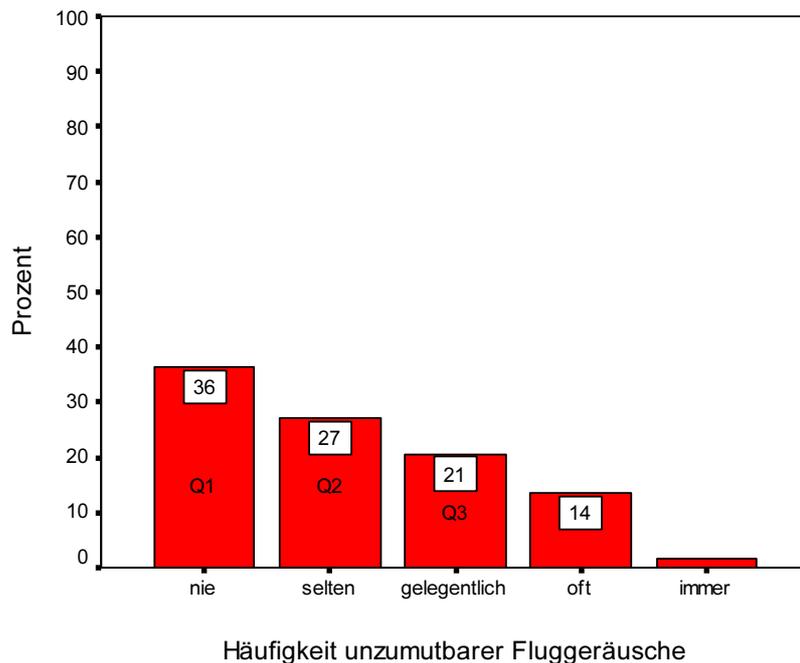


Abbildung 8: Prozentuale Verteilung der Beurteilung der Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche („Wie häufig haben Sie in der vergangenen Nacht unzumutbare Geräusche von Flugzeugen gehört?“) für die Experimentalgruppen (N = 112) gemittelt über die Nächte 2 bis 11.

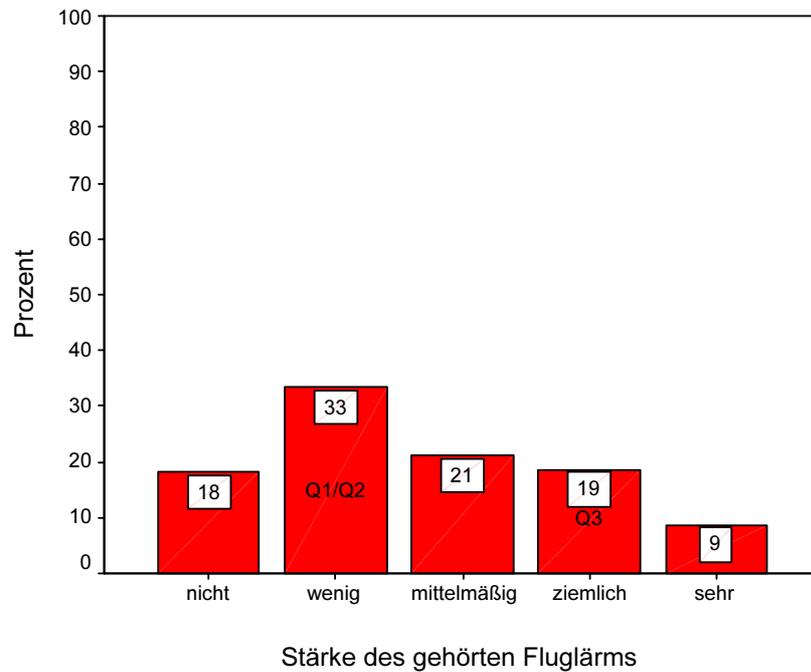


Abbildung 9: Prozentuale Verteilung der Fluglärmstärkenbeurteilung („Wie stark haben Sie den Fluglärm der vergangenen Nacht gehört?“) für die Experimentalgruppen (N = 112) gemittelt über die Nächte 2 bis 11.

1.8.2.2 Inferenzstatistik

1.8.2.2.1 Messwertverläufe über die Zeit

Um einen generellen Einfluss des Fluglärms aufzuzeigen, werden die Messwerte verschiedener Labortage miteinander verglichen. Es werden die Sekundärreaktionen nach folgenden Messtagen im Labor miteinander verglichen:

- a) erste vs. zweite Nacht im Labor (d.h. Gewöhnungs- und Basisnacht): „First Night Effect“²¹
- b) Basisnacht vs. erste Fluglärmnacht (Nächte 2 und 3)
- c) erste vs. letzte Fluglärmnacht (Nächte 3 und 11)

²¹Der Begriff des „First Night Effect“ beschreibt, dass in der ersten Nacht in einem Schlaflabor das individuelle Schlafverhalten qualitativ und quantitativ von dem in der gewohnten häuslichen Umgebung abweicht [Agnew et al. 1966]. Dieser Effekt verschwindet nach der zweiten Nacht [Basner et al. 2000, 2001; Griefahn 1985; Ohrström & Björkman 1988].

d) letzte Fluglärmnacht vs. Ruhenacht danach (Nächte 11 und 12)

e) beide letzten Ruhenächte (Nächte 12 und 13): „Last Night Effect“

Da im letzten Laborstudienabschnitt (STRAIN IV) in den Nächten 12 und 13 ebenfalls Fluglärm dargeboten wurden, beziehen sich lediglich die Paarvergleiche a) und b) auf die gesamte Experimentalstichprobe (N = 112), die Vergleiche c) bis e) hingegen nur auf Probanden aus STRAIN I bis III (N = 80).

	1. vs. 2. Nacht (First Night Effect)	2. vs. 3. Nacht	3. vs. 11. Nacht	11. vs. 12. Nacht	12. vs. 13. Nacht (Last Night Effect)
Z	QN2 - QN1 (15NR, 57PR, 40B)	QN3 - QN2 (57NR, 13PR, 42B)	QN11 - QN3 (11NR, 26PR, 42B)	QN12 - QN11 (6NR, 37PR, 36B)	QN13 - QN12 (14NR, 5PR, 60B)
Sign	-4.571 .000**	-5.125 .000**	-2.642 .018	-4.132 .000**	-1.784 .074
Z	QL2 - QL1 (10NR, 62PR, 40B)	QL3 - QL2 (62NR, 14PR, 36B)	QL11 - QL3 (19NR, 31PR, 29B)	QL12 - QL11 (7NR, 51PR, 36B)	QL13 - QL12 (24NR, 14PR, 40B)
Sign	-5.549 .000**	-5.268 .000**	-1.907 .056	-5.828 .000**	-1.395 .163
Z	AW2 - AW1 (60NR, 18PR, 34B)	AW3 - AW2 (8NR, 78PR, 26B)	AW11 - AW3 (33NR, 18PR, 28B)	AW12 - AW11 (55NR, 2PR, 22B)	AW13 - AW12 (18NR, 18PR, 43B)
Sign	-4.788 .000**	-7.346 .000**	-2.093 .036	-6.492 .000**	-.714 .475
Z	STÄ2 - STÄ1 (5NR, 5PR, 102B)	STÄ3 - STÄ2 (0NR, 108PR, 4B)	STÄ11 - STÄ3 (31NR, 19PR, 29B)	STÄ12 - STÄ11 (75NR, 1PR, 3B)	STÄ13 - STÄ12 (1NR, 0PR, 78B)
Sign	.000 1.000	-9.095 .000**	-.772 .440	-7.576 .000**	-1.000 .317
Z	BEL2 - BEL1 (5NR, 4PR, 103B)	BEL3 - BEL2 (0NR, 102PR, 10B)	BEL11 - BEL3 (31NR, 21PR, 27B)	BEL12 - BEL11 (69NR, 1PR, 9B)	BEL13 - BEL12 (1NR, 0PR, 77B)
Sign	-.333 .739	-8.842 .000**	-.448 .654	-7.267 .000**	-1.000 .317
Z	UNZ2 - UNZ1 (5NR, 5PR, 102B)	UNZ3 - UNZ2 (0NR, 84PR, 28B)	UNZ11 - UNZ3 (30NR, 24PR, 25B)	UNZ12 - UNZ11 (61NR, 1PR, 16B)	UNZ13 - UNZ12 (1NR, 0PR, 76B)
Sign	.000 1.000	-8.094 .000**	-.110 .912	-6.871 .000**	-1.000 .317
Z	FAT2 - FAT1 (54NR, 33PR, 28B)	FAT3 - FAT2 (25NR, 70PR, 17B)	FAT11 - FAT3 (35NR, 28PR, 15B)	FAT12 - FAT11 (46NR, 9PR, 23B)	FAT13 - FAT12 (28NR, 24PR, 26B)
Sign	-2.617 .009**	-5.186 .000**	-1.203 .229	-4.844 .000**	-.287 .774

Tabelle 5: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen nach verschiedenen Labortagen. Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/5 = .01$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: QN = Schlafquantität, QL = Schlafqualität, AW = Aufwachhäufigkeit, STÄ = Fluglärmstärke, BEL = Belästigung, UNZ = Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche, FAT = Ermüdung; NR = negative Ränge, PR = positive Ränge, B = Bindungen).

Für den Vergleich der einzelnen Messtage wurden Wilcoxon-Tests durchgeführt (Tabelle 5). Ein so genannter „First Night Effect“ besteht für die Sekun-

därreaktionen *Schlafquantität und -qualität*, die *Aufwachhäufigkeit* und den *Ermüdungsgrad*, d.h. die Vpn schlafen subjektiv in der zweiten signifikant besser als in der ersten Nacht (bezüglich Quantität und Qualität), wachen signifikant weniger häufig auf und sind morgens weniger müde [vgl. Agnew et al. 1966; Basner et al. 2000, 2001; Griefahn 1985; Öhrström & Björkman 1988]. Im Vergleich der Basisnacht zur ersten Fluglärmnacht zeigt sich für *alle abhängigen Variablen ein signifikanter „Fluglärmeffekt“*, d.h. die Probanden schlafen in der ersten Lärmnacht subjektiv signifikant schlechter, wachen häufiger auf, sind am Morgen müder, erleben den Fluglärm ausgeprägter als auch unzumutbarer und sind belästigter als in der ruhigen Basisnacht. Der Vergleich der ersten mit der letzten Fluglärmnacht ergibt keine signifikanten Unterschiede. Nach der ersten Ruhenacht, die den Lärmnächten folgt, erfolgt eine signifikante „Verbesserung“ aller Sekundärstörungen, d.h., dass sich die Messwerte gegenläufig zum Vergleich der Basisnacht mit der ersten Lärmnacht verändern (siehe oben). Ein „Last Night Effect“ kann für keine Variable nachgewiesen werden.

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse werden im Folgenden die Messwertverläufe aller erhobenen Sekundärreaktionen *aller* Experimentalgruppen (N = 112) über die Dauer der Laborstudie (13 Nächte) anhand von Boxplots²² dargestellt (Abbildungen 10 bis 16).

²²Die in Abbildung 10 schematisch dargestellte Streuung der Antworten beruht auf dem so genannten Box-Plot-Verfahren nach Tukey [1977]. Die unterste Grenze zeigt die Grenze des 1. Quartils und die obere Linie die Grenze des 3. Quartils. Die Kästchen im Boxplot umfassen demnach die mittleren 50% der Verteilung. Die mittlere horizontale Linie zeigt den Median. Die vertikalen Linien ober- und unterhalb der Kästchen zeigen den Bereich ein, in dem weitere Antworten vorkommen, sofern sie höchstens innerhalb des 1.5fachen Interquartilabstandes liegen. Ein Interquartilabstand ist die Distanz zwischen dem 1. und 3. Quartil. Jede extremere Abweichung wird mit einem Kreis gekennzeichnet, falls sie innerhalb eines Bereichs des 3fachen Interquartilabstandes liegen. Werte, die noch mehr abweichen, sind mit einem Stern gekennzeichnet.

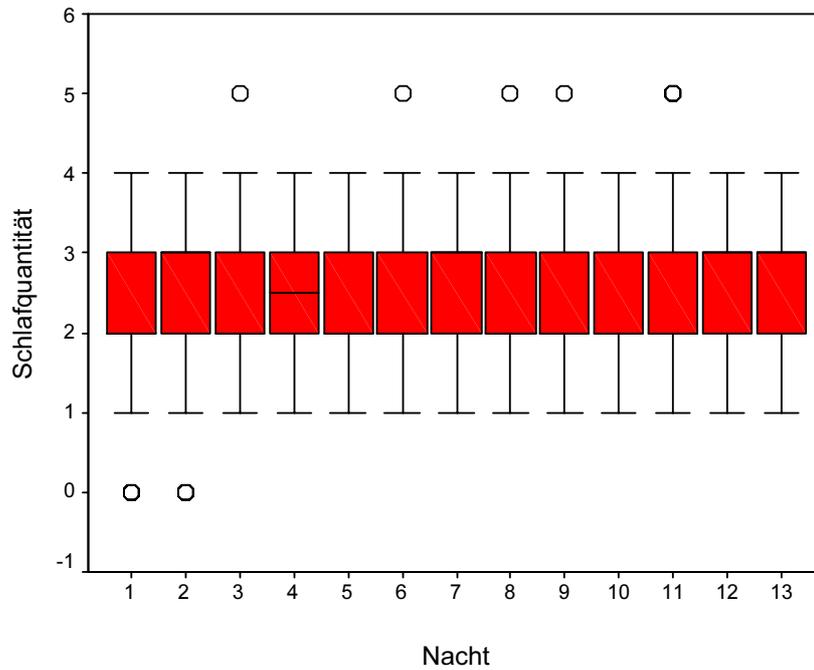


Abbildung 10: Boxplot zur Schlafquantitätsbeurteilung („1 = viel zu wenig“ bis „5 = viel zu viel“) der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

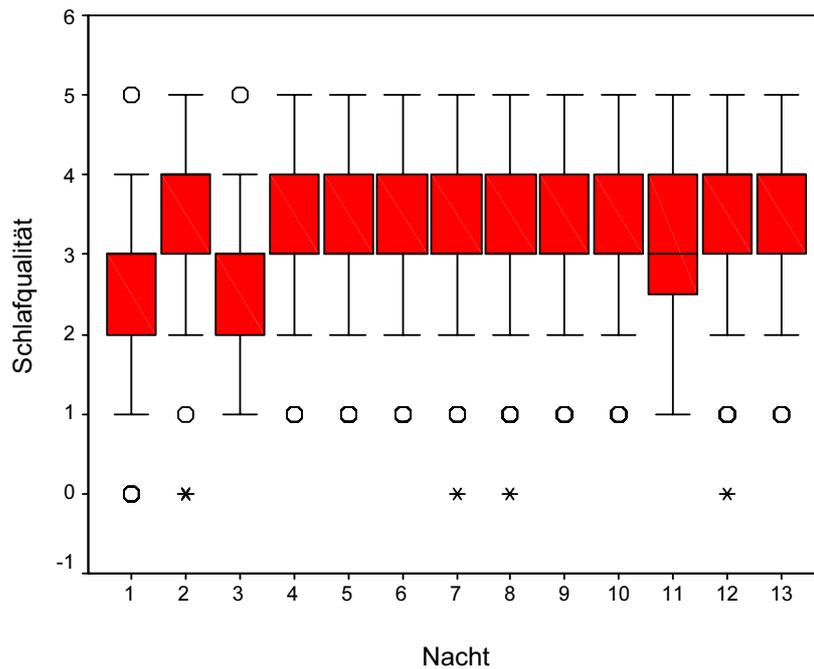


Abbildung 11: Boxplot zur Schlafqualitätsbeurteilung („1 = nicht“ bis „5 = sehr“) der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

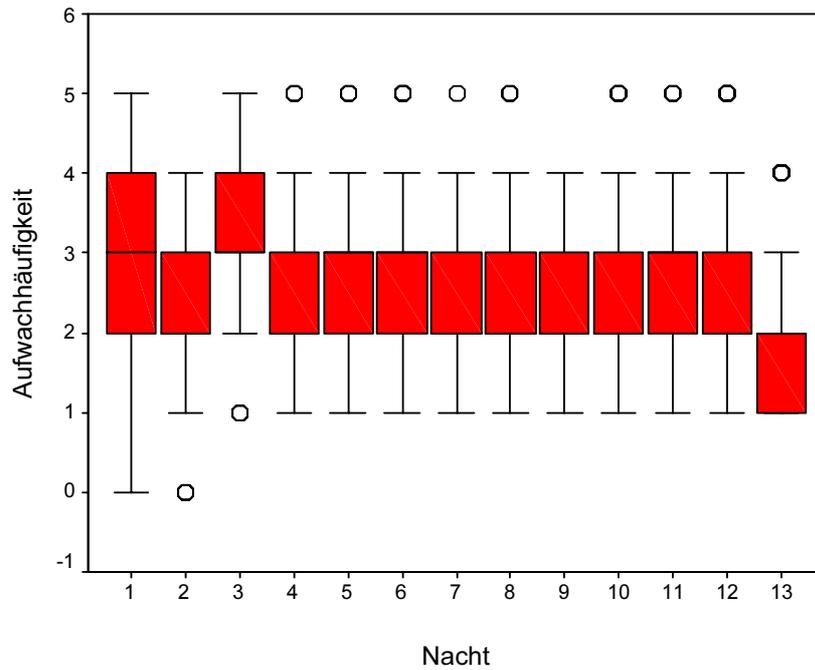


Abbildung 12: Boxplot zur Beurteilung der Aufwachhäufigkeit („1 = nie“ bis „5 = immer“) der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

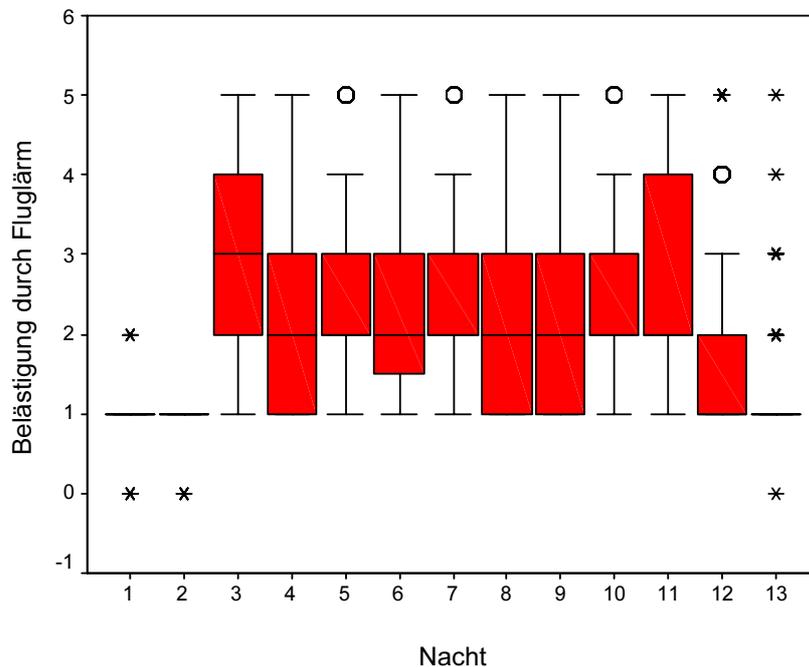


Abbildung 13: Boxplot zur Fluglärmbelästigungsbeurteilung („1 = nicht“ bis „5 = sehr“) der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

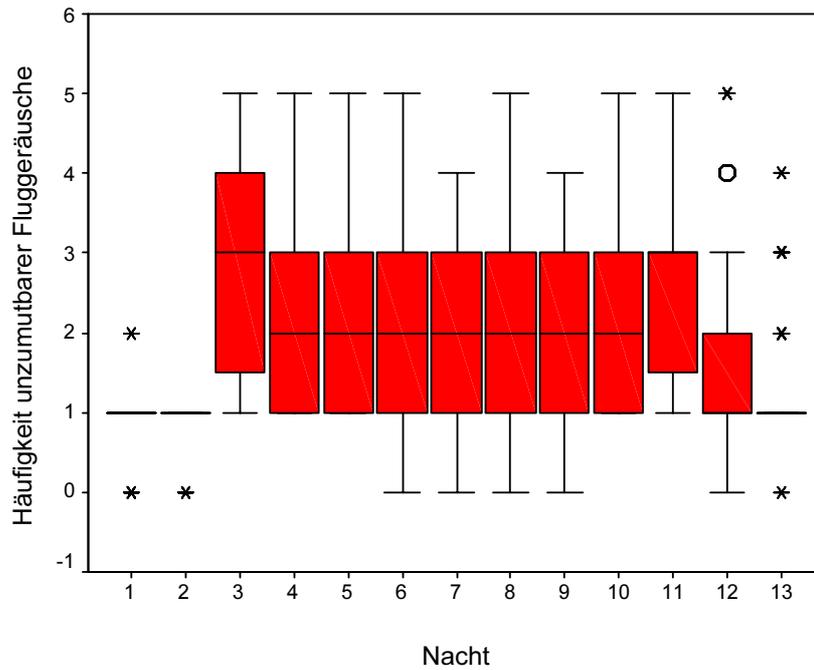


Abbildung 14: Boxplot zur Beurteilung der Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche („1 = nie“ bis „5 = immer“) der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

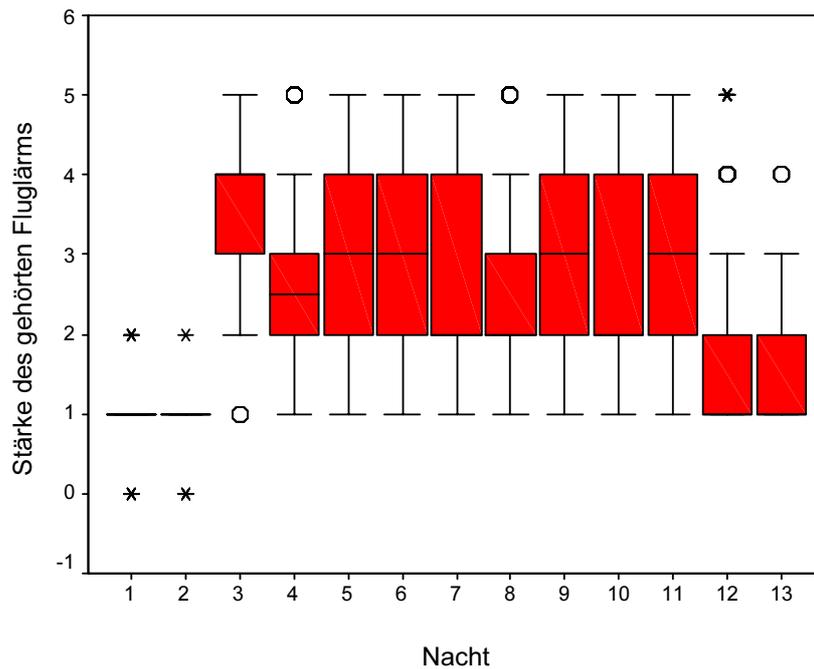


Abbildung 15: Boxplot zur Beurteilung der Fluglärmstärke („1 = nicht“ bis „5 = sehr“) der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

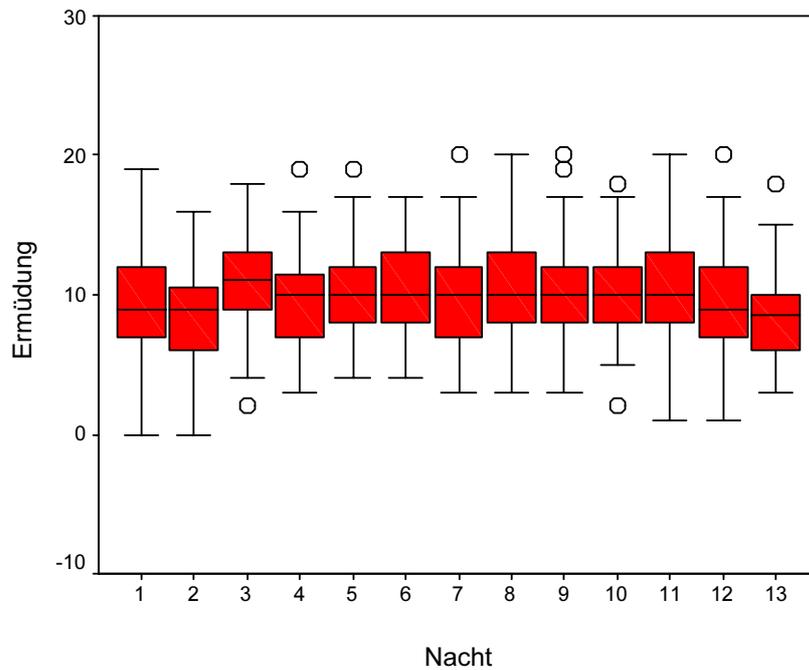


Abbildung 16: Boxplot zur Beurteilung der Ermüdung („0 = hellwach“ bis „20 = todmüde“) der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

1.8.2.2.2 Physikalische Fluglärmparameter

Zur Ableitung von *Dosis-Wirkungs-Kurven* wurde anhand von inferenzstatistischen Analysen die Hypothese getestet, dass mit *steigender nächtlicher* Fluglärmbelastung (operationalisiert anhand der unabhängigen Variablen $L_{AS,max}$, $L_{AS,eq}$ und Pegelhäufigkeit):

- eine Reduzierung der Schlafquantität und Schlafqualität,
- ein Anstieg der Belästigung, Ermüdung, Aufwachhäufigkeit, eingestuftes Fluglärmbelastung, d.h. Fluglärmstärke und Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche

eintritt.

Rangvarianzanalysen belegen *signifikante Haupteffekte aller drei Fluglärmparameter bezüglich der erfragten Sekundärreaktionen* der Experimentalgruppen (Tabelle 6).

		QN	QL	AW	STÄ	BEL	UNZ	FAT
L_{AS,max}	Chi-Quadrat	27.143	31.367	40.886	341.559	255.718	205.762	26.787
	Df	8	8	8	8	8	8	8
	Asymptot. Sign.	.001*	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.001*
L_{AS,eq}	Chi-Quadrat	47.619	71.684	91.478	446.633	363.147	302.643	42.785
	Df	9	9	9	9	9	9	9
	Asymptot. Sign.	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**
Pegel- häufigkeit	Chi-Quadrat	42.841	56.103	82.898	309.940	242.506	207.218	46.872
	Df	6	6	6	6	6	6	6
	Asymptot. Sign.	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**

Tabelle 6: Ergebnisse der Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse für Unterschiede zwischen den Faktorstufen der Fluglärmparameter $L_{AS,max}$, $L_{AS,eq}$ und Pegelhäufigkeit bezüglich der Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen (N = 112). Unter Berücksichtigung der Bonferoni-Korrektur ($\alpha/3 = .016$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: QN = Schlafquantität, QL = Schlafqualität, AW = Aufwachhäufigkeit, STÄ = Fluglärmstärke, BEL = Belästigung, UNZ = Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche, FAT = Ermüdung).

Einzelvergleiche der Faktorstufen der physikalischen Variablen erfolgten mit Mann-Whitney U-Tests:

Tabelle 7 fasst die *signifikanten* Ergebnisse der U-Tests für paarweise Vergleiche der *Pegelhäufigkeiten* (N = 6) bezüglich aller Sekundärreaktionen zusammen. Es wird neben den nicht signifikanten Vergleichen ebenfalls auf eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse zum Vergleich der Basisnacht mit allen Faktorstufen der unabhängigen Variablen verzichtet. Die subjektive *Schlafquantität* hat lediglich bei 4 Flugereignissen pro Nacht im Vergleich zu 64 Ereignissen signifikant höhere Skalenwerte. Die Basisnacht unterscheidet sich signifikant von allen Pegelhäufigkeiten mit $n > 4$. Im Hinblick auf die bewertete *Schlafqualität* weisen die beiden unteren Pegelhäufigkeitsstufen $n = 4$ und $n = 8$ im Vergleich zu allen Treatmentstufen ab $n = 16$ signifikant höhere Messwerte auf (einzige Ausnahme: 8 und 16 Ereignisse pro Nacht unterscheiden sich nicht signifikant). Die Ruhebedingung der Basisnacht unterscheidet sich signifikant gegenüber Faktorstufen mit $n \geq 32$. Die beurteilte *Aufwachhäufigkeit* fällt bei $n = 4$ bzw. 8 Flugzeugen pro Nacht signifikant geringer als bei allen Pegelhäufigkeiten mit $n \geq 16$ aus, allerdings unterscheiden sich erneut 8 und 16 Ereignisse pro Nacht nicht überzufällig. Des Weiteren führen 16 Flugereignisse zu signifikant weniger Aufwachen als 128 Ereignisse. Die Ruhebedingung unterscheidet sich signifikant von allen Anzahlstufen mit $n \geq$

16. Die *Fluglärmstärke* wird bei 4 Flugzeugen in der Nacht signifikant weniger ausgeprägt als bei allen anderen Häufigkeiten eingestuft. Außerdem werden 8 Ereignisse signifikant geringfügiger in ihrer Stärke als 128 Flugereignisse erlebt. Die Ruhenacht unterscheidet sich signifikant von allen Pegelhäufigkeiten mit $n \geq 8$. Bei der *Belästigung* durch Fluglärm haben 4 Flugzeuge pro Nacht eine signifikant geringere Wirkung als 32, 64 oder 128 Ereignisse. Gleiches gilt für den Vergleich von 8 mit 64 bzw. 128 Flugereignissen. Schließlich unterscheiden sich noch 16 von 128 Flugzeugen in der Nacht signifikant. Beim Vergleich der Basisnacht ergeben sich signifikant geringere Skalenwerte gegenüber allen Pegelhäufigkeiten mit $n \geq 8$. Im Hinblick auf die eingeschätzte *Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche* unterscheiden sich 4 Ereignisse pro Nacht von allen anderen Treatmentstufen mit signifikant niedrigeren Messwerten. 8 Ereignisse unterscheiden sich zusätzlich signifikant von 128 Flugereignissen in der Nacht. Im Vergleich zur Basisnacht ergeben sich die gleichen Befunde wie für die Belästigung. Bei der *Ermüdung* unterscheiden sich 4 Flugereignisse von 32, 64 bzw. 128 Flugzeugen pro Nacht. Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen der Ruhebedingung und allen Pegelhäufigkeiten mit $n > 4$.

Paarvergleiche Pegelhäufigkeiten		QN	QL	AW	STÄ	BEL	UNZ	FAT
Mittlerer Rang	4	213.89	211.86	192.08	183.82	193.12	185.46	196.79
	8	192.69	194.80	215.37	223.97	214.30	222.27	210.48
Z		-2.027	-1.565	-2.173	-3.615	-1.888	-3.327	-1.182
Asymptot. Sign.		.043	.118	.030	.000**	.059	.001*	.237
Mittlerer Rang	4	209.03	216.42	181.76	176.91	185.41	175.93	196.79
	16	189.17	181.17	218.73	223.99	214.77	225.05	210.48
Z		-1.898	-3.256	-3.444	-4.276	-2.643	-4.464	-1.958
Asymptot. Sign.		.058	.001*	.001*	.000**	.008	.000**	.050
Mittlerer Rang	4	197.31	206.36	158.48	159.00	163.07	162.23	166.41
	32	166.78	155.07	217.02	216.34	211.08	212.17	206.75
Z		-3.001	-4.857	-5.557	-5.332	-4.448	-4.681	-3.628
Asymptot. Sign.		.003	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**
Mittlerer Rang	4	217.64	221.64	168.40	167.78	170.25	166.65	176.50
	64	171.65	167.15	227.05	227.75	224.97	229.01	217.93
Z		-4.359	-5.042	-5.442	-5.426	-4.930	-5.665	-3.634
Asymptot. Sign.		.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**
Mittlerer Rang	4	142.95	147.04	122.53	122.82	124.01	123.61	126.78
	128	113.52	100.28	179.56	178.63	174.77	176.08	165.82
Z		-2.886	-4.422	-5.460	-5.180	-4.679	-4.915	-3.499
Asymptot. Sign.		.004	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**
Mittlerer Rang	8	185.97	196.05	161.47	169.34	166.81	170.86	166.60
	32	172.57	160.04	203.04	193.26	196.41	191.37	196.67
Z		-1.348	-3.454	-3.993	-2.261	-2.781	-1.930	-2.741
Asymptot. Sign.		.178	.001*	.000**	.024	.005	.054	.006
Mittlerer Rang	8	206.09	210.36	172.99	180.40	174.77	176.29	177.19
	64	176.77	172.14	212.56	204.55	210.64	208.99	208.01
Z		-2.841	-3.577	-3.710	-2.216	-3.272	-2.983	-2.735
Asymptot. Sign.		.005	.000**	.000**	.027	.001*	.003	.006
Mittlerer Rang	8	136.34	140.69	121.31	123.92	122.54	124.20	124.23
	128	118.51	104.97	165.23	157.12	161.42	156.25	156.16
Z		-1.804	-3.455	-4.293	-3.170	-3.673	-3.040	-2.935
Asymptot. Sign.		.071	.001*	.000**	.002*	.000**	.002*	.003
Mittlerer Rang	16	132.02	134.12	120.09	120.50	119.89	122.40	122.22
	128	116.00	109.75	151.61	150.39	152.21	144.72	145.26
Z		-1.634	-2.422	-3.131	-2.929	-3.140	-2.166	-2.174
Asymptot. Sign.		.102	.015	.002*	.003	.002*	.030	.030

Tabelle 7: Signifikante Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (Prüfgröße Z) für paarweise Vergleiche der Pegelhäufigkeiten (N = 6) bezüglich der erhobenen Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen. Unter Berücksichtigung der Bonferoni-Korrektur ($\alpha/21 = .002$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: QN = Schlafquantität, QL = Schlafqualität, AW = Aufwachhäufigkeit, STÄ = Fluglärmstärke, BEL = Belästigung, UNZ = Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche, FAT = Ermüdung).

Tabelle 8 gibt die *signifikanten* Ergebnisse der U-Tests für paarweise Vergleiche der *Maximalpegel* (N = 8) bezüglich aller sekundären Reaktionen wieder. Es wird auch hier darauf verzichtet, den Vergleich der Basisnacht mit allen Treatmentstufen des Fluglärmparameters sowie nicht signifikante Paarvergleiche tabellarisch darzustellen. Die Bewertungen der *Schlafquantität* unter-

scheiden sich innerhalb der Pegelstufen des $L_{AS,max}$ nicht signifikant. Lediglich die Basisnacht weist gegenüber Maximalpegeln ≥ 60 dB(A) signifikant geringere Skalenwerte auf. Ähnliches gilt für die *Schlafqualität*, wobei sich die Ruhebedingung von Pegeln ab 65 dB(A) signifikant unterscheidet. Bei der *Aufwachhäufigkeit* hat die Pegelstufe 45 dB(A) signifikant kleinere Messwerte als bei 70 dB(A). Im Hinblick auf die Unterscheidung zur Basisnacht liegen die gleichen Befunde wie bei der Schlafquantität vor. Bezüglich der Einstufungen zur *Fluglärmstärke* unterscheiden sich sowohl 50 dB(A) als auch 60 dB(A) signifikant von allen Pegelstufen ab 70 dB(A). Die Treatmentstufe 55 dB(A) unterscheidet sich außerdem signifikant von Maximalpegeln ab 65 dB(A). Unterschiede zwischen der Ruhebedingung liegen bei Paarvergleichen mit Pegeln ab 55 dB(A) vor. 45 dB(A) und 55 dB(A) haben eine signifikant geringere *Belästigungswirkung* gegenüber Maximalpegeln ab 65 dB(A). Die Faktorstufe 50 dB(A) unterscheidet sich signifikant von allen $L_{AS,max}$ ab 70 dB(A). Außerdem unterscheiden sich 60 dB(A) und 80 dB(A) signifikant in ihrer belästigenden Wirkung. Im Hinblick auf Vergleiche mit der Basisnacht gibt es die gleichen Ergebnisse wie bei der Fluglärmstärke. Dies gilt auch für die Einschätzung der *Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche*. Beim Paarvergleich der Faktorstufen des $L_{AS,max}$ ergeben sich zusätzlich signifikant geringere Messwerte bei 50 dB(A) bzw. 55 dB(A) gegenüber den Maximalpegel 70 dB(A) und 75 dB(A). Der $L_{AS,max}$ von 45 dB(A) unterscheidet sich außerdem signifikant von allen Pegeln ab 65 dB(A). Für den *Ermüdungsgrad* liegen die gleichen Ergebnisse wie für die Schlafquantität vor, d.h. es gibt keine signifikanten Unterschiede.

Paarvergleiche LAS,max		QN	QL	AW	STÄ	BEL	UNZ	FAT
Mittlerer Rang	45	89.45	96.05	61.94	55.95	64.08	64.89	71.23
	50	78.26	76.61	85.14	86.64	84.61	84.40	82.82
Z		-1.313	-2.244	-2.705	-3.537	-2.342	-2.263	-1.271
Asymptot. Sign.		.189	.025	.007	.000**	.019	.024	.204
Mittlerer Rang	45	114.70	121.20	83.31	69.41	75.89	75.55	91.92
	60	102.64	101.46	108.35	110.88	109.70	109.76	106.79
Z		-1.147	-1.821	-2.274	-3.780	-3.050	-3.089	-1.291
Asymptot. Sign.		.251	.069	.023	.000**	.002	.002	.197
Mittlerer Rang	45	123.03	133.58	82.28	61.95	69.88	71.20	92.92
	65	105.97	104.14	113.06	116.60	115.22	114.99	111.21
Z		-1.562	-2.622	-2.702	-4.741	-3.912	-3.785	-1.535
Asymptot. Sign.		.118	.009	.007	.000**	.000**	.000**	.125
Mittlerer Rang	45	92.64	99.50	58.00	41.52	49.89	49.23	73.80
	70	77.46	75.75	86.13	90.25	88.15	88.32	82.18
Z		-1.824	-2.749	-3.248	-5.511	-4.309	-4.416	-.920
Asymptot. Sign.		.068	.006	.001*	.000**	.000**	.000**	.358
Mittlerer Rang	45	72.98	78.95	48.89	35.08	39.52	39.08	54.30
	75	61.67	59.68	69.70	74.31	72.83	72.97	67.90
Z		-1.612	-2.718	-2.965	-5.346	-4.542	-4.639	-1.805
Asymptot. Sign.		.107	.007	.003	.000**	.000**	.000**	.071
Mittlerer Rang	45	48.41	52.06	35.19	25.80	28.44	30.94	40.30
	80	40.59	38.43	48.43	53.99	52.43	50.94	45.40
Z		-1.531	-2.614	-2.601	-5.248	-4.428	-3.753	-.922
Asymptot. Sign.		.126	.009	.009	.000**	.000**	.000**	.357
Mittlerer Rang	50	130.82	130.86	123.57	110.62	114.24	113.02	131.04
	70	126.18	126.14	133.43	146.38	142.76	143.98	125.96
Z		-.546	-.538	-1.130	-4.012	-3.177	-3.466	-.552
Asymptot. Sign.		.585	.591	.259	.000**	.001*	.001*	.581
Mittlerer Rang	50	114.11	114.91	111.13	97.89	99.64	99.91	109.46
	75	110.36	109.29	114.32	131.98	129.64	129.29	116.55
Z		-.460	-.679	-.391	-4.038	-3.538	-3.476	-.814
Asymptot. Sign.		.645	.497	.696	.000**	.000**	.001*	.416
Mittlerer Rang	50	92.32	92.80	91.84	81.64	82.89	86.30	92.28
	80	89.55	88.43	90.70	114.86	111.92	103.82	89.65
Z		-.351	-.539	-.143	-4.039	-3.498	-2.135	-.309
Asymptot. Sign.		.726	.590	.886	.000**	.000**	.033	.757
Mittlerer Rang	55	204.36	210.98	184.74	172.98	175.77	182.00	187.37
	65	186.60	179.15	208.67	221.90	218.76	211.75	205.70
Z		-1.701	-2.939	-2.210	-4.450	-3.891	-2.698	-1.608
Asymptot. Sign.		.089	.003	.027	.000**	.000**	.007	.108
Mittlerer Rang	55	175.93	179.95	156.41	144.45	150.13	152.68	165.92
	70	155.17	148.68	186.75	206.08	196.90	192.78	171.37
Z		-2.091	-3.030	-2.957	-5.886	-4.451	-3.817	-.503
Asymptot. Sign.		.036	.002	.003	.000**	.000**	.000**	.615

Tabelle 8: Signifikante Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (Prüfgröße Z) für paarweise Vergleiche der Maximalpegel LAS,max (N = 8) bezüglich der erhobenen Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen. Unter Berücksichtigung der Bonferoni-Korrektur ($\alpha/37 = .001$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: QN = Schlafquantität, QL = Schlafqualität, AW = Aufwachhäufigkeit, STÄ = Fluglärmstärke, BEL = Belästigung, UNZ = Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche, FAT = Ermüdung) .

Paarvergleiche LAS,max		QN	QL	AW	STÄ	BEL	UNZ	FAT
Mittlerer Rang	55	157.46	161.37	144.98	133.31	136.33	139.25	145.40
	75	140.23	131.80	167.15	192.30	185.79	179.48	166.22
Z		-1.735	-2.887	-2.196	-5.666	-4.744	-3.869	-1.933
Asymptot. Sign.		.083	.004	.028	.000**	.000**	.000**	.053
Mittlerer Rang	55	134.10	136.45	127.83	118.93	120.96	125.81	129.66
	80	119.13	110.12	143.15	177.27	169.49	150.91	136.14
Z		-1.423	-2.412	-1.427	-5.273	-4.366	-2.272	-.565
Asymptot. Sign.		.155	.016	.154	.000**	.000**	.023	.572
Mittlerer Rang	60	157.63	158.90	146.48	136.73	141.28	140.10	155.32
	70	145.45	143.70	160.78	174.19	167.93	169.55	148.63
Z		-1.316	-1.577	-1.471	-3.818	-2.698	-2.984	-.657
Asymptot. Sign.		.188	.115	.141	.000**	.007	.003	.511
Mittlerer Rang	60	139.93	141.79	133.84	123.35	125.85	126.47	133.41
	75	130.22	126.80	141.37	160.61	156.02	154.89	142.17
Z		-1.063	-1.596	-.796	-3.881	-3.128	-2.954	-.882
Asymptot. Sign.		.288	.111	.426	.000**	.002	.003	.378
Mittlerer Rang	60	117.39	118.57	115.03	106.44	107.96	111.86	116.25
	80	109.32	105.48	117.02	145.02	140.06	127.38	113.06
Z		-.859	-1.343	-.202	-3.887	-3.204	-1.559	-.309
Asymptot. Sign.		.390	.179	.840	.000**	.001*	.119	.758

Fortsetzung von Tabelle 8

Tabelle 9 stellt die *signifikanten* Ergebnisse der U-Tests für paarweise Vergleiche der *energieäquivalenten Dauerschallpegel* ($N = 9$) bezüglich aller Sekundärreaktionen dar. Bei der beurteilten *Schlafquantität* unterscheiden sich innerhalb der Pegelstufen des $L_{AS,eq}$ lediglich die Kategorie ≤ 33 dB(A) signifikant von ≤ 45 , 48 und 51 dB(A). Beim Vergleich der Basisnacht zeigen sich signifikante Unterschiede zu Pegeln ab 39 dB(A). Letzteres gilt auch die für die *Schlafqualität*. Zusätzlich unterscheidet sich bei der Einschätzung der Schlafgüte ≤ 33 dB(A) signifikant von ≤ 39 , 42, 45, 48 und 51 dB(A) sowie ≤ 36 dB(A) von ≤ 48 dB(A). Im Hinblick auf die empfundene *Aufwachhäufigkeit* weist die Kategorie ≤ 33 dB(A) ebenfalls signifikant niedrigere Skalenwerte als bei ≤ 36 , 39, 42, 45, 48 und 51 dB(A) auf. Die Stufe ≤ 36 dB(A) unterscheidet sich signifikant von ≤ 45 dB(A). Zwischen der Ruhebedingung und den Treatmentstufen des $L_{AS,eq}$ bestehen signifikante Unterschiede ab 36 dB(A). Die *Fluglärmstärke* wird bei ≤ 33 dB(A) signifikant geringer als bei allen höheren Kategorien des $L_{AS,eq}$ empfunden. Die Klasse ≤ 36 dB(A) unterscheidet sich signifikant von ≤ 39 , 42, 45, 48 und 51 dB(A) sowie ≤ 39 dB(A) von ≤ 51 dB(A). Beim Paarvergleich mit der Ruhebedingung ergeben sich die gleichen Befunde wie bei der Aufwachhäufigkeit. Von ≤ 33 dB(A) geht eine signifikant geringere *Belästigungswirkung* als von ≤ 36 , 39, 42, 45, 48, 51 und 54 dB(A)

aus. Gleiches gilt für ≤ 36 dB(A) gegenüber $\leq 42, 45, 48$ und 51 dB(A) als auch beim Vergleich von ≤ 39 dB(A) mit ≤ 48 dB(A). Im Vergleich zur Basisnacht bestehen die gleichen Unterschiede wie bei der Aufwachhäufigkeit und Fluglärmstärke. Dies gilt auch für die Bewertung der *Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche*. Außerdem liegen für die Kategorie ≤ 33 dB(A) signifikant geringere Skalenwerte als bei $\leq 36, 39, 42, 45, 48, 51$ und 54 dB(A) und bei ≤ 36 dB(A) gegenüber $\leq 45, 48$ und 51 dB(A) vor. Schließlich unterscheiden sich noch ≤ 39 dB(A) von ≤ 51 dB(A) signifikant. Bei der *Ermüdung* gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Kategorien des energieäquivalenten Dauerschallpegels. Nur die Ruhebedingung unterscheidet sich von allen Stufen ab 39 dB(A).

Paarvergleiche LAS,eq	QN	QL	AW	STÄ	BEL	UNZ	FAT
Mittlerer Rang ≤ 33	218.65	229.72	198.28	183.78	186.43	189.32	212.13
≤ 36	213.15	201.29	235.00	250.54	247.70	244.61	220.15
Z	-5.506	-2.541	-3.276	-5.973	-5.403	-4.912	-6.72
Asymptot. Sign.	.613	.011	.001*	.000**	.000**	.000**	.502
Mittlerer Rang ≤ 33	184.69	193.38	157.61	142.09	147.77	152.70	164.38
≤ 39	160.86	145.72	208.05	235.09	225.18	216.59	196.24
Z	-2.331	-4.495	-4.815	-8.792	-7.236	-6.052	-2.845
Asymptot. Sign.	.020	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.004
Mittlerer Rang ≤ 33	175.43	184.05	153.68	138.71	138.24	145.90	156.77
≤ 42	153.21	136.04	196.51	226.32	227.25	212.00	190.35
Z	-2.189	-4.583	-4.108	-8.268	-8.342	-6.272	-3.010
Asymptot. Sign.	.029	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.003
Mittlerer Rang ≤ 33	185.78	190.76	149.25	134.56	137.79	138.06	159.60
≤ 45	146.39	137.15	214.27	241.58	235.57	235.07	195.05
Z	-3.859	-5.089	-6.165	-10.061	-9.116	-9.092	-3.174
Asymptot. Sign.	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.002
Mittlerer Rang ≤ 33	170.29	179.36	141.33	129.00	129.01	132.74	150.46
≤ 48	136.10	115.04	203.37	232.02	231.99	223.33	182.17
Z	-3.343	-6.084	-5.916	-9.637	-9.546	-8.493	-2.832
Asymptot. Sign.	.001*	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.005
Mittlerer Rang ≤ 33	156.56	160.18	132.86	122.49	125.49	125.79	141.97
≤ 51	119.06	107.68	193.47	226.06	216.64	215.70	164.86
Z	-3.578	-4.851	-5.612	-9.454	-8.278	-8.228	-1.987
Asymptot. Sign.	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.000**	.047
Mittlerer Rang ≤ 33	129.57	131.63	123.36	118.17	119.13	119.11	124.98
≤ 54	112.58	97.79	157.29	194.63	187.74	187.84	145.61
Z	-1.335	-2.576	-2.621	-5.880	-5.210	-5.292	-1.473
Asymptot. Sign.	.182	.010	.009	.000**	.000**	.000**	.141
Mittlerer Rang ≤ 33	121.27	121.27	118.70	115.70	117.51	117.78	120.70
≤ 57	102.28	102.34	138.09	179.91	154.69	150.94	110.28
Z	-1.181	-1.141	-1.186	-3.923	-2.243	-2.036	-.586
Asymptot. Sign.	.237	.254	.236	.000**	.025	.042	.558
Mittlerer Rang ≤ 36	175.13	177.53	161.08	153.77	157.76	161.65	159.76
≤ 39	157.72	153.82	180.56	192.43	185.95	179.63	182.70
Z	-1.736	-2.292	-1.886	-3.720	-2.683	-1.713	-2.112
Asymptot. Sign.	.083	.022	.059	.000**	.007	.087	.035
Mittlerer Rang ≤ 36	166.11	168.86	155.98	147.46	146.62	152.40	151.76
≤ 42	150.08	144.98	168.90	184.71	186.28	175.54	176.74
Z	-1.613	-2.342	-1.260	-3.591	-3.807	-2.215	-2.315
Asymptot. Sign.	.107	.019	.208	.000**	.000**	.027	.021
Mittlerer Rang ≤ 36	176.10	175.25	151.87	143.52	145.95	145.31	155.05
≤ 45	144.39	145.88	186.40	200.87	196.65	197.77	180.88
Z	-3.170	-2.862	-3.338	-5.508	-4.836	-4.991	-2.387
Asymptot. Sign.	.002	.004	.001*	.000**	.000**	.000**	.017

Tabelle 9: Signifikante Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (Prüfgröße Z) für paarweise Vergleiche der energieäquivalenten Dauerschallpegels LAS,eq (N = 9) bezüglich der erhobenen Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen. Unter Berücksichtigung der Bonferoni-Korrektur ($\alpha/45 = .001$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: QN = Schlafquantität, QL = Schlafqualität, AW = Aufwachhäufigkeit, STÄ = Fluglärmstärke, BEL = Belästigung, UNZ = Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche, FAT = Ermüdung).

Paarvergleiche LAS,eq	QN	QL	AW	STÄ	BEL	UNZ	FAT
Mittlerer Rang ≤ 36	161.02	165.36	142.53	132.47	133.17	136.65	145.14
≤ 48	134.04	124.64	174.10	195.91	194.38	186.84	168.45
Z	-2.702	-3.970	-3.076	-6.085	-5.825	-4.785	-2.160
Asymptot. Sign.	.007	.000**	.002	.000**	.000**	.000**	.031
Mittlerer Rang ≤ 36	147.70	147.79	131.73	123.68	126.69	126.54	136.04
≤ 51	117.45	117.17	164.23	187.82	178.98	179.42	151.61
Z	-2.971	-2.934	-3.091	-6.028	-4.885	-4.932	-1.411
Asymptot. Sign.	.003	.003	.002	.000**	.000**	.000**	.158
Mittlerer Rang ≤ 39	116.07	117.88	108.30	101.31	100.60	101.50	111.88
≤ 48	107.74	105.33	118.10	127.42	128.36	127.17	113.32
Z	-1.041	-1.514	-1.185	-3.088	-3.263	-3.027	-.165
Asymptot. Sign.	.298	.130	.236	.002	.001*	.002	.869
Mittlerer Rang ≤ 39	103.91	102.13	95.91	90.68	92.31	90.06	101.29
≤ 51	92.95	96.17	107.37	116.80	113.87	117.92	97.68
Z	-1.409	-.738	-1.419	-3.178	-2.605	-3.370	-.424
Asymptot. Sign.	.159	.461	.156	.001*	.009	.001*	.671

Fortsetzung von Tabelle 9

Zur Veranschaulichung der Analysen wird im Folgenden exemplarisch die Streuung der Belästigungseinstufung der Experimentalgruppen in Abhängigkeit von der Anzahl von Flugereignissen, dem Maximalpegel sowie dem energieäquivalenten Dauerschallpegel dargestellt. Es ist ersichtlich, dass von der Kontrollnacht ohne Lärmexposition keine Belästigungswirkung ausgeht. Abbildung 17 macht deutlich, dass mit steigender Pegelhäufigkeit die Belästigung zunimmt, wobei sich deskriptiv drei Belastungsstufen unterscheiden lassen: Stufe 1 (geringste Wirkung): 4 und 8 Ereignisse/Nacht, Stufe 2 (mittlere Wirkung): 16 Ereignisse/Nacht, Stufe 3 (stärkste Wirkung): 32, 64 und 128 Ereignisse/Nacht. Innerhalb dieser drei Stufen unterscheidet sich die Störwirkung nicht. Eine mögliche Erklärung dafür besteht darin, dass dem Versuch kein vollständig mehrfaktorielles Design zugrunde liegt (vgl. *Kapitel 1.6*). Die Streuung der geringsten Belastungsstufe ist (nach oben) mit zwei Skalenstufen gegenüber der den übrigen Pegelhäufigkeiten (1-stufige Streubreiten) am größten. Im Hinblick auf die Belästigungswirkung des Maximalpegels lassen sich deskriptiv 4 Wirkungsklassen bilden (Abbildung 18): Stufe 1: 45 dB(A), Stufe 2: 50 dB(A) und 55 dB(A), Stufe 3: 60 dB(A) und 65 dB(A) und Stufe 4: 70, 75, 80 dB(A). Innerhalb dieser 4 Stufen unterscheidet sich die Belästigungswirkung nicht, was vermutlich auch auf den unvollständig mehrfaktoriellen Versuchsplan zurückzuführen ist. Die Streuung der zweiten Stufe ist (nach oben) mit zwei Skalenstufen im Vergleich zu den übrigen Maximalpe-

geln (1-stufige Streubreiten) am größten. Abbildung 19 illustriert ebenfalls einen Anstieg der Belästigung mit zunehmender Fluglärmmexposition, die allerdings für die höchste Kategorie infolge der ungleichen Zellenbesetzung im Versuchsplan wieder abnimmt. Die Kategorie ≤ 33 dB(A) weist die geringste Störwirkung auf, ≤ 36 dB(A) und 39 dB(A) liegen im mittleren Bereich. Die höchste Belästigung geht von ≤ 42 dB(A) bis 54 dB(A) aus, wobei hier keine Differenzierung zwischen den einzelnen Stufen möglich ist. Die Streuung von ≤ 36 dB(A) sowie ≤ 57 dB(A) ist (nach oben) mit zwei Skalenstufen gegenüber der den übrigen Stufen (1-stufige Streubreiten) am größten.

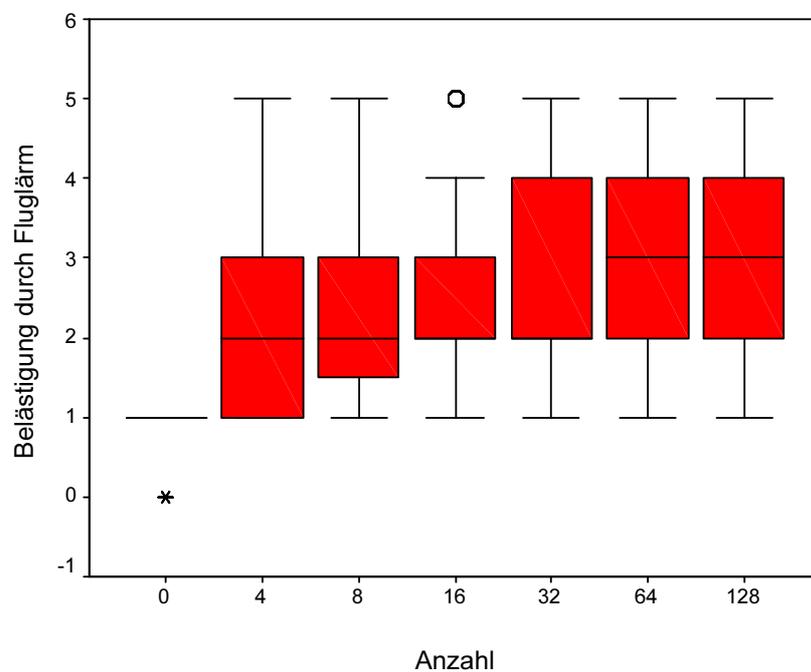


Abbildung 17: Boxplot zur Belästigungsbeurteilung der Experimentalgruppen (N =112) in Abhängigkeit von der Anzahl von Flugereignissen (jeweils gemittelt über alle 8 Pegelstufen des $L_{AS,max}$).

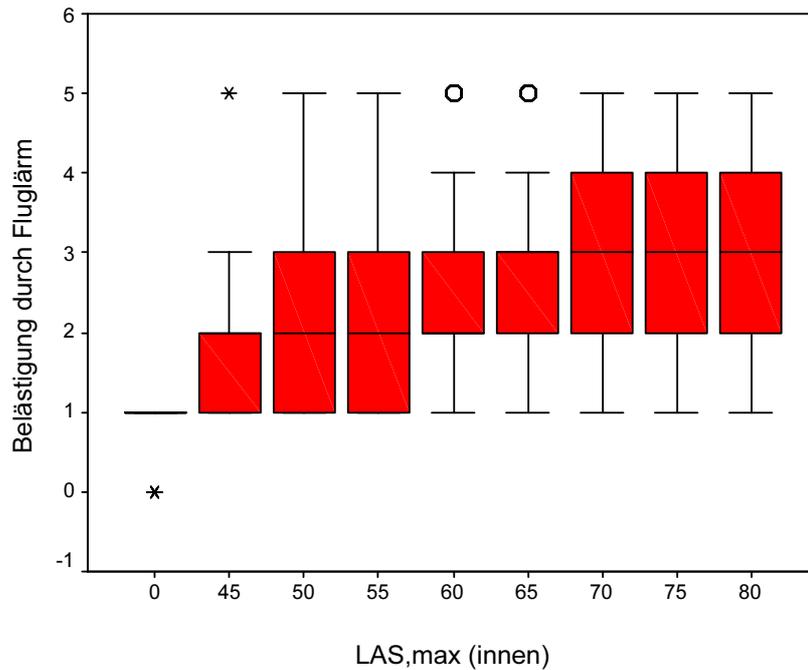


Abbildung 18: Boxplot zur Belästigungsbeurteilung der Experimentalgruppen (N =112) in Abhängigkeit vom LAS,max (jeweils gemittelt über alle 6 Pegelhäufigkeitsstufen).

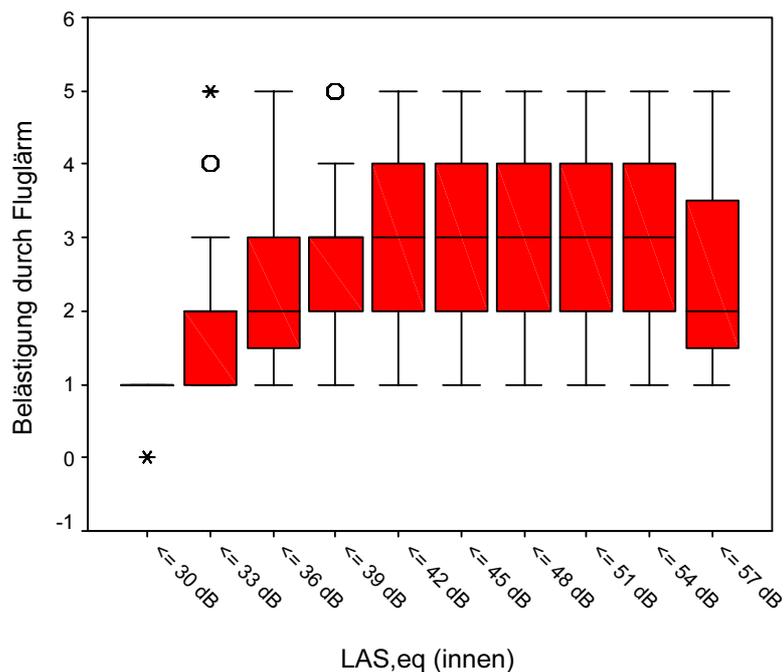


Abbildung 19 : Boxplot zur Belästigungsbeurteilung der Experimentalgruppen (N =112) in Abhängigkeit vom LAS,eq.

1.8.2.3 Dosis-Wirkungs-Kurven

In welchem Ausmaß besteht ein Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und wahrgenommener Störwirkung? Von welchem Niveau der Fluglärmbelas-

tung wird diese relevant? Dies sind Fragen nach der *Dosis-Wirkungs-Beziehung*, in der eine Sekundärstörung als Funktion der Belastung konzipiert wird, sowie nach der *Wirkschwelle*, ab deren Erreichen es zu deutlichen psychologischen Veränderungen kommt. Zur Bestimmung von Dosis-Wirkungskurven hat sich in der Lärmwirkungsforschung die *logistische Regressionsanalyse* (LRA) bewährt [z.B. Ollerhead et al. 1992]. Die LRA basiert auf einem mathematischen Modell, das versucht, die Zusammenhänge von unterschiedlichen (z.B. physikalischen und psychologischen) Einflussgrößen auf eine dichotome abhängige Variable zu beschreiben.²³ Bei einer dichotomen abhängigen Variablen handelt es sich um eine Größe, die entweder stattfindet (1) oder nicht stattfindet (0). Der Wertebereich der logistischen Funktion $f(z)$ liegt zwischen 0 und 1, was einem Wahrscheinlichkeitsbereich von 0% bis 100% entspricht. In der vorliegenden Auswertung wurde eine LRA mit Zufallseffekten („random effects logistic regression“) verwendet.

Da es sich bei der *Belästigung* um die *statistisch wichtigste psychologische Lärmwirkung* handelt, wurde die LRA auf die Auswertung dieses Parameters begrenzt. Zu diesem Zweck war es erforderlich, die ursprünglich 5-stufigen Belästigungsurteile in eine *dichotome abhängige Variable* zu überführen. Häufig wird in Untersuchungen zur Lärmbelästigung insbesondere die Gruppe der Personen, die sich nach dem so genannten Schultz-Kriterium [1978] auf den oberen 25% bis 30% der Antwortskala (bei einer 5-stufigen Skala die Kategorien 4 und 5) verteilen und als „ziemlich“ bzw. „stark“ belästigt („highly annoyed“) gelten, untersucht. Die untere Grenze dieses Bereichs wird international als Mindestwert für die individuelle erhebliche Belästigung verwendet [z.B. Fidell et al. 1991; Miedema & Vos 1998; Schultz 1978]. Eine Beschrän-

²³Die Variable z im Exponenten der e-Funktion ist ein mehrere Einflussparameter kombinierender Index, der im Modell der LRA die lineare Summe von mit Koeffizienten (β_k) multiplizierten Variablen (U_k) und einer Konstanten (α) bildet: $z = \alpha + \beta_1 U_1 + \beta_2 U_2 + \dots + \beta_k U_k$

Die Terme α und β sind unbekannte Parameter, die auf der Basis der vorhandenen Messdaten durch die LRA nach der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt werden. Nach dieser Schätzung kann der z -Term für eine bestimmte Kombination von Variablen berechnet und in die logistische Funktion eingesetzt werden. Ist $z = 0$, beträgt die Wahrscheinlichkeit des Eintretens für das betrachtete Ereignis 50%. Für positive z ist die Wahrscheinlichkeit größer, für negative z kleiner 50% und nähert sich asymptotisch dem Wert 1 bzw. 0 an.

kung auf den Anteil der Personen, die stark durch Lärm belästigt sind, hat allerdings den Nachteil, dass der (quantitativ ebenfalls bedeutende) Anteil derjenigen, deren Lärmbelästigung im mittleren Bereich der Antwortskala liegt, ignoriert wird. Daten aus regelmäßig vom Umweltbundesamt durchgeführten Befragungen zeigen etwa, dass sich der Anteil an hoch belästigten Personen nicht nennenswert ändert, es jedoch deutliche Zuwächse der „nicht so stark“ belästigten Personen gibt [Ortscheid 2001]. Um dem Bereich der „mittleren“ Belästigung Rechnung zu tragen und aufgrund der Tatsache, dass sich nur 20% aller Belästigungseinstufungen in STRAIN I bis IV auf die Kategorien 4 und 5 verteilen (Abbildung 7 im *Kapitel 1.8.2.1*), wurden zur Generierung einer dichotomen abhängigen Belästigungsvariablen die Stufen 3, 4 und 5 zusammengefasst (Wert = 1, d.h. das Vorliegen einer Belästigung durch Fluglärm), die Stufen 1 und 2 indizierten hingegen das Nichtvorliegen einer Fluglärmbelästigung (Wert = 0).

Vor der eigentlichen LRA wurde der Zusammenhang zwischen unabhängigen physikalischen und psychologischen Moderatorvariablen mit der Fluglärmbelästigung deskriptiv überprüft, um mögliche Interaktionen aufzuzeigen und damit zu entscheiden, welche Einflussgrößen in die endgültigen Regressionsmodelle aufgenommen werden sollten. Es wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung dieser sehr umfangreichen Ergebnisse verzichtet. Anhand der vorgenommenen Vorauswertung und unter Berücksichtigung der Literatur wurden bei der Modellbildung folgende Variablen integriert:

a) Physikalische Parameter

- *Anzahl von Fluglärmereignissen pro Nacht (Pegelhäufigkeit),*
- *Maximalpegel eines Fluglärmereignisses $L_{AS,max}$,*
- *energieäquivalenter Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$,*

b) Psychologische Parameter

- **personale Moderatoren:** *Vorbelästigung durch Fluglärm, Lärmempfindlichkeit, Gewöhnung an Fluglärm, Alter, Geschlecht*

- **soziale Moderatoren:** bewertete „Gesundheitsschädlichkeit“, „Vermeidbarkeit“ und „Notwendigkeit“ des Flugverkehrs, „Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm“, Einstellung zum Flugverkehr

Da in der Literatur sowohl der energieäquivalente Dauerschallpegel als auch der Maximalpegel zusammen mit der Anzahl an Fluglärmereignissen als valide physikalische Indikatoren zur Beschreibung der Fluglärmelast angesehen werden (vgl. Kapitel 1.4.1), wurden zwei logistische Regressionsmodelle entwickelt. Mit Ausnahme von Alter und Geschlecht wurden alle Moderatoren als kontinuierliche Variablen in die Modelle aufgenommen, auch wenn sie zum Teil auf ordinalem Skalenniveau gemessen wurden. In der deskriptiven Analyse wurde untersucht, ob bei diesem Vorgehen die Annahme der Linearität auf der logit-Skala plausibel war. Mit Hilfe der LRA wurden die Einzeleffekte der physikalischen und psychologischen Parameter im Hinblick auf die dichotome Belastungsvariable geprüft. Alle untersuchten Einflussgrößen erweisen sich einzeln als statistisch signifikant ($p \leq .050$). Im nächsten Schritt wurden für alle physikalischen Faktoren quadratische Terme gebildet und deren Signifikanz zusammen mit den nicht-quadrierten Parametern getestet. Ähnlich wie die lineare Regression, die grundsätzlich von einem linearen Zusammenhang zwischen unabhängiger und abhängiger Variable ausgeht, nimmt auch die logistische Regression Linearität an, jedoch bezogen auf die logit-Skala. Neben der oben beschriebenen deskriptiven Linearitätsprüfung wurde durch die Hinzunahme eines quadratischen Terms in die Regressionsgleichung die Möglichkeit eines nicht linearen Zusammenhangs statistisch überprüft. Im Fall eines nicht linearen Zusammenhangs verbleiben sowohl die Variable als auch ihre quadrierte Form im Modell. Bei der Auswertung ist lediglich der $L_{AS,eq}^2$ signifikant. In beide Modelle wurden alle aufgeführten Moderatoren integriert und auf Signifikanz überprüft. Nicht signifikante Parameter wurden ausgeschlossen und die verbleibenden erneut getestet. Dies wurde so lange fortgesetzt, bis sich alle Variablen als signifikant erwiesen. *In beiden Regressionsmodellen (Modell L1: Anzahl und $L_{AS,max}$) sowie (Modell L2: $L_{AS,eq}$ und $L_{AS,eq}^2$) verbleiben die Moderatoren Geschlecht, Vorbelastung durch*

Fluglärm und eingestufte „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ (Tabellen 10 und 11).

	Wert	DF	
Deviance	1037,8918	998	
Parameter Schätzungen			
	Koeffizient	Std.Fehler	p-Wert
Intercept	-8,5058	1,2173	< 0,001
Anzahl	0,0314	0,0033	< 0,001
LAS,max	0,1349	0,0124	< 0,001
Geschlecht (1 = männlich)	-0,8370	0,3271	0,0105
Vorbelastigung	0,5710	0,1529	< 0,001
Notwendigkeit Flugverkehr	-0,5088	0,1933	0,0085
Varianzanteil Zufallseffekte	1,4189	0,1589	

Tabelle 10: Logistisches Regressionsmodell L1 für die physikalischen Fluglärmparameter Anzahl und Maximalpegel LAS,max sowie signifikante psychologische Moderatoren ($p \leq .050$).

	Wert	DF	
Deviance	1021,4068	998	
Parameter Schätzungen			
	Koeffizient	Std.Fehler	p-Wert
Intercept	-29,6899	3,9553	< 0,001
LAS,eq	1,3740	0,1886	< 0,001
LAS,eq x LAS,eq	-0,0148	0,0023	< 0,001
Geschlecht (1 = männlich)	-0,7976	0,3420	0,0197
Vorbelastigung	0,5814	0,1613	< 0,001
Notwendigkeit Flugverkehr	-0,5258	0,2046	0,0102
Varianzanteil Zufallseffekte	1,4757	0,1638	

Tabelle 11: Logistisches Regressionsmodell L2 für den physikalischen Fluglärmparameter energieäquivalenter Dauerschallpegel LAS,eq sowie signifikante psychologische Moderatoren ($p \leq .050$).

Die Anpassungsgüte beider Modelle bemisst sich am Verhältnis Wert/Freiheitsgrade DF, das beim 1. Modell 1.04 und beim 2. Modell 1.02 beträgt. Dies kann als Indikator für eine sehr gute Anpassungsgüte (≤ 1.00) angesehen werden, d.h., dass die Regressionsmodelle die Daten gut abbilden.

Abbildung 20 veranschaulicht den durch das Regressionsmodell L1 vorhergesagten Anteil durch Fluglärm Belästigter (Skalenstufe ≥ 3 , d.h. mittelmäßig bis sehr belästigt) in Abhängigkeit vom Maximalpegel LAS,max und der Anzahl der Flugereignisse. Die im Modell berücksichtigten psychologischen Einflussgrößen entsprechen dem Median der untersuchten Experimentalgruppen (Ge-

schlecht = weiblich, Vorbelastung durch Fluglärm = 2, „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ = 4). Es ist zu entnehmen, dass der $L_{AS,max}$ und die Anzahl von Überflügen einen signifikanten Effekt haben: der Anteil an Belästigten steigt mit der Zunahme des $L_{AS,max}$ und der Häufigkeit von Ereignissen, was in Einklang mit bisherigen Studien zur Fluglärmwirkung steht [z.B. Fields 1984; Rylander et al. 1972, 1980, 1986]. 128 mal 55 dB(A) führen zum höchsten Prozentsatz prognostizierter Lärmbelästigter von über 80%. 4 Ereignisse mit einem Maximalpegel von 70 dB(A) bewirken im Vergleich dazu nur noch 52% Lärmbelästigte, obwohl diese Pegelhäufigkeitskombination den gleichen Mittelungspegel ergibt wie 128 mal 55 dB(A). Im Gegensatz zu älteren Studien steigt der Anteil der Belästigten auch bei niedrigeren Überflug-Häufigkeiten (< 16 Überflüge pro Nacht) mit zunehmendem Maximalpegel deutlich an.

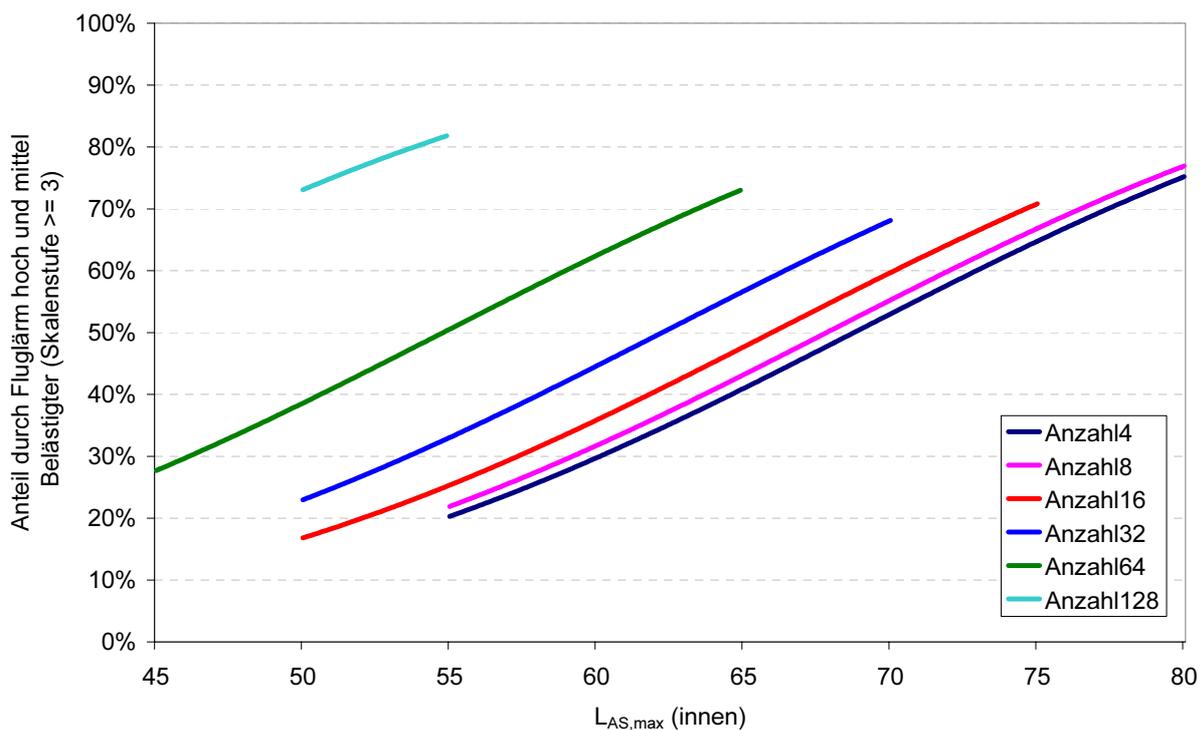


Abbildung 20: Durch Regressionsmodell L1 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom Maximalpegel $L_{AS,max}$ und der Anzahl der Flugereignisse.

Abbildung 21 illustriert den durch das Regressionsmodell L2 prognostizierten Anteil durch Fluglärm Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$. Ähnlich wie in Abbildung 20 entspre-

chen die psychologischen Parameter im Modell dem Median der Experimentalgruppen (siehe oben). Es ergibt sich ein *signifikanter Anstieg des Ausmaßes an Belästigten mit zunehmendem $L_{AS,eq}$* , das von 15% bei 30.6 dB(A) bis etwa 70% bei 46.6 dB(A) reicht. Bei allen $L_{AS,eq}$ oberhalb von 46.6 dB(A) geht der prozentuale Anteil zurück. Dies ist vermutlich auf die zugrunde liegenden Pegelhäufigkeitskombinationen aus höheren Maximalpegeln ≥ 65 dB(A) mit geringeren Häufigkeiten ≤ 32 zurückzuführen (Abbildung 3). Dieses Ergebnis kann als Indikator für die Relevanz der Anzahl an nächtlichen Flugbewegungen für die Belästigung gewertet werden, die bei einer kleineren Anzahl an lauterem Lärmereignissen in der Nacht abnimmt [Kastka & Faust 1998].

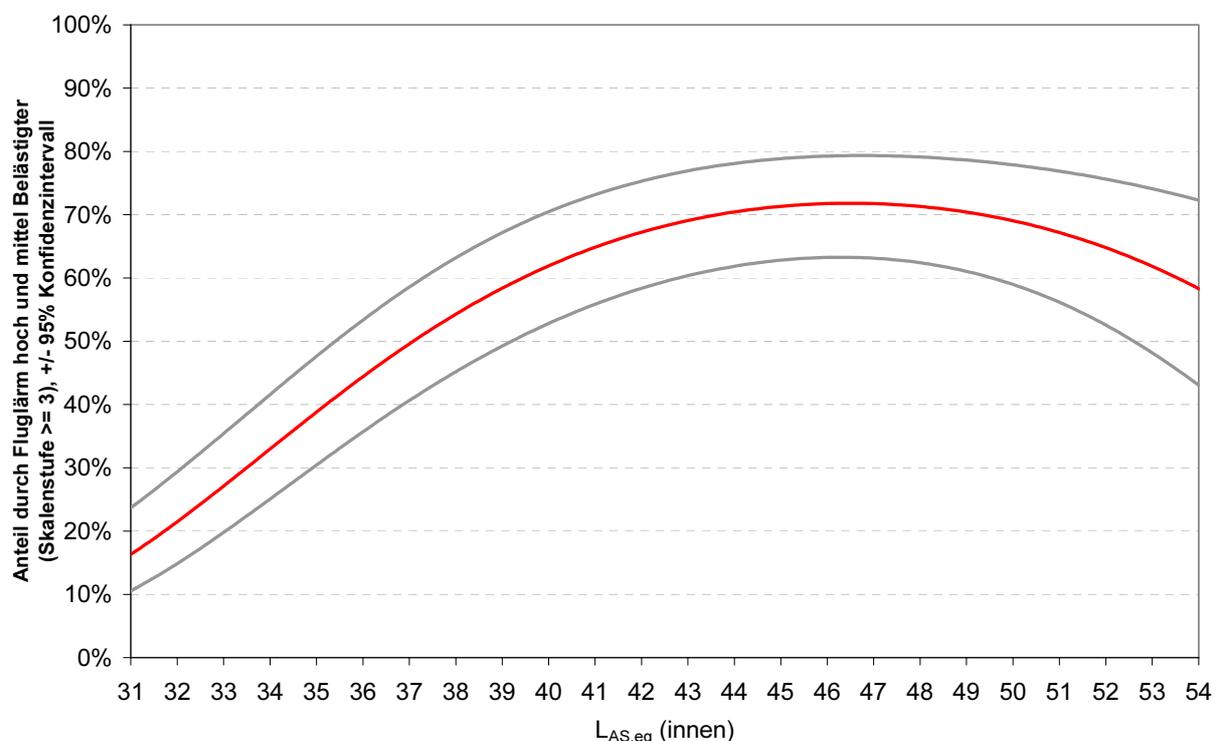


Abbildung 21: Durch Regressionsmodell L2 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

In Abbildungen 22 bis 28 ist getrennt für beide Regressionsmodelle der Einfluss der mitwirkenden Moderatorvariablen dargestellt, wobei für die *nicht* betrachteten Größen jeweils der Median der untersuchten Experimentalgruppen angenommen wurde. Es ist zu beachten, dass sich für Modell L1 die Abbildungen 22 bis 24 mit der Anzahl als unabhängige Variable nur auf einen

$L_{AS,max}$ von 55 dB(A) beziehen. Umgekehrt gilt die Abbildung 25 mit dem $L_{AS,max}$ als unabhängige Variable lediglich für eine Pegelhäufigkeit von $n = 16$. Es ist ersichtlich, dass für beide laborspezifischen Regressionsmodelle der vorhergesagte Anteil durch Fluglärm belästigter Personen bei:

- *Frauen* signifikant höher als bei *Männern*,
- bereits durch Fluglärm *sehr Vorbelästigten* signifikant größer als bei *nicht Vorbelästigten*,
- einer *sehr hoch erachteten „Notwendigkeit des Flugverkehrs“* signifikant niedriger als bei *keiner angesehenen „Notwendigkeit des Flugverkehrs“*

ausfällt. Zum besseren Verständnis der Ergebnisse ist neben dem Extremwertvergleich für die „Vorbelästigung“ und die „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ jeweils der prognostizierte Anteil für den Median angegeben.

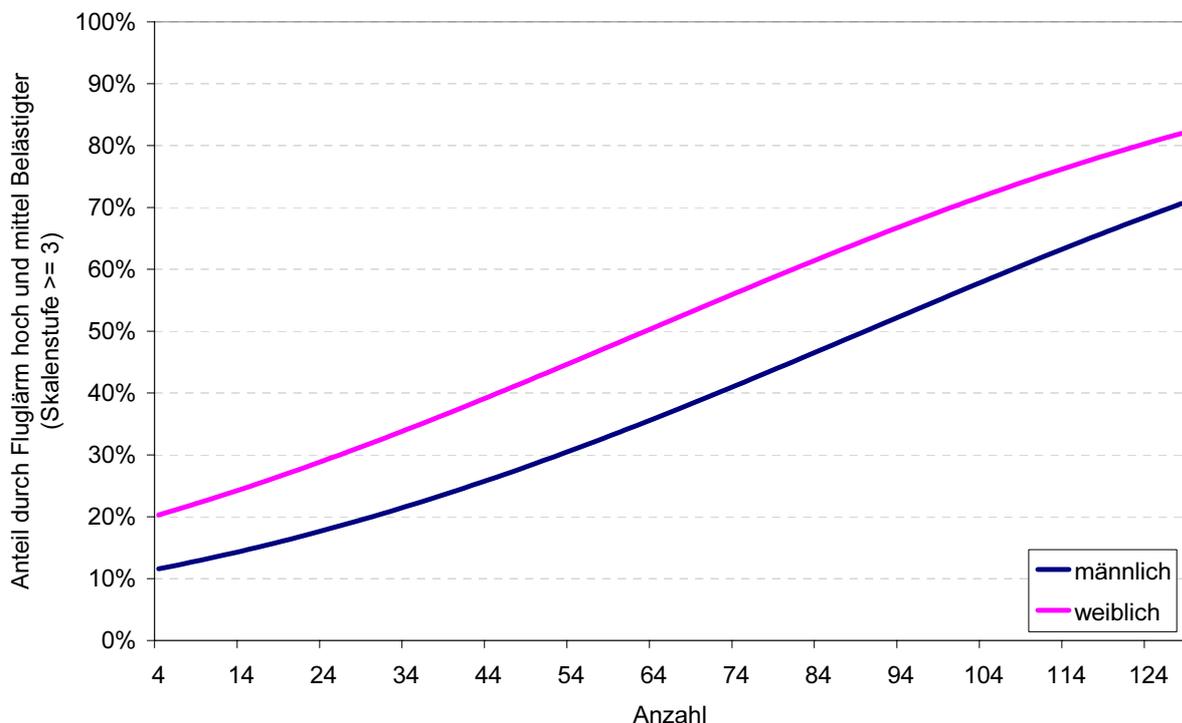


Abbildung 22: Durch Regressionsmodell L1 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit von der Anzahl und dem Geschlecht bei einem $L_{AS,max} = 55$ dB(A).

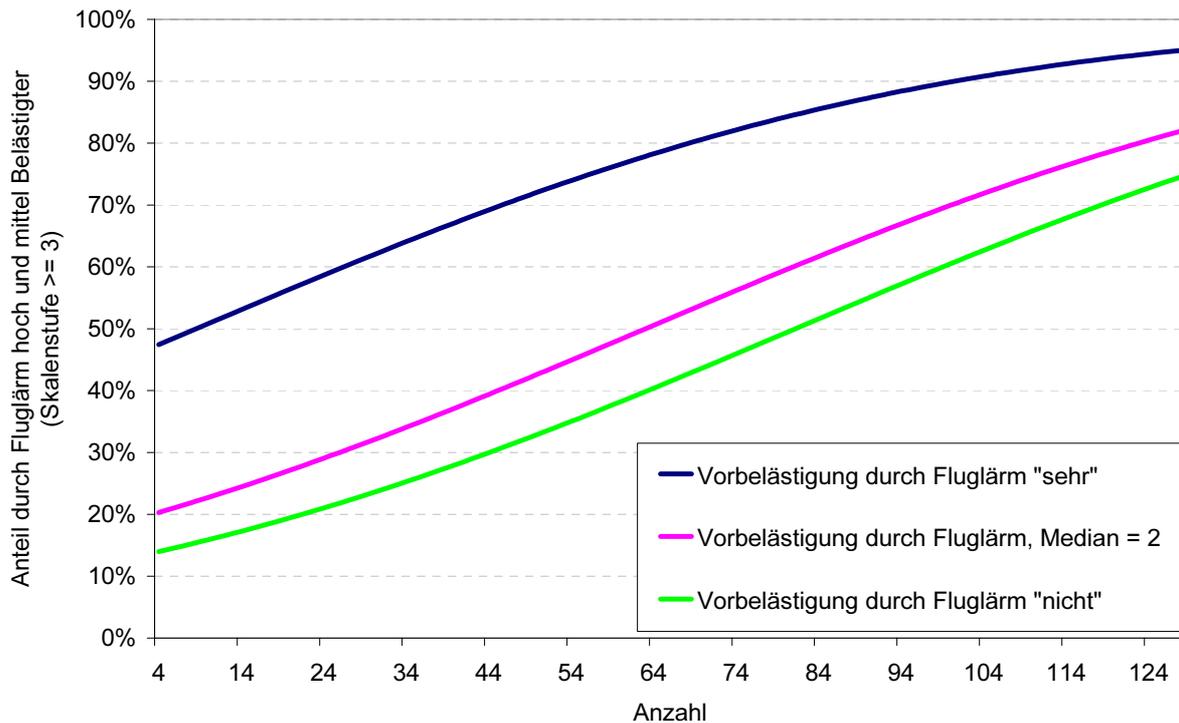


Abbildung 23: Durch Regressionsmodell L1 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit von der Anzahl und dem Grad der Vorbelästigung durch Fluglärm („nicht“, Median, „sehr“) bei einem $L_{AS,max} = 55$ dB(A).

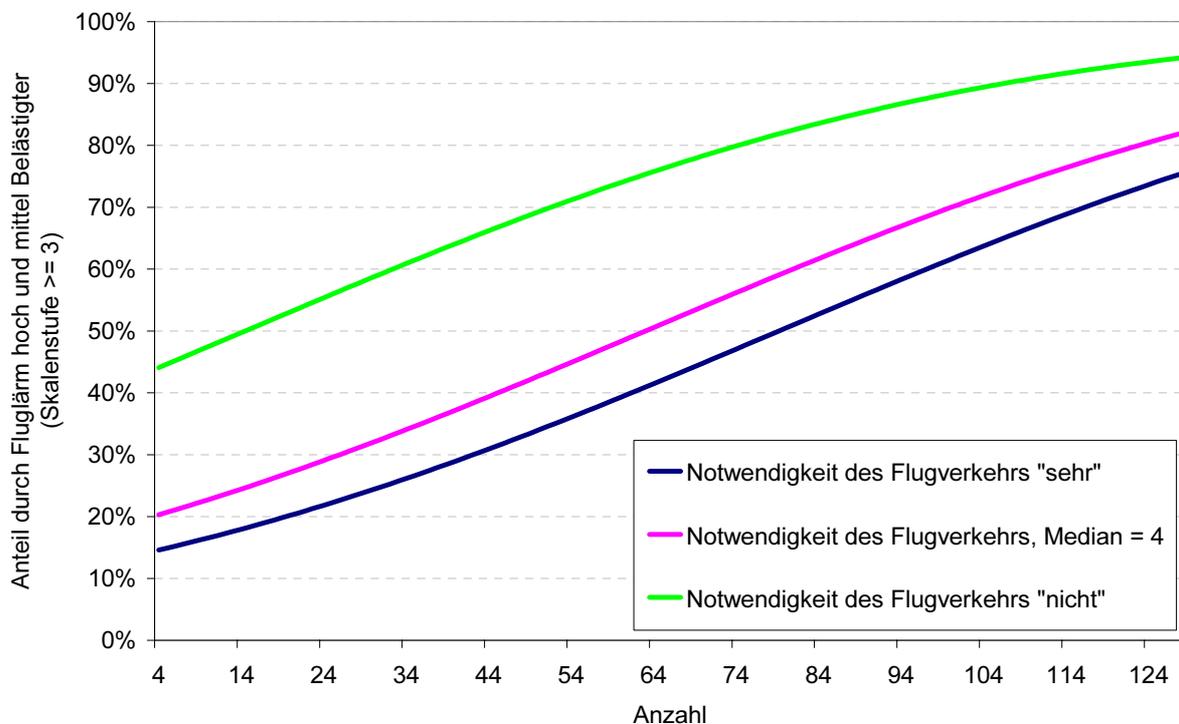


Abbildung 24: Durch Regressionsmodell L1 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit von der Anzahl und der eingestuftem „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ („nicht“, Median, „sehr“) bei einem $L_{AS,max} = 55$ dB(A).

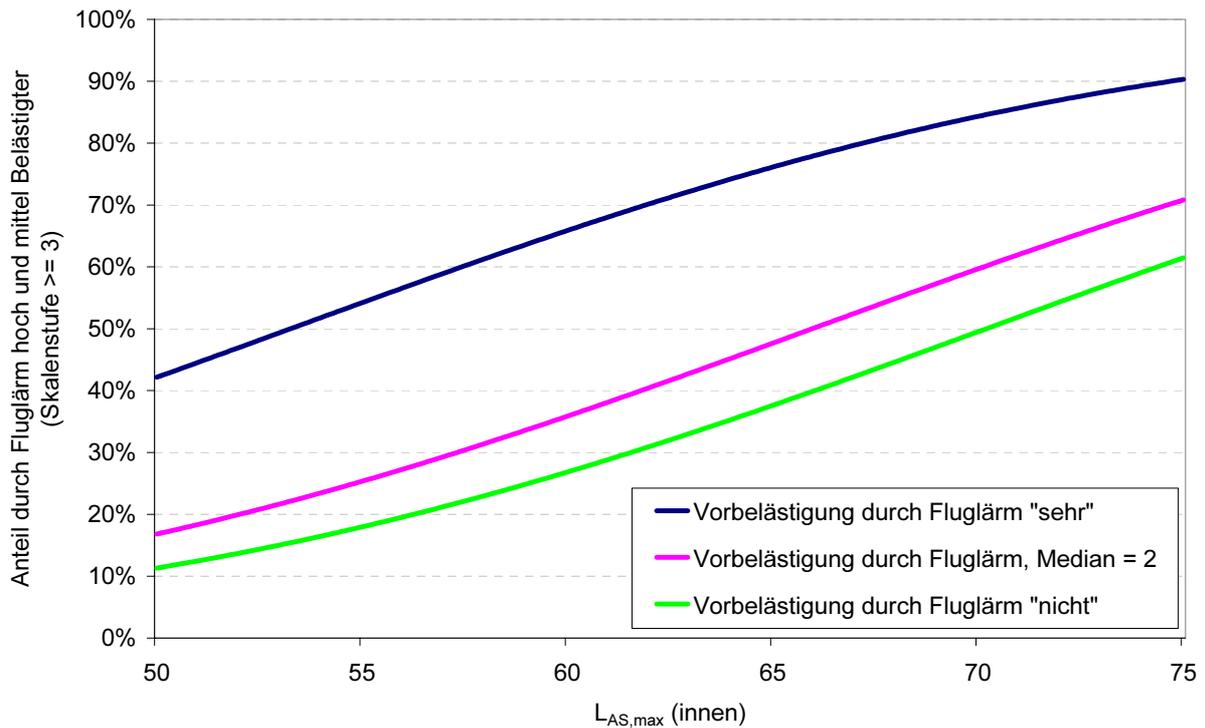


Abbildung 25: Durch Regressionsmodell L1 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom Maximalpegel $L_{AS,max}$ dem Grad der Vorbelastung durch Fluglärm („nicht“, Median, „sehr“) bei einer Pegelhäufigkeit $n = 16$.

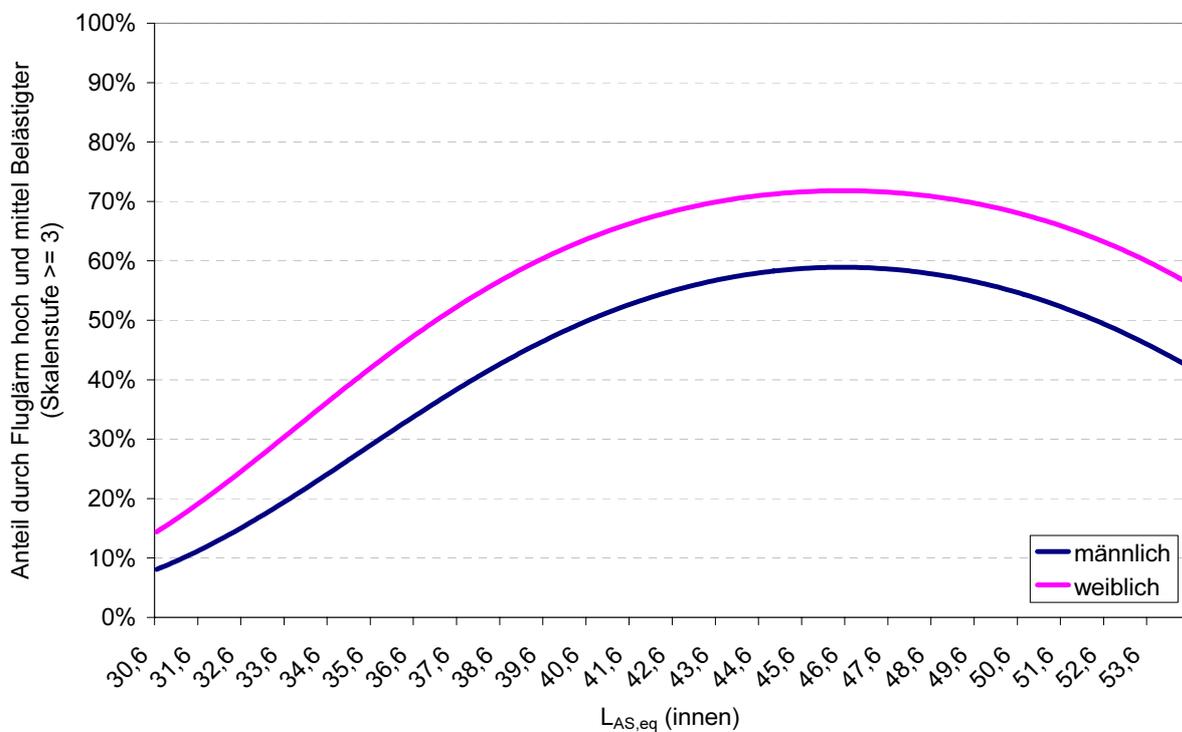


Abbildung 26: Durch Regressionsmodell L2 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$ und dem Geschlecht.

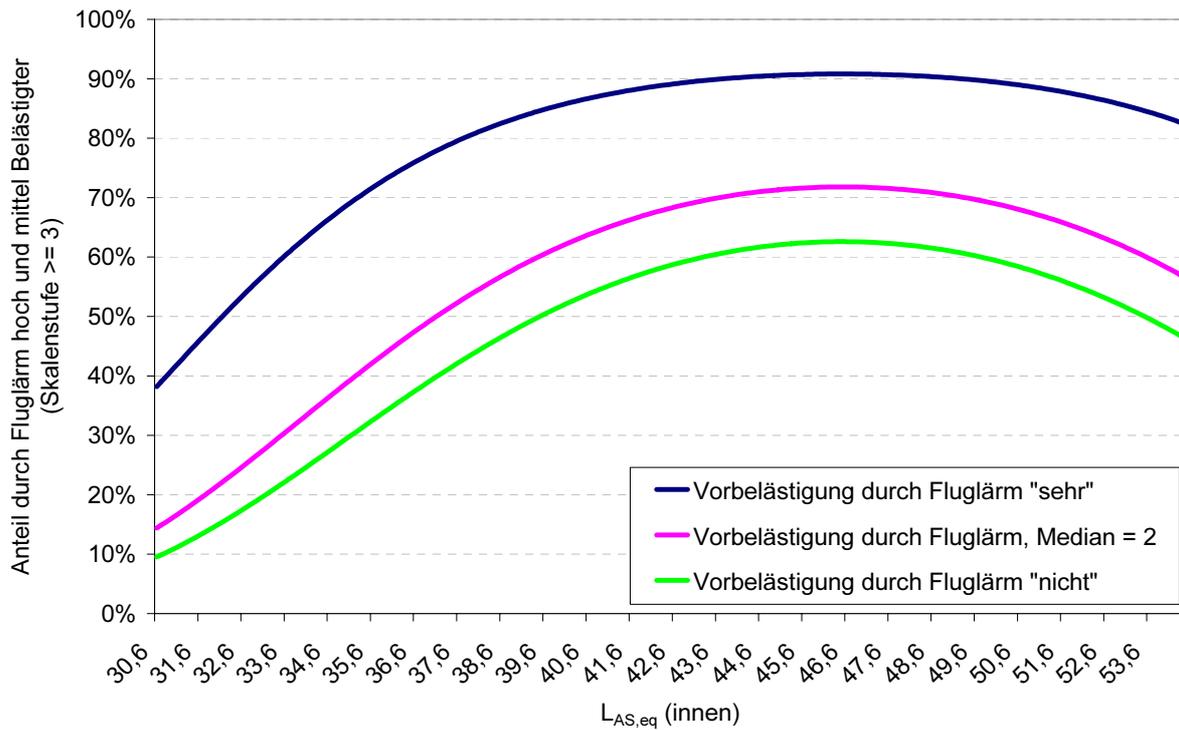


Abbildung 27: Durch Regressionsmodell L2 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{A,S,eq}$ und dem Grad der Vorbelästigung durch Fluglärm („nicht“, Median, „sehr“).

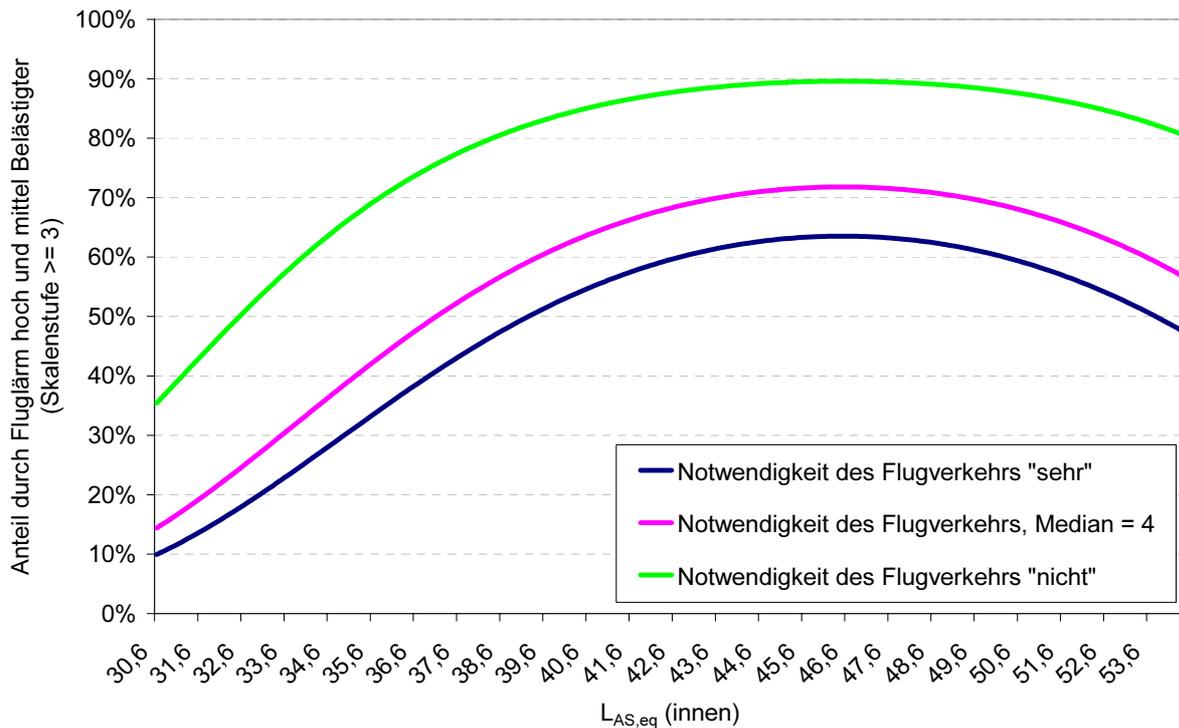


Abbildung 28: Durch Regressionsmodell L2 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$ und der eingestuften „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ („nicht“, Median, „sehr“).

1.8.3 Belästigung durch Fluglärm vor der Laborstudie

Der folgende Abschnitt fokussiert auf die Belästigungswirkung von Fluglärm, die bereits im Vorfeld der Laboruntersuchung zu Hause bestanden hat (im Sinne einer Fluglärmvorbelastung).²⁴ Es wird untersucht,

- a) welches die *Hauptmerkmale der Fluglärmbelastigung* sind, und
- b) welche *psychologischen Moderatoren* im Hinblick auf die *Belästigung durch Fluglärm* eine wichtige Rolle spielen.

Zu diesem Zweck werden Daten aus dem allgemeinen Fragebogen herangezogen, der vor der Studie verschickt wurde. Neben der Belästigung wurde eine Vielzahl an weiteren Variablen zur möglichen Störwirkung des Fluglärms (und anderer Lärmquellen) erfragt. Es handelt sich um Fragebogenitems mit

²⁴Die Vorbelastigung durch Fluglärm wurde in den logistischen Regressionsanalysen als psychologische Moderatorvariable berücksichtigt (vgl. Kapitel 1.8.2.3).

einer 5-stufigen Antwortskala (in der Regel mit der kategorialen Abstufung „1 = nicht“ bzw. „nie“ bis „5 = sehr“ bzw. „immer“).

1.8.3.1 *Semantische Analyse zur Fluglärmvorbelastung*

Mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse (PCA) wurde versucht, die inhaltliche *Bedeutung des Begriffs der Fluglärmbelastung* inhaltlich zu spezifizieren [vgl. hierzu Guski et al. 1999; Guski & Schick 2004; Oliva 1998]. Es wurde von der Hypothese ausgegangen, dass das Konzept der Fluglärmbelastung im Wesentlichen kognitive und emotionale Aspekte integriert [Koelega 1987], d.h., dass es um die Störung von Aktivitäten (Kommunikation, Erholung und Entspannung, Schlaf) geht, die mit Gefühlen des Unbehagens, der Verärgerung und Unzufriedenheit einhergeht (vgl. *Kapitel 1.2.1*). Zur Überprüfung dieser Annahme wurde eine varimaxrotierte PCA nach dem Kaiserkriterium mit Variablen aus dem allgemeinen Fragebogen durchgeführt. Für die Interpretation der drei Hauptfaktoren, die zusammen 42.9% der Gesamtvarianz aufklären, wurden nur Items mit Ladungen $>.50$ berücksichtigt. Die Ergebnisse in Tabelle 12 bestätigen, dass der *Belästigungsbegriff inhaltlich dem Konzept der fluglärminduzierten Störung der Tätigkeitsbereiche Kommunikation, Rekreation und Schlaf am nächsten liegt* [vgl. hierzu Guski et al. 1999, Kastka 2001a].

Die erste, unipolare Hauptkomponente (ca. 28% Varianzaufklärung) vereint die in der Wohnung durch Fluglärm erlebte Beeinträchtigung von Aktivitäten wie „Störung der Entspannung und Feierabendruhe“, Störung von Unterhaltungen“, „Behinderung von Lesen/Nachdenken“, „Behinderung des Einschlafens“, „Erschrecken“, „lauter stellen von Radio/Fernsehen“. Vorherrschende Affekte sind „Gereiztheit“, „ungern nach Hause kommen und im Freien aufhalten“ sowie eine „verdorbene Freude an der Freizeit“. Im kognitiven Bereich dominiert der Glaube an die „eigene Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm“. Es finden sich zudem Items zur Beschreibung der Fluglärmstärke draußen und in der Wohnung bei geschlossenem und gekipptem (Schlafzimmer-

)Fenster sowie zur Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche während des Tages und in der Nacht.

Der zweite, bipolare Faktor (ca. 8% Varianzaufklärung) umfasst Parameter, die nichts mit der Störung durch Fluglärm, sondern vielmehr mit der gesellschaftlichen Bewertung des Flugverkehrs (seinem „Image“) zu tun haben [vgl. hierzu Guski 1999]. Es finden sich auf der einen Seite Items hinsichtlich seiner „Vermeidbarkeit“ und seines Potentials an „Gesundheitsgefährdung bzw. –schädlichkeit“, dem gegenübergestellt sind seine „Notwendigkeit“, „Umweltfreundlichkeit“, die „allgemeine Einstellung zum Flugverkehr“ und die „Gewöhnung an Fluglärm“.

Die dritte Komponente (ca. 7% Varianzaufklärung) beinhaltet ausschließlich affektive Merkmale, die auf die (Un-)Zufriedenheit mit Aspekten im Umfeld der exponierten Wohnung (Erholungsmöglichkeiten, Luftqualität) im Sinne einer so genannten „Umweltästhetik“ [Booth 1999; Guski 1987; Oliva 1998] abzielen.

Rotierte Komponentenmatrix^a

	Komponente		
	1 (27,9%)	2 (8,4%)	3 (6,6%)
Störung der Entspannung und Feierabendruhe	.833	.161	-.074
Störung von Unterhaltungen	.766	-.045	-.162
Fluglärmstärke, gekipptes Schlafzimmerfenster	.744	.101	.492
Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche tags	.738	.210	.226
Behinderung von Lesen/Nachdenken	.734	.005	-.271
Gereiztheit	.728	.165	-.160
Behinderung des Einschlafens	.727	.163	.141
Fluglärmstärke, geschlossenes Schlafzimmerfenster	.712	.195	.439
Fluglärmstärke, gekipptes Fenster	.708	.022	.386
Verzicht, das Fenster zu öffnen	.694	.208	.119
verdorbene Freude an der Freizeit	.673	.295	-.122
Fluglärmstärke, geschlossenes Fenster	.667	.075	.422
Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche nachts	.651	.217	.408
Fluglärmstärke draußen	.643	.101	.440
Lauter stellen von Radio/Fernsehen	.607	.002	-.005
ungern im Freien aufhalten	.603	.182	-.070
eigene Gesundheitsschädigung durch Fluglärm	.594	.379	.132
ungern nach Hause kommen	.551	.131	-.203
Erschrecken	.545	.031	-.069
kein Besuch mehr einladen	.506	-.115	-.362
Zittern von Wänden und Klirren von Fenstern	.466	-.045	-.076
Verzicht auf Telefonate	.298	-.264	-.140
Notwendigkeit des Flugverkehrs	-.068	-.742	-.032
Gesundheitsgefährdung durch Flugverkehr	.228	.658	-.036
allgemeine Einstellung zum Flugverkehr	-.180	-.641	.018
Vermeidbarkeit des Flugverkehrs	.083	.639	.075
Umweltfreundlichkeit des Flugverkehrs	.016	-.563	-.175
Fluglärmgewöhnung	-.260	-.506	-.082
allgemeine Gesundheitsschädigung durch Fluglärm	.186	.502	-.058
Zuverlässigkeit des Flugverkehrs	-.027	-.463	-.093
Unsicherheit des Flugverkehrs	.032	.439	-.119
Zufriedenheit ÖPNV	.065	-.265	-.240
Zufriedenheit Luftqualität	-.029	.043	.571
Zufriedenheit Erholungsmöglichkeiten	.000	.023	.539
Zufriedenheit Erscheinungsbild	.016	-.035	.440
allgemeine Wohnzufriedenheit	.073	-.146	.403
Zufriedenheit Einkaufsmöglichkeiten	.008	-.118	-.352
Zufriedenheit Arbeitsplatznähe	.127	-.089	-.192

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung.

a. Die Rotation ist in 5 Iterationen konvergiert.

Tabelle 12: Varimaxrotierte Hauptkomponentenanalyse mit Aspekten der Fluglärmvorbelastung aus dem allgemeinen Fragebogen der Laborstichprobe (N = 128). Items, die der Interpretation der Hauptfaktoren dienen (Ladungen > .50), sind grau unterlegt.

1.8.3.2 Der Einfluss psychologischer Moderatoren auf die Fluglärmvorbelastung

Abbildung 29 gibt die prozentuale Verteilung der Belästigungsbeurteilung vor der Laborstudie mittels einer 5-stufigen Antwortskala wider. Es ergeben sich die Quartile $Q_1 = 2$ („wenig“ belästigt) und Q_2 und $Q_3 = 3$ („mittelmäßig“ belästigt). Mehr als $\frac{3}{4}$ der Bewertungen verteilen sich auf die ersten drei Skalenniveaus. 13% fühlen sich „ziemlich“ bzw. „sehr“ durch Fluglärm belästigt.

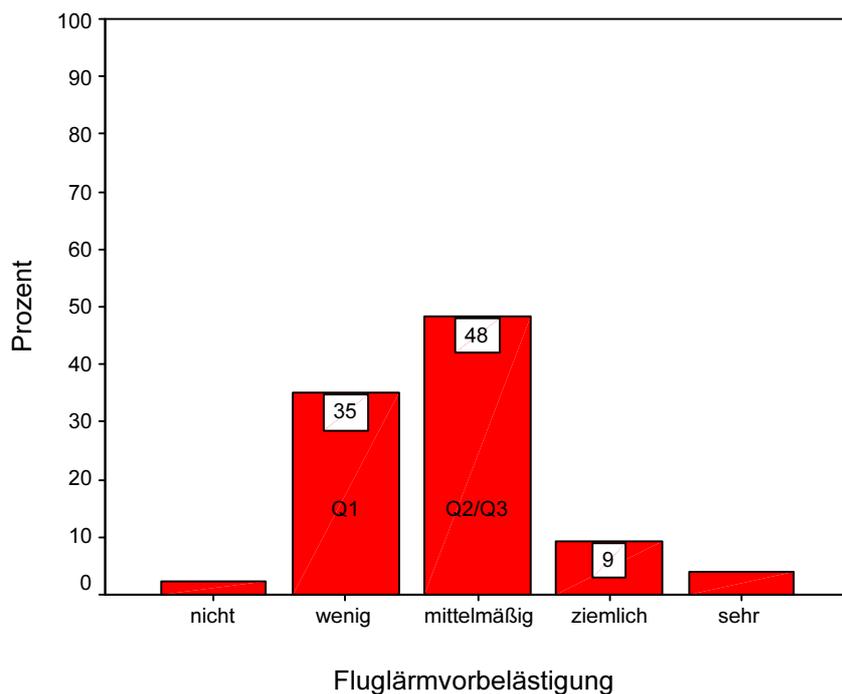


Abbildung 29: Prozentuale Verteilung der Belästigungsbeurteilung („Wie stark werden Sie belästigt durch Fluglärm?“) vor der Laborstudie (N = 128).

Die Probanden erinnern sich im Mittel tagsüber (6:00 bis 22:00 Uhr) an 3.35 unzumutbare Fluggeräusche (Standardabweichung = 6.94), nachts (22:00 bis 6:00 Uhr) sind es durchschnittlich 2.07 erinnerte Geräusche (Standardabweichung = 3.45).

Anhand einer qualitativen Analyse des allgemeinen Fragebogens wird belegt, dass sich etwa ein Drittel der Befragten (ca. 37%) bereits im Vorfeld durch ganz bestimmte Flugsituationen besonders belästigt fühlt („Werden Sie durch bestimmte Fluglärmsituationen besonders belästigt?“). Es handelt sich dabei vorrangig um Flugsituationen nachts und in den frühen Morgenstunden (insgesamt 24 Nennungen bei einer offenen Frage, die Mehrfachantworten zu-

lässt); in 14 weiteren Fällen werden Tiefflieger und militärische Flugzeuge als besonders belästigend erlebt. Als wesentlicher Grund für die erhebliche Belästigung werden die Lautstärke (29 Nennungen) sowie das lärmbedingte Aufwachen (6 Nennungen) genannt. 20% meinen, dass diese besonders belästigenden Flugsituationen unbedingt zu vermeiden seien.

Belästigungsurteile bilden sich im Allgemeinen aus längerfristigen Erfahrungen in und mit einer spezifischen Belastungssituation aus. Sie variieren stark interindividuell, da sie von einer Vielzahl nicht-akustischer Einflussgrößen abhängen (vgl. *Kapitel 1.4.2*). In Kruskal-Wallis Rangvarianzanalysen zum Einfluss psychologischer Moderatoren auf die Fluglärmvorbelastigung wurden Mediansplitts der Stichproben aus STRAIN I bis IV (N = 128) durchgeführt, d.h. die Vpn wurden zwei unabhängige Teilstichproben (wie etwa „stark“ (\geq Median) und „weniger“ ($<$ Median) Lärmempfindliche) unterteilt.

a) Situative bzw. kontextuelle Moderatoren

Grünflächen, gute Einkaufsmöglichkeiten und Verkehrsgünstigkeit können positiv moderierend wirken, d.h. derart positiv bewertete Wohnvariablen verringern in der Regel Lärmefekte im Sinne einer „Umweltästhetik“ [Booth 1999; Guski 1987; Oliva 1998]. In der Auswertung wurde der Einfluss der Zufriedenheit mit der Wohngegend („*Wie zufrieden sind Sie in Ihrer Wohngegend mit...?*“) bezüglich:

- des *äußeren Erscheinungsbilds* (Median = 4.0),
- der *Luftqualität* (Median = 4.0),
- dem *Anschluss an das öffentliche Verkehrsnetz* (Median = 4.0),
- der *Nähe zum Arbeitsplatz* (Median = 4.0),
- den *Einkaufsmöglichkeiten* (Median = 4.0),
- den *Erholungs-/Entspannungsmöglichkeiten* (Median = 4.0),

sowie die Wirkung der *allgemeinen Wohnzufriedenheit* (Median = 4.0) („*Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit Ihrer Wohngegend?*“) auf die Fluglärmvorbelastung untersucht. Für alle genannten Aspekte der Wohnumgebung ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen zufriedenen und weniger zufriedenen Vpn, d.h. ein positiv moderierender Einfluss des Umfeldes im Sinne einer Umweltästhetik wird nicht gefunden.

Ein wichtiges Merkmal in politischen Diskussionen ist die *Wohndauer* Lärmexponierter im betroffenen Gebiet: während Politiker und teilweise auch die Betroffenen der Auffassung sind, man könne sich mit der Zeit an Lärm „gewöhnen“ und ihn damit besser ertragen, je länger man an einem Ort wohnt, gibt es bis heute kaum empirisch gestützte Hinweise für solche Gewöhnungsprozesse. Die Befunde der vorliegenden Befragung zeigen keinen signifikanten Effekt der Wohndauer (Median = 6.25 Jahre) für die Fluglärmvorbelastung.

Alle Untersuchten wurden nach der *Art ihres häuslichen Schallschutzes* (*Fensterverglasung*) befragt. 88% geben an, in ihrer Wohnung über eine doppelte Fensterverglasung zu verfügen. 10% haben einfach und die verbleibenden 2% dreifach verglaste Fenster. 64% der Befragten sind mit der vorhandenen Schalldämmung der geschlossenen Fenster „ziemlich“ bzw. „sehr“ zufrieden, 28% sind nur „mittelmäßig“ und 8% „nicht“ bzw. „wenig“ zufrieden. Etwa 51% der Untersuchten hätten gerne zu Hause einen besseren Schallschutz. Unterschiede in der häuslichen Fensterverglasung gehen nach einer Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse mit signifikanten Unterschieden in der Fluglärmvorbelastung einher ($\chi^2_{(2, .000)} = 19.462$), wobei die Dreifachverglasung den höchsten mittleren Rang, gefolgt von der einfachen und schließlich der zweifachen Verglasung aufweist (Abbildung 30). *Das Vorhandensein von unterschiedlichem Schallschutz hat demnach einen signifikanten Einfluss auf die Belästigungsreaktion* [vgl. hierzu Paulsen et al. 1992]. In einer Studie zur Belastung durch Fluglärm in der Umgebung des Düsseldorfer Flughafens wurden dagegen keine signifikanten Belästigungsunterschiede zwischen Anwohnern mit und ohne Schallschutzfenstern gefunden [Kastka 1990].

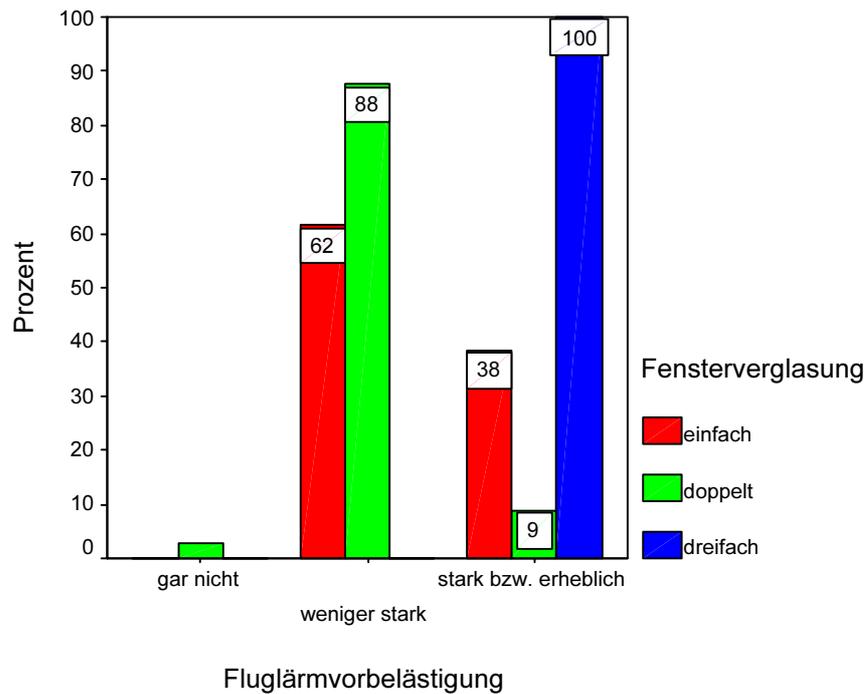


Abbildung 30: Fluglärmvorbelastung in Abhängigkeit vom häuslichen Schallschutz (Fensterverglasung) vor der Laborstudie (N = 128).

Bei der Untersuchung von Fluglärmwirkungen ist nach Kastka [2001a] eine Unterscheidung nach der *jeweiligen Fensterstellung im exponierten Wohnraum* methodisch bedeutsam. Im Friedman-Test werden signifikante Unterschiede zwischen der bewerteten *Fluglärmstärke* ($\chi^2_{(4, .000)} = 255.823$) und *Vorbelastung* ($\chi^2_{(4, .000)} = 176.875$) unter verschiedenen *raum-akustischen Bedingungen* in der Wohnung der Untersuchten gezeigt (Abbildungen 31 und 32). Wilcoxon Paarvergleiche weisen zumeist signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen raum-akustischen Bedingungen bezüglich der Fluglärmstärke und Fluglärmvorbelastung auf. Es wird an dieser Stelle auf eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse zu den Einzelvergleichen verzichtet. Lediglich die Bedingungen „Schlafzimmerfenster zu“ vs. „Fenster zu“ sowie „Schlafzimmerfenster gekippt“ vs. „Fenster gekippt“ unterscheiden sich im Hinblick auf beide Variablen nicht signifikant. Die empfindlichsten Bedingungen sind die „Fenster-gekippt-Situationen“ bzw. „draußen“, wobei die Außenbedingung für die bewertete Fluglärmstärke sensitiver als die „Fenster-gekippt-Situationen“ ist [vgl. hierzu Kastka 1990, 1999, 2001a].

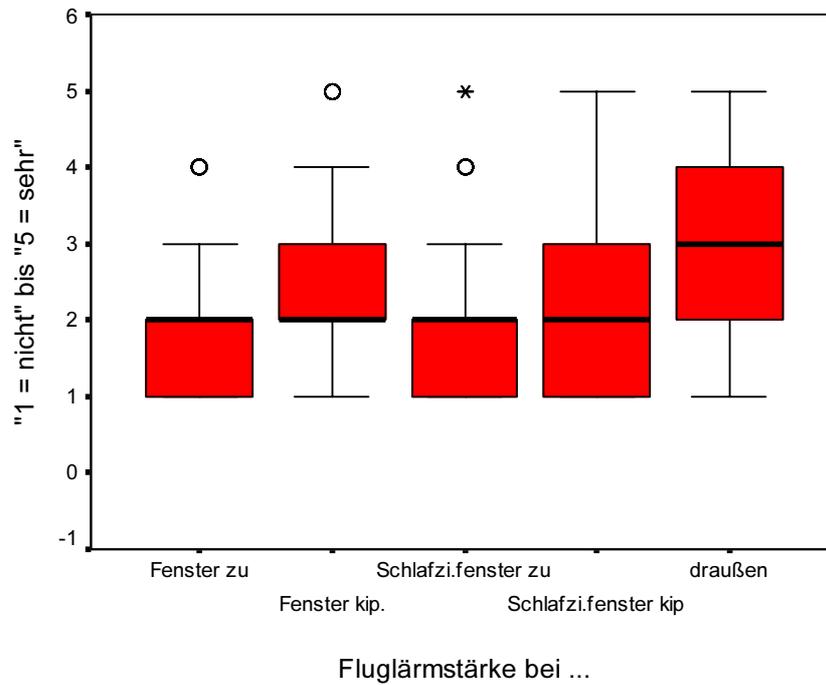


Abbildung 31: Bewertete häusliche Fluglärmstärke unter verschiedenen raum-akustischen Bedingungen („Wie stark hören Sie Fluglärm...?“) vor der Laborstudie (N = 128).

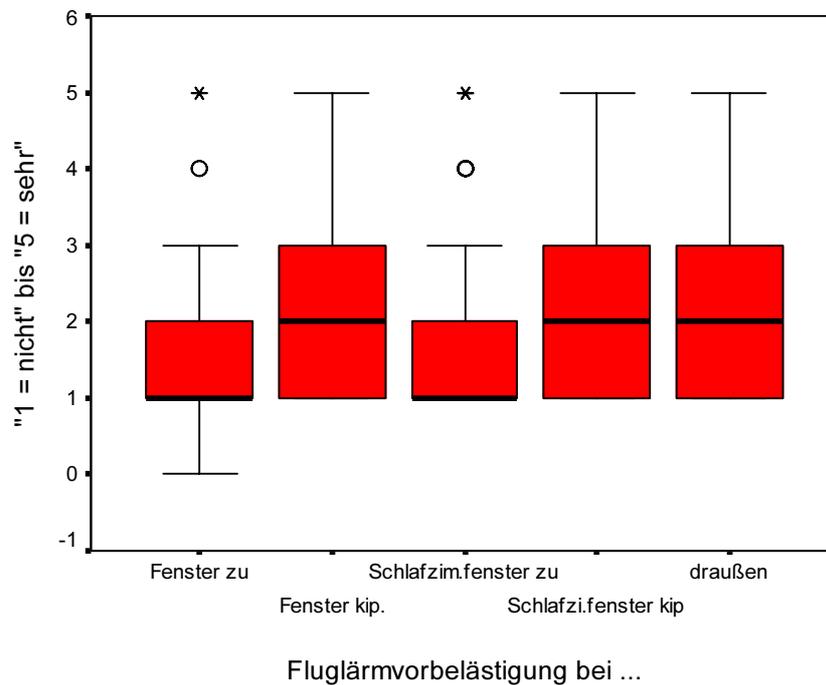


Abbildung 32: Bewertete häusliche Fluglärmvorbelastigung unter verschiedenen raum-akustischen Bedingungen („Wie stark werden Sie belästigt durch Fluglärm...?“) vor der Laborstudie (N = 128).

b) Soziale Moderatoren

Im Friedman-Test zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen der allgemeinen *Einstellung gegenüber den Hauptverkehrsträgern Straßen-, Schienen- und Flugverkehr* ($\chi^2_{(2, .000)} = 15.763$), wobei der Schienenverkehr im Wilcoxon Paarvergleich signifikant positiver als der Straßen- und Flugverkehr bewertet wird. Die Einstellung gegenüber Straßen- und Flugverkehr unterscheidet sich hingegen nicht signifikant (Abbildung 33). Im Hinblick auf die *Lärmbelästigung* finden sich laut Friedman-Test erneut signifikante Unterschiede zwischen den genannten Verkehrsträgern ($\chi^2_{(2, .000)} = 97.398$). Wilcoxon-Tests bestätigen den Schienenbonus gegenüber Straßen- und Flugverkehr (slärm). Die Lärmimmissionen des Bahnverkehrs werden im Vergleich zum Straßen- und Flugverkehr als signifikant weniger belästigend eingestuft. Fluglärm wird zudem signifikant belästigender als Straßenlärm beurteilt (Abbildung 34). Bei der *Lärmgewöhnung* an die drei Hauptverkehrsträger liegen ebenfalls signifikante Unterschiede ($\chi^2_{(2, .005)} = 10.550$) vor, wobei die Gewöhnung an Straßenverkehrslärm gegenüber Schienen- oder Fluglärm am leichtesten fällt (Abbildung 35).

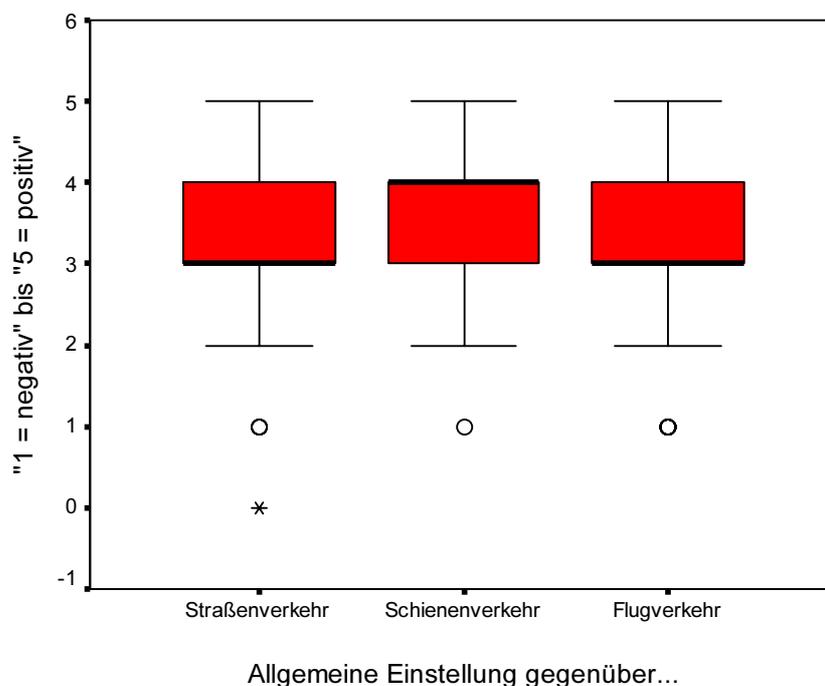


Abbildung 33: Einstellung gegenüber den drei Hauptverkehrsträgern („Wie stehen Sie insgesamt folgenden Verkehrsarten gegenüber?“) vor der Laborstudie (N = 128).

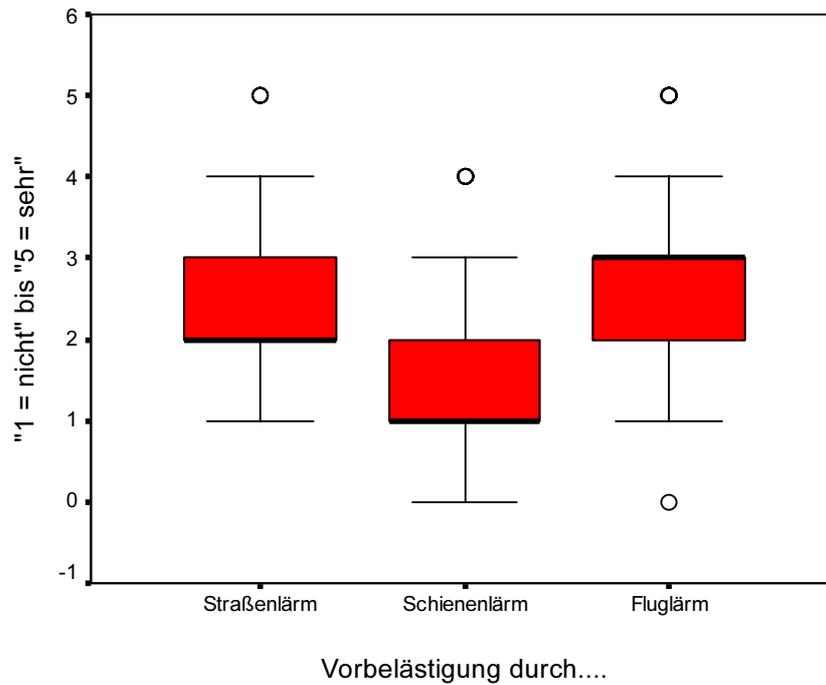


Abbildung 34: Verkehrslärmvorbelastung („Wie stark werden Sie durch folgende Lärmarten belästigt?“) vor der Laborstudie (N = 128).

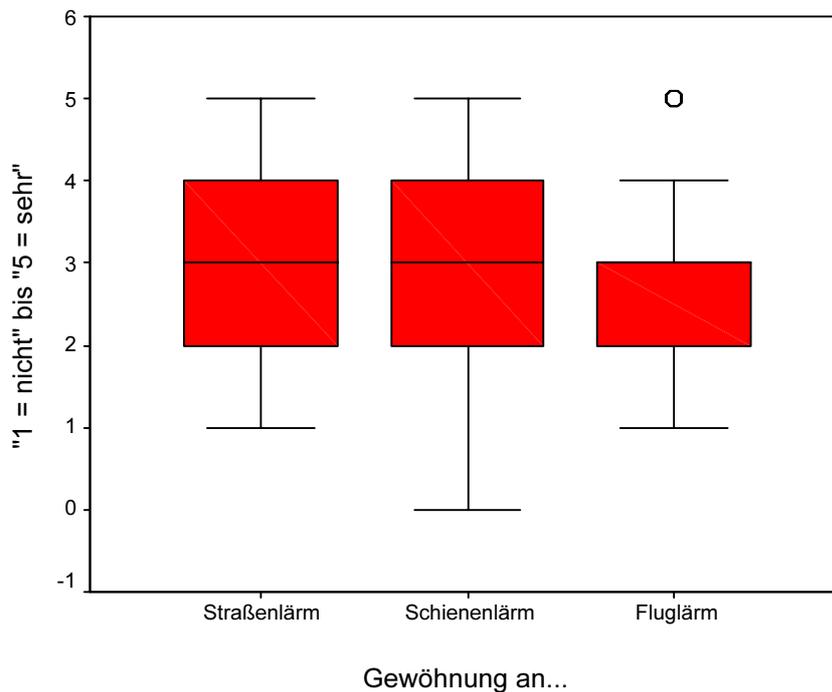


Abbildung 35: Verkehrslärmgewöhnung („Wie gut können Sie sich grundsätzlich an folgende Lärmarten gewöhnen?“) vor der Laborstudie (N = 128).

Die Einschätzung nach Gesundheitsgefährdung bzw. -schädlichkeit leistet unter den Image-Variablen neben der Einstufung der Gefährlichkeit den größten (psychologischen) Beitrag zur Aufklärung von Lärmwirkungen [Guski 1987].

Die Bewertung der „Notwendigkeit“ und „Vermeidbarkeit des Lärms“ spielen ebenfalls eine bemerkenswerte Rolle. Bei den Probanden hat die Quelle des Fluglärms - der Flugverkehr - das Image, „ziemlich notwendig“, „mittelmäßig gesundheitsgefährdend“, „wenig umweltfreundlich“ und „wenig vermeidbar“ zu sein (Abbildung 36).

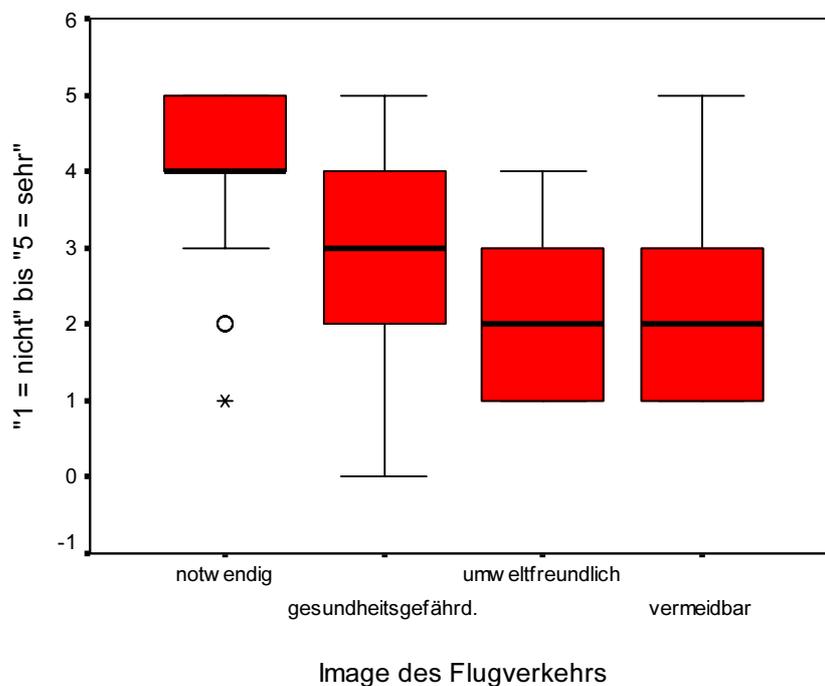


Abbildung 36: Image des Flugverkehrs („Halten Sie den Flugverkehr ganz allgemein für...?“) vor der Laborstudie (N = 128).

Die inferenzstatistische Auswertung belegt einen signifikanten Effekt der *Image-Variablen* eingestufte „Notwendigkeit“ ($\chi^2_{(1, .012)} = 6.249$; Median = 4.0), „Gesundheitsschädlichkeit“ ($\chi^2_{(1, .001)} = 11.059$; Median = 3.0) und „Umweltfreundlichkeit“ ($\chi^2_{(1, .001)} = 11.209$; Median = 2.0) des Flugverkehrs, d.h. je weniger „notwendig“ und „umweltfreundlich“ und je „gesundheitsschädlicher“ das Image des Flugverkehrs ausfällt, desto höher ist die Fluglärmvorbelastung. Gleiches gilt für die bewertete *Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm* ($\chi^2_{(1, .030)} = 4.706$; Median = 3.0), d.h. ein subjektiv höher eingestuftes Gefährdungspotential geht mit einer höheren Belästigung einher. Es ist zu beachten, dass die „allgemeine Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm“ signifikant höher als die „eigene Gefährdung der Gesundheit“ eingestuft wird (Wilcoxon-Test: $Z_{(p \leq .000)} = -8.810$) (Abbildung 37). Des Weiteren weisen die Ergebnisse auf

einen signifikanten Einfluss der *allgemeinen Einstellung* gegenüber dem Flugverkehr ($\chi^2_{(1, .002)} = 9.538$; Median = 3.0) auf die Belästigungswirkung des Fluglärms hin, d.h., dass das Belästigungserleben durch eine tendenziell negative Einstellung zum Flugverkehr moderiert wird. Die bewertete „Vermeidbarkeit des Flugverkehrs“ (Median = 2.0) erweist sich dagegen als nicht signifikant.

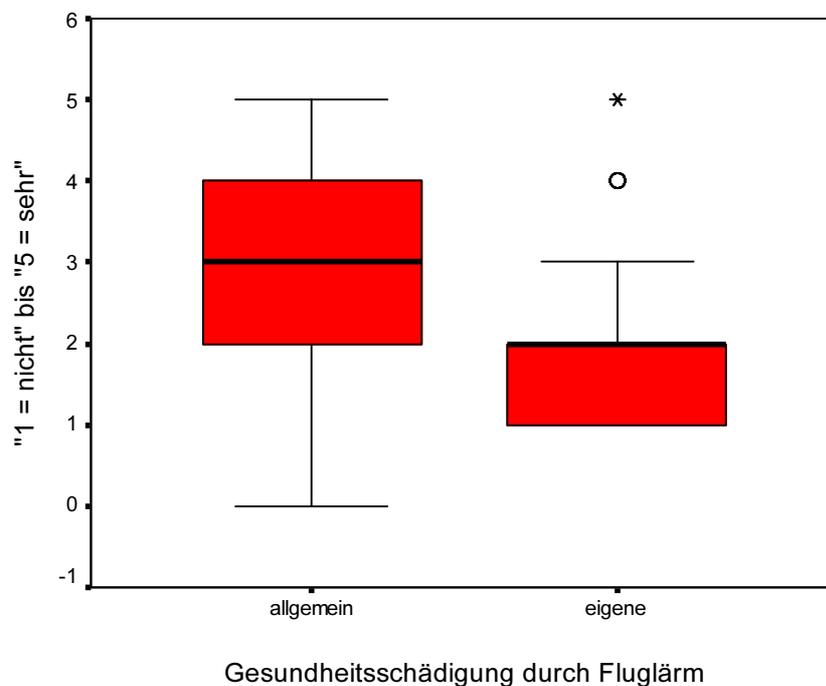


Abbildung 37: Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm („Wie stark schädigt Fluglärm im allgemeinen die Gesundheit?“ bzw. „Wie stark wird Ihre eigene Gesundheit durch Fluglärm geschädigt?“) vor der Laborstudie (N = 128).

Für Lärmwirkungen spielt die Einschätzung des Bemühens von Staat und Öffentlichkeit sowie weiterer seitens der Betroffenen als verantwortlich erachtete Personen und Institutionen, den Lärm zu vermindern, eine entscheidende Rolle [Felscher-Suhr et al. 2001; Fields 1993; Guski 1987, 1999, 2001b]. Abbildung 38 illustriert das Ausmaß des Vertrauens, das potentiell Fluglärmverantwortlichen bezüglich des Bemühens um eine Fluglärmreduktion entgegengebracht wird. Hierbei dominieren die „Flugzeughersteller“, „Gemeinden und Städte“ und der „Flughafen“.

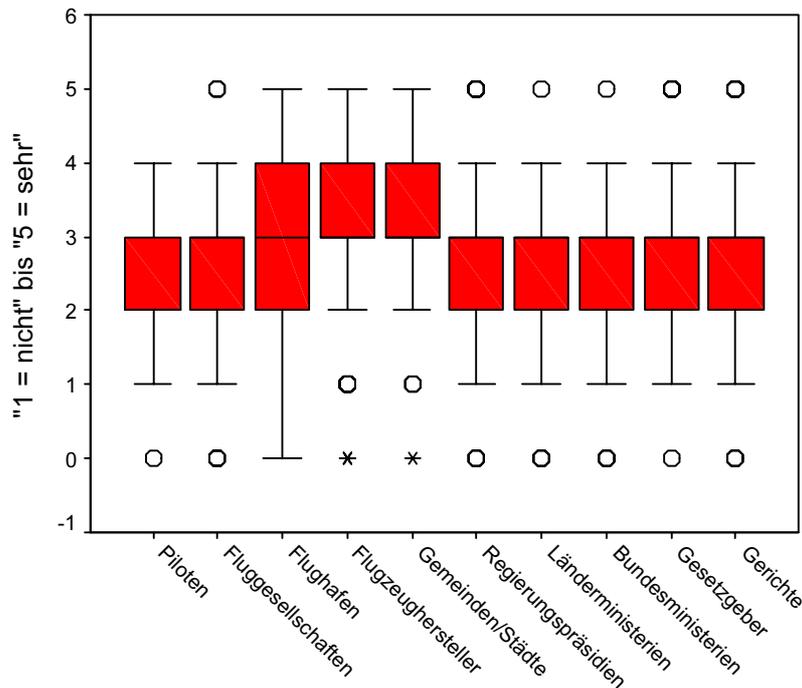


Abbildung 38: Vertrauen in Verantwortliche bezüglich des Bemühens um Fluglärmreduktion („Wie sehr setzen sich Ihrer Meinung nach folgende Personen/Institutionen gegen Fluglärm ein?“) vor der Laborstudie (N = 128).

Anhand der durchgeführten statistischen Analysen offenbart sich, dass das *Vertrauen* in die *Verantwortlichen* „Flughafen“ ($\chi^2_{(1, .000)} = 12.337$; Median = 3.0), „Fluggesellschaften“ ($\chi^2_{(1, .000)} = 13.892$; Median = 3.0), „Flugzeughersteller“ ($\chi^2_{(1, .021)} = 5.354$; Median = 3.0), „Länder- und Bundesministerien“ ($\chi^2_{(1, .001)}$ bzw. $.003) = 11.129$ bzw. 8.910 ; beide Mediane = 3.0), „Gerichte“ ($\chi^2_{(1, .042)} = 4.131$; Median = 3.0) und „Gesetzgeber“ ($\chi^2_{(1, .013)} = 6.122$; Median = 3.0) verknüpft mit dem Glauben an erfolgreiche *Chancen auf Fluglärmreduktion* ($\chi^2_{(1, .000)} = 20.875$; Median = 3.0) einen systematischen Einfluss auf die Fluglärmvorbelastung haben. Eine moderierende Wirkung des Vertrauens in die verbleibenden möglichen Verantwortlichen wird nicht nachgewiesen. Dies bedeutet, dass ein geringes Vertrauen seitens der Betroffenen in Flughäfen und Politik im Hinblick auf ein ernsthaftes Bemühen um eine Verringerung des Fluglärms sowie eine wahrgenommene Chancenlosigkeit auf eine effiziente Lärmreduktion eine erhöhte Vorbelastung bedingen. 32% der Gesamtstichprobe meinen, dass die Chancen auf Fluglärmreduktion „schlecht“ bis „sehr schlecht“ sind. Weitere 20% sind der Auffassung, dass es „gute“ Chancen

gibt (Abbildung 39). Als Hauptgrund gegen eine erfolgreiche Fluglärmreduktion werden wirtschaftliche Interessen genannt.

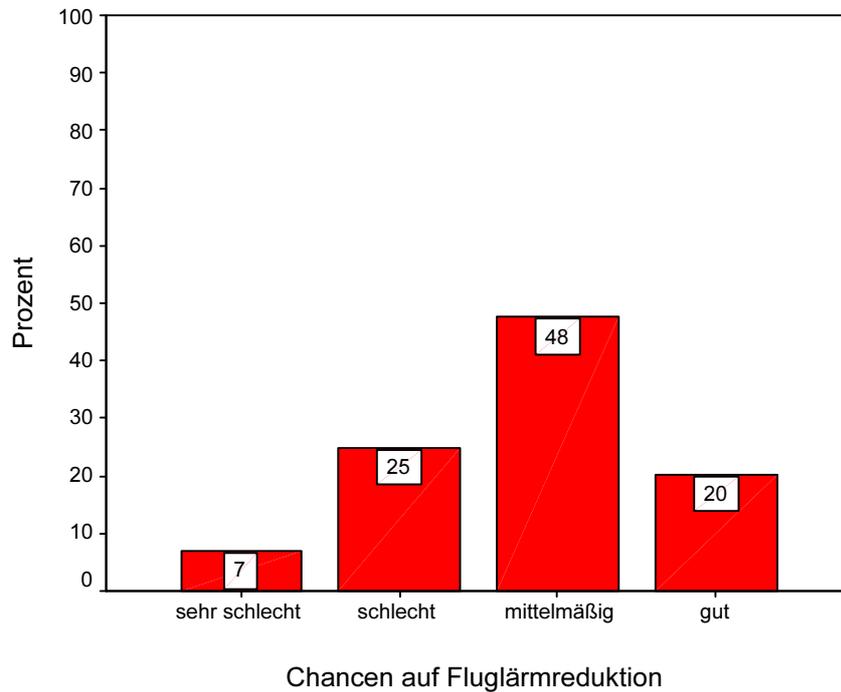


Abbildung 39: Chancen auf Fluglärmreduktion ("Wie groß sind ihrer Meinung nach die Chancen, erfolgreich etwas gegen Fluglärm zu unternehmen?") vor der Laborstudie (N = 128).

c) Personale Moderatoren

Die inferenzstatistische Auswertung zeigt signifikante Effekte der *individuellen Lärmempfindlichkeit*²⁵ ($\chi^2_{(1, .000)} = 106.908$; Median = 3.0) und subjektiven *Fluglärmgewöhnung* ($\chi^2_{(1, .000)} = 12.672$; Median = 3.0). Die *Beteiligung an Aktivitäten gegen Fluglärm*²⁶ (Aktive vs. Nichtaktive) hat ebenfalls einen statistisch bedeutsamen Einfluss ($\chi^2_{(1, .043)} = 4.088$). 10% der Gesamtstichprobe geben an, sich bereits an Aktivitäten gegen Fluglärm beteiligt zu haben. Die Aktivität der Betroffenen äußert sich im Wesentlichen in der Teilnahme an Demonstrationen, öffentlichen Veranstaltungen sowie dem Einreichen schriftlicher Be-

²⁵In STRAIN I bis IV erfolgte die Operationalisierung der Lärmempfindlichkeit mittels eines 5-stufigen Einzelitems „Für wie empfindlich gegen Lärm jeglicher Art halten Sie sich?“ Um die Multidimensionalität des Konstrukts [z.B. Job 1999; Zimmer & Ellermeier 1999] zu berücksichtigen, wurde seit der Feldstudie zusätzlich ein gesonderter Fragebogen zur Messung der individuellen Lärmempfindlichkeit [Zimmer & Ellermeier 1997, 1998, 1999] verwendet.

²⁶„Haben Sie sich schon einmal in irgendeiner Form an Aktivitäten gegen Fluglärm beteiligt?“

schwerden beim Flughafen. Als Hauptgrund für ihre Aktivität wird die eigene Fluglärm-betroffenheit genannt. Eine moderierende Wirkung der *Fluggewohnheiten* (berufliche bzw. private Flieger vs. Nichtflieger) und des *Wohnstatus* (Eigentümer vs. Mieter) besteht nicht.

1.9 Ergebnisse aus der Feldstudie²⁷

1.9.1 Fluglärminduzierte Sekundärreaktionen der Feldstudienprobanden

1.9.1.1 Deskriptive Statistik

Tabelle 13 enthält die dem nicht-metrischen Skalenniveau entsprechenden Maße der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und Streuung (Spannweite) der abhängigen Variablen für die untersuchten Feldstudienprobanden. Es wurden alle 9 Untersuchungs-nächte berücksichtigt.

		Statistiken						
		Schlafquantität	Schlafqualität	Aufwach-häufigkeit	Stärke des gehörten Fluglärms	Belästigung durch Fluglärm	Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche	Ermüdung morgens (FAT)
N	Gültig	569	573	573	573	573	573	573
	Fehlend	7	3	3	3	3	3	3
Median		3	3	2	1	1	1	9
Modus		3	4	2	1	1	1	10
Spannweite		3	5	4	5	5	4	19

Tabelle 13: Kennwerte der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) für die abhängigen Variablen der Feldstudienprobanden (N = 64).

Abbildung 40 illustriert die prozentuale Verteilung der *Schlafquantitätsbeurteilung* der Feldstudienteilnehmer. Es ergeben sich die Quartile $Q_1 = 2$ sowie Q_2 und $Q_3 = 3$. 48% der Einstufungen verteilen sich auf die ersten beiden Ka-

²⁷Infolge des nicht-metrischen Skalenniveaus und der nicht hinreichenden Normalverteilung aller Daten, die sich im Kolmogorov-Smirnov-Test für die Daten aus der Feldstudie zeigte, wurden nicht-parametrische Verfahren gewählt. Bei allen Analysen wurde die zugrunde gelegte Irrtumswahrscheinlichkeit nach Bonferoni in Abhängigkeit von der Anzahl der durchgeführten Einzeltests auf α/n korrigiert.

tegorien („viel zu wenig“ und „etwas zu wenig“ Schlaf). Weitere 48% der Bewertungen fallen auf die Stufe 3 („gerade richtig“ viel Schlaf). Die vierte Skalenstufe („etwas zu viel“ Schlaf) ist mit 4% kaum, die oberste Kategorie („viel zu viel“ Schlaf) gar nicht vertreten. Im Vergleich zur Verteilung der Beurteilung der Schlafquantität in der Laboruntersuchung bestehen kaum Unterschiede. Die Kategorien 1 und 2 der *Schlafqualität* („nicht“ und „wenig“) sind mit 18%, die mittlere („mittelmäßig“) mit 36% und die beiden oberen („ziemlich“ und „sehr“) mit 46% besetzt (Abbildung 41). Es liegen die Quartile Q_1 und $Q_2 = 3$ sowie $Q_3 = 4$ vor. Bei der *Aufwachhäufigkeit* mit den Quartilen Q_1 und $Q_2 = 2$ sowie $Q_3 = 3$ sind die beiden unteren Stufen („nie“ und „selten“) mit 71%, die 3. Skalenstufe („gelegentlich“) mit 22% und die vierte Kategorie („oft“) zusammen mit 5% belegt (Abbildung 42). Die 5. Skalenstufe („immer“) ist anders als in der Laborstudie überhaupt nicht vertreten.

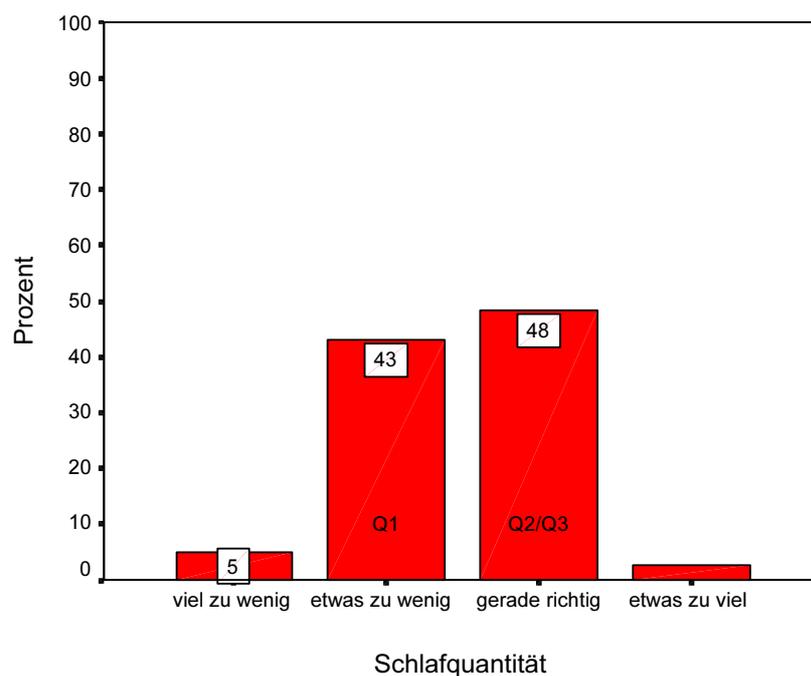


Abbildung 40: Prozentuale Verteilung der Schlafquantitätsbeurteilung („Wie viel Schlaf haben Sie in der vergangenen Nacht bekommen?“) für die Feldstudienprobanden (N = 64) gemittelt über 9 Nächte.

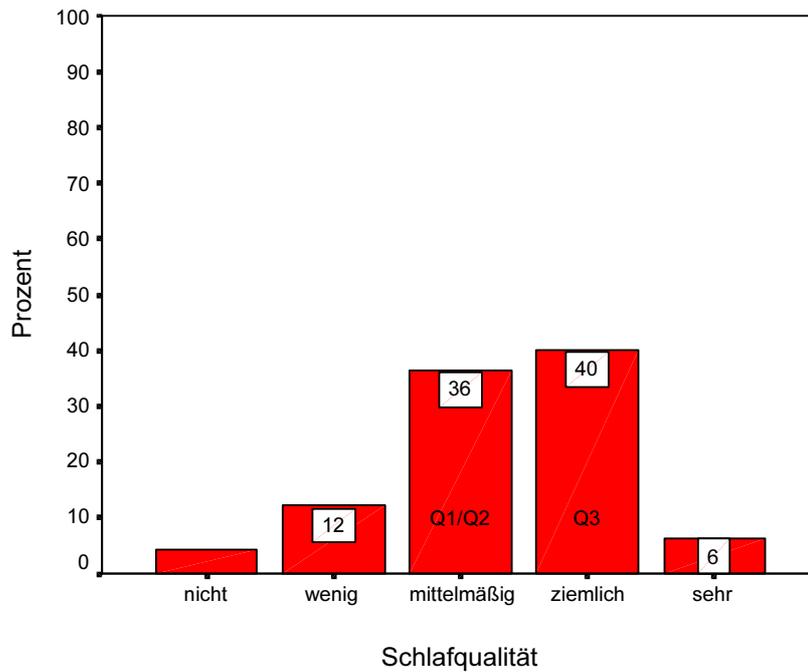


Abbildung 41: Prozentuale Verteilung der Schlafqualitätsbeurteilung („Für wie gut halten Sie ihren Schlaf der vergangenen Nacht?“) für die Feldstudienprobanden (N = 64) gemittelt über 9 Nächte.

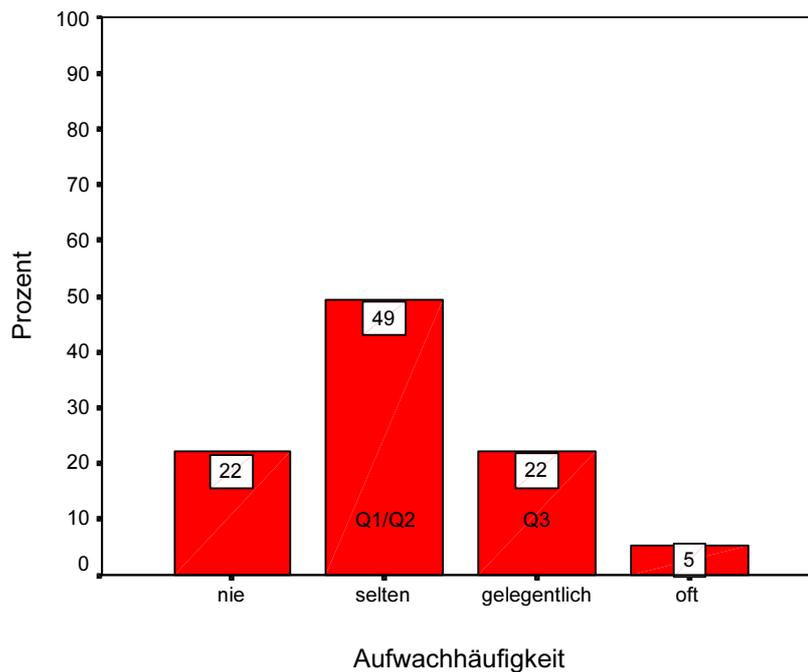


Abbildung 42: Prozentuale Verteilung der Beurteilung der Aufwachhäufigkeit („Wie häufig sind Sie in der vergangenen Nacht aufgewacht?“) für die Feldstudienprobanden (N = 64) gemittelt über 9 Nächte.

Abbildung 43 zeigt die prozentuale Häufigkeitsverteilung der Antworten bezüglich der *Belästigung durch Fluglärm* im häuslichen Umfeld. Es ergeben sich

die Quartile Q_1 und $Q_2 = 1$ sowie $Q_3 = 2$. Wie dargestellt, ist die Mehrheit der Untersuchten (87%) durch nächtlichen Fluglärm zu Hause „nicht“ oder nur „wenig“ belästigt. 9% geben an, „mittelmäßig“ belästigt zu sein. Die beiden obersten Kategorien („ziemlich“ und „sehr“ belästigt) sind mit 4% kaum gewählt worden. Die starke Vertretung der 1. Skalenstufe ist wie bei den Laboraten als „Bodeneffekt“ („floor effect“) zu interpretieren. Allerdings ist zu beachten, dass in der Laboruntersuchung die Kategorien 1 und 2 mit jeweils etwa 30% zusammen mit knapp 60% besetzt waren, wohingegen die Skalenstufen 3 bis 5 stärker genutzt wurden.

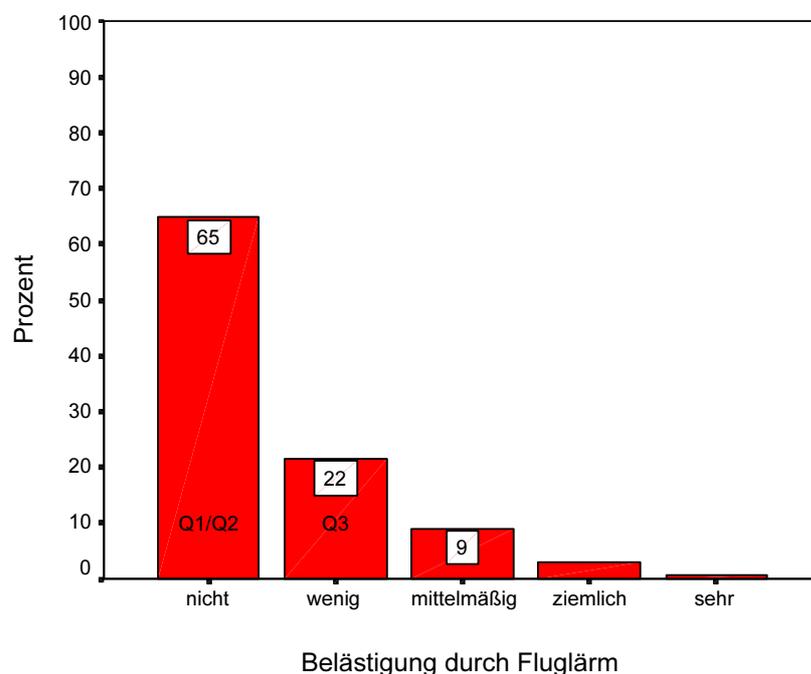


Abbildung 43: Prozentuale Verteilung der Belästigungsbeurteilung („Wie stark wurden Sie durch den Fluglärm der vergangenen Nacht belästigt?“) für die Feldstudienprobanden (N = 64) gemittelt über 9 Nächte.

Die Einschätzungen der *Fluglärmstärke* und *Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche* verteilen sich für die Felddaten ähnlich wie für die Belästigung (Abbildungen 44 und 45). Die 5. Skalenstufe wurde bei der Häufigkeitsbeurteilung unzumutbarer Fluggeräusche anders als im Labor nicht verwendet.

Für alle abhängigen Variablen gibt es keine „Deckeneffekte“ („ceiling effects“).

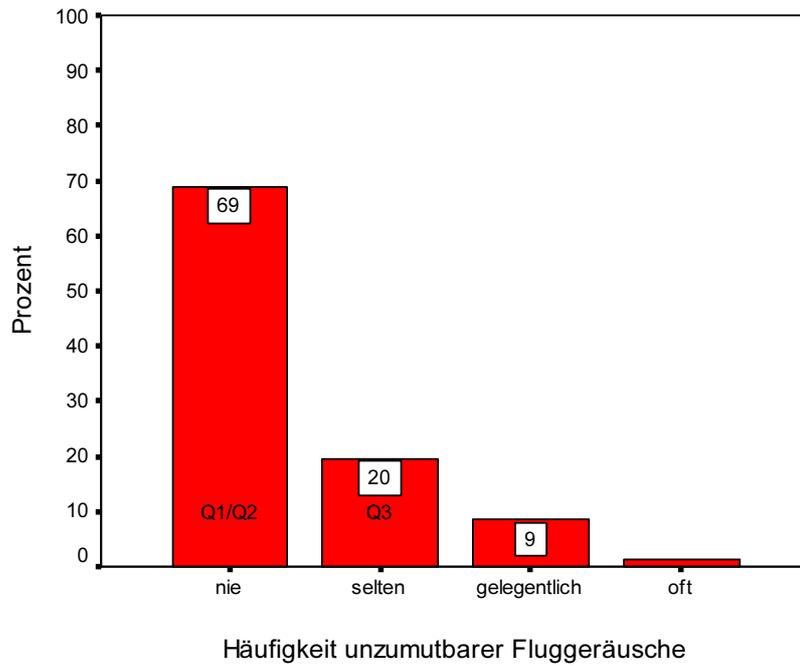


Abbildung 44: Prozentuale Verteilung der Beurteilung der Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche („Wie häufig haben Sie in der vergangenen Nacht unzumutbare Geräusche von Flugzeugen gehört?“) für die Feldstudienprobanden (N = 64) gemittelt über 9 Nächte.

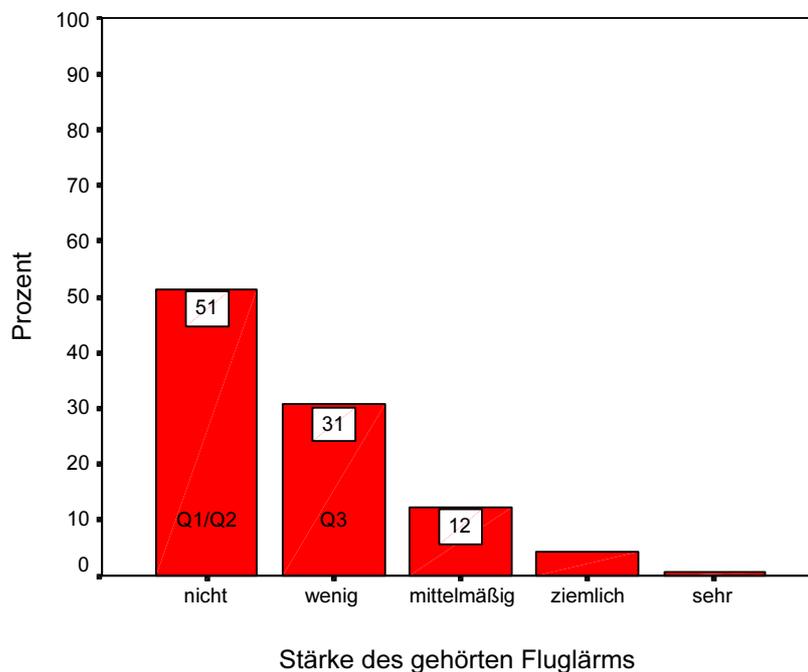


Abbildung 45: Prozentuale Verteilung der Fluglärmstärkenbeurteilung („Wie stark haben Sie den Fluglärm der vergangenen Nacht gehört?“) für die Feldstudienprobanden (N = 64) gemittelt über 9 Nächte.

1.9.1.2 Inferenzstatistische Analyse zu Messwertverläufen über die Zeit

Um einen generellen Einfluss des Fluglärms aufzuzeigen, werden die Messwerte verschiedener Untersuchungstage im Feld anhand von Wilcoxon-Tests miteinander verglichen (Tabelle 14). Es werden die Sekundärreaktionen nach folgenden Tagen zu Hause miteinander verglichen:

- a) 1. vs. 2. Nacht: „First Night Effect“
- b) 2. vs. 6. Nacht: „Weekend Effect“
- c) 8. vs. 9. Nacht: „Last Night Effect“

Ähnlich wie im Labor besteht zu Hause ein so genannter „First Night Effect“ für die Sekundärreaktionen *Schlafquantität* und *Schlafqualität*, d.h. die Vpn schlafen quantitativ und qualitativ in der zweiten Nacht signifikant besser als in der ersten [vgl. Agnew et al. 1966; Basner et al. 2000, 2001; Griefahn 1985; Ohrström & Björkman 1988]. Ein „Weekend Effect“ sowie ein „Last Night Effect“ kann für keine abhängige Variable nachgewiesen werden. Letzteres entspricht den Befunden aus der Laboruntersuchung (vgl. *Kapitel 1.8.2.2.1*).

	1. vs. 2. Nacht (First Night Effect)	2. vs. 6. Nacht (Weekend Effect)	8. vs. 9. Nacht (Last Night Effect)
Z Sign	QN2 - QN1 (3NR, 29PR, 30B) -4.516 .000**	QN6 - QN2 (8NR, 22PR, 33B) -2.611 .009	QN9 - QN8 (11NR, 18PR, 33B) -1.178 .239
Z Sign	QL2 - QL1 (4NR, 41PR, 19B) -5.370 .000**	QL6 - QL2 (12NR, 24PR, 28B) -1.778 .075	QL9 - QL8 (12NR, 19PR, 32B) -1.046 .296
Z Sign	AW2 - AW1 (29NR, 10PR, 25B) -2.591 .010	AW6 - AW2 (26NR, 9PR, 29B) -2.326 .020	AW9 - AW8 (12NR, 16PR, 35B) -.391 .696
Z Sign	STÄ2 - STÄ1 (28NR, 15PR, 21B) -1.939 .052	STÄ6 - STÄ2 (21NR, 8PR, 34B) -2.053 .040	STÄ9 - STÄ8 (11NR, 11PR, 41B) -.102 .919
Z Sign	BEL2 - BEL1 (20NR, 10PR, 34B) -1.557 .120	BEL6 - BEL2 (18NR, 9PR, 37B) -1.717 .086	BEL9 - BEL8 (10NR, 10PR, 43B) -.772 .440
Z Sign	UNZ2 - UNZ1 (16NR, 13PR, 35B) -.915 .360	UNZ6 - UNZ2 (14NR, 9PR, 41B) -1.089 .276	UNZ9 - UNZ8 (9NR, 11PR, 43B) -.389 .697
Z Sign	FAT2 - FAT1 (23NR, 23PR, 18B) -.973 .330	FAT6 - FAT2 (35NR, 24PR, 5B) -2.520 .012	FAT9 - FAT8 (26NR, 22PR, 15B) -1.137 .255

Tabelle 14: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Sekundärreaktionen der Feldstudienprobanden nach verschiedenen Untersuchungstagen. Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/3 = .02$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: QN = Schlafquantität, QL = Schlafqualität, AW = Aufwachhäufigkeit, STÄ = Fluglärmstärke, BEL = Belästigung, UNZ = Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche, FAT = Ermüdung; NR = negative Ränge, PR = positive Ränge, B = Bindungen).

Im Folgenden werden die Messwertverläufe aller gemessenen Sekundärreaktionen über den Zeitraum der gesamten Feldstudie (9 Nächte) mittels Boxplots veranschaulicht (Abbildungen 46 bis 52).

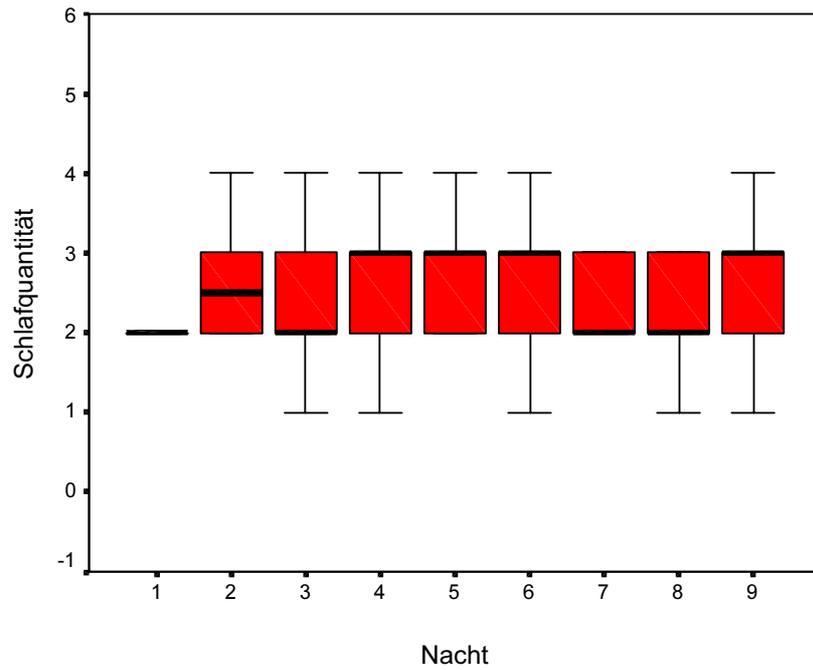


Abbildung 46: Boxplot zur Schlafquantitätsbeurteilung („1 = viel zu wenig“ bis „5 = viel zu viel“) der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

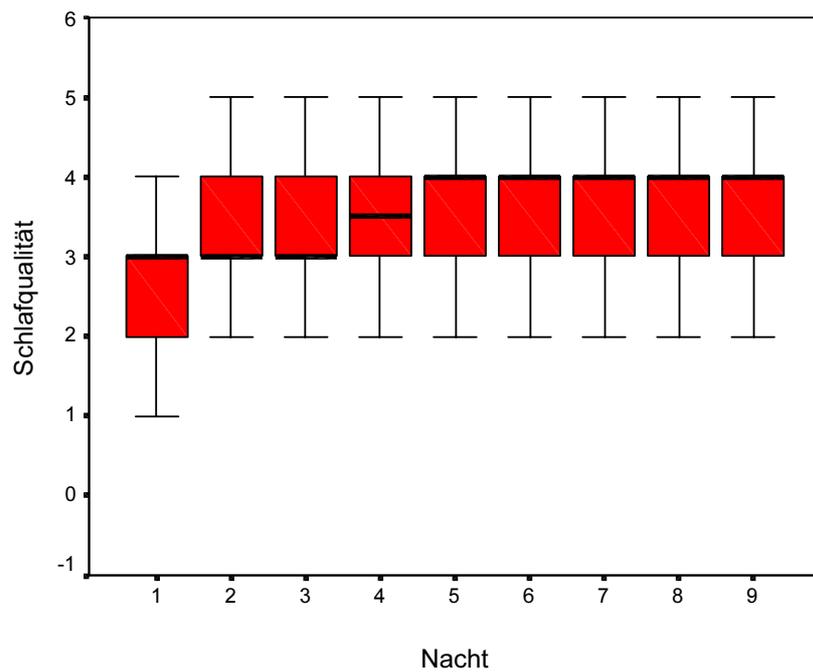


Abbildung 47: Boxplot zur Schlafqualitätsbeurteilung („1 = nicht“ bis „5 = sehr“) der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

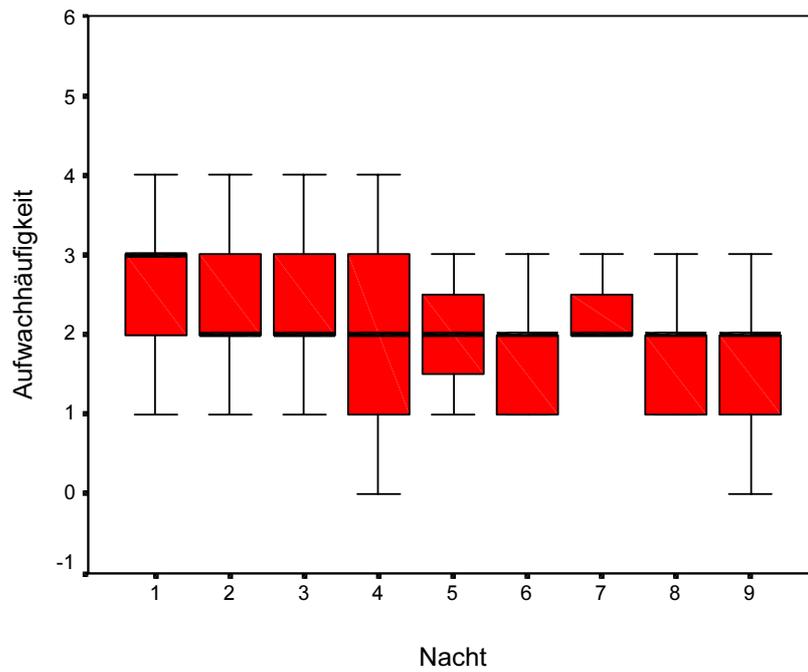


Abbildung 48: Boxplot zur Beurteilung der Aufwachhäufigkeit („1 = nie“ bis „5 = immer“) der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

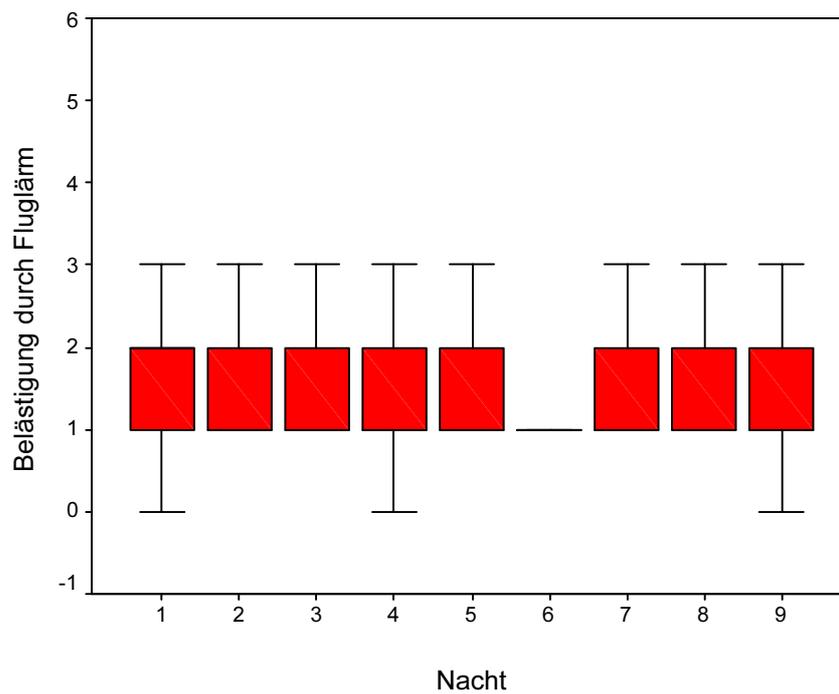


Abbildung 49: Boxplot zur Fluglärmbelästigungsbeurteilung („1 = nicht“ bis „5 = sehr“) der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

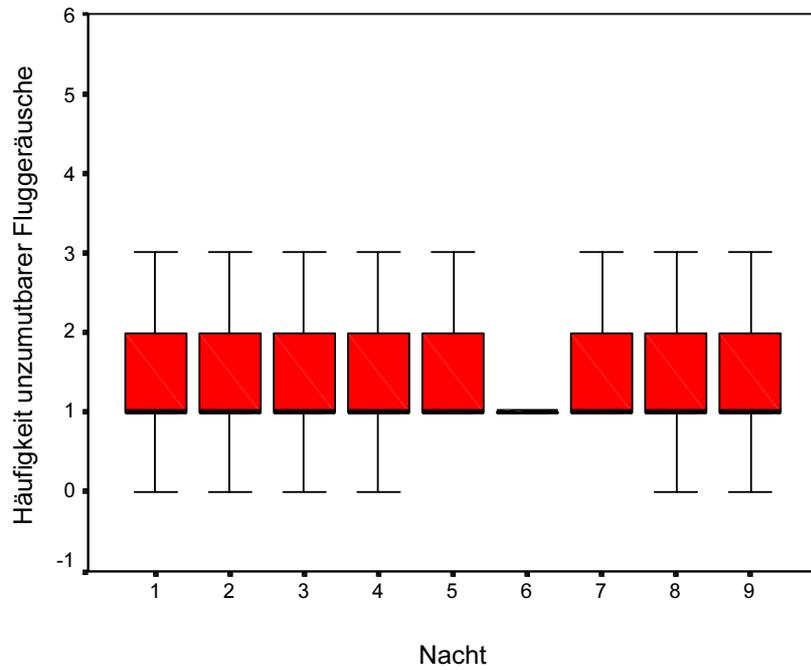


Abbildung 50: Boxplot zur Beurteilung der Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche („1 = nie“ bis „5 = immer“) der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

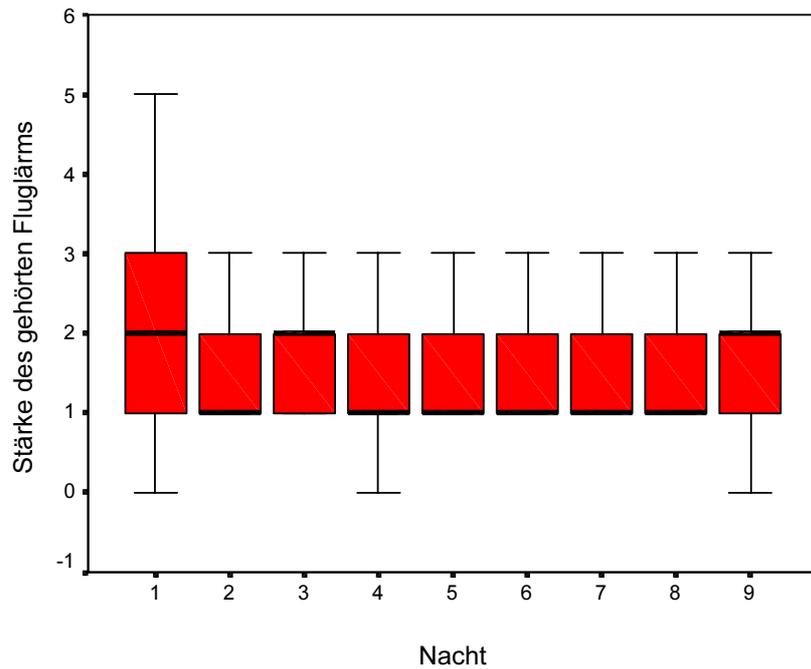


Abbildung 51: Boxplot zur Beurteilung der Fluglärmstärke („1 = nicht“ bis „5 = sehr“) der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

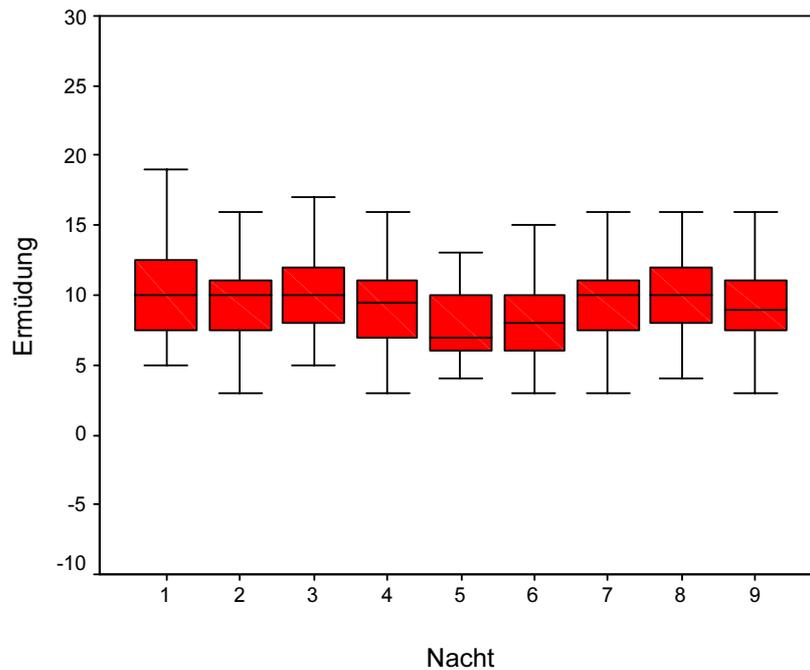


Abbildung 52: Boxplot zur Beurteilung der Ermüdung („0 = hellwach“ bis „20 = todmüde“) der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

1.9.1.3 Dosis-Wirkungs-Kurven

Die für das Labor mit Hilfe der logistischen Regression entwickelten *Dosis-Wirkungs-Kurven zur Fluglärmelastung* wurden anhand der *Feldstudien* *daten validiert*. Der Modellbildung wurde der gleiche iterative Prozess zugrunde gelegt wie mit den Labordaten (vgl. *Kapitel 1.8.2.3*). Lediglich die physikalischen Einflussgrößen variierten, d.h. es wurden nur die Anzahl an nächtlichen Fluglärmereignissen sowie der $L_{AS,eq}$ betrachtet und für beide Parameter jeweils ein spezifisches Regressionsmodell entwickelt. Der maximale Schallpegel konnte nicht berücksichtigt werden, da er anders als im Labor unter realen Feldbedingungen pro Nacht nicht konstant war. Der $NAT70_{ausser}$, den Kastka [2001a, 2001b] zur Beschreibung der Belästigung an Flughäfen entwickelte (vgl. *Kapitel 1.4.1*), erwies sich in der deskriptiven Voranalyse zur Interaktion zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen als nicht geeignet, d.h. es war keine signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehung erkennbar. Tabellen 15 und 16 beschreiben die *Regressionsmodelle F1 (Anzahl)* und *F2 ($L_{AS,eq}$)* mit den *jeweilig signifikanten psychologischen Einflussgrößen (F1: Alter, Gewöhnung an*

Fluglärm; F2: Gewöhnung an Fluglärm), die von denen in den Labormodellen (Geschlecht, Vorbelastung durch Fluglärm und „Notwendigkeit des Flugverkehrs“) abweichen.

	Wert	DF	
Deviance	333,4987	552	
Parameter Schätzungen			
	Koeffizient	Std.Fehler	p-Wert
Intercept	-3,9162	1,2623	0,0019
Alter	0,0510	0,0206	0,0134
Anzahl	0,0371	0,0079	< 0,001
Gewöhnung an Fluglärm	-0,9334	0,2516	< 0,001
Varianzanteil Zufallseffekte	1,2113	0,2995	

Tabelle 15: Logistisches Regressionsmodell F1 für den physikalischen Fluglärmparameter Anzahl sowie signifikante psychologische Moderatoren ($p \leq .050$).

	Wert	DF	
Deviance	346,4440	553	
Parameter Schätzungen			
	Koeffizient	Std.Fehler	p-Wert
Intercept	-2,4460	0,9170	0,0076
LAS,eq	0,0989	0,0261	< 0,001
Gewöhnung an Fluglärm	-1,1381	0,2788	< 0,001
Varianzanteil Zufallseffekte	1,5386	0,3623	

Tabelle 16: Logistisches Regressionsmodell F2 für den physikalischen Fluglärmparameter energieäquivalenter Dauerschallpegel LAS,eq sowie signifikante psychologische Moderatoren ($p \leq .050$).

Das Verhältnis Wert/Freiheitsgrade DF, das bei F1 .604 und bei F2 .626 beträgt, indiziert eine noch bessere Anpassungsgüte der Feld- als für die Labormodelle.

Abbildung 53 zeigt den durch das Regressionsmodell F1 vorhergesagten Anteil der durch Fluglärm Belästigten (Skalenstufe ≥ 3 , d.h. mittelmäßig bis sehr belästigt) in Abhängigkeit von der Anzahl. Die im Modell integrierten psychologischen Parameter entsprechen dem Median der Feldstudienteilnehmer (Alter = 37.5 Jahre, Gewöhnung an Fluglärm = 3). Es ist ersichtlich, dass die *Anzahl an Flugsituationen einen signifikanten Einfluss* hat: das Ausmaß an Belästigten nimmt mit dem Anstieg der Häufigkeit zu. 138 Fluglärmereignisse in der Nacht bewirken den höchsten Anteil Belästigter von etwa 55%.

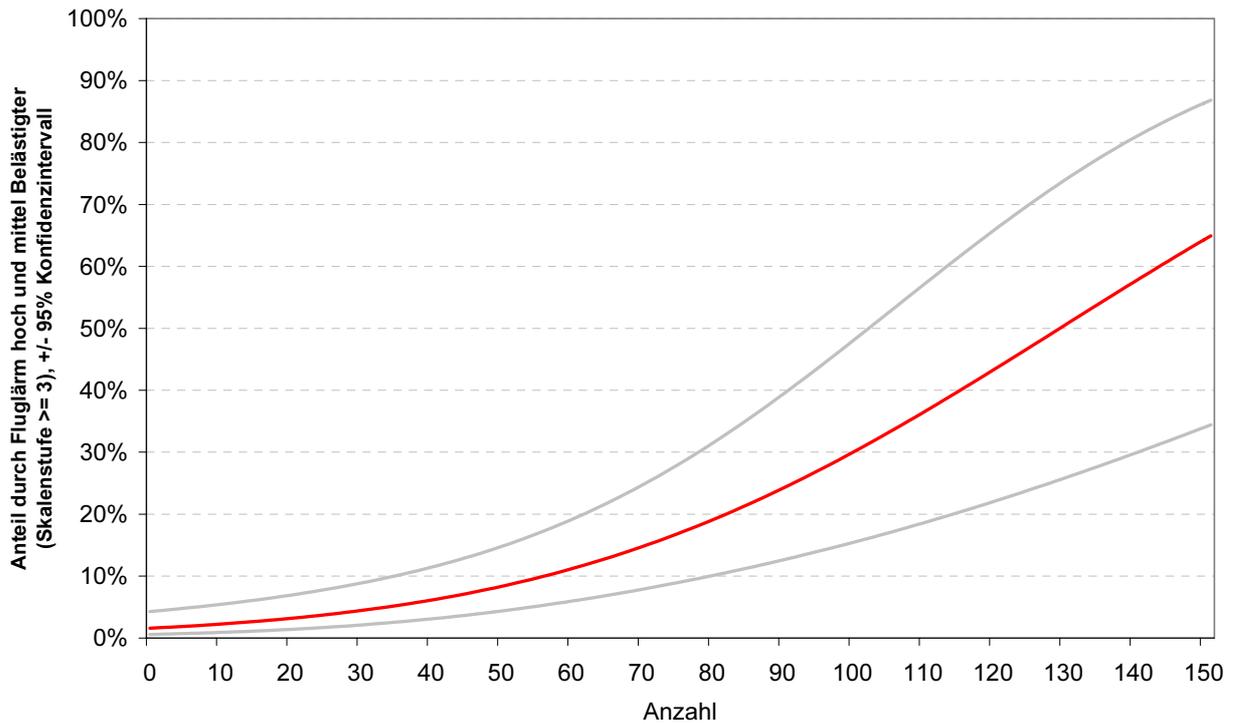


Abbildung 53: Durch Regressionsmodell F1 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

Abbildung 54 stellt den durch Modell F2 prognostizierten Prozentsatz der durch Fluglärm belästigten Feldstudienteilnehmer (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$ dar. Dabei entspricht der im Modell berücksichtigte Moderator dem Median der Untersuchten (siehe oben). Es gibt eine *signifikante Zunahme des prozentualen Anteils mit ansteigendem $L_{AS,eq}$* , der bis etwa 30% bei 47.3 dB(A) reicht.

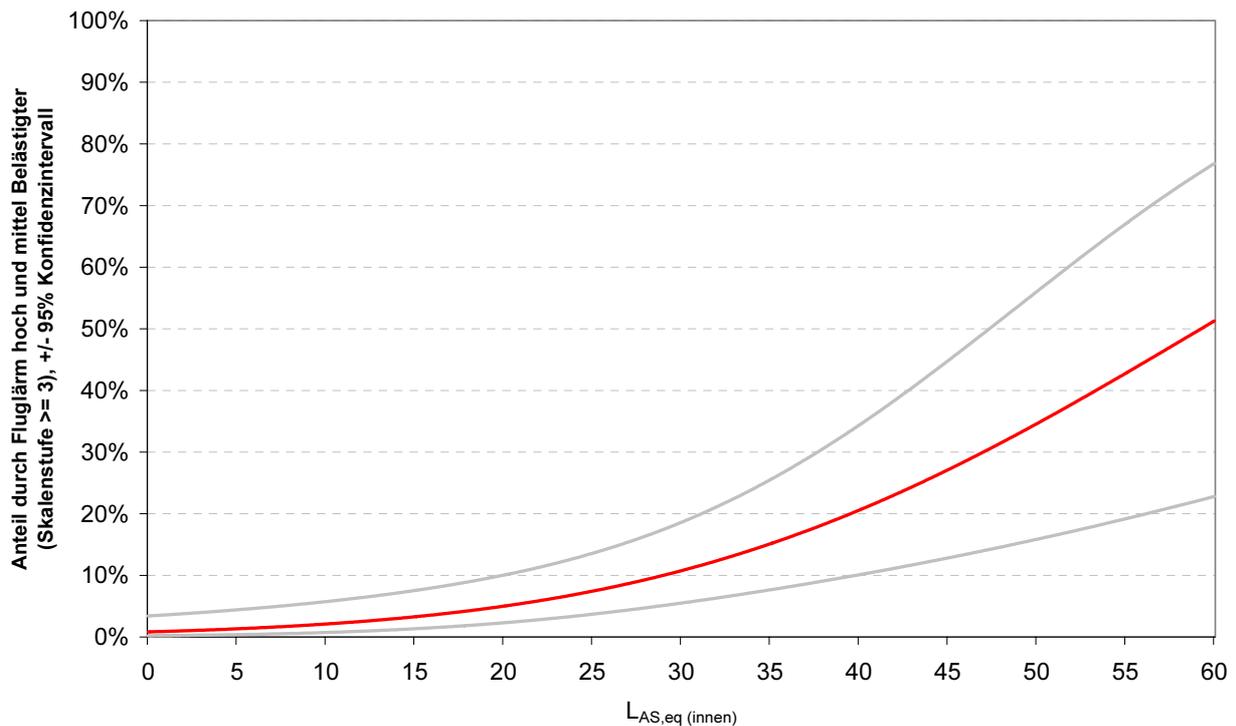


Abbildung 54: Durch Regressionsmodell F2 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

In Abbildungen 55 bis 57 ist jeweils für beide Regressionsmodelle der Einfluss der mitwirkenden psychologischen Parameter zusammengefasst, wobei für die *nicht* dargestellte Größe der Median angenommen wird. Es ist erkennbar, dass das mit F1 vorhergesagte Ausmaß an durch Fluglärm Belästigten *bei Älteren höher als bei Jüngeren* ausfällt. Der prognostizierte Anteil ist bei Personen mit *keiner Gewöhnung an Fluglärm größer als bei denjenigen mit sehr hoher Gewöhnung*. Zum besseren Verständnis ist neben den Extremwerten für beide Moderatoren jeweils der vorhergesagte prozentuale Teil für den Median dargestellt.

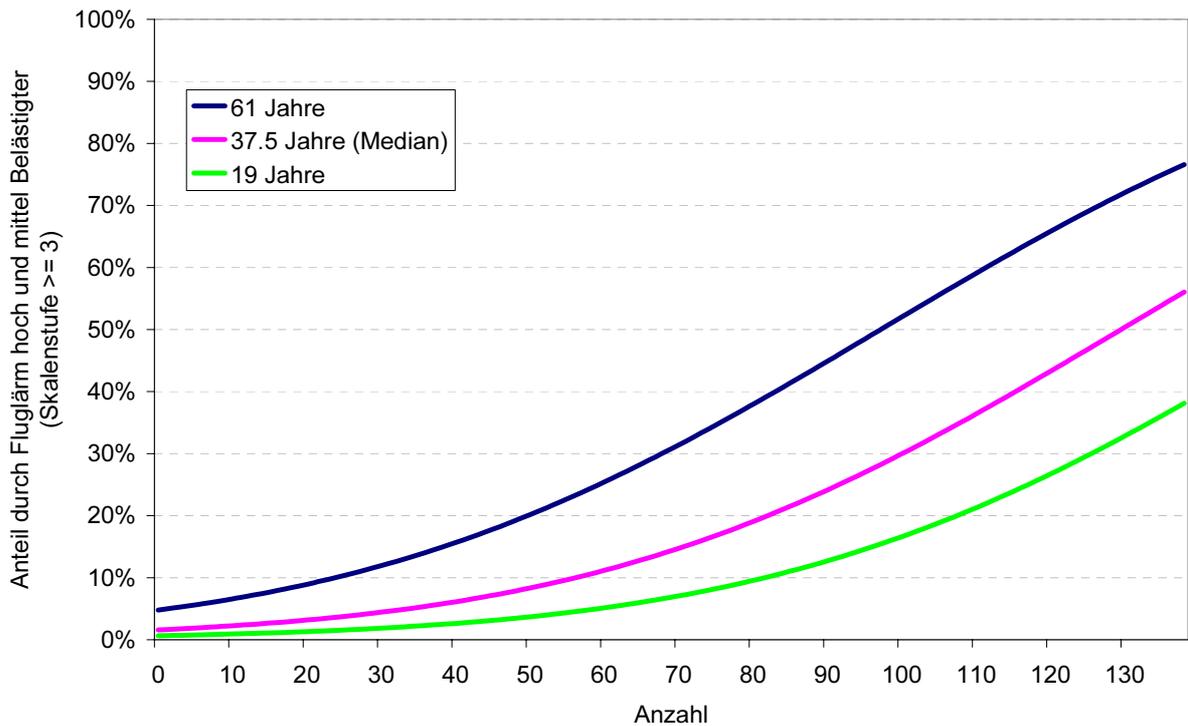


Abbildung 55: Durch Regressionsmodell F1 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit von der Anzahl und dem Alter.

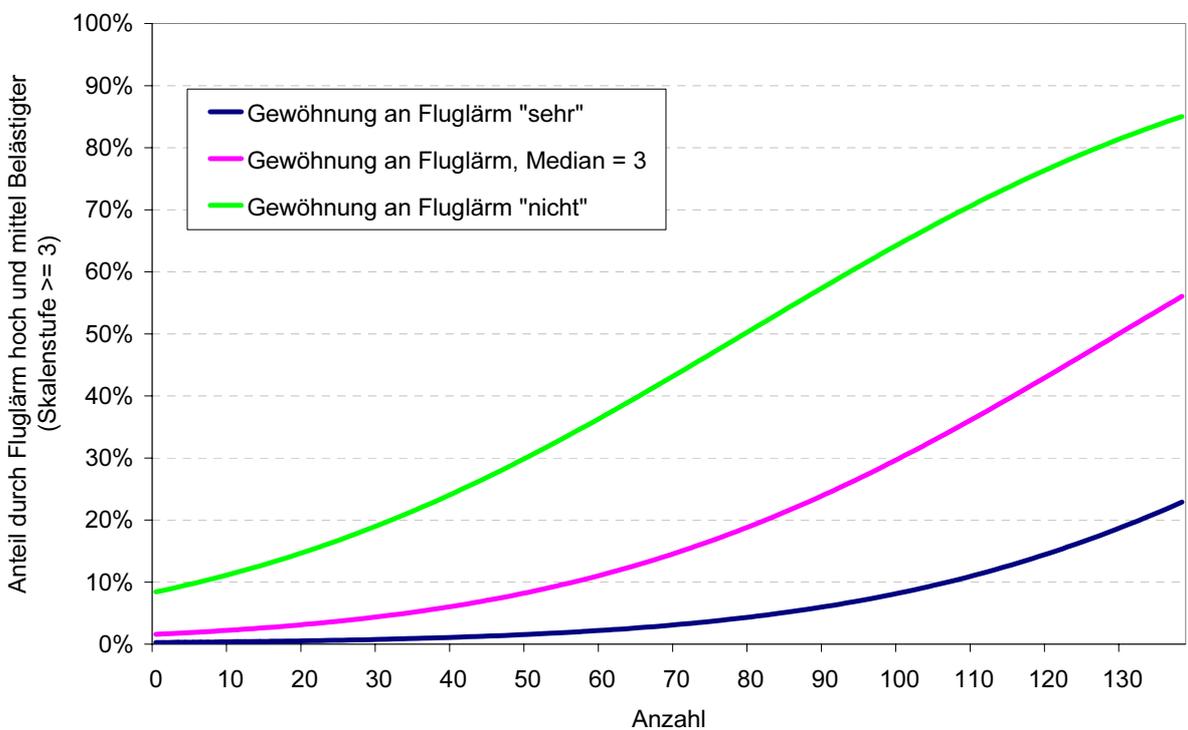


Abbildung 56: Durch Regressionsmodell F1 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit von der Anzahl und der Gewöhnung an Fluglärm („nicht“, „Median“, „sehr“).

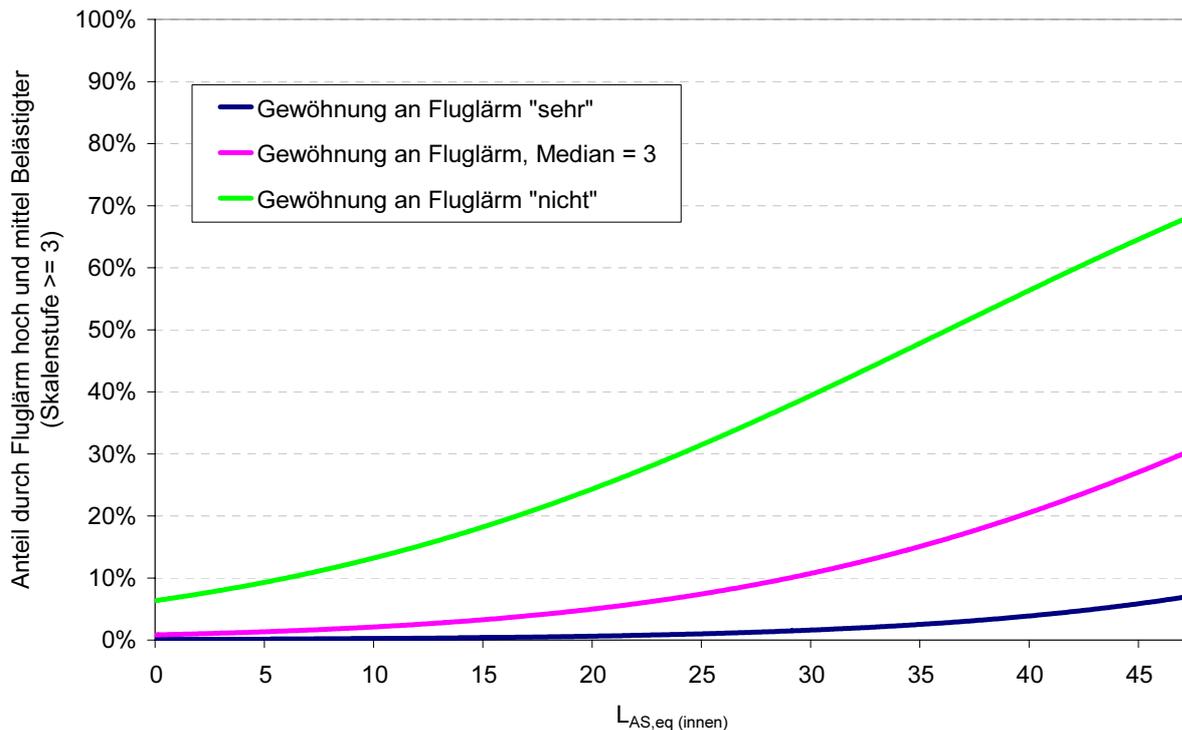


Abbildung 57: Durch Regressionsmodell F2 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom $L_{AS,eq}$ und der Gewöhnung an Fluglärm („nicht“, Median, „sehr“).

Zum Vergleich der labor- und feldspezifischen Dosis-Wirkungs-Beziehungen zur Fluglärmelast sind in Abbildungen 58 und 59 die jeweils aus den Regressionsmodellen abgeleiteten Kurven für gemeinsame Wertebereiche der unabhängigen Variablen Anzahl und $L_{AS,eq}$ einander gegenüber gestellt. Es ist zu beachten, dass in die Labor- und Feldmodelle unterschiedliche psychologische Moderatoren integriert sind. Daher gilt die laborbezogene Dosis-Wirkungs-Kurve in Abbildung 58 nur für Frauen mit einem Vorbelastungsgrad von 2 („wenig“) sowie der Einschätzung der „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ von 4 („ziemlich“). Um alle Pegelhäufigkeiten berücksichtigen zu können, ist die Laborkurve außerdem nur für einen Maximalpegel von 55 dB(A) zutreffend. Die feldspezifische Kurve trifft nur auf Personen im Alter von 37.5 Jahren mit einem mittleren Gewöhnungsgrad an Fluglärm zu. Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen ist erkennbar, dass die Laborkurve deutlich über der Feldkurve liegt (ca. 20% bis 40% Unterschied). Bei 4 Ereignissen pro Nacht beträgt der vorhergesagte Anteil durch Fluglärm Belästigter

im Feld etwa 2% gegenüber 20% im Labor. Bei 128 Fluglärmereignissen in der Nacht sind es 50% im Feld gegenüber über mehr als 80% im Labor.

In Abbildung 59 ist die Belästigung in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel dargestellt. Die laborspezifische Dosis-Wirkungs-Kurve ist nur für Frauen mit einer Vorbelastung von 2 („wenig“) sowie der Einschätzung der „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ von 4 („ziemlich“) zutreffend. Die feldbezogene Kurve gilt nur Personen mit einer mittleren Fluglärmgewöhnung. Unter Beachtung dieser Beschränkungen ist ersichtlich, dass die Labor-kurve deutlich über der Feldkurve liegt (ca. bis zu 40% Unterschied). Bei 30.6 dB(A) ist der prognostizierte Teil Fluglärm-belästigter im Feld und im Labor noch annähernd gleich (12% bis 15%). Bei 47.3 dB(A) sind es 30% im Feld gegenüber über 70% im Labor.

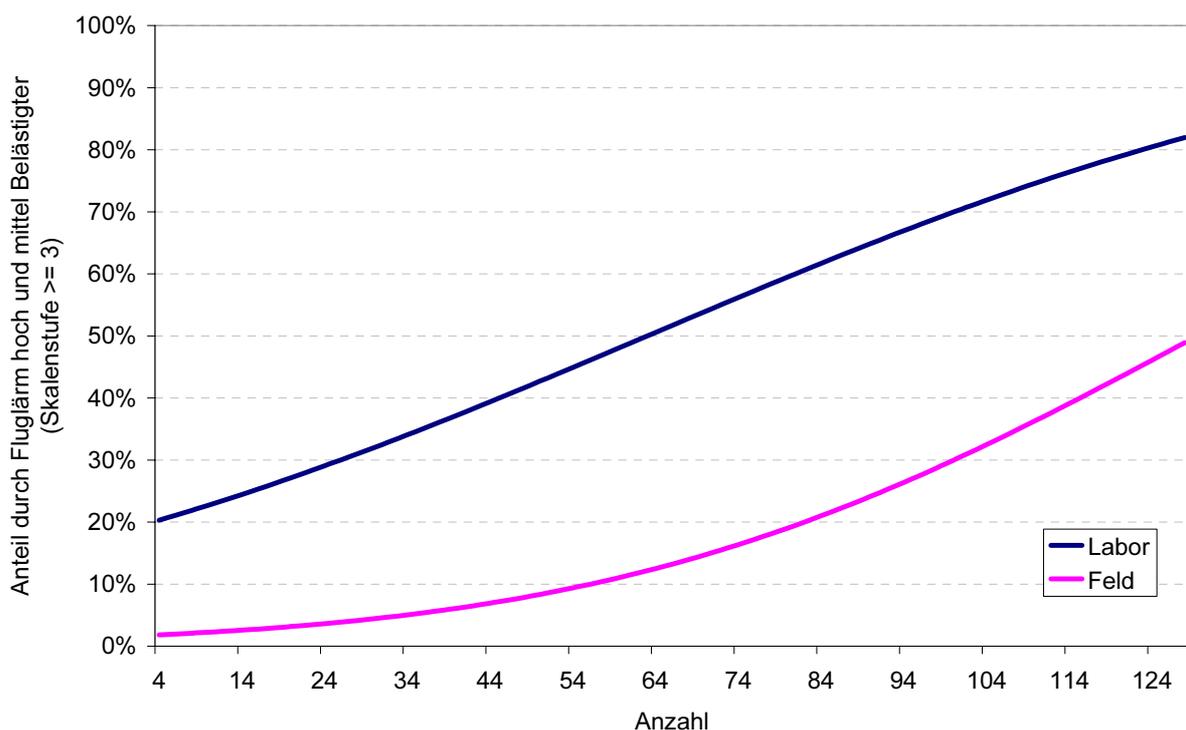


Abbildung 58: Durch labor- und feldspezifische Regressionsmodelle L1 und F1 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit von der Anzahl.

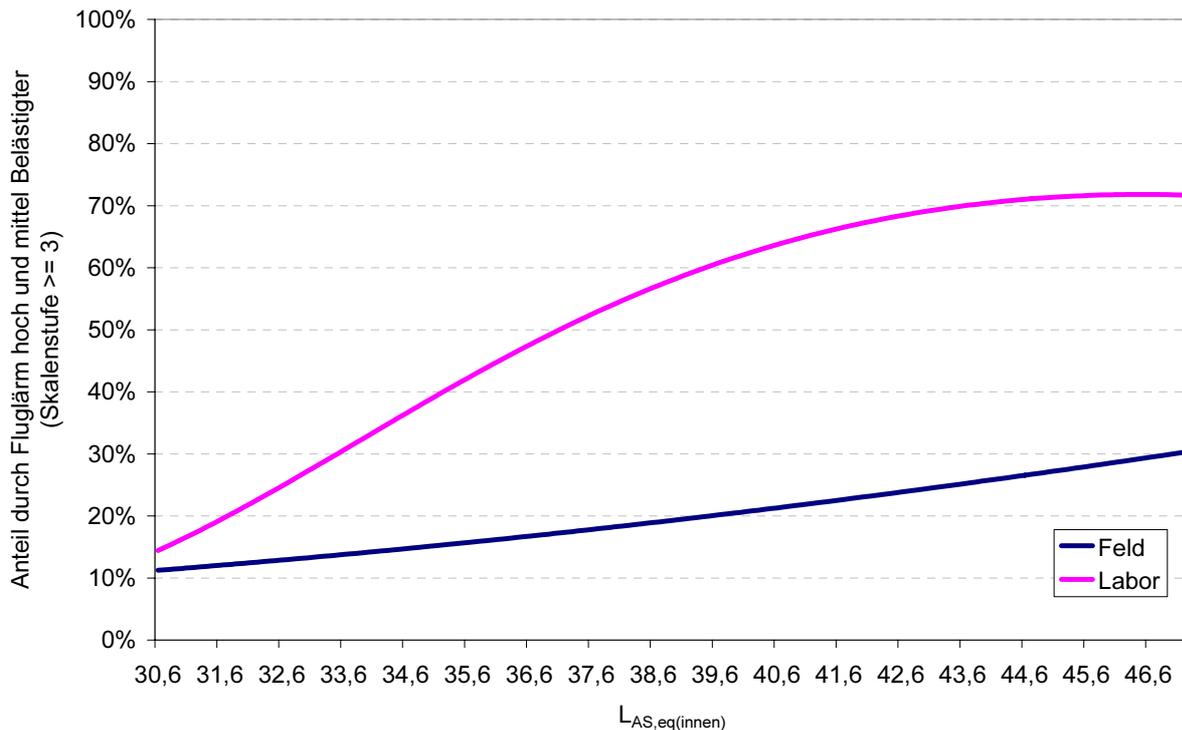


Abbildung 59: Durch labor- und feldspezifische Regressionsmodelle L2 und F2 vorhergesagter Anteil durch Fluglärm mittel bis stark Belästigter (Skalenstufe ≥ 3) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

1.9.2 Belästigung durch Fluglärm vor der Feldstudie

Das folgende Kapitel widmet sich der Belästigungswirkung von Fluglärm, die bereits im Vorfeld im Sinne einer Fluglärmvorbelastung zu Hause bestanden hat (vgl. *Kapitel 1.8.3*). Zu diesem Zweck werden Daten aus dem allgemeinen Fragebogen ausgewertet, der vor der Feldstudie verschickt wurde.

1.9.2.1 Semantische Analyse zur Fluglärmvorbelastung

Zur Überprüfung der inhaltlichen *Bedeutung des Fluglärmbelästigungsbegriffs* wurde eine varimaxrotierte Hauptkomponentenanalyse (PCA) nach dem Kaiserkriterium mit Variablen aus dem allgemeinen Fragebogen durchgeführt. Für die Interpretation der ersten drei Faktoren, die zusammen 47.7% der Gesamtvarianz aufklären, wurden nur Items mit Ladungen $>.50$ berücksichtigt. Die Ergebnisse in Tabelle 17 zeigen, dass das *Konzept der Fluglärmbelästigung inhaltlich der fluglärmbedingten Störung der Tätigkeitsbereiche Kommunikation, Rekreation und Schlaf nahe kommt* [vgl. hierzu Guski et al. 1999,

Kastka 2001a]. Die Faktorenstruktur, die die Analyse der Labordaten ergeben hat, wird größtenteils bestätigt.

Die Hauptkomponente (ca. 31% Varianzaufklärung) umfasst die in der Wohnung durch Fluglärm erlebten Störungen der aufgeführten Tätigkeitsbereiche mit den damit einhergehenden Emotionen und Kognitionen. Des Weiteren finden sich Items zur Beschreibung der Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche tagsüber und nachts. Anders als bei der Laborerhebung vereint der erste Faktor zusätzlich Imagevariablen zur gesellschaftlichen Bewertung des Flugverkehrs (z.B. seine „Vermeidbarkeit“, „Notwendigkeit“ und „gesundheitsschädigende Wirkung“) sowie die Fluglärmgewöhnung, die zusammen bei den Befragten aus der Laboruntersuchung die zweite Komponente konstituieren. Dafür fehlen gegenüber den Laborergebnissen sämtliche Items zur Beschreibung der Fluglärmstärke im häuslichen Umfeld, die sich in der zweiten Komponente (ca. 9% Varianzaufklärung) vereinigen.

Der dritte Faktor (ca. 8% Varianzaufklärung) beinhaltet ähnlich wie bei den Laborbefragungen Aspekte zur (Un-)Zufriedenheit mit Eigenschaften im häuslichen Umfeld (z.B. Luftqualität, Erscheinungsbild) im Sinne der so genannten „Umweltästhetik“ [Booth 1999; Guski 1987; Oliva 1998].

Rotierte Komponentenmatrix^a

	Komponente		
	1 (31,2%)	2 (8,5%)	3 (8%)
Störung der Entspannung und Feierabendruhe	.815	.264	-.051
verdorbene Freude an der Freizeit	.800	.150	-.035
eigene Gesundheitsschädigung durch Fluglärm	.769	.130	.187
Fluglärmgewöhnung	-.761	-.073	-.149
Gesundheitsgefährdung durch Flugverkehr	.743	-.036	-.163
Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche nachts	.711	.371	.156
Behinderung von Lesen/Nachdenken	.701	.256	-.257
kein Besuch mehr einladen	.695	.187	-.313
Gereiztheit	.694	.211	.272
ungern nach Hause kommen	.660	.231	.014
Behinderung des Einschlafens	.655	.319	.097
allgemeine Gesundheitsschädigung durch Fluglärm	.643	.047	.027
ungern im Freien aufhalten	.622	.262	-.119
Vermeidbarkeit des Flugverkehrs	.619	-.198	-.252
Störung von Unterhaltungen	.613	.411	-.270
allgemeine Einstellung zum Flugverkehr	-.607	.117	.324
Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche tags	.600	.352	-.032
Verzicht, das Fenster zu öffnen	.570	.283	.132
Erschrecken	.553	-.004	-.027
Notwendigkeit des Flugverkehrs	-.500	.111	.396
Unsicherheit des Flugverkehrs	.425	-.086	-.318
Verzicht auf Telefonate	.419	.279	-.075
Umweltfreundlichkeit des Flugverkehrs	-.319	-.123	.168
Fluglärmstärke draußen	.056	.798	-.033
Fluglärmstärke, gekipptes Schlafzimmerfenster	.253	.766	-.076
Fluglärmstärke, gekipptes Fenster	.222	.743	-.005
Fluglärmstärke, geschlossenes Schlafzimmerfenster	.232	.706	-.243
Fluglärmstärke, geschlossenes Fenster	.120	.698	-.271
Zufriedenheit ÖPNV	-.010	.500	.098
Zufriedenheit Einkaufsmöglichkeiten	.055	.408	.110
Zufriedenheit Luftqualität	-.037	-.048	.725
Zufriedenheit Erscheinungsbild	.048	-.138	.622
Zufriedenheit Arbeitsplatznähe	.218	.179	.567
allgemeine Wohnzufriedenheit	-.022	-.191	.554
Zittern von Wänden und Klirren von Fenstern	.396	.313	-.453
Zufriedenheit Erholungsmöglichkeiten	.298	.259	.453
Lauter stellen von Radio/Fernsehen	.390	.328	-.403
Zuverlässigkeit des Flugverkehrs	-.213	-.046	-.246

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung.

a. Die Rotation ist in 5 Iterationen konvergiert.

Tabelle 17: Varimaxrotierte Hauptkomponentenanalyse mit Aspekten der Flugvorlärmbelästigung aus dem allgemeinen Fragebogen der Feldstudienstichprobe (N = 64). Items, die der Interpretation der Hauptfaktoren dienen (Ladungen > .50), sind grau unterlegt.

1.9.2.2 Der Einfluss psychologischer Moderatoren auf die Fluglärmvorbelastung

Abbildung 60 veranschaulicht die prozentuale Häufigkeitsverteilung der Belästigungseinstufung durch Fluglärm vor der Feldstudie. Es liegen die Quartile $Q_1 = 2$ („wenig“ belästigt), $Q_2 = 3$ („mittelmäßig“ belästigt) und $Q_3 = 4$ („ziemlich“ belästigt) vor. Anders als beim Laborkollektiv verteilen sich „nur“ 64% (bei der Laborstichprobe 87%) der Einstufungen auf die ersten drei Kategorien. 36% sind „ziemlich“ bzw. „sehr“ belästigt (bei der Laborstichprobe 13%).

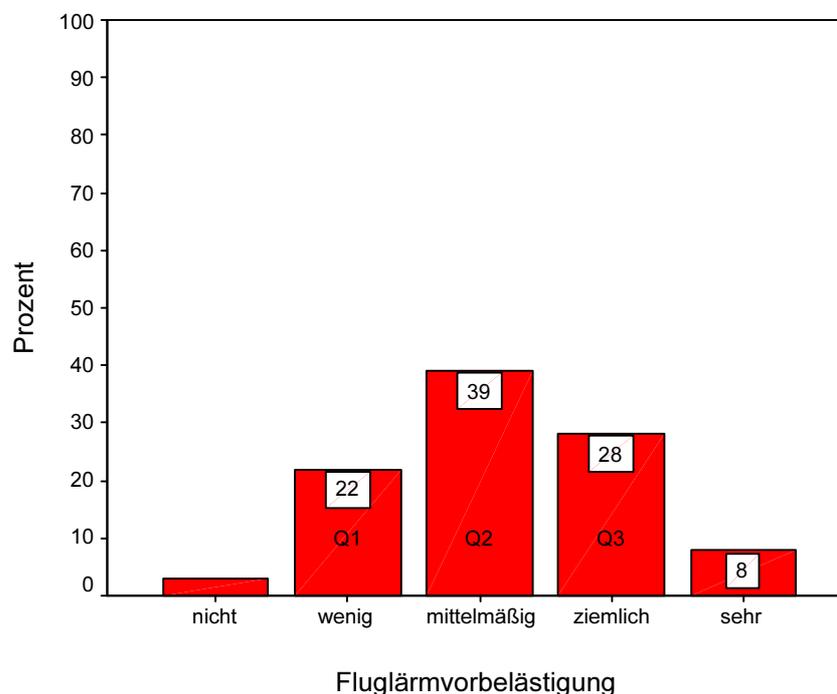


Abbildung 60: Prozentuale Verteilung der Belästigungsbeurteilung („Wie stark werden Sie belästigt durch Fluglärm?“) vor der Feldstudie (N = 64).

Die Feldstudienteilnehmer erinnern sich im Durchschnitt an fast doppelt so viele unzumutbare Flugzeuggeräusche wie die Vpn aus dem Laborkollektiv: tagsüber (6:00 bis 22:00 Uhr) 5.70 (Standardabweichung = 8.78) und nachts (22:00 bis 6:00 Uhr) 4.61 Geräusche (Standardabweichung = 8.45).

Mit Hilfe der qualitativen Auswertung zeigt sich, dass mehr als die Hälfte (55%) im Vorfeld durch Fluglärm besonders belästigt ist (bei der Laborstichprobe 37%), was für die Repräsentativität des ausgewählten Kollektivs im Hinblick auf die zu untersuchende Problematik spricht. Hierbei werden ähnlich

wie bei den untersuchten Schlaflaborprobanden Flugsituationen beim Einschlafen, nachts und früh morgens (22 Nennungen) beklagt. Der Hauptgrund für die erhebliche Belästigung ist die Lautstärke (12 Nennungen). Anders als bei den Vpn aus der Laboruntersuchung spielt zusätzlich die Anzahl der Fluggeräusche sowie die fluglärmbedingte Störung von Kommunikation und Schlaf eine wichtige Rolle (jeweils 7 Nennungen). 44% der Befragten sind der Auffassung, dass diese besonders belästigenden Flugsituationen unbedingt zu vermeiden seien (bei der Laborstichprobe 20%).

Der Einfluss nicht-akustischer Moderatoren auf die Fluglärmvorbelastung wurde anhand von Kruskal-Wallis Rangvarianzanalysen getestet. Zu diesem Zweck erfolgten Mediansplits der Feldstichprobe (N = 64) (vgl. *Kapitel 1.8.3.2*)

a) Situative bzw. kontextuelle Moderatoren

Positiv bewertete Wohnvariablen verringern zumeist Lärmeffekte im Sinne einer „umweltästhetischen“ Wirkung [Booth 1999; Guski 1987; Oliva 1998]. Es wurde der Einfluss der Zufriedenheit mit der Wohngegend bezüglich:

- des *äußeren Erscheinungsbilds* (Median = 4.0),
- der *Luftqualität* (Median = 4.0),
- dem *Anschluss an das öffentliche Verkehrsnetz* (Median = 4.0),
- der *Nähe zum Arbeitsplatz* (Median = 4.0),
- den *Einkaufsmöglichkeiten* (Median = 4.0),
- den *Erholungs-/Entspannungsmöglichkeiten* (Median = 4.0),

sowie die Wirksamkeit der *allgemeinen Wohnzufriedenheit* (Median = 4.0) im Hinblick auf die Fluglärmvorbelastung geprüft. Wie bei den Laborbefragungen ergeben sich für alle aufgeführten Einzelaspekte der Wohnumgebung keine signifikanten Unterschiede zwischen zufriedenen und weniger zufriedenen Vpn (vgl. *Kapitel 1.8.3.2*). Im Hinblick auf die *allgemeine Wohnzufrieden-*

heit ($\chi^2_{(1, .033)} = 4.527$) liegt ein signifikantes Ergebnis im Sinne eines positiv moderierenden Einflusses des Umfeldes (bei hoher Wohnzufriedenheit) vor.

Es besteht kein signifikanter Effekt der *Wohndauer* (Median = 8.00 Jahre) bezüglich der Fluglärmvorbelastung.

88% der Untersuchten berichten, zu Hause über eine doppelte Fensterverglasung zu verfügen. 8% haben einfach und die verbleibenden 4% dreifach verglaste Fenster (bei der Laborstichprobe 10% bzw. 2%). 55% der Befragten sind mit der vorhandenen Schalldämmung der geschlossenen Fenster „ziemlich“ bzw. „sehr“ zufrieden (bei der Laborstichprobe 64%), 36% sind „mittelmäßig“ und 9% „nicht“ bzw. „wenig“ zufrieden. Etwa 64% der Befragten wünschen sich für zu Hause einen besseren Schallschutz (bei der Laborstichprobe 51%). *Unterschiede in der Fensterverglasung zu Hause gehen anders als bei den Labordaten nicht mit signifikanten Unterschieden in der Fluglärmvorbelastung einher* (Abbildung 61). Das Vorhandensein von unterschiedlichem Schallschutz hat also bei den Feldstudienteilnehmern keinen systematischen Einfluss auf die Belästigungsreaktion [vgl. hierzu Kastka 1990; Paulsen et al. 1992].

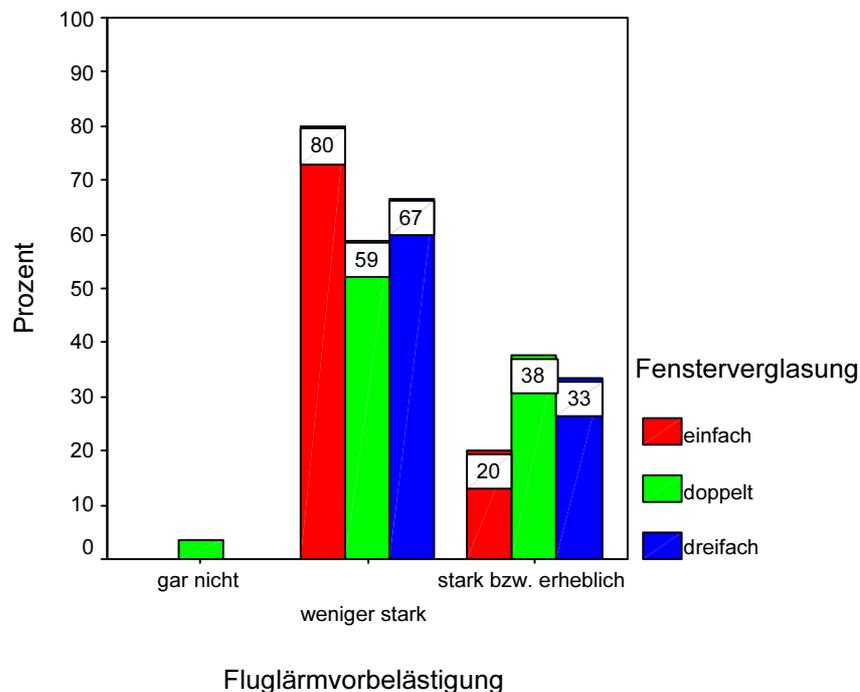


Abbildung 61: Fluglärmvorbelastung in Abhängigkeit vom häuslichen Schallschutz (Fensterverglasung) vor der Feldstudie (N = 64).

Genau wie bei der Laborerhebung werden im Friedman-Test signifikante Unterschiede zwischen der eingeschätzten *Fluglärmstärke* ($\chi^2_{(4, .000)} = 197.370$) und *Fluglärmvorbelastung* ($\chi^2_{(4, .000)} = 156.478$) unter verschiedenen *raum-akustischen Bedingungen* in der Wohnung der Untersuchten nachgewiesen (Abbildungen 62 und 63). Wilcoxon Paarvergleiche belegen signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen raum-akustischen Bedingungen (ohne Tabelle). Nur die Situationen „Schlafzimmerfenster zu“ vs. „Fenster zu“ sowie „Schlafzimmerfenster gekippt“ vs. „Fenster gekippt“ unterscheiden sich für beide Parameter nicht signifikant. Die empfindlichsten Bedingungen sind die „Fenster-gekippt-Situationen“ bzw. „draußen“, wobei die Außenbedingung für die bewertete Fluglärmstärke sensitiver als die „Fenster-gekippt-Situationen“ ist [vgl. hierzu Kastka 1990, 1999, 2001a]. Im Vergleich zu den Laborstudienverteilungen sind die Grenzen des 1. und 3. Quartils für die verschiedenen Bedingungen entsprechend einer stärkeren Einstufung fast immer um ein bis zwei Stufen nach oben verschoben.

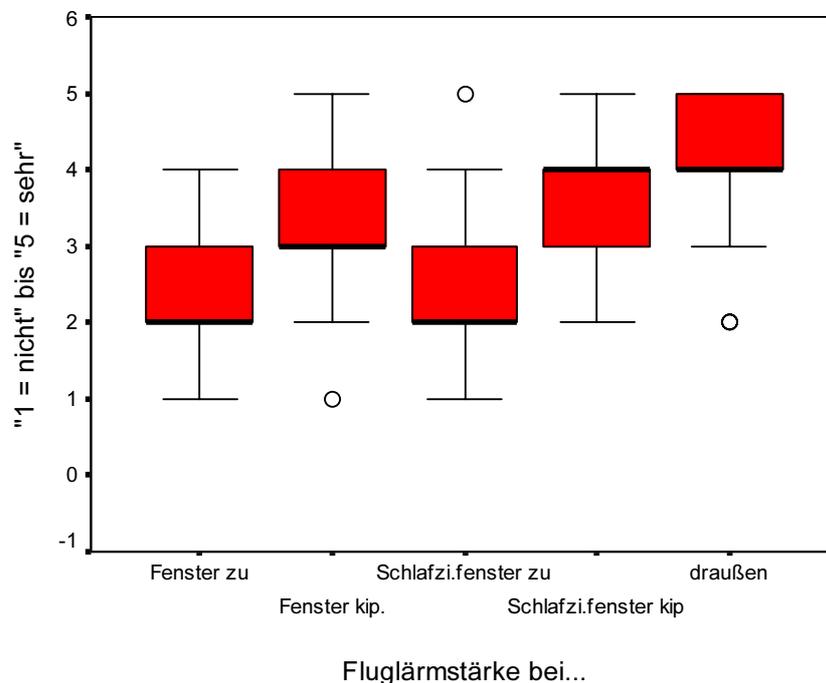


Abbildung 62: Bewertete häusliche Fluglärmstärke unter verschiedenen raum-akustischen Bedingungen („Wie stark hören Sie Fluglärm...?“) vor der Feldstudie (N = 64).

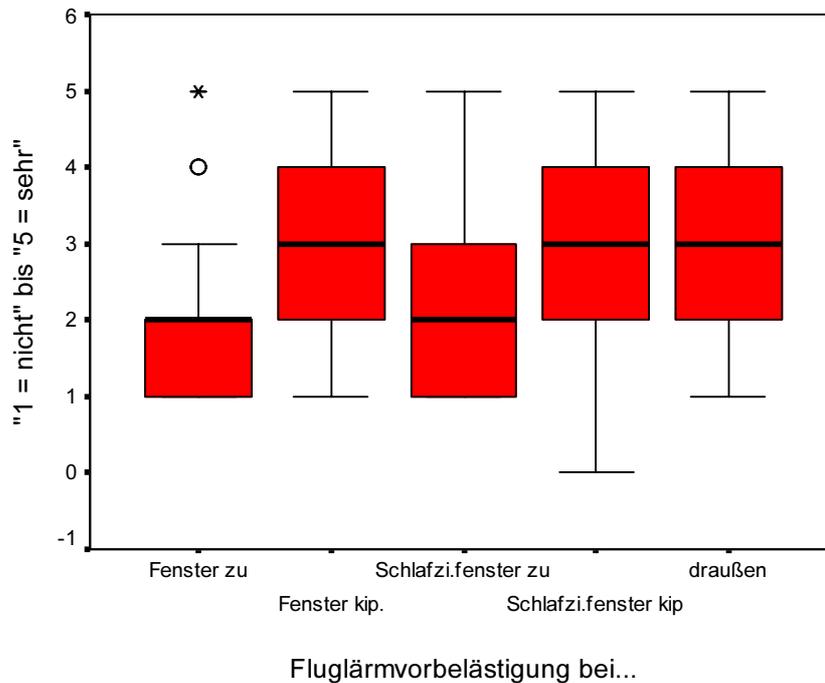


Abbildung 63: Bewertete häusliche Fluglärmvorbelastung unter verschiedenen raumakustischen Bedingungen („Wie stark werden Sie belästigt durch Fluglärm...?“) vor der Feldstudie (N = 64).

b) Soziale Moderatoren

Ein Friedman-Test zur allgemeinen *Einstellung gegenüber den Hauptverkehrsträgern Straßen-, Schienen- und Flugverkehr* belegt signifikante Unterschiede ($\chi^2_{(2, .000)} = 21.804$), wobei der Schienenverkehr wie bei der Laboruntersuchung im Paarvergleich einen signifikanten Bonus gegenüber dem Straßen- und Flugverkehr besitzt. Die Einstellung gegenüber Straßen- und Flugverkehr unterscheidet sich wieder nicht (Abbildung 64). Bezüglich der *Verkehrslärmbelästigung* bestehen erneut signifikante Unterschiede zwischen den drei Hauptverkehrsträgern ($\chi^2_{(2, .000)} = 90.028$). Wilcoxon-Tests untermauern den Bonus des Schienen- gegenüber dem Straßen- und Flugverkehr(slärm). Fluglärm wird bei den Feldstudienteilnehmern auch signifikant belästigender als Straßenlärm bewertet (Abbildung 65). Bei der *Lärmgewöhnung* finden sich anders als bei den Laborprobanden keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 66).

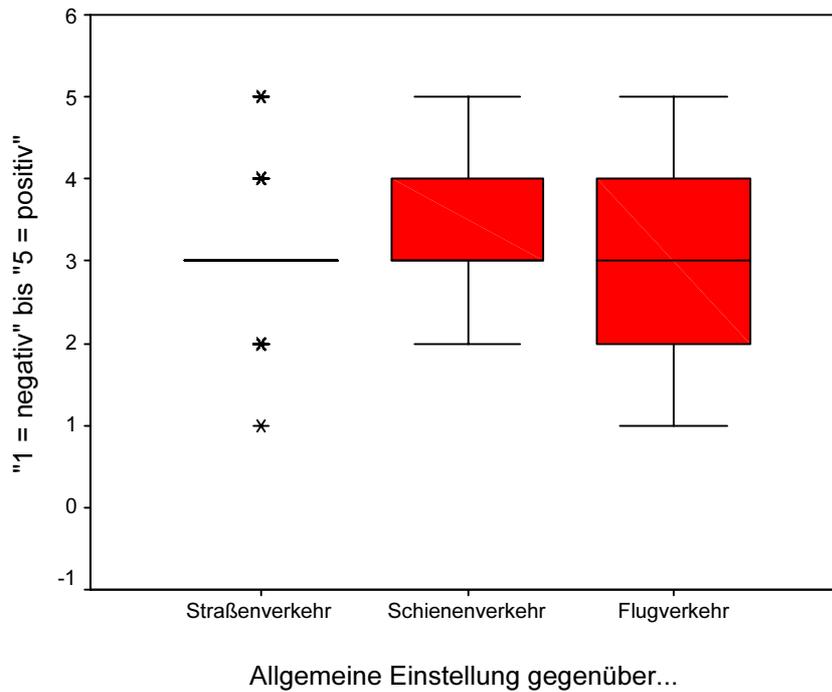


Abbildung 64: Einstellung gegenüber den drei Hauptverkehrsträgern („Wie stehen Sie insgesamt folgenden Verkehrsarten gegenüber?“) vor der Feldstudie (N = 64).

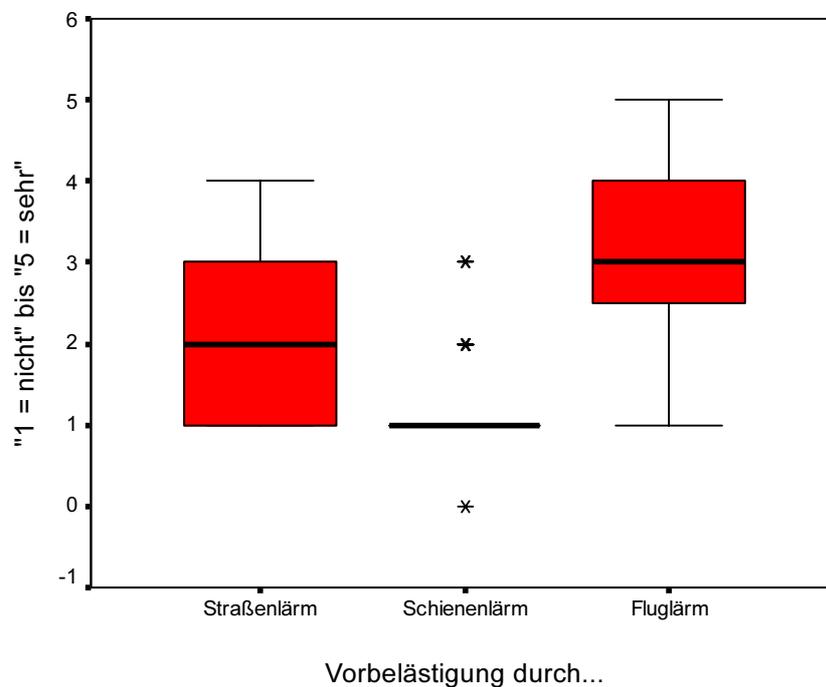


Abbildung 65: Verkehrslärmvorbelastung („Wie stark werden Sie durch folgende Lärmarten belästigt?“) vor der Feldstudie (N = 64).

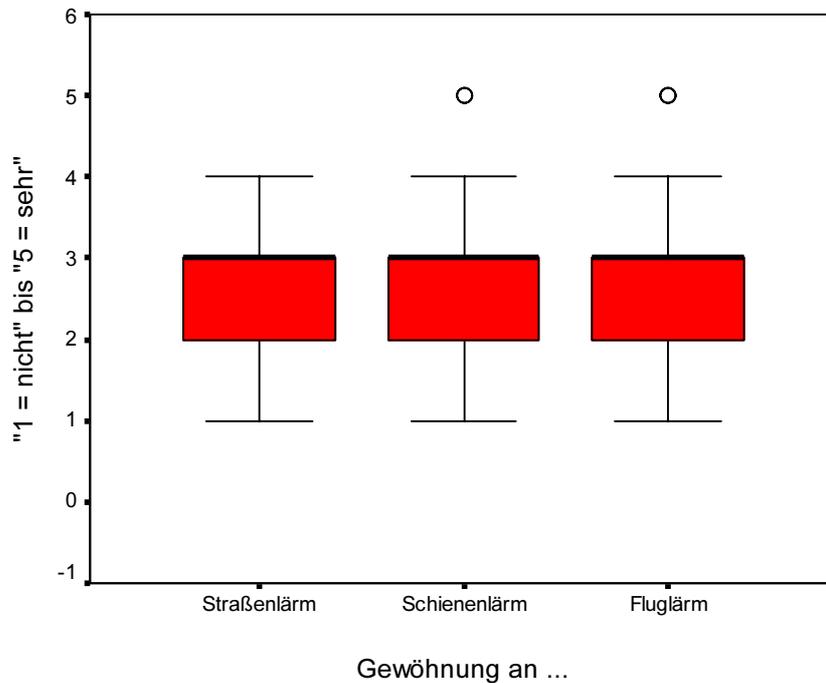


Abbildung 66: Verkehrslärmgewöhnung („Wie gut können Sie sich grundsätzlich an folgende Lärmarten gewöhnen?“) vor der Feldstudie (N = 64).

Bei den so genannten Imagevariablen, die einen wichtigen (psychologischen) Beitrag zur Erklärung von Lärmwirkungen liefern [Guski 1987], hat die Ursache des Fluglärms - der Flugverkehr - das Image, „ziemlich notwendig“, „mittelmäßig gesundheitsgefährdend“, „wenig umweltfreundlich“ und „wenig vermeidbar“ zu sein (Abbildung 67). Im Vergleich zu den Laborbewertungen sind die Grenzen des 1. und 3. Quartils für die einzelnen Kriterien entsprechend einer geringeren Einstufung um ein bis zwei Kategorien nach unten verschoben.

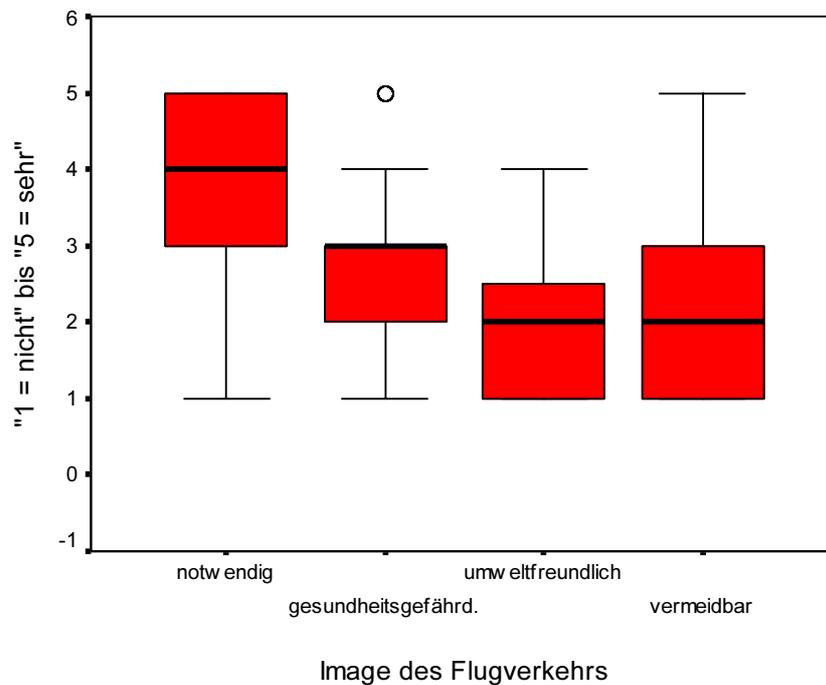


Abbildung 67: Image des Flugverkehrs („Halten Sie den Flugverkehr ganz allgemein für...?“) vor der Feldstudie (N = 64).

Die *Image-Variablen* wahrgenommene „Gesundheitsschädlichkeit“ ($\chi^2_{(1, .000)} = 13.765$; Median = 3.0), „Umweltfreundlichkeit“ ($\chi^2_{(1, .006)} = 7.504$; Median = 2.0) und „Vermeidbarkeit“ ($\chi^2_{(1, .013)} = 6.235$; Median = 2.0) des Flugverkehrs haben einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Vorbelastung durch Fluglärm. Letztere Variable hat in den Laborbefragungen keine signifikante Wirkung. Erneut wird ein signifikant moderierender Effekt der Einstufung hinsichtlich der *Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm* gefunden ($\chi^2_{(1, .026)} = 4.989$; Median = 3.0). Die „allgemeine Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm“ wird auch seitens der Feldstudienprobanden signifikant höher als die „eigene Gefährdung der Gesundheit“ angesehen (Wilcoxon-Test: $Z_{(p \leq .000)} = -5.361$) (Abbildung 68). Außerdem untermauern die Befunde erneut einen signifikanten Einfluss der *allgemeinen Einstellung* gegenüber dem Flugverkehr ($\chi^2_{(1, .000)} = 14.942$; Median = 3.0). Die bewertete „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ (Median = 4.0) ist anders als bei der Laborstudie nicht signifikant.

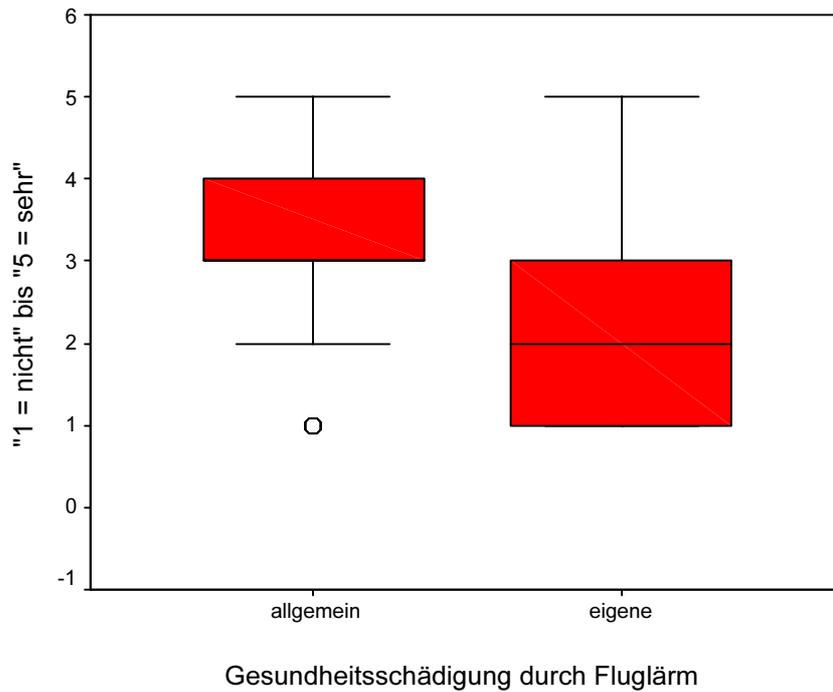


Abbildung 68: Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm („Wie stark schädigt Fluglärm im allgemeinen die Gesundheit?“ bzw. „Wie stark wird Ihre eigene Gesundheit durch Fluglärm geschädigt?“) vor der Feldstudie (N = 64).

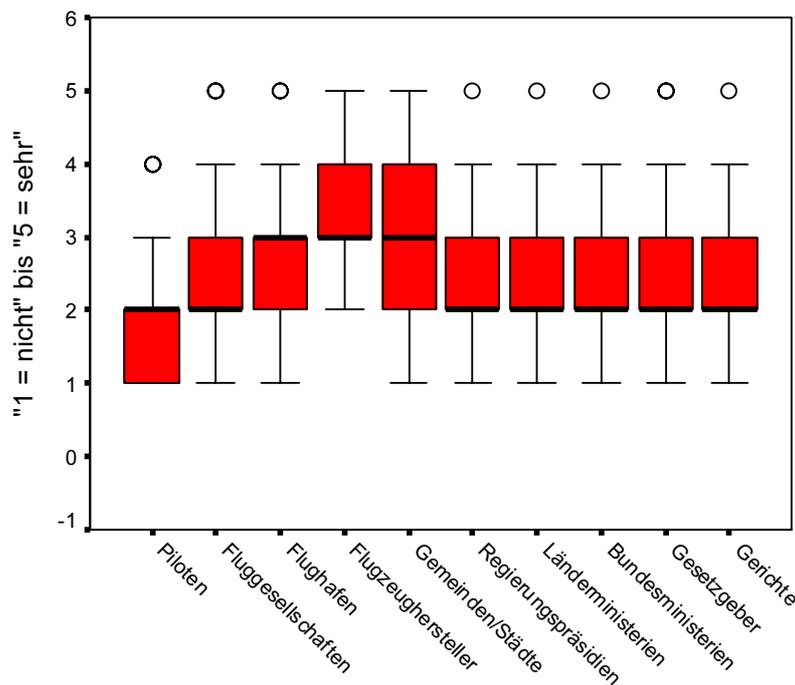


Abbildung 69: Vertrauen in Verantwortliche bezüglich des Bemühens um Fluglärmreduktion („Wie sehr setzen sich Ihrer Meinung nach folgende Personen/Institutionen gegen Fluglärm ein?“) vor der Feldstudie (N = 64).

Abbildung 69 veranschaulicht das Ausmaß des Vertrauens der Feldstudienteilnehmer gegenüber potentiell fluglärmverantwortlichen Personen und Institutionen. Hierbei dominieren ähnlich wie bei den Laborbefragungen die „Flugzeughersteller“ sowie „Gemeinden und Städte“.

Das *Vertrauen* in die *Verantwortlichen* „Gemeinden und Städte“ ($\chi^2_{(1, .011)} = 6.489$; Median = 3.0), „Regierungspräsidien“ ($\chi^2_{(1, .028)} = 4.818$; Median = 2.0) und „Länderministerien“ ($\chi^2_{(1, .026)} = 4.997$; Median = 2.0) hat einen systematischen Einfluss auf die Fluglärmvorbelastung. Eine moderierende Wirkung des Vertrauens in die verbleibenden Verantwortlichen sowie des Glaubens an erfolgreiche *Chancen auf Fluglärmreduktion* besteht hingegen nicht. 47% des Kollektivs meinen, dass die Chancen auf Fluglärmreduktion „schlecht“ bis „sehr schlecht“ stehen (bei der Laborstichprobe 32%). 14% sind der Meinung, dass es „gute“ bis „sehr gute“ Chancen gibt (bei der Laborstichprobe 20%) (Abbildung 70). Als wesentlichen Grund gegen eine erfolgreiche Fluglärmreduktion werden auch hier wirtschaftliche Interessen angesehen.

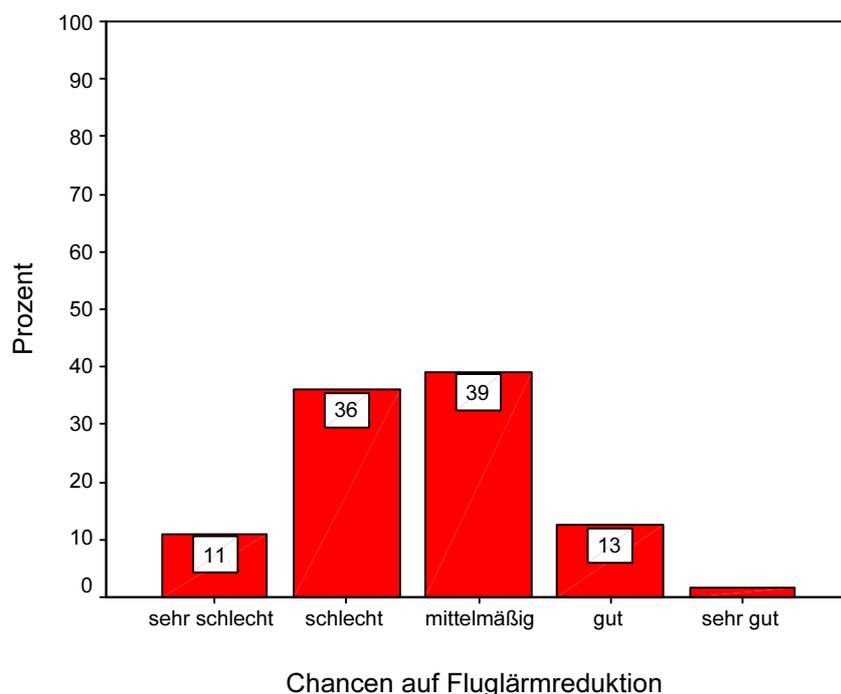


Abbildung 70: Chancen auf Fluglärmreduktion ("Wie groß sind ihrer Meinung nach die Chancen, erfolgreich etwas gegen Fluglärm zu unternehmen?") vor der Feldstudie (N = 64).

c) Personale Moderatoren

Wie für das Laborkollektiv belegt die inferenzstatistische Analyse signifikante Effekte der *individuellen Lärmempfindlichkeit* ($\chi^2_{(1, .043)} = 4.084$; Median = 3.0) und subjektiven *Fluglärmgewöhnung* ($\chi^2_{(1, .001)} = 11.124$; Median = 3.0). Die *Beteiligung an Aktivitäten gegen Fluglärm* (Aktive vs. Nichtaktive) hat auf die Fluglärmvorbelastung auch einen statistisch bedeutsamen Einfluss ($\chi^2_{(1, .003)} = 8.986$). 12.5% der Befragten berichten, sich bereits an Aktivitäten gegen Fluglärm beteiligt zu haben (Teilnahme an Demonstrationen, öffentlichen Veranstaltungen, schriftliche Beschwerden). Als Hauptgrund dafür wird wieder die eigene Fluglärmbeeinträchtigung aufgeführt. Eine moderierende Wirkung der *Fluggewohnheiten* (berufliche bzw. private Flieger vs. Nichtflieger) sowie des *Wohnstatus* (Eigentümer vs. Mieter) gibt es genau wie bei der Laboruntersuchung nicht.

TEIL 2: BEFINDLICHKEIT, BEANSPRUCHUNG UND ERHOLUNG

2.1 Einleitung

Änderungen der Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung nach einer lärmexponierten Nacht zählen ebenfalls zur Gruppe der lärminduzierten *Sekundärreaktionen* (Kapitel 1.1). Die Untersuchung der humanspezifischen psychologischen Wirkungen von Nachtfluglärm beinhaltete daher auch die Erhebung dieser Sekundärstörungen. Zu ihrer Messung wurden zwei standardisierte Fragebögen verwendet: der mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF) von Steyer et al. [1997] und der Erholungs- und Belastungsfragebogen (EBF) von Kallus [1995].

Der MDBF misst drei bipolare Dimensionen der aktuell psychischen Befindlichkeit: (1) gute – schlechte Stimmung, (2) Wachheit – Müdigkeit und (3) Ruhe – Unruhe. Jede Dimension setzt sich aus acht Items (Adjektive) zusammen, anhand derer die *aktuelle Stimmungslage* („Im Moment fühle ich mich..“) mit Hilfe von 5-stufigen Items („1 = überhaupt nicht“ bis „5 = sehr“) beurteilt wird. Die Werte der einzelnen Items einer Dimension werden zu einem Summen- bzw. Skalenwert zusammengefasst (Werte von 0 bis 40):

1. *Gute – schlechte Stimmung (GS)*: Ein hoher Skalenwert deutet auf eine positive Stimmungslage hin: die Person fühlt sich wohl, ist froh und zufrieden. Niedrige Werte bedeuten Missbefinden: die Person fühlt sich unwohl und schlecht, ist missgestimmt und unzufrieden.
2. *Wachheit – Müdigkeit (WM)*: Ein hoher Skalenwert resultiert bei wachen und ausgeruhten Personen; sie fühlen sich frisch und munter. Bei einem niedrigen Wert fühlen sie sich dagegen müde, schläfrig und schlapp.

3. *Ruhe – Unruhe (RU)*: Hohe Skalenwerte zeigen an, dass sich die Person innerlich ruhig und gelassen fühlt. Ein niedriger Wert deutet auf eine angespannte, nervöse und innerlich unruhige Person hin.

Der MDBF wurde am Morgen nach dem Aufstehen und einmal am Abend ausgefüllt.

Der EBF erlaubt es, den gegenwärtigen Beanspruchungszustand einer Person, d.h. ihre aktuelle „Beanspruchungs-Erholungs-Bilanz“, zu beschreiben. Es wird angenommen, dass eine Kumulation von Belastungen aus unterschiedlichen Lebensbereichen bei gleichzeitig unzureichenden Erholungsmöglichkeiten zu einem veränderten psychophysischen Gesamtzustand führt [Kallus 1995]. Der EBF ermittelt den Grad der Beanspruchung und Erholung als rückwirkende Einschätzung über eine bestimmte Zeitspanne. In der Originalfassung des Fragebogens ist dafür ein Zeitraum von drei Tagen vorgesehen. Im Rahmen der durchgeführten Fluglärnwirkungsstudien wurde diese Spanne auf einen Tag verkürzt, um eine Erhebung bezogen auf den gesamten Tag nach einer Fluglärnnacht zu ermöglichen. Der EBF wurde dazu immer abends ausgefüllt. Die Beanspruchung wird im Wesentlichen als psychische Beanspruchung erfasst, wobei aber auch Aspekte der mentalen und physischen Beanspruchung berücksichtigt werden. Die Messung der Beanspruchung beinhaltet insgesamt sieben Subskalen, aus denen sich der *Gesamtwert der Beanspruchung* (BE-G) berechnet:

1. *Allgemeine Belastung – Niedergeschlagenheit (BEL-ALLG)*: Personen mit hohen Skalenwerten sind seelisch belastet, niedergeschlagen, unausgeglichen und lustlos.
2. *Emotionale Belastung (BEL-EMO)*: Das Erleben von Personen mit hohen Werten ist durch gehäuftes Auftreten von Ärger, Aggressionen, Ängsten und Hemmungen gekennzeichnet.
3. *Soziale Spannungen (BEL-SOZ)*: Hohe Skalenwerte haben Personen mit häufigen Auseinandersetzungen, Streit, Ärger über andere und Aufgebrachtsein.

4. *Ungelöste Konflikte – Erfolglosigkeit (KONFL)*: Hohe Werte werden erreicht, wenn Konflikte offen stehen, unangenehme Dinge zu erledigen sind, Ziele nicht erreicht werden und man sich von bestimmten Gedanken nicht lösen kann.
5. *Übermüdung – Zeitdruck (UEBMUED)*: Bei hohen Skalenwerten liegen Zeitdruck, Übermüdung, Überforderung und fehlender Schlaf vor.
6. *Energielosigkeit – Unkonzentriertheit (ENLOS)*: Hohe Werte deuten auf ineffektives Arbeiten und fehlende Konzentration hin.
7. *Körperliche Beschwerden (BEL-SOM)*: Bei hohen Skalenwerten bestehen körperliches Unwohlsein und körperliche Beschwerden.

Der *Gesamtscore der Erholung (ERH-G)* leitet sich aus fünf Subskalen ab:

1. *Erfolg – Leistungsfähigkeit (ERFOLG)*: Hohe Werte kennzeichnen Erfolg und Spaß an der Arbeit.
2. *Erholung im sozialen Bereich (ERH-SOZ)*: Hohe Skalenwerte werden bei häufig angenehmen Sozialkontakten verbunden mit Entspannung und Amüsement erreicht.
3. *Körperliche Erholung (ERH-SOM)*: Bei hohen Werten besteht körperliche Erholung und Fitness.
4. *Allgemeine Erholung – Wohlbefinden (ERH-ALLG)*: Neben häufig guter Stimmung und positivem Wohlbefinden liegen bei hohen Skalenwerten allgemeine Entspannung und Zufriedenheit vor.
5. *Erholsamer Schlaf (SCHLAF)*: Hohe Werte charakterisieren ausgeschlafenes Aufstehen sowie das Fehlen von Einschlaf- und Durchschlafstörungen.

Für jede Beanspruchungs- und Erholungsskala liegen jeweils sechs Items vor, die mit Hilfe von sieben Antwortkategorien („0 = nie“ bis „6 = immerzu“) die

Häufigkeit von Gegebenheiten (z.B. „...*habe ich Zeitung gelesen*“) über einen definierten Zeitraum (hier einen Tag) beschreiben.

Eine ausführliche theoretische Darstellung zur Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung, ihrer Skalierungsinstrumente und der dazugehörigen empirischen Befunde aus der Lärmwirkungsforschung findet sich bei Rey [2002].

2.2 Fragestellungen

Zur Untersuchung der humanspezifischen Wirkung von Nachtfluglärm auf die *psychische Befindlichkeit* am Morgen und am Abend eines folgenden Tages wurde folgende Hypothese getestet:

Die Befindlichkeit wird aufgrund in Abhängigkeit von der nächtlichen Fluglärmexposition beeinträchtigt, was sich in einer Abnahme der Skalenwerte des MDBF manifestiert. Eine Beeinträchtigung der Befindlichkeit liegt vor, wenn für mindestens eine der insgesamt drei Dimensionen des MDBF eine signifikante Verringerung der Skalenwerte besteht.

- *GS*: Die Vpn fühlen sich eher unwohl, schlecht und sind missgestimmt als gut gelaunt, froh und zufrieden.
- *WM*: Die Probanden sind eher müde, schläfrig und schlapp als frisch und munter.
- *RU*: Die Vpn sind eher innerlich angespannt, nervös und unruhig als ruhig und gelassen.

Des Weiteren wurde untersucht, ob sich *Beanspruchungs- und Erholungsprozesse* infolge einer Beeinträchtigung des Schlafes durch nächtlichen Fluglärm verändern. Die durch den Nachtfluglärm induzierten psychologischen Reaktionen am Abend einer vorausgegangenen Fluglärmnacht wurden zwei Hypothesen geprüft:

- *Der Grad der Beanspruchung steigt in Abhängigkeit vom Ausmaß der Fluglärmexposition. Die Skalenwerte für die Beanspruchung (Gesamtscore und Einzelskalen des EBF) vergrößern sich mit zunehmender Lärmbelastung.* Eine erhöhte Beanspruchung besteht dann, wenn für die Gesamtbeanspruchung (BE-G) bzw. für mindestens eine der insgesamt sieben Unterskalen eine *signifikante Zunahme der Skalenwerte* vorliegt: allgemeine Belastung (BEL-ALLG), emotionale Belastung (BEL-EMO), Übermüdung - Zeitdruck (UEBMUED), soziale Spannungen (BEL-SOZ), körperliche Beschwerden (BEL-SOM), ungelöste Konflikte – Erfolglosigkeit (KONFL) und Energielosigkeit - Unkonzentriertheit (ENLOS).
- *Der Grad der Erholung wird in Abhängigkeit vom Ausmaß der Lärmbelastung vermindert. Die Skalenwerte für die Erholung (Gesamtscore und Einzelskalen des EBF) verringern sich mit zunehmender Fluglärmexposition.* Eine Verschlechterung der Erholung liegt dann vor, wenn für die Gesamterholung (ERH-G) bzw. für wenigstens eine der insgesamt fünf Dimensionen eine *signifikante Abnahme der Skalenwerte* besteht: allgemeine Erholung - Wohlbefinden (ERH-ALLG), körperliche Erholung (ERH-SOM), Erholung im sozialen Bereich (ERH-SOZ), Erfolg – Leistungsfähigkeit (ERFOLG) und erholsamer Schlaf (SCHLAF).

Die Hypothesen wurden anhand deskriptiver (*Kapitel 2.3.1.1*) und inferenzstatistischer (*Kapitel 2.3.1.2*) interindividueller Vergleiche zwischen Kontrollgruppen (N = 16) und Experimentalgruppen (N = 112) aus der Schlaflaborstudie überprüft, um einen generellen Einfluss des Fluglärms auf die erhobenen Reaktionsgrößen aufzuzeigen. Des Weiteren wurden für die Experimentalgruppen die Messwerte verschiedener Untersuchungstage im Labor miteinander verglichen (*Kapitel 2.3.2.1.1*). Kruskal-Wallis Rangvarianzanalysen dienten der Überprüfung der Haupteffekte der Fluglärmparameter $L_{AS,max}$, $L_{AS,eq}$ und Anzahl von Flugereignissen (*Kapitel 2.3.2.1.2*). Mögliche Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen den drei physikalischen Fluglärm- und psychologischen Variablen wurden überprüft (*Kapitel 2.3.2.2*).

Die *Validierung* der *Laborbefunde* erfolgte anhand der durchgeführten *Feldstudie* (N = 64) (*Kapitel 2.4*).

2.3 Ergebnisse aus der Schlaflaborstudie²⁸

2.3.1 Interindividueller Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppen

2.3.1.1 Deskriptive Statistik

Tabellen 18 bis 21 führen die dem nicht-metrischen Skalenniveau entsprechenden Maße der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und Streuung (Spannweite) der abhängigen Variablen für die Experimental- und Kontrollgruppen auf. Dabei werden nur die Messungen nach der Basisnacht und den anschließenden neun Fluglärmnächten berücksichtigt.²⁹

²⁸Infolge des nicht-metrischen Skalenniveaus und der nicht hinreichenden Normalverteilung aller Daten, die sich im Kolmogorov-Smirnov-Test für die Daten aus der Laborstudie zeigte, wurden nicht-parametrische Verfahren gewählt. Bei allen Analysen wurde die zugrunde gelegte Irrtumswahrscheinlichkeit nach Bonferoni in Abhängigkeit von der Anzahl der durchgeführten Einzeltests auf α/n korrigiert.

²⁹Der dargebotene Fluglärm im Labor umfasste sowohl startende als auch landende Flugzeuge, da die Ergebnisse eines Mann-Whitney U-Tests zum Vergleich der Wirkung von Start- und Landegeräuschen nur für die Parameter „WM morgens“ (mittlerer Rang_{landend} = 457.25; mittlerer Rang_{startend} = 548.29; $Z = -4.981$; $p < .001$) und „RU abends“ (mittlerer Rang_{landend} = 537.87; mittlerer Rang_{startend} = 465.19; $Z = -3.981$; $p < .001$) signifikante Unterschiede belegen. Dies bedeutet im Hinblick auf die Befindlichkeit, dass nach Nächten mit Fluglärm von startenden Flugzeugen die Probanden am Morgen danach signifikant wacher und ausgeruhter, gleichzeitig aber am Abend signifikant angespannter und nervöser als nach Nächten mit landenden Flugzeugen sind. Für die Beanspruchung und Erholung finden sich signifikante Unterschiede zwischen startenden und landenden Flugzeugen für die Dimensionen „ERH-SOZ“ (mittlerer Rang_{landend} = 537.84; mittlerer Rang_{startend} = 469.14; $Z = -3.751$; $p < .001$), „ERH-SOM“ (mittlerer Rang_{landend} = 543.86; mittlerer Rang_{startend} = 462.93; $Z = -4.420$; $p < .001$) und „ERH-ALLG“ (mittlerer Rang_{landend} = 541.94; mittlerer Rang_{startend} = 464.91; $Z = -4.207$; $p < .001$). Dies bedeutet, dass sich die Vpn nach Nächten mit Landegeräuschen am Abend danach auf den genannten Skalen signifikant erholter einstufen als nach Nächten mit startenden Flugzeuggeräuschen.

Statistiken

		GS abends	WM abends	RU abends	GS morgens	WM morgens	RU morgens
N	Gültig	1115	1115	1115	1112	1112	1112
	Fehlend	5	5	5	8	8	8
Median		34	30	33	32	26	32
Modus		36	36	36	36	28	36
Spannweite		32	32	32	32	32	32

Tabelle 18: Kennwerte der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) für die Befindlichkeit der Experimentalgruppen (N = 112) (Abkürzungen: GS = gute – schlechte Stimmung, WM = Wachheit – Müdigkeit, RU = Ruhe – Unruhe).

Statistiken

		GS abends	WM abends	RU abends	GS morgens	WM morgens	RU morgens
N	Gültig	160	160	160	160	160	160
	Fehlend	0	0	0	0	0	0
Median		36	31	33	33	29	32
Modus		36	36	34	36	32	32
Spannweite		25	23	23	18	26	17

Tabelle 19: Kennwerte der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) für die Befindlichkeit der Kontrollgruppen (N = 16) (Abkürzungen: GS = gute – schlechte Stimmung, WM = Wachheit – Müdigkeit, RU = Ruhe – Unruhe).

Statistiken

	BEL-ALLG	BEL-EMO	BEL-SOZ	KONFL	UEBMUED	ENLOS	BEL-SOM	ERFOLG	ERH-SOZ	ERH-SOM	ERH-ALLG	SCHLAF	BE-G	ERH-G
N	1119	1119	1119	1119	1119	1119	1119	1119	1119	1119	1119	1119	1119	1119
Gültig	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fehlend														
Median	,33	,33	,17	,67	1,17	,83	,67	2,17	1,83	2,83	3,50	3,33	,67	2,80
Modus	,00	,00	,00	,00	,67 ^a	,00	,50	1,83	1,83	2,67	4,00	2,83	,33	2,60
Spannweite	5,17	4,33	5,17	4,00	5,33	4,33	4,67	5,00	5,83	5,83	6,00	6,00	3,71	5,23

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.

Tabelle 20: Kennwerte der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) für die Beanspruchung und Erholung der Experimentaltgruppen (N = 112) (Abkürzungen: BEL-ALLG = allgemeine Belastung, BEL-EMO = emotionale Belastung, BEL-SOZ = soziale Spannungen, KONFL = ungelöste Konflikte – Erfolglosigkeit, UEBMUED = Übermüdung – Zeitdruck, ENLOS = Energielosigkeit – Unkonzentriertheit, BEL-SOM = körperliche Beschwerden, ERFOLG = Erfolg – Leistungsfähigkeit, ERH-SOZ = Erholung im sozialen Bereich, ERH-SOM = körperliche Erholung, ERH-ALLG = allgemeine Erholung - Wohlbefinden, SCHLAF = erholsamer Schlaf, BE-G = Gesamtbeanspruchung, ERH-G = Gesamterholung).

Statistiken

	BEL-ALLG	BEL-EMO	BEL-SOZ	KONFL	UEBMUED	ENLOS	BEL-SOM	ERFOLG	ERH-SOZ	ERH-SOM	ERH-ALLG	SCHLAF	BE-G	ERH-G
N	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Gültig	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fehlend														
Median	,17	,33	,33	,67	1,00	,83	,67	2,17	2,00	3,00	3,67	3,67	,69	2,93
Modus	,00	,00	,00	,83	1,00	,83 ^a	,67	2,33	1,33	3,00	3,33	4,33	,26 ^a	2,93 ^a
Spannweite	2,33	2,83	2,83	2,67	3,83	2,83	3,17	4,83	4,16	4,84	4,66	4,66	2,07	3,43

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.

Tabelle 21: Kennwerte der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) für die Beanspruchung und Erholung der Kontrollgruppen (N = 16) (Abkürzungen siehe Tabelle 20).

2.3.1.2 Inferenzstatistik

Der interindividuelle Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppen bezüglich ihrer Befindlichkeit nach den Nächten 3 bis 11 (Fluglärmnächte für die Experimentalgruppen) erfolgte mit Hilfe von Mann-Whitney U-Tests. Die Ergebnisse sind in Tabelle 22 aufgeführt:

	GS abends	WM abends	RU abends	GS morgens	WM morgens	RU morgens
Mittlerer Rang...Ex	565.51	565.12	578.53	558.18	548.82	571.65
.....Ko	633.16	635.84	542.44	684.18	749.37	590.34
Z	-2.300	-2.399	-1.225	-4.282	-6.800	-.634
Asymptot. Sign.	.021	.016	.221	.000**	.000**	.526

Tabelle 22: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Befindlichkeit von Kontroll- und Experimentalgruppen nach den Nächten 3 bis 11. Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/6 = .008$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: GS = gute – schlechte Stimmung, WM = Wachheit - Müdigkeit, RU = Ruhe - Unruhe).

Zur Überprüfung interindividueller Unterschiede zwischen Kontroll- und Experimentalgruppen, die möglicher Weise bereits vor der Einführung des Fluglärms bestanden haben, werden in Tabelle 23 die Ergebnisse des U-Tests für den Vergleich der Abend- und Morgenwerte nach der Basisnacht (Nacht 2) dargestellt:

	GS abends	WM abends	RU Abends	GS morgens	WM morgens	RU morgens
Mittlerer Rang...Ex	64.20	64.63	63.85	62.81	61.69	63.34
.....Ko	66.59	63.59	69.03	64.28	71.94	60.69
Z	-.242	-.105	-.524	-.152	-1.058	-.274
Asymptot. Sign.	.808	.917	.600	.879	.290	.784

Tabelle 23: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Befindlichkeit von Kontroll- und Experimentalgruppen nach der Basisnacht (Nacht 2). Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/6 = .008$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: GS = gute – schlechte Stimmung, WM = Wachheit - Müdigkeit, RU = Ruhe - Unruhe).

Für die Einstufung auf den Skalen „GS morgens“ und „WM morgens“ nach den Nächten 3 bis 11 haben die Experimentalgruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen signifikant niedrigere Skalenwerte (d.h. eine schlechtere

Stimmung, ausgeprägtere Müdigkeit). Für alle anderen Befindlichkeitswerte liegen keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontroll- und Experimentalgruppen vor. Es bestehen auch keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Versuchsgruppen nach der Basisnacht (Nacht 2).

Die Ergebnisse des interindividuellen Vergleichs der Beanspruchung und Erholung von Kontroll- und Experimentalgruppen sind in Tabellen 24 und 25 zusammengefasst. Lediglich für die Erholungsdimension „erholsamer Schlaf“ weisen die Kontrollgruppen nach den Nächten 3 bis 11 signifikant höhere Skalenwerte (d.h. einen erholsameren Schlaf) als die Experimentalgruppen auf. Ansonsten sind weder nach Fluglärmnächten noch nach der Basisnacht signifikante Unterschiede nachweisbar.

Alles in allem besteht ein allgemeiner *signifikanter Einfluss des Fluglärms* auf die Befindlichkeitsvariablen „GS morgens“ und „WM morgens“ sowie die Erholungsskala „erholsamer Schlaf“. Die folgenden inferenzstatistischen Analysen zu den *fluglärminduzierten Sekundärreaktionen* der *Experimentalgruppen* beschränken sich auf diese psychologischen Variablen.

	BEL-ALLG	BEL-EMO	BEL-SOZ	BEL-SOM	KON-FL	UEB-MUED	EN-LOS	BEL-SOM	ER-FOLG	ERH-SOZ	ERH-SOM	ERH-ALLG	SCHL-AF	BE-G	ERH-G
Mittlerer Rang...Ex	579.01	573.85	569.60	576.04	576.04	583.04	581.59	578.47	575.40	573.32	572.09	572.93	563.82	578.38	569.89
.....Ko	554.94	591.02	620.74	575.75	575.75	526.79	536.94	558.71	580.16	594.71	603.38	597.48	661.17	559.35	618.73
Z	-.832	-.592	-1.788	-.010	-.010	-1.903	-1.513	-.670	-.161	-.723	-1.058	-.830	-3.290	-.643	-1.649
Asymptot. Sign.	.405	.554	.074	.992	.992	.057	.130	.503	.872	.470	.290	.407	.001**	.520	.099

Tabelle 24: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Beanspruchung und Erholung von Kontroll- und Experimentalgruppen nach den Nächten 3 bis 11. Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/14 = .004$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: BEL-ALLG = allgemeine Belastung, BEL-EMO = emotionale Belastung, BEL-SOZ = soziale Spannungen, KONFL = aufgelöste Konflikte – Erfolglosigkeit, UEBMUED = Übermüdung – Zeitdruck, ENLOS = Energielosigkeit – Unkonzentriertheit, BEL-SOM = körperliche Beschwerden, ERFOLG = Erfolg – Leistungsfähigkeit, ERH-SOZ = Erholung im sozialen Bereich, ERH-SOM = körperliche Erholung, ERH-ALLG = allgemeine Erholung - Wohlbefinden, SCHLAF = erholsamer Schlaf, BE-G = Gesamtbeanspruchung, ERH-G = Gesamterholung).

	BEL-ALLG	BEL-EMO	BEL-SOZ	BEL-SOM	KON-FL	UEB-MUED	EN-LOS	BEL-SOM	ER-FOLG	ERH-SOZ	ERH-SOM	ERH-ALLG	SCHLA-F	BE-G	ERH-G
Mittlerer Rang...Ex	65.88	63.89	64.23	65.37	65.37	64.83	64.98	64.29	65.94	64.21	64.44	63.67	64.42	65.12	64.30
.....Ko	54.88	68.78	66.38	58.44	58.44	62.16	61.13	65.94	54.41	66.56	64.94	70.31	65.06	60.19	65.91
Z	-1.135	-.502	-.223	-.701	-.701	-.271	-.391	-.167	-1.166	-.238	-.051	-.671	-.065	-.497	-.162
Asymptot. Sign.	.256	.616	.823	.483	.483	.786	.696	.868	.244	.812	.960	.502	.948	.619	.871

Tabelle 25: Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Beanspruchung und Erholung von Kontroll- und Experimentalgruppen nach der Basisnacht (Nacht 2). Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/14 = .004$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen siehe Tabelle 24).

2.3.2 Fluglärminduzierte Sekundärreaktionen der Experimentalgruppen

2.3.2.1 Inferenzstatistik

2.3.2.1.1 Messwertverläufe über die Zeit

Um einen generellen Einfluss des Fluglärms aufzuzeigen, werden die Messwerte verschiedener Untersuchungstage im Labor mittels Wilcoxon-Tests miteinander verglichen (Tabelle 26). Es werden die Messwerte für die Befindlichkeitsvariablen „GS morgens“ und „WM morgens“ sowie die Erholungsskala „erholsamer Schlaf“ nach folgenden Messtagen im Labor miteinander verglichen:

- a) erste vs. zweite Nacht im Labor (d.h. Gewöhnungs- und Basisnacht): „First Night Effect“
- b) Basisnacht vs. erste Fluglärmnacht (Nächte 2 und 3)
- c) erste vs. letzte Fluglärmnacht (Nächte 3 und 11)
- d) letzte Fluglärmnacht vs. Ruhenacht danach (Nächte 11 und 12)
- e) beide letzten Ruhenächte (Nächte 12 und 13): „Last Night Effect“

Da im letzten Studienabschnitt (STRAIN IV) in den Nächten 12 und 13 ebenfalls Fluglärm dargeboten wurden, beziehen sich lediglich die Paarvergleiche a) und b) auf die gesamte Experimentalstichprobe (N = 112), die Vergleiche c) bis e) hingegen nur auf Probanden aus den ersten drei Studienabschnitten STRAIN I bis III (N = 80).

Ein „First Night Effect“ besteht für beide Befindlichkeitsaspekte „GS morgens“ und „WM morgens“ sowie die Skala „erholsamer Schlaf“, d.h. die Vpn erleben die zweite Nacht signifikant erholsamer als die erste und sind am zweiten Morgen signifikant besser gelaunt und ausgeruhter. Im Vergleich der

Basisnacht zur ersten Fluglärmnacht zeigt sich für alle drei abhängigen Variablen ein signifikanter „Fluglärmeffekt“, d.h. die Probanden schlafen in der ersten Lärmnacht signifikant schlechter, sind am Morgen danach müder und missgelaunter. Der Vergleich der ersten mit der letzten Fluglärmnacht ergibt nur für den „erholsamen Schlaf“ signifikante Unterschiede: die letzte Lärmnacht wird als signifikant erholsamer empfunden. Nach der ersten Ruhenacht, die sich den Lärmnächten anschließt, erfolgt eine signifikante „Verbesserung“ aller psychologischen Parameter, d.h., dass sich die Messwerte gegenläufig zum Vergleich der Basisnacht mit der ersten Lärmnacht verändern (siehe oben). Ein „Last Night Effect“ besteht nicht.

	1 vs. 2. Nacht (First Night Effect)	2. vs. 3. Nacht	3. vs. 11. Nacht	11. vs.12. Nacht	12. vs. 13. Nacht (Last Night Effect)
Z	GSm2 - GSm1 (27NR, 64PR, 16B)	GSm3 - GSm2 (67NR, 31PR, 10B)	GSm11 - GSm3 (30NR, 35PR, 13B)	GSm12 - GSm11 (7NR, 60PR, 12B)	GSm13 - GSm12 (21NR, 34PR, 24B)
Sign	-3.612 .000**	-4.546 .000**	-.111 .911	-6.300 .000**	-2.014 .044
Z	WMm2 - WMm1 (32NR, 67PR, 8B)	WMm3 - WMm2 (73NR, 26PR, 9B)	WMm11 - WMm3 (35NR, 37PR, 6B)	WMm12 - WMm11 (13NR, 60PR, 6B)	WMm13 - WMm12 (24NR, 40PR, 15B)
Sign	-3.145 .002**	-4.798 .000**	-.298 .766	-5.514 .000**	-1.568 .117
Z	SL2 - SL1 (27NR, 73PR, 10B)	SL3 - SL2 (80NR, 28PR, 4B)	SL11 - SL3 (24NR, 52PR, 4B)	SL12 - SL11 (23NR, 49PR, 8B)	SL13 - SL12 (34NR, 39PR, 7B)
Sign	-5.285 .000**	-5.769 .000**	-3.263 .001**	-3.785 .000**	-.572 .567

Tabelle 26: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Befindlichkeit und „erholsamer Schlaf“ der Experimentalgruppen nach verschiedenen Labortagen. Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/4 = .01$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: GSm = gute – schlechte Stimmung morgens, WMm = Wachheit – Müdigkeit morgens, SL = erholsamer Schlaf; NR = negative Ränge, PR = positive Ränge, B = Bindungen).

Im Folgenden werden die Messwertverläufe der Befindlichkeitsaspekte „GS morgens“ und „WM morgens“ sowie für den „erholsamen Schlaf“ aller Experimentalgruppen (N = 112) über die Dauer der Laborstudie (13 Nächte) anhand von Boxplots dargestellt (Abbildungen 71 bis 73). Es ist zu beachten, dass sich die Messwerte auf Erhebungen am Morgen bzw. Abend *nach* den Nächten 1 bis 13 beziehen.

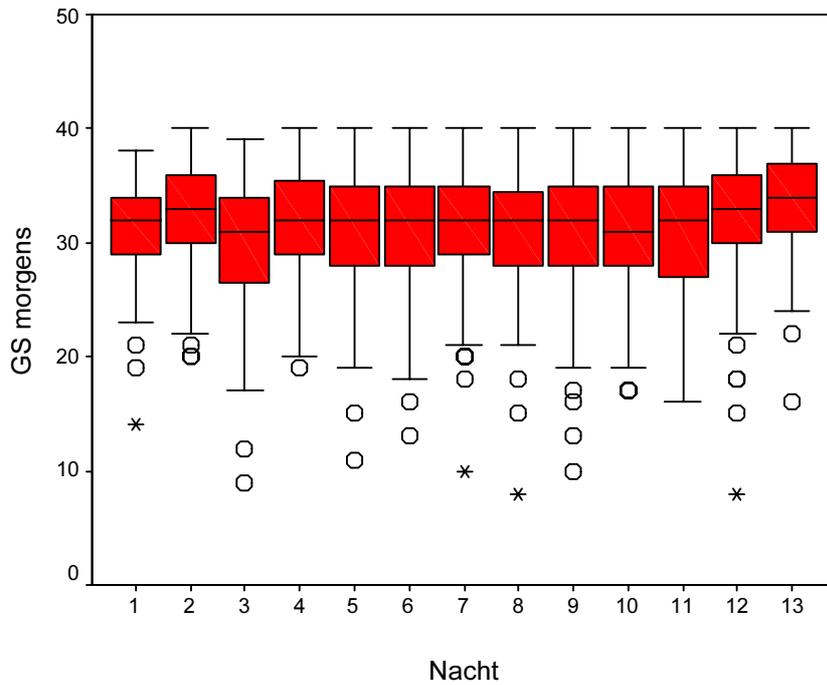


Abbildung 71: „Gute – schlechte Stimmung morgens“ der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

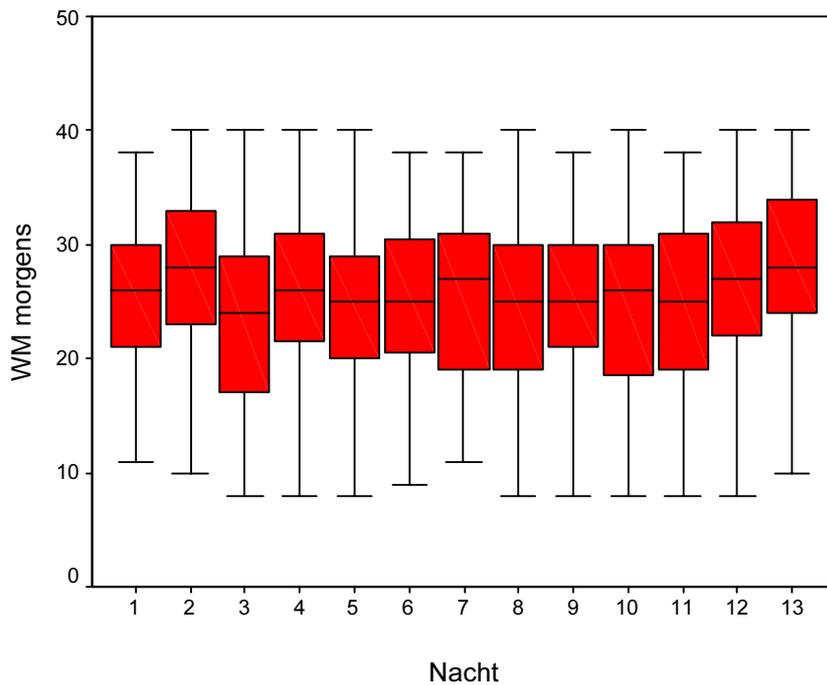


Abbildung 72: „Wachheit - Müdigkeit morgens“ der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

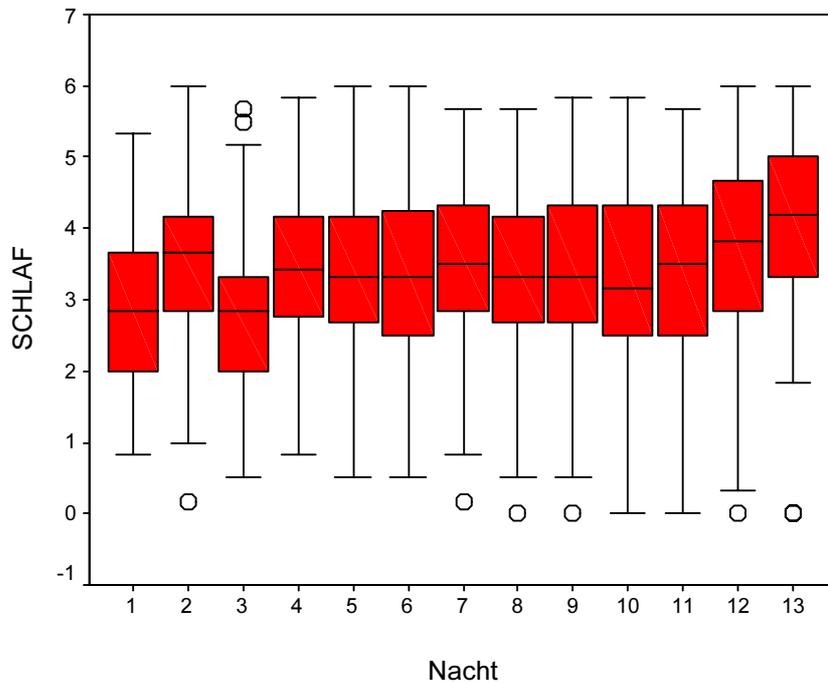


Abbildung 73: „Erholsamer Schlaf“ der Experimentalgruppen (N = 112) über den Verlauf der gesamten Schlaflaborstudie.

2.3.2.1.2 Physikalische Fluglärmparameter

Anhand von inferenzstatistischen Analysen wurde die Annahme überprüft, dass mit *steigender nächtlicher* Fluglärmbelastung (operationalisiert anhand der unabhängigen Variablen $L_{AS,max}$, $L_{AS,eq}$ und Pegelhäufigkeit) eine *Beeinträchtigung* der:

- *Befindlichkeit*, d.h. abnehmende Werte der Skalen „GS morgens“ und „WM morgens“ (MDBF)
- *Erholung*, d.h. abnehmende Skalenwerte vom „erholsamen Schlaf“ (EBF)

eintritt (vgl. *Kapitel 2.2*).

Rangvarianzanalysen zeigen *keine signifikanten Effekte der drei Fluglärmparameter* auf die genannten *Befindlichkeitsaspekte* und den *erholsamen Schlaf* der Experimentalgruppen (Tabelle 27). Es wurde daher auf Einzelvergleiche der Faktorstufen der physikalischen Parameter mittels U-Tests verzichtet.

		GS morgens	WM morgens	SL
L_{AS,max}	Chi-Quadrat	17.806	15.58	12.900
	Df	8	8	8
	Asymptot. Sign.	.023	.044	.115
L_{AS,eq}	Chi-Quadrat	12.499	17.949	19.720
	Df	9	9	9
	Asymptot. Sign.	.187	.036	.020
Pegel- häufigkeit	Chi-Quadrat	14.735	10.667	15.385
	Df	6	6	6
	Asymptot. Sign.	.022	.099	.017

Tabelle 27: Ergebnisse der Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse für Unterschiede zwischen den Faktorstufen der Fluglärmparameter L_{AS,max}, L_{AS,eq} und Pegelhäufigkeit bezüglich der Befindlichkeit und „erholsamer Schlaf“ der Experimentalgruppen (N = 112). Unter Berücksichtigung der Bonferoni-Korrektur ($\alpha/3 = .016$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: GS = gute – schlechte Stimmung, WM = Wachheit – Müdigkeit, SL = erholsamer Schlaf).

2.3.2.2 Dosis-Wirkungs-Kurven

Ähnlich wie für die Lärmbelästigung kann zur Ableitung von *Dosis-Wirkungs-Kurven* zwischen unabhängigen physikalischen Fluglärmvariablen (operationalisiert anhand des L_{AS,max}, L_{AS,eq} und der Anzahl von Flugereignissen) und abhängigen Befindlichkeits- und Erholungsvariablen die *logistische Regression* verwendet werden (vgl. *Kapitel 1.8.2.3*). Vor der eigentlichen Regressionsanalyse ist es sinnvoll, den Zusammenhang zwischen unabhängigen und abhängigen Größen deskriptiv darzustellen, um mögliche Interaktionen aufzuzeigen, anhand derer zu entscheiden ist, welche Faktoren für ein Regressionsmodell relevant sind. Bei der deskriptiven Analyse wurden nur die Fluglärmnächte 3 bis 11 der Experimentalgruppen (N = 112) berücksichtigt.

Für die Beschreibung möglicher Interaktionen war es erforderlich, die Bewertungen auf dem MDBF und EBF in *dichotome abhängige Variablen* zu überführen, um die Wahrscheinlichkeit für eine positive Stimmungslage (GS), Wachheit (WM), Ruhe (RU) und erholsamen Schlaf (SCHLAF) in Abhängigkeit von der verwendeten unabhängigen Variablen darstellen zu können. Zu ihrer Generierung wurden Mediansplits durchgeführt und entsprechend Abstufungen der ursprünglichen Summen- bzw. Skalenwerte zusammengefasst. Für die Variable „GS morgens“ (Median = 32) beschreiben beispielsweise alle Summenwerte < 32 das Vorliegen einer schlechten Stimmung (Wert = 0), alle

Werte ≥ 32 stehen für eine positive Stimmungslage (Wert = 1). Ähnliches gilt für „WM morgens“ (Median = 26; Wert 0 = Müdigkeit, Wert 1 = Wachheit). Für die EBF Skala „erholsamer Schlaf“ ist der Schlaf weniger erholsam bei < 3.33 vor (Wert = 0), erholsamer bei ≥ 3.33 (Wert = 1).

Anhand der Abbildungen 74 bis 82 wird ersichtlich, dass für die untersuchten Befindlichkeitsaspekte „GS morgens“ und „WM morgens“ sowie die Skala „erholsamer Schlaf“ *keine systematischen Interaktionen mit den physikalischen Fluglärmparametern* zu erkennen sind. Die dargestellten Interaktionen zeigen keinen eindeutigen Trend; die Wahrscheinlichkeiten variieren lediglich im Bereich von $P = 0.40$ bis 0.60 . Demgemäß finden sich in allen logistischen Regressionsanalysen *keine signifikanten Dosis-Wirkungs-Beziehungen* für die Befindlichkeit und Erholung. Es wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisse verzichtet.

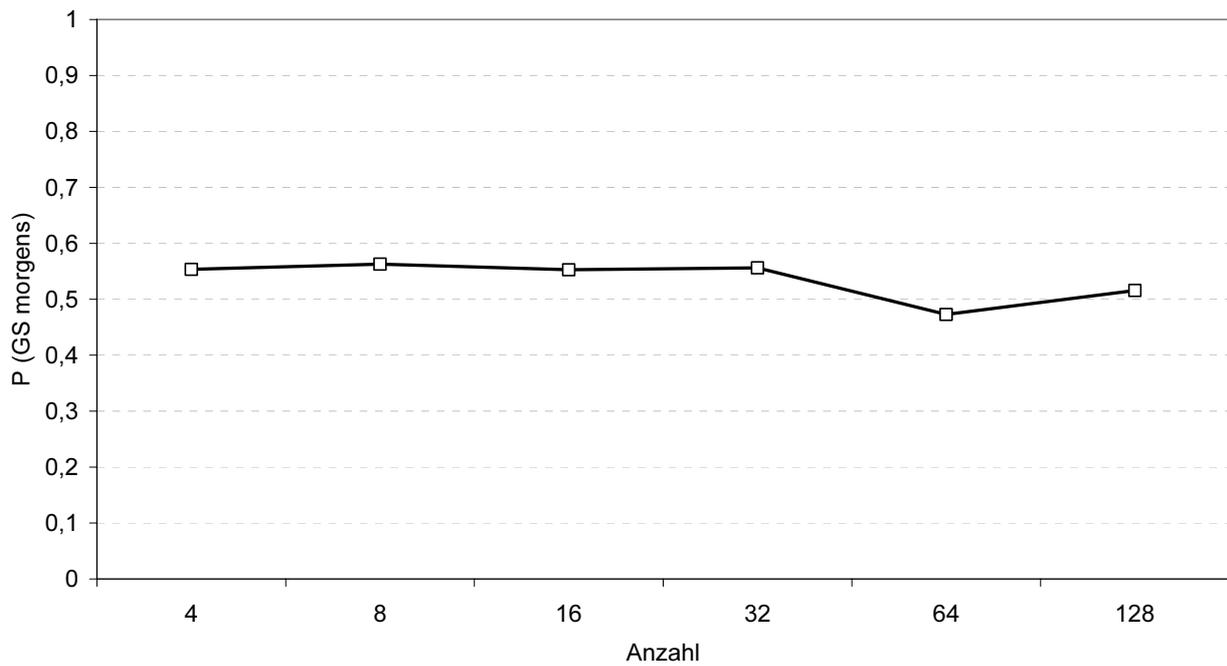


Abbildung 74: „Gute – schlechte Stimmung morgens“ der Experimentalgruppen (N = 112) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

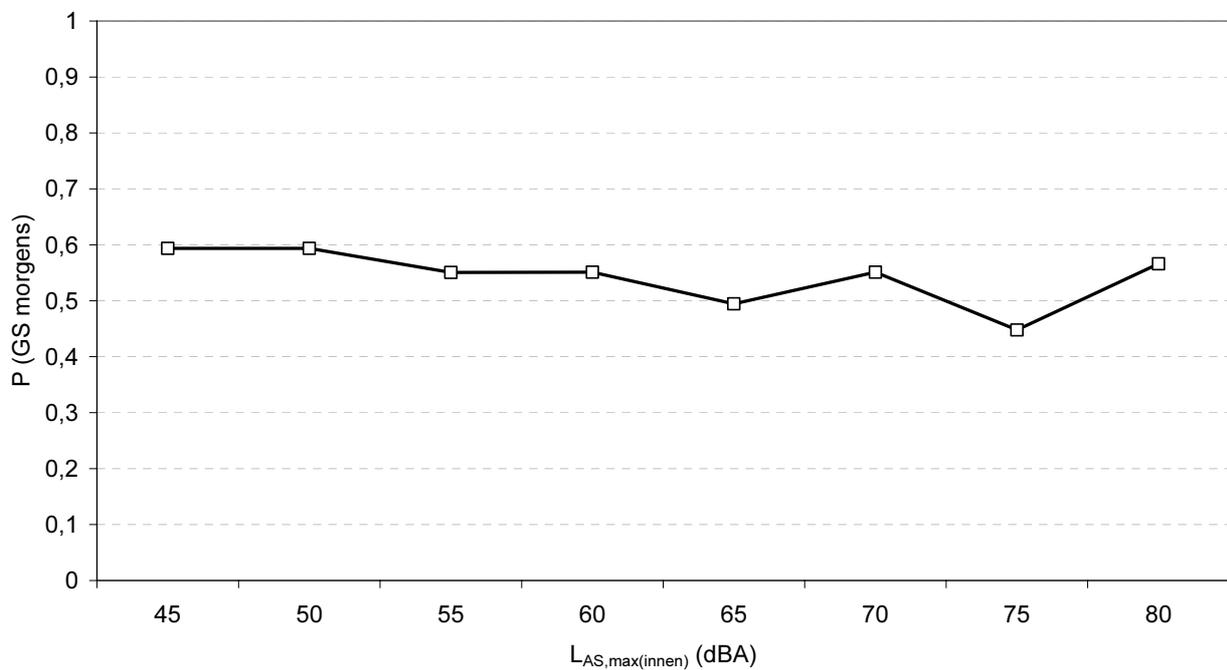


Abbildung 75: „Gute – schlechte Stimmung morgens“ der Experimentalgruppen (N = 112) in Abhängigkeit vom Maximalpegel $L_{AS,max}$.

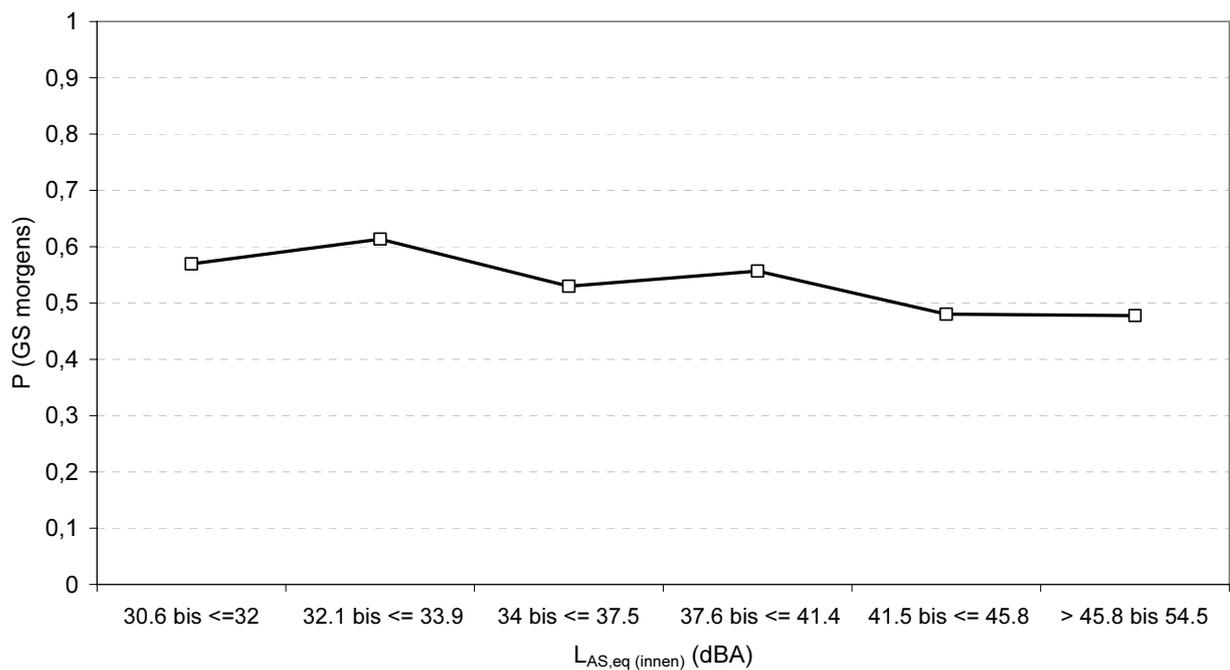


Abbildung 76: „Gute – schlechte Stimmung morgens“ der Experimentalgruppen (N = 112) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

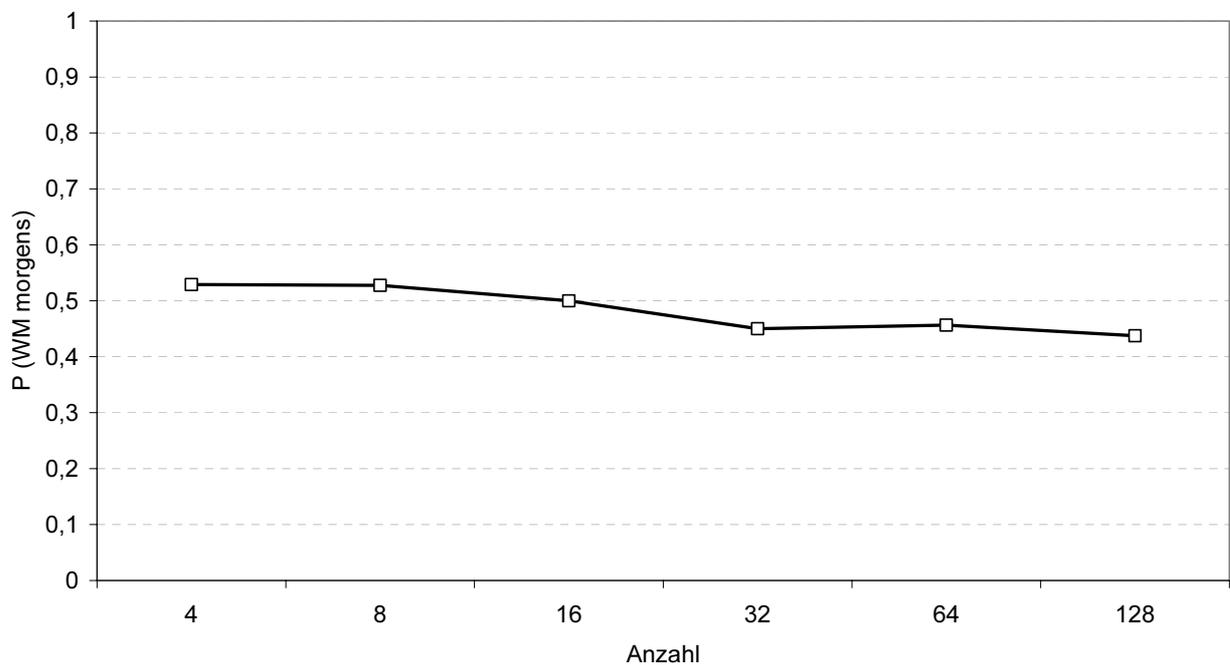


Abbildung 77: „Wachheit – Müdigkeit morgens“ der Experimentalgruppen (N = 112) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

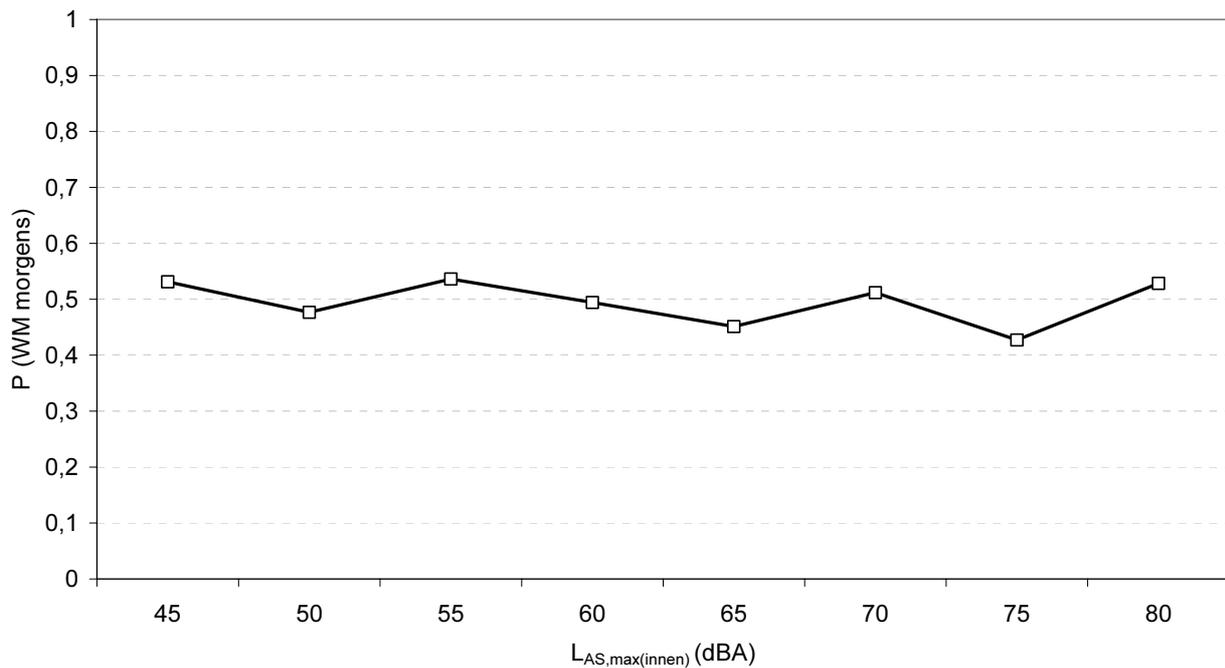


Abbildung 78: „Wachheit – Müdigkeit morgens“ der Experimentalgruppen (N = 112) in Abhängigkeit vom Maximalpegel $L_{AS,max}$.

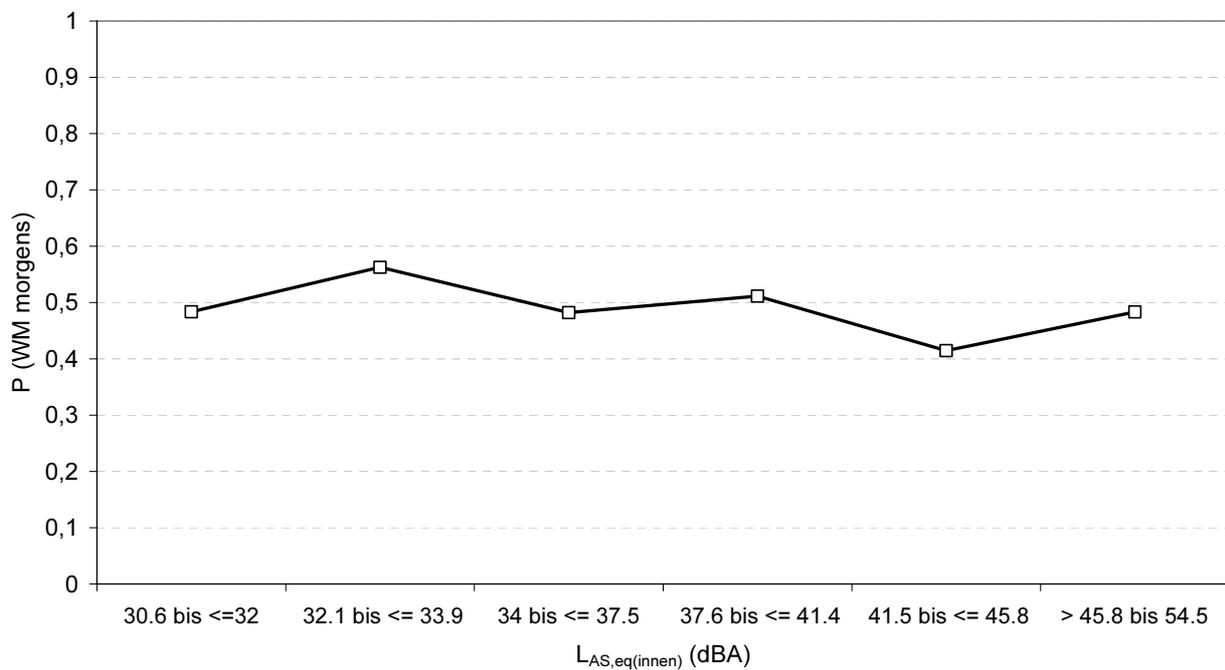


Abbildung 79: „Wachheit – Müdigkeit morgens“ der Experimentalgruppen (N = 112) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

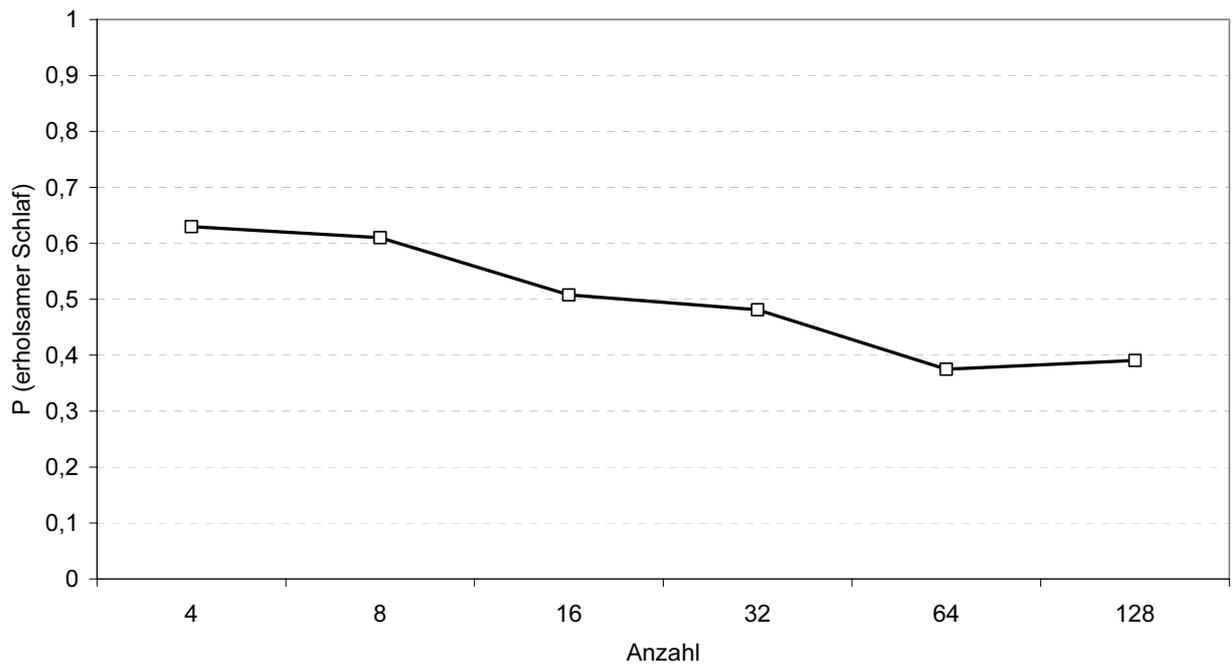


Abbildung 80: „Erholsamer Schlaf“ der Experimentalgruppen (N = 112) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

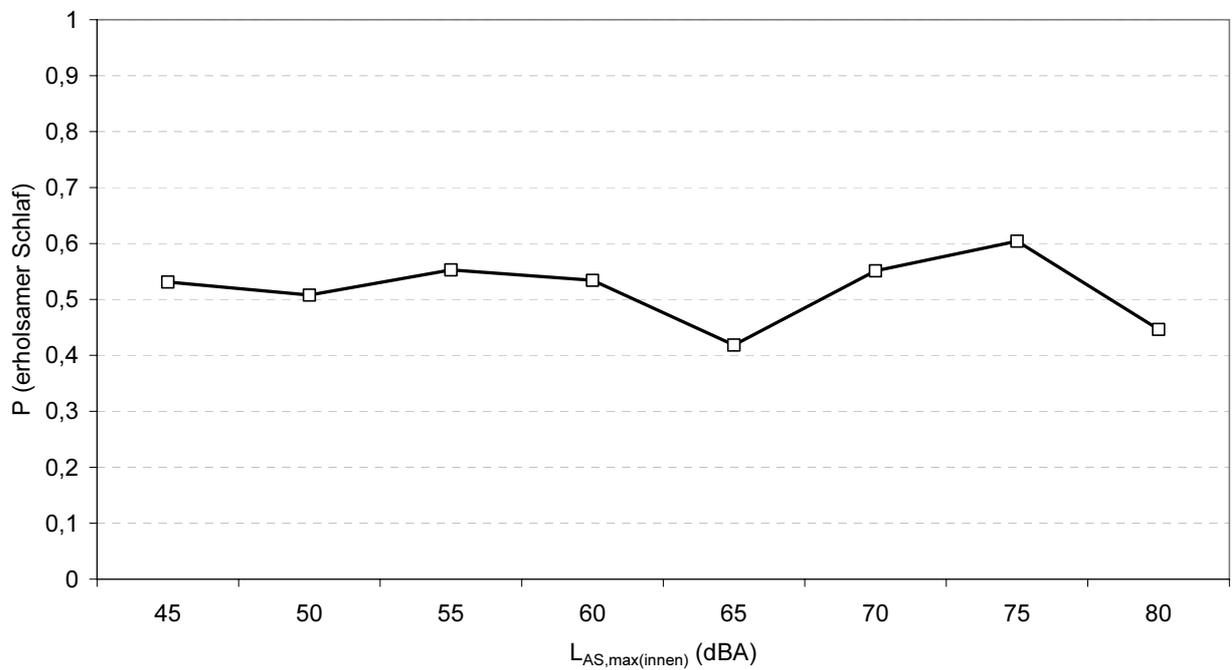


Abbildung 81: „Erholsamer Schlaf“ der Experimentalgruppen (N = 112) in Abhängigkeit vom Maximalpegel $L_{AS,max}$.

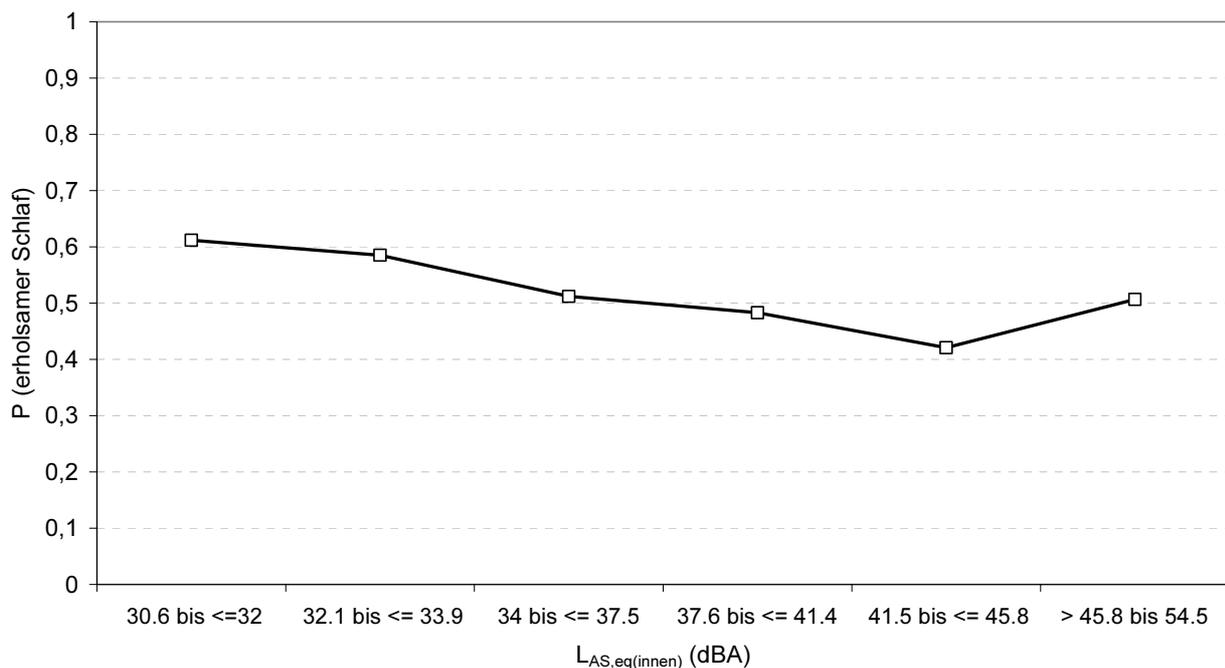


Abbildung 82: „Erholsamer Schlaf“ der Experimentalgruppen (N = 112) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{AS,eq}.

2.4 Ergebnisse aus der Feldstudie³⁰

2.4.1 Fluglärminduzierte Sekundärreaktionen der Feldstudienprobanden

2.4.1.1 Deskriptive Statistik

Tabellen 28 und 29 führen die dem nicht-metrischen Skalenniveau entsprechenden Maße der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und Streuung (Spannweite) der Befindlichkeit sowie Beanspruchung und Erholung für die untersuchten Feldstudienprobanden (N = 64) auf. Es wurden alle neun Untersuchungsächte berücksichtigt.

³⁰Infolge des nicht-metrischen Skalenniveaus und der nicht hinreichenden Normalverteilung aller Daten, die sich im Kolmogorov-Smirnov-Test für die Daten aus der Feldstudie zeigte, wurden nicht-parametrische Verfahren gewählt. Bei allen Analysen wurde die zugrunde gelegte Irrtumswahrscheinlichkeit nach Bonferoni in Abhängigkeit von der Anzahl der durchgeführten Einzeltests auf α/n korrigiert.

Statistiken

		GS abends	WM abends	RU abends	GS morgens	WM morgens	RU morgens
N	Gültig	510	510	510	570	570	570
	Fehlend	66	66	66	6	6	6
Median		35	26	33	33	26	33
Modus		36	28	36	36	26	36
Spannweite		26	32	27	30	32	24

Tabelle 28: Kennwerte der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) für die Befindlichkeit der Feldstudienprobanden (N = 64) (Abkürzungen: GS = gute – schlechte Stimmung, WM = Wachheit – Müdigkeit, RU = Ruhe – Unruhe).

Statistiken

	BEL-ALLG	BEL-EMO	BEL-SOZ	KONFL	UEBMUED	ENLOS	BEL-SOM	ERFOLG	ERH-SOZ	ERH-SOM	ERH-ALLG	SCHLAF	BE-G	ERH-G
	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512	512
N	Gültig	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fehlend	,17	,33	,67	1,17	,83	,67	2,33	2,00	3,00	3,67	3,67	,62	3,00
Median	,00	,00	,00	,00	,50	,67	,17 ^a	1,67	1,17	3,17 ^a	3,67	3,17	,38	3,27
Spannweite	5,50	5,00	5,67	5,67	5,83	4,67	3,83	5,00	5,83	5,50	6,00	6,00	4,45	4,83

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.

Tabelle 29: Kennwerte der zentralen Tendenz (Median und Modalwert) und der Streuung (Spannweite) für die Beanspruchung und Erholung der Feldstudienprobanden (N = 64) (Abkürzungen: BEL-ALLG = allgemeine Belastung, BEL-EMO = emotionale Belastung, BEL-SOZ = soziale Spannungen, KONFL = ungelöste Konflikte – Erfolgslosigkeit, UEBMUED = Übermüdung – Zeitdruck, ENLOS = Energielosigkeit – Unkonzentriertheit, BEL-SOM = körperliche Beschwerden, ERFOLG = Erfolg – Leistungsfähigkeit, ERH-SOZ = Erholung im sozialen Bereich, ERH-SOM = körperliche Erholung, ERH-ALLG = allgemeine Erholung - Wohlbefinden, SCHLAF = erholsamer Schlaf, BE-G = Gesamtbeanspruchung, ERH-G = Gesamterholung).

2.4.1.2 Inferenzstatistische Analyse zu Messwertverläufen über die Zeit

Um einen generellen Einfluss des Fluglärms aufzuzeigen, werden die Messwerte verschiedener Untersuchungstage im Feld anhand von Wilcoxon-Tests miteinander verglichen (Tabellen 30 und 31). Die psychologischen Reaktionsparameter zur Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung werden nach folgenden Tagen zu Hause miteinander verglichen:

- a) 1. vs. 2. Nacht: „First Night Effect“
- b) 2. vs. 6. Nacht: „Weekend Effect“
- c) 8. vs. 9. Nacht: „Last Night Effect“

Für den Vergleich der 8. mit der 9. Nacht („Last Night Effect“) konnten lediglich die Morgenwerte des MDBF herangezogen werden, da am letzten Untersuchungstag keine Abendwerte mehr für den MDBF und EBF erhoben wurden. Zu Hause besteht ein „First Night Effect“ für die Morgenwerte der Stimmung („GS morgens“) und der Wachheit („WM morgens“), d.h. die Vpn fühlen sich ähnlich wie im Labor nach der zweiten Untersuchungsnacht signifikant wohler und ausgeruhter. Im Hinblick auf die Beanspruchungs- und Erholungsparameter zeigt sich ein „First Night Effect“ für die Variablen „UEB-MUED“ (Übermüdung – Zeitdruck), „BEL-SOM“ (körperliche Beschwerden), „KONFL“ (ungelöste Konflikte – Erfolglosigkeit), „erholsamer Schlaf“, „BE-G“ (Gesamtbeanspruchung) und „ERH-G“ (Gesamterholung). Zusammengefasst bedeutet dies, dass die Probanden am Abend nach der zweiten Nacht signifikant weniger beansprucht und signifikant erholter (insbesondere im Hinblick den „erholsamen Schlaf“) als nach der ersten Untersuchungsnacht sind. Ein „Weekend Effect“ liegt für nahezu alle Befindlichkeits- als auch Beanspruchungs- und Erholungsgrößen vor. Ausnahmen sind die morgendliche Stimmung („GS morgens“) sowie „BEL-SOZ“ (soziale Spannungen) und „erholsamer Schlaf“. Insgesamt deutet dieser Befund darauf hin, dass die Untersuchungsteilnehmer am Wochenende in ihrer Befindlichkeit signifikant weniger beeinträchtigt sind und das Wochenende mit einem höheren Erholungswert

(bzw. einer geringeren Beanspruchung) verbinden, der „erholsame Schlaf“ ist dabei allerdings nicht betroffen. Anders als für die Labordaten besteht ein „Last Night Effect“ für alle Morgenwerte der Befindlichkeit, d.h. am letzten Untersuchungsmorgen sind die Vpn mit der Aussicht auf das baldige Versuchsende signifikant zufriedener,munterer und gelassener als am Morgen zuvor.

	1 vs. 2. Nacht (First Night Effect)	2. vs. 6. Nacht (Weekend Effect)	8. vs. 9. Nacht (Last Night Effect)
Z Sign	GSa2 – GSa1 (26NR, 31PR, 7B) -.112 .911	GSa6 - GSa2 (18NR, 36PR, 10B) -2.912 .004**	--
Z Sign	WMa2 – WMa1 (28NR, 34PR, 2B) -1.542 .123	WMa6 - WMa2 (19NR, 42PR, 3B) -4.290 .000**	--
Z Sign	RUa2 - RUa1 (29NR, 27PR, 8B) -.106 .915	RUa6 - RUa2 (13NR, 43PR, 8B) -4.466 .000**	--
Z Sign	GSm2 – GSm1 (18NR, 36PR, 8B) -2.657 .008*	GSm6 – GSm2 (19NR, 36PR, 7B) -2.246 .025	GSm9 – GSm8 (13NR, 38PR, 13B) -3.247 .001**
Z Sign	WMm2 – WMm1 (18NR, 38PR, 6B) -2.863 .004**	WMm6 - WMm2 (20NR, 38PR, 4B) -2.852 .004**	WMm9 – WMm8 (20NR, 39PR, 5B) -2.427 .015*
Z Sign	RUm2 - RUm1 (20NR, 30PR, 12B) -1.454 .146	RUm6 – RUm2 (16NR, 36PR, 10B) -3.024 .002**	RUm9 – RUm8 (16NR, 35PR, 13B) -2.580 .010*

Tabelle 30: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Befindlichkeit der Feldstudienprobanden nach verschiedenen Untersuchungstagen. Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/3 = .02$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: GSm = gute – schlechte Stimmung morgens, WMm = Wachheit – Müdigkeit morgens, RUm = Ruhe – Unruhe morgens, GSa = gute – schlechte Stimmung abends, WMa = Wachheit – Müdigkeit abends, RUa = Ruhe – Unruhe abends; NR = negative Ränge, PR = positive Ränge, B = Bindungen).

	1 vs. 2. Nacht (First Night Effect)	2. vs. 6. Nacht (Weekend Effect)
Z Sign	BEL-ALLG2 – BEL-ALLG1 (27NR, 22PR, 15B) -.913 .361	BEL-ALLG6 – BEL-ALLG2 (35NR, 11PR, 18B) -3.318 .001**
Z Sign	BEL-EMO2 – BEL-EMO1 (23NR, 22PR, 19B) -.628 .530	BEL-EMO6 – BEL-EMO2 (33NR, 15PR, 16B) -2.544 .011*
Z Sign	BEL-SOZ2 – BEL-SOZ1 (24NR, 20PR, 20B) -1.032 .302	BEL-SOZ6 – BEL-SOZ2 (27NR, 15PR, 22B) -2.157 .031
Z Sign	KONFL2 – KONFL1 (36NR, 13PR, 15B) -2.838 .005*	KONFL6 – KONFL2 (54NR, 4PR, 6B) -6.323 .000**
Z Sign	UEBMUE2 – UEBMUED1 (40NR, 15PR, 9B) -4.117 .000**	UEBMUE6 – UEBMUED2 (54NR, 9PR, 1B) -5.508 .000**
Z Sign	ENLOS2 - ENLOS1 (38NR, 21PR, 5B) -2.143 .032	ENLOS6 – ENLOS2 (53NR, 8PR, 3B) -5.420 .000**
Z Sign	BEL-SOM2 – BEL-SOM1 (38NR, 20PR, 6B) -2.862 .004**	BEL-SOM6 – BEL-SOM2 (32NR, 19PR, 13B) -2.9.05 .004**
Z Sign	ERFOLG2 - ERFOLG1 (26NR, 33PR, 5B) -1.326 .185	ERFOLG6 – ERFOLG2 (52NR, 10PR, 2B) -5.362 .000**
Z Sign	ERH-SOZ2 – ERH-SOZ1 (22NR, 35PR, 7B) -2.152 .031	ERH-SOZ6 – ERH-SOZ2 (13NR, 48PR, 3B) -4.282 .000**

Tabelle 31: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests (Prüfgröße Z) für den Vergleich der Beanspruchung und Erholung der Feldstudienprobanden nach verschiedenen Untersuchungstagen. Unter Berücksichtigung der Bonferonikorrektur ($\alpha/2 = .025$) sind signifikante Unterschiede mit * und sehr signifikante Unterschiede mit ** gekennzeichnet (Abkürzungen: BEL-ALLG = allgemeine Belastung, BEL-EMO = emotionale Belastung, BEL-SOZ = soziale Spannungen, KONFL = ungelöste Konflikte – Erfolglosigkeit, UEBMUED = Übermüdung – Zeitdruck, ENLOS = Energielosigkeit – Unkonzentriertheit, BEL-SOM = körperliche Beschwerden, ERFOLG = Erfolg – Leistungsfähigkeit, ERH-SOZ = Erholung im sozialen Bereich, ERH-SOM = körperliche Erholung, ERH-ALLG = allgemeine Erholung - Wohlbefinden, SCHLAF = erholsamer Schlaf, BE-G = Gesamtbeanspruchung, ERH-G = Gesamterholung; NR = negative Ränge, PR = positive Ränge, B = Bindungen)

	1 vs. 2. Nacht (First Night Effect)	2. vs. 6. Nacht (Weekend Effect)
Z Sign	ERH-SOM2 – ERH-SOM1 (27NR, 33PR, 4B) -.719 .472	ERH-SOM6 – ERH-SOM2 (13NR, 46PR, 5B) -4.790 .000**
Z Sign	ERH-ALLG2 – ERH-ALLG1 (28NR, 33PR, 3B) -.715 .474	ERH-ALL6 – ERH-ALLG2 (13NR, 47PR, 4B) -4.421 .000**
Z Sign	SCHLAF2 – SCHLAF1 (10NR, 50PR, 4B) -5.051 .000**	SCHLAF6 – SCHLAF2 (22NR, 35PR, 7B) -1.921 .055
Z Sign	BE-G2 – BE-G1 (41NR, 20PR, 3B) -2.608 .009*	BE-G6 – BE-G2 (57NR, 7PR, 0B) -6.083 .000**
Z Sign	ERH-G2 – ERH-G1 (22NR, 40PR, 2B) -2.984 .003**	ERH-G6 – ERH-G2 (18NR, 46PR, 0B) -3.187 .001**

Fortsetzung von Tabelle 31

Im Folgenden werden die Messwertverläufe aller Befindlichkeits-, Beanspruchungs- und Erholungsvariablen über den Zeitraum der gesamten Feldstudie (9 Nächte für die Morgenwerte, 8 Nächte für die Abendwerte) dargestellt (Abbildungen 83 bis 102).

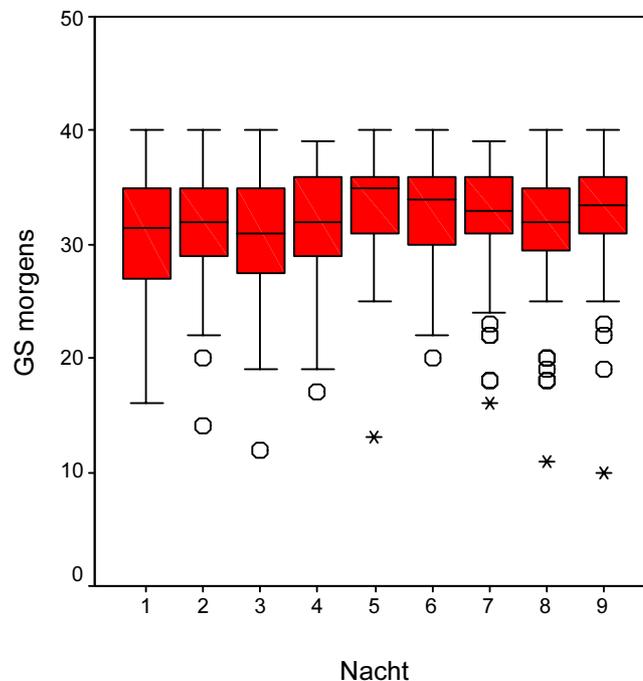


Abbildung 83: „Gute – schlechte Stimmung morgens“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

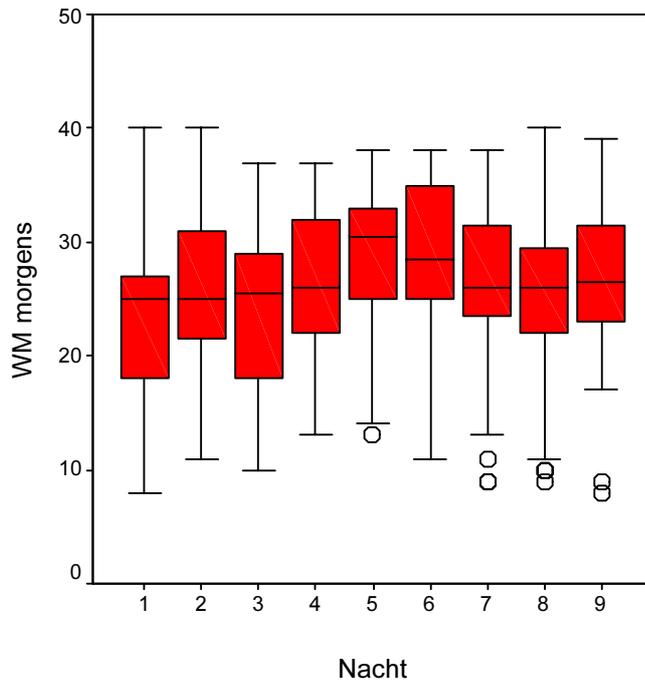


Abbildung 84: „Wachheit – Müdigkeit morgens“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

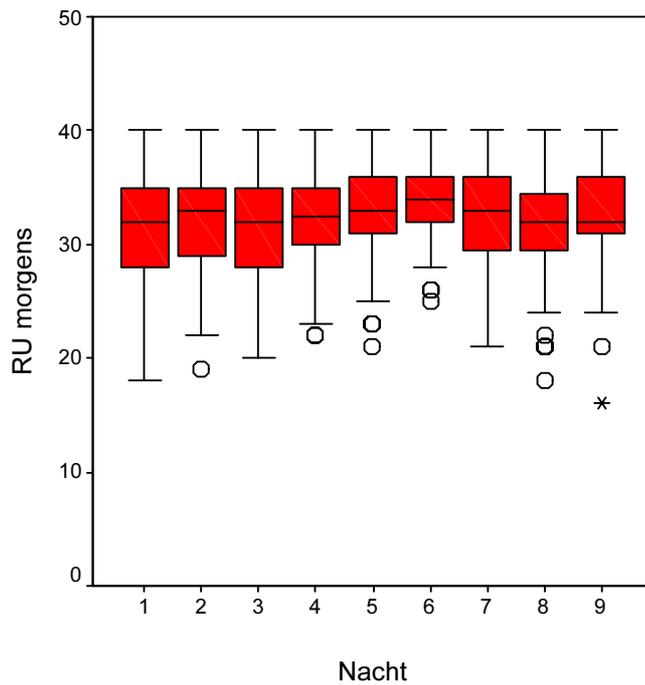


Abbildung 85: „Ruhe - Unruhe morgens“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

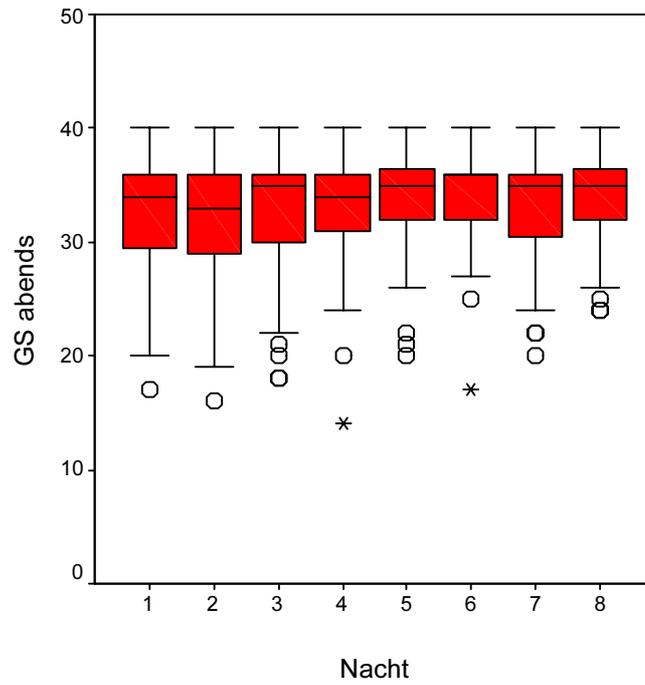


Abbildung 86: „Gute – schlechte Stimmung abends“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

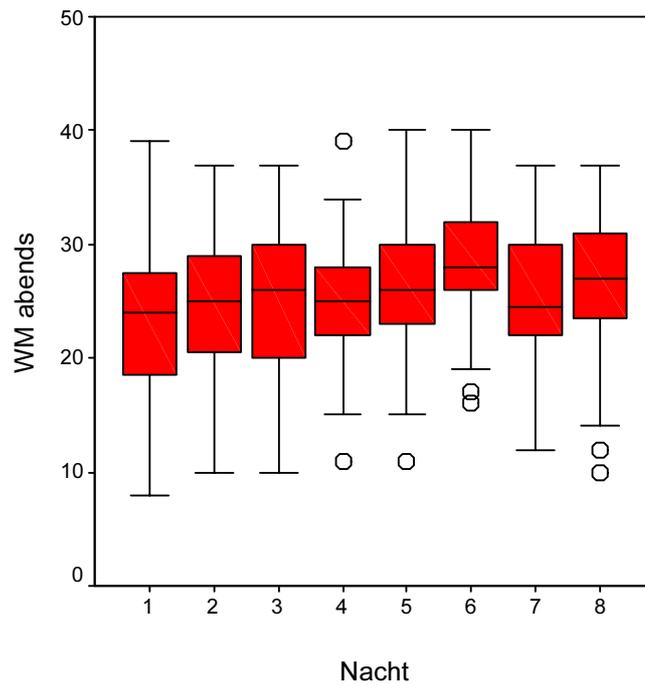


Abbildung 87: „Wachheit - Müdigkeit abends“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

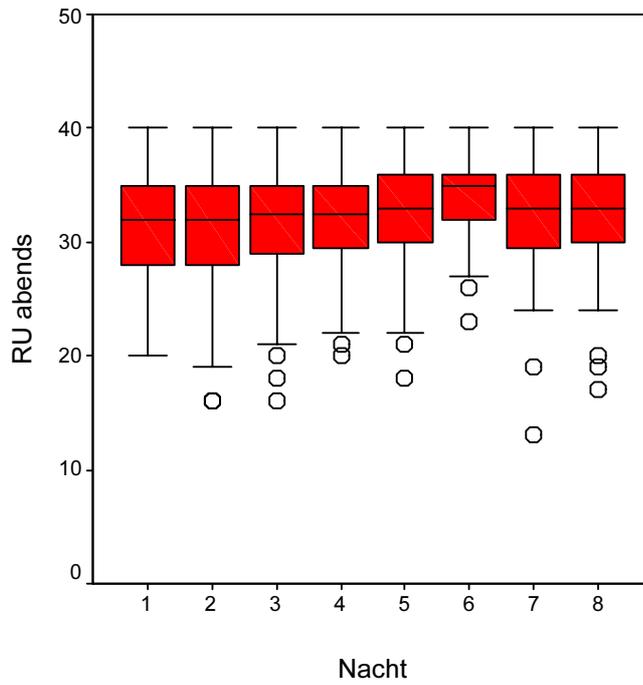


Abbildung 88: „Ruhe - Unruhe abends“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

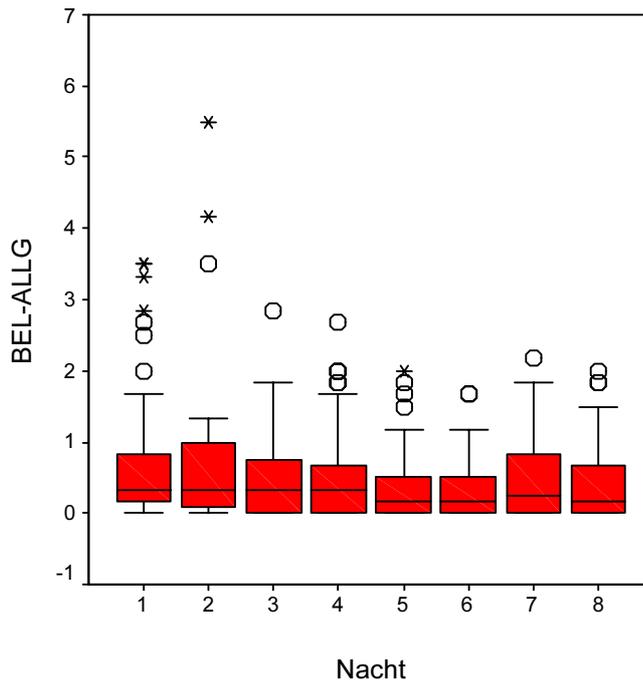


Abbildung 89: „Allgemeine Belastung“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

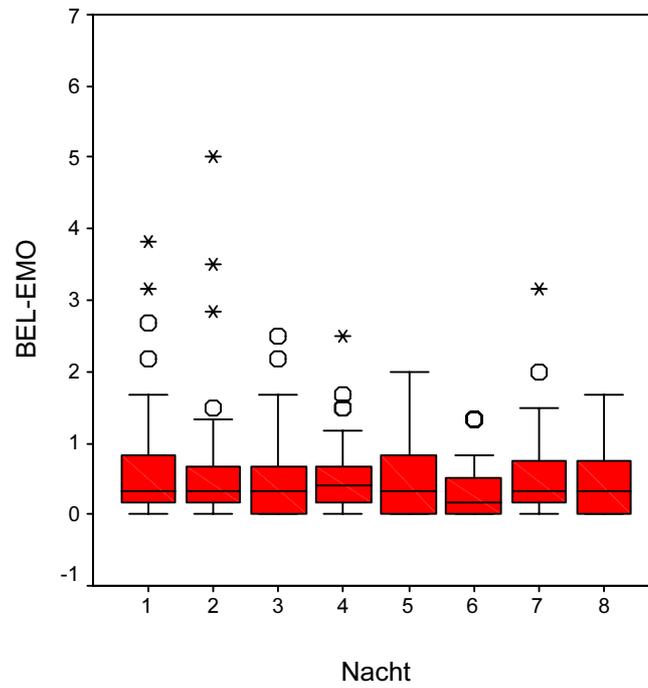


Abbildung 90: „Emotionale Belastung“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

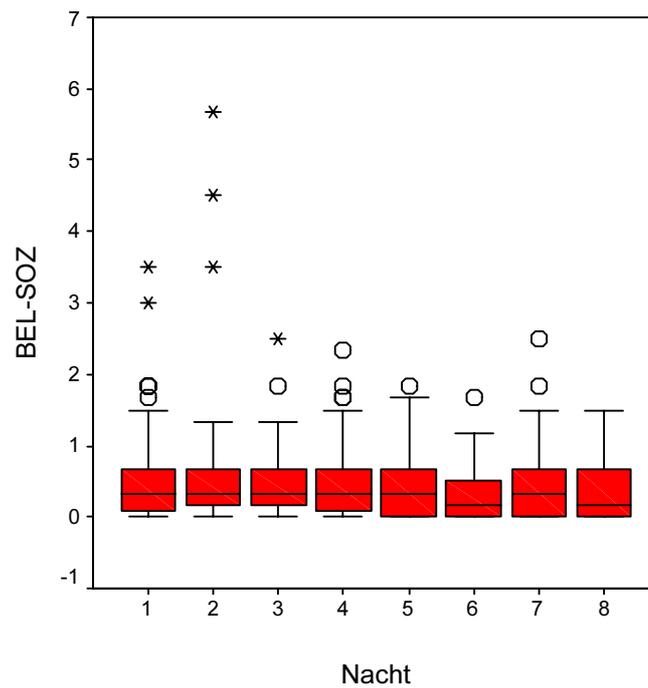


Abbildung 91: „Soziale Spannungen“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

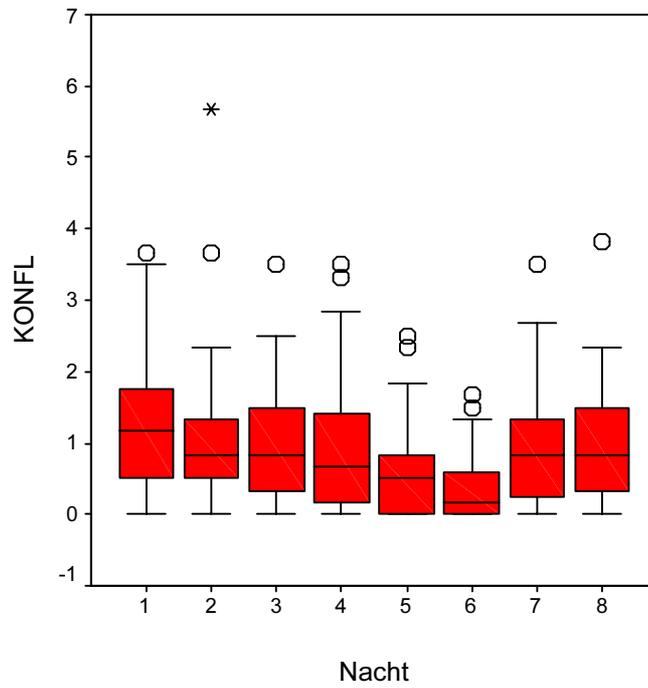


Abbildung 92: „Ungelöste Konflikte – Erfolglosigkeit“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

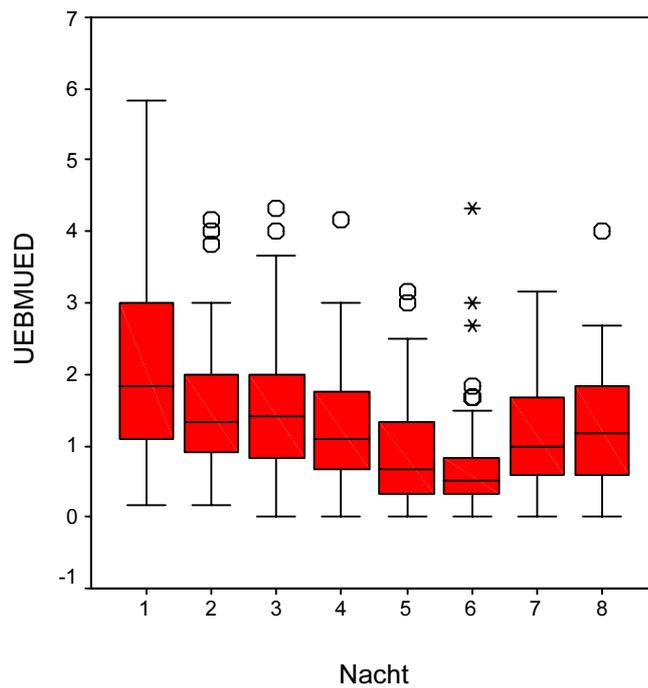


Abbildung 93: „Übermüdung – Zeitdruck“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

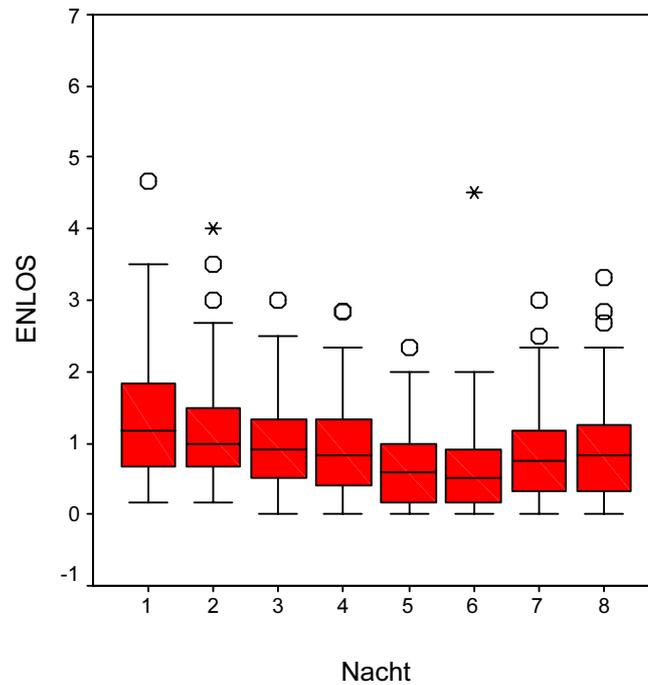


Abbildung 94: „Energierlosigkeit – Unkonzentriertheit“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

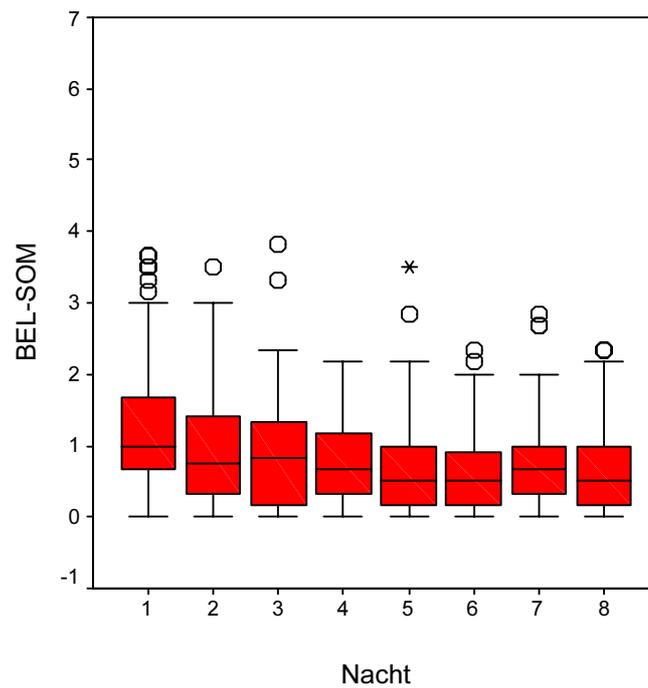


Abbildung 95: „Körperliche Beschwerden“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

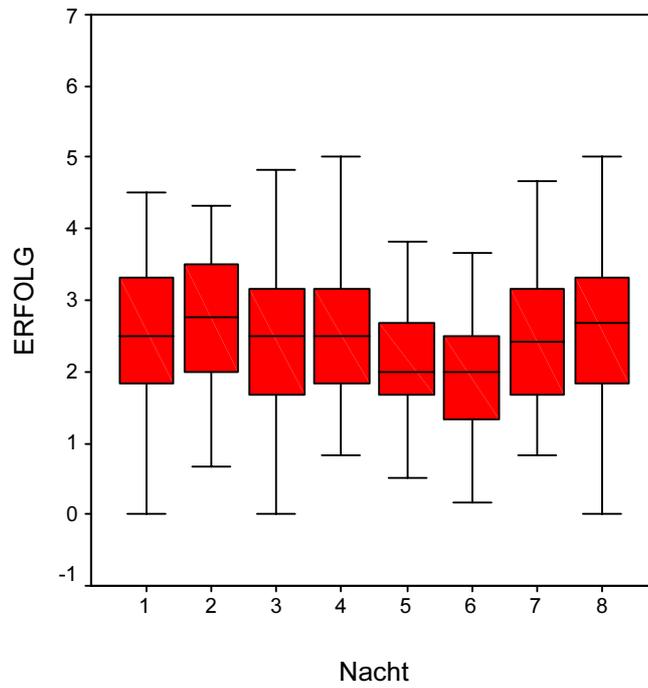


Abbildung 96: „Erfolg – Leistungsfähigkeit“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

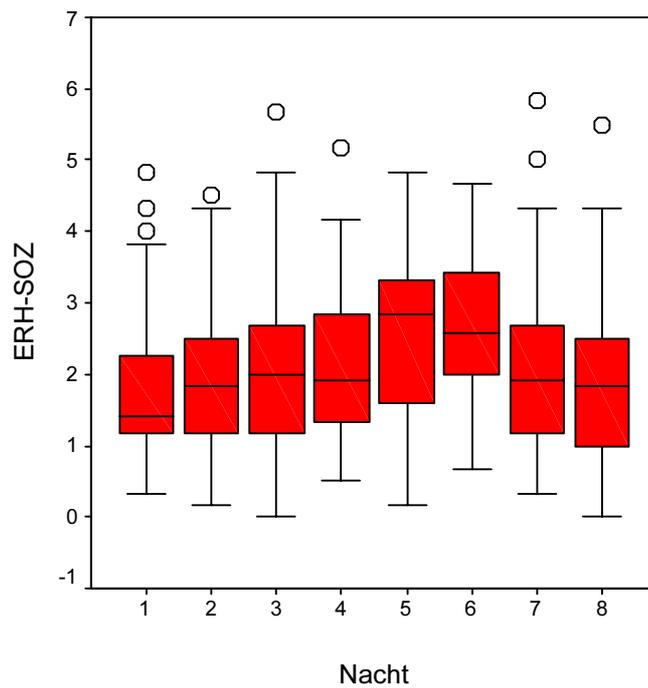


Abbildung 97: „Erholung im sozialen Bereich“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

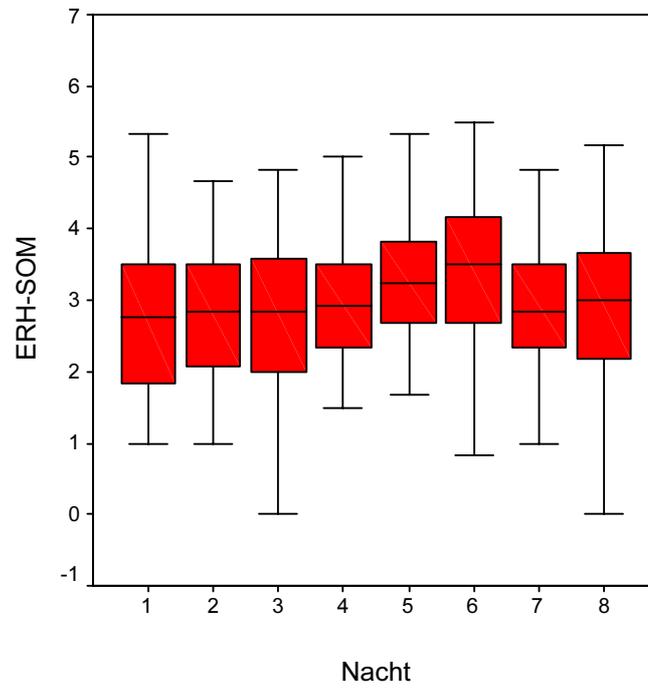


Abbildung 98: „Körperliche Erholung“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

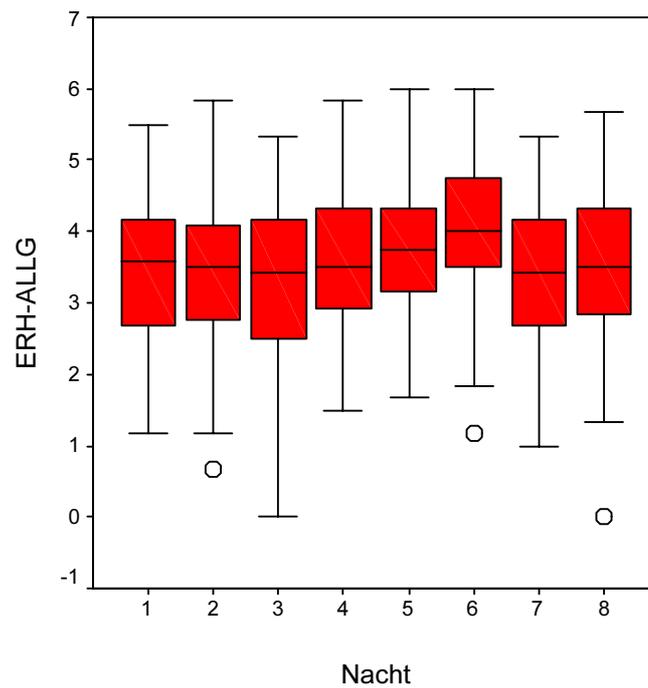


Abbildung 99: „Allgemeine Erholung – Wohlbefinden“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

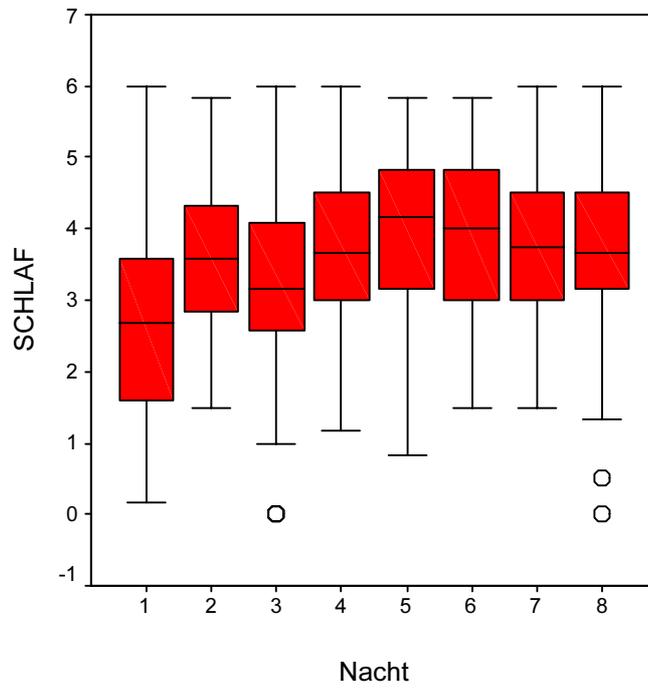


Abbildung 100: „Erholsamer Schlaf“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

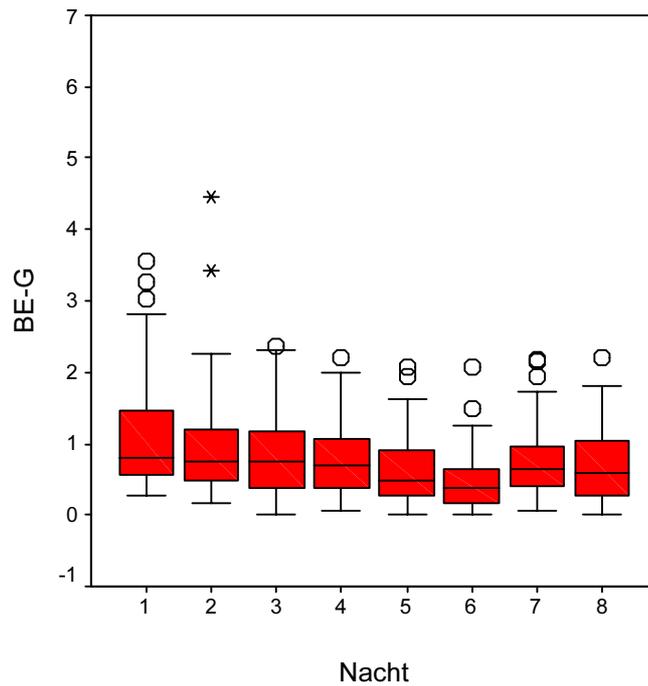


Abbildung 101: „Gesamtbeanspruchung“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

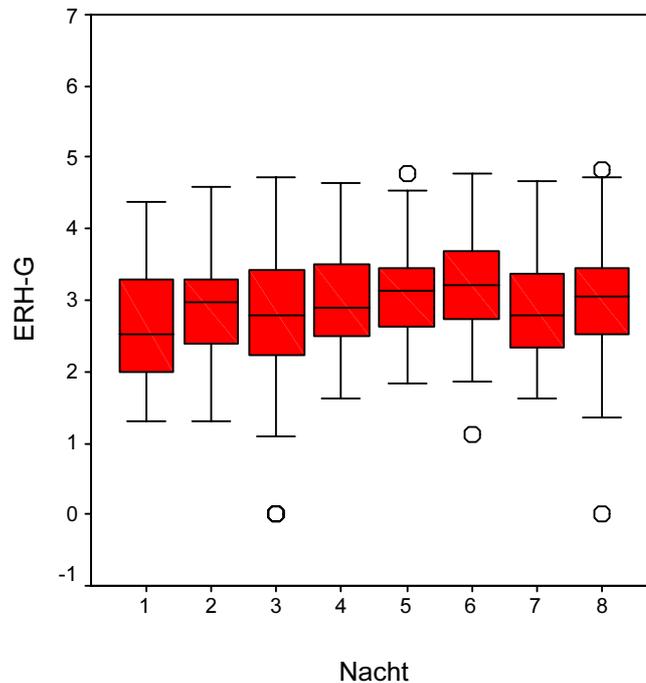


Abbildung 102: „Gesamterholung“ der Feldstudienprobanden (N = 64) über den Verlauf der gesamten Feldstudie.

2.4.1.3 Dosis-Wirkungs-Kurven

Für die Ableitung von *Dosis-Wirkungs-Kurven* zwischen unabhängigen physikalischen Fluglärmparametern ($L_{A5,eq}$, Anzahl an Flugereignissen) und abhängigen psychologischen Reaktionsgrößen wurde zunächst der Zusammenhang zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen deskriptiv überprüft (Abbildungen 103 bis 108 für die Morgenwerte des MDBF, Abbildungen 109 bis 114 für den EBF). Es wurden dabei alle neun Untersuchungs Nächte im Feld berücksichtigt. Die Ergebnisse für den EBF werden exemplarisch anhand der Dimensionen „Gesamtbeanspruchung“ (BE-G), „Gesamterholung“ (ERH-G) und „erholsamer Schlaf“ illustriert. Alles in allem sind ähnlich wie für die Laborstudie keine systematischen Interaktionen der Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung mit den physikalischen Fluglärmparametern erkennbar; die aufgetragenen Wahrscheinlichkeiten variieren im Bereich von $P = 0.40$ bis 0.60 . *Alle logistischen Regressionsanalysen ergeben daher keine signifikanten Dosis-Wirkungs-Beziehungen für die Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung.* Es wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisse verzichtet.

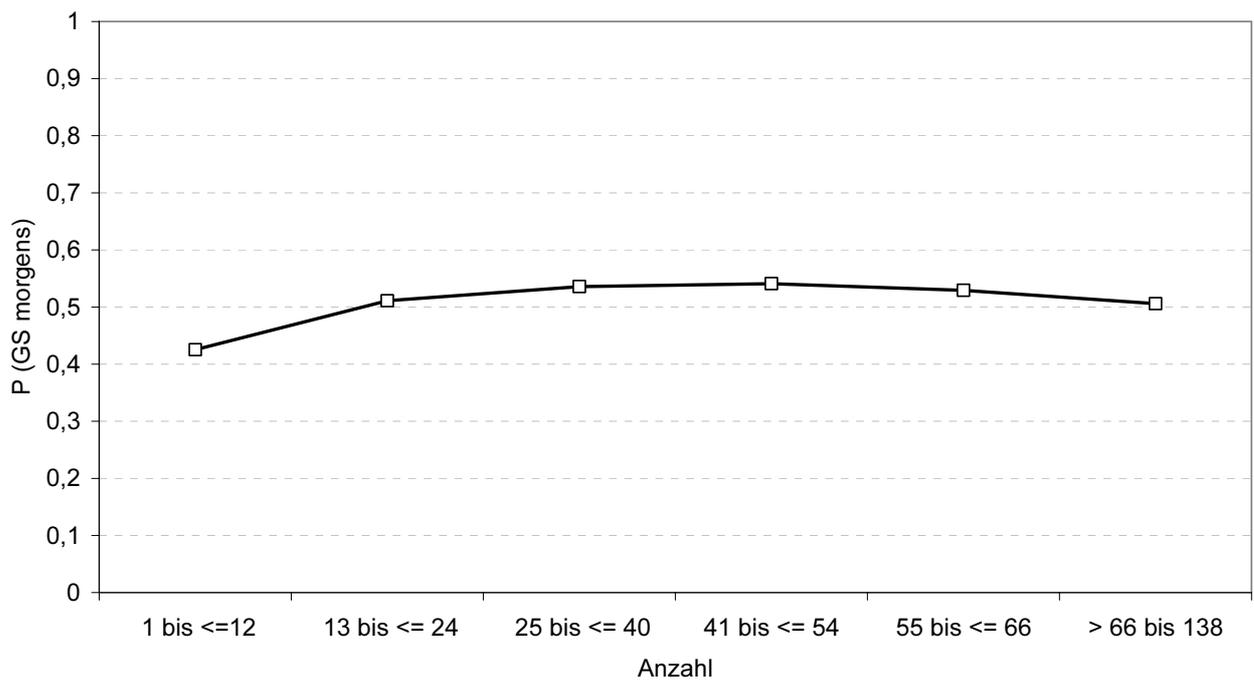


Abbildung 103: „Gute – schlechte Stimmung morgens“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

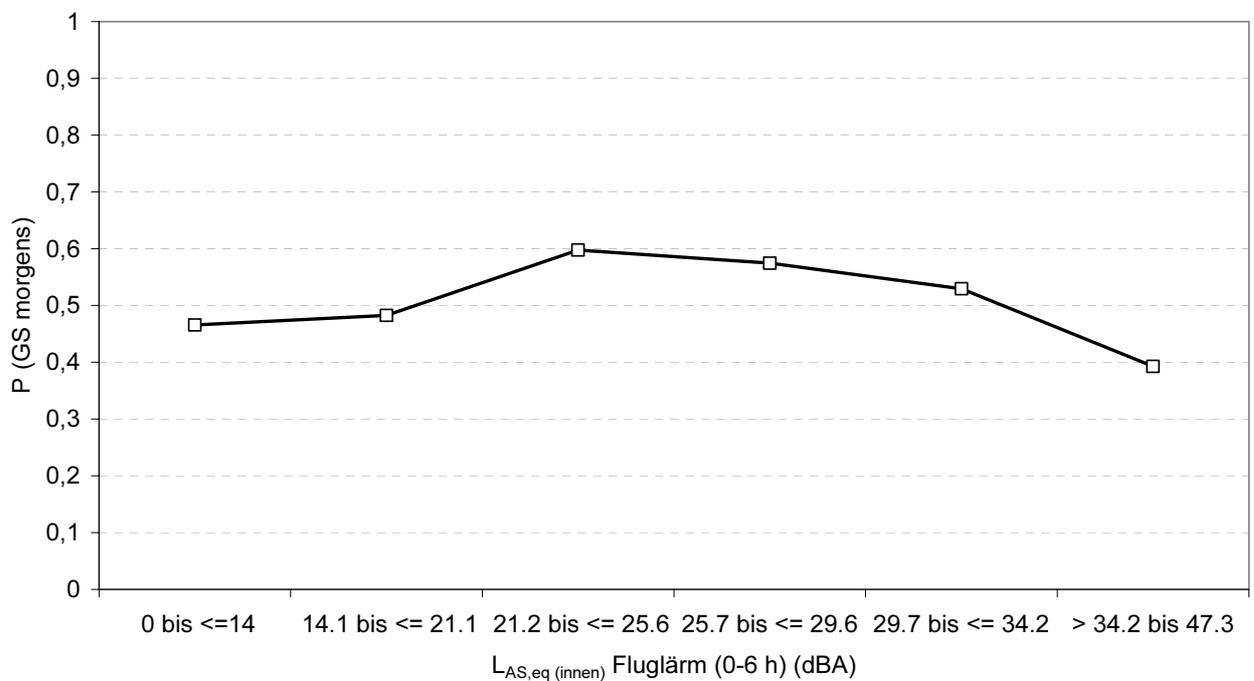


Abbildung 104: „Gute – schlechte Stimmung morgens“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

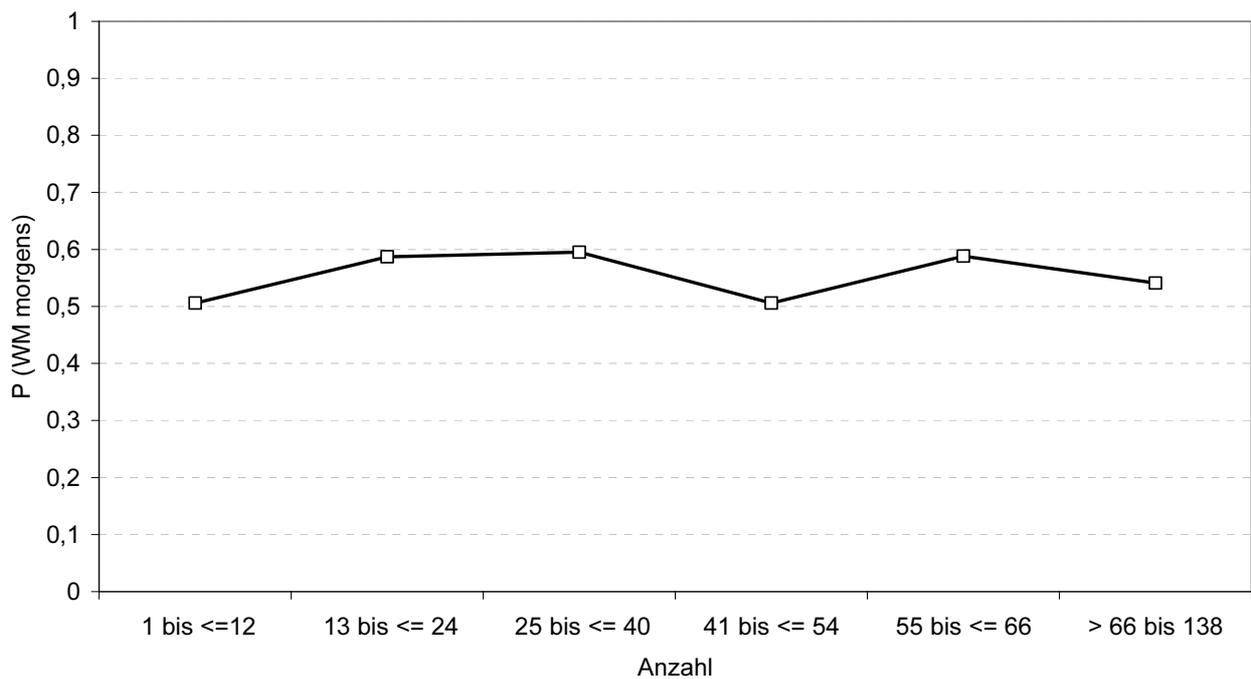


Abbildung 105: „Wachheit - Müdigkeit morgens“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

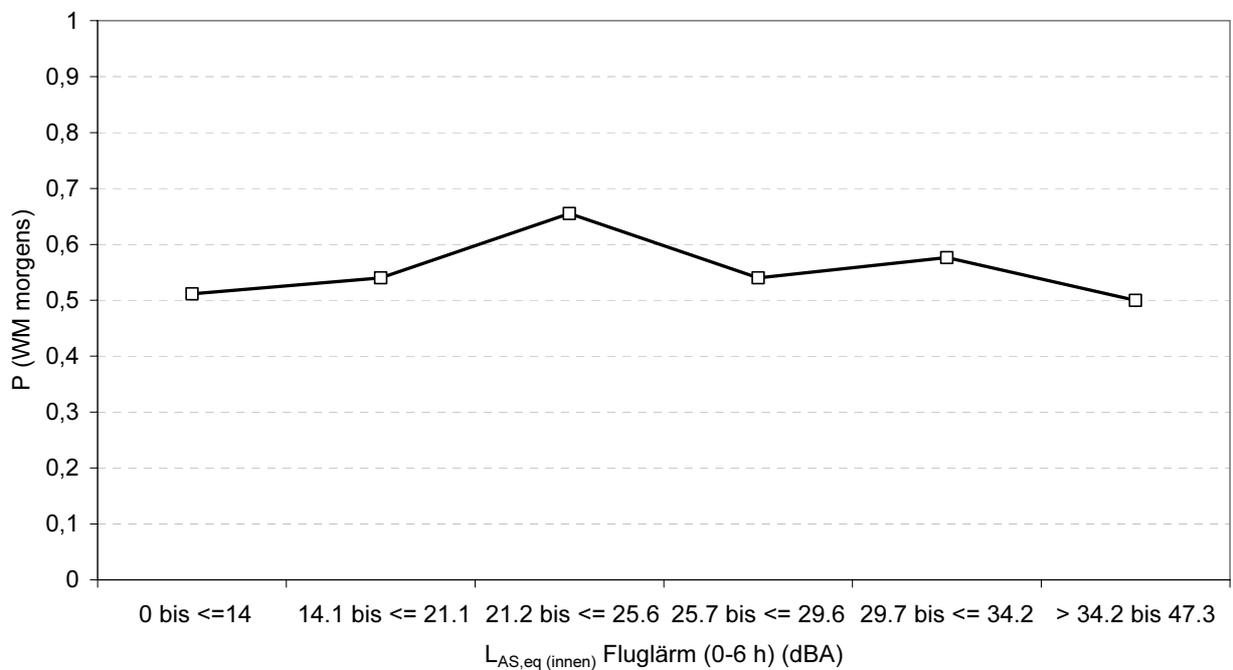


Abbildung 106: „Wachheit - Müdigkeit morgens“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

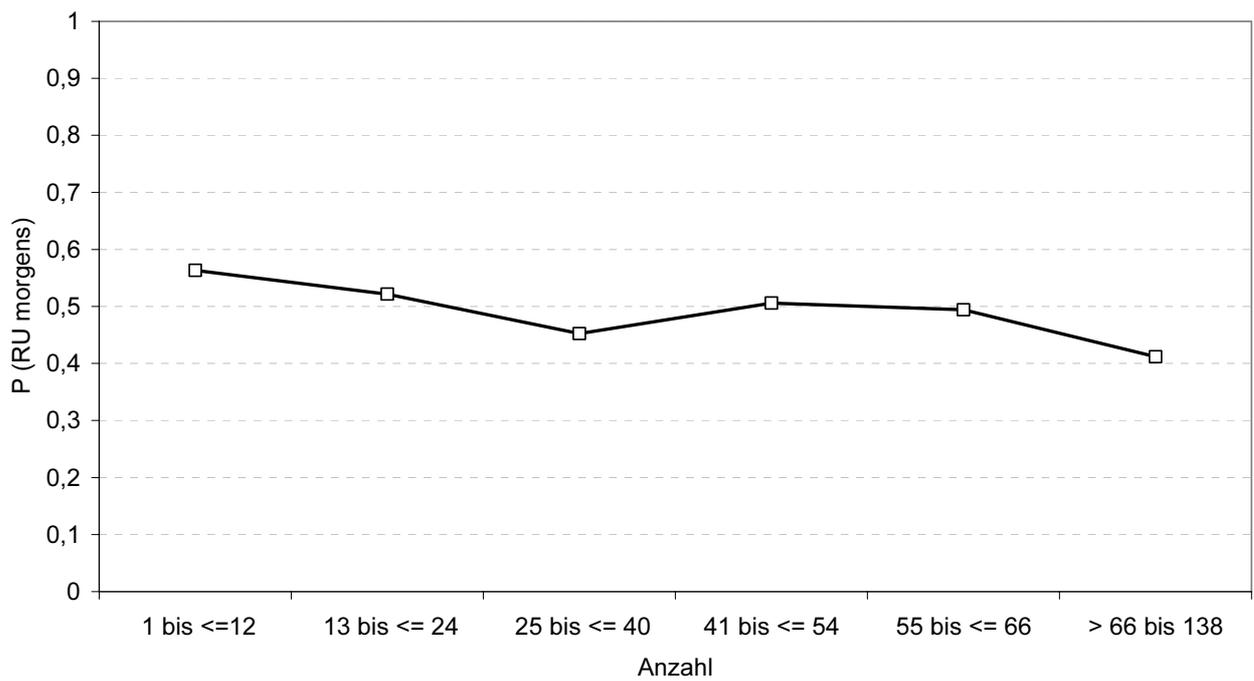


Abbildung 107: „Ruhe - Unruhe morgens“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

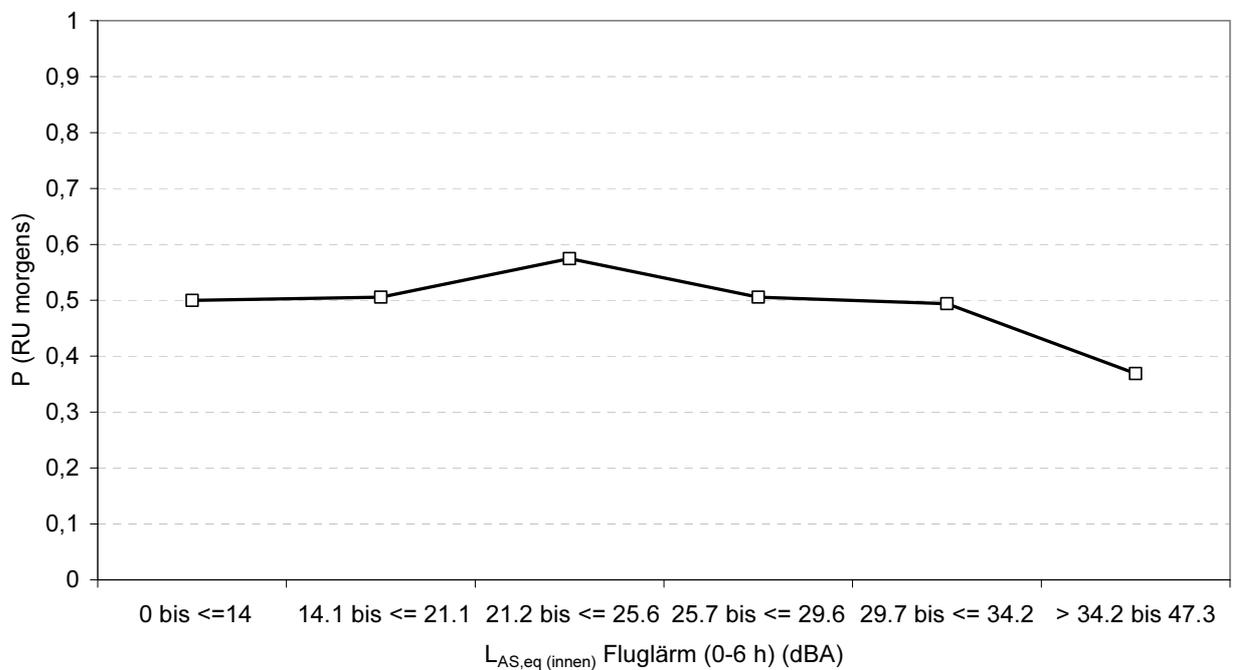


Abbildung 108: „Ruhe - Unruhe morgens“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

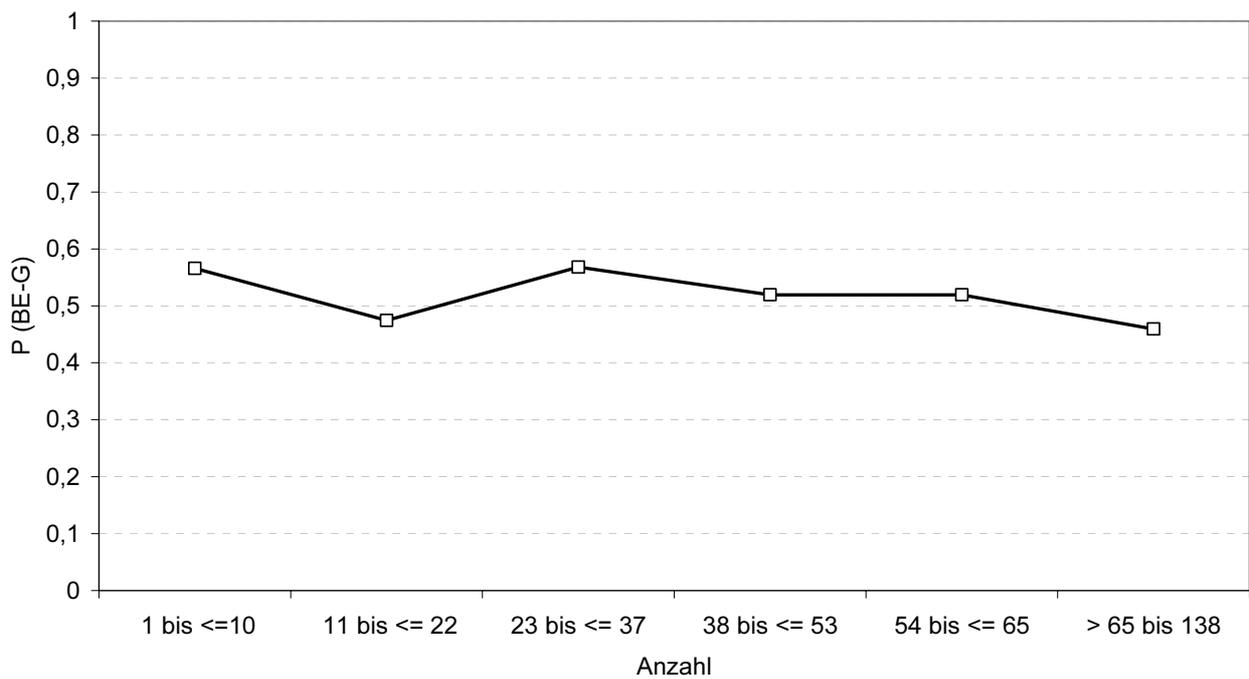


Abbildung 109: „Gesamtbeanspruchung“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

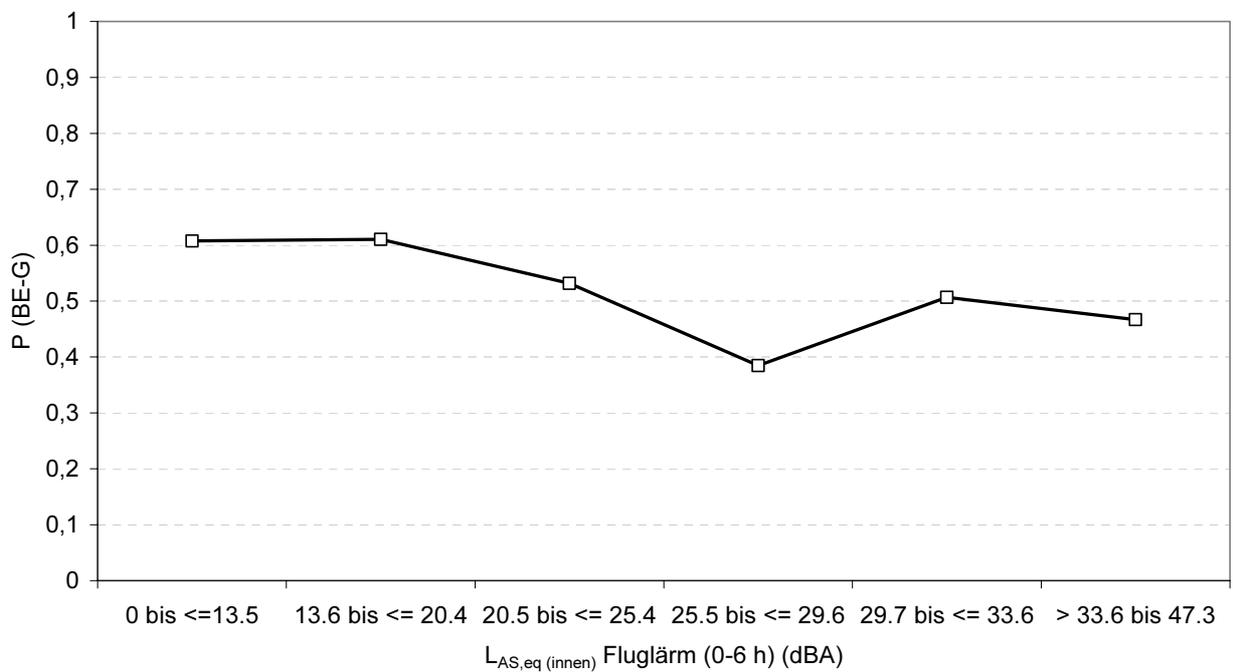


Abbildung 110: „Gesamtbeanspruchung“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

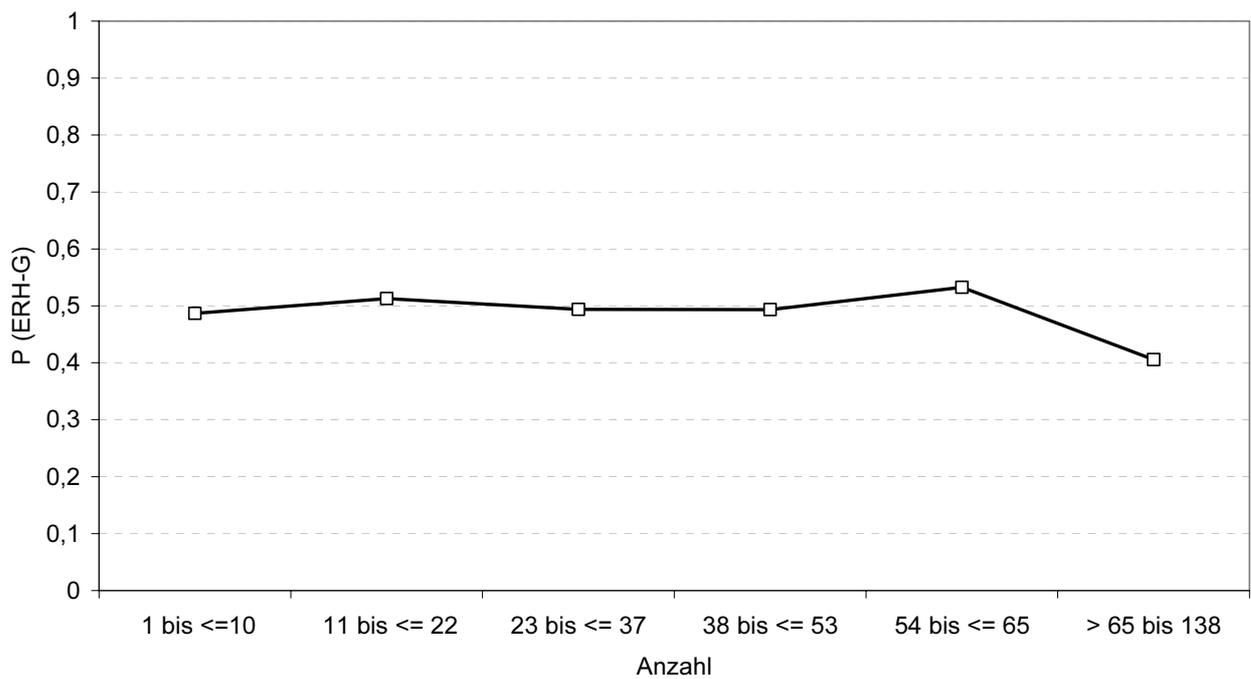


Abbildung 111: „Gesamterholung“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

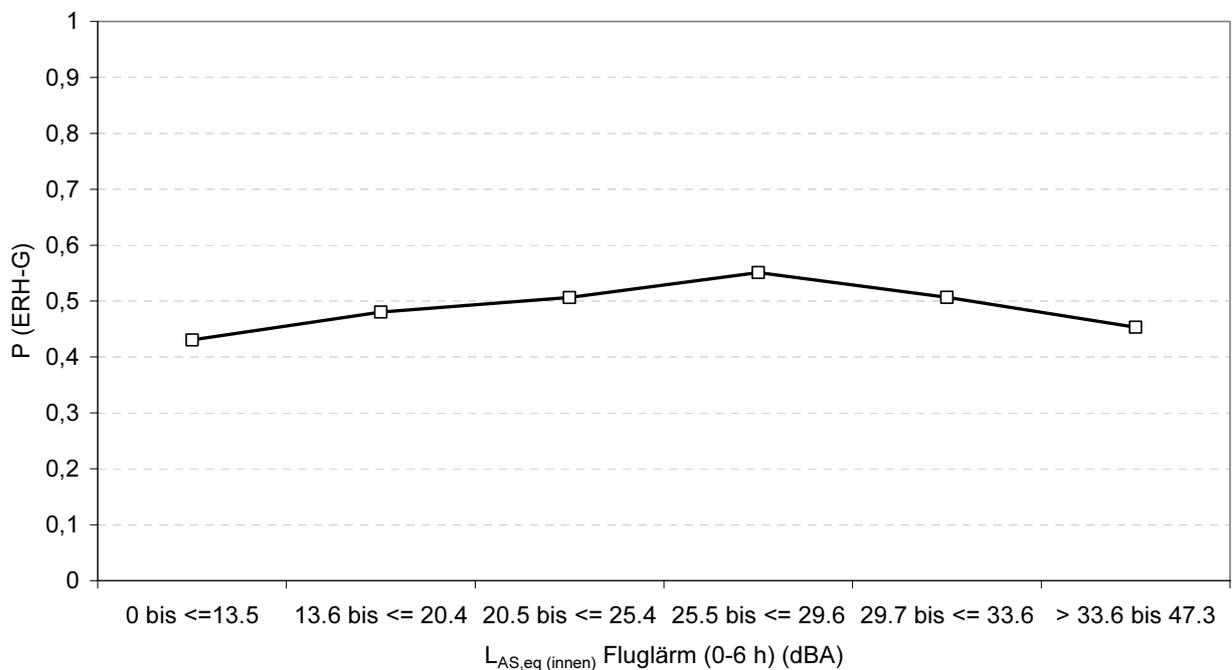


Abbildung 112: „Gesamterholung“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

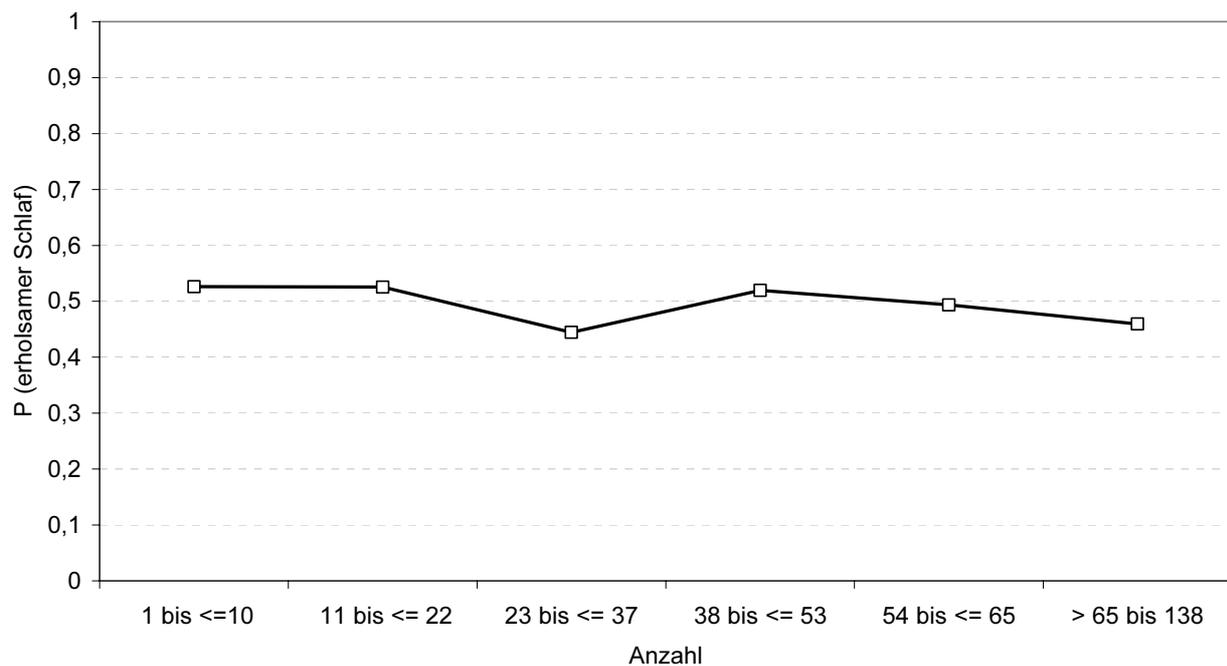


Abbildung 113: „Erholsamer Schlaf“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit von der Anzahl der Flugereignisse.

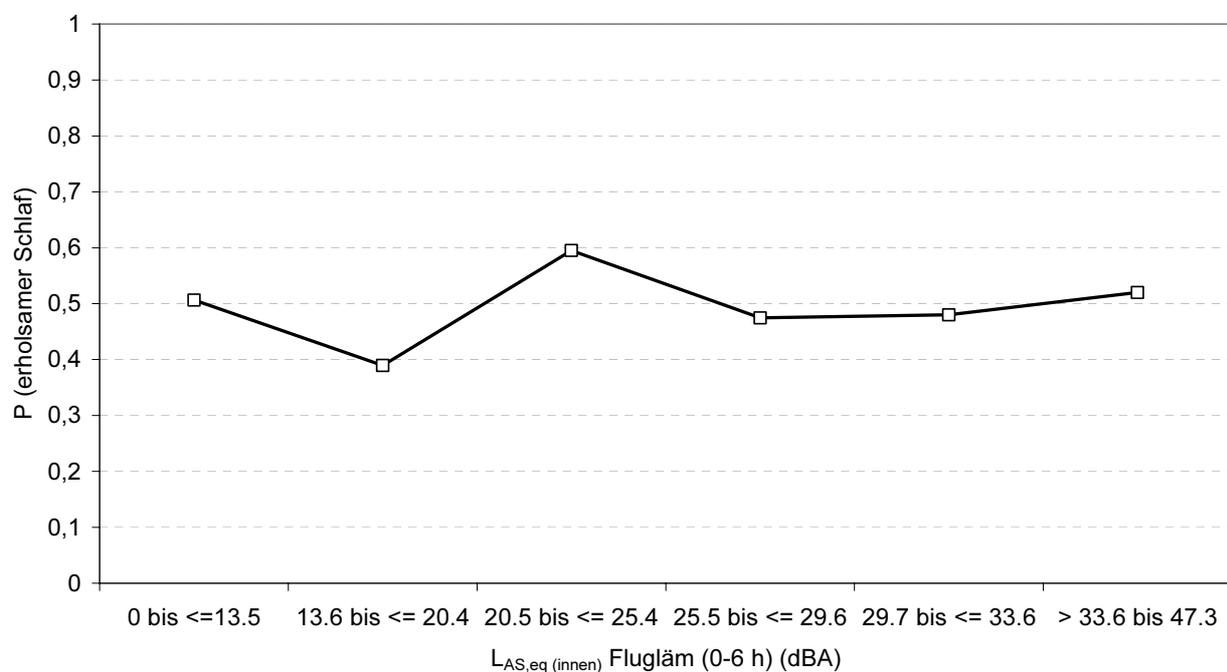


Abbildung 114: „Erholsamer Schlaf“ der Feldstudienstichprobe (N = 64) in Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{AS,eq}$.

ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

TEIL 1: LÄRMBELÄSTIGUNG

In einer laborexperimentellen Studie wurden die humanspezifischen psychologischen Wirkungen von Nachtfluglärm auf die Belästigung, die subjektive Fluglärmbelastung (bezüglich Stärke und Häufigkeit) und das Schlaferleben untersucht. Die Laboruntersuchung wurde mit 128 Vpn während 13 aufeinander folgender Nächte in der Arbeitsmedizinischen Simulationsanlage (AM-SAN) des DLR Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin durchgeführt. Die 112 Probanden der Experimentalgruppen wurden in neun Nächten mit Fluglärm unterschiedlicher Intensität und Häufigkeit beschallt. Eine Feldstudie mit insgesamt 64 Teilnehmern diente der Validierung der Laborergebnisse. Die Probanden aus der Felderhebung wohnten alle im Umfeld des Konrad-Adenauer-Flughafens Köln/Bonn und wurden während neun aufeinander folgender Nächte zu Hause untersucht.

Die Operationalisierung des Fluglärms erfolgte im Labor über die physikalischen Parameter Anzahl von Einzelflugereignissen (Pegelhäufigkeit), $L_{AS,max}$ und $L_{AS,eq}$. In der Feldstudie wurden Innen- und Außengeräusche zeitgleich aufgezeichnet und zur Berechnung einer Vielzahl akustischer Faktoren verwendet. In der vorliegenden Auswertung wurden davon die Anzahl an nächtlichen Flugereignissen und der $L_{AS,eq}$ als unabhängige Variablen genommen. Der maximale Schallpegel konnte dafür nicht ausgewählt werden, da er anders als im Labor unter realen Feldbedingungen pro Nacht variierte. Am Morgen nach dem Aufstehen wurden die Vpn in beiden Untersuchungssettings mit Hilfe eines Fragebogens nach der Belästigung durch den nächtlichen Fluglärm, dem Schlaferleben (hinsichtlich Quantität und Qualität sowie der Aufwachhäufigkeit), dem Ermüdungsgrad sowie der subjektiven Fluglärmbelastung (Fluglärmstärke und Häufigkeit unzumutbarer Fluggeräusche) befragt.

Folgende Fragestellungen wurden untersucht:

1. *In welchem Ausmaß besteht ein Zusammenhang zwischen Fluglärmbelastung und wahrgenommener Störwirkung?*
2. *Von welchem Niveau der Fluglärmbelastung beginnt die wahrgenommene Störwirkung relevant zu werden?*

Um einen *allgemeinen Einfluss des Fluglärms* aufzuzeigen, wurden die Messwerte verschiedener Untersuchungstage im Labor und Feld miteinander verglichen: Ein so genannter „First Night Effect“ besteht in beiden Settings für die *Schlafquantität und -qualität* und zusätzlich im Labor für die *Aufwachhäufigkeit* und die *Ermüdung* [vgl. Agnew et al. 1966; Basner et al. 2000, 2001; Griefahn 1985; Öhrström & Björkman 1988], d.h., dass die Vpn in der zweiten Nacht qualitativ und quantitativ signifikant besser als in der ersten Nacht schlafen und im Labor signifikant weniger häufig aufwachen und morgens weniger müde sind. Ein „Last Night Effect“ kann weder für das Labor noch das Feld für keine der Sekundärreaktionen nachgewiesen werden. Im Feld existiert außerdem kein „Weekend Effect“. In der ersten Lärnacht im Labor ergeben sich signifikante „Verschlechterungen“ aller Reaktionsgrößen im Vergleich zur zweiten ruhigen Basisnacht. In der ersten Ruhenacht nach den neun Lärnächten im Labor stellt sich eine signifikante „Verbesserung“ aller abhängigen Variablen ein.

Für die Laborstudie ergeben sich für alle betrachteten Sekundärreaktionen signifikante Haupteffekte des Maximalpegels und der Anzahl an Flugereignissen (Pegelhäufigkeit). Dieses Ergebnis entspricht vorausgegangenen Fluglärmstudien zur Belästigung [Björkman et al. 1992; DFG 1974; Fields 1984, 1993; Finke et al. 1980; Kastka & Faust 1998; Rylander et al. 1972, 1980, 1986; Rylander & Björkman 1988, 1997] sowie Untersuchungen zum Schlaferleben (im Hinblick auf die Reduktion der Schlafqualität) [Öhrström 1995; Öhrström & Rylander 1982, 1990]. Im Paarvergleich der Faktorstufen des *Maximalpegels* ($N = 8$) findet sich hypothesenkonform eine signifikante Zunahme der Belästigung und der subjektiven Fluglärmbelastung (bezüglich Stärke und Häufig-

keit) mit ansteigendem $L_{AS,max}$. Für eine signifikant erhöhte Störwirkung muss der Maximalpegel ausgehend von 55 dB(A) mindestens 10 dB(A) größer und ausgehend von 45, 50 und 60 dB(A) mindestens 20 dB(A) größer sein. Für die Einstufungen der Schlafquantität und -qualität sowie der Ermüdung liegen keine signifikanten Unterschiede vor. Bezüglich der bewerteten Aufwachhäufigkeit unterscheiden sich lediglich 45 dB(A) von 70 dB(A). Der Zusammenhang zwischen dem Ausmaß an Fluglärmexposition und resultierender Reaktion ist nach der vorliegenden Auswertung auch von der Anzahl an Flugereignissen abhängig [Guski 1999]. Paarvergleiche der Treatmentstufen der *Pegelhäufigkeit* (N = 6) belegen hypothesengerecht, dass eine Zunahme der Anzahl über 4 bzw. 8 Flugereignisse pro Nacht zu einem signifikanten Anstieg der Belästigung, erlebten Fluglärmbelastung (bezüglich Stärke und Häufigkeit) und Ermüdung sowie zu Beeinträchtigungen des Schlafs bezüglich Qualität, Aufwachhäufigkeit führt. Im Hinblick auf die Schlafquantität unterscheiden sich lediglich 4 von 64 Lärmereignissen. Für die Belästigung und die eingeschätzte Aufwachhäufigkeit unterscheiden sich zusätzlich 16 von 128 Flugbewegungen. Für das Schlaferleben spielt demzufolge die Häufigkeit an Flügen eine wichtigere Rolle als der maximale Schallpegel. Es finden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den mittleren Häufigkeits- (n = 32 und 64) und oberen Pegelstufen des $L_{AS,max}$ (75 dB(A) und 80 dB(A)), was vermutlich auf den unvollständig mehrfaktoriellen Versuchsplan zurückzuführen ist (z.B. wurden bei 75 dB(A) $L_{AS,max}$ nicht mehr als 16 und bei 80 dB(A) $L_{AS,max}$ nicht mehr als 8 Fluggeräusche pro Nacht eingespielt). Die Ergebnisse aus den Vergleichen der Kategorien des *energieäquivalenten Dauerschallpegels* (N = 9) legen dar, dass die Belästigungswirkung und das Erleben des applizierten Fluglärms (bezüglich Stärke und Häufigkeit) oberhalb von 33 dB(A) signifikant zunehmen. Mit Ausnahme der Ermüdung ergeben sich signifikante Einbußen aller erfassten Schlafvariablen mit ansteigender Fluglärmexposition > 33 dB(A). Die Befunde sprechen für die Validität des energieäquivalenten Dauerschallpegels zur Prognose fluglärminduzierter Störwirkungen [Aasvang & Engdahl 1999; Eberhardt et al. 1987; Griefahn 1986; Hellbrück 1993; Schick 1997]. Aufgrund des unvollständig mehrfaktoriellen Versuchsplans ergibt sich

für keine der abhängigen Variablen eine Unterscheidung zwischen mittleren und höheren Pegelstufen des $L_{AS,eq}$ (ab 39 dB(A)).

Zur Ableitung von *Dosis-Wirkungs-Kurven für die Fluglärmelast* wurden für die Labor- und Feldstudien *logistische Regressionen mit Zufallseffekten* in einem iterativen Modellierungsprozess angewendet. Um sowohl dem üblicherweise in der Literatur betrachteten Anteil „ziemlich“ bzw. „stark“ belästigter („highly annoyed“) [Guski 2001a; Jansen 1986; Rohrmann 1984a] als auch dem Teil mittelmäßig belästigter Personen Rechnung zu tragen, wurden bei den Analysen die oberen drei Kategorien der ursprünglich 5-stufigen Antwortskala zu einem Wert (1 = Vorliegen einer Belästigung durch Fluglärm) zusammengefasst.

Nach der Schätzung des *ersten, laborspezifischen Regressionsmodells L1*, das die unabhängigen Variablen $L_{AS,max}$ und Anzahl integriert, wächst der Anteil durch Fluglärm Belästigter mit Ansteigen des Maximalpegels und der Häufigkeit von Ereignissen, was mit Befunden aus bisherigen Studien zur belästigenden Fluglärmwirkung übereinstimmt [z.B. Björkman et al. 1992; Fields 1984; Rylander et al. 1972, 1980, 1986; Rylander & Björkman 1988]. 128 mal 55 dB(A) führen zum höchsten prozentualen Anteil prognostizierter Lärmbelästigter von über 80%. Anders als bei zurückliegenden Untersuchungen steigt der prozentuale Anteil auch bei weniger Flugbewegungen (< 16 Überflüge pro Nacht) mit zunehmendem $L_{AS,max}$ signifikant an. Dies lässt sich vermutlich auf die Laborsituation der Untersuchten zurückführen. Der Schlaf ist im Labor qualitativ und quantitativ anders als zu Hause. Im Labor wachen die Probanden deutlich häufiger auf, was mit einem erhöhten Belästigungspotential der in den Wachzeiten erlebten Fluggeräusche einhergehen kann [Basner 2004]. Die Einschätzung der Belästigung als Folge lärminduzierter Schlafstörungen ist nicht ganz einfach, da sich die Befragten auf einen bereits abgeschlossenen und nicht bewusst erlebten Zustand beziehen sollen. Sie ist nur indirekt auf der Basis erinnerter und bewusst erlebter Wachzeiten und Einschlafschwierigkeiten möglich. Bei einer großen Anzahl an nächtlichen Überflügen ist es wahrscheinlich, dass in den Phasen des Wachseins und Einschlafens mehr

Fluglärmereignisse bewusst erlebt wurden, die den Nachtschlaf stören und definitionsgemäß einen erhöhten Grad an Belästigung bewirken können. Diese Erklärung passt auch zu der Wahrnehmung von Fluglärm betroffenen, die trotz reduzierter Emissionspegel moderner Flugzeuge keine Erleichterung in ihrer lärmpsychologischen Belastung verspüren, da sie sich in der Einschätzung auf die erhöhte Anzahl an Flugbewegungen und die verkürzten Pausen im Lärmverlauf beziehen. Alles in allem scheint also die Häufigkeit von Überflügen bezüglich der Fluglärmbelastung eine wichtige Rolle zu spielen.

Das *zweite, laborspezifische Regressionsmodell L2* beschreibt eine anfängliche Vergrößerung des Anteils an Lärm-belästigten in Abhängigkeit vom energie-äquivalenten Dauerschallpegel (15% bei 30.6 dB(A) bis 70% bei 46.6 dB(A)). Gleiche Mittelungspegel, die auf unterschiedlichen Pegelhäufigkeitskombinationen basieren (z.B. 128 mal 55 dB(A) und 4 mal 70 dB(A)), gehen nicht mit dem gleichen Ausmaß an Belästigung einher. Deshalb reduziert sich im zweiten Regressionsmodell, das auf dem $L_{AS,eq}$ beruht, oberhalb von 46.6 dB(A) der Anteil belästigter Personen, was sich mit den zugrunde liegenden Pegelhäufigkeitskombinationen (laute, aber dafür weniger häufige Fluglärmereignisse pro Nacht) begründen lässt. Dadurch wird erneut die Bedeutsamkeit der Anzahl von nächtlichen Flugbewegungen für die Belästigung untermauert, die nach der vorliegenden Analyse bei einer geringeren Anzahl an lauterem Lärmereignissen in der Nacht abnimmt [vgl. auch Finke et al. 1980; Rohrman 1974; Rylander & Björkman 1997]. Gleichzeitig wird die nach wie vor in der Lärmwirkungsforschung vorherrschende Stellung des Mittelungspegels als bestes (objektives) Messverfahren zur Prognose von Lärm-belästigungen, zumindest für die Nacht, in Frage gestellt. Dies ist auch schon zuvor durch andere Untersuchungen zur Belästigungswirkung von Fluglärm (am Tag) geschehen [Björkman et al. 1992; Guski 2001; Kastka 1999, 2001a, 2001b; Kastka & Faust 1998; Rylander & Björkman 1988]. 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 etwa ihre Lautstärke und Anzahl reagieren.

In beiden laborspezifischen Modellen erweisen sich ein sozialer Image-Faktor (Notwendigkeit des Flugverkehrs) sowie zwei personenbezogene Parameter (Geschlecht, Fluglärmvorbelastung) als signifikante Moderatoren der Fluglärmbelastung. Es gilt, dass der vorhergesagte Teil durch Fluglärm belastigter Personen bei (1) Frauen, (2) bereits durch den in der häuslichen Umgebung vorherrschenden Fluglärm sehr Vorbelastigten und (3) einer nicht erachteten „Notwendigkeit des Flugverkehrs“ signifikant höher ist.

Nach der Prognose des *ersten, feldspezifischen Regressionsmodells F1* bestätigt sich die Wichtigkeit der Anzahl von nächtlichen Flugbewegungen für die Belästigung. Das Ausmaß an belastigten Personen steigt signifikant mit der Zunahme der Häufigkeit von Flügen an. 138 Fluglärmsituationen pro Nacht bewirken den höchsten Anteil Belästigter (etwa 55%). Das *zweite, feldspezifische Regressionsmodell F2* beschreibt eine signifikante Abhängigkeit vom energieäquivalenten Dauerschallpegel, d.h., dass sich die Gruppe der Fluglärm-belastigten mit ansteigendem $L_{AS,eq}$ vergrößert (bis 30% bei 47.3 dB(A)).

Wirksamer personenbezogener Moderator ist in beiden feldspezifischen Modellen die subjektive Gewöhnung an Fluglärm, in F1 kommt zusätzlich das Alter hinzu. Es gilt, dass der vorhergesagte Teil durch Fluglärm Belästigter bei (1) Personen mit keiner Fluglärmgewöhnung und (2) bei Älteren signifikant höher ausfällt.

Vergleicht man die aus den Regressionsmodellen abgeleiteten Dosis-Wirkungs-Kurven für Feld und Labor im gemeinsamen Wertebereich der unabhängigen Variablen Anzahl (unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Moderatoren und des eingeschränkten Gültigkeitsbereichs der laborbezogenen Kurve für einen Maximalpegel von 55 dB(A)), liegt die laborspezifische Kurve über der Feldkurve (ca. 20% bis 40% Unterschied). Bei 4 Ereignissen pro Nacht beträgt der Anteil durch Fluglärm Belästigter im Feld bei Maximalpegeln zwischen 20 dB(A) und 70 dB(A) (Median = 44 dB(A)) etwa 2%. Demgegenüber stehen 20% durch Fluglärm Belästigte im Labor bei vier nächtlichen Ereignissen und einem Maximalpegel von 55 dB(A). Bei 128 Fluglärmereignissen sind es 50% im Feld im Vergleich zu über 80% im Labor. Die Labor-

kurve mit dem $L_{AS,eq}$ als unabhängige Variable liegt ebenfalls über der Feldkurve (ca. bis zu 40% Unterschied). Bei einem Dauerschallpegel von 30.6 dB(A) ist der prognostizierte Teil Fluglärm-belästigter im Feld und im Labor mit 12% bis 15% noch annähernd gleich. Bei 47.3 dB(A) sind es 30% im Feld gegenüber mehr als 70% im Labor. Die aufgezeigten *Unterschiede zwischen labor- und feldspezifischen Dosis-Wirkungs-Kurven zur Belästigung* lassen sich primär auf die Situation der Probanden im Labor zurückführen. Feld- und Laborstudien markieren die Extreme eines Kontinuums unterschiedlicher „lebensnaher“ Untersuchungen. Feldstudien in natürlich belassenen Umgebungen zeichnen sich durch eine hohe, streng kontrollierte Laborstudien durch eine geringe externe und ökologische Validität aus. Die relativen Vor- und Nachteile von Labor- und Feldansätzen wurden bereits vielfach diskutiert [vgl. Bortz & Döring 1995]. Durch die Untersuchung im Labor war es im vorliegenden Fall möglich, *systematisch* den Einfluss von Maximal- und Dauerschallpegel sowie Reizhäufigkeit des applizierten Fluglärms zu überprüfen und damit Veränderungen der abhängigen Variablen (z.B. die Belästigung) mit hoher Wahrscheinlichkeit ursächlich auf die drei unabhängigen Variablen $L_{AS,max}$, $L_{AS,eq}$ und Anzahl zurückzuführen (hohe interne Validität). Die Untersuchung der Lärm-belästigung im Labor ist allerdings problematisch, da die Bewertung von Fluggeräuschen hinsichtlich ihres Störpotentials zur Hauptaufgabe der Probanden wird, was nicht unbedingt den Gegebenheiten in der realen Wohnumgebung der untersuchten Flughafenwohner (d.h. im Feld) entspricht und mit höheren Belästigungsurteilen einhergehen kann [vgl. hierzu Guski & Bosshardt 1992; Rohrman 1984]. Der Schlaf fällt im Labor zudem qualitativ und quantitativ anders als zu Hause aus, da die Probanden in der ungewohnten Laborumgebung deutlich häufiger aufwachen [Basner 2004], was eine erhöhte Belästigung durch den in den Wachzeiten bewusst erlebten Fluglärm bewirken kann.

3. Welches sind die Hauptmerkmale der Fluglärm-belästigung?

Mit Hilfe varimaxrotierter Hauptkomponentenanalysen (PCA) wurde die Bedeutung des Fluglärm-belästigungsbegriffs inhaltlich spezifiziert. Es wurden Da-

ten aus einem allgemeinen Fragebogen verwendet, der bereits im Vorfeld der Studien verschickt wurde. Der Fragebogen erhebt neben der Belästigung durch Fluglärm, die bereits im Vorfeld der eigentlichen Untersuchungen (im Sinne einer Fluglärmvorbelastung), eine Vielzahl an weiteren Variablen zur möglichen Störwirkung des Fluglärms zu Hause. Die PCA liefert für die Labor- und Felderhebungen drei Faktoren, die zusammen mehr als 42% der Gesamtvarianz erklären. Der gefundene Hauptfaktor vereint im Wesentlichen die in der Wohnung erlebte, fluglärminduzierte Störung der Aktivitäten Kommunikation, Rekreation und Schlaf, die von Gefühlen wie etwa Gereiztheit begleitet ist. Ein wichtiger kognitiver Aspekt ist der Glaube an die „eigene Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm“. Bei den Laborbefragungen finden sich in der ersten Komponente zusätzlich Items zur Beschreibung der Fluglärmstärke, die bei der PCA mit den Feldstudiendaten den zweiten Faktor konstituieren. Der zweite Faktor der laborspezifischen PCA umfasst so genannte Image-Variablen, die mit der gesellschaftlichen Bewertung des Flugverkehrs hinsichtlich seiner „Vermeidbarkeit“, „Gesundheitsschädlichkeit“, „Notwendigkeit“, „Umweltfreundlichkeit“ sowie „Zuverlässigkeit“ zu tun haben [Guski 1999]. Für die Felddaten sind diese Items anstelle der Skalen zur Bewertung der Fluglärmstärke bereits in der ersten Komponente integriert. Der dritte Faktor beinhaltet sowohl für die Labor- als auch für die Felderhebung affektive Merkmale, die auf die (Un-)Zufriedenheit mit Aspekten im Umfeld der exponierten Wohnung (z.B. äußeres Erscheinungsbild, Luftqualität, Erholungs- und Entspannungsmöglichkeiten) im Sinne einer so genannten „Umweltästhetik“ [Booth 1999; Guski 1987; Oliva 1998] abzielen. *Zusammenfassend ist es gelungen, kognitive und emotionale Aspekte der Fluglärmbelastung nachzuweisen. Es zeigt sich, dass der Begriff inhaltlich am ehesten der fluglärminduzierten Störung von Kommunikation, Erholung und Entspannung sowie Schlaf verbunden mit Gefühlen der Gereiztheit und dem Glauben an eine „Gesundheitsschädigung durch Fluglärm“ entspricht* [vgl. hierzu Guski et al. 1999; Guski & Schick 2004; Kastka 2001a, Koelega 1987].

4. Was sind wesentliche Einflussgrößen der Belästigung durch Fluglärm?

Nicht-akustische, insbesondere fluglärmrelevante Moderatoren wurden bei der Modellierung der beschriebenen Dosis-Wirkungs-Kurven zur Belästigung berücksichtigt. Mit Hilfe von Kruskal-Wallis Rangvarianzanalysen wurde zusätzlich der Einfluss psychologischer Einflussgrößen auf die Fluglärmvorbelastung (d.h. die Belästigung durch Fluglärm zu Hause im Vorfeld der eigentlichen Untersuchung) getestet. Es zeigt sich, dass kontextuelle Einflussgrößen wie die *Zufriedenheit mit verschiedenen Aspekten der Wohnumgebung* („Umweltästhetik“) sowie die *Wohndauer* keine moderierende Wirkung haben [Booth 1999; Guski 1987; Oliva 1998]. Lediglich die *allgemeine Wohnzufriedenheit* der Feldstudienteilnehmer hat einen positiven Einfluss. Unterschiedlicher *häuslicher Schallschutz* hat nur bei den Laborstudienprobanden eine signifikant moderierende Wirkung auf die Belästigungsreaktion (d.h. Dreifachverglasung geht im Vergleich zu einfach oder zweifach verglasten Fenstern mit dem höchsten Grad an Vorbelastung einher). Die empfindlichsten Situationen in der Wohnung sind „Fenster gekippt“ bzw. „draußen“, wobei die Außenbedingung sensitiver als die Bedingung des gekippten Fensters bewertet wird [Kastka 1990, 1999, 2001a]. Es gibt eine signifikante Moderatorwirkung des *gesellschaftlichen Image des Flugverkehrs* (z.B. seine eingestufte „Gesundheitsschädlichkeit“ und „Umweltfreundlichkeit“) [Guski 1987]. Bei den Laborstudienteilnehmern spielt zusätzlich die empfundene „Notwendigkeit des Flugverkehrs“, bei den Feldstudienprobanden dessen „Vermeidbarkeit“ eine wichtige Rolle. Ein höher eingestuftes „Gesundheitsgefährdungspotential des Fluglärms“ geht mit einer höheren Fluglärmbelastung einher. Die „allgemeine Gesundheitsgefährdung durch Fluglärm“ wird signifikant höher als die „eigene Gefährdung der Gesundheit“ angesehen. Die *allgemeine Einstellung gegenüber dem Flugverkehr* ist ebenfalls ein wirksamer sozialer Moderator, d.h. eine tendenziell negative Einstellung zum Flugverkehr führt zu einer erhöhten Belästigung. Ferner hat das *Vertrauen in potentiell als fluglärmverantwortliche Personen und Institutionen* einen signifikanten Einfluss. Der *Glaube an erfolgreiche Chancen auf Fluglärmreduktion* hat lediglich bei der Laborstichprobe einen signifikant moderierenden Effekt.

Die Wichtigkeit sozialer Moderatorvariablen bei der Lärmbekämpfung und Reduzierung der Lärmbelästigung wird insgesamt untermauert [Felscher-Suhr et al. 2001; Fields 1993; Guski 1987, 1999, 2001b]. Als wesentliche personenbezogene Moderatoren erweisen sich für Labor- und Feldstudienprobanden die *individuelle Lärmempfindlichkeit* (d.h. eine höhere Lärmempfindlichkeit bedingt eine stärkere Belästigung) und die *subjektive Fluglärmgewöhnung* (d.h. eine geringere Gewöhnung an Fluglärm geht mit einer stärkeren Belästigung einher) [Fields 1993; Guski 1987; Job 1999; Miedema & Vos 1999]. Die *Beteiligung an Aktivitäten gegen Fluglärm* hat auch eine signifikant moderierende Wirkung. Die *Fluggewohnheiten* und der *Wohnstatus* (Eigentümer vs. Mieter) aller Befragten zeigen keine Signifikanz.

TEIL 2: BEFINDLICHKEIT, BEANSPRUCHUNG UND ERHOLUNG

Die Untersuchung der humanspezifischen psychologischen Wirkungen von Nachtfluglärm beinhaltete auch die Erhebung von Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung mit Hilfe zweier standardisierter Fragebögen: dem mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogen (MDBF) von Steyer et al. [1997] und dem Erholungs- und Belastungsfragebogen (EBF) von Kallus [1995].

Es wurden folgende Hypothesen überprüft:

- *Die Befindlichkeit wird in Abhängigkeit von der nächtlichen Fluglärmexposition beeinträchtigt, was sich in einer Abnahme der Skalenwerte des MDBF manifestiert.*
- *Der Grad der Beanspruchung steigt in Abhängigkeit vom Ausmaß der Fluglärmbelastung. Die Skalenwerte für die Beanspruchung im EBF vergrößern sich mit zunehmender Belastung.*
- *Der Grad der Erholung wird in Abhängigkeit vom Ausmaß der Lärmbelastung vermindert. Die Skalenwerte für die Erholung im EBF verringern sich mit zunehmender Fluglärmexposition.*

Anhand der Erhebungen im Labor und Feld werden folgende Änderungen der Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung festgestellt:

1. Der interindividuelle Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppen aus der Laborstudie erbringt einen *signifikanten Einfluss des Fluglärms „an sich“* auf die Befindlichkeitsaspekte „GS morgens“ und „WM morgens“ (beide MDBF) sowie die Skala „erholsamer Schlaf“ (EBF). Dies bedeutet, dass die Experimental- gegenüber den Kontrollgruppen nach den Fluglärmnächten eine signifikant schlechtere Stimmung und ausgeprägtere Müdigkeit aufweisen. Die Kontrollgruppen haben nach den Lärmnächten einen signifikant erholsameren Schlaf als die Experimentalgruppen.
2. Die Messwertverläufe über den Zeitraum der Labor- und Feldstudie zeigen einen signifikanten „First Night Effect“ (Vergleich der ersten mit der zweiten Untersuchungsnacht) für die Befindlichkeitsvariablen „GS morgens“ (gute – schlechte Stimmung morgens) und „WM morgens“ (Wachheit – Müdigkeit morgens) sowie die Skala „erholsamer Schlaf“. Dies gilt im Feld zusätzlich für die EBF-Skalen „UEBMUED“ (Übermüdung – Zeitdruck), „BEL-SOM“ (körperliche Beschwerden), „KONFL“ (ungelöste Konflikte – Erfolglosigkeit), „BE-G“ (Gesamtbeanspruchung) und „ERH-G“ (Gesamterholung). Dieser „First Night Effect“ weist darauf hin, dass sich die Vpn nach der zweiten Untersuchungsnacht signifikant wohler und ausgeruhter fühlen und am Abend danach signifikant weniger beansprucht und erholter sind. Ein signifikanter „Weekend Effect“ aus der Felduntersuchung für nahezu alle Befindlichkeits- als auch Beanspruchungs- und Erholungsgrößen deutet darauf hin, dass am Wochenende die Befindlichkeit der Probanden signifikant weniger beeinträchtigt ist und das Wochenende mit einem höheren Erholungswert (bzw. einer geringeren Beanspruchung) assoziiert wird. Dies gilt allerdings nicht für die Skala „erholsamer Schlaf“. Anders als für die Labor-daten besteht ein „Last Night Effect“ für alle Morgenwerte der MDBF, d.h., dass die Befindlichkeit am letzten Untersuchungsmorgen mit der Aussicht auf das baldige Versuchsende signifikant positiver ausfällt.

3. Es gibt *keine signifikante Wirkung des Fluglärms* (d.h. keine Haupteffekte der Fluglärmparameter $L_{AS,max}$, $L_{AS,eq}$ und Anzahl) auf die Befindlichkeitsaspekte „GS morgens“ und „WM morgens“ sowie die Skala „erholsamer Schlaf“ der Experimentalgruppen, d.h., dass sich die Skalenergebnisse nicht mit zunehmender Fluglärmbelastung verringern (im Sinne einer Beeinträchtigung).

Da die Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung der Experimentalgruppen nicht systematisch in Abhängigkeit von der nächtlichen Fluglärmexposition variieren, sind die drei Ausgangshypothesen abzulehnen. Es gibt *keinen signifikanten Einfluss von Fluglärm auf die Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung*. Dies wird durch die Ergebnisse aus den Analysen zu Dosis-Wirkungskurven bestätigt. Es finden sich weder für die Labor- noch die Felduntersuchung signifikante Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen der nächtlichen Fluglärmbelastung und entsprechenden Veränderungen der Befindlichkeit, Beanspruchung und Erholung [vgl. hierzu Öhrström 1995; Öhrström & Rylander 1982].

LITERATUR

- Aasvang, G.M., Engdahl, B.** (1999): Aircraft noise in recreational areas: A quasi-experimental field study on individual annoyance responses and dose-response relationships. *Noise Control Eng. Journal*, 47, 158-161
- Agnew, H.W., Webb, W.B., Williams, R.L.** (1966): The first night effect: an EEG study of sleep. *Psychophysiology*, 2, 263-266
- Anderson, T.V., Kühl, H., Relster, E.** (1983): Reactions to railway noise in Denmark. *Journal of Sound and Vibration*, 87, 311-314
- Basner, M., Buess, H., Linke-Hommes, A., Luks, N., Maaß, H., Mawet, L., Müller, E.W., Müller, U., Piehler, C. Plath, G., Samel, A., Schulze, M., Vejvoda, M., Wenzel, J.** (2000): Wirkung von Nachtfluglärm auf den Schlaf – ein neuer Forschungsansatz. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 47, 201-205
- Basner, M., Buess, H., Linke-Hommes, A., Luks, N., Maaß, H., Mawet, L., Müller, E.W., Müller, U., Piehler, C. Plath, G., Quehl, J., Samel, A., Schulze, M., Vejvoda, M., Wenzel, J.** (2001): Nachtfluglärmwirkungen – eine Teilauswertung von 64 Versuchspersonen in 832 Schlaflabornächten. DLR Forschungsbericht FB-2001-26, Köln
- Basner, M.** (2004): Nachtfluglärmwirkungen – Schlaf. DLR Forschungsbericht FB-2004-09/D, Köln
- Baum, A., Singer, J.E., Baum, C.S.** (1982): Stress and the environment. In: Evans, G.W. (ed.): *Environmental stress*. Cambridge University Press, Cambridge
- Björkman, M., Ahrlin, U., Rylander, R.** (1992): Aircraft noise annoyance: an average versus maximum noise levels. *Archives of Environmental Health*, 47, 326-329
- Booth, K.L.** (1999): Monitoring the effects of aircraft overflights on recreationists in natural settings. *Noise Control Eng. Journal*, 47, 91-96
- Bortz, J.** (1984): *Lehrbuch der empirischen Sozialforschung für Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin
- Bortz, J.** (1989): *Statistik. Für Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin
- Bortz, J., Döring, N.** (1995): *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler*. Springer, Berlin
- Campbell, J.** (1983): Ambient stressors. *Environment and Behaviour*, 15, 355-380
- Cannon, J.** (1932): *The wisdom of the body*. Norton, New York
- Cohen, S.** (1978): Environmental load and allocation of attention. In: Baum, A., Singer, J.E., Valins, S. (eds.): *Advances in environmental psychology*, Vol. 1. The urban environment. Lawrence Erlbaum, Hillsdale

- DeJong, R.G.** (1990): Review of research developments in community response to noise. In: Berglund, B., Lindvall, T. (eds.) (1990): Noise ,88. Proceedings of the 5th International Congress on Noise as a Public Health Problem, 2, 99-113
- DeLijster, M.** (1996): Einfluss von Anzahl und Lautstärke eines Flugzeuggeräusches auf das Lärmerleben. Diplomarbeit an der Universität Düsseldorf im Fachbereich Erziehungswissenschaften/Psychologie
- Deutsche Forschungsgemeinschaft** (Hrsg.) (1974): Forschungsbericht Fluglärmwirkungen. Boldt, Boppard
- Düker, H.** (1963): Über reaktive Anspannungssteigerung. Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 10, 46-72
- Eberhardt, J.L., Akselsson, K.R.** (1987): The disturbances by road traffic noise of the sleep of young male adults as recorded in the home. Journal of Sound and Vibration, 144, 417-434
- Evans, G.W.** (ed.) (1982): Environmental stress. Cambridge University Press, Cambridge
- Evans, G.W., Cohen, S.** (1987): Environmental stress. In: Stokols, D., Altman, I. (eds.): Handbook of environmental psychology, Vol. 1. Wiley, New York
- Evans, G.W., Lepore, S.J.** (1997): Moderating and mediating processes in environment behavior research. In: Moore, G.T., Marans, R.W. (eds.): Advances in environment, behavior, and design. Vol. 4. Towards the integration of theory, methods, research, and utilization. Plenum, New York
- Felscher-Suhr, U., Guski, R., Schuemer, R.** (2000): Internationale Standardisierungsbestrebungen zur Erhebung von Lärmbelästigung. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 2, 68-70
- Felscher-Suhr, U., Schreckenber, D. Schuemer, R., Möhler, U.** (2001): Vertrauensbildung als flankierende Maßnahme zur Lärmbelästigungsminderung? In: Fortschritte der Akustik - DAGA 2001. Deutsche Gesellschaft für Akustik, Oldenburg
- Fidell, T.** (1987): Why is annoyance so hard to understand? In: Koelega, H. (ed.) (1987): Environmental annoyance: characterization, measurement and control. Proceedings of the international symposium on environmental annoyance at the conference centre Winschoten, the Netherlands, 15-18 September 1986. Elsevier Science, Amsterdam
- Fidell, T., Barber, D., Schultz, T.J.** (1991): Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. Journal of the Acoustical Society of America, 89, 221-233
- Fidell, T., Schultz, T., Green, D.M.** (1988): A theoretical interpretation of the prevalence rate of noise-induced annoyance in residential populations. Journal of the Acoustical Society of America, 84, 2109-2113
- Fidell, T., Teffeteller, S.** (1981): Scaling the annoyance of intrusive sounds. Journal of Sound and Vibration, 78, 291-298

- Fields, J.M.** (1984): The effect of number of noise events on people's reactions to noise: An analysis of existing survey data. *Journal of the Acoustical Society of America*, 75, 447-467
- Fields, J.M.** (1993): Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *Journal of the Acoustical Society of America*, 93, 2753-2763
- Fields, J.M., Walker, J.G.** (1982): The response to railway noise in residential areas in Great Britain. *Journal of Sound and Vibration*, 85, 177-255
- Fields, J.M., DeJong, R.G., Gjestland, F., Flindell, I.H., Job, R.F.S., Kurra, S., Lercher, P., Vallet, M., Guski, R., Felscher-Suhr, U., Schuemer, R.** (2001): Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation. *Journal of Sound and Vibration*, 242, 641-679
- Finke, H.-O., Guski, R., Rohrmann, B.** (1980): Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. Bericht über einer interdisziplinäre Untersuchung. Forschungsbericht des Umweltbundesamts, Berlin
- Glass, D.C., Singer, J.E.** (1972): *Urban stress. Experiments on noise and social stressors.* Academic, New York
- Green, D.M., Fidell, S.** (1991): Variability in the criterion for reporting annoyance in community noise surveys, *Journal of the Acoustical Society of America*, 89, 234-343
- Griefahn, B.** (1985): Zur Wirkung von Straßenverkehrsgeräuschen auf den Schlaf. Ergebnisse einer Feldstudie. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin*, 20, 73-77
- Griefahn, B.** (1986): A critical load for nocturnal high-density road traffic noise. *American Journal Ind Medicine*, 9, 261-269
- Griefahn, B., Jansen, G., Scheuch, K., Spreng, M.** (2002): Fluglärmkriterien für ein Schutzkonzept bei wesentlichen Änderungen oder Neuanlagen von Flughäfen/Flugplätzen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 49, 171-175
- Gunn, W.J.** (1987): The importance of the measurement of annoyance in prediction of effects of aircraft noise on the health and well-being of noise-exposed communities. In: Koelega, H. (ed.) (1987): *Environmental annoyance: characterization, measurement and control.* Proceedings of the international symposium on environmental annoyance at the conference centre Winschoten, the Netherlands, 15-18 September 1986. Elsevier Science, Amsterdam
- Gunn, W.J., Shigehisa, T., Fletcher, J.L., Shepherd, W.T.** (1981): Annoyance response to aircraft noise as a function of contextual effects and personality characteristics. *Journal of Auditory Research*, 21, 51-83
- Guski, R.** (1987): *Lärm - Wirkungen unerwünschter Geräusche.* Hans Huber, Bern
- Guski, R.** (1991): Zum Anspruch auf Ruhe beim Wohnen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 38, 61-65
- Guski, R.** (1997): Psychische Wirkungen von Umweltfaktoren. In: Wichmann, G. Schlipkötter, H.-W., Fülgraff, G. (Hrsg.): *Handbuch der Umweltmedizin.* ecomed, Landsberg/Lech

- Guski, R.** (1999): Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise and Health*, 3, 45-56
- Guski, R.** (2001a): Feststellung und Prognose der erheblichen Belästigung durch Verkehrslärm – Zusammenfassung zu einem unveröffentlichten Vortrag gehalten auf dem Workshop "Verkehrsrelevante Lärmwirkungsforschung" am 18.01.2001 im Wissenschaftszentrum Bonn
- Guski, R.** (2001b): Der Referenten-Entwurf zum Fluglärmgesetz aus der Sicht eines Lärmwirkungsforschers, *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 48, 130-131
- Guski, R.** (2001c): Environmental stress and health. In: Smelser, N.J., Baltes, P.B. (eds.): *The international encyclopaedia of the social and behavioral sciences*. Elsevier, Oxford
- Guski, R., Bosshardt, H.-G.** (1992): Gibt es eine „unbeeinflusste“ Lästigkeit? *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 39, 67-74
- Guski, R., Schick, A.** (2004): Belästigung. In: Guski, R. et al. (2004): *Fluglärm 2004. Stellungnahme des Interdisziplinären Arbeitskreises für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt Berlin*
- Guski, R., Schuemer, R., Felscher-Suhr, U.** (1999): The concept of noise annoyance: how international experts see it. *Journal of Sound and Vibration*, 223, 513-527
- Hall, F.L., Birnie, S.E., Taylor, S.M., Palmer, J.E.** (1981): Direct comparison of community response to road traffic noise and to aircraft noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 70, 1690-1698
- Hall, F.L., Taylor, S.M., Birnie, S.E.** (1983): Development of a model to predict the effects of environmental noise on residential communities. *Mc Master University, Hamilton*
- Hellbrück, J.** (1993): Gültigkeit Mittelungspegel-orientierter Lärmbewertungsverfahren. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. *Forschungsbericht 105 01 999/01*
- Hellbrück, J., Fischer, M.** (1999): *Umweltpsychologie. Ein Lehrbuch*. Hogrefe, Göttingen
- Henry, J.P., Stephens, P.M.** (1977): *Stress, health and social environment*. Springer, Berlin
- Höger, R.** (1999): Theoretische Ansätze und Ergebnisse der psychologisch orientierten Lärmwirkungsforschung. *Umweltpsychologie*, 3, 6-20
- Jansen, G.** (1986): Zur „erheblichen Belästigung“ und „Gefährdung“ durch Lärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 33, 2-7
- Job, R.F.S.** (1988): Community response to noise: A review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 991-1001
- Job, R.F.S.** (1993): Psychological factors of community reaction to noise. In: Vallet, M. (ed.): *Noise as a public health problem*. Arcueil, France: INRETS, Vol. 3, 48-70
- Job, R.F.S.** (1999): Noise sensitivity as a factor influencing human reaction to noise. *Noise and Health*, 3, 57-68

- Jones, D.M., Davies, D.R.** (1984): Individual and group differences in the response to noise. In: Jones, D.M., Chapman, A.J. (eds.): Noise and society. Wiley, Chichester
- Kallus, K.W.** (1995): Erholungs-Belastungs-Fragebogen (EBF). Swet Test Services, Frankfurt
- Kalveram, K.T.** (1996): Zur Evolution des Belästigungserlebnisses. Ökopsychologische und verhaltensbiologische Betrachtungen über die Wirkung von Lärm. Psychologische Beiträge, 38, 215-230
- Kastka, J.** (1990): Erforderliche Schalldämmung von Geräuschen unterschiedlicher Schwankungsbreite. Forschungsbericht des Umweltbundesamts, Berlin
- Kastka, J.** (1999): Untersuchung der Fluglärmbelastungs- und Belästigungssituation der Allgemeinbevölkerung der Umgebung des Flughafens Frankfurt. Gutachten im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main, Internetdokument: http://www.mediation-flughafen.de/gutachte/oe4_g/gutacht.pdf
- Kastka, J.** (2001a): Tag-/Nacht-Lärmbelastungen in der Nachbarschaft von Flughäfen. Unveröffentlichter Vortrag auf der 1. Rheiner Fluglärmkonferenz am 30./31. Mai 2001
- Kastka, J.** (2001b): Fluglärmwirkung und Einzelereignisparameter, NAT70. Unveröffentlichter Vortrag auf dem Workshop "Verkehrsrelevante Lärmwirkungsforschung" im Wissenschaftszentrum Bonn am 18.01.2001
- Kastka, J., Buchta, E., Ritterstaedt, U., Paulsen, R., Mau, U.** (1995): The long term effect of noise protection barriers on the annoyance response of residents. Journal of Sound and Vibration, 184, 823-852
- Kastka, J., Faust, M.** (1998): Vorhersage von Belästigungsreaktionen auf Fluglärm durch Pegelüberschreitungsmaße. In: Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA, Hrsg.): Fortschritte der Akustik - DAGA 1998. Deutsche Gesellschaft für Akustik, Oldenburg, 36-37
- Koelega, H.** (ed.) (1987): Environmental annoyance: characterization, measurement and control. Proceedings of the international symposium on environmental annoyance at the conference centre Winschoten, the Netherlands, 15-18 September 1986. Elsevier Science, Amsterdam
- Kryter, K.D.** (1982): Rebuttal by Karl D. Kryter to comments by T.J. Schultz. Journal of the Acoustical Society of America, 72, 1253-1257
- Kryter, K.D.** (1985): The effects of noise on man. Academic Press, Orlando
- Lang, R.D.** (1983): Subjektive Schlafbeurteilung in Abhängigkeit von der Belästigung durch Lärm. Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin der Medizinischen Fakultät Düsseldorf
- Lazarus, R.S.** (1966): Psychological stress and the coping process. McGraw-Hill, New York
- Lazarus, R.S.** (1990): Streß und Streßbewältigung - Ein Paradigma. In: Filipp, S.H. (Hrsg.): Kritische Lebensereignisse. Psychologie Verlags Union, München
- Lazarus, R.S.** (1991): Emotion and adaptation. Oxford University Press, New York

- Lazarus, R.S., Cohen, J.B.** (1977): Environmental stress. In: Altman, I., Wohlwill, J.F. (eds.): Human behavior and the environment: Current theory and research. Vol. 2. Plenum, New York
- Lazarus, R.S., Folkman, S.** (1984): Stress, appraisal, and coping. Springer, Berlin
- Leonard, S., Borsky, P.N.** (1973): A causal model for relating noise exposure, psychosocial variables and aircraft noise annoyance. In: Ward, W.D. (ed.): Proceedings of the International congress on noise as a public health problem, Washington, 691-706
- Lepore, S.J., Evans, G.W.** (1996): Coping with multiple stressors in the environment. In: Zeidner, M., Endler, N. (eds.): Handbook of coping: theory, research and applications. Wiley, New York
- McKennell, A.C.** (1963): Aircraft noise annoyance around Heathrow airport. Her Majesty's Stationary Office, London
- Miedema, H.M.E.** (1993): Response functions for environmental noise in residential areas. TNO, Leiden, Netherlands
- Miedema, H.M.E.** (1998): Revised DNL_annoyance curves for transportation noise. In: Carter, N., Job, R.F.S. (eds.): Proceedings of the 7th International congress on noise as a public health problem, Sydney, Vol. 2, 491-496
- Miedema, H.M.E., Vos, H.** (1998): Exposure-response relationships for transportation noise. Journal of the Acoustical Society of America, 104, 3432-3445
- Miedema, H.M.E., Vos, H.** (1999): Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. Journal of the Acoustical Society of America, 105, 3336-3344
- Öhrstrom, E.** (1995): Effects of low levels of road traffic noise during night. A laboratory study on number of events, maximum noise levels and noise sensitivity. Journal of Sound and Vibration, 179, 603-615
- Öhrstrom, E., Bjorkman, M.** (1988): Effects of noise disturbed sleep - A laboratory study on habituation and subjective noise sensitivity. Journal of Sound and Vibration, 122, 277-290
- Öhrstrom, E., Rylander, R.** (1982): Sleep disturbance effects of traffic noise - a laboratory study on after effects. Journal of Sound and Vibration, 84, 87-103
- Öhrstrom, E., Rylander, R.** (1990): Sleep disturbance by road traffic noise. A laboratory study on number of noise events. Journal of Sound and Vibration, 143, 93-101
- Oliva, C.** (1998): Belastungen der Bevölkerung durch Flug- und Straßenlärm: eine Lärmstudie am Beispiel der Flughäfen Genf und Zürich. Duncker und Humblot, Berlin
- Ollerhead, J.B., Jones, C.J., Cadoux, R.E., Woodley, A. et al.** (1992): Report of a field study of aircraft noise and sleep disturbance. UK Department of Transport, London

- Ortscheid, J.** (2001): Lärmbelästigung 2000. In: Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA, Hrsg.): Fortschritte der Akustik - DAGA 2001. Deutsche Gesellschaft für Akustik, Oldenburg
- Ortscheid, J., Wende, H.** (2000): Fluglärmwirkungen. Forschungsbericht des Umweltbundesamts, Berlin
- Ortscheid, J., Wende, H.** (2002a): Lärmbelästigung in Deutschland - Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 49, 41-45
- Ortscheid, J., Wende, H.** (2002b): Lärm. Erfassung und Bewertung. Zeitschrift für Umweltrecht, 3, 185-189
- Passchier-Vermeer, W.** (1993): Noise and health. Health Council of the Netherlands, The Hague
- Paulsen, R., Ritterstaedt, U., Kastka, J.** (1992): Neuere Erkenntnisse auf dem Gebiet der Lärmwirkungsforschung. In: Gesellschaft zur Förderung der Lufthygieneforschung (Hrsg.): Jahresbericht Umwelthygiene. Albers, Düsseldorf
- Rey, E.** (2002): Wirkung von Nachtfluglärm auf psychische Stressindikatoren. FB-2002-14, DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Köln
- Rohrmann, B.** (1974): Das Fluglärmprojekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Eine interdisziplinäre Untersuchung über die Auswirkungen des Fluglärms auf den Menschen. Harald Boldt Verlag, Boppard
- Rohrmann, B.** (1978): Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung. Zeitschrift für Sozialpsychologie, 9, 222-245
- Rohrmann, B.** (1984a): Psychologische Kriterien zur „Erheblichkeit“ von Belästigungen. In: Schick, A., Walcher, K.P. (Hrsg.): Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls. Peter Lang, Frankfurt am Main
- Rohrmann, B.** (1984b): Psychologische Forschung und umweltpsychologische Entscheidungen: das Beispiel Lärm. Westdeutscher Verlag, Opladen
- Rohrmann, B.** (1993): Die Setzung von Grenzwerten als Risiko-Management. In: Bayrische Rück (Hrsg.): Risiko ist ein Konstrukt. Wahrnehmungen zur Risikowahrnehmung. Knesebeck, München
- Rohrmann, B., Finke, H.-O., Guski, R., Schuemer, R., Schuemer-Kohrs, A.** (1978): Fluglärm und seine Wirkung auf den Menschen. Methoden und Ergebnisse der Forschung. Konsequenzen für den Umweltschutz. Huber, Bern
- Rylander, R., Björkman, M.** (1988): Maximum noise levels as indicators of biological effects. Journal of Sound and Vibration, 127, 555-563
- Rylander, R., Björkman, M.** (1997): Annoyance by aircraft noise around small airports. Journal of Sound and Vibration, 205, 533-538

Rylander, R., Björkman, M., Ahrlin, U., Sörensen, S., Kajland, A. (1980): Aircraft noise contours: importance of overflight frequency and noise level. *Journal of Sound and Vibration*, 69, 583-595

Rylander, R., Björkman, M., Ahrlin, U., Arntzen, U., Solberg, S. (1986): Dose-response relationships for traffic noise and annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 41, 7-10

Rylander, R., Sörensen, S., Kajland, A. (1972): Annoyance reactions from aircraft noise exposure. *Journal of Sound and Vibration*, 24, 419-444

Samn, S.W., Pirelli, L.P. (1982): Estimating aircraft fatigue: a technique with application to airlift operations. Technical Report SAM-TR-82-21, USAF School of Medicine, Brooks AFB, TX

Sato, T., Yano, T., Björkman, M., Rylander, R. (1999): Road traffic noise annoyance in relation to average noise level, number of events and maximum noise level. *Journal of Sound and Vibration*, 223, 775-784

Schandry, R. (1998): *Lehrbuch der Psychophysiologie. Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens.* Psychologie Verlags Union, Weinheim

Schick, A. (1996): The role of subjects and its importance for differential noise psychology. In: *Proceedings of the Inter-noise '96*, 2121-2126

Schick, A. (1997): *Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung.* Pabst Science, Lenigerich

Schuemer, R., Schreckenber, D. (2000): Änderung der Lärmbelastigung bei Maßnahme bedingter, stufenweise veränderter Geräuschbelastung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 47, 134-143

Schuemer, R., Schuemer-Kohrs, A. (1984): Zum Einfluß außer-akustischer Faktoren ('Moderatoren') auf die Reaktionen auf Verkehrslärm. In: Schick, A., Walcher, K.P. (Hrsg.): *Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls, Ergebnisse des 3. Oldenburger Symposiums zur Psychologischen Akustik.* Peter Lang, Frankfurt am Main

Schultz, T.J. (1978): Synthesis of social surveys on noise annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64, 377-405

Selye, H. (1956): *The stress of life.* McGraw-Hill, New York

Selye, H. (1974): *Stress without distress.* Lippincott, Philadelphia

Selye, H. (1991): *Streß beherrscht unser Leben: das Standardwerk des Pioniers der Streßforschung.* Heyne, München

Stallen, P.J. (1999): A theoretical framework for environmental noise annoyance. *Noise and Health*, 3, 69-79

Stallen, P.J. (2000): New ways (and old theory) for abating airport noise annoyance. In: *Proceedings of the Inter-noise 2000*

Stansfeld, S. (1992): Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. *Psychological Medicine, Monograph supplement* 22

- Steyer, R., Schwenkmezger, P., Notz, P. & Eid, M.** (1994): Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF). Hogrefe, Göttingen
- Taylor, S.** (1984): A path model of aircraft annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 96, 243-260
- Tukey, J.W.** (1977): *Exploratory data analysis*. Addison Wesley, Reading, Mass
- Vallet, M.** (1987): The effects of non acoustic factors on annoyance due to traffic noise. In: Koelega, H. (ed.): *Environmental annoyance: characterization, measurement and control*. Proceedings of the International Symposium on Environmental Annoyance at the Conference Centre Winschoten. Elsevier Science, Amsterdam
- Weinstein, N.D.** (1978): Individual differences in reaction to noise: A longitudinal study in a college dormitory. *Journal of Applied Psychology*, 63, 458-466
- Weinstein, N.D.** (1982): Community noise problems evidence against adaptation. *Journal of Environmental Psychology*, 2, 87-92
- Winneke, G., Liu, K.-S.** (1995): Umweltstress: Vorstellungs- und sinnesvermittelte Wirkungen. In: Debus, G., Erdman, G., Kallus, W. (Hrsg.): *Biopsychologie von Stress und emotionalen Reaktionen. Ansätze interdisziplinärer Forschung*. Hogrefe, Göttingen
- World Health Organization** (ed.) (1947): *The chronic of the WHO 1*, Genf, Schweiz
- Yerkes, R.M., Dodson, J.D.** (1908): The relation of strength of stimuli to rapidity of habit formation. *Journal of Comparative and Neurological Psychology*, 18, 459-482
- Zimmer, K., Ellermeier, W.** (1997): Construction and evaluation of a noise sensitivity questionnaire. In: Schick, A., Klatte, M. (eds.): *Contributions to Psychological Acoustics. Results of the Seventh Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Oldenburg: bis
- Zimmer, K., Ellermeier, W.** (1998): Konstruktion und Evaluation eines Fragebogens zur Erfassung der individuellen Lärmempfindlichkeit. *Diagnostica*, 44, 11-20
- Zimmer, K., Ellermeier, W.** (1999): Psychometric properties of four measures of noise sensitivity: a comparison. *Journal of Environmental Psychology*, 19, 295-302

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AMSAN	Arbeitsmedizinische Simulationsanlage
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutz-Verordnung
dB	Dezibel, physikalische Einheit des Schalldruckpegels
dB(A)	physikalische Einheit des A-bewerteten Schalldruckpegels
DF	Freiheitsgrade
EBF	Erholungs- und Belastungsfragebogen
FAT	Ermüdungsfragebogen bzw. Ermüdung
L_{max}	Maximalwert des Schalldruckpegels (Maximalpegel)
L_{eq}	energieäquivalenter Dauerschallpegel (= zeitlicher Mittelwert) des Schalldruckpegels
$L_{AS,eq}$	energieäquivalenter Dauerschallpegel (= zeitlicher Mittelwert) des in der Zeitbewertung „slow“ gemessenen, A-bewerteten Schalldruckpegels
$L_{AS,max}$	Maximalwert des A-bewerteten Schalldruckpegels, gemessen mit der Zeitbewertung „slow“
LRA	logistische Regressionsanalyse
MDBF	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen
NAT70	Anzahl der Einzelschallereignisse, deren L_{max} den Wert 70 dB(A) überschreiten (Number above Threshold)
PCA	Hauptkomponentenanalyse
Q1, Q3, Q3	1. Quartil, 2. Quartil, 3. Quartil
STRAIN	Study on Human Specific Response to Aircraft Noise
Vpn	Versuchspersonen
