

Forschungsbericht 2004-11/D

Fluglärmwirkungen Band 5 Leistung

Eva-Maria Elmenhorst
Mathias Basner

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Luft- und
Raumfahrtmedizin
Köln

131 Seiten
47 Bilder
65 Tabellen
76 Literaturstellen



DLR

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

in der Helmholtz-Gemeinschaft

Nachtfluglärmwirkungen

Band 5

Leistung

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

Köln, März 2008

Institutsleiter:
Prof. Dr. med. R. Gerzer

Verfasser:
Dr. med. E.-M. Elmenhorst
Dr. med. M. Basner, M.Sc.

Abteilungsleiter (kom.):
Dr. med. M. Basner, M.Sc.

nächtlicher Fluglärm, Leistung, Leistungstests, Reaktionszeit, Gedächtnisleistung, motorische Geschicklichkeit, Arbeitsbelastung, Mixed Model ANOVA, Dosis-Wirkungsbeziehungen, logistische Regression, Labor, Feld

Eva-Maria ELMENHORST, Mathias BASNER
Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des DLR, Köln

Nachtfluglärmwirkungen (Band 5): Leistung

DLR-Forschungsbericht 2004-11, 2008, 131 Seiten, 47 Bilder, 65 Tabellen, 76 Literaturstellen, XX,XX € zzgl. MwSt.

In einer Laborstudie wurden 112 Probanden an 13 aufeinander folgenden Nächten Fluglärm ausgesetzt. Es wurden 4 bis 128 Lärmereignisse mit einem maximalen Schalldruckpegel (L_{max}) von 45 bis 80 dB(A) eingespielt; der energieäquivalente Dauerschallpegel (L_{eq}) lag zwischen 30 und 57 dB(A). In einer Feldstudie wurden 64 Probanden mit Wohnort in der Umgebung des Flughafens Köln/Bonn während 9 aufeinander folgender Nächte untersucht. Die nächtlichen L_{max} lagen zwischen 16 und 73 dB(A). Reaktionszeit, Gedächtnisleistung, motorische Geschicklichkeit und subjektive Arbeitsbelastung wurden untersucht.

Es zeigten sich geringe, aber statistisch signifikante Einbußen in der Leistung und subjektiven Arbeitsbelastung. Die mittlere Reaktionszeit stieg im Labor linear um 0.13 ms/dB L_{eq} und 0.03 ms/Lärmereignis bzw. um 0.04 ms/dB L_{max} und 0.03 ms/Lärmereignis. Im Studienverlauf verschlechterte sich die Leistung kumulativ, was auf partiellen Schlafentzug durch Lärm oder auf Motivationsverlust zurückzuführen sein kann. Bezüglich der Gedächtnisleistung deutete sich ein Wechsel der Bearbeitungsstrategie an; es wurde schneller aber ungenauer gearbeitet. Im Feld verschlechterte sich die mittlere Reaktionszeit um 0.3 ms/dB L_{eq} und 0.5 ms/Nacht. Die Anzahl der Lärmereignisse hatte keinen signifikanten Einfluss.

nocturnal aircraft noise, performance, performance tests, reaction time, memory, motor skill, workload, mixed model ANOVA, dose-response relationship, logistic regression, laboratory, field

(Published in German)

Eva-Maria ELMENHORST, Mathias BASNER
Institute of Aerospace Medicine of the German Aerospace Center (DLR), Cologne

Effects of Nocturnal Aircraft Noise (Volume 5): Performance

DLR-Forschungsbericht 2004-11, 2008, 131 pages, 47 figs., 65 tabs., 76 refs., XX.XX €

In a laboratory study lasting 13 consecutive nights 112 subjects were exposed to between 4 – 128 aircraft noise events with maximum sound pressure levels (L_{max}) ranging from 45 - 80 dB(A) in the night, resulting in equivalent noise levels (L_{eq}) between 30 - 57 dB(A). In a field study in the vicinity of Cologne/Bonn Airport 64 subjects were examined in their home environment during 9 consecutive nights. Recorded L_{max} ranged from 16 - 73 dB(A). Reaction time, memory, motor skills and subjective workload were examined.

Impairments in objective performance and subjective workload were small but statistically significant. Average reaction time in the laboratory worsened linearly with 0.13 ms/dB L_{eq} and 0.03 ms/noise event, and with 0.04 ms/dB L_{max} and 0.03 ms/noise event. Increasing time in study caused performance decrements which could be due to cumulative partial sleep deprivation or loss of motivation. Memory results indicated a change in working strategy. Subjects tended to work faster at the expense of an increased error rate. In the field study average reaction times worsened linearly at about 0.3 ms/dB L_{eq} and 0.5 ms/night. The number of noise events per night had no significant influence.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Lärm, Schlaf und Leistungsfähigkeit | 1 |
| 1.2 | Leistungstests | 8 |
| 1.3 | AGARD STRES Batterie..... | 10 |
| 2 | Methodik | 16 |
| 2.1 | Studiendesign..... | 16 |
| 2.2 | Stichprobe | 17 |
| 2.3 | Akustik | 18 |
| 2.4 | Leistungstests | 20 |
| 2.4.1 | Einzelreaktionsaufgabe – Single Reaction Time, SRT | 21 |
| 2.4.2 | Gedächtnissuchtest – Memory Search Task, MST..... | 22 |
| 2.4.3 | Hand-Auge-Koordinationstest – Unstable Tracking Task, UTT | 24 |
| 2.4.4 | NASA Taskload Index, NASA TLX..... | 25 |
| 2.5 | Training..... | 26 |
| 2.6 | Statistische Analyse..... | 26 |
| 2.7 | Hypothesen | 28 |
| 3 | Ergebnisse | 29 |
| 3.1 | Ergebnisse der Laborstudien | 29 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.1.1 | Einfluss von Anzahl und Maximalpegel der nächtlichen Flugereignisse und Einfluss des energieäquivalenten Dauerschallpegels..... | 36 |
| 3.1.2 | Dosis-Wirkungsbeziehungen | 41 |
| 3.1.3 | Subjektive Beurteilung der Arbeitsbelastung (NASA TLX) | 64 |
| 3.1.4 | Erholungsfunktion der Nacht..... | 65 |
| 3.1.5 | Einfluss des Geschlechts auf die Leistung..... | 66 |
| 3.1.6 | Einfluss des Alters auf die Leistung | 73 |
| 3.1.7 | Zusammenfassung der Ergebnisse der Fluglärmanalysen der Laborstudie | 77 |
| 3.2 | Ergebnisse der Feldstudie | 80 |
| 3.2.1 | Einfluss der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse und des energieäquivalenten Dauerschallpegels..... | 84 |
| 3.2.2 | Dosis-Wirkungsbeziehungen | 100 |
| 3.2.3 | Einfluss des Geschlechts auf die Leistung..... | 107 |
| 3.2.4 | Einfluss des Alters auf die Leistung | 109 |
| 3.2.5 | Zusammenfassung der Ergebnisse der Fluglärmanalysen der Feldstudie..... | 110 |
| 3.3 | Vergleich der Leistungen in Labor- und Feldstudie | 111 |
| 4 | Diskussion und Zusammenfassung | 117 |
| 5 | Literatur..... | 125 |

1 Einleitung

1.1 Lärm, Schlaf und Leistungsfähigkeit

In den letzten Jahrzehnten ist mit steigendem Verkehrsaufkommen und insbesondere mit steigenden Flugzahlen die Umweltlärmproblematik, und damit verbunden auch die Sorge um die Gesundheit der Bevölkerung, in das Interesse der breiten Öffentlichkeit gerückt. Fluglärmrichtlinien und Planungsvorschriften für Flughäfen werden stärker diskutiert als je zuvor.

Welchen Effekt ein Geräusch auf den Menschen hat, ist schwer allgemein und systematisch vorauszusagen. Neben den akustischen Faktoren des Geräuschs wie Schalldruckpegel, Expositionszeit, Frequenzspektrum, Impulsivität und Schwankungen des Geräuschs spielen auch nicht akustische Faktoren eine wichtige Rolle. Zu diesen Faktoren gehören beispielsweise die Tages- und Jahreszeit, aber auch die persönlichen Erfahrungen, Ansichten und der kulturelle Hintergrund des Exponierten. Grob lassen sich die Reaktionsmuster in psychologische, soziale und physiologische Effekte einteilen [Ouis 1999], die natürlich wiederum aufeinander einwirken. Von Menschen, die in geräuschbelasteten Stadtteilen, in der Nähe des Bahnverkehrs oder von Flughäfen wohnen, ist bekannt, dass sie z.B. gehäuft an Kopfschmerzen oder nervösen Magenbeschwerden, Müdigkeit und Ängstlichkeit leiden [Öhrström 1989]. Außerdem ist ein erhöhter Verbrauch von Schlafmedikamenten zu beobachten [Wanner et al. 1977, Lercher 1996]. Babisch [2000] zeigt in einer Literaturübersicht zu epidemiologischen Studien, dass bisher keine klaren Zusammenhänge zwischen Umgebungslärm und Bluthochdruck nachgewiesen wurden; ein etwas deutlicherer Zusammenhang zeichnet sich jedoch für das Auftreten von ischämischen Herzerkrankungen ab, wenn der tägliche Lärmpegel außen 65-70 dB(A) überschreitet. Da Kinder ihre physikalische und kognitive Entwicklung noch nicht abgeschlossen haben und ihnen das Verständnis sowie eventuelle Coping-Strategien fehlen, ist es möglich, dass sie besonders anfällig auf

Stressoren wie Lärmexposition reagieren [Stansfeld und Matheson 2003]. So wurden wiederholt erhöhte Blutdruckwerte bei Kindern unter Lärmeinfluss gemessen [Babisch 2000]. Bei Untersuchungen zu den schulischen Leistungen von 11000 Kindern in lärmbelasteten Gebieten zeigten sich Defizite in Aufgabenbereichen, die Sprachverständnis voraussetzen, sowie in der Mathematik. Auch die Überprüfung des Langzeitgedächtnisses und der Erinnerungsfähigkeit ergab Einbußen unter Fluglärm. Diese Schulen werden darüber hinaus vermehrt von Kindern aus ökonomisch schlecht gestellten Familien besucht, was sich meist zusätzlich negativ auf die Lernleistung auswirkt [Haines et al. 2001b, Haines et al. 2002, López-Barrio et al. 2003, Stansfeld und Matheson 2003]. Der Grad der Lerneinbußen bleibt umstritten. So konnten Evans et al. [1995], Haines et al. [2001a] und Hygge et al. [2002] Einschränkungen des Leseverständnisses nur bei besonders schwierigen Aufgabenbereichen feststellen. Eine groß angelegte, epidemiologische Studie untersuchte kürzlich das Sprachverständnis, die Merkfähigkeit und Aufmerksamkeit von 2010 Kindern im Alter zwischen 9 und 10 Jahren an Schulen, die sowohl Flug- als auch Straßenverkehrslärm ausgesetzt sind. Unter Adjustierung für sozioökonomischen Status und andere möglicherweise Einfluss nehmende Faktoren konnte ein linearer Zusammenhang zwischen Fluglärm und Defiziten im Sprachverständnis und in der wiedererkennenden Erinnerungsfähigkeit der Kinder festgestellt werden. Dies galt nicht für Straßenverkehrslärm, der allerdings signifikant mit einem verminderten episodischen und begrifflichen Gedächtnis assoziiert war. Diese Ergebnisse beschränkten sich jedoch nicht nur auf schwierige Aufgabenstellungen [Clark et al. 2005, Stansfeld et al. 2005]. Die Verlegung des Standorts des Münchener Flughafens bot die Gelegenheit, Kinder an beiden Orten vor und nach der Schließung bzw. Neueröffnung auf ihre Leistungen zu untersuchen [Hygge et al. 2002]. Während sich am neuen Standort die Lesefähigkeit und das Langzeitgedächtnis der Kinder verschlechterten, wurden die Defizite in diesen Leistungsbereichen bei Kindern im Bereich des alten Flughafens geringer. Das Sprachverständnis erholte sich jedoch nicht. Zusätzlich zu den Einschränkungen in den Leistungen zeigten sich Kinder,

die beständigem Umgebungslärm ausgesetzt waren, schneller demotiviert von schwierigen bzw. unlösbaren Aufgabenstellungen. Sie fühlten sich von dem Lärm gestört und schätzten ihre Lebensqualität geringer ein, als von Lärm unbelastete Vergleichskollektive [Evans et al. 1995, Haines et al. 2001a,b].

Über Tag ist nach Broadbent [1979, 1980] das Aktivitätsniveau des Zentralen Nervensystems (ZNS) zum Zeitpunkt des Lärmereignisses entscheidend für die Reaktionsweise. Allgemein erhöht ein Lärmreiz das Aktivitätsniveau. Trifft nun ein Geräusch auf einen niedrigen Ausgangslevel, so kann die Anregung eine Leistungssteigerung bewirken. Tritt jedoch ein Lärmereignis während eines sowieso schon erhöhten Aktivitätsniveaus auf, wird das ZNS übererregt. Daraus können unkontrolliertes und impulsives Verhalten, Unvorsichtigkeit und Fehler resultieren sowie eine verschlechterte Leistung des Kurzzeitgedächtnisses, hervorgerufen durch eine Einengung der Wahrnehmung [Cohen und Lezak 1977]. Hinzu kommen mögliche Leistungsver schlechterungen durch Ablenkung und durch die Maskierung von Informationen unter Lärmeinwirkung („Masking“).

Wenn Lärm während der Schlafphase auftritt, werden Effekte ausgelöst, die in Primär- und Folgereaktionen unterteilt werden [Jansen und Schwarze 1998]:

Primärreaktionen sind Effekte, die während des Schlafs als direkte Folge der Einwirkungen von Schallreizen beobachtet werden können. Dies sind beispielsweise Aufwachreaktionen, Schlafstadienwechsel oder Herzfrequenzbeschleunigungen.

Sekundärreaktionen sind Folgeerscheinungen des Lärms, die sich am nächsten Tag oder später bemerkbar machen beispielsweise durch Leistungseinbußen.

Tertiärreaktionen sind Folgeerscheinungen des Lärms, die sich erst nach einem längeren Expositionszeitraum z.B. auf den Schlaf oder die Gesundheit des Exponierten auswirken. Vermutet wird insbesondere, dass Herz-

Kreislauf-Erkrankungen vermehrt auftreten. Eine direkte ursächliche Wirkung ist jedoch schwer gegen andere Einflussfaktoren abzugrenzen.

Griefahn [1985] erstellte zu den möglichen Reaktionsformen eine Übersicht.

Lärmgestörte Nächte zeigen vornehmlich negative Effekte in subjektiven Bewertungskriterien, dies sind insbesondere die subjektive Schlafqualität und die subjektive Leistungsfähigkeit. Untersuchungen, die die objektive Leistungsfähigkeit nach lärmbelasteten Nächten testen, kommen hingegen zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen. Öhrström und Rylander [1982] untersuchten kontinuierliche, nächtliche Straßenlärmereinspielungen mit einem energieäquivalenten Dauerschallpegel (L_{eq}) von 34,5 dB(A), 42,5 dB(A) und 51,4 dB(A) im Vergleich zu Nächten mit gleichem L_{eq} aber intermittierender Geräuscheinblendung von 60, 70 und 80 dB(A). Während die kontinuierliche Lärmereinspielung keine Leistungsverschlechterung nach sich zog, konnte nach Nächten mit intermittierender Exposition eine Tendenz zur Verlangsamung der Reaktionszeit gezeigt werden. Signifikant war dieser Trend jedoch erst nach Nächten mit 80 dB(A) und auch nur im Vergleich zu Nächten mit kontinuierlicher Lärmereinspielung, da hier die Reaktionszeiten (wahrscheinlich aufgrund von Trainingseffekten) besser ausfielen als nach den Referenznächten. Wilkinson und Campbell [1984] untersuchten in einer Feldstudie die Auswirkungen von lärmindernden Maßnahmen, wie Doppelverglasung, auf den Schlaf und die Leistung. Durch eine Lärmreduktion um 5,8 dB(A) ausgehend von einem nächtlichen L_{eq} von 46,6 dB(A) erreichten sie schnellere Reaktionszeiten. Öhrström und Björkmann [1988] untersuchten die kumulativen Wirkungen von Straßenverkehrslärm im Labor und zeigten ebenfalls schlechtere Leistungen in Reaktionszeittests. In einem Überblick zu mehreren Labor- und Feldstudien wiesen Öhrström et al. [1988] auf einen Zusammenhang zwischen Schlafqualität und nachfolgender Testleistung hin. Eine verminderte Schlafqualität beobachteten sie noch nicht nach 8 aber nach 16 Lärmereignissen mit 60 dB(A) in der Nacht bzw. nach 64 Lärmereignissen mit 50 dB(A) [Öhrström und Rylander 1990].

Einen Einfluss auf die Reaktionszeit in einem einfachen Reaktionszeittest hatte dies jedoch nicht. Erst in einem komplexeren Test zeigten sich verschlechterte Reaktionszeiten mit ansteigender Zahl an Verkehrsgeräuschen bei einem Maximalpegel von 60 dB(A). In einer weiteren Laborstudie [Öhrström 1995], die die Auswirkungen der Anzahl von nächtlichen Verkehrsgeräuschen (16, 32, 64, 128 Geräusche) mit 45 dB(A) untersuchte, wurden keine Veränderungen in einem komplexeren Reaktionszeittest nachgewiesen. Allerdings zeigten sich Verschlechterungen in einem Vigilanztest nach 16, 64 und 128 Geräuschen, die stark von dem Müdigkeitsempfinden der Versuchspersonen geprägt zu sein schienen. Viele Studien konnten jedoch keine Einschränkung der Leistung nach lärmgestörten Nächten feststellen. Griefahn et al. [2000] untersuchten 377 Versuchspersonen im Feld, die an stark befahrenen Bahnstrecken bzw. Straßen wohnen, ohne einen Zusammenhang des nächtlichen Geräuschpegels mit der Leistung und anderen Faktoren (subjektive qualitative und quantitative Schlafparameter, Aktimetrie) nachzuweisen. Marks und Griefahn [2005] spielten Zugverkehrslärm mit einem nächtlichen Leq von 40, 44 und 50 dB(A) in einer Laborstudie ein. Die 32 Versuchspersonen zeigten keine Einschränkung der Leistung, diese war jedoch signifikant mit Einbußen an Tiefschlaf korreliert. Untersuchungen mit nächtlichen Fluglärmeinspielungen mit einem Leq von 39, 44 und 50 dB(A) wiesen keine Effekte in einem Go/Nogo-Reaktionszeittest nach. Die zusätzlich abgeleiteten evozierten Potentiale zeigten jedoch bei dem schwierigeren Testteil eine lärmassoziierte Amplitudenminderung, die Ausdruck einer durch den Nogo-Befehl hervorgerufenen motorischen Hemmung war und durch nächtlichen Lärm beeinflussbar scheint [Schapkin et al. 2006]. Gieschke et al. [1994] untersuchten die Wirksamkeit von Schlafmedikamenten anhand einer lärmgestörten Nacht mit einem Leq von 52 dB(A), durch die eine signifikant vermehrte Anzahl an Arousal induziert wurde. Auch unter Placebo waren keine Einschränkungen der Leistung am nächsten Morgen zu beobachten. Jansen und Schwarze [1998] bestätigten in ihrer Literaturübersicht, dass es zu Leistungsbeeinträchtigungen erst nach einem beträchtlichen Schlafdefizit

kommt, wie es allein durch Lärmexposition während der Nacht nicht zu erwarten ist. Wilkinson et al. [1966] und Wilkinson [1968, 1969, 1970] konnten Leistungsminderungen nach partiellem Schlafentzug für eine Nacht erst nachweisen, wenn die Schlafzeit weniger als 2 Stunden betrug. Bei 2 aufeinander folgenden Nächten mit partieller Schlafdeprivation waren Einbußen in der Leistung bereits bei einer Schlafzeit von unter 5 Stunden messbar. Dies deutet auf einen kumulativen Effekt für die Auswirkungen von partiellem Schlafentzug hin. Die Schlafstörungen unter Lärmexposition scheinen jedoch diese Dimensionen nicht zu erreichen. Studien zur Schlaffragmentierung, die mit Hilfe von eingespielten Tönen während der Schlafzeit erreicht wurde, konnten Defizite in der Leistung erst durch Induktion visuell sichtbarer EEG Arousal erreichen [30 Töne pro Stunde bei Martin et al. 1996, 25 Töne pro Stunde bei Guilleminault et al. 2006]. Allein die autonome Reaktion des Körpers auf den Ton (in Form eines ansteigenden Blutdrucks bzw. einer ansteigenden Herzfrequenz) ohne EEG Arousal erzielte diese Wirkung nicht [34 Töne pro Stunde bei Martin et al. 1997, Guilleminault et al. 2006]. Bonnet [1985, 1986a, 1987] unterbrach den Schlaf von Versuchspersonen in zwei aufeinander folgenden Nächten nach je 1 bzw. 2 Minuten Schlafzeit ebenfalls durch das Einspielen von Tönen. Hier mussten die Versuchspersonen das Erwachen jedoch durch unterschiedliche bewusste Handlungen bestätigen. Es zeigte sich folglich eine stark gestörte Schlafarchitektur mit Einbußen im Bereich des Tief- und REM-Schlafs, die wiederum deutliche Leistungsminderungen nach sich zog. Die beobachteten Leistungsbeeinträchtigungen waren stärker, als sie nach einer Nacht totalen Schlafentzugs gemessen wurden, aber schwächer als nach zwei Nächten totalen Schlafentzugs. Darüber hinaus war eine deutliche Abnahme der Sensitivität der Probanden auf den Stimulus zu verzeichnen, so dass die Lautstärke während des Experiments angepasst werden musste und einige Versuchspersonen auch durch einen Pegel von 120 dB nicht mehr geweckt werden konnten. Ähnliche Einbußen in der Leistung wurden durch das Einspielen von Tönen nach 2-minütiger Schlafzeit verursacht, die das eine Mal durch eine Veränderung der Körperlage beantwortet werden mussten, das

andere Mal aber lediglich ein EEG Arousal hervorriefen [Bonnet 1987]. In einer Übersicht zu den Folgen von Schlaffragmentierung beschreibt Stepanski [2002] mehrere Studien, die Einbußen im Leistungsbereich nachweisen konnten, u.a. durch Vigilanztests und einfache sowie komplexe Reaktionszeittests.

Zur Erklärung der geringen bis ausbleibenden Leistungsminderungen nach nächtlichem Lärm wurden verschiedene Theorien aufgestellt. Zum einen ist es denkbar, dass die lärmbedingten Schlafveränderungen unter experimentellen Bedingungen wirklich keine Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit haben oder aber dass sie über den Untersuchungszeitraum kompensiert werden können. Zum anderen könnten die Leistungseinbußen durch die Wahl ungeeigneter Testverfahren nicht aufgedeckt werden.

Da häufig keine Einschränkungen der Leistung nach lärmgestörten Nächten zu finden sind, und auch die Veränderungen der Schlafstruktur, die hierfür ursächlich sind, nicht bekannt sind, kann man sich der Problematik am ehesten nähern, indem man die Leistungseinbußen unter Schlafentzug zum Vergleich heranzieht. Denn die subjektiven Beschwerden sind zum Teil recht ähnlich, so klagen beide Gruppen über schlechte Leistungsfähigkeit, Müdigkeit und Schläfrigkeit über Tag. Es gibt auch einige Hinweise dafür, dass die Müdigkeit und Leistungsfähigkeit am Tag nicht von speziellen Schlafstadien abhängen sondern eher von der Schlafdauer [Bonnet 1986b, Gillberg 1995, Jewett et al. 1999a, Martin et al. 1999]. Die Zeitkonstanten, die aus Dosis-Wirkungskurven zu Schlafdauer und Leistung bzw. Schlafdauer und Wachheit ermittelt wurden, sind beispielsweise verschieden von der Abnahmegeschwindigkeit des Tiefschlafdrucks [Jewett et al. 1999a]. Auch die interindividuelle Anfälligkeit für Leistungseinbußen und Müdigkeit nach Schlafrestriktion scheint sehr ausgeprägt zu sein [Van Dongen et al. 2004]. Nach Balkin et al. [2004] scheint der Schläfrigkeit eine bedeutende Rolle bezüglich der Leistungsminderungen nach Schlafentzug zuzukommen. Besonders sensitiv kann diese mit Hilfe lang andauernder Testverfahren untersucht werden. Hierfür bietet sich beispielsweise ein Reaktionszeittest an,

wobei insbesondere die Fehlversuche, die so genannten Lapses, sensitiv das Ausmaß an Schläfrigkeit und die Instabilität des Schlaf-Wach-Rhythmus abbilden sollen [Doran et al. 2001]. Die mittleren und schnellsten Reaktionszeiten der Versuchspersonen werden eher durch das Alter beeinflusst. Jüngere Probanden zeigen stärkere Leistungseinbußen durch Schlafentzug als ältere, wohingegen ältere Versuchspersonen ihre Leistungsfähigkeit häufig schlechter einschätzen, als dies messbar der Fall ist [Philip et al. 2004].

1.2 Leistungstests

Die Leistungsfähigkeit des Menschen wird täglich durch die verschiedensten inneren und äußeren Einflüsse variiert. Vorangegangener Schlaf, die Tageszeit, zu der die Leistung erbracht werden soll, körperliches und emotionales Befinden, Motivation, Umgebungsbedingungen und die Art der Anforderung sind beispielhaft als wichtige Einflussfaktoren zu nennen.

Leistungstests dienen als objektive Messverfahren, mit denen die Auswirkungen der Umweltfaktoren bzw. –stressoren auf die Leistungsfähigkeit des Menschen quantitativ und qualitativ erfasst werden können. Quantitativ bedeutet hierbei beispielsweise die Messung der Reaktionszeit auf einen Stimulus in Millisekunden oder die Anzahl an richtigen oder falschen Antworten, wohingegen die qualitative Ausrichtung des Tests die Fähigkeit darstellt, einen bestimmten mentalen Verarbeitungsprozess abzubilden, z.B. die Funktion des deklarativen Gedächtnisses. Des Weiteren kann ein Leistungstest angewendet werden, um die Fähigkeiten eines Menschen zur Informationsverarbeitung abzubilden.

Es ist wichtig, zu wissen, auf welche Funktionen des Menschen der Stressor Einfluss nehmen könnte, um das richtige Testverfahren auszuwählen. Wilkinson [1970] beschreibt, dass es erst 62 Jahre nach den ersten Schlafentzugsexperimenten gelang, einen Test zu finden, der die Leistungseinbußen nach „nur“ 30-stündigem Schlafentzug darstellen konnte. Schlussfolgerungen aus Ergebnissen einer Untersuchung können also immer nur so gut

sein wie die Messinstrumente, die zur Analyse der Situation herangezogen werden. Es gibt verschiedene Werte, die die Güte eines Testverfahrens in der Beurteilung unterschiedlicher Stressoren beschreiben: Neben einer hohen Sensitivität sollte das Testverfahren eine gute Reliabilität und Validität aufweisen. Dies bedeutet, dass der Test messen sollte, was er zu messen vorgibt (Validität), dies sollte er beständig tun (Reliabilität) und außerdem fähig sein, Änderungen in dem wahrzunehmen, was er misst (Sensitivität). Versuche, die Reliabilität und Validität zu erhöhen, führen allerdings häufig zu einem Verlust in der Sensitivität [Wetherell 1996]. Weiterhin kann ein Leistungstest beurteilt werden nach der „Intrusiveness“, d.h. nach dem Grad der Behinderung der eigentlichen Tätigkeit durch den Test, und nach seiner Einsatzfähigkeit im Feldversuch. Von den vorgenannten Bewertungsfaktoren werden nur die Sensitivität und Reliabilität objektiv quantifiziert, die übrigen werden subjektiv bestimmt und können am ehesten empirisch ermittelt werden [Balkin et al. 2004]. Um eine verwertbare Aussage über die Auswirkungen eines Stressors auf die Leistung treffen zu können, sollte der Leistungstest außerdem einen gleich bleibenden Schwierigkeitsgrad aufweisen und insensitiv auf interindividuelle Unterschiede reagieren.

Für die meisten Leistungstests gibt es keine normierte Datenbasis, vielmehr dient die einzelne Versuchsperson als ihre eigene Kontrolle, wodurch auch die Einflüsse interindividueller Unterschiede gering gehalten werden können.

In der Praxis wird eine Fülle an unterschiedlichen Leistungstests angewendet. Sie sind meist nicht auf eine bestimmte Aufgabe zugeschnitten, sondern eher für eine breite Anwendbarkeit bestimmt [Wetherell 1996].

Einen bemerkenswerten und erfolgreichen Versuch zur Standardisierung von Leistungstests unternahm die NATO Advisory Group on Aerospace Research and Development Working Group 12. In 2-jähriger Arbeit normierte diese Gruppe sieben allgemein gebräuchliche Leistungstests in der so ge-

nannten „STRES Battery“ (standardized tests for research into environmental stress) [AGARD 1989, Wetherell 1990, AGARD 1991].

1.3 AGARD STRES Batterie

Viele Forschergruppen beschäftigen sich insbesondere im militärischen Aufgabenbereich mit der menschlichen Leistungsfähigkeit. Doch Unterschiede im Protokoll, der Datensammlung oder den Testbedingungen verhindern oft einen Vergleich der Ergebnisse. Zur Lösung dieses Problems schlossen sich zunächst Forscher der NATO-Mitgliedsstaaten in der „Aachen Academic Group“ zusammen. Aus dieser ging schließlich die Working Group 12 des AGARD Aerospace Medical Panel hervor, die die Aufgabe hatte, die vielen bestehenden Leistungstests zusammenzuführen und die geläufigsten Testverfahren in einer standardisierten Testbatterie zu vereinen, so dass schließlich eine normierte Test- und Datenbasis zur Bewertung der Leistung zur Verfügung stände. Die daraus entwickelte AGARD STRES Batterie hat Ähnlichkeiten mit der Unified Tri-Service Cognitive Performance Assessment Battery (UTC-PAB), die von Repräsentanten der US-Navy, der Air Force und der Army entwickelt wurde, und stellt eine Ausweitung dieses Ansatzes dar. Die STRES Batterie legt jedoch unter anderem größeren Wert auf Standardisierung und enthält somit detaillierte Informationen zu maschinenunabhängigen Testverfahren, Software, Stimuluspräsentation, Antwortwerkzeugen, Testumgebung, Übungserfordernissen, Art der Instruktion der Probanden, Datensammlung und einem standardisierten Format zum Austausch von Daten. Die Zielsetzung der STRES Batterie ist auf die Erforschung der Auswirkungen von Umweltstressoren gerichtet. Um dies zu verwirklichen, sollen die Tests veränderte Umweltbedingungen als Stressor-Effekt in einer Änderung der Leistung abbilden, aber auf interindividuelle Unterschiede möglichst wenig reagieren. Da dies aber nicht vollständig auszuschließen ist, müssen Nebeneffekte wie der Einfluss anderer Stressoren, interindividuelle Unterschiede oder Übungseffekte kontrolliert werden. Die Entwicklung der AGARD STRES Batterie beruht nicht auf einer einzelnen

Human Performance Theory. Der Einfluss verschiedener mentaler Verarbeitungsprozesse wurde aber durchaus bei der Auswahl der Testverfahren beachtet. Um eine maximale Generalisierbarkeit zu gewährleisten, wurden keine Simulationen von „real-life tasks“, sondern Labortests ausgesucht, die allerdings nachweislich relevant bezüglich praktischer Aufgabenbereiche sein mussten. Traditionell werden psychometrische Tests erst in einer standardisierten Endform präsentiert, die nachweist, dass es sich um valide, reliable und sensitive Testverfahren handelt. Als Basis für die AGARD STRES Batterie wurden sieben Tests gewählt – sechs voneinander unabhängige Tests und ein Doppelbelastungstest. Sie haben alle eine dokumentierte Vergangenheit in der Anwendbarkeit zur Messung von Stressor-Effekten, eine kurze Dauer, sind sprachunabhängig, basieren auf der Human Performance Theory im Allgemeinen und sind leicht auf gängigen Computersystemen zu implementieren. Es handelt sich um einen Reaktionszeittest („Reaction Time Task“), einen Test zur mathematischen Verarbeitung, einen Gedächtnissuchtest („Memory Search Task“), einen Test zur räumlichen Verarbeitung, einen Hand-Auge-Koordinationstest („Unstable Tracking Task“), einen Test zu grammatikalischem Denken und einen kombinierten Test aus Hand-Auge-Koordination und Gedächtnissuche.

Im Folgenden werden nur diejenigen Testverfahren näher erläutert, von denen die im vorliegenden Bericht verwendeten Testmethoden entlehnt sind.

Reaktionszeitaufgabe – Reaction Time Task

Mit dem hier darzustellenden Reaktionszeittest können neben der basalen Reaktionszeit auch die separaten, mentalen Verarbeitungsstadien gemäß des Processing Stage Models gemessen werden. Einzelne Zahlen werden auf einem Computermonitor präsentiert, deren Erscheinen durch das Drücken einer Taste der Tastatur beantwortet werden soll. Durch Drücken einer von vier entsprechenden Tasten sollen außerdem die Position der Zahl auf dem Bildschirm und die Identität der Zahl bestimmt werden. Weiterhin werden in den Aufgabenblocks vier Variablen variiert: die Stimulusqualität,

die Kompatibilität der Stimulus-Antwort Funktion, die verstrichene Zeit bis zum nächsten Stimulus und die Antwortkomplexität. Diese Variablen wurden auf Grundlage der Methode der additiven Faktoren ausgewählt, da von ihnen anzunehmen ist, dass sie verschiedene Stadien der Verarbeitungsprozesse beeinflussen. Die Stimulusqualität bestimmt hiernach die Geschwindigkeit der Entschlüsselung, die Stimulus-Antwort-Kompatibilität die Antwortwahl, die Antwortkomplexität das motorische Verhalten und die Zeitunsicherheit bis zum nächsten Stimulus die motorische Aktivität. Die Reliabilität für die Variable Zeitunsicherheit wird mit 0,81 angegeben, die zugehörige Irrtumswahrscheinlichkeit mit 0,32. Für die Validität wurde nachgewiesen, dass die Variablen unabhängige Stadien der Verarbeitung betreffen. Eine spezifische Sensitivität des Tests konnte nicht bestimmt werden, jedoch zeigte sich bei einigen Autoren ein Bezug zwischen dem Stadium der motorischen Aktivierung und Schlafdeprivation [Frowein et al. 1981] bzw. Hirnschädigung [Stokx und Gaillard 1986]. Als standardisiertes Training werden 16 Übungseinheiten der Basisbedingung und je vier für die speziellen Bedingungen angesehen mit einer Dauer von je 15 Minuten.

Gedächtnisuchtest – Memory Search Task

Auf dem Bildschirm wird eine Gruppe von Buchstaben präsentiert, die gelernt werden sollen, gefolgt von Probe-Buchstaben, bei denen entschieden werden muss, ob sie zur gelernten Gruppe dazugehören oder nicht. Beantwortet wird die Aufgabe wiederum durch Drücken einer bestimmten Taste. Es wird die Reaktionszeit gemessen sowie die Anzahl der richtigen bzw. falschen Antworten. Dieses Testverfahren beruht auf den Angaben von Sternberg [1966, 1967, 1969a, 1969b, 1971] und wird in drei Variationen durchgeführt. Zum einen kann das Set der zu erlernenden Buchstaben verändert werden, je gefolgt von nur einem Probe-Buchstaben – Varied Set. Zum anderen ist es möglich, nur eine zu erinnernde Buchstabengruppe zu präsentieren, die dann durch eine Folge von einzelnen Probe-Buchstaben abgefragt wird – Fixed Set. Als dritte Prozedur kann ein so genanntes Mixed Set durchgeführt werden, eine Kombination aus den beiden vorgenannten

Varianten. Hier werden mehrere Buchstabengruppen durch wenige folgende Probe-Buchstaben abgefragt. Die Reliabilität des Tests mit 4 Buchstaben wird mit 0,72-0,82 angegeben [Schlegel und Gilliland 1992].

Auch dieses Testverfahren beruht wiederum auf dem Processing Stage Model und der Methode der additiven Faktoren, um das Verarbeitungsstadium zu eruieren, welches durch einen Stressor betroffen wird. Zur Lösung dieser Aufgabe sind folgende Verarbeitungsschritte denkbar: Detektion, Wiedererkennen, Gedächtnissuche, Vergleich und Auswahl der Antwort. Durch Veränderung der Anzahl der zu lernenden Buchstaben kann beispielsweise der Einfluss des Stressors auf die Gedächtnissuche und den Vergleich selektiert werden. Prinzipiell sind zwei Arten der Gedächtnissuche vorstellbar: die serielle Suche, die entweder selbst terminierend oder erschöpfend sein kann, und die inhaltlich adressierte Suche.

Bei der seriellen Gedächtnissuche werden die zu erinnernden Buchstaben unter separaten Adressen abgelegt. Ist die Suche selbst terminierend, so wird der Probe-Buchstabe nacheinander mit jeder Adresse verglichen, bis die richtige Adresse gefunden ist, und die Suche dann abgebrochen. Gehört der Probe-Buchstabe nicht zum gelernten Kollektiv, so werden alle Adressen nacheinander durchgegangen, und danach die Suche beendet. Da die Wahrscheinlichkeit, den Buchstaben zu finden, für alle Adressen gleich groß ist, muss bei dieser Art der Verarbeitung die mittlere Reaktionszeit für eine positive Antwort halb so lang sein wie für eine negative Antwort.

Falls die serielle Suche erschöpfend durchgeführt wird, so werden alle Adressen verglichen, auch wenn die richtige Adresse bereits gefunden wurde. Die Reaktionszeit ist in diesem Fall gleich lang für positive und negative Antworten.

Bei der inhaltlichen Suche bekommt jeder Buchstabe des Alphabets eine Adresse mit dem Zustand „nein“ zugewiesen. Die Adressen der zu erinnernden Buchstaben wechseln in den Zustand „ja“. Wenn der Probe-Buchstabe erscheint, wird der Zustand der entsprechenden Adresse abge-

fragt und die Antwort unmittelbar ausgegeben. Falls diese Art der mentalen Verarbeitung vorliegt, beeinflusst die Größe der zu erinnernden Stichprobe die Reaktionszeit nicht, und die Reaktionszeit für positive und negative Antworten ist gleich.

Es ist anzunehmen, dass im wirklichen Leben unterschiedliche Strategien je nach Charakteristik der zu erinnernden Information angewendet werden. Wird beispielsweise danach gefragt, ob Butter im Kühlschrank ist, so wird am ehesten eine inhaltlich adressierte Suche durchgeführt. Wohingegen bei der Entscheidung, ob eine bestimmte Zahl in einer Telefonnummer enthalten ist, eine serielle Suche stattfindet. Untersuchungen von Sternberg [1966] zeigten eine linear steigende Reaktionszeit mit zunehmender Anzahl der zu erinnernden Buchstaben und identische Reaktionszeiten bei positiven und negativen Antworten, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Versuchspersonen vorwiegend zur seriell erschöpfenden Suche neigten.

Empfohlen werden 10 Trainingssitzungen vor Beginn einer Studie.

Hand-Auge-Koordinationstest – Unstable Tracking Task

Ein fester Zielbereich wird in Bildschirmmitte präsentiert, in dem ein Cursor-Balken mit Hilfe eines Joysticks gehalten werden soll. Der Cursorbalken bricht mit unterschiedlicher Geschwindigkeit unvorhersehbar nach beiden Seiten aus, wobei sich die Geschwindigkeit erhöht, je weiter sich der Cursor vom Zielbereich entfernt.

Dieses Testverfahren wurde von Jex et al. [1966] entwickelt, inspiriert durch die Notwendigkeit für den Piloten, während eines Flugs auf Instabilitäten zu reagieren. Zur Modellierung wurden Techniken aus der Fourier Analyse und der Linear Feedback Control Theory verwendet. Das menschliche Kontrollverhalten im Mensch-Maschine System wird durch ein quasilineares Modell dargestellt, in dem das dynamische Reagieren des Menschen, obwohl nicht-linear, näherungsweise durch eine lineare Transferfunktion und einen nicht-linearen, separaten Rest beschrieben wird. Das Modell ist geeignet, Parame-

ter wie Zeitverzögerung bis zur Reaktion und Stärke der Reaktion im Mensch-Maschine System abzubilden. Die besondere Eigenschaft dieses Tests ist es, den Ausbruch vom Zielbereich durch eine positive Rückkopplungsschleife zu verstärken, was bei vielen dynamischen und komplexen Steuerungsvorgängen der Fall ist.

Seinen theoretischen Hintergrund findet dieser Test am ehesten in den Ressourcen Modellen. In erster Linie beansprucht er die motorischen Leistungsressourcen, während Input- und zentrale Verarbeitung nur einen geringen Aufwand erfordern. Die Testreliabilität wird mit 0,43-0,69 angegeben [Schlegel und Gilliland 1992].

Als Trainingsphase werden 10 Übungsdurchgänge empfohlen.

2 Methodik

2.1 Studiendesign

Die Studiendurchführung erstreckte sich in Intervallen über einen Zeitraum von September 1999 bis Juni 2003. In der Schlafmedizinischen Simulationsanlage des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurden insgesamt 128 Versuchspersonen während 13 aufeinander folgender Nächte untersucht. Die Daten von 16 dieser Versuchspersonen wurden als Kontrollwerte ohne Lärmeinfluss erfasst. An den Feldstudien nahmen insgesamt 64 Probanden an 9 aufeinander folgenden Nächten teil; jedoch mussten wegen häufiger Störungen während der Datenerfassung die Datensätze der Leistung von 2 dieser Versuchspersonen von den weiteren Analysen ausgeschlossen werden. 20 der Versuchspersonen wurden sowohl im Labor als auch zu Hause untersucht, was die Gelegenheit bietet, das Reaktionsverhalten unter beiden Bedingungen zu vergleichen. Um für beide Kollektive gleichartige Bedingungen bezüglich der Wochentage zu schaffen, wurden die Studienabschnitte stets an einem Montag begonnen.

Die erste Nacht diente jeweils als Adaptation an die neue Umgebung bzw. an die Messinstrumente und wurde in die Analysen nicht aufgenommen. Während der Laborstudie wurden am zweiten Tag die Basiswerte der einzelnen Probanden unter Normalbedingungen (ohne Lärmeinfluss) aufgezeichnet. Am 12. und 13. Tag wurden die Erholungsdaten erfasst. In Ausnahmefällen konnte bei vorangegangenem Datenausfall in der 12. Nacht eine der Lärmnächte wiederholt werden. In den Nächten 3-11 wurden die 112 Versuchspersonen der Experimentalgruppe Fluglärm unterschiedlicher Lautstärke und Häufigkeit ausgesetzt. Die Bettzeit war von 23:00 Uhr bis 7:00 Uhr festgelegt, so dass eine Schlafzeit von 8 Stunden zur Verfügung stand.

Die Feldversuche wurden im Umland des Flughafens Köln-Bonn durchgeführt. Dabei wurden Gebiete ausgesucht, die möglichst stark mit Fluglärm

und möglichst wenig durch andere Verkehrslärmarten belastet waren. Die Messungen fanden an 9 aufeinander folgenden Tagen inklusive Wochenende statt. Die Bettzeit konnte hier, den individuellen Gewohnheiten entsprechend, freier gestaltet werden. Die Versuchspersonen mussten jedoch eine Mindestruhezeit von Mitternacht bis 6:00 Uhr einhalten.

2.2 Stichprobe

Sowohl in der Labor- als auch in der Feldstudie wurden ausschließlich Personen in einem Alter von 18 bis 65 Jahren untersucht. Das mittlere Alter der Versuchspersonen lag für die Laborstudie bei 38 ± 13 (SD) Jahren, für die Feldstudie bei 37 ± 13 (SD) Jahren. Die Altersverteilung bezogen auf Altersklassen, die jeweils 8 Jahre umfassen, ist in Tabelle 2-1 aufgeführt. Es handelte sich um gesunde Probanden, die nicht an intrinsischen Schlafstörungen litten und ein altersentsprechend gutes Hörvermögen besaßen. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass keine Medikamente mit zentral dämpfender Wirkung eingenommen wurden.

| | Altersklassen (in Jahren) | | | | | |
|-------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 18-25 | 26-33 | 34-41 | 42-49 | 50-57 | 58-65 |
| Laborstudie | 19,5% | 27,3% | 14,1% | 14,8% | 13,3% | 10,9% |
| Feldstudie | 25,0% | 14,1% | 20,3% | 23,4% | 9,4% | 7,8% |

Tabelle 2-1: Altersverteilung der Probanden in der Labor- und Feldstudie. Jede Altersklasse umfasst jeweils acht Jahre.

Die Probanden der Laborstudie setzten sich zu 58,6% aus weiblichen und zu 41,4% aus männlichen Studienteilnehmern zusammen. In der Feldstudie handelte es sich entsprechend um 54,7% Frauen und 45,3% Männer.

2.3 Akustik

In den Laborstudien wurden die Geräusche startender und landender Flugzeuge per Lautsprecher in die zuvor eingemessenen Schlafzimmer der Probanden eingespielt. Dabei handelte es sich um 4 bis 128 Einzelereignisse pro Nacht mit einem Maximalpegel zwischen 45 und 80 dB(A), die äquidistant zwischen 23:15 Uhr und 6:45 Uhr verteilt wurden. Die Abstufungen zwischen den Pegeln betrug 5 dB(A). Insgesamt standen 14 verschiedene Fluggeräusche zur Verfügung. In einer Studiennacht wurde immer dasselbe Fluggeräusch eingespielt. Die Anzahl der Nächte, die mit einer bestimmten Kombination aus Maximalpegel und Anzahl an Lärmereignissen durchgeführt wurde, ist in Tabelle 2-2 aufgeführt. Es wurde versucht, jede Kombinationsmöglichkeit mit 32 Nächten (davon 16 Nächte mit startenden und 16 Nächte mit landenden Flugzeuggeräuschen) zu belegen. Eine Ausnahme hiervon bilden die jeweils 40 Nächte, in denen 4 x 55 dB(A) und 4 x 60 dB(A) eingespielt wurden. Da diese Kombinationen das Jansen-Kriterium [Griefahn et al. 2002] knapp unterschreiten, sollte hiermit eine besondere Absicherung gewährleistet werden. Einige Felder blieben komplett ausgespart, weil unter der jeweiligen Lärmbelastung entweder wegen Geringfügigkeit keine Reaktionen zu erwarten waren oder die Lärmbelastung so ausgeprägt gewesen wäre, dass das Auftreten in der Realität unwahrscheinlich erschien und von den Versuchspersonen eventuell nicht toleriert worden wäre. Die Studiendurchführung erfolgte doppel-blind, d.h. dass sowohl die Probanden als auch die betreuenden Untersucher im Vorhinein nicht über das Geräuschemuster der Nacht informiert wurden.

| Maximalpegel in dB(A) | Anzahl der Fluggeräusche | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|----|----|----|----|-----|
| | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 |
| 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 | | | | |

Tabelle 2-2: Übersicht über die Anzahl an Nächten, in denen die Probanden einer bestimmten Kombination aus Anzahl an Fluggeräuschen und Maximalpegel der Geräusche in dB(A) ausgesetzt waren.

In der Feldstudie wurden die Versuchspersonen unter dem Einfluss des realen Fluglärms untersucht, d.h. des Fluglärms, der von dem Luftverkehr des Flughafens Köln-Bonn verursacht wurde. Es wurde kein zusätzlicher Fluglärm eingespielt. Die Probanden wurden nach Gebieten ausgesucht, die möglichst nur durch Fluglärm belastet sind.

Zur ausführlichen Darstellung des Studiendesigns, des Auswahlverfahrens der Versuchspersonen, der Stichprobe und der Akustik sei auf den Forschungsbericht DLR FB 2004-08/D [Basner et al. 2006a] verwiesen.

Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der Ärztekammer Nordrhein genehmigt. Die Probanden wurden entsprechend der Deklaration von Helsinki aufgeklärt und nahmen freiwillig an den Studien teil; sie konnten den Versuch zu jeder Zeit abbrechen. Die Versuchspersonen erhielten für die Teilnahme an der Studie eine Aufwandsentschädigung.

2.4 Leistungstests

Die Tests zur Erfassung der Leistung wurden 2x täglich - morgens und abends - computergestützt durchgeführt. Die einzelnen Testabschnitte waren implementiert auf der Testsoftware ERTS (experimental run time system) der Firma Berisoft. Während des Laborversuchs war der Aufstehzeitpunkt mit 7:00 Uhr morgens festgelegt. Der Leistungstest erfolgte kurz darauf nach dem Ausfüllen der psychologischen Fragebögen, aber noch vor der Benutzung des Bades und dem Frühstück. Abends wurden die Tests um 21:00 Uhr durchgeführt. Auf diese Weise sollten Einflüsse der zirkadianen Rhythmik auf die Leistungsfähigkeit von Tag zu Tag konstant gehalten werden. Im Feldversuch bestimmten die Versuchspersonen den Zeitpunkt des Aufstehens und Zu-Bett-Gehens weitgehend selbst. Allerdings sollte die Bettzeit mindestens zwischen Mitternacht und 6:00 morgens eingehalten werden.

Als Leistungstests kamen zwei Verfahren zur Anwendung, die auf den Empfehlungen der AGARD STRES Batterie basieren (Vergl. Kapitel 1.3) – der Gedächtnisuchtest und der Test zur Erfassung der Hand-Auge-Koordination. Die Einzelreaktionsaufgabe ist einer speziellen Variante nach Dinges und Powell entlehnt [1985]. Die vorliegende Testbatterie wurde vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin schon häufig zur Untersuchung von Luftfahrt-bezogenen Fragestellungen eingesetzt. Somit liegen umfangreiche Erfahrungen in der Erfassung von Belastung, Beanspruchung und Leistungsfähigkeit aus Feld- und Laborversuchen vor [DLR Statusbericht 1996, Gür et al. 1998, Basner et al. 2004, Elmenhorst 2004]. Die Abfolge, in der die einzelnen Testabschnitte präsentiert wurden, war unter den Versuchspersonen randomisiert, blieb aber während der Studie für den einzelnen Probanden gleich. Auch die Dauer der Testabschnitte war festgelegt, was dazu führte, dass je nach Reaktionsgeschwindigkeit der Versuchsperson unterschiedlich viele Stimuli angeboten wurden. Die Abfolge der Einzelfragen war somit von der eigenen Geschwindigkeit bestimmt. Auch der

Zeitpunkt des Aufgabenbeginns wurde von der Versuchsperson selbst gewählt. Die Gesamtdauer einer Testeinheit betrug ca. 30 Minuten, da zwischen den Aufgabenabschnitten auch kleine Pausen zur Erholung eingehalten wurden.

Alle Versuchspersonen wurden persönlich durch einen Betreuer mit den einzelnen Testabschnitten vertraut gemacht, zum einen durch mündliche Erläuterung, zum anderen durch Vorführen der Aufgabe. Zusätzlich begann jeder Aufgabenabschnitt mit genauen Anweisungen in Textform, so dass die Versuchsperson die Möglichkeit hatte, sich die Anleitung noch einmal durchzulesen. Die Probanden wurden angehalten, alle Aufgaben immer möglichst gut und mit gleicher Anstrengung zu bearbeiten, um den Einfluss der Motivation auf die Testleistung gering zu halten.

2.4.1 Einzelreaktionsaufgabe – Single Reaction Time, SRT

Auf einem dunklen Bildschirmhintergrund wird der Versuchsperson eine in weißen Zahlen von 0 ms hoch zählende Stoppuhr als Stimulus präsentiert (Abbildung 2-1). Sobald diese von dem Probanden wahrgenommen wird, soll eine bestimmte Taste gedrückt werden, auf der der Finger schon ruht. Nach erfolgter Reaktion wird die benötigte Reaktionszeit zur Motivation noch 3 Sekunden angezeigt, bis der Monitor wieder dunkel wird. Das Zeitintervall zwischen den Signalen ist unregelmäßig, so dass nach dem Processing Stage Model das Stadium der motorischen Aktivität angesprochen wird. Dies ist ein Überschneidungspunkt mit der Reaktionszeitaufgabe der AGARD STRES Batterie. Die Dauer des Tests beträgt 10 Minuten. Es ist davon auszugehen, dass anfänglich motivierende Faktoren, die z.B. die Auswirkungen von Schläfrigkeit verdecken könnten, durch die Monotonie und Dauer der Aufgabe enttarnt werden. Geprüft werden insbesondere Aufmerksamkeit und Vigilanz. Antwortzeiten, die mehr als 500 ms benötigen, werden als Spätreaktion angesehen – so genannte Lapses [Dinges und Powell 1985].

Einzelreaktionsaufgabe (Single Reaction Time, SRT)

Auf dem leeren Bildschirm erscheint in zufälligen Intervallen eine hochlaufende 3-stellige digitale Stoppuhr (in ms)

197

Der Proband reagiert so schnell wie möglich, die erzielte Reaktionszeit wird für drei Sekunden angezeigt; self-paced.

Abbildung 2-1: Bildschirm mit hochlaufenden Ziffern (Einzelreaktionsaufgabe - SRT).

Berechnet wurden je Sitzung:

- Mittelwert der Reaktionszeiten (SRT MW)
- Mittelwert der 10% besten Reaktionszeiten (SRT 10B)
- Mittelwert der 10% schlechtesten Reaktionszeiten (SRT 10W)
- Anzahl der Lapses (≥ 500 ms) (SRT LAP)
- Standardabweichung der mittleren Reaktionszeit (SRT SD)

Reaktionszeiten, die 130 ms oder weniger betragen, sind am ehesten auf Fehlreaktionen ohne Stimulus zurückzuführen und wurden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

2.4.2 Gedächtnissuchtest – Memory Search Task, MST

Dieser Test beinhaltet das in der AGARD STRES Batterie dargestellte „Fixed Set“. Es muss demnach von der Versuchsperson eine bestimmte Anzahl von Buchstaben gelernt werden, die nachfolgend über 3 Minuten abgefragt

wird. Die Zeit, die der Proband zur Einprägung der Buchstaben benötigt, wird von ihm selbst bestimmt und nicht aufgezeichnet. Zur Entscheidung, ob ein nachfolgend dargebotener Buchstabe zur Lerngruppe gehört, sind die Tasten „W“ (wahr) und „D“ (falsch) der Tastatur vorgesehen, die mit Mittel- und Zeigefinger der linken Hand betätigt werden. Es wird sowohl die Reaktionszeit gemessen als auch die Anzahl der richtigen und falschen Antworten. Nach der Antwort erscheint unmittelbar der nächste Buchstabe. Diese Aufgabe wurde von den Versuchspersonen zweimal ausgeführt, einmal bestand der Test aus vier zu erinnernden Buchstaben (MS4), das andere Mal aus sechs zu erinnernden Buchstaben (MS6). So kann der Einfluss des Stressors auf die Gedächtnissuche und auf den Vergleich gemäß dem Processing Stage Model untersucht werden.

Berechnet wurden je Sitzung („x“ steht für 4 bzw. 6):

- Mittelwert der Reaktionszeiten aller korrekter Antworten (MSx MW)
- Mittelwert der Reaktionszeiten aller korrekten Antworten, wobei die Probebuchstaben zur Lerngruppe gehörten (MSx MWY)
- Mittelwert der Reaktionszeiten aller korrekten Antworten, wobei die Probebuchstaben nicht zur Lerngruppe gehörten (MSx MWN)
- Prozentsatz der falsch positiven Antworten; d.h. der Probebuchstabe wurde der Lerngruppe zugeordnet, gehörte aber nicht dazu (MSx FP)
- Prozentsatz der falsch negativen Antworten; d.h. der Probebuchstabe wurde der Lerngruppe nicht zugeordnet, gehörte jedoch dazu (MSx FN)

Reaktionszeiten, die 130 ms oder weniger betragen, wurden wiederum als verfrühte Reaktionen von den weiteren Analysen ausgeschlossen.

2.4.3 Hand-Auge-Koordinationstest – Unstable Tracking Task, UTT

Auf dem Monitor erscheint ein Messfeld, in dessen Mitte, markiert durch zwei Balken, der Cursor mit Hilfe eines Joysticks stabil gehalten werden soll (Abbildung 2-2). Der Cursor bricht dabei unkontrolliert nach beiden Seiten aus, wobei sich seine Fluchtgeschwindigkeit mit wachsender Entfernung von der Mittelposition erhöht. Berührt der Cursor die äußere Begrenzung des Messfelds, so wird dies als Kontrollverlust aufgezeichnet. Der Cursor erscheint nachfolgend wieder in der Mitte. Weiterhin wird die Abweichung des Cursors von der Mittelposition gemessen. Die Aufgabe wird über 3 Minuten ausgeführt. Sie prüft die Feinmotorik und Hand-Auge-Koordination und bildet somit eine typische Operatortätigkeit in technischen Systemen ab.

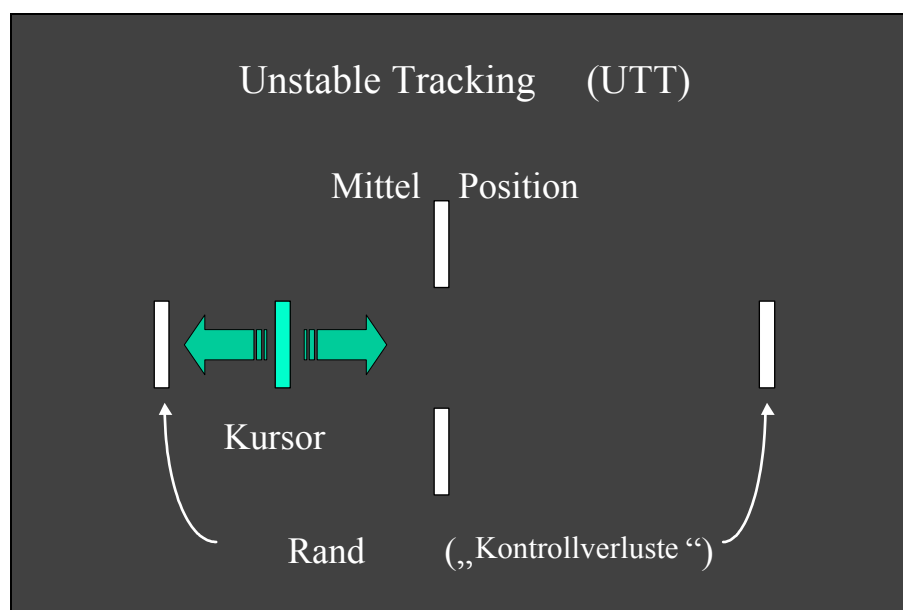


Abbildung 2-2: Bildschirm bei der Trackingaufgabe (Hand-Auge-Koordination - UTT).

Die Abweichungen des Cursors von der Mittelposition werden vom Programm ERTS als Wurzel der mittleren quadratischen Abweichung („root mean square error“ = RMS error) aufgezeichnet. Die Anzahl der Berührungen der seitlichen Begrenzung werden als Kontrollverluste („losses of control“, LOC) gespeichert.

Berechnet wurden je Sitzung:

- Mittelwert aus dem RMS error unter Ausschluss der Kontrollverluste (UTT RMS)
- Anzahl der Kontrollverluste (UTT LOC)

2.4.4 NASA Taskload Index, NASA TLX

Der NASA Taskload Index (NASA TLX) ist ein Fragebogen, der auf dem Computer im Anschluss an die Leistungstests präsentiert wird. Er wurde von der NASA (National Aeronautics and Space Administration) entwickelt und dient der retrospektiven und subjektiven Beurteilung der Arbeitsbelastung und – beanspruchung [Hart und Staveland 1988, Pfendler 1991]. Auf einer Skala von 0 bis 20 (0: sehr niedrig, wenig; 20: sehr hoch, stark) werden sechs psychophysiologische Merkmale abgefragt. Drei Fragen zielen auf die Bewertung der Belastung – geistig kognitive Anforderung, körperlich motorische Anforderung, zeitliche Anforderung – und drei Fragen auf die Einschätzung der Beanspruchung – eigene Leistung, Anstrengung, Frustration. Zusätzlich werden die Skalen von der Versuchsperson einmal während einer Studienphase individuell in ihrer Wichtigkeit bewertet, 0 entspricht dem niedrigsten Rang, 5 dem höchsten. Zur Auswertung werden die einzelnen Skalenwerte mit ihrem Rang multipliziert und danach summiert, so dass sich Ergebnisse zwischen 0 und 300 Punkten ergeben.

Die Abstufungen erfolgen in 60 Punkte Schritten:

- 0-60: sehr niedrige Belastung
- 60-120: niedrige Belastung
- 120-180: mittlere Belastung
- 180-240: hohe Belastung
- 240-300: sehr hohe Belastung

Der NASA TLX ergänzt die objektive Messung der Leistung durch eine subjektive Komponente.

2.5 Training

Ein wichtiger Parameter, der bei der Beurteilung der Leistung berücksichtigt werden sollte, ist die natürliche Verbesserung der Leistungsergebnisse durch Übung, welche die zu untersuchenden Effekte verfälschen kann. So wurden die Versuchspersonen ab vier Wochen vor Beginn der Studienphase in der Durchführung der Leistungstests trainiert. In der Regel waren 40 Trainingssitzungen notwendig, um ein stabiles Trainingsniveau zu erreichen. Bei wenigen Probanden wurde ein stabiles Niveau bei den unterschiedlichen Tests schon nach 32 Trainingseinheiten erreicht. Bei den 20 Versuchspersonen, die sowohl an der Laborstudie als auch später am Feldversuch teilnahmen, wurde mit 8 Einheiten ein stabiles Ausgangsniveau erneut sichergestellt. Nur während des Trainings wurden die Probanden auf ihren Leistungsverlauf aufmerksam gemacht. Da als Versuchspersonen immer einige Probanden mehr als zur Studienteilnahme benötigt trainiert wurden, konnten diejenigen Personen zur endgültigen Teilnahme selektiert werden, die gut reproduzierbare und konstante Leistungen erbrachten. Probanden, die schon vor Studienbeginn einen Motivationsverlust erkennen ließen, mussten somit nicht einbezogen werden.

2.6 Statistische Analyse

Das Datenverarbeitungsprogramm der Leistungstests legt gemäß der AGARD STRES Batterie jede einzelne Reaktionszeitmessung, Abweichung von der Mittelposition bzw. aufgetretene Fehlreaktion etc. in Tabellenform an und speichert sie als Textfile nach jeder Testsitzung mit einer Kennung, die genau der betreffenden Versuchsperson und dem Zeitpunkt der Messung zuordenbar ist. Mit Hilfe eines im Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin entwickelten Programms werden die Daten weiter zusammengefasst und in Excel Tabellen eingefügt. Auf der Grundlage dieser Haupttabellen werden die Daten weiterverarbeitet und graphisch dargestellt.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte zunächst mittels einer Mixed Model ANOVA in SAS, Version 8.2. Auftretende Effekte werden als zufällig behandelt, da es sich bei den untersuchten Personen um eine Untergruppe von potentiell zur Verfügung stehenden Personen handelte. Das Mixed Model berücksichtigt, dass von den Versuchspersonen Werte wiederholt und über mehrere Studientage einfließen, dass die erhaltenen Daten also nicht unabhängig sind. Es werden sowohl Innersubjektfaktoren als auch Zwischensubjektfaktoren einbezogen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Varianzanalysen kann das Modell auch mit einzelnen fehlenden Werten arbeiten. Im Ergebnissteil sind die Resultate der Analysen hauptsächlich als Differenzen zu einem Basiswert – meist dem Tag 2 der Studie – dargestellt (Estimate of Difference = E) \pm 95% Konfidenzintervall. Diese Abbildungen erlauben es, mit einem Blick signifikante Abweichungen zu erkennen, die vorliegen, sobald das Konfidenzintervall den Basiswert nicht mehr einschließt. Soweit nicht anders beschrieben, sind im Text Mittelwerte \pm Standardfehler angegeben. Die Adjustierung der Post-hoc Analysen für Messwiederholungen erfolgte nach Dunnett. Untersucht wurde insbesondere, ob eine generelle Lärmwirkung in den Leistungstests ersichtlich wird (Vergleich Lärmmessungen mit lärmfreien Basismessungen), und ob die Lärmwirkung anhand der akustischen Parameter Anzahl und Maximalpegel oder Leq vermittelt wird.

Im nächsten Schritt wurden Dosis-Wirkungsbeziehungen für diejenigen Leistungsparameter berechnet, für die Effekte in der Mixed Model ANOVA gezeigt wurden. Die Dosis-Wirkungsbeziehungen wurden anhand von Regressionsanalysen des Mixed Models in SAS berechnet. Die Lärmparameter Leq, Maximalpegel und Anzahl der Lärmereignisse sowie der kumulative Effekt von Tag zu Tag wurden zunächst einzeln untersucht und bei vorliegender Signifikanz zusammen in einem Modell getestet. Als Moderatoren galten das Alter und Geschlecht der Versuchspersonen. Für die Leistungsparameter Lapses im SRT, Prozentsätze der falsch positiven und falsch negativen Antworten im MS4 und MS6 und für die LOC im UTT wurde die Aus-

wertung ausschließlich anhand von multivariablen logistischen Regressionsanalysen mit Zufallseffekt in SAS durchgeführt (Proc NLMIXED). Diese „Fehlreaktionen“ bei den Leistungstests kamen selten vor, so dass das Fehlen von Fehlreaktionen mit 0, jegliches Auftreten einer Fehlreaktion mit 1 angenommen wurde.

Das Signifikanzniveau wurde mit $\alpha < 0,05$ angenommen. In den Abbildungen entsprechen:

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

2.7 Hypothesen

- 1) Fluglärm bewirkt Veränderungen der Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen.
 - a) Die Auswirkungen sind abhängig von den akustischen Kennwerten (Leq, Anzahl und Maximalpegel der Flugbewegungen).
 - b) Fluglärm verändert die von den Versuchspersonen empfundene Arbeitsbelastung.
 - c) Die Anfälligkeit für die Auswirkungen nächtlichen Fluglärms ist geschlechtsspezifisch.
 - d) Die Effekte des Fluglärms prägen sich in den Altersstufen unterschiedlich aus.
- 2) Die Auswirkungen des Fluglärms sind in Labor- und Feldversuch unterschiedlich, da im Feld die Möglichkeit der Habituation der Probanden an ihren „gewohnten“ Lärm besteht.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Laborstudien

Alle erfassten Leistungsparameter zeigten einen ausgeprägten Unterschied zwischen morgendlichen und abendlichen Testleistungen. Die Leistungen fielen dabei grundsätzlich am Abend besser aus als am Morgen. Der Unterschied war signifikant auf $p < 0,0001$ -Niveau, wie in Abbildung 3-1 veranschaulicht.

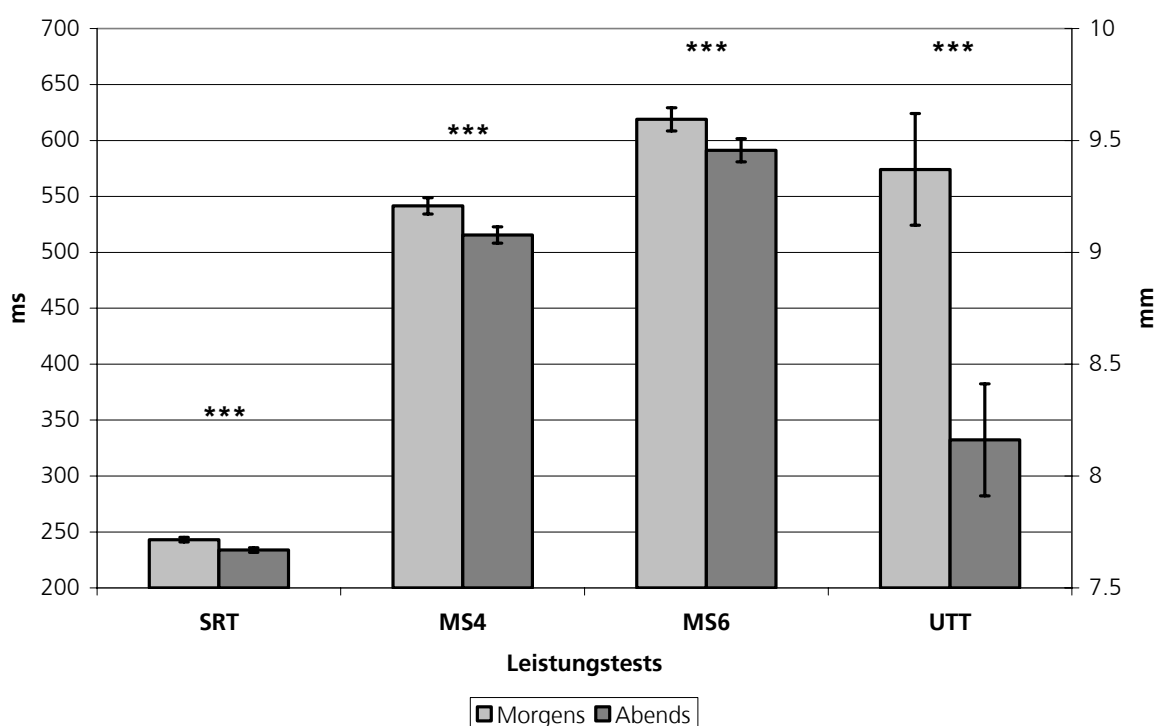


Abbildung 3-1: Vergleich der morgendlichen und abendlichen Testleistungen. Dargestellt sind die Estimates der mittleren Reaktionszeiten mit Standardfehler des SRT, MS4 und MS6 in ms und die gemittelten RMS Werte des UTT in mm. Die Analysen beruhen auf folgenden Anzahlen von Probanden (VP) und Testergebnissen (T).

VP=112; UTT abends/morgens, MS4/MS6 abends T=1444, MS4/MS6 morgens T=1443, SRT abends T=1439, SRT morgens T=1436.

Das tageszeitabhängig signifikant unterschiedliche Leistungsvermögen lässt es sinnvoll erscheinen, die morgendlichen und abendlichen Testergebnisse im Folgenden getrennt zu beurteilen.

Aufgrund der besonderen Situation der Teilnahme an einem Versuch in einem Schlaflabor ist es denkbar, dass es zu Effekten kommt, die nicht auf den nächtlichen Fluglärm zurückzuführen sind und dennoch einen systematischen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit im Verlauf der Studie nehmen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, dass die Versuchspersonen trotz des intensiven Trainings bis zum Studienbeginn kein stabiles Leistungsniveau erreichen konnten. Dies würde zu einer Unterschätzung der Lärmwirkung führen. Zur Prüfung solcher Effekte ist eine Analyse der Leistungsparameter der **Kontrollgruppe** geeignet. Der statistische Vergleich der Studientage der Kontrollgruppe mit dem Basistag (Tag 2) im Mixed Model zeigte signifikante Ergebnisse allein für den UTT. Hier kam es bei Betrachtung des RMS morgens ($p=0,0006$; signifikante Einzelresultate ab Tag 7) zu Verbesserungen der Leistung (Abbildung 3-2). Da eine solche Verbesserung der Testleistungen lediglich im UTT auftrat, ist hier am ehesten von einem Lerneffekt auszugehen, der bei der Interpretation der Testergebnisse der Lärmgruppe beachtet werden muss.

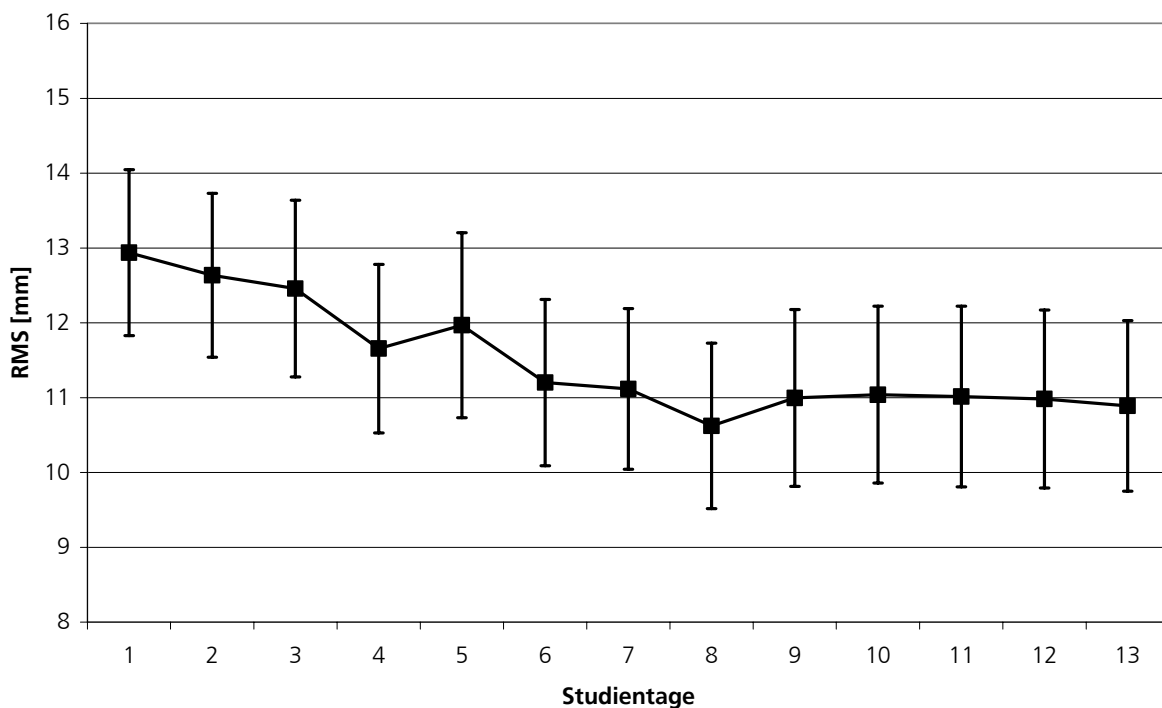


Abbildung 3-2: Entwicklung der Leistung der Kontrollgruppe (VP=16) im morgendlichen UTT RMS mit Standardfehler während des Studienverlaufs. Ab dem 7. Tag sind signifikante Verbesserungen im Vergleich zu Tag 2 nachweisbar.

Zur Untersuchung eines generellen Lärmeffektes auf die Leistung der **Experimentalgruppe** wurden die fluglärmbelasteten Tage 3 – 11 zunächst undifferenziert im Mixed Model mit dem Basistag 2 verglichen. Die Lapses im SRT, die falsch positiven und falsch negativen Antworten im MST und die LOC im UTT wurden entsprechend mit Hilfe der logistischen Regression auf eine Veränderung im Leistungsverhalten im Vergleich von Basis- zu Lärmexposition untersucht.

Eine Verschlechterung der Leistung zeigte sich im morgendlichen **SRT**, wobei signifikante Unterschiede für die mittlere Reaktionszeit ($E\ 3,0 \pm 1,0\text{ ms}$, $p=0,0014$), für die schlechtesten 10% der Reaktionszeiten ($E\ 8,1 \pm 2,4\text{ ms}$, $p=0,0008$) und die Standardabweichung der Reaktionszeiten ($E\ 1,9 \pm 0,7\text{ ms}$, $p=0,0044$) nachweisbar waren. Dennoch waren diese Effekte gering und lagen unterhalb von 10 ms (Tabelle 3-1). Für den abendlichen SRT waren keine signifikanten Resultate erkennbar (Tabelle 3-2).

Der **MST** mit 4 Buchstaben zeigte eine signifikante Verschlechterung bei Analyse der falsch negativen Antworten mittels logistischer Regression ($p=0,0340$). Der MS6 zeigte morgens und abends eine Verkürzung der mittleren Reaktionszeit und der Reaktionszeit der Antworten auf zur Lerngruppe gehörende Buchstaben unter Lärm (MS6 MW: morgens $p=0,0083$, abends $p=0,0387$; MS6 MWY: morgens $p=0,0004$, abends $p=0,0015$; Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2).

Die Leistung im **UTT** schien nahezu unbeeinflusst durch nächtlichen Fluglärm. Es zeigte sich jedoch eine signifikante Verbesserung des abendlichen UTT RMS ($p=0,0167$; Tabelle 3-2).

| Morgens | Experimentalgruppe (n=112) | | | | | |
|----------------|----------------------------|--------------|------------------------------|----------|----------|---------------|
| | Basis | Fluglärm | Differenz (Lärm minus Basis) | | | |
| Test | Mean (SE) | Mean (SE) | Estimate | Lower CL | Upper CL | p-value |
| SRT MW | 240.4 (2.3) | 243.4 (2.1) | 3.0 | 1.2 | 4.9 | 0.0014 |
| SRT 10B | 204.8 (1.5) | 205.9 (1.4) | 1.1 | -0.1 | 2.3 | 0.0708 |
| SRT 10W | 301.6 (4.4) | 309.7 (3.8) | 8.1 | 3.3 | 12.8 | 0.0008 |
| SRT SD | 28.7 (1.1) | 30.6 (0.9) | 1.9 | 0.6 | 3.2 | 0.0044 |
| SRT LAP | 6% (2%) | 10% (2%) | 4% | -1% | 8% | 0.1032 |
| MS4 MW | 542.9 (8.6) | 541.5 (7.8) | -1.5 | -9.2 | 6.3 | 0.7138 |
| MS4 MWY | 526.1 (7.9) | 522.9 (7.1) | -3.2 | -10.6 | 4.3 | 0.4053 |
| MS4 MWN | 559.9 (9.8) | 560.1 (8.8) | 0.2 | -9.5 | 9.9 | 0.9677 |
| MS4 FP | 74% (5%) | 74% (3%) | 0% | -9% | 9% | 0.9941 |
| MS4 FN | 34% (6%) | 46% (3%) | 11% | 1% | 22% | 0.0340 |
| MS6 MW | 633.3 (12.0) | 617.4 (10.8) | -15.9 | -27.7 | -4.1 | 0.0083 |
| MS6 MWY | 613.5 (10.6) | 592.7 (9.2) | -20.7 | -32.3 | -9.2 | 0.0004 |
| MS6 MWN | 651.9 (14.3) | 641.9 (12.7) | -10.0 | -24.4 | 4.3 | 0.1702 |
| MS6 FP | 78% (5%) | 82% (2%) | 4% | -4% | 13% | 0.3116 |
| MS6 FN | 46% (6%) | 52% (3%) | 7% | -5% | 18% | 0.2484 |
| UTT RMS | 9.5 (0.3) | 9.4 (0.3) | -0.1 | -0.3 | 0.1 | 0.3563 |
| UTT LOC | 7% (2%) | 6% (1%) | -1% | -5% | 3% | 0.6189 |

Tabelle 3-1: Analyse der morgendlichen Leistung der Experimentalgruppe im Vergleich Basis- zu Fluglärmexposition. Die Prozentangaben geben die Wahrscheinlichkeit an, dass mindestens ein „Fehler“ auftritt.

| Abends | Experimentalgruppe (n=112) | | | | | |
|----------------|----------------------------|--------------|------------------------------|----------|----------|---------------|
| | Basis | Fluglärm | Differenz (Lärm minus Basis) | | | |
| Test | Mean (SE) | Mean (SE) | Estimate | Lower CL | Upper CL | p-value |
| SRT MW | 233.2 (2.2) | 234.2 (2.1) | 1.0 | -0.8 | 2.8 | 0.2623 |
| SRT 10B | 201.9 (1.5) | 201.7 (1.4) | -0.2 | -1.4 | 1.0 | 0.7548 |
| SRT 10W | 286.9 (4.1) | 289.1 (3.6) | 2.3 | -2.1 | 6.5 | 0.3049 |
| SRT SD | 25.1 (1.0) | 25.8 (0.8) | 0.7 | -0.5 | 1.9 | 0.2490 |
| SRT LAP | 8% (3%) | 7% (1%) | -1% | -6% | 4% | 0.6474 |
| MS4 MW | 517.6 (7.5) | 514.2 (7.0) | -3.4 | -9.3 | 2.5 | 0.2624 |
| MS4 MWY | 502.0 (7.0) | 500.3 (6.5) | -1.7 | -7.5 | -4.2 | 0.5739 |
| MS4 MWN | 533.3 (8.4) | 528.4 (7.7) | -4.9 | -12.3 | 2.4 | 0.1855 |
| MS4 FP | 72% (5%) | 74% (3%) | 3% | -7% | 13% | 0.5702 |
| MS4 FN | 34% (6%) | 40% (4%) | 5% | -6% | 16% | 0.3505 |
| MS6 MW | 600.5 (11.5) | 588.4 (10.3) | -12.1 | -23.6 | -0.6 | 0.0387 |
| MS6 MWY | 588.4 (10.7) | 569.3 (9.3) | -19.1 | -30.9 | -7.3 | 0.0015 |
| MS6 MWN | 612.0 (13.1) | 607.4 (11.6) | -4.6 | -17.9 | 8.7 | 0.4982 |
| MS6 FP | 82% (4%) | 79% (2%) | -4% | -11% | 4% | 0.3532 |
| MS6 FN | 46% (7%) | 48% (4%) | 3% | -9% | 15% | 0.6563 |
| UTT RMS | 8.3 (0.2) | 8.1 (0.2) | -0.2 | -0.4 | -0.0 | 0.0167 |
| UTT LOC | 3% (2%) | 1% (1%) | -2% | -5% | 1% | 0.1714 |

Tabelle 3-2: Analyse der abendlichen Leistung der Experimentalgruppe im Vergleich Basis- zu Fluglärmexposition. Die Prozentangaben geben die Wahrscheinlichkeit an, dass mindestens ein „Fehler“ auftritt.

Analog zur Analyse der Experimentalgruppe wurden die beschriebenen Berechnungen auch für die **Kontrollgruppe** durchgeführt.

Effekte zeigten sich nur im **MS4** und **UTT**. Im MS4 verschlechterte sich die abendliche Leistung bezüglich der falsch negativen Antworten signifikant

($p=0,0244$). Die morgendlichen Leistungen verbesserten sich signifikant im UTT RMS ($p=0,0017$). Bei den Verbesserungen der Leistungen im UTT unter Lärmeinfluss handelt es sich somit am ehesten um eine Zunahme der Geschicklichkeit durch Übung. Nähere Einzelheiten zur Analyse der Kontrollgruppe sind in Tabelle 3-3 und Tabelle 3-4 dargestellt.

| Morgens | Kontrollgruppe (n=16) | | | | | |
|----------------|-----------------------|--------------|--------------------------------------|----------|----------|---------------|
| | Tag 2 | Tag 3-Tag 11 | Differenz (Tag 3-Tag 11 minus Tag 2) | | | |
| Test | Mean (SE) | Mean (SE) | Estimate | Lower CL | Upper CL | p-value |
| SRT MW | 245.3 (7.7) | 245.9 (7.5) | 0.6 | -3.6 | 4.9 | 0.7771 |
| SRT 10B | 207.8 (5.3) | 208.9 (5.1) | 1.1 | -2.1 | 4.4 | 0.4848 |
| SRT 10W | 311.4 (12.8) | 312.8 (11.8) | 1.4 | -9.2 | 12.0 | 0.7992 |
| SRT SD | 30.3 (2.9) | 30.8 (2.5) | 0.6 | -2.5 | 3.6 | 0.7146 |
| SRT LAP | 2% (2%) | 7% (4%) | 5% | -3% | 13% | 0.1953 |
| MS4 MW | 579.3 (25.9) | 568.7 (23.8) | -10.5 | -33.2 | 12.1 | 0.3597 |
| MS4 MWY | 549.6 (23.4) | 542.1 (21.5) | -7.5 | -27.8 | 12.8 | 0.4646 |
| MS4 MWN | 606.7 (31.5) | 595.2 (28.2) | -11.5 | -42.3 | 19.3 | 0.4609 |
| MS4 FP | 74% (14%) | 65% (9%) | -9% | -36% | 18% | 0.4958 |
| MS4 FN | 27% (13%) | 30% (8%) | 3% | -24% | 30% | 0.8157 |
| MS6 MW | 683.5 (47.7) | 678.7 (43.2) | -4.8 | -49.4 | 39.9 | 0.8323 |
| MS6 MWY | 642.2 (42.2) | 646.4 (38.0) | 4.2 | -36.6 | 44.9 | 0.8402 |
| MS6 MWN | 723.6 (56.4) | 709.0 (50.6) | -14.6 | -69.9 | 40.6 | 0.6013 |
| MS6 FP | 86% (11%) | 85% (8%) | -1% | -20% | 18% | 0.9299 |
| MS6 FN | 16% (10%) | 35% (6%) | 18% | -3% | 40% | 0.0933 |
| UTT RMS | 12.6 (1.1) | 11.3 (1.1) | -1.3 | -2.1 | -0.5 | 0.0017 |
| UTT LOC | 12% (11%) | 4% (4%) | -8% | -27% | 11% | 0.3968 |

Tabelle 3-3: Analyse der morgendlichen Leistung der Kontrollgruppe im Vergleich der Studientage. Die Prozentangaben geben die Wahrscheinlichkeit an, dass mindestens ein „Fehler“ auftritt.

| Abends | Kontrollgruppe (n=16) | | | | | |
|----------------|-----------------------|--------------|--------------------------------------|----------|----------|---------------|
| | Tag 2 | Tag 3-Tag 11 | Differenz (Tag 3-Tag 11 minus Tag 2) | | | |
| Test | Mean (SE) | Mean (SE) | Estimate | Lower CL | Upper CL | p-value |
| SRT MW | 241.2 (7.7) | 241.0 (7.3) | -0.2 | -5.3 | 5.1 | 0.9560 |
| SRT 10B | 206.2 (5.6) | 206.4 (5.3) | 0.2 | -3.4 | 3.8 | 0.8990 |
| SRT 10W | 305.5 (13.2) | 305.4 (11.8) | -0.0 | -13.2 | 13.1 | 0.9956 |
| SRT SD | 28.8 (2.9) | 29.5 (2.5) | 0.7 | -2.8 | 4.2 | 0.6946 |
| SRT LAP | 12% (9%) | 6% (3%) | -6% | -23% | 11% | 0.4666 |
| MS4 MW | 558.1 (22.8) | 549.3 (20.6) | -8.8 | -30.4 | 12.7 | 0.4199 |
| MS4 MWY | 534.4 (22.0) | 529.0 (19.7) | -5.4 | -27.0 | 16.3 | 0.6260 |
| MS4 MWN | 577.0 (26.1) | 569.2 (23.5) | -7.8 | -33.2 | 17.6 | 0.5439 |
| MS4 FP | 67% (15%) | 66% (8%) | -0% | -29% | 29% | 0.9954 |
| MS4 FN | 8% (7%) | 29% (8%) | 21% | 3% | 39% | 0.0244 |
| MS6 MW | 666.3 (38.7) | 646.4 (34.1) | -20.0 | -60.3 | 20.3 | 0.3282 |
| MS6 MWY | 636.4 (35.4) | 621.7 (31.9) | -14.7 | -48.3 | 18.9 | 0.3892 |
| MS6 MWN | 697.3 (45.8) | 669.1 (39.2) | -28.1 | -80.7 | 24.4 | 0.2918 |
| MS6 FP | 65% (14%) | 73% (6%) | 9% | -20% | 37% | 0.5244 |
| MS6 FN | 29% (13%) | 38% (7%) | 10% | -17% | 36% | 0.4634 |
| UTT RMS | 11.0 (1.1) | 10.3 (1.1) | -0.7 | -1.5 | 0.0 | 0.0540 |
| UTTLOC | 3% (4%) | 3% (2%) | 0% | -7% | 7% | 0.9939 |

Tabelle 3-4: Analyse der abendlichen Leistungstests der Kontrollgruppe im Vergleich der Studientage. Die Prozentangaben geben die Wahrscheinlichkeit an, dass mindestens ein „Fehler“ auftritt.

3.1.1 Einfluss von Anzahl und Maximalpegel der nächtlichen Flugereignisse und Einfluss des energieäquivalenten Dauerschallpegels

Die Betrachtung der Leistung lässt eine ursächliche Zuordnung zu einzelnen Ereignissen in der Nacht nicht zu, wie dies beispielsweise bei der Untersuchung des Schlafs mit ereigniskorrelierter Auswertung möglich ist [Basner et al. 2006b]. Vielmehr muss hier auf Lärmparameter zurückgegriffen werden, die die Nacht als Ganzes beschreiben und unterschiedlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit ausüben können. Einerseits können Leistungseinbußen durch die Anzahl an Fluggeräuschen und ihre Maximalpegel verursacht werden, zum anderen durch den nächtlichen Leq.

| Morgens | Anzahl x Maximalpegel | |
|----------------|-----------------------|--------|
| Test | F-Wert | p-Wert |
| SRT MW | 0.71 | 0.7898 |
| SRT 10B | 0.31 | 0.9965 |
| SRT 10W | 1.25 | 0.2153 |
| SRT SD | 1.38 | 0.1400 |
| MS4 MW | 0.60 | 0.8956 |
| MS4 MWY | 0.43 | 0.9796 |
| MS4 MWN | 1.09 | 0.3630 |
| MS6 MW | 1.20 | 0.2551 |
| MS6 MWY | 1.03 | 0.4231 |
| MS6 MWN | 1.29 | 0.1883 |
| UTT RMS | 0.76 | 0.7413 |

Tabelle 3-5: Ergebnisse der Mixed Model ANOVA für die Interaktion von Anzahl und Maximalpegel der Flugereignisse in den morgendlichen Leistungstests.

| Abends | Anzahl x Maximalpegel | |
|----------------|-----------------------|--------|
| Test | F-Wert | p-Wert |
| SRT MW | 0.64 | 0.8647 |
| SRT 10B | 1.11 | 0.3423 |
| SRT 10W | 0.77 | 0.7349 |
| SRT SD | 1.08 | 0.3645 |
| MS4 MW | 0.62 | 0.8806 |
| MS4 MWY | 1.21 | 0.2476 |
| MS4 MWN | 0.58 | 0.9087 |
| MS6 MW | 0.90 | 0.5772 |
| MS6 MWY | 0.68 | 0.8231 |
| MS6 MWN | 1.28 | 0.1990 |
| UTT RMS | 0.64 | 0.8643 |

Tabelle 3-6: Ergebnisse der Mixed Model ANOVA für die Interaktion von Anzahl und Maximalpegel der Flugereignisse in den abendlichen Leistungstests.

Die Analyse der Interaktion aus Anzahl und Maximalpegel der Lärmereignisse pro Nacht ergab für keinen der Leistungstests ein signifikantes Ergebnis. Die statistische Analyse der Anzahl an Fluggeräuschen in der Nacht gab jedoch Hinweise darauf, dass sich mindestens einer der Werte signifikant vom Basiswert unterschied im Hinblick auf die mittlere Reaktionszeit im morgendlichen SRT ($p=0,0234$) und auf die Abweichungen von der Mittelposition im morgendlichen und abendlichen UTT ($p=0,0074$, abends $p=0,0202$). In Tabelle 3-5 und in Tabelle 3-6 sind die Ergebnisse der Mixed Model ANOVA aufgeführt.

Resultate, die besser mit der Analyse des generellen Lärmeffekts auf die Leistung in Einklang stehen, erbrachte die Untersuchung der Leistung in Abhängigkeit des Leq der vorangegangenen Nacht. Zur Differenzierung wurde der nächtliche Leq in 10 Klassen aufgeteilt:

Klasse 1 (Basis): ≤ 30 dB(A), Klasse 2: $>30-33$ dB(A), Klasse 3: $>33-36$ dB(A), Klasse 4: $>36-39$ dB(A), Klasse 5: $>39-42$ dB(A), Klasse 6: $>42-45$ dB(A), Klasse 7: $>45-48$ dB(A), Klasse 8: $>48-51$ dB(A), Klasse 9: $>51-54$ dB(A), Klasse 10: $>54-57$ dB(A).

Abhängig vom Leq zeigten sich Verschlechterungen im morgendlichen **SRT**, wiederum bei den mittleren Reaktionszeiten ($p=0,0230$), bei den schlechtesten 10% der Reaktionszeiten ($p=0,0122$) und der Standardabweichung ($p=0,0206$). Eine signifikante Verschlechterung der mittleren Reaktionszeit von $240,4 \pm 2,3$ ms unter Basisbedingungen (Abbildung 3-3) erfolgte nach Nächten mit einem Leq zwischen $>36-39$ dB(A) ($E 4,2 \pm 1,3$ ms, $p=0,0076$), $>42-45$ dB(A) ($E 3,7 \pm 1,3$ ms, $p=0,0263$), $>45-48$ dB(A) ($E 3,7 \pm 1,3$ ms, $p=0,0482$) und $>48-51$ dB(A) ($E 4,9 \pm 1,5$ ms, $p=0,0087$).

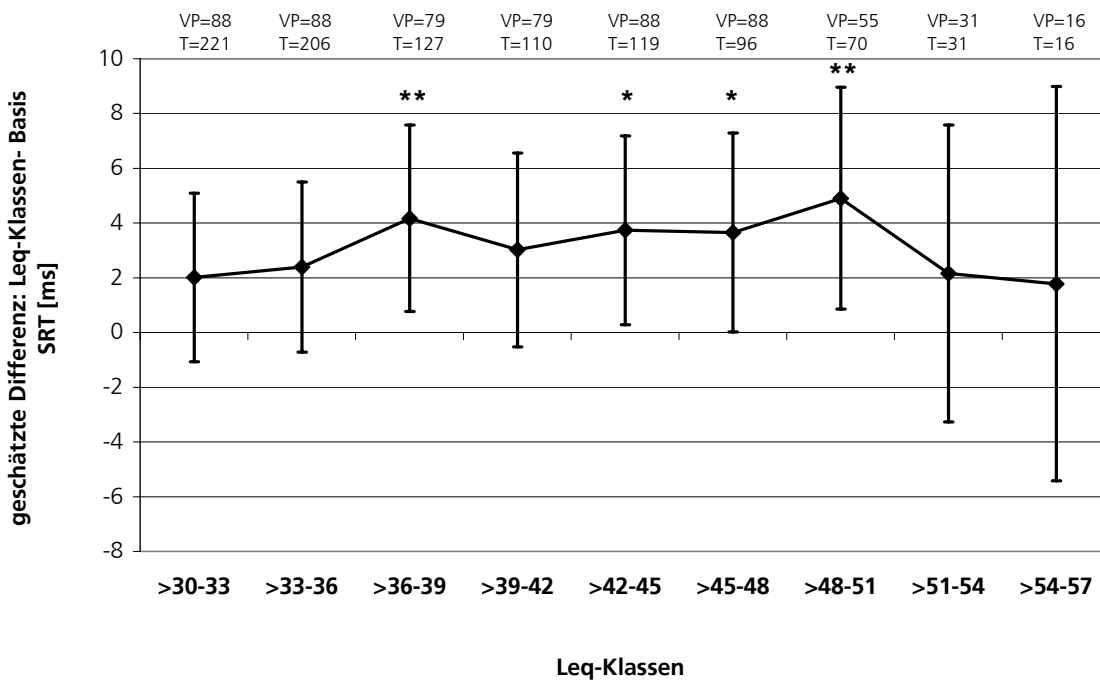


Abbildung 3-3: Geschätzte Abweichung der mittleren Reaktionszeit in Abhängigkeit von den Leq-Klassen im Vergleich zum Basis-Leq (≤ 30 dB(A), VP=112, T=112). Für die einzelnen Leq-Klassen ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

Ähnlich verhielt es sich mit den 10% der schlechtesten Reaktionszeiten (Abbildung 3-4), die bei einem nächtlichen Leq von ≤ 30 dB(A) bei $301,6 \pm 4,4$ ms lagen. Hier ergaben sich signifikante Verschlechterungen nach Nächten mit einem Leq zwischen $>36-39$ dB(A) ($E 11,0 \pm 3,2$ ms, $p=0,0048$), $>42-45$ dB(A) ($E 10,3 \pm 3,2$ ms, $p=0,0121$) und $>48-51$ dB(A) ($E 11,9 \pm 3,8$ ms, $p=0,0132$).

Ausgehend von $28,7 \pm 1,1$ ms zeigte die Standardabweichung der Reaktionszeiten eine signifikant größere Streubreite nach lärmbelasteten Nächten mit einem Leq zwischen $>36-39$ dB(A) ($E 2,7 \pm 0,9$ ms, $p=0,0174$) und $>42-45$ dB(A) ($E 2,8 \pm 0,9$ ms, $p=0,0117$), wie in Abbildung 3-5 dargestellt.

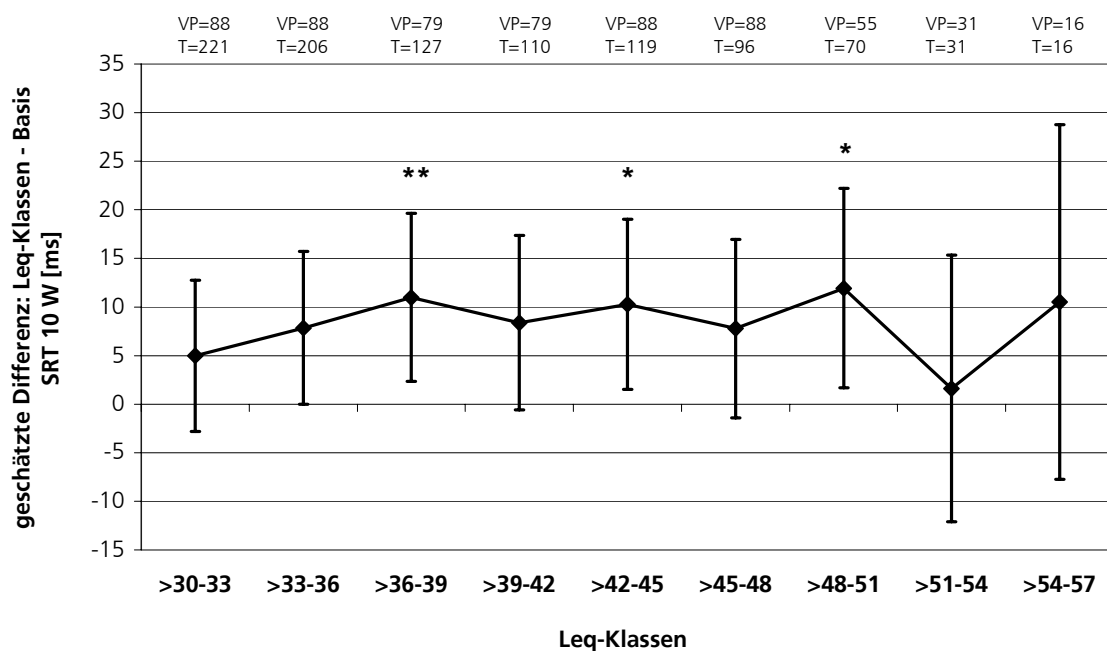


Abbildung 3-4: Geschätzte Abweichung der Mittelwerte der 10% schlechtesten Reaktionszeiten in Abhängigkeit von den Leq-Klassen im Vergleich zum Basis-Leq (≤ 30 dB(A), VP=112, T=112). Für die einzelnen Leq-Klassen ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

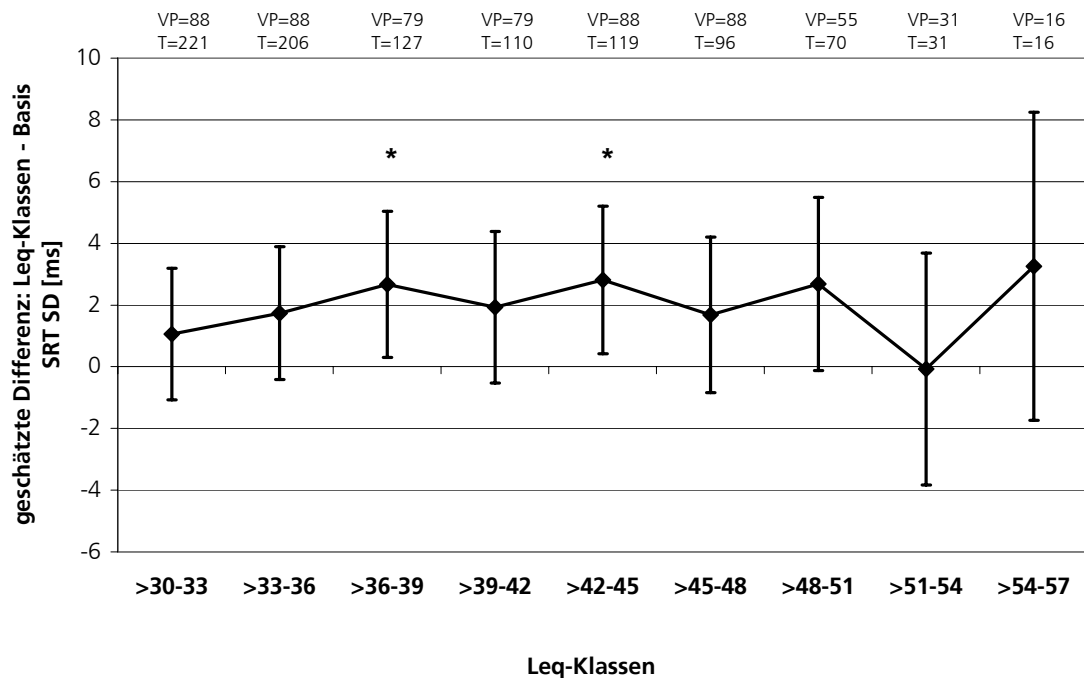


Abbildung 3-5: Geschätzte Abweichung der Standardabweichung der Reaktionszeiten in Abhängigkeit von den Leq-Klassen im Vergleich zum Basis-Leq (≤ 30 dB(A), VP=112, T=112). Für die einzelnen Leq-Klassen ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

Im **MST** mit 4 Buchstaben ergaben sich im Zusammenhang mit dem nächtlichen Leq keine Veränderungen der Leistung im Vergleich zur Basismessung. Der MST mit 6 Buchstaben gab hingegen Hinweise auf eine Verbesserung der Leistung unter nächtlichem Lärmeinfluss. Die abendliche mittlere Reaktionszeit erschien knapp signifikant verbessert (MS6 MW: $p=0,0477$), mit einer geschätzten Verringerung der Reaktionszeit ausgehend von $600,5 \pm 11,5$ ms um $19,7 \pm 6,9$ ms im Vergleich der Leq-Klassen ≤ 30 dB(A) mit $>30-33$ dB(A) ($p=0,0339$). Die übrigen Leq-Klassen unterschieden sich nicht signifikant vom Basis-Leq. Weitere Verbesserungen in der Leistung zeigten sich bei Betrachtung der morgendlichen und abendlichen Reaktionszeiten der Antworten auf zur Lerngruppe gehörende Probebuchstaben (MS6 MWY: morgens $p=0,0251$; abends $p=0,0018$). Im Vergleich zum Basis-Leq ($613,5 \pm 10,6$ ms) ergab sich morgens eine Reduktion der Reaktionszeit nach Nächten mit einem Leq von $>30-33$ dB(A) um $23,9 \pm 7,0$ ms

($p=0,0056$), von $>33-36$ dB(A) um $19,7 \pm 7,1$ ms ($p=0,0419$), von $>39-42$ dB(A) um $22,7 \pm 8,1$ ms ($p=0,0375$) und von $>45-48$ dB(A) um $22,9 \pm 8,3$ ms ($p=0,0428$). Abends zeigte sich wiederum im Vergleich zum Basis-Leq ($588,4 \pm 10,6$ ms) eine Verbesserung der Reaktionszeiten nach Nächten mit einem Leq von $>30-33$ dB(A) um $24,1 \pm 7,1$ ms ($p=0,0060$), von $>36-39$ dB(A) um $25,3 \pm 7,9$ ms ($p=0,0107$), von $>39-42$ dB(A) um $28,3 \pm 8,2$ ms ($p=0,0047$) und von $>48-51$ dB(A) um $26,0 \pm 9,3$ ms ($p=0,0408$). Der **UTT** erbrachte keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit vom nächtlichen Leq.

3.1.2 Dosis-Wirkungsbeziehungen

Auf Grundlage der vorbeschriebenen Analysen wurden Dosis-Wirkungsbeziehungen für diejenigen Leistungsparameter berechnet, für die eine Lärmwirkung wahrscheinlich erschien. Dementsprechend wurden nur die morgendlichen Leistungstests untersucht, hierunter die mittlere Reaktionszeit, die schlechtesten 10% der Reaktionszeiten sowie die Standardabweichungen im SRT, die mittleren Reaktionszeiten im MS4 und MS6 und die mittlere Abweichung von der Mittelposition im UTT. Die Lapses im SRT, die falsch negativen und falsch positiven Antworten im MS4 und MS6 und die LOC im UTT wurden mit Hilfe der logistischen Regression untersucht. In mehreren Analyseschritten wurden zunächst die linearen bzw. quadratischen Wirkungen des Leq, der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse bzw. der Maximalpegel auf die Testleistungen berechnet. Bei signifikanten Effekten wurden die Lärmparameter in einem Modell zusammengeführt und auch auf ihre Interaktionen getestet. Darüber hinaus wurde überprüft, ob es während der Studienzeit zu einer kumulativen Lärmwirkung kam. Als mögliche Moderatoren wirkten das Alter und das Geschlecht der Versuchspersonen. Diese wurden auf Signifikanz für die einzelnen Leistungstests geprüft und in die Modellrechnungen miteinbezogen. Auch wenn die beiden Moderatoren in unserer Probandenpopulation nicht immer signifikant moderierend wirkten, so wurden sie dennoch mit aufgenommen, um adjus-

tierte Modelle zu erhalten. Die Abbildungen beruhen auf den unadjustierten Werten, um eine Aufteilung auf zu viele Untergruppen zu vermeiden und die Ergebnisse gut verständlich zu gestalten.

Der nächtliche Leq zeigte eine signifikant quadratische Wirkung auf den **SRT**, wie in Abbildung 3-6 bis Abbildung 3-8 für die mittlere Reaktionszeit, die schlechtesten 10% der Reaktionszeiten und die Standardabweichung dargestellt.

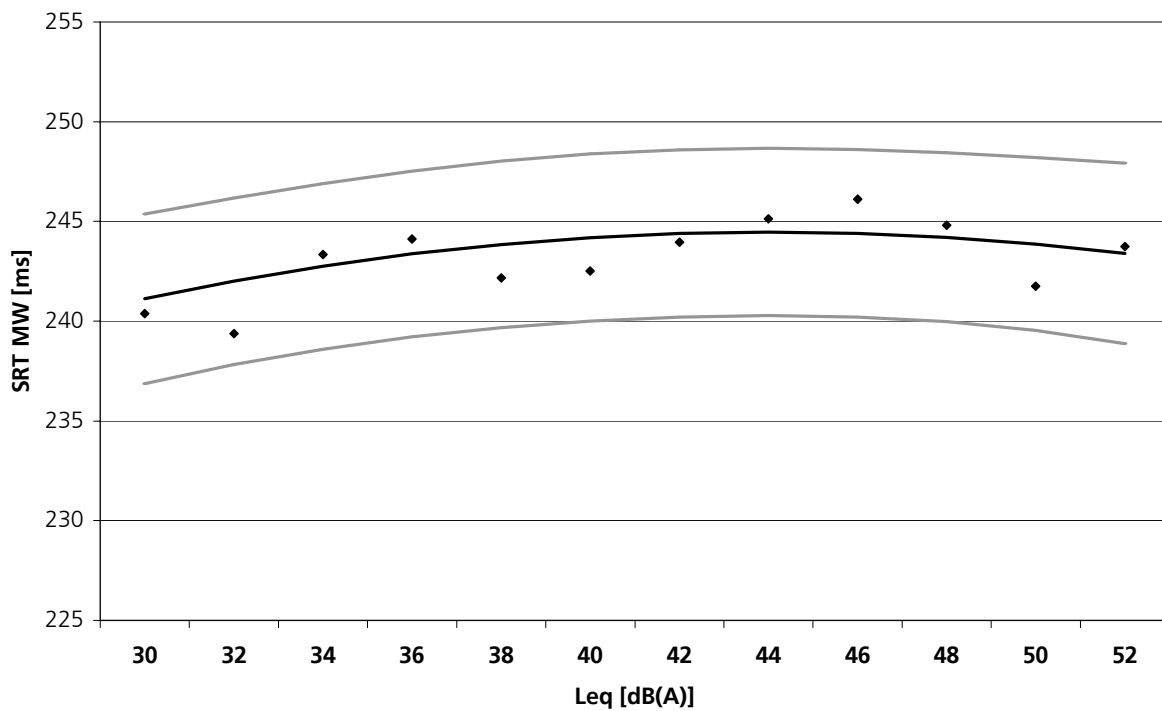


Abbildung 3-6: Dosis-Wirkungsbeziehung für die mittleren Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

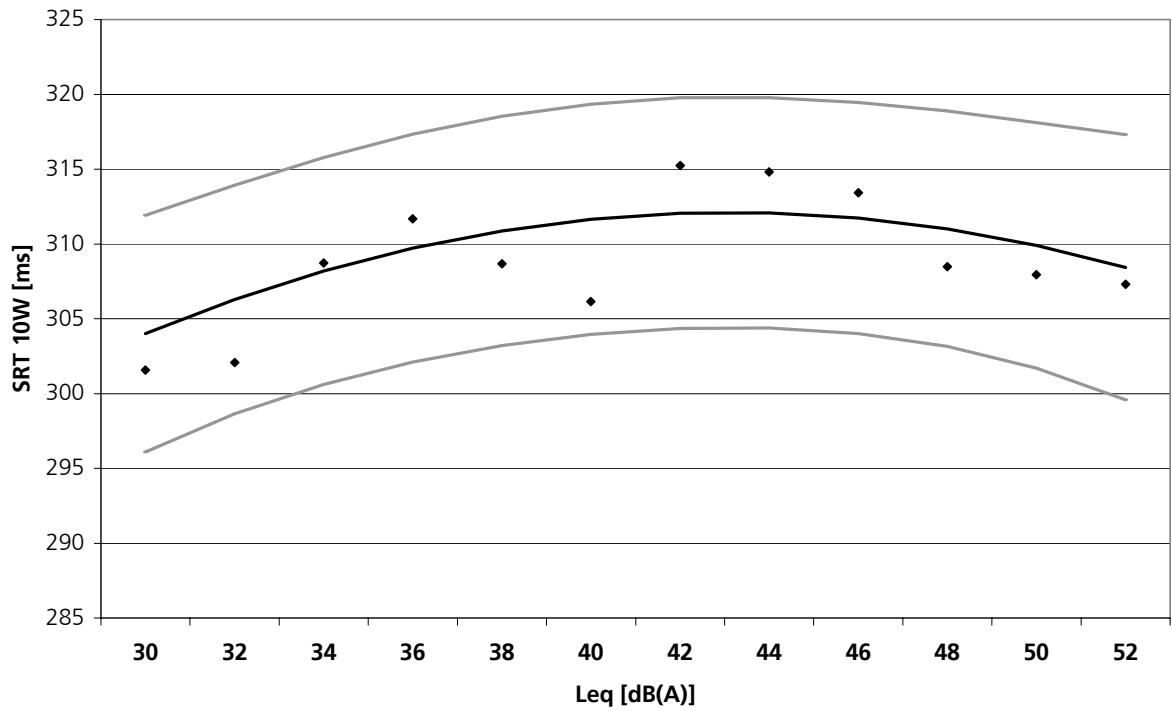


Abbildung 3-7: Dosis-Wirkungsbeziehung für die schlechtesten 10% der Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

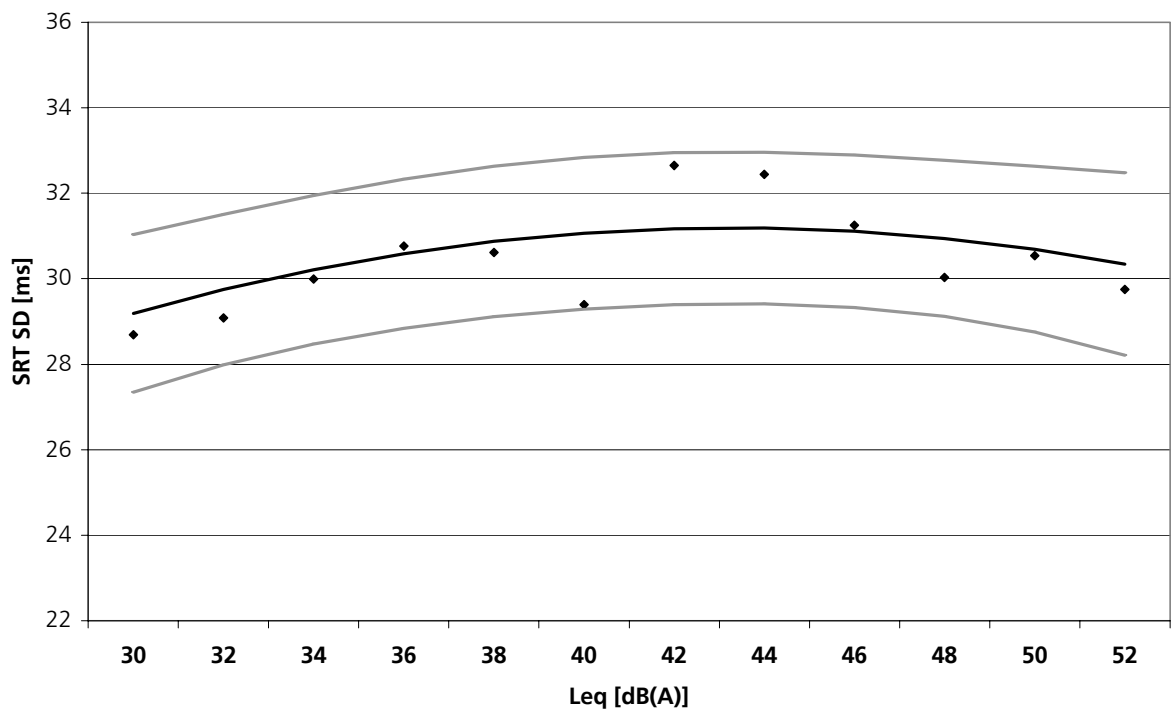


Abbildung 3-8: Dosis-Wirkungsbeziehung für die Standardabweichung der Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

Die Regressionsparameter des adjustierten Modells sind in Tabelle 3-7 aufgeführt.

| | | SRT MW | | SRT 10W | | SRT SD | |
|---------------------|-----|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 203.7 (12.8) | <.0001 | 230.1 (30.4) | <.0001 | 14.8 (8.1) | 0.0702 |
| Leq | 994 | 1.5 (0.6) | 0.0079 | 4.1 (1.4) | 0.0046 | 1.0 (0.4) | 0.0125 |
| Leq x Leq | 994 | -0.0 (0.0) | 0.0159 | -0.1 (0.0) | 0.0086 | -0.0 (0.0) | 0.0211 |
| Alter | 994 | 0.3 (0.2) | 0.0935 | -0.0 (0.3) | 0.9028 | -0.1 (0.1) | 0.1016 |
| Geschlecht (1=Mann) | 994 | -5.6 (4.2) | 0.1835 | -9.6 (7.8) | 0.2182 | -1.4 (1.8) | 0.4160 |

Tabelle 3-7: Ergebnisse der Regression der Wirkung des nächtlichen Leq auf den morgendlichen SRT unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

Die wieder verbesserten Reaktionszeiten bei den höheren Leq-Stufen weisen darauf hin, dass auch die Anzahl der Lärmereignisse einer Nacht eine zusätzliche Wirkung auf die Leistung ausübte, da in dem vorliegenden Studiendesign die hohen Leq-Werte durch nur wenige laute Lärmereignisse gebildet wurden. Durch das Testen von Leq und Anzahl der Lärmereignisse im gleichen Modell wurde eine signifikante lineare Leq-Wirkung für die verschiedenen Anzahlen an Lärmereignissen sichtbar (Abbildung 3-9 bis Abbildung 3-11). So werden ähnliche mittlere Reaktionszeiten um 244,7 ms z.B. durch 8 Flugereignisse in der Nacht, die einen Leq von 54 dB(A) bewirken, oder durch 64 Flugereignisse, die einen Leq von 42 dB(A) bewirken, verursacht. Bei gleich bleibendem Leq verschlechtert sich die Reaktionszeit durch einen Anstieg der nächtlichen Flugereignisse von 4 auf 128 um 3,6 ms (Abbildung 3-9). Bei Betrachtung der schlechtesten 10% der Reaktionszeiten ist die Verschlechterung ausgeprägter und beträgt 7,2 ms (Abbildung 3-10). Die Ergebnisse des adjustierten Modells sind in Tabelle 3-8 zusammengefasst. Die Interaktion von Leq und Anzahl der Lärmereignisse war nicht signifikant (SRT MW $p=0,1672$; SRT 10W $p=0,4334$; SRT SD $p=0,4213$).

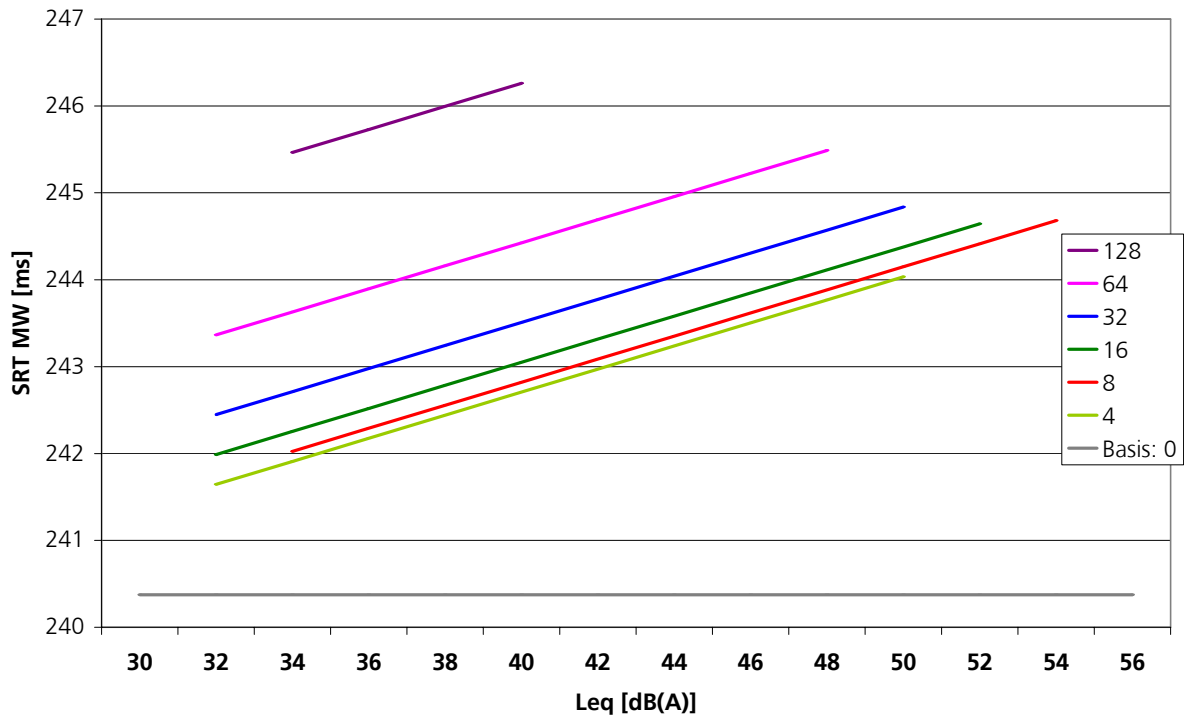


Abbildung 3-9: Dosis-Wirkungsbeziehungen für die mittleren Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq, aufgeteilt für die möglichen Anzahlen an Flugereignissen, die dem Leq zugrunde liegen können. Als dunkelgraue Linie ist der Basiswert der Reaktionszeiten bei 0 Flugereignissen und einem Leq von 30 dB(A) dargestellt.

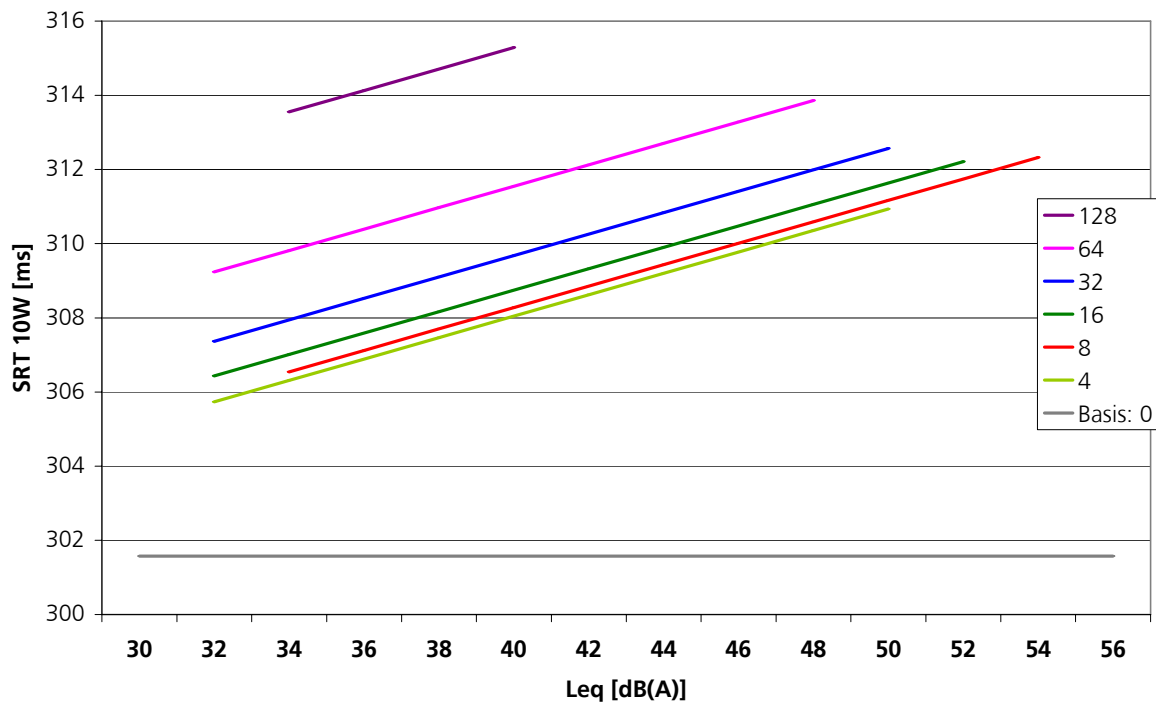


Abbildung 3-10: Dosis-Wirkungsbeziehungen für die schlechtesten 10% der Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq, aufgeteilt für die möglichen Anzahlen an Flugereignissen, die dem Leq zugrunde liegen können. Als dunkelgraue Linie ist der Basiswert der Reaktionszeiten bei 0 Flugereignissen und einem Leq von 30 dB(A) dargestellt.

| | | SRT MW | | SRT 10W | | SRT SD | |
|---------------------|-----|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 229.4 (6.9) | <.0001 | 301.6 (13.0) | <.0001 | 31.9 (3.0) | <.0001 |
| Leq | 994 | 0.1 (0.1) | 0.0035 | 0.3 (0.1) | 0.0119 | 0.1 (0.0) | 0.0191 |
| Anzahl | 994 | 0.0 (0.0) | 0.0018 | 0.1 (0.0) | 0.0124 | 0.0 (0.0) | 0.0197 |
| Alter | 994 | 0.3 (0.2) | 0.0921 | -0.0 (0.3) | 0.9099 | -0.1 (0.1) | 0.1044 |
| Geschlecht (1=Mann) | 994 | -5.7 (4.2) | 0.1787 | -9.7 (7.8) | 0.2128 | -1.5 (1.8) | 0.4064 |

Tabelle 3-8: Ergebnisse der Regression der Wirkung des nächtlichen Leq und der Anzahl an Lärmereignissen auf den morgendlichen SRT unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

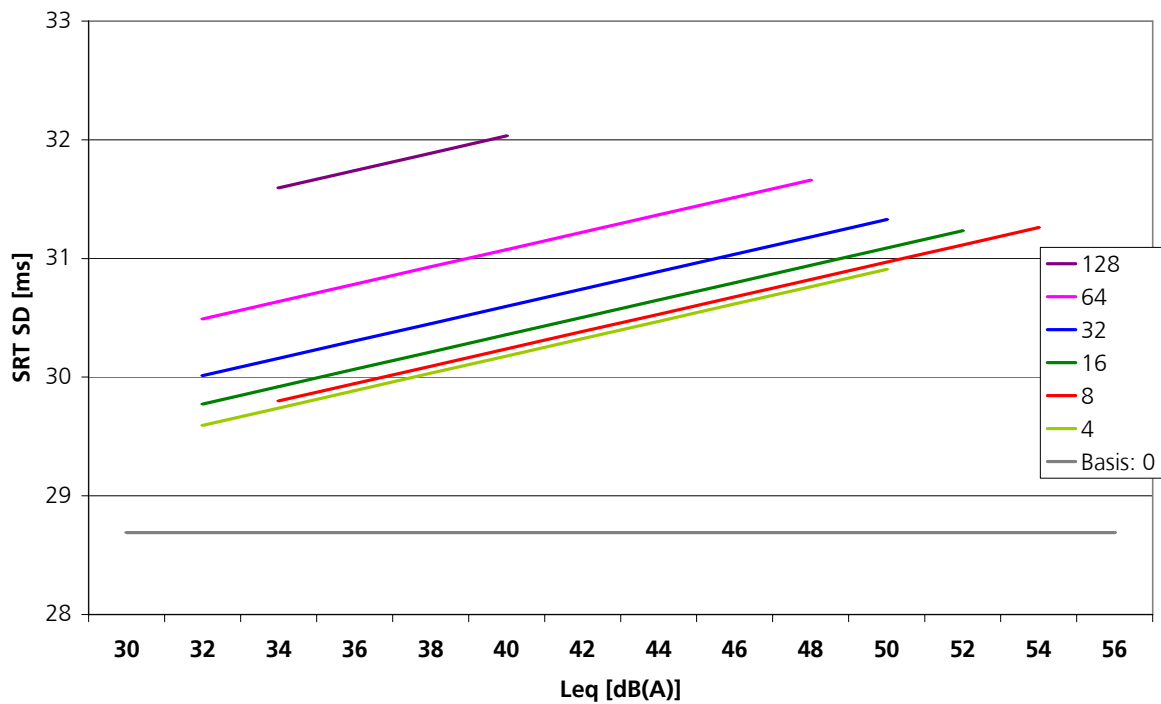


Abbildung 3-11: Dosis-Wirkungsbeziehungen für die Standardabweichungen der Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq, aufgeteilt für die möglichen Anzahlen an Flugereignissen, die dem Leq zugrunde liegen können. Als dunkelgraue Linie ist der Basiswert der Reaktionszeiten bei 0 Flugereignissen und einem Leq von 30 dB(A) dargestellt.

Ganz ähnliche Beziehungen zeigten sich für den SRT in Abhängigkeit vom Maximalpegel (Abbildung 3-12 bis Abbildung 3-14). Die Regressionsparameter des adjustierten Modells sind in Tabelle 3-9 aufgeführt. Die Interaktionen zwischen Anzahl an Flugereignissen und Maximalpegel waren nicht signifikant (SRT MW $p=0,2119$, SRT 10W $p=0,6123$, SRT SD $p=0,5620$).

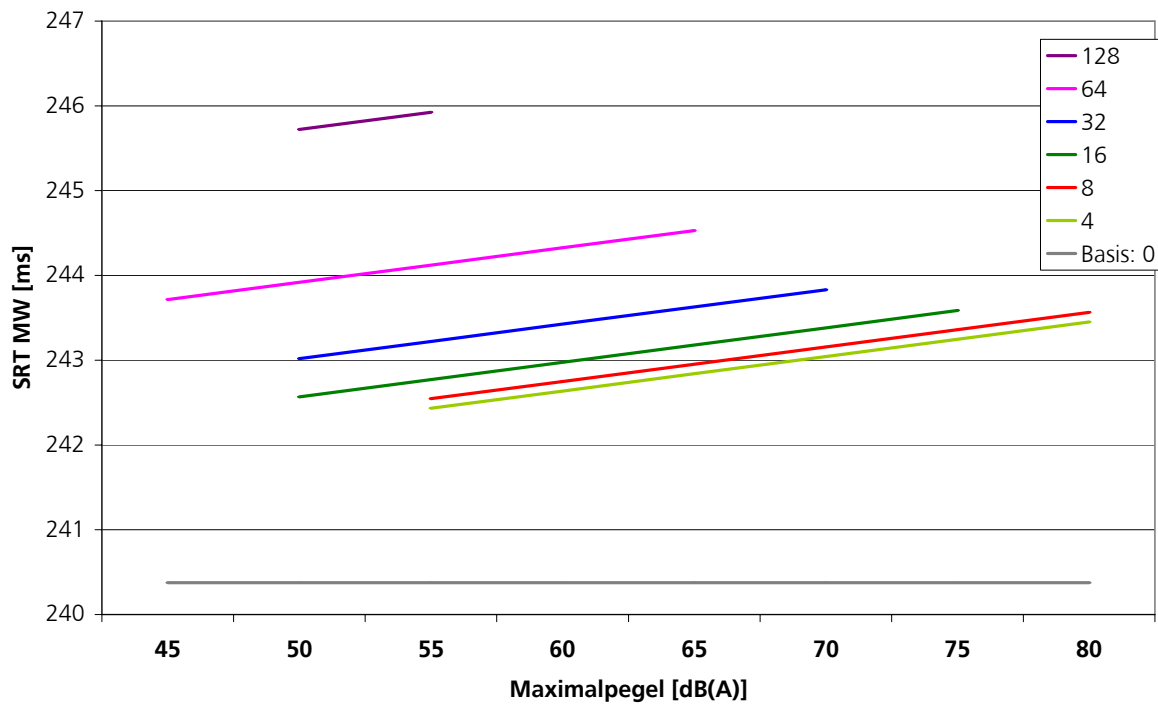


Abbildung 3-12: Dosis-Wirkungsbeziehungen für die mittleren Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Maximalpegels, aufgeteilt für die möglichen Anzahlen an Flugereignissen mit diesem Maximalpegel. Als dunkelgraue Linie ist der Basiswert der Reaktionszeiten bei 0 Flugereignissen dargestellt.

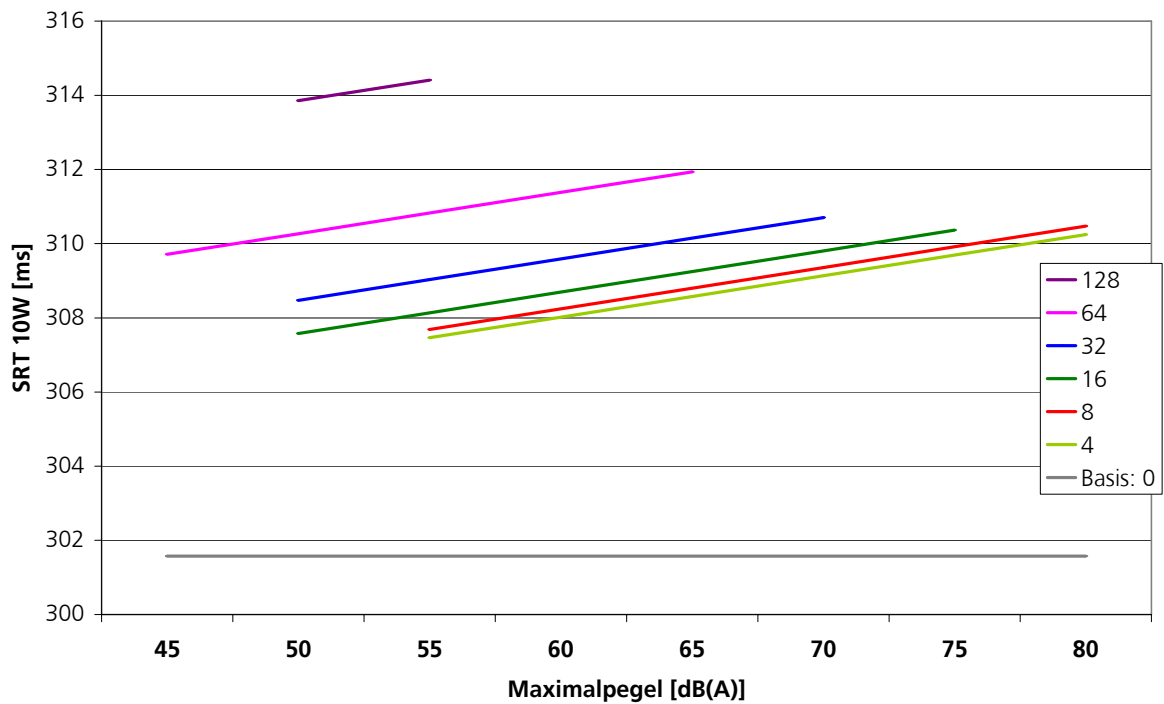


Abbildung 3-13: Dosis-Wirkungsbeziehungen für die schlechtesten 10% der Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Maximalpegels, aufgeteilt für die möglichen Anzahlen an Flugereignissen mit diesem Maximalpegel. Als dunkelgraue Linie ist der Basiswert der Reaktionszeiten bei 0 Flugereignissen dargestellt.

| | | SRT MW | | SRT 10W | | SRT SD | |
|---------------------|-----|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 232.1 (6.7) | <.0001 | 306.4 (12.4) | <.0001 | 33.3 (2.8) | <.0001 |
| Maximalpegel | 994 | 0.0 (0.0) | 0.0039 | 0.1 (0.0) | 0.0018 | 0.0 (0.0) | 0.0078 |
| Anzahl | 994 | 0.0 (0.0) | 0.0023 | 0.1 (0.0) | 0.0164 | 0.0 (0.0) | 0.0239 |
| Alter | 994 | 0.3 (0.2) | 0.0908 | -0.0 (0.3) | 0.9148 | -0.1 (0.1) | 0.1064 |
| Geschlecht (1=Mann) | 994 | -5.7 (4.2) | 0.1796 | -9.69 (7.80) | 0.2144 | -1.46 (1.76) | 0.4084 |

Tabelle 3-9: Ergebnisse der Regression der Wirkung des Maximalpegels und der Anzahl an nächtlichen Lärmereignissen auf den morgendlichen SRT unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

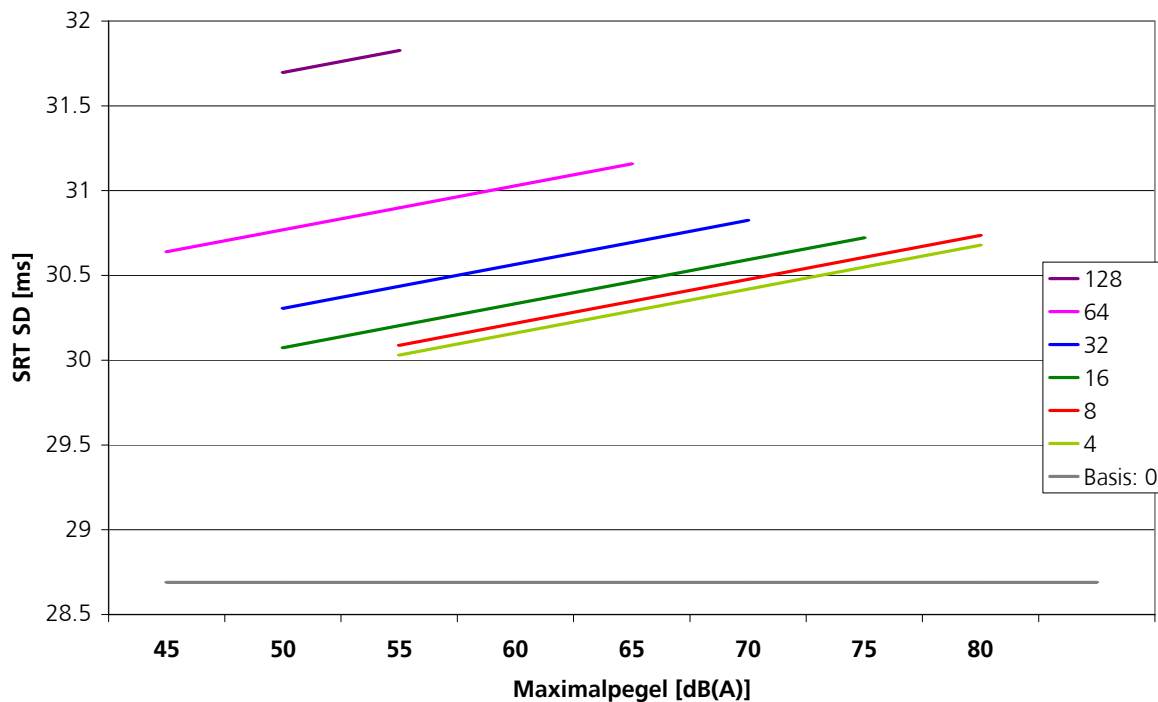


Abbildung 3-14: Dosis-Wirkungsbeziehungen für die Standardabweichung der Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Maximalpegels, aufgeteilt für die möglichen Anzahlen an Flugereignissen mit diesem Maximalpegel. Als dunkelgraue Linie ist der Basiswert der Reaktionszeiten bei 0 Flugereignissen dargestellt.

Die Untersuchung der Lapses im SRT mit Hilfe der logistischen Regression (Tabelle 3-10) zeigte keine signifikanten Zusammenhänge mit dem Leq ($p=0,8949$), der Anzahl an Lärmereignissen ($p=0,4678$) oder dem Maximalpegel der Lärmereignisse ($p=0,3615$).

Von Tag zu Tag zeigte sich eine kumulative Verschlechterung der Reaktionszeiten, die über den Studienzeitraum linear zunahm. Die Einbußen in der mittleren Reaktionszeit stiegen pro Tag um $0,5 \pm 0,1$ ms. Bei den schlechtesten 10% der Reaktionszeiten handelte es sich um einen Anstieg um $0,9 \pm 0,3$ ms. Auch die Standardabweichung der Leistung nahm von Tag zu Tag zu um $0,2 \pm 0,1$ ms. Die Regressionsgeraden und Konfidenzintervalle sind in den Abbildung 3-15 bis Abbildung 3-17 dargestellt. Einen Überblick zu den Ergebnissen der Regressionsanalysen bietet Tabelle 3-11. Es ergab sich ebenso ein kumulativer Anstieg der Lapses im Verlauf der

Studie ($p=0.0146$) (Tabelle 3-10). Abbildung 3-18 zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Lapses im SRT von 7% an Tag 2 auf 13% an Tag 11 steigt.

| SRT LAP | | | | | | | |
|---------------------|-----|------------------|--------|---------------------|-----|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | -1.3 (0.8) | 0.0829 | Intercept | 111 | -1.3 (0.5) | 0.0170 |
| Leq | 111 | -0.0 (0.0) | 0.8949 | Anzahl | 111 | 0.0 (0.0) | 0.4678 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0464 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0478 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.1 (0.3) | 0.6708 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.1 (0.3) | 0.6804 |
| SRT LAP | | | | | | | |
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | -1.5 (0.6) | 0.0138 | Intercept | 111 | -1.8 (0.6) | 0.0028 |
| Maximalpegel | 111 | 0.0 (0.0) | 0.3615 | Nacht | 111 | 0.1 (0.0) | 0.0146 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0452 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0453 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.1 (0.3) | 0.6678 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.1 (0.3) | 0.6665 |

Tabelle 3-10: Ergebnisse der logistischen Regression der Lapses im SRT adjustiert für Alter und Geschlecht.

| | | SRT MW | | SRT 10W | | SRT SD | |
|---------------------|-----|------------------|------------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 232.1 (6.7) | <.0001 | 308.2 (12.4) | <.0001 | 33.7 (2.8) | <.0001 |
| Tag | 995 | 0.5 (0.1) | <.0001 | 0.9 (0.3) | 0.0004 | 0.2 (0.1) | 0.0025 |
| Alter | 995 | 0.3 (0.2) | 0.0911 | -0.0 (0.3) | 0.9180 | -0.1 (0.1) | 0.1068 |
| Geschlecht (1=Mann) | 995 | -5.6 (4.2) | 0.1850 | -9.6 (7.8) | 0.2202 | -1.4 (1.8) | 0.4182 |

Tabelle 3-11: Ergebnisse der Regression der kumulativen Lärmwirkung auf den morgendlichen SRT unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

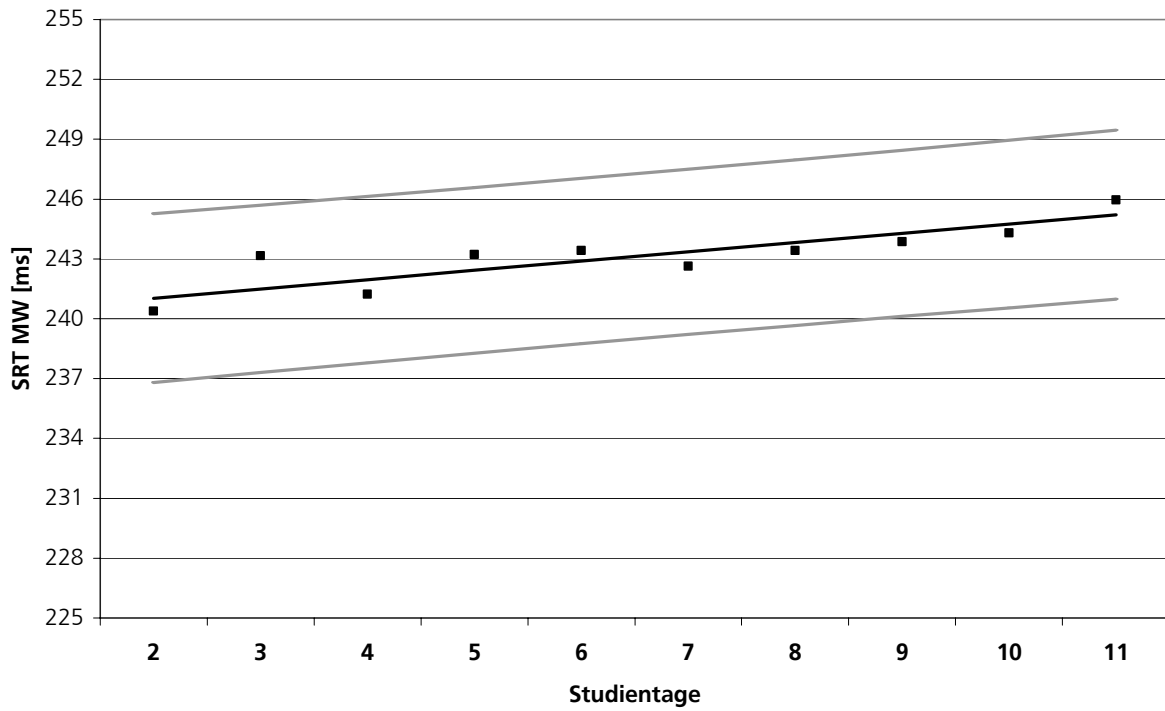


Abbildung 3-15: Kumulativer Effekt des nächtlichen Lärms auf die mittlere Reaktionszeit im morgendlichen SRT im Verlauf der Studie.

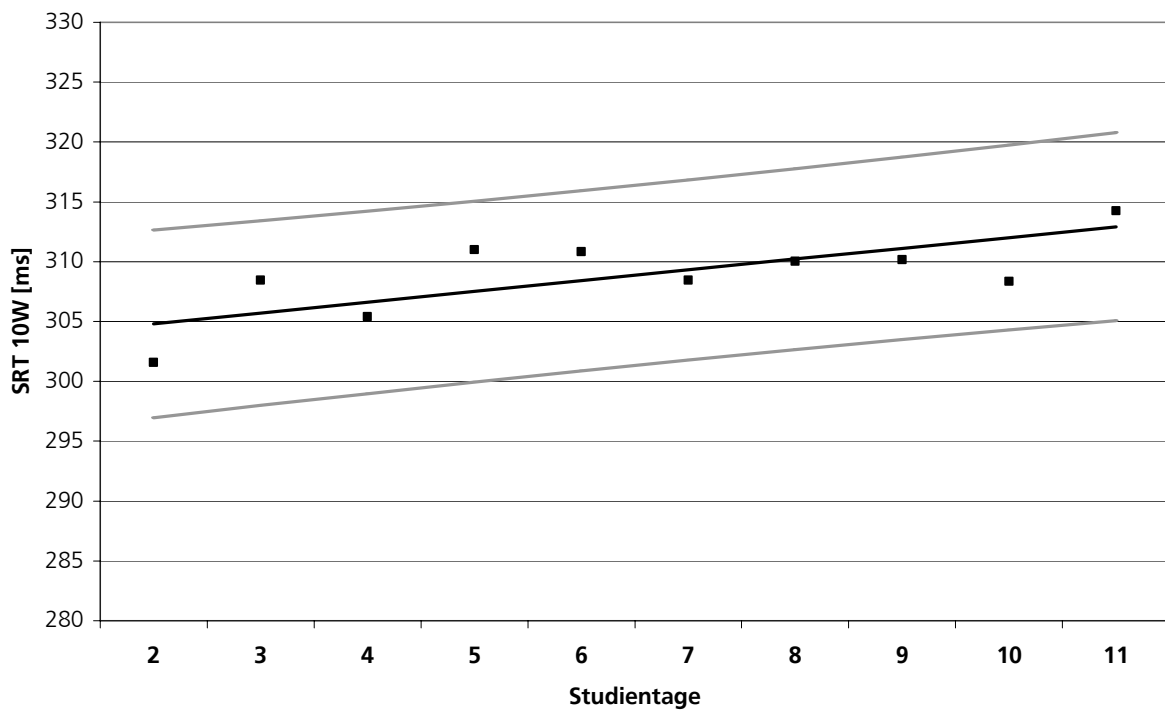


Abbildung 3-16: Kumulativer Effekt des nächtlichen Lärms auf die 10% der schlechtesten Reaktionszeiten im morgendlichen SRT im Verlauf der Studie.

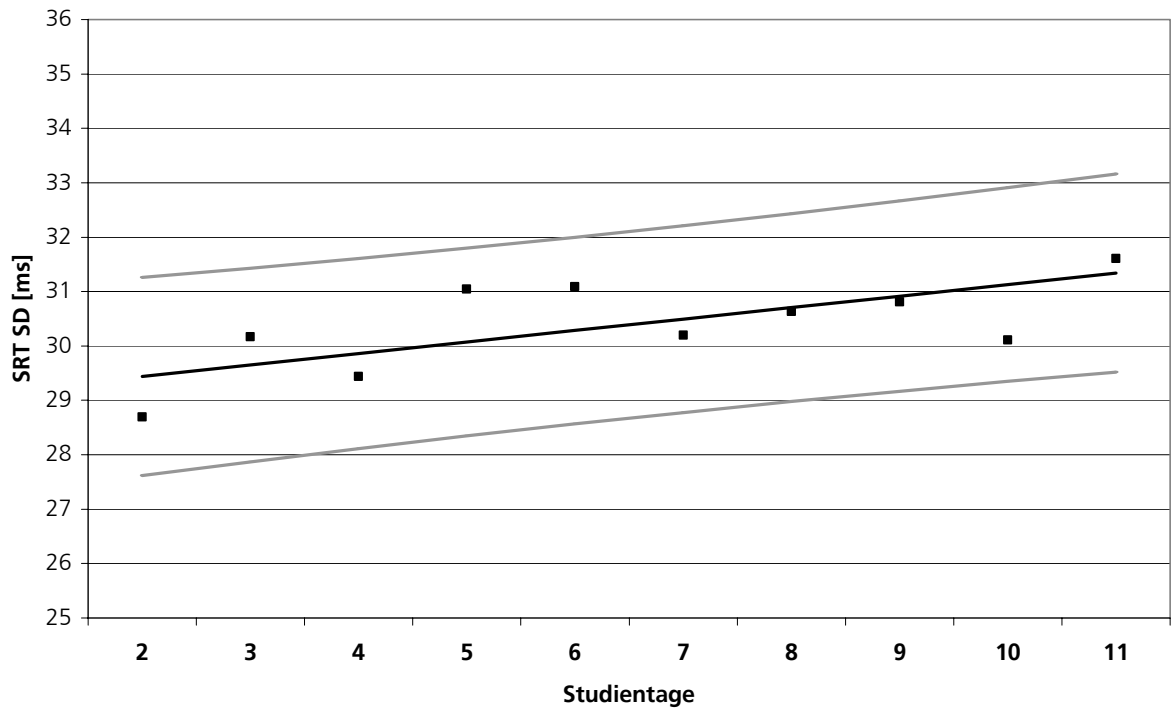


Abbildung 3-17: Kumulativer Effekt des nächtlichen Lärms auf die Standardabweichung der Reaktionszeiten im morgendlichen SRT im Verlauf der Studie.

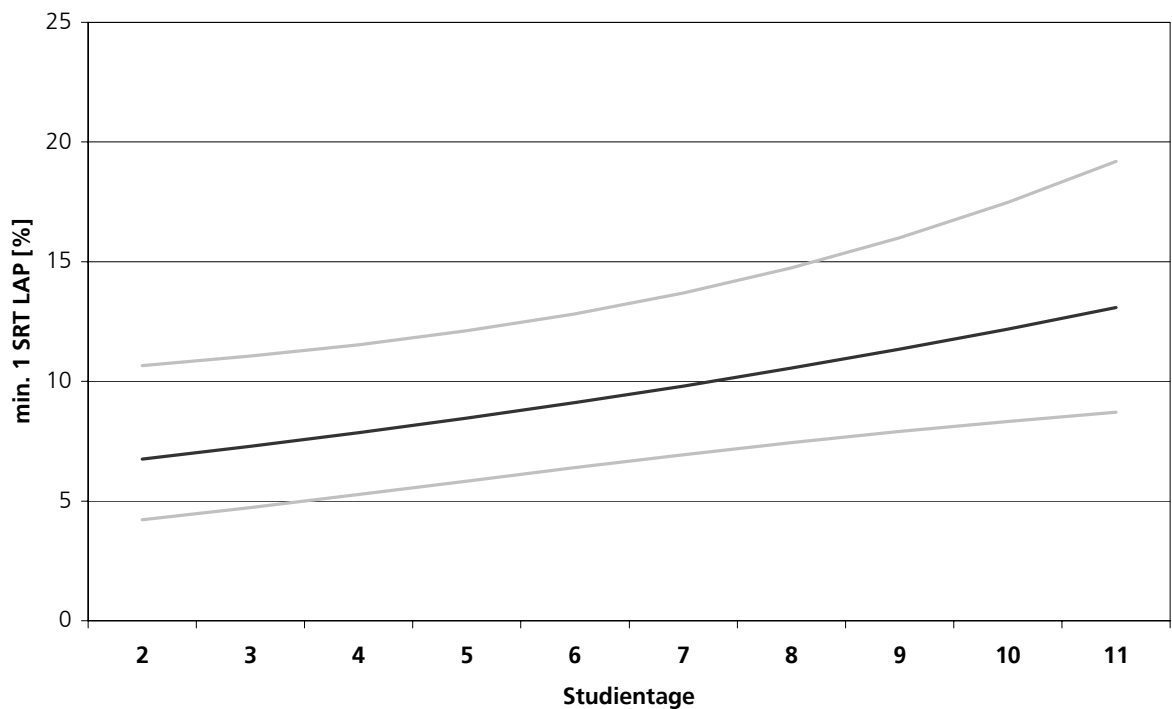


Abbildung 3-18: Kumulativer Einfluss der Studientage auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von mindestens einem Lapse im SRT.

Alter und Geschlecht hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeit im SRT. Die Leistung verschlechterte sich signifikant, was sowohl im adjustierten Modell als auch im unadjustierten Modell signifikant nachweisbar war. Nur in Bezug auf die Lapses im SRT zeigte das Alter einen signifikanten Einfluss.

Für den **MST** mit 4 und mit 6 Buchstaben zeigte sich eine signifikante Abhängigkeit der Leistung vom Alter der Probanden, das Geschlecht war kein signifikanter Moderator. Im Hinblick auf die Reaktionszeiten im MS4 wurden keine weiteren signifikanten Wirkungen beobachtet (Tabelle 3-12). Die Ergebnisse der logistischen Regression der falsch positiven und falsch negativen Antworten im MS4 (Tabelle 3-13 und Tabelle 3-14) zeigten einen signifikant linearen Zusammenhang der falsch negativen Antworten mit dem Maximalpegel der Lärmereignisse ($p=0,0181$) auf der logit-Skala, nicht jedoch mit der Anzahl der Lärmereignisse ($p=0,9001$) oder dem Leq ($p=0,2628$). Bei einem Hintergrundpegel von 30 dB(A) wird eine Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von mindestens einer falsch negativen Antwort von 39,5% errechnet. Die Wahrscheinlichkeit erhöht sich um 3% bei einem Maximalpegel von 45 dB(A) und um 10% bei einem Maximalpegel von 80 dB(A) (Abbildung 3-19).

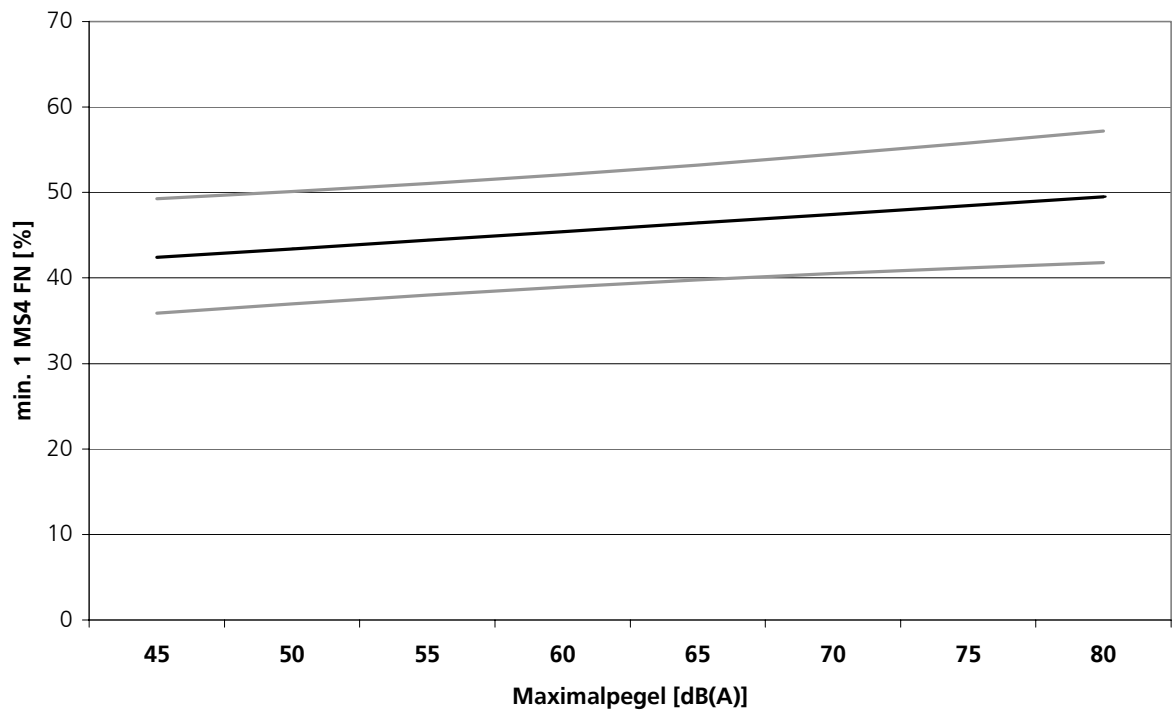


Abbildung 3-19: Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von mindestens einer falsch negativen Antwort im MS4 in Abhängigkeit vom Maximalpegel der nächtlichen Fluggeräusche.

| MS4 MW | | | | | | | |
|---------------------|-----|------------------|---------|---------------------|-----|------------------|---------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 445.7 (24.1) | <0.0001 | Intercept | 109 | 444.0 (23.1) | <0.0001 |
| Leq | 999 | -0.0 (0.2) | 0.8791 | Anzahl | 999 | 0.0 (0.0) | 0.5100 |
| Alter | 999 | 2.5 (0.6) | <0.0001 | Alter | 999 | 2.5 (0.6) | <0.0001 |
| Geschlecht (1=Mann) | 999 | 8.6 (14.7) | 0.5586 | Geschlecht (1=Mann) | 999 | 8.5 (14.7) | 0.5616 |
| MS4 MW | | | | | | | |
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 446.1 (23.3) | <0.0001 | Intercept | 109 | 448.7 (23.2) | <0.0001 |
| Maximalpegel | 999 | -0.0 (0.1) | 0.6557 | Tag | 999 | -0.6 (0.4) | 0.1358 |
| Alter | 999 | 2.5 (0.6) | <0.0001 | Alter | 999 | 2.5 (0.6) | <0.0001 |
| Geschlecht (1=Mann) | 999 | 8.6 (14.7) | 0.5589 | Geschlecht (1=Mann) | 999 | 8.6 (14.7) | 0.5594 |

Tabelle 3-12: Ergebnisse der Regression der Wirkung der Lärmparameter (Leq, Anzahl und Maximalpegel) und des Tageffektes auf den morgendlichen MS4 unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| MS4 FP | | | | | | | |
|---------------------|-----|------------------|---------|---------------------|-----|------------------|---------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | 1.8 (0.6) | 0.0028 | Intercept | 111 | 2.3 (0.4) | <0.0001 |
| Leq | 111 | 0.0 (0.0) | 0.2628 | Anzahl | 111 | 0.0 (0.0) | 0.9001 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0008 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0008 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.1 (0.3) | 0.5593 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.1 (0.3) | 0.6008 |
| MS4 FP | | | | | | | |
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | 2.3 (0.5) | <0.0001 | Intercept | 111 | 2.2 (0.5) | <0.0001 |
| Maximalpegel | 111 | 0.0 (0.0) | 0.7097 | Tag | 111 | 0.0 (0.0) | 0.5561 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0008 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0008 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.1 (0.3) | 0.5977 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.1 (0.3) | 0.5980 |

Tabelle 3-13: Ergebnisse der logistischen Regression der falsch positiven Antworten im MS4 in Abhängigkeit der Lärmparameter (Leq, Anzahl und Maximalpegel der Lärmereignisse) und des Tageffekts adjustiert für Alter und Geschlecht.

| MS4 FN | | | | | | | |
|---------------------|-----|------------------|---------------|---------------------|-----|------------------|--------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | 0.3 (0.6) | 0.5780 | Intercept | 111 | 1.0 (0.4) | 0.0231 |
| Leq | 111 | 0.0 (0.0) | 0.1001 | Anzahl | 111 | 0.0 (0.0) | 0.7961 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0017 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0019 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.0 (0.3) | 0.8636 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.0 (0.3) | 0.8705 |
| MS4 FN | | | | | | | |
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | 0.5 (0.5) | 0.2415 | Intercept | 111 | 0.9 (0.4) | 0.0360 |
| Maximalpegel | 111 | 0.0 (0.0) | 0.0181 | Tag | 111 | 0.0 (0.0) | 0.7920 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0017 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0019 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.0 (0.3) | 0.8654 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.0 (0.3) | 0.8654 |

Tabelle 3-14: Ergebnisse der logistischen Regression der falsch negativen Antworten im MS4 in Abhängigkeit der Lärmparameter (Leq, Anzahl und Maximalpegel der Lärmereignisse) und des Tageffekts adjustiert für Alter und Geschlecht.

Die Versuchspersonen arbeiteten im MS6 signifikant schneller. Abbildung 3-20 zeigt die kumulative Verbesserung der mittleren Reaktionszeit von Tag zu Tag um $2,2 \pm 0,6$ ms über den Zeitraum der Studie hinweg. In Abhängigkeit vom Leq stieg die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von mindestens einer falsch positiven Antwort im MS6 an. Bei einem Leq von 30 dB(A) lag die Wahrscheinlichkeit bei 78% und stieg auf 89% bei einem Leq von 56 dB(A). Die Ergebnisse der Regression und der logistischen Regression sind in Tabelle 3-15 bis Tabelle 3-17 aufgeführt.

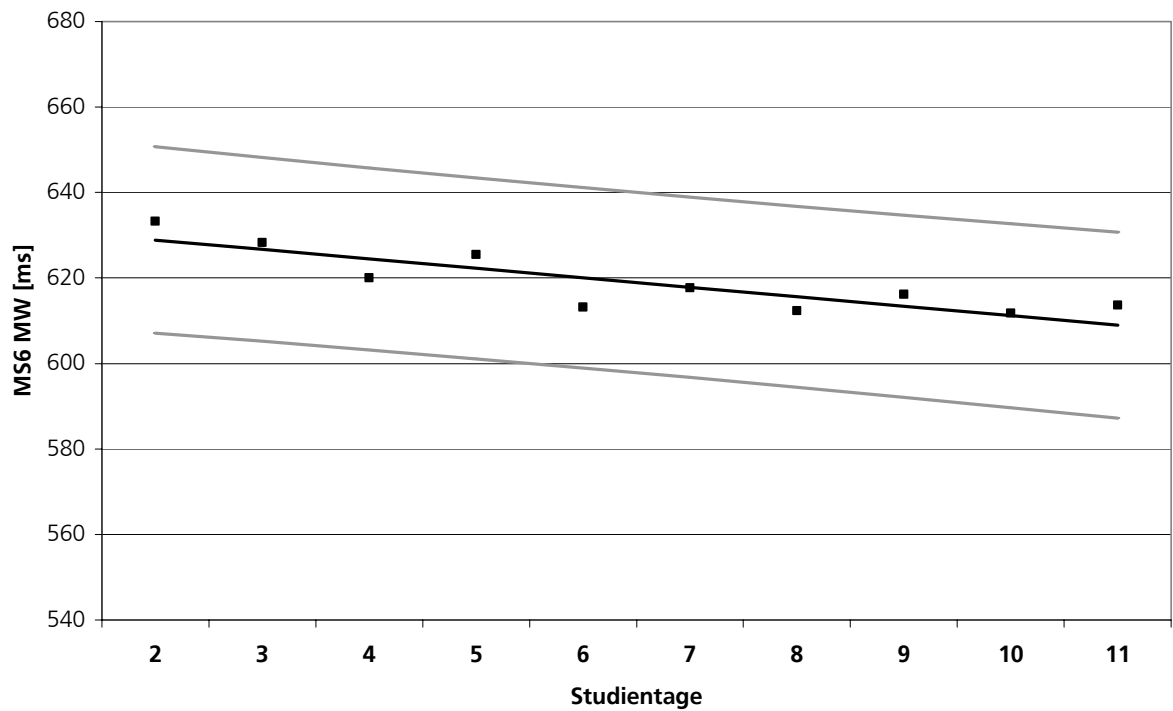


Abbildung 3-20: Kumulativer Effekt des nächtlichen Lärms auf die mittlere Reaktionszeit im morgendlichen MS6 im Verlauf der Studie.

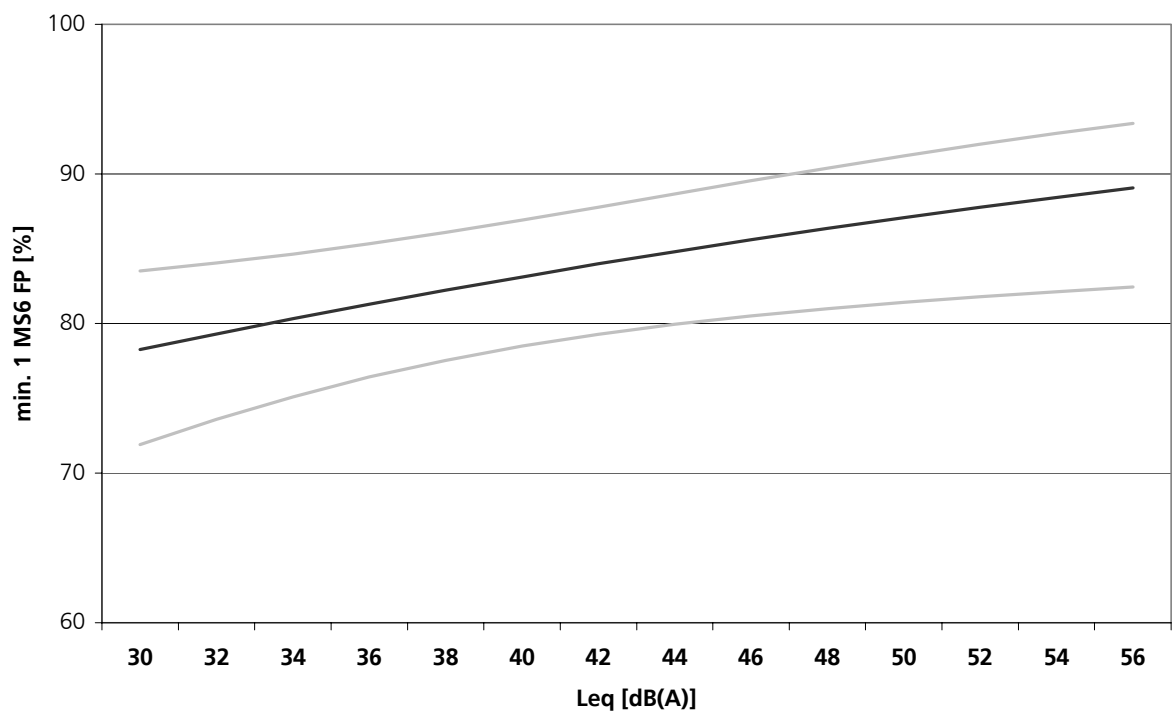


Abbildung 3-21: Einfluss des nächtlichen Leq auf die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von mindestens einer falsch positiven Antwort im MS6 gemäß der logistischen Regression.

| MS6 MW | | | | | | | |
|---------------------|------|------------------|---------|---------------------|------|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 497.9 (34.0) | <0.0001 | Intercept | 109 | 499.9 (32.3) | <0.0001 |
| Leq | 1000 | -0.0 (0.3) | 0.9651 | Anzahl | 1000 | -0.1 (0.1) | 0.1337 |
| Alter | 1000 | 3.0 (0.8) | 0.0002 | Alter | 1000 | 3.0 (0.8) | 0.0002 |
| Geschlecht (1=Mann) | 1000 | 22.5 (20.6) | 0.2743 | Geschlecht (1=Mann) | 1000 | 22.7 (20.6) | 0.2691 |
| MS6 MW | | | | | | | |
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 506.9 (32.7) | <0.0001 | Intercept | 109 | 511.8 (32.6) | <0.0001 |
| Maximalpegel | 1000 | -0.2 (0.1) | 0.0507 | Tag | 1000 | -2.2 (0.6) | 0.0004 |
| Alter | 1000 | 3.0 (0.8) | 0.0002 | Alter | 1000 | 3.0 (0.8) | 0.0002 |
| Geschlecht (1=Mann) | 1000 | 22.4 (20.6) | 0.2758 | Geschlecht (1=Mann) | 1000 | 22.4 (20.6) | 0.2763 |

Tabelle 3-15: Ergebnisse der Regression der Wirkung der Lärmparameter (Leq, Anzahl und Maximalpegel) und des Tageffektes auf den morgendlichen MS6 unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| MS6 FP | | | | | | | |
|---------------------|-----|------------------|---------------|---------------------|-----|------------------|---------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | 1.3 (0.6) | 0.0402 | Intercept | 111 | 2.4 (0.5) | <0.0001 |
| Leq | 111 | 0.0 (0.0) | 0.0117 | Anzahl | 111 | 0.0 (0.0) | 0.2447 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0077 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0099 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.2 (0.3) | 0.5660 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.1 (0.3) | 0.5878 |
| MS6 FP | | | | | | | |
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | 2.2 (0.5) | <0.0001 | Intercept | 111 | 2.3 (0.5) | <0.0001 |
| Maximalpegel | 111 | 0.0 (0.0) | 0.1171 | Tag | 111 | 0.0 (0.0) | 0.3723 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0088 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0095 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.2 (0.3) | 0.5625 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | 0.2 (0.3) | 0.5669 |

Tabelle 3-16: Ergebnisse der logistischen Regression der falsch positiven Antworten im MS6 in Abhängigkeit der Lärmparameter (Leq, Anzahl und Maximalpegel der Lärmereignisse) und des Tageffekts adjustiert für Alter und Geschlecht.

| MS6 FN | | | | | | | |
|---------------------|-----|------------------|--------|---------------------|-----|------------------|--------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | 1.1 (0.6) | 0.0506 | Intercept | 111 | 1.1 (0.4) | 0.0119 |
| Leq | 111 | 0.0 (0.0) | 0.9994 | Anzahl | 111 | 0.0 (0.0) | 0.3016 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0090 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0091 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | -0.1 (0.3) | 0.6034 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | -0.1 (0.3) | 0.5869 |
| MS6 FN | | | | | | | |
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | 1.0 (0.4) | 0.0253 | Intercept | 111 | 1.0 (0.4) | 0.0225 |
| Maximalpegel | 111 | 0.0 (0.0) | 0.5551 | Tag | 111 | 0.0 (0.0) | 0.4780 |
| Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0088 | Alter | 111 | -0.0 (0.0) | 0.0089 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | -0.1 (0.3) | 0.6055 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | -0.1 (0.3) | 0.6050 |

Tabelle 3-17: Ergebnisse der logistischen Regression der falsch negativen Antworten im MS6 in Abhängigkeit der Lärmparameter (Leq, Anzahl und Maximalpegel der Lärmereignisse) und des Tageffekts adjustiert für Alter und Geschlecht.

Im **UTT** zeigte sich eine signifikante Verschlechterung der Leistung mit zunehmendem Alter um $0,1 \pm 0,0$ mm pro Lebensjahr ($p=0,0008$, Intercept Estimate $6,8 \pm 0,8$ mm). Die männlichen Versuchspersonen waren um $1,9 \pm 0,5$ mm besser in der Bearbeitung der Aufgabe als die weiblichen Probanden ($p=0,0005$, Intercept Estimate $10,2 \pm 0,3$ mm). Eine signifikante Abhängigkeit der Leistung von den Lärmparametern war für diesen Test nicht nachweisbar (Tabelle 3-18 und Tabelle 3-19).

| UTT RMS | | | | | | | |
|---------------------|------|------------------|---------|---------------------|------|------------------|---------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 7.2 (0.8) | <0.0001 | Intercept | 109 | 7.5 (0.8) | <0.0001 |
| Leq | 1000 | 0.0 (0.0) | 0.0958 | Anzahl | 1000 | 0.0 (0.0) | 0.0513 |
| Alter | 1000 | 0.1 (0.0) | 0.0003 | Alter | 1000 | 0.1 (0.0) | 0.0002 |
| Geschlecht (1=Mann) | 1000 | -1.9 (0.5) | 0.0001 | Geschlecht (1=Mann) | 1000 | -1.9 (0.5) | 0.0001 |
| UTT RMS | | | | | | | |
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 109 | 7.5 (0.8) | <0.0001 | Intercept | 109 | 7.5 (0.8) | <0.0001 |
| Maximalpegel | 1000 | -0.0 (0.0) | 0.8042 | Tag | 1000 | -0.0 (0.0) | 0.6785 |
| Alter | 1000 | 0.1 (0.0) | 0.0002 | Alter | 1000 | 0.1 (0.0) | 0.0002 |
| Geschlecht (1=Mann) | 1000 | -1.9 (0.5) | 0.0001 | Geschlecht (1=Mann) | 1000 | -1.9 (0.5) | 0.0001 |

Tabelle 3-18: Ergebnisse der Regression der Wirkung der Lärmparameter (Leq, Anzahl und Maximalpegel) und des Tageffektes auf den morgendlichen UTT unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| UTT LOC | | | | | | | |
|---------------------|-----|------------------|---------|---------------------|-----|------------------|---------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | -3.8 (0.8) | <0.0001 | Intercept | 111 | -3.5 (0.5) | <0.0001 |
| Leq | 111 | 0.0 (0.0) | 0.4461 | Anzahl | 111 | 0.0 (0.0) | 0.2302 |
| Alter | 111 | 0.0 (0.0) | 0.0181 | Alter | 111 | 0.0 (0.0) | 0.0165 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | -1.0 (0.4) | 0.0071 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | -1.0 (0.4) | 0.0065 |

| UTT LOC | | | | | | | |
|---------------------|-----|------------------|---------|---------------------|-----|------------------|---------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 111 | -3.3 (0.6) | <0.0001 | Intercept | 111 | -3.2 (0.6) | <0.0001 |
| Maximalpegel | 111 | -0.0 (0.0) | 0.6363 | Tag | 111 | -0.0 (0.0) | 0.4800 |
| Alter | 111 | 0.0 (0.0) | 0.0166 | Alter | 111 | 0.0 (0.0) | 0.0169 |
| Geschlecht (1=Mann) | 111 | -1.0 (0.4) | 0.0071 | Geschlecht (1=Mann) | 111 | -1.0 (0.4) | 0.0071 |

Tabelle 3-19: Ergebnisse der logistischen Regression der LOC im UTT in Abhängigkeit der Lärmparameter (Leq, Anzahl und Maximalpegel der Lärmereignisse) und des Tageffekts adjustiert für Alter und Geschlecht.

3.1.3 Subjektive Beurteilung der Arbeitsbelastung (NASA TLX)

Die Versuchspersonen schätzten die Arbeitsbelastung während der Leistungstests an den lärmfreien Basistagen morgens mit $106,9 \pm 6,4$ Punkten und abends mit $103,6 \pm 6,3$ Punkten als „niedrig“ ein. Unter Lärmbedingungen stieg die Punktzahl geringfügig und morgens auch signifikant auf $114,4 \pm 5,7$ Punkte ($p=0,0216$), abends auf $108,5 \pm 5,6$ Punkte ($p=0,1391$). Nichtsdestotrotz blieb damit die Einschätzung der Arbeitsbelastung in der Kategorie „niedrig“. Eine signifikante Erhöhung der Arbeitsbelastung ergab sich lediglich im Zusammenhang mit der Anzahl der Lärmereignisse, jedoch nicht dem Maximalpegel oder dem Leq der nächtlichen

Fluggeräusche, wobei die morgendliche Einschätzung in Abhängigkeit vom Leq nur knapp oberhalb des Signifikanzniveaus lag ($p=0,0579$). Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 3-20 zusammengefasst.

| | Morgens | | Abends | |
|-----------------------|---------|---------------|--------|--------|
| | F-Wert | p-Wert | F-Wert | p-Wert |
| Leq | 1,84 | 0,0579 | 1,30 | 0,2305 |
| Anzahl | 2,27 | 0,0356 | 1,54 | 0,1616 |
| Maximalpegel | 1,51 | 0,1516 | 1,51 | 0,3305 |
| Anzahl x Maximalpegel | 0,55 | 0,9255 | 0,49 | 0,9590 |

Tabelle 3-20: Einschätzung der Arbeitsbelastung während der Leistungstests in Abhängigkeit der Lärmcharakteristika. Dargestellt sind die statistischen Ergebnisse von 4 getrennten Analysen (Leq, Anzahl, Maximalpegel, Anzahl x Maximalpegel) einer Mixed Model ANOVA.

3.1.4 Erholungsfunktion der Nacht

Nach lärmbelasteten Nächten berichten Versuchspersonen gehäuft, dass die Nacht weniger erholsam gewesen sei. Um Unterschiede in dieser Erholbarkeit zu detektieren, wurden Differenzen aus den abendlichen Testergebnissen vor der Lärnacht und den morgendlichen Testergebnissen nach der Lärnacht gebildet und mit den Ergebnissen der lärmfreien Nächte verglichen. Tabelle 3-21 gibt einen Überblick zu den Ergebnissen dieser Analysen. Es wurden keine Unterschiede der Leistungsdifferenzen nach Lärnächten im Vergleich zu lärmfreien Nächten festgestellt.

| | Experimentalgruppe (n=112) | | | | | |
|----------------|-----------------------------------|------------|------------------------------|----------|----------|---------|
| | Basis | Fluglärm | Differenz (Lärm minus Basis) | | | |
| Test | Mean (SE) | Mean (SE) | Estimate | Lower CL | Upper CL | p-value |
| SRT MW | 7.1 (2.3) | 8.4 (1.0) | 1.3 | -3.1 | 5.8 | 0.5651 |
| SRT 10B | 2.9 (1.8) | 3.3 (0.7) | 0.4 | -3.3 | 4.1 | 0.8141 |
| SRT 10W | 15.6 (3.9) | 19.8 (2.0) | 4.2 | -3.3 | 11.7 | 0.2754 |
| SRT SD | 4.0 (0.9) | 4.8 (0.4) | 0.8 | -0.9 | 2.5 | 0.3622 |
| MS4 MW | 21.4 (6.1) | 25.4 (3.2) | 4.0 | -7.5 | 15.5 | 0.4938 |
| MS4 MWY | 16.9 (6.0) | 21.1 (2.9) | 4.3 | -7.2 | 15.8 | 0.4658 |
| MS4 MWN | 25.6 (7.0) | 29.7 (3.6) | 4.1 | -9.0 | 17.2 | 0.5425 |
| MS6 MW | 30.1 (9.2) | 26.8 (4.1) | -3.3 | -21.3 | 14.8 | 0.7238 |
| MS6 MWY | 25.9 (9.0) | 20.5 (3.6) | -5.4 | -23.5 | 12.6 | 0.5561 |
| MS6 MWN | 33.4 (10.7) | 33.2 (5.1) | -0.2 | -20.7 | 20.3 | 0.9845 |
| UTT RMS | 1.0 (0.2) | 1.2 (0.1) | 0.3 | -0.0 | 0.5 | 0.0608 |

Tabelle 3-21: Analyse der Erholsamkeit der Nacht als Differenz aus abendlichen und morgendlichen Leistungen.

3.1.5 Einfluss des Geschlechts auf die Leistung

Zusätzlich zu den Einflüssen des nächtlichen Fluglärms auf die Leistungsfähigkeit ist es denkbar, dass andere Faktoren der untersuchten Probanden wesentliche Moderatoren sind. Tabelle 3-22 gibt einen Überblick über den Anteil an weiblichen und männlichen Versuchspersonen während der Laborstudie.

| Geschlecht | Frauen | Männer |
|-----------------------|--------|--------|
| Laborstudie insgesamt | n=75 | n=53 |
| Kontrollgruppe | n=10 | n=6 |
| Lärmgruppe | n=65 | n=47 |

Tabelle 3-22: Übersicht über die Geschlechterverteilung während der Laborstudie insgesamt und in der Kontroll- bzw. Lärmgruppe.

Die unter diesem Aspekt durchgeführten Analysen in der **Kontrollgruppe** erbrachten keine geschlechtsspezifischen signifikanten Unterschiede der einzelnen Leistungsuntersuchungen. Im morgendlichen **SRT** zeigte sich ein nicht signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen von $14,9 \pm 15,8$ ms ($p=0,3630$), im abendlichen von $6,1 \pm 15,6$ ms ($p=0,6997$). Der morgens durchgeführte **MS4** erbrachte einen Geschlechtsunterschied in der mittleren Reaktionszeit von $34,8 \pm 49,2$ ms ($p=0,4916$), abends von $39,5 \pm 42,6$ ms ($p=0,3691$), der **MS6** morgens von $105,6 \pm 86,5$ ms ($p=0,2423$) und abends von $82,2 \pm 69,4$ ms ($p=0,2559$). Auch diese Unterschiede waren nicht signifikant. Im **UTT** bewegte sich der Unterschied zwischen den Geschlechtern morgens um $0,4 \pm 2,3$ mm RMS ($p=0,8702$), abends um $0,9 \pm 2,2$ mm RMS ($p=0,6931$). Eine Übersicht der Ergebnisse der Frauen und Männer der Kontrollgruppe in den morgendlichen Leistungstests bietet Abbildung 3-22.

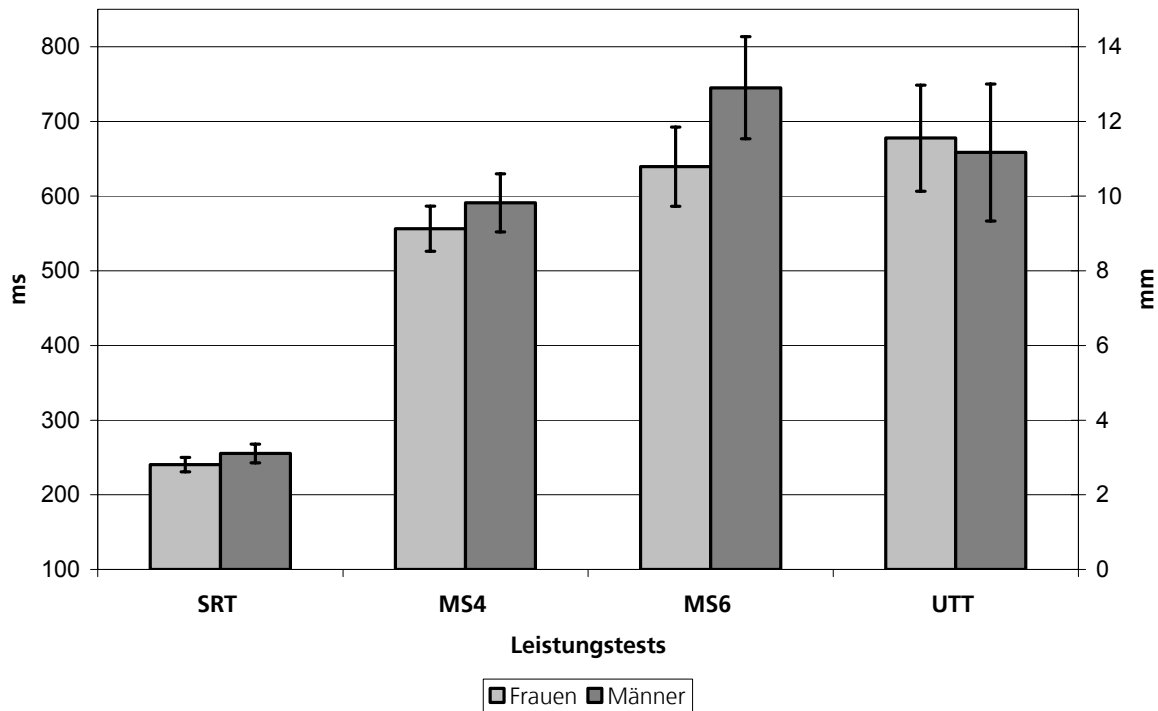


Abbildung 3-22: Vergleich der morgendlichen weiblichen und männlichen Testleistungen in der Kontrollgruppe. Frauen: VP=10; T=127 (SRT morgens T=125); Männer: VP=6; T=78. Mittlere Reaktionszeiten mit Standardfehler von SRT, MS4 und MS6 in ms und gemittelte RMS Werte des UTT in mm.

In der **Experimentalgruppe** hingegen wurden signifikante, geschlechtsspezifische Unterschiede in SRT und UTT festgestellt (bedingt auch durch die höhere Probandenzahl in dieser Gruppe), wie sie bereits aus den Regressionsanalysen der morgendlichen Leistungsdaten ersichtlich waren. Im abendlichen **SRT** waren die männlichen Versuchspersonen signifikant schneller in Bezug auf die mittlere Reaktionszeit um $9,6 \pm 4,1$ ms ($p=0,0214$), bei den besten 10% der Reaktionszeiten um $6,7 \pm 2,8$ ms ($p=0,0191$) und in Bezug auf die schlechtesten 10% der Reaktionszeiten um $15,3 \pm 7,1$ ms ($p=0,0341$). Die morgendlichen Leistungen im SRT wiesen keine signifikanten Unterschiede auf. Außerdem zeigten die männlichen Probanden signifikant bessere Resultate im morgendlichen und abendlichen **UTT** RMS um $1,9 \pm 0,5$ mm ($p=0,0006$) bzw. $1,4 \pm 0,4$ mm ($p=0,0022$). Signifikante Unterschiede im **MST** ergaben sich nicht.

Eine Gegenüberstellung der Testergebnisse der weiblichen und männlichen Versuchspersonen in den morgendlichen Leistungstests zeigt Abbildung 3-23. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 3-23 und Tabelle 3-24 aufgelistet.

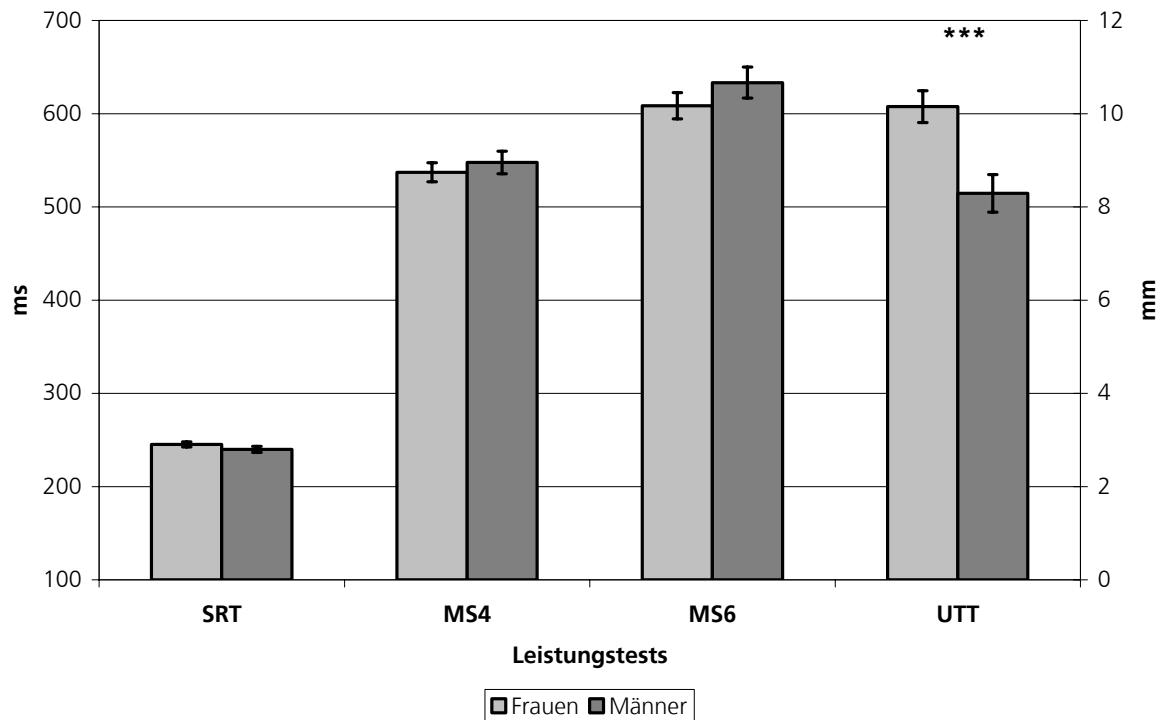


Abbildung 3-23: Vergleich der morgendlichen weiblichen und männlichen Testleistungen in der Lärmgruppe. Frauen: VP=65; UTT abends/morgens, MS4/MS6 abends T=840, MS4/MS6 morgens T=839, SRT abends T=835, SRT morgens T=834; Männer: VP=47; T=604 (SRT morgens T=602). Geschätzte mittlere Reaktionszeiten mit Standardfehler von SRT, MS4 und MS6 in ms und geschätzte gemittelte RMS Werte des UTT in mm.

| Morgens | Experimentalgruppe (Frauen=65; Männer=47) | | | | | |
|----------------|---|--------------|---------------------------------|----------|----------|---------------|
| | Frauen | Männer | Differenz (Männer minus Frauen) | | | |
| Test | Mean (SE) | Mean (SE) | Estimate | Lower CL | Upper CL | p-value |
| SRT MW | 245.4 (2.8) | 240.0 (3.3) | -5.4 | -13.9 | 3.0 | 0.2074 |
| SRT 10B | 207.4 (1.8) | 203.6 (2.1) | -3.7 | -9.3 | 1.8 | 0.1875 |
| SRT 10W | 312.9 (5.0) | 303.3 (5.9) | -9.6 | -25.0 | 5.8 | 0.2177 |
| SRT SD | 31.0 (1.1) | 29.5 (1.4) | -1.5 | -5.0 | 2.0 | 0.3935 |
| MS4 MW | 537.2 (10.3) | 547.7 (12.1) | 10.6 | -20.8 | 42.0 | 0.5065 |
| MS4 MWY | 520.0 (9.3) | 527.9 (11.0) | 7.9 | -20.6 | 36.3 | 0.5862 |
| MS4 MWN | 554.6 (11.5) | 567.7 (13.5) | 13.2 | -22.0 | 48.4 | 0.4599 |
| MS6 MW | 608.5 (14.1) | 633.4 (16.6) | 24.9 | -18.3 | 68.0 | 0.2556 |
| MS6 MWY | 585.8 (12.1) | 607.4 (14.2) | 21.6 | -15.4 | 58.6 | 0.2493 |
| MS6 MWN | 631.2 (16.6) | 659.1 (19.5) | 28.0 | -22.8 | 78.8 | 0.2769 |
| UTT RMS | 10.2 (0.3) | 8.3 (0.4) | -1.9 | -2.9 | -0.8 | 0.0006 |

Tabelle 3-23: Analyse der morgendlichen Leistungstests der Experimentalgruppe in Abhängigkeit des Geschlechts nach dem Mixed Model.

| Abends | Experimentalgruppe (Frauen=65; Männer=47) | | | | | |
|----------------|---|--------------|---------------------------------|----------|----------|---------------|
| | Frauen | Männer | Differenz (Männer minus Frauen) | | | |
| Test | Mean (SE) | Mean (SE) | Estimate | Lower CL | Upper CL | p-value |
| SRT MW | 238.2 (2.7) | 228.6 (3.1) | -9.6 | -17.7 | -1.4 | 0.0214 |
| SRT 10B | 204.5 (1.8) | 197.9 (2.1) | -6.7 | -12.2 | -1.1 | 0.0191 |
| SRT 10W | 295.3 (4.6) | 280.0 (5.4) | -15.3 | -29.3 | -1.2 | 0.0341 |
| SRT SD | 26.7 (1.0) | 24.4 (1.2) | -2.4 | -5.5 | 0.7 | 0.1341 |
| MS4 MW | 512.7 (9.2) | 517.1 (10.8) | 4.4 | -23.7 | 32.5 | 0.7571 |
| MS4 MWY | 499.5 (8.5) | 501.8 (10.0) | 2.3 | -23.8 | 28.4 | 0.8631 |
| MS4 MWN | 526.1 (10.1) | 532.7 (11.9) | 6.7 | -24.2 | 37.6 | 0.6683 |
| MS6 MW | 582.5 (13.5) | 599.4 (15.9) | 16.9 | -24.4 | 58.2 | 0.4188 |
| MS6 MWY | 566.6 (12.1) | 577.5 (14.3) | 10.9 | -26.3 | 48.0 | 0.5628 |
| MS6 MWN | 598.7 (15.2) | 620.6 (17.9) | 21.8 | -24.8 | 68.5 | 0.3547 |
| UTT RMS | 8.7 (0.3) | 7.2 (0.3) | -1.4 | -2.2 | -0.5 | 0.0022 |

Tabelle 3-24: Analyse der abendlichen Leistungstests der Experimentalgruppe in Abhängigkeit des Geschlechts nach dem Mixed Model.

Die vorbeschriebenen Analysen unterscheiden nicht zwischen einer unterschiedlichen Beeinflussbarkeit von Mann und Frau durch Fluglärm oder zwischen einem generellen Geschlechtsunterschied in der Leistung. Auch die Regressionsanalysen der vorherigen Kapitel erlauben hier keine Unterscheidung. Deshalb wurde die morgendliche Leistung ohne Lärmeinfluss am Basistag 2 mit der Mixed Model ANOVA auf Geschlechtsunterschiede in der Leistung untersucht. Ein signifikanter Unterschied zeigte sich lediglich im UTT RMS ($p=0.0008$), wie in Tabelle 3-25 dargestellt.

| Test | Estimate of Difference (Mann–Frau) | p-Wert |
|----------------|---------------------------------------|---------------|
| SRT MW | -3.4 (4.1) | 0.4109 |
| SRT 10B | -2.0 (2.8) | 0.4692 |
| SRT 10W | -2.6 (7.8) | 0.7415 |
| SRT SD | 0.0 (1.8) | 0.9787 |
| MS4 MW | 14.7 (16.9) | 0.3879 |
| MS4 MWY | 6.9 (15.9) | 0.6636 |
| MS4 MWN | 22.1 (18.6) | 0.2385 |
| MS6 MW | 36.4 (24.5) | 0.1390 |
| MS6 MWY | 31.6 (22.2) | 0.1577 |
| MS6 MWN | 44.0 (28.1) | 0.1204 |
| UTT RMS | -1.8 (0.5) | 0.0008 |

Tabelle 3-25: Analyse der geschlechtsspezifischen Unterschiede in der morgendlichen Leistung am Basistag 2 mittels Mixed Model ANOVA.

3.1.6 Einfluss des Alters auf die Leistung

Tabelle 3-26 bietet einen Überblick über die Altersstruktur der Probandenpopulation und die Unterteilung nach Altersklassen in der Laborstudie.

| Altersklassen | 1 18-25 J | 2 26-33 J | 3 34-41 J | 4 42-49 J | 5 50-57 J | 6 58-65 J |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Laborstudie insges. | n=25 | n=34 | n=19 | n=19 | n=17 | n=14 |
| Kontrollgruppe | n=2 | n=5 | n=2 | n=2 | n=3 | n=2 |
| Experimentalgruppe | n=23 | n=29 | n=17 | n=17 | n=14 | n=12 |

Tabelle 3-26: Übersicht über die Verteilung der Probanden auf die einzelnen Altersklassen in der Laborstudie insgesamt und auf die Kontroll- und Experimentalgruppe.

Bei Betrachtung der Leistungstests in Abhängigkeit von der Altersstruktur wurde eine Tendenz zur Abnahme der Leistung mit zunehmendem Alter sichtbar. Je nach Art des Tests kam es hier aber auch zu Überschneidungen und Verschiebungen zwischen den Altersklassen. Abbildung 3-24 bis Abbildung 3-27 zeigen die Leistungen der Probanden der gesamten Laborstudie in den einzelnen Leistungstests nach Altersgruppen sortiert.

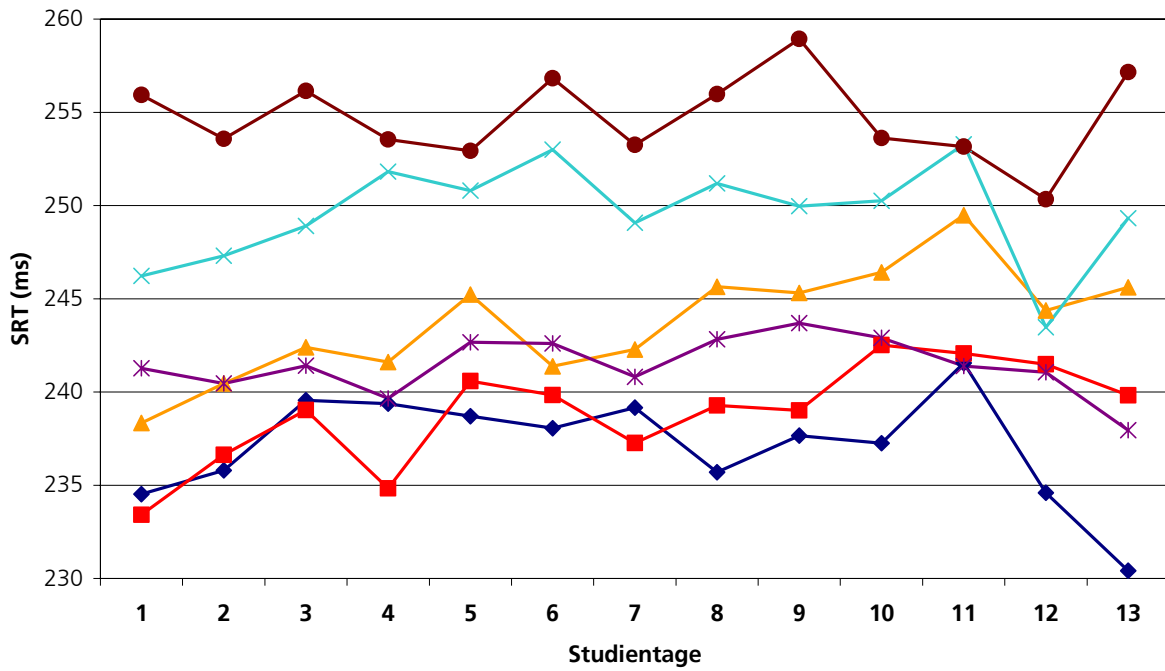


Abbildung 3-24: Leistung in den Altersklassen anhand des morgendlichen SRT (mittlere Reaktionszeit).

Abbildung 3-24: Leistung in den Altersklassen anhand des morgendlichen SRT (mittlere Reaktionszeit).

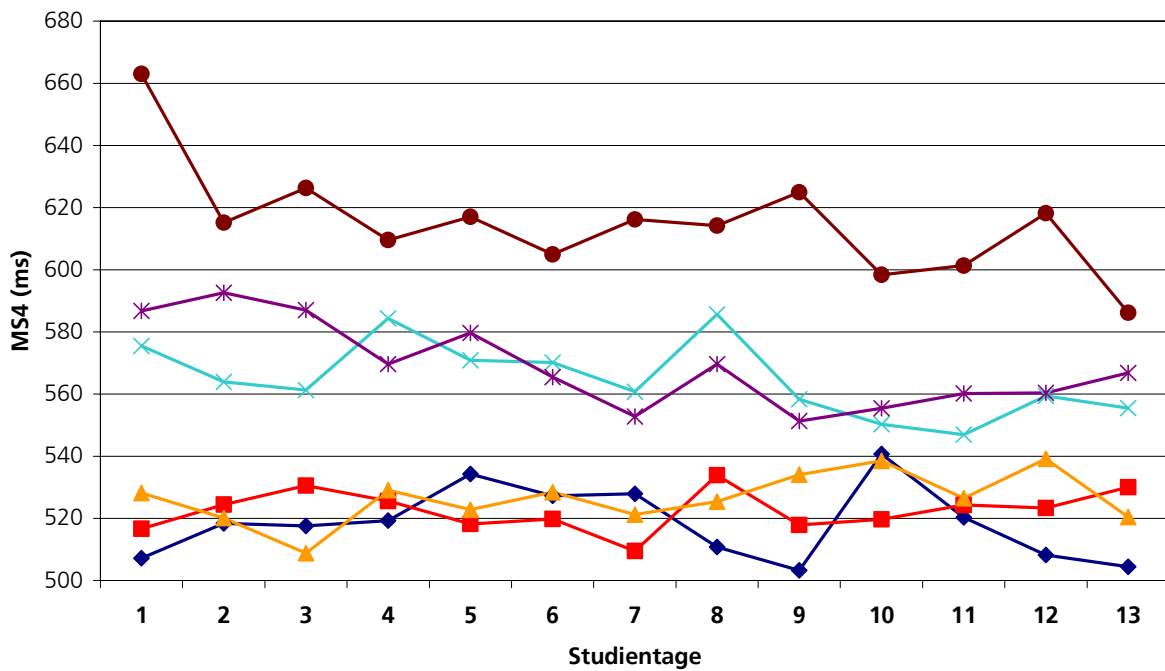


Abbildung 3-25: Leistung in den Altersklassen anhand des morgendlichen MS4 (mittlere Reaktionszeit).

Abbildung 3-25: Leistung in den Altersklassen anhand des morgendlichen MS4 (mittlere Reaktionszeit).

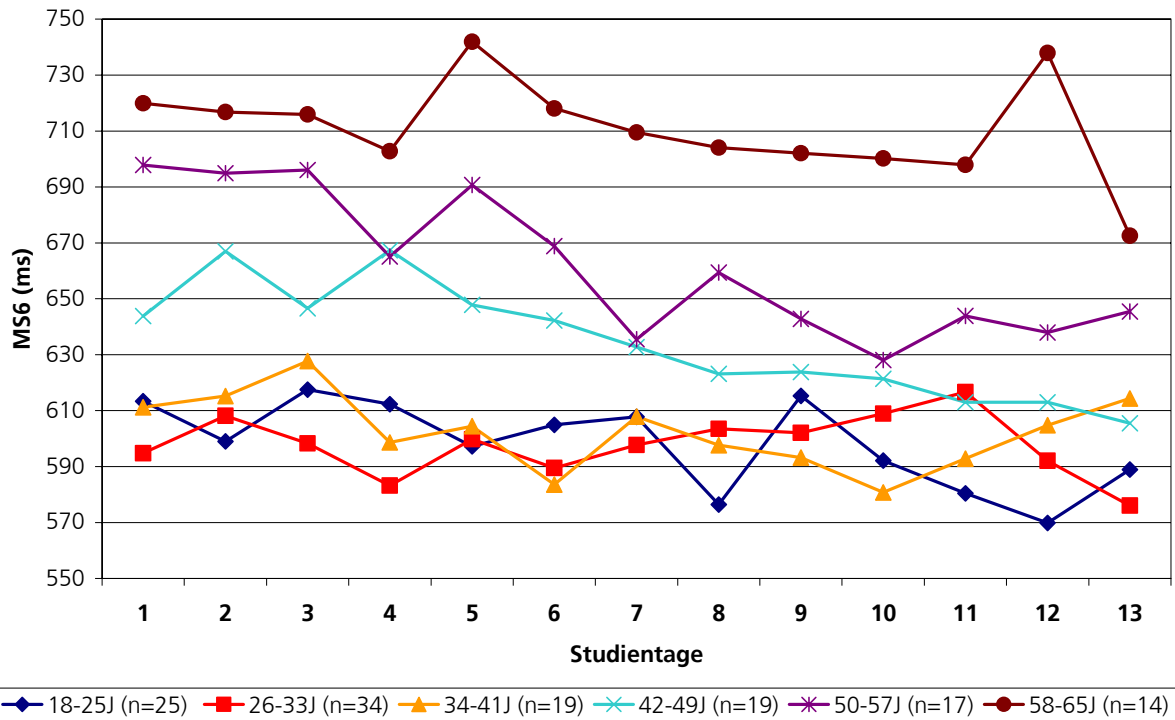


Abbildung 3-26: Leistung in den Altersklassen anhand des morgendlichen MS6 (mittlere Reaktionszeit).

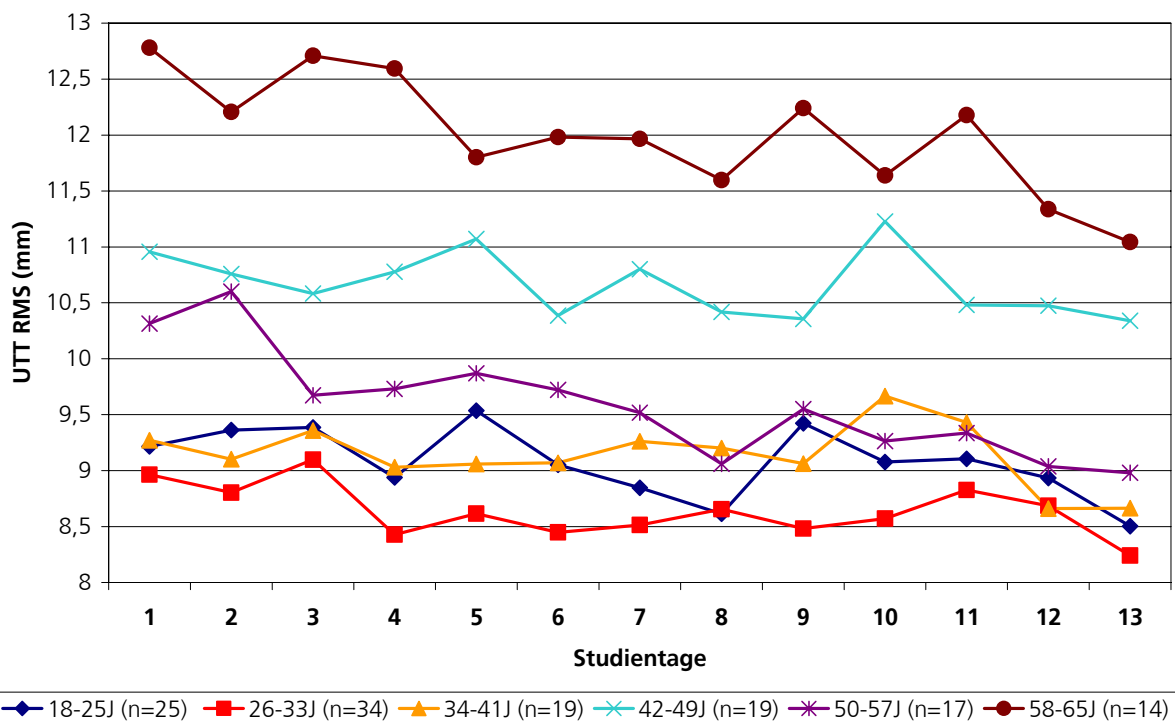


Abbildung 3-27: Leistung in den Altersklassen anhand des morgendlichen UTT (RMS).

Zusätzlich wurde mit Hilfe der Regressionsanalyse geprüft, ob sich Kontroll- bzw. Experimentalgruppe in der morgendlichen Leistung in Abhängigkeit vom Alter unterscheiden. In der **Kontrollgruppe** zeigten sich signifikante Alterseffekte allein im **SRT** für die 10% der besten Reaktionszeiten (SRT 10B $p=0,0113$). Es deutete sich dabei ein Trend an zur Verlangsamung der Reaktionszeiten mit zunehmendem Alter um $0,9 \pm 0,3$ ms pro Lebensjahr.

In der **Experimentalgruppe** waren deutlich häufiger signifikante Effekte durch die Altersverteilung zu beobachten. Im morgendlichen **SRT** zeigten sich signifikante Resultate für die besten 10% der Reaktionszeiten ($p=0,0006$). Die Reaktionszeit verschlechterte sich hier um $0,4 \pm 0,1$ ms pro Lebensjahr.

Der **MST** mit 4 Buchstaben ergab signifikante Effekte der mittleren Reaktionszeiten und der mittleren Reaktionszeiten der Antworten, unterschieden nach korrekten und falschen Probebuchstaben (MS4 MW $p<0,0001$, MS4 MWY $p<0,0001$, MS4 MWN $p<0,0001$). Die mittlere Reaktionszeit verschlechterte sich um $2,5 \pm 0,6$ ms pro Lebensjahr.

Der MST mit 6 Buchstaben lieferte ähnliche signifikante Ergebnisse für die mittleren Reaktionszeiten und die Reaktionszeiten auf zur Lerngruppe und nicht zur Lerngruppe gehörende Buchstaben (MS6 MW $p=0,0002$, MS6 MWY $p<0,0001$, MS6 MWN $p=0,0016$). Die mittlere Reaktionszeit verschlechterte sich um $3,0 \pm 0,8$ ms pro Lebensjahr.

Im **UTT** waren signifikante Unterschiede für die mittlere Abweichung von der Mittelposition nachweisbar (UTT RMS: morgens $p=0,0008$). Die Abweichung von der Mittelposition vergrößerte sich um $0,1 \pm 0,0$ mm pro Lebensjahr.

Da die beschriebene Regressionsanalyse nicht in der Lage ist zwischen Alterseffekten die unabhängig von der Experimentalbedingung sind und einer altersabhängigen Fluglärmwirkung zu unterscheiden, wurde eine zusätzliche Mixed Model ANOVA nur für die morgendliche Leistung am Basistag 2 im Vergleich der Altersklassen durchgeführt. Signifikante Unterschiede zeigten sich für die 10% besten Reaktionszeiten im SRT, für alle untersuchten

Reaktionszeiten im MS4, für die mittlere Reaktionszeit und die mittlere Reaktionszeit auf zur Lerngruppe gehörende Probebuchstaben im MS6 und für die mittlere Abweichung von der Mittelposition im UTT (Tabelle 3-27).

| Morgens | Altersklassen | |
|----------------|---------------|---------------|
| Test | F-Wert | p-Wert |
| SRT MW | 1.03 | 0.4019 |
| SRT 10B | 3.03 | 0.0136 |
| SRT 10W | 0.62 | 0.6842 |
| SRT SD | 1.24 | 0.2978 |
| MS4 MW | 3.91 | 0.0027 |
| MS4 MWY | 4.55 | 0.0009 |
| MS4 MWN | 3.08 | 0.0124 |
| MS6 MW | 2.62 | 0.0285 |
| MS6 MWY | 3.69 | 0.0041 |
| MS6 MWN | 1.82 | 0.1155 |
| UTT RMS | 3.89 | 0.0028 |

Tabelle 3-27: Analyse der Leistung am Basistag 2 auf Leistungsunterschiede in den Altersklassen mittels Mixed Model ANOVA.

3.1.7 Zusammenfassung der Ergebnisse der Fluglärmanalysen der Laborstudie

Durch die Untersuchung der Leistung am Tag nach lärmgestörten Nächten im Labor und ihren Vergleich mit der Leistung ohne nächtlichen Lärm-einfluss zeigte sich ein genereller Effekt des Fluglärms auf die mittlere Reak-

tionszeit, auf die 10% schlechtesten Reaktionszeiten und auf die Größe der Standardabweichung im SRT. Zusätzlich ließ sich eine Verschlechterung im Antwortverhalten des MS4 feststellen im Sinne einer Zunahme der falsch negativen Antworten. Diese Lärmwirkungen konnten nur in den morgendlichen Tests nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu fielen die mittlere Reaktionszeit und die Reaktionszeit auf die zur Lerngruppe gehörenden Probebuchstaben im morgendlichen und abendlichen MS6 schneller aus. Die Verbesserung der Leistung, die im UTT auftrat, ist am ehesten mit einem Lerneffekt zu erklären, da auch die Kontrollgruppe hier verbesserte Leistungen aufwies.

Die Interaktion von Anzahl und Maximalpegel der Fluggeräusche zeigte keine signifikanten Ergebnisse.

Die Betrachtung der Leistung in Abhängigkeit des Leq der vorangegangenen Nacht zeigte Ergebnisse, die sehr gut zu den Analysen der generellen Lärmeffekte passen. So waren Verschlechterungen der Leistung für die mittlere Reaktionszeit, die 10% schlechtesten Reaktionszeiten und für die Standardabweichung im morgendlichen SRT nachweisbar. Im abendlichen MS6 hingegen traten erneut Verbesserungen in der mittleren Reaktionszeit auf. Die Reaktionszeiten auf die zur Lerngruppe gehörenden Probebuchstaben im MS6 verbesserten sich am Morgen und am Abend.

Dosis-Wirkungsbeziehungen wurden lediglich anhand der morgendlichen Leistungsdaten berechnet. Die Ergebnisse passen sehr gut zu den Analysen anhand der Mixed Model ANOVA. Signifikante Zusammenhänge zeigten sich für die mittlere Reaktionszeit, für die schlechtesten 10% der Reaktionszeiten und für die Größe der Standardabweichung im SRT in Abhängigkeit vom Leq und mit zunehmender Anzahl an Flugereignissen pro Nacht. Eine signifikante Beziehung dieser Testparameter bestand auch zwischen Maximalpegel und Anzahl der Flugereignisse und dem SRT. Über den Studienzeitraum hinweg wirkte sich die Lärmbelastung linear kumulativ aus. Im MS4 und MS6 wurde ungenauer gearbeitet; es zeigte sich eine signifikante Erhöhung der falsch negativen Antworten in Abhängigkeit des Maximal-

pegels der vorangegangenen Nacht im MS4 und eine Erhöhung der falsch positiven Antworten im MS6 in Abhängigkeit vom Leq. Im MS6 kam es zu einer linear kumulativen Verbesserung der Reaktionszeiten. Für den UTT waren keine signifikanten Dosis-Wirkungsbeziehungen nachweisbar.

Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Leistungsfähigkeit zeigten sich im SRT und im UTT. In diesen Testverfahren war die Leistung der männlichen Probanden teilweise signifikant besser als die Leistung der weiblichen Probanden. Durch Einbeziehung des Geschlechts in die Regressionsmodelle wurde für den Anteil der Leistungsveränderung unter Lärmeinfluss kontrolliert, auf den eine Verschlechterung der Leistung durch Geschlechtsunterschiede zurückzuführen ist.

Eine Verschlechterung der Leistung mit zunehmendem Alter wurde in allen Testverfahren beobachtet. Für den Anteil an der Leistungsveränderung unter Lärmeinfluss, der auf die Verschlechterung der Leistung durch Altersunterschiede zurückzuführen ist, wurde durch Berücksichtigung des Alters als Moderator in den Regressionsmodellen kontrolliert.

3.2 Ergebnisse der Feldstudie

Die Daten, die während der Feldstudie erhoben wurden, wurden weitgehend in der gleichen Weise wie die Labordaten ausgewertet. Die Ergebnisse beruhen auf 62 Versuchspersonen. Auch im Feld unterschieden sich die morgendlichen und abendlichen Testleistungen deutlich und signifikant voneinander, wobei die Leistungsfähigkeit am Abend stets besser ausfiel als die am Morgen ($p < 0,0001$).

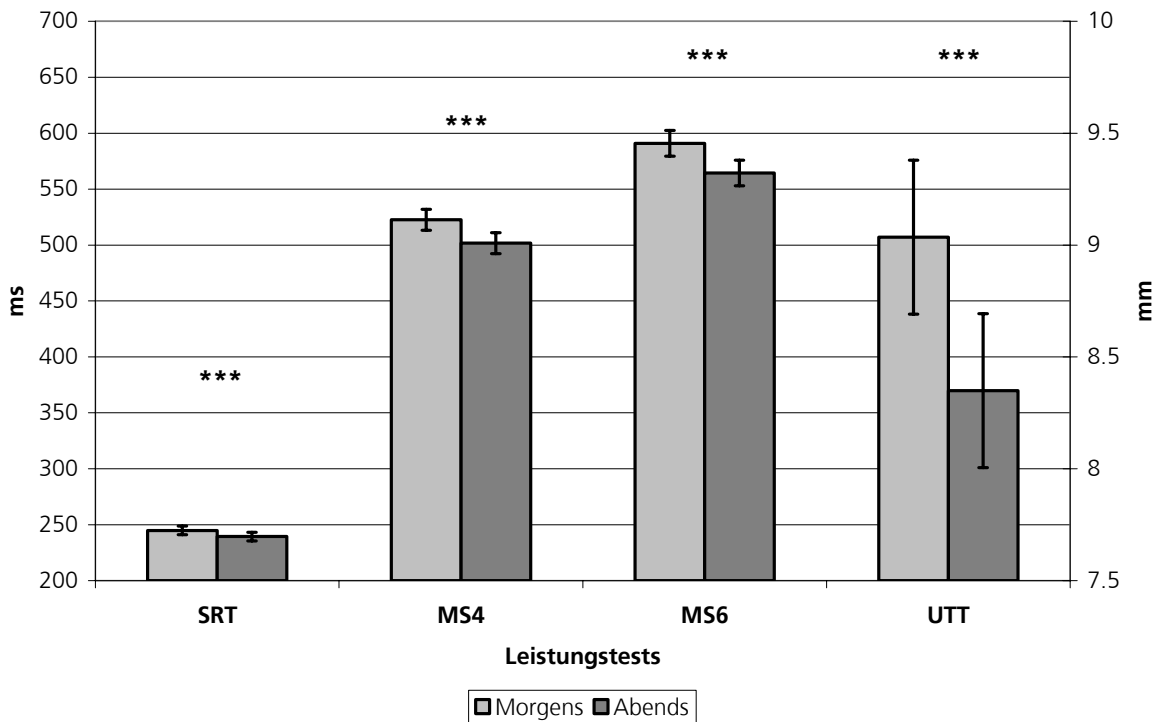


Abbildung 3-28: Vergleich der morgendlichen und abendlichen Testleistungen. Dargestellt sind die Schätzer der mittleren Reaktionszeiten mit Standardfehler des SRT, MS4 und MS6 in ms und die gemittelten RMS Werte des UTT in mm.

Wie in Abbildung 3-28 gezeigt, waren die abendlichen Reaktionszeiten im SRT im Mittel um $5,5 \pm 0,6$ ms, im MS4 um $20,9 \pm 2,3$ ms und im MS6 um $26,5 \pm 3,2$ ms schneller als am Morgen. Im UTT waren die Abweichungen von der Mittelposition abends um $0,7 \pm 0,2$ mm geringer als morgens. Im

Folgenden werden die morgendlichen und abendlichen Testergebnisse wiederum getrennt betrachtet.

In Abbildung 3-29 ist dargestellt, welche Werte der mittlere Leq in jeder Studiennacht annahm und wie viele Lärmereignisse in diesen Nächten aufgezeichnet wurden. In den Leq und die Anzahl an Lärmereignissen fließen hier sowohl Flug- als auch Straßenverkehrslärmereignisse ein. Für die Leistungsuntersuchung ist es nicht möglich, zwischen den Lärmarten zu differenzieren, da sich die nächtliche Lärmbelastungssituation als Ganzes auf die Leistung am nächsten Tag auswirkt. Im Feldversuch war es also nicht möglich, die Auswirkungen des Fluglärms auf die Leistung in reiner Form zu untersuchen. Da jedoch Gebiete für die Feldstudie selektiert wurden, die nahezu ausschließlich durch Fluglärm belastet waren, ist es wahrscheinlich, dass die beobachteten Effekte vorwiegend auf den nächtlichen Fluglärm zurückzuführen sind. In den Nächten 6 und 7 (dies waren Nächte von Samstag auf Sonntag und Sonntag auf Montag) waren deutlich weniger Lärmereignisse und ein geringerer Leq zu verzeichnen.

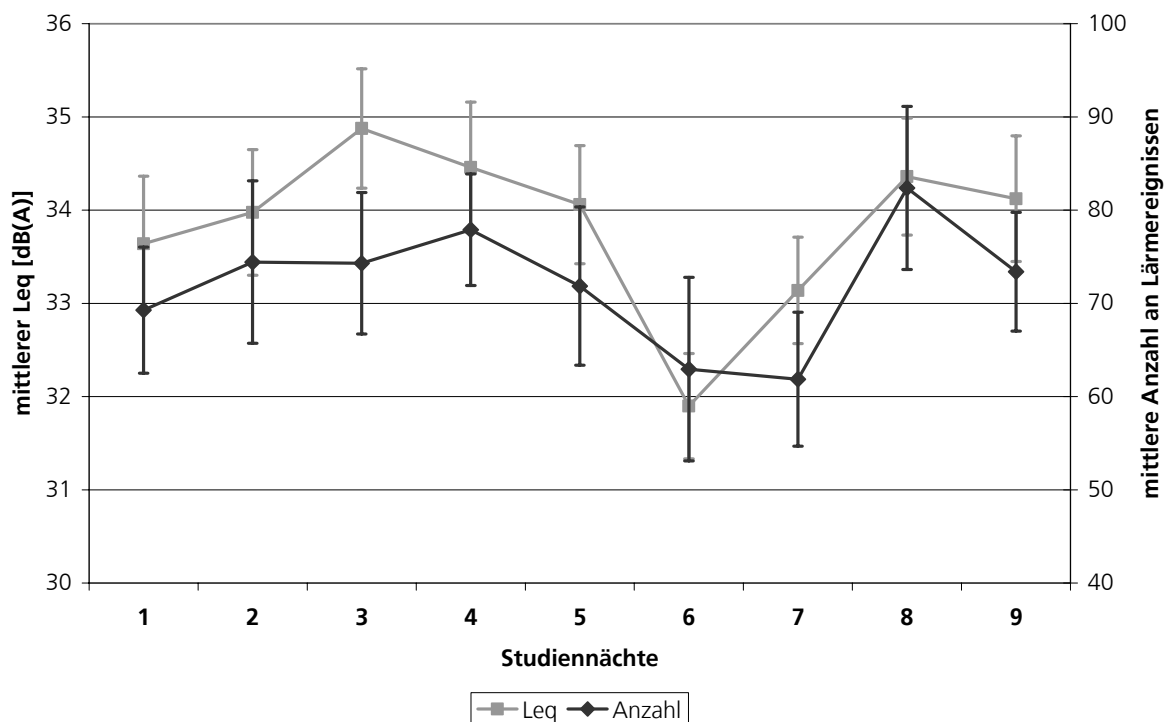


Abbildung 3-29: Nächtlicher Leq und Anzahl an Lärmereignissen im Verlauf der Studie.

Es wurde untersucht, ob es zu systematischen Leistungseffekten von Tag zu Tag im Verlauf der Studie kam. Hierdurch würden auch Veränderungen, die durch abweichende Schlaf- und Aufstehgewohnheiten am Wochenende verursacht wurden, aufgedeckt. Da die erste Nacht zur Adaptation der Probanden an die Messinstrumente diente, wurden die Testergebnisse aller weiteren Tage mit den Resultaten der Leistungstests nach der 2. Nacht (Tag 2) verglichen. Ein Studienverlaufseffekt wurde bei der Analyse der mittleren Reaktionszeiten des morgendlichen und abendlichen **SRT** beobachtet (SRT MW: morgens $p=0,0005$, abends $p=0,0003$). Bei den morgendlichen Tests kam es nach der 8. Nacht zu einer signifikanten Verschlechterung der Reaktionszeit ($E 5,1 \pm 1,5$ ms, $p=0,0046$). Im Vergleich zur morgendlichen Reaktionszeit des 2. Tages von $243,3 \pm 4,1$ ms betrug die Reaktionszeit nach der 8. Nacht $248,3 \pm 4,1$ ms. Abbildung 3-30 zeigt die morgendliche, Abbildung 3-31 die abendliche mittlere Reaktionszeit im Studienverlauf als Differenz zu den Ergebnissen des 2. Tages.

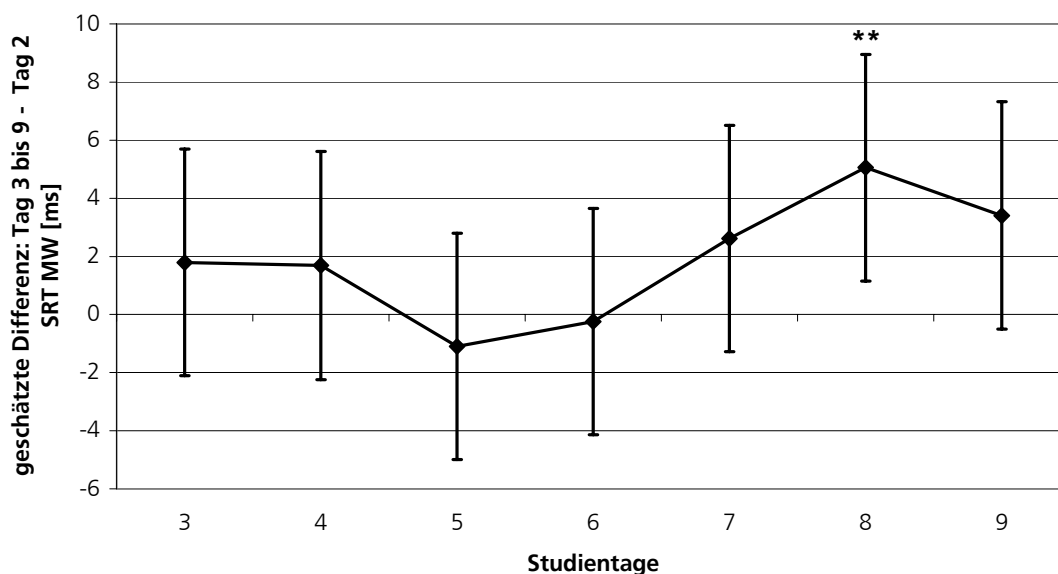


Abbildung 3-30: Differenz der Testleistung im Verlauf der Studientage in Bezug zum Basistag anhand der mittleren Reaktionszeit im morgendlichen SRT.

Während der abendlichen Testsitzungen kam es ebenfalls zu Verlängerungen der Reaktionszeit, allerdings bereits am Abend des 7. und dann auch des 8. Tages. Am 7. Abend betrug die Reaktionszeit $242,7 \pm 4,0$ ms (E $4,3 \pm 1,6$ ms, $p=0,0459$), am 8. Abend $243,4 \pm 4,0$ ms (E $5,0 \pm 1,6$ ms, $p=0,0127$).

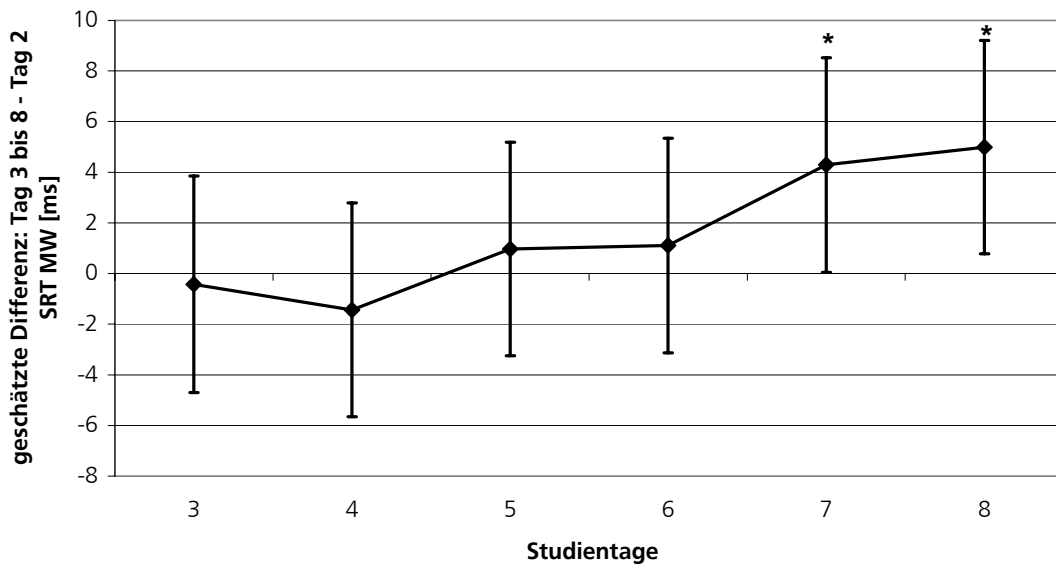


Abbildung 3-31: Differenz der Testleistung im Verlauf der Studientage in Bezug zum Basistag anhand der mittleren Reaktionszeit im abendlichen SRT.

Ein Trend zur Veränderung der Leistung verursacht durch das Wochenende (Tag 5 und 6) lässt sich aus diesen Daten nicht ableiten. Auch Effekte bedingt durch den Beginn der Arbeitswoche oder das Ende der Studie sind nicht nachweisbar, denn die Leistung am Montagmorgen (Tag 7) bzw. Mittwochmorgen (Tag 9, Ende der Studie) ist nicht signifikant von den Daten des 2. Tages verschieden.

Im **MST** zeigten sich weder mit 4 noch mit 6 Buchstaben Veränderungen im Verlauf der Studie.

Auch der **UTT** zeigte keine Effekte im Verlauf der Studientage.

3.2.1 Einfluss der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse und des energieäquivalenten Dauerschallpegels

Da im Feldversuch Anzahl und Maximalpegel der Lärmereignisse von Nacht zu Nacht und von Proband zu Proband sehr stark variieren, bietet es sich zunächst an, eine Analyse anhand des Leq durchzuführen. Allerdings wird auch untersucht, ob Effekte auf Grund der Anzahl der Lärmereignisse auftraten.

Zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Leq über Nacht (ermittelt im Schlafzimmer „am Ohr des Schläfers“) und der Leistung wurden 8 Leq-Klassen gebildet. Entsprechend der Laborstudie umfassten diese je 3 dB(A)-Stufen. Allerdings wurde ein nächtlicher Leq, der über 51 dB(A) innen hinausgeht, im Feldversuch nicht gemessen, so dass die beiden letzten Leq-Klassen des Laborversuchs hier entfallen. Einem Leq von >48-51 dB(A) war nur eine Versuchsperson während einer Nacht ausgesetzt; eine statistische Analyse ist somit für diese Leq-Klasse nicht aussagekräftig. Außerdem handelte es sich dabei um die letzte Nacht der Feldaufzeichnungen, so dass der Versuch nach den morgendlichen Leistungsmessungen beendet wurde und abendliche Tests nach dieser Nacht nicht durchgeführt wurden.

Klasse 1 (Basis): ≤ 30 dB(A), Klasse 2: >30-33 dB(A), Klasse 3: >33-36 dB(A), Klasse 4: >36-39 dB(A), Klasse 5: >39-42 dB(A), Klasse 6: >42-45 dB(A), Klasse 7: >45-48 dB(A), Klasse 8: >48-51 dB(A).

Ein signifikanter Einfluss des nächtlichen Leq konnte für keinen der Leistungstests gefunden werden. Die Ergebnisse der Analysen mit Hilfe der Mixed Model ANOVA sind in Tabelle 3-28 dargestellt.

| | Morgens | | Abends | |
|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| | Leq-Effekte | | Leq-Effekte | |
| Test | F-value | p-value | F-value | p-value |
| SRT MW | 0.91 | 0.4989 | 0.42 | 0.8650 |
| SRT 10B | 0.97 | 0.4501 | 0.39 | 0.8842 |
| SRT 10W | 1.06 | 0.3889 | 1.35 | 0.2322 |
| SRT SD | 1.21 | 0.2982 | 1.77 | 0.1042 |
| MS4 MW | 0.88 | 0.5249 | 1.26 | 0.2734 |
| MS4 MWY | 0.90 | 0.5086 | 0.39 | 0.8828 |
| MS4 MWN | 0.57 | 0.7779 | 2.02 | 0.0618 |
| MS6 MW | 1.17 | 0.3213 | 1.81 | 0.0966 |
| MS6 MWY | 1.65 | 0.1186 | 2.05 | 0.0586 |
| MS6 MWN | 0.86 | 0.5398 | 1.14 | 0.3410 |
| UTT RMS | 1.03 | 0.4120 | 0.50 | 0.8079 |

Tabelle 3-28: Analysen der morgendlichen und abendlichen Leistungstests in Abhängigkeit des nächtlichen Leq nach der Mixed Model ANOVA.

Im Folgenden werden dennoch die Auswirkungen des nächtlich aufgezeichneten Leq auf die Leistung anhand der mittleren Reaktionszeiten des SRT, MS4, MS6 und der mittleren Abweichungen im UTT am Morgen abgebildet. Die Mittelwerte und Standardfehler der Leistungsparameter im morgendlichen und abendlichen SRT sind in Tabelle 3-29 und Tabelle 3-30 zusammengefasst.

Die mittlere Reaktionszeit am Morgen lag bei einem Basis-Leq von ≤ 30 dB(A) über Nacht bei $243,7 \pm 4,1$ ms. Das Auftreten von höheren nächtlichen Leq-Werten bewirkte keine signifikanten Veränderungen der Leistung in diesem Test ($p=0,4989$; Abbildung 3-32).

| Morgens | SRT: Mean (SE) | | | |
|--------------|----------------|-------------|--------------|------------|
| Leq-Klassen | MW | 10B | 10W | SD |
| ≤ 30 dB(A) | 243.7 (4.1) | 204.8 (2.9) | 316.6 (7.5) | 33.1 (1.7) |
| >30-33 dB(A) | 243.2 (4.0) | 205.4 (2.9) | 309.7 (7.3) | 30.7 (1.6) |
| >33-36 dB(A) | 244.9 (4.0) | 205.7 (2.9) | 315.4 (7.2) | 32.4 (1.6) |
| >36-39 dB(A) | 245.7 (4.1) | 206.4 (2.9) | 316.5 (7.3) | 32.8 (1.7) |
| >39-42 dB(A) | 248.0 (4.2) | 208.2 (3.0) | 321.3 (7.9) | 33.2 (1.9) |
| >42-45 dB(A) | 248.4 (4.8) | 208.3 (3.4) | 323.4 (9.8) | 33.6 (2.5) |
| >45-48 dB(A) | 247.9 (6.7) | 211.0 (4.6) | 311.3 (15.6) | 28.7 (4.2) |
| >48-51 dB(A) | 250.6 (10.0) | 208.4 (6.8) | 324.0 (24.8) | 30.9 (6.9) |

Tabelle 3-29: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

| Abends | SRT: Mean (SE) | | | |
|--------------|----------------|-------------|--------------|------------|
| Leq-Klassen | MW | 10B | 10W | SD |
| ≤ 30 dB(A) | 238.8 (4.1) | 203.0 (3.1) | 302.6 (7.1) | 29.1 (1.6) |
| >30-33 dB(A) | 240.7 (4.0) | 203.8 (3.0) | 306.6 (6.9) | 30.6 (1.5) |
| >33-36 dB(A) | 239.5 (4.0) | 204.4 (3.0) | 303.1 (6.8) | 29.2 (1.5) |
| >36-39 dB(A) | 240.7 (4.1) | 204.7 (3.0) | 309.0 (7.0) | 30.8 (1.6) |
| >39-42 dB(A) | 238.4 (4.3) | 205.7 (3.2) | 295.1 (7.8) | 26.4 (1.8) |
| >42-45 dB(A) | 238.5 (5.0) | 204.7 (3.6) | 303.5 (9.9) | 28.8 (2.5) |
| >45-48 dB(A) | 238.5 (7.1) | 204.9 (5.1) | 298.3 (15.9) | 27.1 (4.3) |

Tabelle 3-30: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im abendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

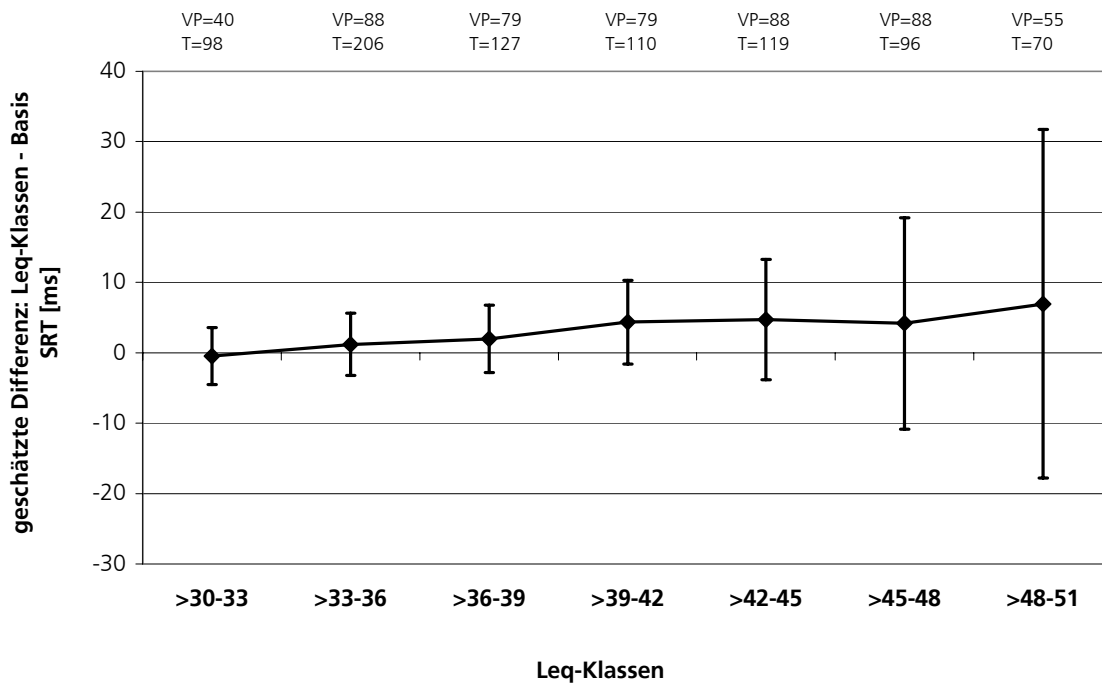


Abbildung 3-32: Geschätzte Abweichung der mittleren Reaktionszeit im morgendlichen SRT in Abhängigkeit von den Leq-Klassen im Vergleich zum Basis-Leq (≤ 30 dB(A), VP=33, T=111). Für die einzelnen Leq-Klassen ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

Abbildung 3-33 und Abbildung 3-34 zeigen die Ergebnisse im morgendlichen MS4 und MS6 in Abhängigkeit des Leq der vorangegangenen Nacht als Differenz zum Basis-Leq. Signifikante Unterschiede sind nicht erkennbar (MS4: $p=0,5249$; MS6: $p=0,3213$). Unter Basis-Bedingungen von ≤ 30 dB(A) beträgt die mittlere Reaktionszeit im MS4 $523,5 \pm 11,0$ ms, im MS6 $579,1 \pm 13,7$ ms. In Tabelle 3-31 und Tabelle 3-32 sind die Mittelwerte und Standardfehler der Leistungsparameter des morgendlichen und abendlichen MS4, in Tabelle 3-33 und Tabelle 3-34 die Werte der Leistungsparameter im morgendlichen und abendlichen MS6 aufgeführt.

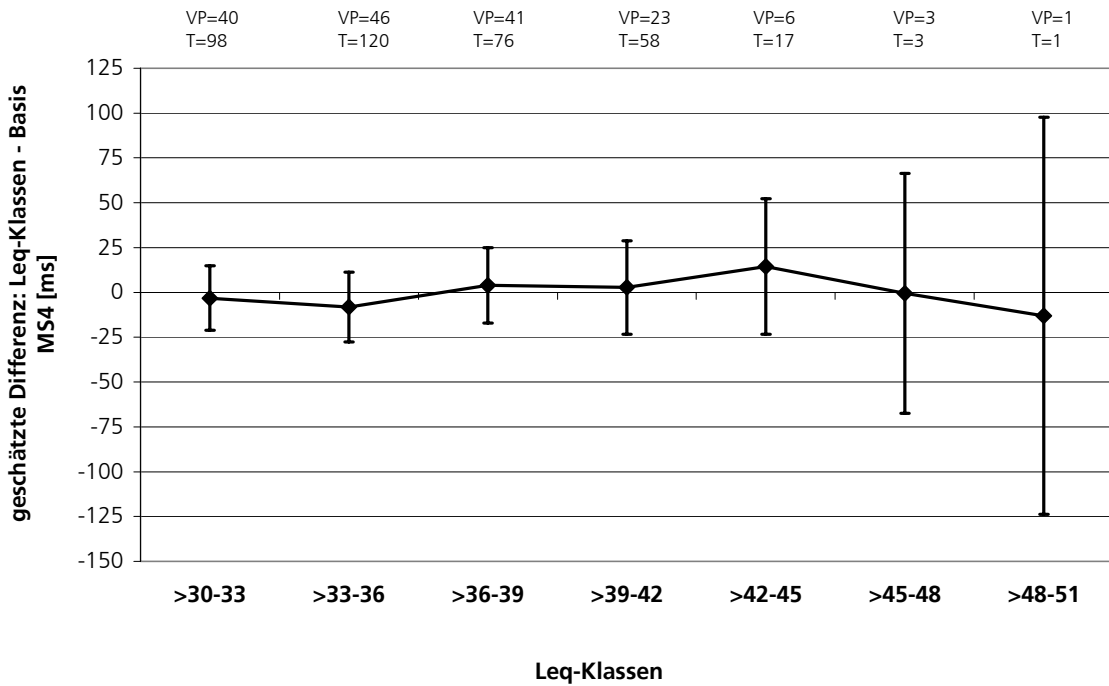


Abbildung 3-33: Geschätzte Abweichung der mittleren Reaktionszeit im morgendlichen MS4 in Abhängigkeit von den Leq-Klassen im Vergleich zum Basis-Leq (≤ 30 dB(A), VP=33, T=111). Für die einzelnen Leq-Klassen ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

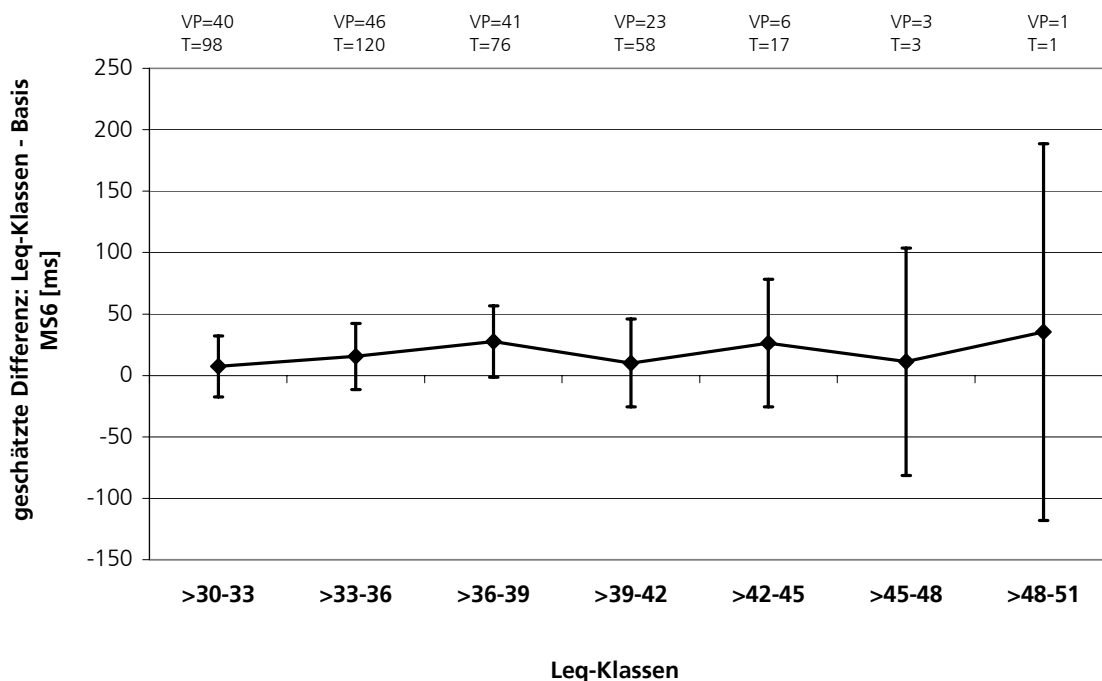


Abbildung 3-34: Geschätzte Abweichung der mittleren Reaktionszeit im morgendlichen MS6 in Abhängigkeit von den Leq-Klassen im Vergleich zum Basis-Leq (≤ 30 dB(A), VP=33, T=111). Für die einzelnen Leq-Klassen ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

| Morgens | MS4: Mean (SE) | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|
| | MW | MWY | MWN |
| 30 dB(A) | 523.5 (11.0) | 509.8 (10.5) | 537.5 (12.0) |
| >30-33 dB(A) | 520.4 (10.6) | 505.2 (10.1) | 535.6 (11.5) |
| >33-36 dB(A) | 515.4 (10.4) | 499.7 (9.9) | 531.8 (11.3) |
| >36-39 dB(A) | 527.5 (10.8) | 512.0 (10.3) | 542.9 (11.7) |
| >39-42 dB(A) | 526.3 (11.9) | 507.0 (11.4) | 544.8 (13.1) |
| >42-45 dB(A) | 538.0 (15.5) | 520.9 (15.2) | 551.3 (17.6) |
| >45-48 dB(A) | 523.1 (26.0) | 502.4 (25.9) | 542.3 (30.1) |
| >48-51 dB(A) | 510.5 (42.2) | 501.8 (42.4) | 515.6 (49.3) |

Tabelle 3-31: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im morgendlichen MS4 in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

| Abends | MS4: Mean (SE) | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|
| Leq-Klassen | MW | MWY | MWN |
| 30 dB(A) | 498.2 (9.9) | 487.7 (9.7) | 509.3 (10.7) |
| >30-33 dB(A) | 494.2 (9.7) | 486.8 (9.4) | 502.4 (10.4) |
| >33-36 dB(A) | 505.5 (9.5) | 493.6 (9.3) | 517.6 (10.3) |
| >36-39 dB(A) | 502.8 (9.8) | 490.0 (9.6) | 516.4 (10.6) |
| >39-42 dB(A) | 505.1 (10.6) | 492.9 (10.5) | 518.6 (11.6) |
| >42-45 dB(A) | 500.0 (12.8) | 488.5 (13.1) | 511.2 (14.4) |
| >45-48 dB(A) | 518.6 (19.5) | 491.1 (20.5) | 547.8 (22.5) |

Tabelle 3-32: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im abendlichen MS4 in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

| Morgens | MS6: Mean (SE) | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|
| Leq-Klassen | MW | MWY | MWN |
| 30 dB(A) | 579.1 (13.7) | 556.1 (13.3) | 599.4 (15.1) |
| >30-33 dB(A) | 586.5 (13.1) | 571.9 (12.6) | 601.9 (14.4) |
| >33-36 dB(A) | 594.5 (12.8) | 576.0 (12.3) | 613.4 (14.1) |
| >36-39 dB(A) | 606.6 (13.3) | 591.5 (12.9) | 624.1 (14.7) |
| >39-42 dB(A) | 589.2 (15.0) | 565.8 (14.8) | 613.3 (16.6) |
| >42-45 dB(A) | 605.3 (20.4) | 577.5 (20.8) | 629.4 (22.9) |
| >45-48 dB(A) | 590.4 (35.4) | 572.9 (37.1) | 604.6 (40.0) |
| >48-51 dB(A) | 614.4 (58.1) | 612.5 (61.6) | 612.8 (65.9) |

Tabelle 3-33: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im morgendlichen MS6 in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

| Abends | MS6: Mean (SE) | | |
|--------------|----------------|--------------|--------------|
| Leq-Klassen | MW | MWY | MWN |
| 30 dB(A) | 553.2 (13.0) | 538.0 (12.9) | 568.1 (13.9) |
| >30-33 dB(A) | 557.7 (12.5) | 546.7 (12.4) | 570.3 (13.3) |
| >33-36 dB(A) | 572.9 (12.3) | 562.5 (12.2) | 583.3 (13.1) |
| >36-39 dB(A) | 578.4 (12.8) | 566.4 (12.7) | 590.2 (13.6) |
| >39-42 dB(A) | 566.9 (14.3) | 552.6 (14.5) | 580.6 (15.4) |
| >42-45 dB(A) | 553.5 (18.6) | 535.8 (19.2) | 568.9 (20.3) |
| >45-48 dB(A) | 557.2 (30.6) | 547.0 (32.2) | 566.3 (33.8) |

Tabelle 3-34: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im abendlichen MS6 in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

Nach Nächten mit Basis-Leq betrug die mittlere Abweichung von der Mittelposition im **UTT** $8,8 \pm 0,4$ mm. Signifikante Veränderungen aufgrund eines erhöhten nächtlichen Leq ließen sich nicht ermitteln ($p=0,4120$, Abbildung 3-35). Tabelle 3-35 zeigt die Mittelwerte und Standardfehler der Leistungsparameter im morgendlichen und abendlichen UTT.

| UTT RMS: Mean (SE) | | |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Leq-Klassen | Morgens | Abends |
| 30 dB(A) | 8.8 (0.4) | 8.3 (0.4) |
| >30-33 dB(A) | 8.9 (0.4) | 8.3 (0.4) |
| >33-36 dB(A) | 9.0 (0.4) | 8.3 (0.4) |
| >36-39 dB(A) | 9.2 (0.4) | 8.3 (0.4) |
| >39-42 dB(A) | 9.5 (0.4) | 8.4 (0.4) |
| >42-45 dB(A) | 9.3 (0.5) | 8.6 (0.5) |
| >45-48 dB(A) | 9.1 (0.8) | 9.5 (0.8) |
| >48-51 dB(A) | 8.8 (1.2) | - |

Tabelle 3-35: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im morgendlichen und abendlichen UTT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

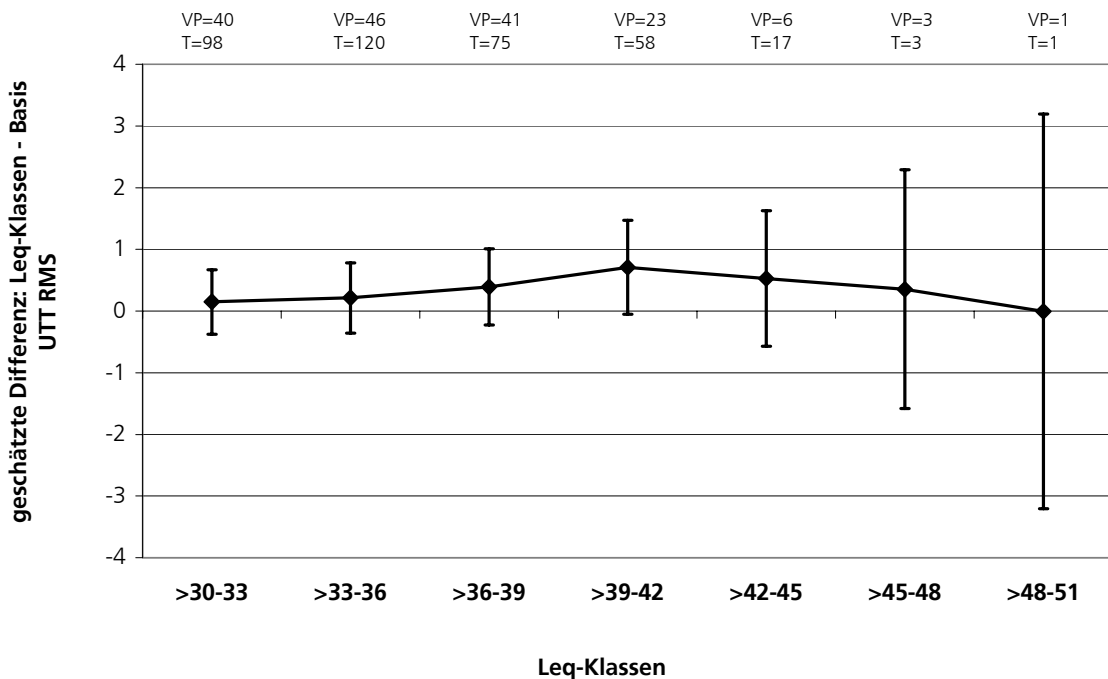


Abbildung 3-35: Geschätzte mittlere Abweichung des Kursers von der Mittelposition im morgendlichen UTT RMS in Abhängigkeit von den Leq-Klassen im Vergleich zum Basis-Leq (≤ 30 dB(A), VP=33, T=111). Für die einzelnen Leq-Klassen ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

Um zu ermitteln, ob auch die Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse Einfluss auf die Leistung des Folgetages nahm, wurden die Expositions Nächte anhand dieser Anzahl in 5 Klassen unterteilt. Es wurden Klassen mit ähnlicher Anzahl an Expositions Nächten gebildet. Im Feld war es nicht möglich, das Auftreten von anderen Verkehrsgeräuschen, insbesondere das des Straßenverkehrs, vollkommen zu vermeiden. Diese Geräusche wurden in die Berechnung der Gesamtzahl miteinbezogen, da anzunehmen ist, dass auch sie sich auf die Leistung des nächsten Tages auswirken.

Klasse 1 (Basis): 0-25 Lärmereignisse, Klasse 2: 26-50 Lärmereignisse, Klasse 3: 51-75 Lärmereignisse, Klasse 4: 76-100 Lärmereignisse, Klasse 5: >100 Lärmereignisse.

Es konnte jedoch für keines der Testverfahren ein signifikanter Zusammenhang der Leistungsfähigkeit mit der Anzahl der Verkehrsgeräusche der vorangegangenen Nacht ermittelt werden. Die Ergebnisse der Analysen sind in Tabelle 3-36 aufgeführt. Zur Veranschaulichung sind im Folgenden die Leistungsergebnisse des morgendlichen SRT, MS4, MS6 und UTT in Abhängigkeit der Zahlen der Lärmereignisse abgebildet.

| | Morgens | | Abends | |
|---------|----------------|---------|----------------|---------|
| | Lärmereignisse | | Lärmereignisse | |
| Test | F-value | p-value | F-value | p-value |
| SRT MW | 0.56 | 0.6908 | 2.06 | 0.0858 |
| SRT 10B | 1.08 | 0.3649 | 1.63 | 0.1657 |
| SRT 10W | 0.60 | 0.6633 | 0.86 | 0.4882 |
| SRT SD | 0.46 | 0.7632 | 0.63 | 0.6400 |
| MS4 MW | 1.16 | 0.3290 | 1.12 | 0.3452 |
| MS4 MWY | 0.78 | 0.5378 | 1.47 | 0.2114 |
| MS4 MWN | 1.41 | 0.2310 | 0.68 | 0.6095 |
| MS6 MW | 0.89 | 0.4701 | 0.63 | 0.6424 |
| MS6 MWY | 0.24 | 0.9141 | 0.77 | 0.5430 |
| MS6 MWN | 1.19 | 0.3132 | 0.46 | 0.7620 |
| UTT RMS | 0.45 | 0.7706 | 0.49 | 0.7404 |

Tabelle 3-36: Analysen der morgendlichen und abendlichen Leistungstests in Abhängigkeit von der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse nach dem Mixed Model.

| Morgens | SRT: Mean (SE) | | | |
|-----------------------|----------------|-------------|-------------|------------|
| Anzahl Lärmereignisse | MW | 10B | 10W | SD |
| 0-25 | 244.2 (4.1) | 205.1 (2.9) | 316.4 (7.3) | 32.7 (1.7) |
| 26-50 | 244.1 (4.0) | 205.5 (2.9) | 313.3 (7.1) | 31.9 (1.6) |
| 51-75 | 245.3 (4.0) | 205.5 (2.9) | 317.5 (7.1) | 32.9 (1.6) |
| 76-100 | 245.9 (4.0) | 207.0 (2.9) | 317.0 (7.2) | 32.6 (1.6) |
| >100 | 245.1 (4.2) | 207.0 (3.0) | 314.9 (7.7) | 32.0 (1.8) |

Tabelle 3-37: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im morgendlichen SRT in Abhängigkeit der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse.

| Abends | SRT: Mean (SE) | | | |
|-----------------------|----------------|-------------|-------------|------------|
| Anzahl Lärmereignisse | MW | 10B | 10W | SD |
| 0-25 | 240.9 (4.1) | 204.3 (3.0) | 306.2 (7.1) | 30.2 (1.6) |
| 26-50 | 241.8 (4.0) | 205.4 (3.0) | 307.2 (6.8) | 30.2 (1.5) |
| 51-75 | 239.9 (4.0) | 204.4 (3.0) | 304.3 (6.8) | 29.5 (1.5) |
| 76-100 | 238.8 (4.1) | 203.9 (3.0) | 300.7 (7.0) | 28.5 (1.6) |
| >100 | 235.9 (4.2) | 201.8 (3.1) | 299.7 (7.5) | 28.9 (1.7) |

Tabelle 3-38: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im abendlichen SRT in Abhängigkeit der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse.

Die mittlere Reaktionszeit im morgendlichen **SRT** betrug $244,2 \pm 4,1$ ms unter Basisbedingungen von 0-25 Lärmereignissen pro Nacht. Die Reaktionszeiten der Klassen 2 bis 5 unterschieden sich hiervon nicht signifikant ($p=0,6908$). Die Mittelwerte und Standardfehler der Leistungsparameter im SRT sind in Tabelle 3-37 und Tabelle 3-38 zusammengestellt. In Abbildung 3-36 wird die Differenz der Reaktionszeiten unter den verschiedenen Bedingungen im Vergleich zur Basis dargestellt.

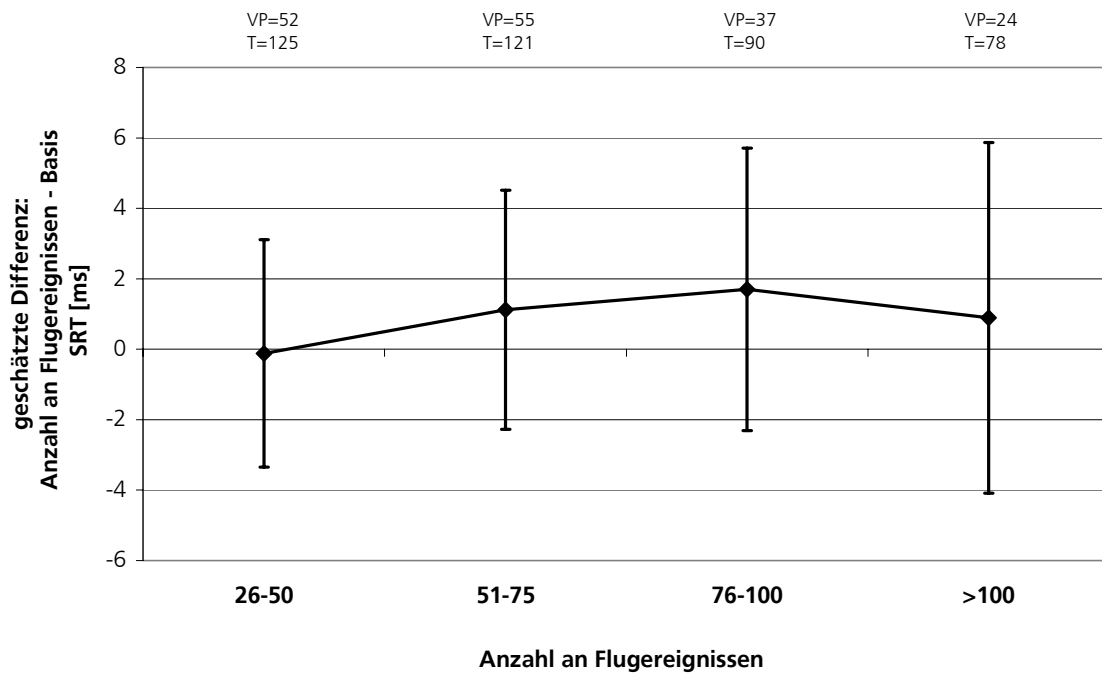


Abbildung 3-36: Geschätzte mittlere Reaktionszeit im morgendlichen SRT in Abhängigkeit von der Anzahl der Lärmereignisse im Vergleich zur Basis (0-25 Flugereignisse, VP=36, T=79). Es ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

Steigende Anzahlen an nächtlichen Lärmereignissen bewirkten keine signifikanten Veränderungen der mittleren Reaktionsgeschwindigkeiten im MS4 ($p=0,3290$) und MS6 ($p=0,4701$). Unter Basis-Bedingungen betrug die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit im MS4 $523,3 \pm 10,9$ ms, im MS6 $597,5 \pm 13,4$ ms. Tabelle 3-39 und Tabelle 3-40 geben einen Überblick über die Leistung in den untersuchten Parametern des MS4, und Tabelle 3-41 und Tabelle 3-42 eine Übersicht zu den Leistungen im MS6. In Abbildung 3-37 und Abbildung 3-38 sind die Differenzen der Reaktionszeiten der einzelnen Klassen von der Basis-Reaktionszeit aufgezeichnet.

| Morgens | MS4: Mean (SE) | | |
|-----------------------|----------------|--------------|--------------|
| Anzahl Lärmereignisse | MW | MWY | MWN |
| 0-25 | 523.3 (10.9) | 507.7 (10.5) | 540.2 (11.9) |
| 26-50 | 525.9 (10.3) | 511.3 (9.8) | 540.6 (11.2) |
| 51-75 | 528.0 (10.3) | 510.1 (9.8) | 545.7 (11.1) |
| 76-100 | 519.0 (10.7) | 502.5 (10.2) | 535.0 (11.6) |
| >100 | 512.3 (11.7) | 500.0 (11.2) | 524.4 (12.8) |

Tabelle 3-39: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im morgendlichen MS4 in Abhängigkeit der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse.

| Abends | MS4: Mean (SE) | | |
|-----------------------|----------------|--------------|--------------|
| Anzahl Lärmereignisse | MW | MWY | MWN |
| 0-25 | 504.4 (9.7) | 493.6 (9.5) | 516.3 (10.5) |
| 26-50 | 504.7 (9.4) | 495.6 (9.2) | 514.7 (10.1) |
| 51-75 | 501.9 (9.4) | 490.9 (9.2) | 513.8 (10.2) |
| 76-100 | 495.6 (9.6) | 485.4 (9.4) | 506.7 (10.4) |
| >100 | 496.2 (10.2) | 482.3 (10.1) | 510.0 (11.1) |

Tabelle 3-40: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im abendlichen MS4 in Abhängigkeit der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse.

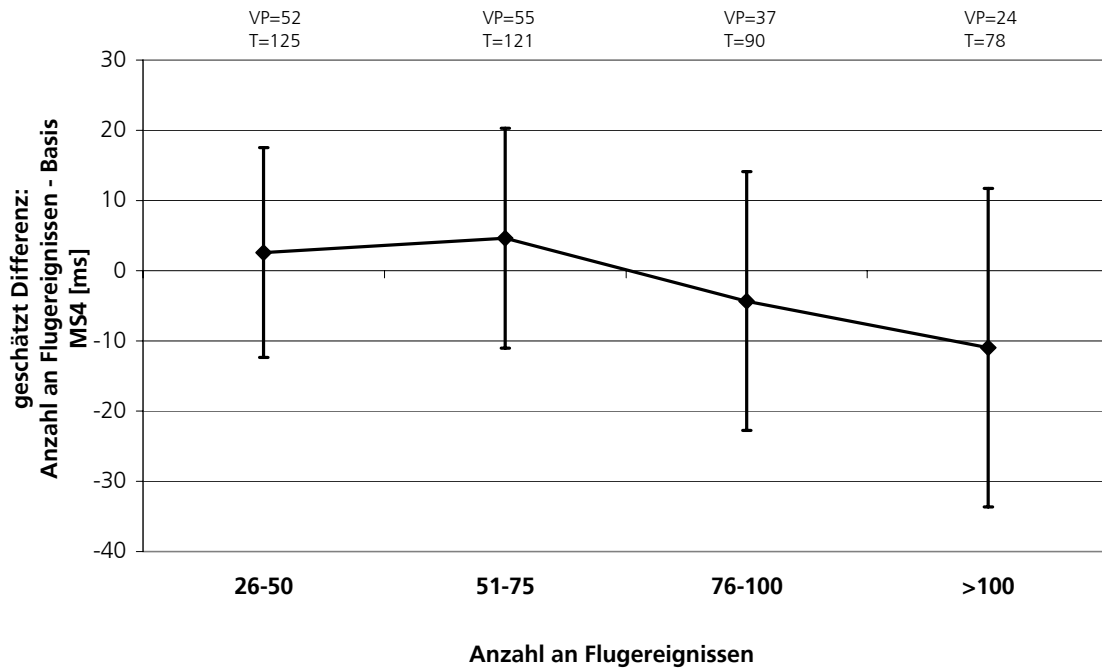


Abbildung 3-37: Geschätzte mittlere Reaktionszeit im morgendlichen MS4 in Abhängigkeit von der Anzahl der Lärmereignisse im Vergleich zur Basis (0-25 Flugereignisse, VP=36, T=79). Es ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

| Morgens | MS6: Mean (SE) | | |
|-----------------------|----------------|--------------|--------------|
| | MW | MWY | MWN |
| Anzahl Lärmereignisse | | | |
| 0-25 | 597.5 (13.4) | 573.5 (13.1) | 621.6 (14.7) |
| 26-50 | 586.3 (12.5) | 568.4 (12.1) | 605.2 (13.7) |
| 51-75 | 596.7 (12.5) | 575.3 (12.1) | 616.2 (13.7) |
| 76-100 | 586.9 (13.1) | 570.0 (12.8) | 604.9 (14.3) |
| >100 | 587.9 (14.4) | 571.9 (14.3) | 603.3 (15.9) |

Tabelle 3-41: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im morgendlichen MS6 in Abhängigkeit der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse.

| Abends | MS6: Mean (SE) | | |
|-----------------------|----------------|--------------|--------------|
| Anzahl Lärmereignisse | MW | MWY | MWN |
| 0-25 | 564.7 (12.9) | 554.3 (12.7) | 576.0 (13.8) |
| 26-50 | 568.8 (12.3) | 557.4 (12.0) | 581.1 (13.1) |
| 51-75 | 568.0 (12.3) | 556.0 (12.1) | 580.0 (13.1) |
| 76-100 | 557.8 (12.7) | 544.6 (12.6) | 571.1 (13.6) |
| >100 | 563.4 (13.8) | 546.0 (13.7) | 578.8 (14.8) |

Tabelle 3-42: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im abendlichen MS6 in Abhängigkeit der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse.

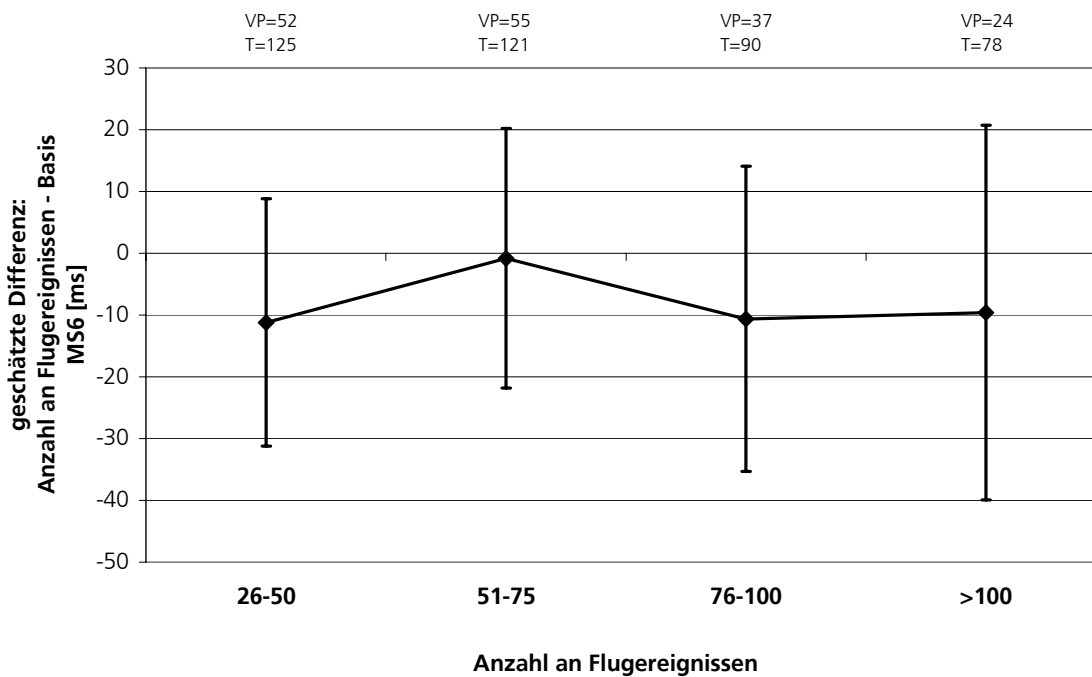


Abbildung 3-38: Geschätzte mittlere Reaktionszeit im morgendlichen MS6 in Abhängigkeit von der Anzahl der Lärmereignisse im Vergleich zur Basis (0-25 Flugereignisse, VP=36, T=79). Es ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

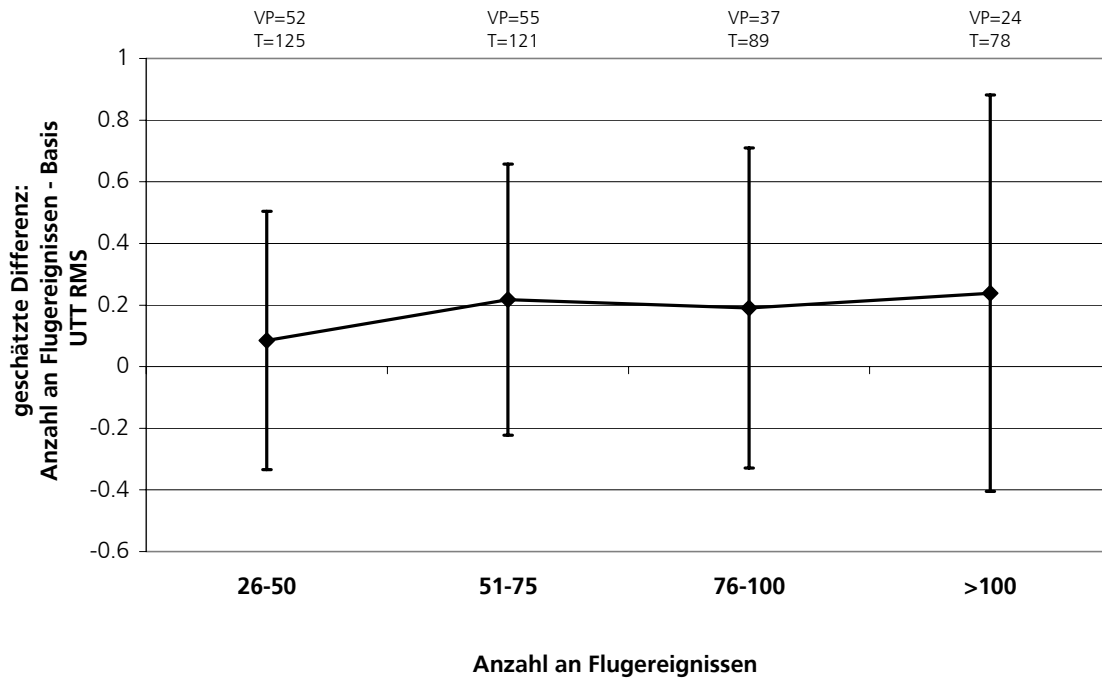


Abbildung 3-39: Geschätzte mittlere Abweichung von der Mittelposition im morgendlichen UTT in Abhängigkeit von der Anzahl der Lärmereignisse im Vergleich zur Basis (0-25 Flugereignisse, VP=36, T=79). Es ist angegeben, auf wie vielen unterschiedlichen Probanden (VP) und Testergebnissen (T) die Analysen beruhen.

| Anzahl Lärmereignisse | UTT RMS: Mean (SE) | |
|-----------------------|--------------------|-----------|
| | Morgens | Abends |
| 0-25 | 8.9 (0.4) | 8.5 (0.4) |
| 26-50 | 9.0 (0.4) | 8.4 (0.4) |
| 51-75 | 9.1 (0.4) | 8.3 (0.4) |
| 76-100 | 9.1 (0.4) | 8.3 (0.4) |
| >100 | 9.1 (0.4) | 8.2 (0.4) |

Tabelle 3-43: Gemittelte Werte der Leistungsparameter im morgendlichen und abendlichen UTT in Abhängigkeit der Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse.

Auch die Abweichungen von der Mittelposition im morgendlichen **UTT** zeigten keine signifikanten Reaktionen auf eine steigende Anzahl an Lärmereignissen ($p=0,7706$). Die mittlere Abweichung unter Basis-Bedingungen betrug $8,9 \pm 0,4$ mm. Die Differenzen der Leistungen der Lärmanzahl-Klassen zur Abweichung des Cursors unter Basis-Konditionen sind in Abbildung 3-39 dargestellt. Mittelwerte und Standardfehler der morgendlichen und abendlichen Testleistungen sind in Tabelle 3-43 zusammengestellt.

3.2.2 Dosis-Wirkungsbeziehungen

Entsprechend der Voranalysen wurden nur wenige signifikante Dosis-Wirkungsmodelle ermittelt. Im **SRT** zeigte sich eine lineare Verschlechterung der mittleren Reaktionszeit mit steigendem Leq (Abbildung 3-40). Es handelte sich um einen Anstieg der Reaktionszeit um $0,3 \pm 0,1$ ms pro dB Leq -Zunahme ($p=0,0437$). Unter Berücksichtigung der Moderatoren Alter und Geschlecht erreichte der Effekt nicht mehr das Signifikanzniveau. Ein Zusammenhang mit der Häufigkeit der Lärmereignisse ergab sich nicht. Auch die Untersuchung der Lapses im SRT mittels logistischer Regression zeigt keine signifikanten Ergebnisse im Zusammenhang mit dem Leq bzw. der Anzahl an Lärmereignissen und den Studientagen (Tabelle 3-45). Von Tag zu Tag war eine Verschlechterung der mittleren Reaktionszeit zu verzeichnen (Abbildung 3-41). Sie erhöhte sich um $0,5 \pm 0,2$ ms pro Tag. Alter und Geschlecht wirkten nicht signifikant moderierend auf die Leistung im SRT, sie wurden dennoch berücksichtigt um adjustierte Modelle zu erreichen (Tabelle 3-44). In den Abbildungen wurde jedoch nicht nach den Moderatoren unterschieden.

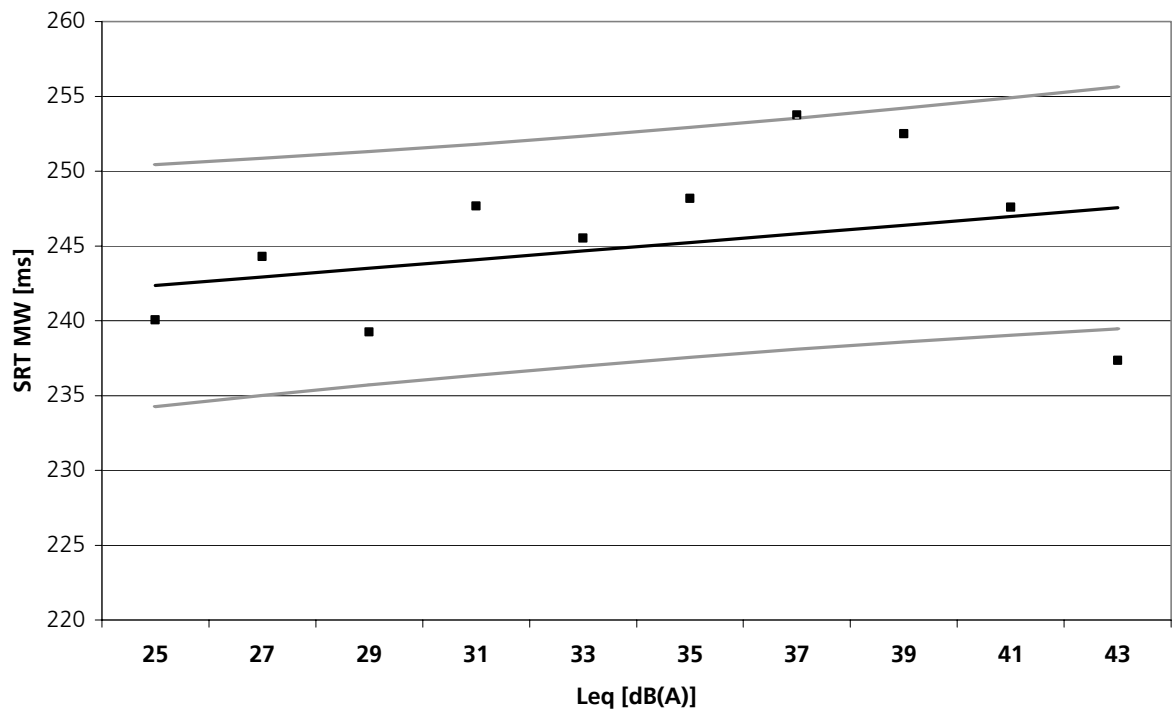


Abbildung 3-40: Dosis-Wirkungsbeziehungen für die mittleren Reaktionszeiten im morgendlichen SRT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

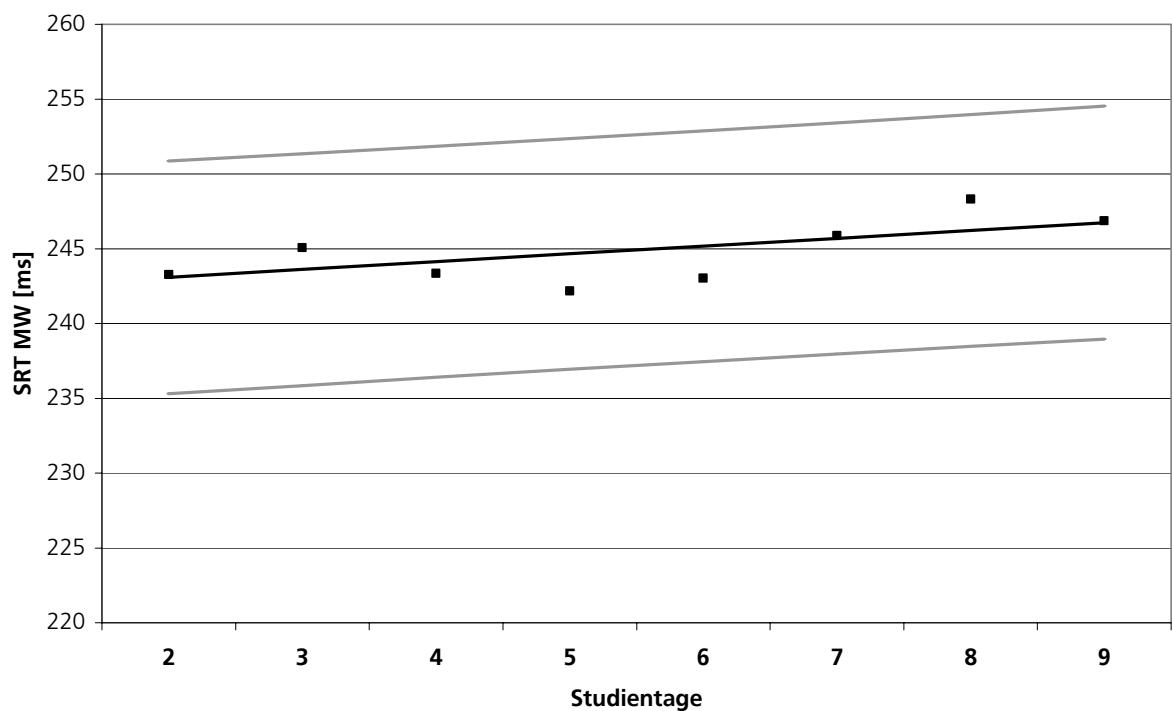


Abbildung 3-41: Dosis-Wirkungsbeziehungen für die mittlere Reaktionszeit im morgendlichen SRT in Abhängigkeit der Studientage.

| SRT MW | | | | | | | |
|---------------------|-----|------------------|--------|---------------------|-----|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 59 | 222.2 (13.4) | <.0001 | Intercept | 59 | 228.7 (12.6) | <.0001 |
| Leq | 421 | 0.3 (0.1) | 0.0504 | Tag | 430 | 0.5 (0.2) | 0.0016 |
| Alter | 421 | 0.5 (0.3) | 0.0845 | Alter | 430 | 0.5 (0.3) | 0.0823 |
| Geschlecht (1=Mann) | 421 | -12.7 (7.7) | 0.0970 | Geschlecht (1=Mann) | 430 | -13.0 (7.7) | 0.0910 |

Tabelle 3-44: Ergebnisse der Regression der Wirkung des nächtlichen Leq und der kumulativen Lärmwirkung auf den morgendlichen SRT unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| SRT LAP | | | | | | | | | |
|---------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|
| DF | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| 61 | Intercept | -0.4 (1.4) | 0.7811 | Intercept | -0.3 (0.8) | 0.7639 | Intercept | -0.9 (0.9) | 0.3179 |
| 61 | Leq | -0.0 (0.0) | 0.8284 | Anzahl | -0.0 (0.0) | 0.1126 | Tag | 0.0 (0.1) | 0.4989 |
| 61 | Alter | -0.0 (0.0) | 0.3843 | Alter | -0.0 (0.0) | 0.3997 | Alter | -0.0 (0.0) | 0.4035 |
| 61 | Geschlecht (1=Mann) | -0.5 (0.5) | 0.3224 | Geschlecht (1=Mann) | -0.6 (0.5) | 0.2543 | Geschlecht (1=Mann) | -0.5 (0.5) | 0.2811 |

Tabelle 3-45: Ergebnisse der logistischen Regression der Wirkung des nächtlichen Leq und der Anzahl an Lärmereignissen sowie der kumulativen Lärmwirkung auf die morgendlichen Lapses im SRT unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

Im **MS4** wurde eine signifikante quadratische Beziehung zwischen mittlerer Reaktionszeit und Abfolge der Studientage beobachtet (Abbildung 3-42). Die verbesserten Reaktionszeiten traten von Freitag bis Montag auf und legen somit einen Zusammenhang mit dem Wochenende nahe, da hier weder Leq noch Anzahl der Lärmereignisse wegen fehlender Signifikanz zur Erklärung dienen. Die Ergebnisse der Regression sind in Tabelle 3-46 aufgeführt.

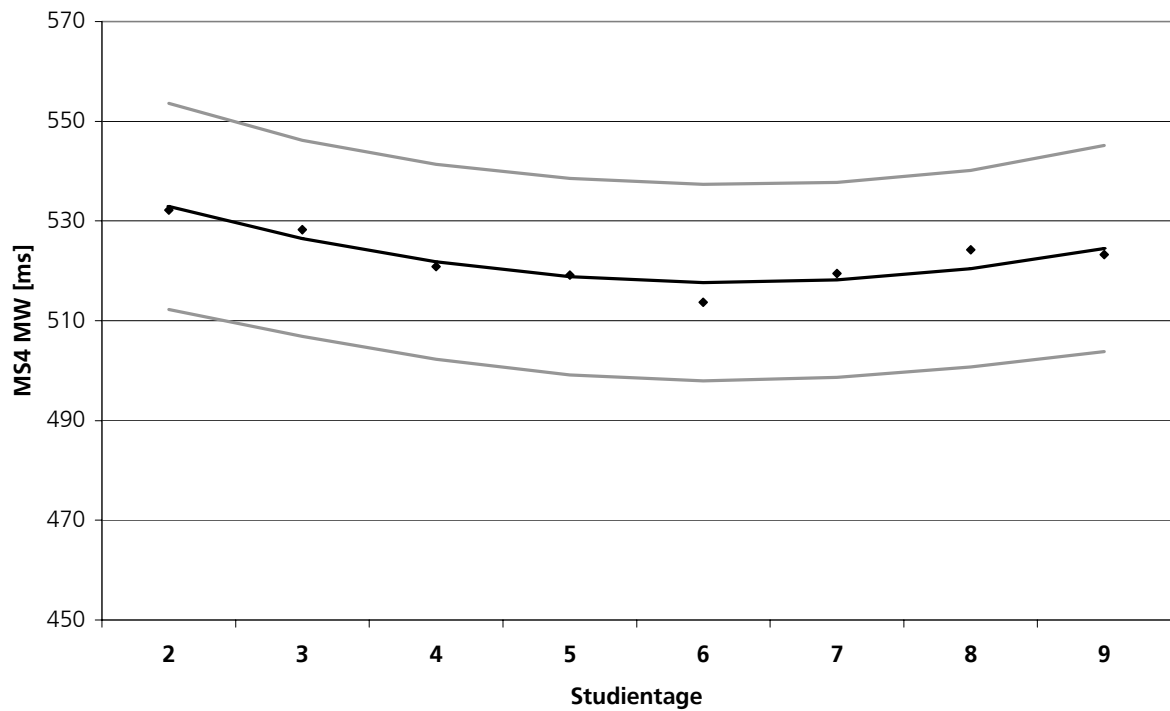


Abbildung 3-42: Dosis-Wirkungsbeziehung für die mittleren Reaktionszeiten im morgendlichen MS4 in Abhängigkeit der Studientage.

| | | MS4 MW | |
|---------------------|-----|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 59 | 436.6 (31.0) | <.0001 |
| Tag | 429 | -10.8 (4.3) | 0.0119 |
| Tag*Tag | 429 | 0.9 (0.3) | 0.0233 |
| Alter | 429 | 2.8 (0.7) | <.0001 |
| Geschlecht (1=Mann) | 429 | 22.6 (17.8) | 0.2055 |

Tabelle 3-46: Ergebnisse der Regression der kumulativen Lärmwirkung auf die mittleren Reaktionszeiten im morgendlichen MS4 unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| MS4 FP | | | | | | | | | |
|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|
| DF | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| 61 | Intercept | 1.8 (1.5) | 0.2288 | Intercept | 2.7 (0.9) | 0.0033 | Intercept | 2.8 (0.9) | 0.0030 |
| 61 | Leq | 0.0 (0.0) | 0.4457 | Anzahl | 0.0 (0.0) | 0.5809 | Tag | 0.0 (0.1) | 0.9250 |
| 61 | Alter | -0.0 (0.0) | 0.0830 | Alter | -0.0 (0.0) | 0.0826 | Alter | -0.0 (0.0) | 0.0872 |
| 61 | Geschlecht (1=Mann) | 0.6 (0.5) | 0.2266 | Geschlecht (1=Mann) | 0.6 (0.5) | 0.2323 | Geschlecht (1=Mann) | 0.6 (0.5) | 0.2385 |

Tabelle 3-47: Ergebnisse der logistischen Regression der Lärmparameter (Leq und Anzahl an Lärmereignissen) und des Tageseffekts auf falsch positiven Antworten im morgendlichen MS4 unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| MS4 FN | | | | | | | | | |
|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|
| DF | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| 61 | Intercept | 2.4 (1.2) | 0.0481 | Intercept | 1.9 (0.6) | 0.0034 | Intercept | 1.8 (0.7) | 0.0089 |
| 61 | Leq | -0.0 (0.0) | 0.7744 | Anzahl | 0.0 (0.0) | 0.2973 | Tag | 0.1 (0.0) | 0.1734 |
| 61 | Alter | -0.1 (0.0) | 0.0014 | Alter | -0.1 (0.0) | 0.0006 | Alter | -0.1 (0.0) | 0.0007 |
| 61 | Geschlecht (1=Mann) | 0.0 (0.4) | 0.9769 | Geschlecht (1=Mann) | 0.0 (0.4) | 0.9283 | Geschlecht (1=Mann) | 0.0 (0.4) | 0.9717 |

Tabelle 3-48: Ergebnisse der logistischen Regression der Lärmparameter (Leq und Anzahl an Lärmereignissen) und des Tageseffekts auf falsch negativen Antworten im morgendlichen MS4 unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

Für die Reaktionszeiten im **MS6** zeigten sich keine signifikanten Dosis-Wirkungsbeziehungen. Sowohl im MS4 als auch im MS6 wirkte sich das Alter der Versuchspersonen signifikant moderierend aus (MS4 $p=0,0001$; MS6 $p=0,0014$), das Geschlecht jedoch nicht. Die Analyse der falsch positiven und falsch negativen Antworten im MS4 und MS6 mit logistischer Regression (Tabelle 3-49 und Tabelle 3-50) zeigte eine signifikante Verschlechterung des Prozentsatzes der falsch negativen Antworten im MS6 im Verlauf der Studientage. Von Tag 2 zu Tag 9 erhöhte sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von mindestens einer falsch negativen Antwort um

17,8% (Abbildung 3-43). Gleichzeitig verbesserten sich die Reaktionszeiten (nicht signifikant) um $1,3 \pm 1,0$ ms pro Tag ($p=0,2229$).

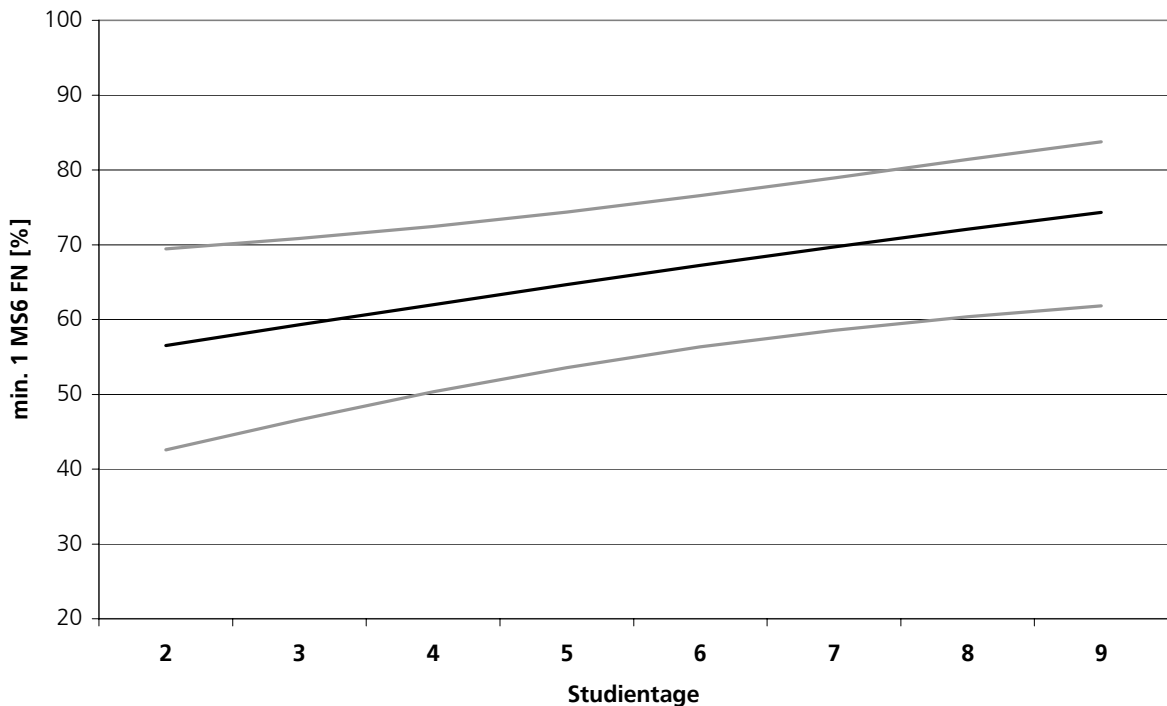


Abbildung 3-43: Dosis-Wirkungsbeziehung für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von mindestens einer falsch negativen Antwort im morgendlichen MS6 in Abhängigkeit der Studientage.

| MS6 FP | | | | | | | | | |
|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|---------|
| DF | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| 61 | Intercept | 5.7 (2.3) | 0.0149 | Intercept | 5.9 (1.4) | 0.0001 | Intercept | 6.8 (1.5) | <0.0001 |
| 61 | Leq | 0.0 (0.1) | 0.6589 | Anzahl | 0.0 (0.0) | 0.3065 | Tag | -0.1 (0.1) | 0.3625 |
| 61 | Alter | -0.1 (0.0) | 0.0135 | Alter | -0.1 (0.0) | 0.0094 | Alter | -0.1 (0.0) | 0.0096 |
| 61 | Geschlecht (1=Mann) | -1.0 (0.8) | 0.1999 | Geschlecht (1=Mann) | -0.9 (0.7) | 0.2261 | Geschlecht (1=Mann) | -0.9 (0.7) | 0.2164 |

Tabelle 3-49: Ergebnisse der logistischen Regression der Lärmparameter (Leq und Anzahl an Lärmereignissen) und des Tageseffekts auf falsch positiven Antworten im morgendlichen MS6 unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| MS6 FN | | | | | | | | | |
|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|---------------|
| DF | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| 61 | Intercept | 3.3 (1.3) | 0.0158 | Intercept | 2.4 (0.8) | 0.0023 | Intercept | 2.1 (0.8) | 0.0096 |
| 61 | Leq | -0.0 (0.0) | 0.6162 | Anzahl | 0.0 (0.0) | 0.1822 | Tag | 0.1 (0.0) | 0.0227 |
| 61 | Alter | -0.1 (0.0) | 0.0027 | Alter | -0.1 (0.0) | 0.0026 | Alter | -0.1 (0.0) | 0.0028 |
| 61 | Geschlecht (1=Mann) | -0.2 (0.4) | 0.7135 | Geschlecht (1=Mann) | -0.1 (0.4) | 0.8174 | Geschlecht (1=Mann) | -0.1 (0.4) | 0.8010 |

Tabelle 3-50: Ergebnisse der logistischen Regression der Lärmparameter (Leq und Anzahl an Lärmereignissen) und des Tageseffekts auf falsch negativen Antworten im morgendlichen MS6 unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

Im **UTT** zeigte sich eine signifikante lineare Abhängigkeit der Abweichung von der Mittelposition mit dem Leq. Ein Anstieg um 1 dB bedeutete hier eine Zunahme der Abweichung um $0,04 \pm 0,02$ mm (Abbildung 3-44). Das Geschlecht wirkte auf diesen Test als signifikanter Moderator ($p=0,0059$), während das Alter keinen signifikanten Einfluss nahm. Die Ergebnisse der Regression sind in Tabelle 3-51 aufgeführt. Die Untersuchung der LOC im UTT mit Hilfe der logistischen Regression zeigte keine weiteren signifikanten Zusammenhänge (Tabelle 3-52).

| | | UTTRMS | |
|---------------------|-----|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 59 | 7.3 (1.3) | <.0001 |
| Leq | 420 | 0.0 (0.0) | 0.0260 |
| Alter | 420 | -1.8 (0.7) | 0.0119 |
| Geschlecht (1=Mann) | 420 | 0.0 (0.0) | 0.2695 |

Tabelle 3-51: Ergebnisse der Regression der Abweichung von der Mittelposition im morgendlichen UTT in Abhängigkeit vom Leq unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

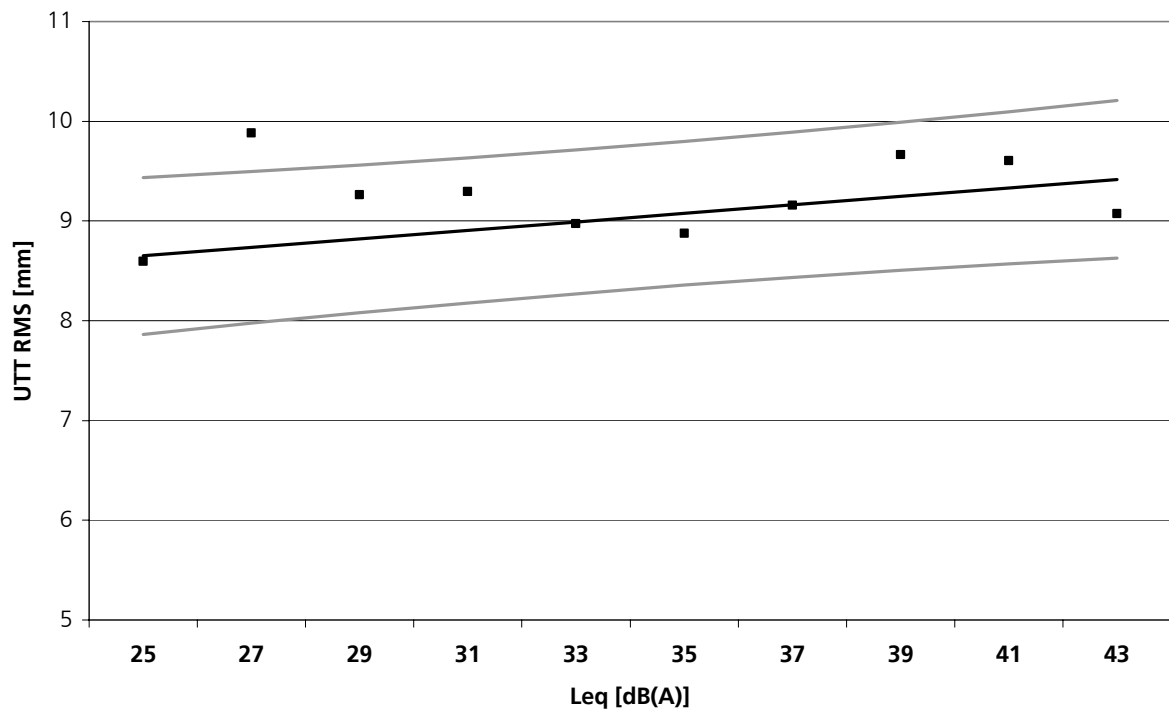


Abbildung 3-44: Dosis-Wirkungsbeziehungen für die mittlere Abweichung von der Mittelposition im morgendlichen UTT in Abhängigkeit des nächtlichen Leq.

| UTTLOC | | | | | | | | | |
|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|---------------------|------------------|--------|
| DF | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| 61 | Intercept | -4.1 (2.0) | 0.0493 | Intercept | -1.9 (1.1) | 0.0819 | Intercept | -1.9 (1.1) | 0.0817 |
| 61 | Leq | 0.1 (0.0) | 0.3031 | Anzahl | -0.0 (0.0) | 0.7316 | Tag | -0.0 (0.1) | 0.7105 |
| 61 | Alter | -0.0 (0.0) | 0.5358 | Alter | -0.0 (0.0) | 0.4507 | Alter | -0.0 (0.0) | 0.4670 |
| 61 | Geschlecht (1=Mann) | -0.6 (0.7) | 0.4175 | Geschlecht (1=Mann) | -0.7 (0.6) | 0.2699 | Geschlecht (1=Mann) | -0.7 (0.6) | 0.2820 |

Tabelle 3-52: Ergebnisse der logistischen Regression der Lärmparameter (Leq und Anzahl an Lärmereignissen) und des Tageseffekts auf die LOC im morgendlichen UTT unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

3.2.3 Einfluss des Geschlechts auf die Leistung

In die Auswertungen der Leistung der Feldstudie gingen die Daten von 34 weiblichen und 28 männlichen Versuchspersonen ein. Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Leistungsfähigkeit wurden für den SRT und den

UTT gefunden, nicht jedoch für den MST. In Abbildung 3-45 wurden die Leistungen der weiblichen und männlichen Probanden in den morgendlichen Tests einander gegenübergestellt. Im morgendlichen **SRT** zeigten sich die Mittelwerte der Reaktionszeiten der männlichen Testpersonen mit $236,9 \pm 5,7$ ms geringfügig und nicht signifikant ($p=0,0633$) besser als die der weiblichen Testpersonen mit $251,5 \pm 5,2$ ms. Bei Betrachtung der 10% besten Reaktionszeiten der morgendlichen Testsitzungen wird diese Tendenz jedoch signifikant ($p=0,0408$). Die Reaktionszeiten lagen bei den männlichen Probanden im Mittel bei $199,6 \pm 4,1$ ms, bei den weiblichen Versuchspersonen bei $211,2 \pm 3,7$ ms. In den abendlichen Testsitzungen unterschieden sich die Geschlechter sowohl in der mittleren Reaktionszeit ($p=0,0307$) als auch in den 10% besten Reaktionszeiten ($p=0,0146$) signifikant. Die abendliche mittlere Reaktionszeit betrug bei den männlichen Versuchspersonen $230,5 \pm 5,6$ ms, bei den weiblichen $247,3 \pm 5,1$ ms, während die 10% besten Reaktionszeiten bei den Männern im Mittel bei $196,4 \pm 4,2$ ms, bei den Frauen bei $210,5 \pm 3,8$ ms lagen.

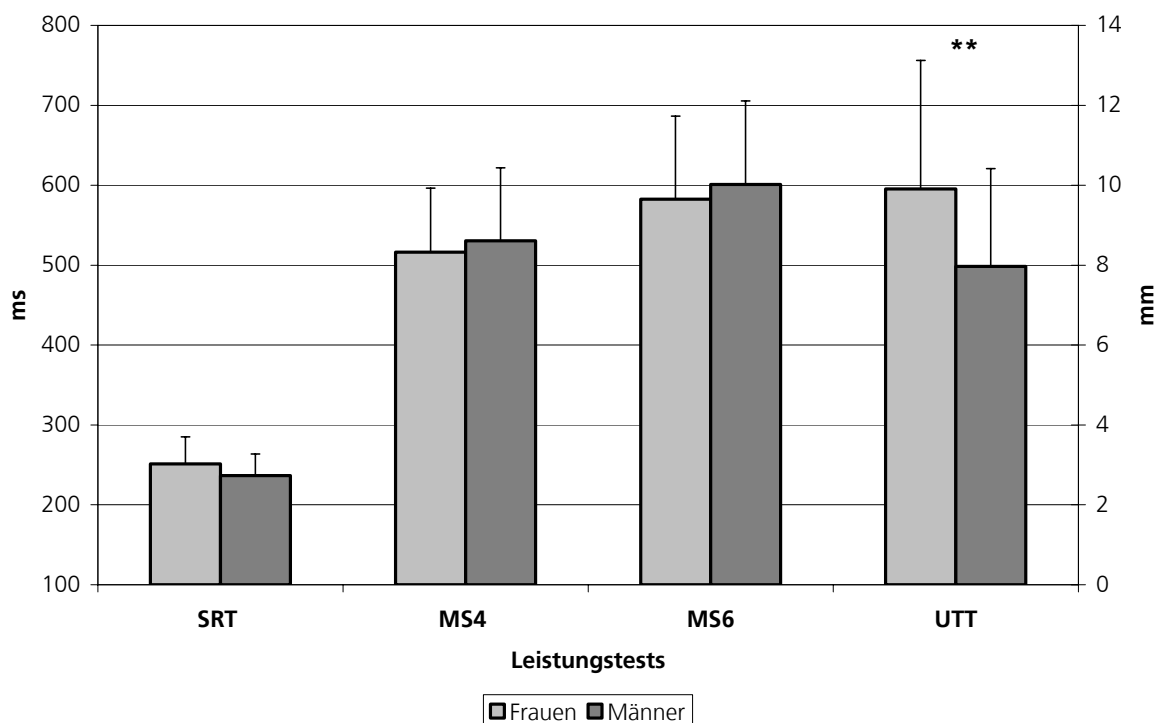


Abbildung 3-45: Vergleich von Frauen und Männern bei den morgendlichen Testleistungen. Dargestellt sind die mittleren Reaktionszeiten mit Standardfehler des SRT, MS4 und MS6 in ms und die gemittelten RMS Werte des UTT in mm.

Im morgendlichen **MST** hingegen reagierten die weiblichen Testpersonen im Mittel mit $516,4 \pm 13,3$ ms (MS4) und $583,0 \pm 15,9$ ms (MS6) schneller als die männlichen Probanden, die $530,1 \pm 14,7$ ms (MS4) und $600,7 \pm 17,5$ ms (MS6) benötigten. Diese Unterschiede waren allerdings nicht signifikant (MS4: $p=0,4942$; MS6: $p=0,4582$).

Beim morgendlichen und abendlichen **UTT** erzielten die männlichen Versuchspersonen signifikant bessere Ergebnisse als die weiblichen Probanden (morgens $p=0,0075$; abends $p=0,0038$). Die mittlere Abweichung des Cursors von der Mittelposition betrug morgens bei den Männern $8,0 \pm 0,5$ mm, bei den Frauen $9,9 \pm 0,5$ mm. Abends lagen die Werte der männlichen Probanden bei $7,3 \pm 0,5$ mm, die der weiblichen bei $9,2 \pm 0,4$ mm.

3.2.4 Einfluss des Alters auf die Leistung

| Altersklassen | 1 18-25 J | 2 26-33 J | 3 34-41 J | 4 42-49 J | 5 50-57 J | 6 58-65 J |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Feldstudie | n=16 | n=9 | n=11 | n=15 | n=6 | n=5 |

Tabelle 3-53: Übersicht über die Altersstruktur der Probanden in der Feldstudie.

Tabelle 3-53 gibt einen Überblick zur Altersverteilung der Versuchspersonen, die an der Feldstudie teilnahmen. Mit Hilfe der Regressionsanalyse wurde geprüft, ob das Alter Einfluss auf die morgendliche Leistung nahm. Im morgendlichen **SRT** zeigten sich signifikante Resultate für die besten 10% der Reaktionszeiten ($p=0,0082$). Die Reaktionszeit verschlechterte sich hier um $0,6 \pm 0,2$ ms pro Lebensjahr.

Der **MST** mit 4 Buchstaben ergab signifikante Effekte der mittleren Reaktionszeiten und der mittleren Reaktionszeiten der Antworten, unterschieden nach korrekten und falschen Probebuchstaben (MS4 MW $p=0,0001$, MS4 MWY $p<0,0001$, MS4 MWN $p=0,0003$). Die mittlere Reaktionszeit verschlechterte sich um $2,7 \pm 0,7$ ms pro Lebensjahr.

Der MST mit 6 Buchstaben lieferte ähnliche signifikante Ergebnisse für die mittleren Reaktionszeiten und die Reaktionszeiten auf zur Lerngruppe und nicht zur Lerngruppe gehörende Buchstaben (MS6 MW $p=0,0014$, MS6 MWY $p=0,0003$, MS6 MWN $p=0,0051$). Die mittlere Reaktionszeit verschlechterte sich um $2,7 \pm 0,8$ ms pro Lebensjahr.

Im **UTT** waren Unterschiede für die mittlere Abweichung von der Mittelposition nicht nachweisbar.

3.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Fluglärmanalysen der Feldstudie

Die Analyse der Leistungsdaten der Feldstudie mit der Mixed Model ANOVA zeigte weder für den nächtlichen Leq noch für die Anzahl der nächtlichen Lärmereignisse Auswirkungen auf die Leistung des nächsten Tages.

Die berechneten Dosis-Wirkungsbeziehungen anhand der Regression zeigten jedoch in Einzelfällen einen signifikanten Zusammenhang mit den Lärmparametern. Eine lineare Verschlechterung der Leistung mit steigendem nächtlichen Leq war für die mittlere Reaktionszeit im SRT und die Abweichung von der Mittelposition im UTT nachweisbar. Für den SRT war zusätzlich ein kumulativer Effekt von Tag zu Tag signifikant. Die Effekte waren zwar signifikant aber auch sehr gering. So verschlechterte sich die Leistung pro dB um 0,2 ms bzw. 0,04 mm. Pro Tag verschlechterte sich die Reaktionszeit um 0,5 ms. Für die mittlere Reaktionszeit im MS4 war eine quadratische Beziehung zu den Studientagen signifikant. Es kam hier zu einer vorübergehenden Verbesserung der Reaktionszeiten. Für die falsch negativen Antworten im MS6 zeigte sich eine Verschlechterung im Verlauf der Studientage. Von Tag 2 bis Tag 9 verschlechterte sich die Leistung um 17,8%.

Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Leistungsfähigkeit zeigten sich im SRT und im UTT. In diesen Testverfahren war die Leistung der männlichen Probanden teilweise signifikant besser als die Leistung der weiblichen Probanden. Durch Einbeziehung des Geschlechts in die Regressionsmodelle

wurde für den Anteil der Leistungsveränderung unter Lärmeinfluss kontrolliert, auf den eine Verschlechterung der Leistung durch Geschlechtsunterschiede zurückzuführen ist.

Eine Verschlechterung der Leistung mit zunehmendem Alter wurde im SRT, MS4 und MS6 beobachtet. Für den Anteil an der Leistungsveränderung unter Lärmeinfluss, der auf die Verschlechterung der Leistung durch Altersunterschiede zurückzuführen ist, wurde durch Berücksichtigung des Alters als Moderator in den Regressionsmodellen kontrolliert.

3.3 Vergleich der Leistungen in Labor- und Feldstudie

Zum Vergleich der Probandenkollektive aus Labor- und Feldstudie sind die Leistungen nach Nächten ohne Fluglärm ($L_{eq} \leq 30$ dB(A)) geeignet. Der **SRT** zeigte, dass die Versuchspersonen der Laborstudie schneller auf die Stimuli reagierten als die Probanden der Feldstudie sowohl in den morgendlichen als auch in den abendlichen Tests. Die Unterschiede erreichten das Signifikanzniveau bei den mittleren Reaktionszeiten (morgens: $p=0,0001$; abends: $p=0,0084$), den 10% schlechtesten Reaktionszeiten (morgens: $p<0,0001$; abends: $p=0,0154$) und der mittleren Standardabweichung (morgens: $p<0,0001$; abends: $p=0,0090$). Die abendlichen Abweichungen in der Leistung waren dabei geringer ausgeprägt. Im Mittel reagierte das Laborkollektiv in den morgendlichen Tests um $14,2 \text{ ms} \pm 3,7 \text{ ms}$ schneller. Die Differenz der 10% schlechtesten Reaktionszeiten betrug sogar $32,9 \pm 7,7 \text{ ms}$.

Die morgendlichen Reaktionszeiten im **MS4** wiesen keine signifikanten Effekte auf. Die Reaktionszeiten im abendlichen MS4 zeigten hingegen deutliche Differenzen. Das Feldkollektiv reagierte hier schneller bezüglich der mittleren Reaktionszeiten ($E 36,2 \pm 13,4 \text{ ms}$, $p=0,0076$), der mittleren Reaktionszeiten auf die zur Lerngruppe gehörenden Buchstaben ($E 31,2 \pm 12,7 \text{ ms}$, $p=0,0148$) und auf die nicht zur Lerngruppe gehörenden Buchstaben ($E 39,7 \pm 15,3 \text{ ms}$, $p=0,0103$). Die mittleren Reaktionszeiten im **MS6** (morgens: $p=0,0038$; abends: $p=0,0016$) sowie die mittleren Reak-

tionszeiten auf die zur Lerngruppe gehörenden Buchstaben (morgens: $p=0,0026$; abends: $p=0,0031$) und auf die nicht zur Lerngruppe gehörenden Buchstaben (morgens: $p=0,0081$; abends: $p=0,0029$) waren ebenfalls im Feldkollektiv schneller. Morgens unterschieden sich die mittleren Reaktionszeiten um $65,7 \pm 22,4$ ms, abends um $70,3 \pm 22,1$ ms.

Im morgendlichen **UTT** unterschieden sich die beiden Probandenkollektive nicht in den Leistungen ($p=0,1621$). Die Abweichung lag bei $0,8 \pm 0,5$ mm. Bei den abendlichen Tests zeigten die Probanden der Laborstudie eine im Mittel um $1,2 \pm 0,5$ mm geringere Abweichungen von der Mittelposition ($p=0,0257$).

20 Versuchspersonen nahmen sowohl an der Labor- als auch an der Feldstudie teil. Es handelte sich hierbei um 12 Frauen und 8 Männer. Jede der Altersklassen war vertreten, jedoch zu unterschiedlichen Anteilen (Tabelle 3-54).

| Altersklassen | 1 18-25 J | 2 26-33 J | 3 34-41 J | 4 42-49 J | 5 50-57 J | 6 58-65 J |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| VP in Labor- und Feldstudie | n=6 | n=2 | n=2 | n=5 | n=3 | n=2 |

Tabelle 3-54: Altersstruktur des Probandenkollektivs, das sowohl an den Labor- als auch an den Feldversuchen teilnahm.

Diese Versuchspersonen ermöglichten eine direkte Gegenüberstellung der Leistungen in der Labor- und in der Feldstudie. Es waren jedoch nicht immer alle 20 Probanden denselben Lärmbedingungen in den beiden Studienteilen ausgesetzt, so dass zum direkten Vergleich jeweils nur eine Subgruppe mit geringerer Personenanzahl verfügbar war. Deshalb wurde an dieser Stelle auf eine Analyse anhand der Mixed Model ANOVA verzichtet und ausschließlich eine Regression bzw. logistische Regression gerechnet adjustiert für Alter und Geschlecht. Die Analysen zeigten, dass sich die Leistungen in Labor und Feld nur für den UTT unterschieden (Tabelle 3-60 und Tabelle 3-62), wobei die Leistung in der Feldstudie besser ausfiel. Dies

könnte für einen weitergehenden Trainingseffekt sprechen, da der Unterschied nicht durch die akustischen Parameter Leq oder Anzahl zu erklären ist (Tabelle 3-61 und Tabelle 3-63). Die Abweichung von der Mittelposition war während des Laborversuchs um $0,9 \pm 0,2$ mm größer als während der Feldstudie. Für die übrigen Leistungsparameter wurden keine weiteren Unterschiede gefunden (Tabelle 3-55 bis Tabelle 3-59).

| Parameter Estimates | SRT MW | | | SRT10B | | SRT 10W | | SRT SD | |
|---------------------|--------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|--------|
| | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 18 | 222.9 (14.1) | <0.0001 | 182.1 (8.6) | <0.0001 | 284.1 (30.5) | <0.0001 | 28.2 (7.6) | 0.0015 |
| Labor | 315 | 1.0 (1.1) | 0.3743 | 1.0 (0.7) | 0.1580 | 2.5 (2.7) | 0.3614 | 0.6 (0.7) | 0.3797 |
| Alter | 315 | 0.4 (0.3) | 0.1837 | 0.6 (0.2) | 0.0024 | 0.4 (0.7) | 0.5896 | -0.0 (0.2) | 0.8905 |
| Geschlecht (1=Mann) | 315 | -6.0 (9.1) | 0.5132 | -6.9 (5.6) | 0.2138 | -1.0 (19.5) | 0.9579 | 2.0 (4.8) | 0.6730 |

Tabelle 3-55: Ergebnisse der Regression der Leistung im SRT im Vergleich der Labor- und Feldstudie unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| SRT LAP | | | |
|---------------------|----|------------------|--------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 19 | -2.2 (1.2) | 0.0948 |
| Labor | 19 | -0.6 (0.4) | 0.1209 |
| Alter | 19 | -0.0 (0.0) | 0.7485 |
| Geschlecht (1=Mann) | 19 | 0.8 (0.7) | 0.2615 |

Tabelle 3-56: Ergebnisse der logistischen Regression der Lapses im SRT im Vergleich der Labor- und Feldstudie unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| | | MS4 MW | | MS4 MWY | | MS4 MWN | |
|---------------------|-----|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 18 | 387.1 (48.8) | <0.0001 | 385.5 (47.2) | <0.0001 | 384.0 (51.7) | <0.0001 |
| Labor | 317 | 1.6 (4.4) | 0.7088 | 1.0 (4.6) | 0.8265 | 2.4 (4.8) | 0.6204 |
| Alter | 317 | 2.8 (1.1) | 0.0103 | 2.5 (1.1) | 0.0181 | 3.2 (1.2) | 0.0056 |
| Geschlecht (1=Mann) | 317 | 78.2 (31.3) | 0.0130 | 75.8 (30.2) | 0.0126 | 80.9 (33.1) | 0.0151 |

Tabelle 3-57: Ergebnisse der Regression der Leistung im MS4 im Vergleich der Labor- und Feldstudie unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| | | MS6 MW | | MS6 MWY | | MS6 MWN | |
|---------------------|-----|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 18 | 422.9 (57.2) | <0.0001 | 410.8 (53.0) | <0.0001 | 426.5 (62.9) | <0.0001 |
| Labor | 317 | -1.8 (6.0) | 0.7698 | 2.3 (6.1) | 0.7035 | -7.7 (7.0) | 0.2748 |
| Alter | 317 | 3.5 (1.3) | 0.0069 | 3.3 (1.2) | 0.0051 | 3.8 (1.4) | 0.0068 |
| Geschlecht (1=Mann) | 317 | 87.6 (36.4) | 0.0168 | 81.2 (33.7) | 0.0164 | 94.9 (40.0) | 0.0183 |

Tabelle 3-58: Ergebnisse der Regression der Leistung im MS6 im Vergleich der Labor- und Feldstudie unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| | | MS4 FP | | MS4 FN | | MS6 FP | | MS6 FN | |
|---------------------|----|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 19 | 3.8 (1.5) | 0.0169 | 3.2 (1.4) | 0.0347 | 4.8 (1.6) | 0.0077 | 4.6 (1.6) | 0.0100 |
| Labor | 19 | 0.1 (0.3) | 0.7699 | -0.0 (0.3) | 0.9819 | 0.0 (0.3) | 0.9733 | 0.0 (0.3) | 0.9864 |
| Alter | 19 | -0.1 (0.0) | 0.0977 | -0.1 (0.0) | 0.0611 | -0.1 (0.0) | 0.1155 | -0.1 (0.0) | 0.0218 |
| Geschlecht (1=Mann) | 19 | -1.0 (0.9) | 0.2501 | -1.7 (0.9) | 0.0623 | -1.4 (1.0) | 0.1531 | -1.9 (1.0) | 0.0640 |

Tabelle 3-59: Ergebnisse der logistischen Regression der falsch negativen und falsch positiven Antworten im MS4 und MS6 im Vergleich der Labor- und Feldstudie unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| UTT RMS | | | |
|---------------------|-----|------------------|-------------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 17 | 6.4 (2.1) | 0.0059 |
| Labor | 200 | 0.9 (0.2) | <0.0001 |
| Alter | 200 | 0.1 (0.0) | 0.0854 |
| Geschlecht (1=Mann) | 200 | -0.7 (1.3) | 0.5955 |

Tabelle 3-60: Ergebnisse der Regression der Leistung im UTT im Vergleich der Labor- und Feldstudie unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| UTT RMS | | | | UTT RMS | | | |
|---------------------|-----|------------------|-------------------|---------------------|-----|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 18 | 6.7 (2.1) | 0.0054 | Intercept | 18 | 6.7 (2.1) | 0.0041 |
| Labor | 312 | 1.0 (0.2) | <0.0001 | Labor | 316 | 0.8 (0.2) | 0.0001 |
| Leq | 312 | -0.0 (0.0) | 0.6125 | Anzahl | 316 | -0.0 (0.0) | 0.0610 |
| Alter | 312 | 0.1 (0.0) | 0.0849 | Alter | 316 | 0.1 (0.0) | 0.0858 |
| Geschlecht (1=Mann) | 312 | -0.7 (1.3) | 0.5910 | Geschlecht (1=Mann) | 316 | -0.8 (1.3) | 0.5611 |

Tabelle 3-61: Ergebnisse der Regression der Leistung im UTT im Vergleich der Labor- und Feldstudie und in Abhängigkeit von Leq bzw. Anzahl an Lärmereignissen unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| UTT LOC | | | |
|---------------------|----|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 19 | -4.4 (1.5) | 0.0096 |
| Labor | 19 | 0.9 (0.4) | 0.0204 |
| Alter | 19 | 0.0 (0.0) | 0.3477 |
| Geschlecht (1=Mann) | 19 | 0.1 (0.9) | 0.9556 |

Tabelle 3-62: Ergebnisse der logistischen Regression der LOC im UTT im Vergleich der Labor- und Feldstudie unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

| UTT LOC | | | | UTT LOC | | | |
|---------------------|----|------------------|---------------|---------------------|-----|------------------|---------------|
| Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert | Parameter Estimates | DF | Koeffizient (SE) | P-Wert |
| Intercept | 19 | -3.3 (1.8) | 0.0848 | Intercept | 18 | -4.4 (1.6) | 0.0121 |
| Labor | 19 | 1.2 (0.4) | 0.0092 | Labor | 316 | 0.9 (0.4) | 0.0298 |
| Leq | 19 | -0.0 (0.0) | 0.2700 | Anzahl | 316 | 0.0 (0.0) | 0.9766 |
| Alter | 19 | 0.0 (0.0) | 0.3521 | Alter | 316 | 0.0 (0.0) | 0.3482 |
| Geschlecht (1=Mann) | 19 | 0.1 (0.9) | 0.8990 | Geschlecht (1=Mann) | 316 | 0.1 (0.9) | 0.9541 |

Tabelle 3-63: Ergebnisse der logistischen Regression der LOC im UTT im Vergleich der Labor- und Feldstudie und in Abhängigkeit von Leq bzw. Anzahl an Lärmereignissen unter Berücksichtigung von Alter und Geschlecht.

4 Diskussion und Zusammenfassung

Allein durch den Zeitpunkt des Tests (morgens vs. abends) zeigten sich ausgeprägte Unterschiede in den Leistungen der Versuchspersonen sowohl in der Labor- als auch in der Feldstudie. Die abendlichen Leistungen fielen durchweg besser aus als die Leistungen am Morgen. Da die Leistung immer Resultat unterschiedlicher, Einfluss nehmender Faktoren ist, können die beobachteten Unterschiede zwischen den Abend- und Morgenmessungen zum einen auf zirkadian bedingte Schwankungen der Leistungsfähigkeit, zum anderen auf die morgendliche Schlafträgheit zurückgeführt werden. Die morgendlichen Leistungstests wurden mit Absicht in der Phase der Schlafträgheit und hier immer zum gleichen Zeitpunkt ausgeführt, da anzunehmen ist, dass Kompensationsmechanismen (z.B. durch Motivation, körperliche Aktivität, Frühstück) noch nicht so stark wirksam werden und somit der Einfluss der vorangegangenen Nacht deutlicher sichtbar wird. Jewett et al. [1999b] zeigten, dass sich die Leistungsminderung durch Schlafträgheit bereits nach 1-1½ Stunden nicht mehr relevant nachweisen lässt. Des Weiteren ist anzunehmen, dass die Leistungstests am Abend zusätzlich die Beanspruchung über Tag widerspiegeln und somit schlechter für die Beurteilung der Auswirkungen des nächtlichen Fluglärms geeignet sind. Öhrström und Rylander [1982] und Öhrström und Björkmann [1988] benutzten die Differenzen in der tageszeitabhängigen Leistungsfähigkeit, um Trainingseffekte auszugleichen. In vorliegender Studie führte dies jedoch zu keinen Ergebnissen, da die Probanden in der überwiegenden Zahl der Fälle ausreichend in der Durchführung der Leistungstests trainiert waren.

Während der Laborstudie wurden im SRT verschlechterte Reaktionszeiten in Abhängigkeit des vorangegangenen nächtlichen Lärms beobachtet. Sie prägten sich insbesondere in der mittleren Reaktionszeit, den schlechtesten 10% der Reaktionszeiten und der mittleren Standardabweichung der Reaktionszeiten aus. In den Analysen der Leistung im SRT in den einzelnen Leq-

Klassen im Vergleich zu Nächten mit einem L_{eq} von ≤ 30 dB(A) waren signifikante Verschlechterungen zu beobachten. Die beiden höchsten L_{eq} -Stufen erreichten jedoch nicht das Signifikanzniveau bedingt durch die geringe Gruppenstärke in diesen Klassen, was auch durch die Ergebnisse der Regressionsmodelle deutlich wird (s.u.). Im Gegensatz zu Öhrström [1995] konnte jedoch auch mit diesem „einfachen“ Reaktionszeittest eine Leistungsverschlechterung bei einem L_{eq} um 45 dB(A) beobachtet werden. Die Verschlechterungen bewegten sich bei Analyse der mittleren Reaktionszeiten in einem Bereich von 3,7 ms bis 4,9 ms, bei den schlechtesten 10% der Reaktionszeiten in einem Bereich von 10,3 ms bis 11,9 ms und bei der Standardabweichung der Reaktionszeiten in einem Bereich von 2,7 ms bis 2,8 ms. Die Verschlechterungen der Reaktionszeit sind somit gering, aber dennoch signifikant. Zur Einstufung der Größenordnung der Leistungseinbußen können die übrigen Moderatoren der Leistung (Alter, Geschlecht) dienen. In der Experimentalgruppe betrug der Unterschied in der mittleren Reaktionszeit im morgendlichen SRT zwischen Frauen und Männern $5,4 \pm 4,3$ ms. Die Differenzen, die durch die Verschlechterung der Leistung mit zunehmendem Alter erreicht wurden, lagen bei bis zu $11,6 \pm 7,7$ ms (Altersklasse 2 vs. 6). Somit fallen die beobachteten Leistungseinbußen unter Fluglärm in einen Bereich, der auch durch die Geschlechtszugehörigkeit oder die Altersentwicklung abgedeckt wird. In einer weiteren Studie [Elmenhorst et al. 2008] wurde der Einfluss verschiedener Stressoren auf die Reaktionszeit im SRT an jungen Probanden untersucht. Es zeigte sich eine Verschlechterung der mittleren Reaktionszeit im SRT um 5,7 bis 8,8 ms nach 4-tägiger Verkürzung der Schlafzeit auf 5 Stunden pro Nacht. Unter einem Alkoholeinfluss von 0,6‰ verschlechterte sich die Reaktionszeit um 13,0 ms und durch Atmen eines hypoxischen Gasgemisches von 13% O_2 während des Tests verlängerte sich die Reaktionszeit um 12,0 ms. Leistungseinbußen, wie sie unter diesen Stressoren zu beobachten waren, wurden durch Fluglärm nicht erreicht. In den Dosis-Wirkungsmodellen zeigte sich, dass die Reaktionszeiten zum einen in Abhängigkeit der Anzahl der nächtlichen Flugereignisse anstiegen, zum anderen auch durch den nächt-

lichen Leq bzw. den Maximalpegel der Ereignisse. Hypothese 1a kann somit angenommen werden („Fluglärm bewirkt Veränderungen der Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen. a) Die Auswirkungen sind abhängig von den akustischen Kennwerten (Leq, Anzahl und Maximalpegel der Flugbewegungen.“). In dem Modell, das Anzahl und Leq berücksichtigte, verschlechterte sich die mittlere Reaktionszeit um $0,03 \pm 0,01$ ms pro Flugereignis und um $0,13 \pm 0,05$ ms pro 1 dB(A) Leq-Zunahme. Für den im vorliegenden Experiment untersuchten Bereich von 0 bis 128 Flugereignissen bedeutet dies eine maximale Verschlechterung um 3,8 ms, für den Leq-Bereich von 30 dB(A) bis 57 dB(A) eine Verschlechterung um maximal 3,5 ms. In dem Modell das Anzahl und Maximalpegel umfasste stieg die mittlere Reaktionszeit um $0,03 \pm 0,00$ ms pro Flugereignis und um $0,04 \pm 0,01$ ms pro 1 dB(A) Pegelzunahme. Entsprechend bedeutet dies eine Verschlechterung der Leistung um maximal 3,8 ms mit Anstieg der Anzahl von 0 auf 128 Flugereignisse und um maximal 3,2 ms mit Anstieg des Maximalpegels von 0 dB(A) auf 80 dB(A). Anzahl und Leq bzw. Anzahl und Maximalpegel addieren sich in beiden Modellen zur Gesamteinbuße der Leistung. Interaktionen waren nicht signifikant. Des Weiteren wurde eine linear kumulative Wirkung des Fluglärms im Studienverlauf nachgewiesen. Die mittlere Reaktionszeit verschlechterte sich um $0,46 \pm 0,10$ ms pro Studientag, ohne dass sich das Erreichen eines Plateaus über die Expositionstage hinweg abzeichnete. Zusätzlich war hier die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Lapses im SRT signifikant größer. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von mindestens einem Lapse stieg von 7% am Basistag 2 auf 13% am 11. Studientag. Die beschriebenen Dosis-Wirkungsbeziehungen weisen auf nur geringe Leistungseinbußen in der Reaktionsfähigkeit durch nächtlichen Fluglärm hin. Sie sind jedoch signifikant und lassen im Verlauf der Laborstudie keine Annäherung an einen Maximalwert erkennen. Im Feldversuch waren die nächtlichen Lärmefekte auf die Leistung geringer. Im Vergleich zu einem Leq von wiederum ≤ 30 dB(A) und Flugzahlen im Bereich von 0-25/Nacht veränderten sich die Reaktionszeiten nicht signifikant. Eine Dosis-Wirkungsbeziehung für Verschlechterungen der mittleren

Reaktionszeit im Zusammenhang mit dem Leq war nur signifikant unter Ausschluss der Moderatoren. Alter und Geschlecht wirkten für diese Stichprobe nicht signifikant moderierend. Bei einem Anstieg des Leq um 1 dB(A) verschlechterte sich die Reaktionszeit um $0,28 \pm 0,14$ ms. Die Einbeziehung der Anzahl der Flugereignisse in das Modell war in der Feldstudie nicht signifikant, die Leistung verschlechterte sich hier also nicht mit steigender Anzahl an Lärmereignissen. Es zeigte sich allerdings auch hier ein linearer, kumulativer Effekt des Lärms auf die mittlere Reaktionszeit. Sie verschlechterte sich von Tag zu Tag um $0,52 \pm 0,16$ ms. Diese kumulative Leistungsver schlechterung im Feldversuch deutet jedoch eher auf einen Motivationsverlust der Probanden hin, als auf eine ausbleibende Gewöhnung, was wiederum die Aussagekraft der kumulativen Leistungseinbuße im Labor einschränkt. Einige Studien [Horne et al. 1994, Fidell et al. 1995, Pearsons et al. 1995] zeigten geringere Effekte des Lärms im Feld- als im Laborversuch und führten dies auf die gewohnte Umgebung und die stattgefundene Habituation zurück. Im Labor fand die Lärmexposition über einen großen Bereich statt; d.h. die Versuchspersonen wurden mitunter hohen Schalldruckpegeln ausgesetzt, wie sie im Feldversuch nicht beobachtet wurden, was zusätzlich zu größeren Einbußen der Leistung im Laborversuch beitrug. Hypothese 2 kann somit angenommen werden („Die Auswirkungen des Fluglärms sind in Labor- und Feldversuch unterschiedlich, da im Feld die Möglichkeit der Habituation der Probanden an ihren „gewohnten“ Lärm besteht.“).

Die Ergebnisse des MST sind uneinheitlich. Während sich im MS4 ein Anstieg der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten falsch negativer Antworten als genereller Lärmefekt und im Zusammenhang mit steigendem Maximalpegel abzeichnet, ist im MS6 eine Verbesserung der Reaktionszeiten als generelle Lärmwirkung, aber auch im Zusammenhang mit dem Leq (in der ANOVA) und von Tag zu Tag (in der Regressionsanalyse) signifikant. Zusätzlich verschlechtert sich die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von falsch positiven Antworten im MS6 in Abhängigkeit des Leq. Es zeichnet sich somit am ehesten ein Wechsel der Bearbeitungsstrategie ab, der die Ver-

suchspersonen veranlasst, schneller aber ungenauer zu arbeiten. Für die Reaktionszeiten im MS4 wird das Signifikanzniveau zwar nicht erreicht, bei Betrachtung der Mittelwerte sind die Reaktionszeiten unter Lärm und im Studienverlauf jedoch ebenfalls besser als am Basistag. Die Analyse der Felddaten unterstützt die These des schnelleren aber ungenaueren Arbeitens. Im MS4 zeigten sich von Tag zu Tag signifikant bessere Reaktionszeiten in der Regressionsanalyse, während die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von falsch negativen Antworten im MS6 im Studienverlauf stieg. Ob der Wechsel in der Bearbeitungsstrategie durch den Lärmeinfluss bedingt ist oder einen Strategiewechsel darstellt, wie er durch häufige Wiederholung eines Tests auftreten kann, bleibt offen. Das Alter der Versuchspersonen wirkte sich auf diesen Leistungstest signifikant moderierend aus, das Geschlecht jedoch nicht. Ähnliche Einbußen in der wiedererkennenden Erinnerungsfähigkeit, wie sie bei Kindern in lärmbelasteten Gebieten beobachtet wurden [Clark et al. 2005, Stansfeld et al. 2005], zeichnen sich für den MST nicht ab.

Im UTT deutete sich lediglich in der Feldstudie eine Lärmwirkung in der Abweichung von der Mittelposition an. In linearer Abhängigkeit vom Leq zeigte sich ein Anstieg um $0,04 \pm 0,02$ mm/1 dB. Das Geschlecht wirkte auf diesen Test als signifikanter Moderator.

Die Angaben der individuellen Arbeitsbelastung durch die Leistungstests erhöhten sich zwar geringfügig und auch mit zunehmender Anzahl an nächtlichen Fluggeräuschen signifikant, blieben jedoch in der Kategorie „niedrig“. So spiegelten sich die geringen, objektiv messbaren Leistungseinbußen auch in der subjektiven Bewertung wider. Hypothese 1b kann dementsprechend angenommen werden („Fluglärm bewirkt Veränderungen der Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen. b) Fluglärm verändert die von den Versuchspersonen empfundene Arbeitsbelastung.“).

Die dargestellten Ergebnisse der Leistungsuntersuchung passen gut zu bisher auf diesem Gebiet durchgeführten Studien. Auf die Bedeutung der Anzahl der Lärmereignisse und die unterschiedlicher Maximalpegel wiesen be-

reits die Studien von Öhrström et al. [1988] und Öhrström [1995] hin. Häufig konnten Studien zu Verkehrslärm keine signifikanten Leistungseinbußen, lediglich Trends zur Verschlechterung nachweisen. Dies kann zum einen durch Untersuchungen im Feld bedingt sein, die auch hier nur äußerst geringe Effekte sichtbar machten, zum anderen durch geringe Lärmexposition mit kleiner Probandenzahl im Labor. Öhrström und Rylander [1982] wiesen signifikante Leistungseinbußen erst bei nächtlichen Lärmereignissen von 80 dB(A) nach. Auch in der vorliegenden Laborstudie waren die Leistungsverschlechterungen durch die nächtlichen Lärmereignisse gering, was für eine nur geringe Störung der Schlafarchitektur spricht. Sie reichten an die Leistungseinbußen, wie sie nach Schlafentzug [Wilkinson et al. 1966, Wilkinson 1968, 1969, 1970] und Schlaffragmentierung [Bonnet 1985, 1986a, 1987, Martin et al. 1996, Stepanski 2002] zu finden sind, nicht heran.

In den untersuchten Probandenkollektiven gab es geschlechtsspezifische Unterschiede in der Bearbeitung der einzelnen Tests. Im SRT und UTT wiesen die männlichen Versuchspersonen bessere Leistungen auf, im MS4 und MS6 reagierten die weiblichen Versuchspersonen schneller und genauer. Das Signifikanzniveau erreichten die beobachteten Unterschiede jedoch nur in einzelnen Fällen für den SRT und den UTT. Die Leistung am Basistag 2 zeigte, dass es im SRT, MS4 und MS6 keine geschlechtsspezifischen Leistungsunterschiede gab. Im UTT jedoch wiesen die männlichen Versuchspersonen signifikant bessere Leistungen auf. Wenn der Fluglärm sich auf Mann und Frau unterschiedlich in der Leistung auswirkte, so war das somit lediglich im SRT der Fall. Da sich die Leistung unter Experimentalbedingungen allerdings vorwiegend am Abend im SRT unterschied und sich zu dieser Tageszeit die Einflüsse des nächtlichen Fluglärms lediglich gering ausprägten, mag dies eher für ein per se unterschiedliches Leistungsvermögen von Mann und Frau sprechen, so dass Hypothese 1c abgelehnt werden muss („Fluglärm bewirkt Veränderungen der Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen“).

sonen. c) Die Anfälligkeit für die Auswirkungen nächtlichen Fluglärms ist geschlechtsspezifisch.“).

Eine Verschlechterung der Leistung mit zunehmendem Alter der Versuchspersonen wurde für alle Testverfahren gefunden. Dabei erwies sich der SRT als am wenigsten anfällig für Alterseffekte, da eine signifikante Verschlechterung der Leistung lediglich im Zusammenhang mit den 10% besten Reaktionszeiten und den Lapses gefunden wurde. Vergleicht man die Alterseffekte in den Leistungstests unter Fluglärm mit denen am Basistag 2, so sind diese nahezu identisch ausgeprägt. Demnach ist nicht anzunehmen, dass es sich bei den beobachteten Unterschieden um fluglärmbedingte Einflüsse auf die Altersklassen handelt. Hier muss Hypothese 1d abgelehnt werden. („Fluglärm bewirkt Veränderungen der Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen. d) Die Effekte des Fluglärms prägen sich in den Altersstufen unterschiedlich aus.“)

Wie sich gezeigt hat, waren die verwendeten Leistungstests in unterschiedlichem Maße geeignet, die Effekte des nächtlichen Fluglärms wiederzugeben. Während sich insbesondere der SRT als zweckmäßig zur Erkennung von Leistungseinbußen unter Lärmbedingungen erwies, scheint der UTT als vorwiegend motorischer Leistungstest eher ungeeignet. Eingeschränkt wird die Aussagekraft dieses Tests durch die ausgeprägte Trainierbarkeit. So schienen nicht alle Versuchspersonen zu Beginn der Studie ein stabiles Niveau erreicht zu haben, trotz der 40 Trainingssitzungen im Vorfeld der Studie. Die Leistung der Kontrollgruppe im UTT wäre eigentlich eine geeignete Vergleichsgröße, um die Trainingseffekte auch in der Lärmgruppe beurteilen und eventuell berechnen zu können. Da sich jedoch die Leistung in der Kontrollgruppe für alle Leistungsparameter als wesentlich schlechter herausstellte als das Leistungsniveau in der Lärmgruppe, selbst unter Lärmbedingungen, und auch die Resttrainierbarkeit in der Kontrollgruppe höher erscheint, ist die Leistung der Kontrollgruppe zum direkten Vergleich nicht brauchbar. Für Reaktionszeittests zeigten Fronwein et al. [1981], dass der Verarbeitungsschritt der motorischen Aktivierung sensibel

auf Schlafentzug anspricht. Des Weiteren wird die Reliabilität des Faktors Zeitunsicherheit mit 0,81 angegeben [AGARD 1989]. Auch wenn die Übertragbarkeit auf den hier verwendeten SRT eingeschränkt ist, da es sich um eine Abwandlung des ursprünglichen Testverfahrens handelt, so treffen doch auch für dieses Testverfahren die Verarbeitungsschritte Zeitunsicherheit und motorische Aktivierung zu und mögen zum Teil die besondere Eignung dieses Tests im Vergleich zu den anderen Testverfahren begründen. Fluglärm bedingte Zunahmen der Lapses des SRT zeigten sich jedoch selten, obwohl diese als besonders sensitiv für Ermüdungsvorgänge beschrieben wurden [Doran et al. 2001]. Dies mag zum einen auf die ausgeprägte Trainingsphase im Vorfeld der Studie zurückzuführen sein, die das Auftreten von Lapses generell zur Ausnahme werden ließ, zum anderen dadurch bedingt sein, dass der Stressor Fluglärm zu geringe Auswirkungen auf diesen Leistungsparameter hatte.

Welche Bedeutung den gefundenen Leistungsveränderungen unter Fluglärm zukommt, bleibt Spekulation. Leistungseinbußen im Zusammenhang mit den akustischen Charakteristiken der Nacht sind signifikant und konsistent nachweisbar, bewegen sich jedoch in sehr geringen Bereichen, wie sie auch allein durch Geschlechtsunterschiede oder die Altersprogression zu finden sind. Nichtsdestotrotz lassen diese Einbußen auf Veränderungen physiologischer Prozesse durch Fluglärm schließen. Unter dem Gesichtspunkt der eingeschränkten Repräsentativität der Stichprobe sind für die Bevölkerung in Einzelfällen sicherheitsrelevante Leistungseinbußen nicht gänzlich auszuschließen.

5 Literatur

- AGARD (1989): Human Performance Assessment Methods. AGARDograph 308. Neuilly-sur-Seine, France: NATO, Advisory Group for Aerospace Research and Development
- AGARD (1991): Human Performance Assessment Methods. AGARDograph 308 Addendum. Neuilly-sur-Seine, France: NATO, Advisory Group for Aerospace Research and Development
- Babisch W. (2000): Traffic noise and cardiovascular disease: epidemiological review and synthesis. *Noise and Health* 8: 9-32
- Balkin T.J., Bliese P.D., Belenky G., Sing H., Thorne D.R., Thomas M., Redmond D.P., Russo M., Wesensten N.J. (2004): Comparative utility of instruments for monitoring sleepiness-related performance decrements in the operational environment. *Journal of Sleep Research* 13: 219-227
- Basner M., Buess H., Elmenhorst D., Gerlich A., Luks N., Maaß H., Mawet L., Müller E.-W., Müller U., Plath G., Quehl J., Samel A., Schulze M., Vejvoda M., Wenzel J. (2004): Nachtfluglärmwirkungen – Band 1 – Zusammenfassung, Forschungsbericht DLR FB 2004-07/D
- Basner M., Müller U., Samel A (2006a): Nachtfluglärmwirkungen - Band 2 – Methodik, Akustik, Forschungsbericht DLR FB 2004-08/D
- Basner M., Samel A., Isermann U. (2006b): Aircraft noise effects on sleep: Application of the results of a large polysomnographic field study. *J Acoust Soc Am* 119 (5): 2772-2784
- Bonnet M.H. (1985): Effect of sleep disruption on sleep, performance, and mood. *Sleep* 8 (1): 11-19
- Bonnet M.H. (1986a): Performance and sleepiness as a function of frequency and placement of sleep disruption. *Psychophysiology* 23 (3): 263-271
- Bonnet M.H. (1986b): Performance and sleepiness following moderate sleep disruption and slow wave sleep deprivation. *Physio Behav* 37: 915-918
- Bonnet M.H. (1987): Sleep restoration as a function of periodic awakening, movement, or electroencephalographic change. *Sleep* 10 (4): 364-373

- Broadbent D.E. (1979): Human performance and noise. In: Harris C.M. (Ed.), *Handbook of Noise Control*. New York: Mc Graw Hill
- Broadbent D.E. (1980): Noise in relation to annoyance, performance and mental health. *J Acoust Soc Amer* 68: 15-17
- Clark C., Martin R., van Kempen E., Alfred T., Head J., Davies H.W., Haines M.M., López-Barrio I., Matheson M., Stansfeld S.A. (2005): Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension. The RANCH Project. *Am J Epidemiol* 163: 27-37
- Cohen S., Lezak A. (1977): Noise and inattentiveness to social cues. *Environ Behavior* 9: 559-572
- Dinges D.F., Powell J.W. (1985): Microcomputer analysis of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers* 17: 652-655
- DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin (1996): Aufgaben und Ergebnisse. Statusbericht 1996, Band 1
- Doran S.M., Van Dongen H.P., Dinges D.F. (2001): Sustained attention performance during sleep deprivation: evidence of state instability. *Arch. Ital. Biol.* 139: 253-267
- Elmenhorst D. (2004): Partiieller Schlafentzug, Alkohol und Hypoxie und ihre Auswirkung auf die Leistung. Aachen, Technische Hochschule, Dissertation, und DLR-FB-2004-15
- Elmenhorst D., Elmenhorst E.-M., Luks N., Maass H., Mueller E.-W., Vejvoda M., Wenzel J., Samel A. (2008): Performance impairment during 4 days partial sleep deprivation compared with the acute effects of alcohol and hypoxia. *Sleep Medicine*, in press.
- Evans G.W., Hygge S., Bullinger M. (1995): Chronic noise exposure and psychological stress. *Psychological Science* 6: 333-338
- Fidell S., Howe R., Tabachnick B., Pearsons K., Sneddon M. (1995): Noise-induced sleep disturbance in residences near two civil airports. NASA Contractor Report 198252
- Frowein H.W., Reitsma D., Aquarius C. (1981): Effects of two counteracting stresses on the reaction process. In: Long J., Baddeley A.D. (Eds.), *Attention and Performance IX*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum

- Gieschke R., Cluydts R., Dingemans J., De Roeck J., De Cock W. (1994): Effects of Bretazenil vs. Zolpidem and Placebo on experimentally induced sleep disturbance in healthy volunteers. *Meth Find Exp Clin Pharmacol* 16 (9): 667-675
- Gillberg M. (1995): Sleepiness and its relation to the length, content, and continuity of sleep. *J Sleep Res* 4 (suppl. 2): 37-40
- Griefahn B. (1985): Schlafstörungen durch Verkehrslärm. *Forum Städtehygiene* 36: 221-224
- Griefahn B., Schuemer-Kohrs A., Schuemer R., Moehler U., Mehnert P. (2000): Physiological, subjective, and behavioural responses during sleep to noise from rail and road traffic. *Noise & Health* 3 (9): 59-71
- 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: 171-181
- Gür O., Luks N. et al. (1998): Leistungsfähigkeit nach verkürztem Schlaf im Vergleich zu anderen Stressoren. 36. Jahrestagung der DGLRM, Berlin, 22-24- Mai 1998
- Guilleminault C., Abad V.C., Philip P., Stoohs R. (2006): The effect of CNS activation versus EEG arousal during sleep on heart rate response and daytime tests. *Clinical Neurophysiology* 117: 731-739
- Haines M.M., Stansfeld S.A., Brentnall S., Head J., Berry B., Jiggins M., Hygge S. (2001a): The West London Schools Study: the effects of chronic aircraft noise exposure on child health. *Psychological Medicine* 31: 1385-1396
- Haines M.M., Stansfeld S.A., Job R.F.S., Berglund B., Head J. (2001b): A follow-up study of effects of chronic aircraft noise exposure on child stress responses and cognition. *International Journal of Epidemiology* 30: 839-345
- Haines M.M., Stansfeld S.A., Head J., Job R.F.S. (2002): Multilevel modeling of aircraft noise on performance tests in schools around Heathrow Airport London. *J Epidemiol Community Health* 56: 139-144
- Hart S.G., Staveland L.E. (1988): Development of NASA-TLX: Results of empirical and theoretical research. In: Hancock, Meshkati (Hrsg.) *Human mental workload*. North Holland, Amsterdam: 139-183

- Horne J.A., Pankhurst F.L., Reyner L.A., Hume K., Diamond I.D. (1994): A field study of sleep disturbance: effects of aircraft noise and other factors on 5742 nights of actimetrically monitored sleep in a large subject sample. *Sleep* 17 (2): 146-159
- Hygge S., Evans G.W., Bullinger M. (2002): A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren. *Psychological Science* 13 (5): 469-474
- Jansen G., Schwarze S. (1998): Extraaurale Lärmwirkungen. Handbuch der Arbeitsmedizin, Konietzko J., Dupuis H. (Hrsg.), Kap.III-4.2, Ecomed-Verlag, Landsberg, 1998
- Jewett M.E., Dijk D.-J., Kronauer R.E., Dinges D.F. (1999a): Dose-response relationships between sleep duration and human psychomotor vigilance and subjective alertness. *Sleep* 22 (2): 171-179
- Jewett M.E., Wyatt J., Ritz de Cecco A., Khalsa S., Dijk J.-D., Czeisler C.A. (1999b): Time course of sleep inertia dissipation in human performance and alertness. *Journal of Sleep Research* 8: 1-8
- Jex H.R., McDonnell J.D., Phatak A.V. (1966): A "critical" tracking task for manual control research. *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-7: 138-144
- Lercher P. (1996): Road traffic noise, self medication, and prescriptions: a community study. *Proceedings of Internoise '96*. Hill F.A., Lawrence R. (Eds.), Institute of Acoustics, St. Albans, UK: 2171.
- López-Barrio I., Martín R., Jiménez F., Stansfeld S.A., Haines M.M., Clark C., Matheson M., Berry B., Head J., Cameron R.M. (2003): Effects of aircraft noise on long-term memory: the ranch study. *The 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Rotterdam – The Netherlands – 29 June – 3 July 2003*
- Marks A., Griefahn B. (2005): Railway noise – its effects on sleep, mood, subjective sleep quality and performance. *Somnologie* 9: 68-75
- Martin S.E., Engleman H.M., Deary I.J., Douglas N.J. (1996): The effect of sleep fragmentation on daytime function. *Am J Respir Crit Care Med* 153: 1328-1332
- Martin S.E., Wraith P.K., Deary I.J., Douglas N.J. (1997): The effect of non-visible sleep fragmentation on daytime function. *Am J Respir Crit Care Med* 155: 1596-1601

- Martin S.E., Brander P.E., Deary I.J., Douglas N.J. (1999): The effects of clustered versus regular sleep fragmentation on daytime function. *J Sleep Res* 8 (4): 305-311
- Öhrström E. (1989): Sleep disturbance, psycho-social and medical symptoms – a pilot survey among persons exposed to high levels of road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration* 133 (1): 117-128
- Öhrström E. (1995): Effects of low levels of road traffic noise during the night: a laboratory study on number of events, maximum noise levels and noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration* 179 (4): 603-615
- Öhrström E., Rylander R. (1982): Sleep disturbance effects of traffic noise – a laboratory study on after effects. *Journal of Sound and Vibration* 84 (1): 87-103
- Öhrström E., Björkman M. (1988): Effects of noise-disturbed sleep – a laboratory study on habituation and subjective noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration* 122 (2): 277-290
- Öhrström E., Rylander R. (1990): Sleep disturbance by road traffic noise – a laboratory study on number of noise events. *Journal of Sound and Vibration* 143 (1): 93-101
- Öhrström E., Rylander R., Björkman M. (1988): Effects of night time road traffic noise – an overview of laboratory and field studies on noise dose and subjective sensitivity. *Journal of Sound and Vibration* 127: 441
- Ouis D. (1999): Exposure to nocturnal road traffic noise: sleep disturbance and its after effects. *Noise & Health* 4: 11-36
- Pearsons K., Barber D., Tabachnick B.G., Fidell S. (1995): Predicting noise-induced sleep disturbance. *J Acoust Soc Am* 97 (1): 331-338
- Pfendler C. (1991): Vergleichende Bewertung der NASA-TLX und der ZEISS-Skala bei der Erfassung von Lernprozessen. *Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Bericht Nr. 92, Wachtberg*
- Philip P., Taillard G., Sagaspe P., Valtat D., Sanchez-Ortuno M., Moore N., Charles A., Bioulac B. (2004): Age, performance and sleep deprivation. *Journal of Sleep Research* 13: 105-110

- Schapkin S.A., Falkenstein M., Marks A., Griefahn B. (2006): Executive brain functions after exposure to nocturnal traffic noise: effects of task difficulty and sleep quality. *Eur J Appl Physiol* 96: 693-702
- Schlegel R.E., Gilliland K. (1992): Development of the UTC-PAB normative database – Final report
- Stansfeld S.A., Matheson M.P. (2003): Noise pollution: non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin* 68: 243-257
- Stansfeld S.A., Berglund B., Clark C., López-Barrio I., Fischer P., Öhrström E., Haines M.M., Head J., Hygge S., van Kamp I., Berry B.F, on behalf of the RANCH study team (2005): Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet* 365: 1942-49
- Stepanski E.J. (2002): The effect of sleep fragmentation on daytime function. *Sleep* 25 (3): 268-276
- Sternberg S. (1966): High-speed scanning in human memory. *Science* 153: 652-654
- Sternberg S. (1967): Two operations in character recognition: some evidence from reaction time measurements. *Perception and Psychophysics* 2: 45-53
- Sternberg S. (1969a): Memory scanning: mental processes revealed by reaction time experiments. *American Scientist* 57: 421-457
- Sternberg S. (1969b): The discovery of processing stages: extensions of Donders' method. In: Koster W.G. (Ed.), *Attention and Performance II*: 276-315. Amsterdam: North Holland. (Reprinted from *Acta Psychologica*, 1969: 30)
- Sternberg S. (1971): Decomposing mental processes with reaction time data. Invited address to Midwestern Psychological Association, Detroit
- Stokx L.C., Gaillard A.W.K. (1986): Task and driving performance of patients with a severe concussion of the brain. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 8: 421-436
- Van Dongen H.P., Baynard M.D., Maislin G., Dinges D.F. (2004): Systematic interindividual differences in neurobehavioral impairment from sleep loss: evidence of trait-like differential vulnerability. *Sleep* 27 (3): 423-433

- Wanner H.U., Wehrli B., Bakke P., Nemecek J., Turrian V., Granjean E. (1977): Effects of road traffic noise on residents. Proceedings of Internoise 77: B 698
- Wetherall A. (1990): The STRES Battery: standardised tests for research into environmental stress. In: Contemporary Ergonomics, Lovesey E.J. (Ed.), London: Taylor & Francis: 270-275
- Wetherell A. (1996): Performance tests. Environmental health perspectives 104 (Suppl. 2): 247-273
- Wilkinson R.T. (1968): Sleep deprivation: Performance tests for partial and selective sleep deprivation. Progress in Clinical Psychology 8: 28-43
- Wilkinson R.T. (1969): Loss of sleep. Proc Roy Soc Med 62: 903-904
- Wilkinson R.T. (1970): Sleep deprivation – eight questions. In: Colquhoun (Ed.): Aspects of Human Efficiency – Diurnal Rhythm and Loss of Sleep, The English Universities Press Ltd: 25-30
- Wilkinson R.T., Campbell K.B. (1984): Effects of traffic noise on quality of sleep: assessment by EEG, subjective report, or performance the next day. Journal of the Acoustical Society of America 75: 468
- Wilkinson R.T., Edward I.L.S., Haines E. (1966): Performance following a night of reduced sleep. Psychonomic Science 5: 471-472