



**Forschungsverbund *'Leiser Verkehr'*  
Bereich 2000 *'Lärmwirkungen'***

**Einzelvorhaben 2221:  
Kognitive Leistung und Sprachverständlichkeit  
bei Erwachsenen**

(Förderkennzeichen 19U2062D)

I – II Abschlussbericht

Ausführende Institution:  
Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt  
Professur für Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitspsychologie

Juni 2006

# Kognitive Leistungen und Sprachverständlichkeit bei Erwachsenen

## **Auftragnehmer**

<sup>1</sup> Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt (KUEI), Professur für Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitspsychologie, Univ.-Prof. Dr. Jürgen Hellbrück, Juergen.Hellbrueck@KU-Eichstaett.de (Förderkennzeichen: 19U2062D)

## **Unterauftragnehmer**

<sup>2</sup> SASS acoustic research & design GmbH, Prof. Dr. Rudolf Bisping

## **Sachbearbeiter:**

<sup>2</sup> Bisping, Prof. Dr. Rudolf, SASS, SASS.Consult@t-online.de

<sup>1</sup> Feil, Alexandra, Dipl. Psych., KUEI, Alexandra.Feil@Klinikum-Ingolstadt.de

<sup>1</sup> Liebl, Andreas, Dipl. Psych., KUEI, Andreas.Liebl@KU-Eichstaett.de

## **Ausführende Institutionen:**

<sup>1</sup> Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt (KUEI), Professur für Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitspsychologie, Ostenstraße 26-28, 85072 Eichstätt

<sup>2</sup> SASS acoustic research & design GmbH, Hagelkreuz 46, 45134 Essen

## Zusammenfassung

Mit der Zielsetzung Empfehlungen für zielgerichtete, effektive Lärminderungsmaßnahmen in der Praxis sowie Verfahren zur wirkungsorientierten Bewertung von Verkehrslärm abzuleiten, werden die Auswirkungen von Verkehrsgeräuschen und spezifischen Modifikationen an Verkehrsgeräuschen auf kognitive Funktionen von erwachsenen Probanden untersucht. Hierzu werden verschiedene grundlegende kognitive Funktionen, wie das vorübergehende Speichern von Informationen, die Inhibition automatisierter Tätigkeiten, das Zusammenwirken von Speicher-, Planungs- und Kontrollfunktionen sowie kognitive Prozesse beim Lesen und Textverstehen und das subjektive Empfinden in Abhängigkeit von der Darbietung verschiedener Verkehrsgeräusche betrachtet.

Im Sinne der aufgestellten Hypothesen zeigt sich unter Einsatz des Stroop Test (Abschnitt 3.3), einer modifizierten Version des Konzentrations-Leistungs-Tests (KLTM, Abschnitt 3.4) und des Grammatical Reasoning Test (Abschnitt 3.4) eine signifikante Leistungsbeeinträchtigung durch lauten Straßenverkehrsschall (*2000-70*, vgl. Tabelle 1) im Vergleich zur Ruhebedingung (*Ruhe-35*, vgl. Tabelle 1).

Die Absenkung tiefer Frequenzanteile (*2000-70-12*, vgl. Tabelle 1) bedingt im Stroop Test keine Reduzierung der Leistungsbeeinträchtigung. Im KLTM führt diese Modifikation jedoch dazu, dass im Vergleich zur Ruhebedingung keine Störwirkung mehr nachzuweisen ist. Das nicht modifizierte Straßenverkehrsgeräusch (*2000-70*, vgl. Tabelle 1) ruft hingegen eine Leistungsbeeinträchtigung hervor. Im direkten Vergleich der beiden Straßenverkehrsgeräusche ergibt sich allerdings kein signifikanter Unterschied. Im Grammatical Reasoning Test ist unter dem im tieffrequenten Bereich abgesenkten Straßenverkehrsgeräusch (*2000-70-12*, vgl. Tabelle 1) ebenfalls keine Beeinträchtigung mehr nachweisbar, wohingegen sich das nicht modifizierte Geräusch (*2000-70*, vgl. Tabelle 1) im Vergleich zur Ruhebedingung (*Ruhe-35*, vgl. Tabelle 1) negativ auswirkt. Der Vergleich der beiden Verkehrsgeräusche ist annähernd signifikant.

Folglich kann nachgewiesen werden, dass eine Absenkung tieffrequenter Anteile von Straßenverkehrsgeräuschen im Hinblick auf kombinierte Speicher-, Planungs- und Kontrollfunktionen eine Erleichterung bei der Aufgabenbearbeitung bewirkt. Dabei muss jedoch kritisch angemerkt werden, dass dieser Nachweis nur in zwei von vier Aufgabenstellungen gelingt und die statistischen Ergebnisse zum Teil marginal ausfallen. Eine Variation der Verkehrsdichte und damit der temporal-spektralen Struktur (vgl. Changing State Charakter, Abschnitt 2.2.1) der Verkehrsgeräusche hat im Rahmen dieser Aufgabenstellungen keinen Einfluss auf das Leistungsniveau.

Die Serial Recall Aufgabe (vgl. Abschnitt 3.2) erweist sich bei visueller und auditiver Itemvorgabe sensitiv für Leistungsbeeinträchtigungen durch Sprachschall (*Sprecher-dt.-60*, vgl. Tabelle 1). Eine Störwirkung der im Hinblick auf die Pegel und die temporal-spektrale

Struktur variierten Straßenverkehrsgeräusche kann jedoch nicht nachgewiesen werden. Dies ist möglicherweise auf die im Vergleich zu Sprachschall zu geringe Variabilität der temporal-spektralen Struktur (vgl. Changing State Charakter, Abschnitt 2.2.1) der verwendeten Straßenverkehrsgeräusche (100 vs. 2000 Vorbeifahrten pro Stunde) zurückzuführen.

Die auditiven Versionen des KLTM und des Stroop Test erweisen sich nicht in der erwarteten Art und Weise sensitiv für Beeinträchtigungen durch die eingesetzten Straßenverkehrsgeräusche. Als mögliche Erklärung hierfür ist die Absenkung des Mittelungspegels des lautesten Verkehrsschalls um 5 dB(A) im Vergleich zu den visuellen Varianten beider Tests anzusehen. Diese Maßnahme ist jedoch zur Gewährleistung der Sprachverständlichkeit der auditiv dargebotenen Testaufgaben notwendig.

Die verwendeten Schienenverkehrsgeräusche (*Schiene-70*, *Schiene-70-12*, vgl. Tabelle 1) verursachen in keinem Test (Grammatical Reasoning Test, Stroop Test, KLTM) eine signifikante Leistungsbeeinträchtigung. Dieses Ergebnis stellt allerdings möglicherweise einen Mittelungsartefakt dar. Betrachtet man die Leistung in Abhängigkeit vom Pegelverlauf, deutet sich eine selektive Leistungsbeeinträchtigung während der lautesten Schallereignisse an.

Im Hinblick auf Prozesse des Lesens und Textverstehens ergeben sich nur geringfügige Hinweise auf die Wirksamkeit der Absenkung tiefer Frequenzanteile von Straßenverkehrsgeräuschen (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1).

Im Rahmen einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe (vgl. Abschnitt 3.5) führen weder Sprachschall (*Sprecher-dt.-70*, vgl. Tabelle 1) noch die Straßenverkehrsgeräusche (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) zu der angenommenen Beeinflussung phonologischer Prozesse der visuellen Worterkennung. Es ergibt sich lediglich der Hinweis auf eine leichte Beschleunigung der Aufgabenbearbeitung unter den Verkehrsschallbedingungen, die allerdings durch eine Modifikation des Anteils tiefer Frequenzen nicht beeinflusst wird.

Die Bearbeitung der beiden Teilaufgaben (Endwortreproduktion und Inhaltsverifikation) eines Lesespannentests (vgl. Abschnitt 3.5) wird durch Sprachschall (*Sprecher-dt.-70*, vgl. Tabelle 1) im Vergleich zur Ruhebedingung (*Ruhe-24*, vgl. Tabelle 1) gestört. Bei der Gegenüberstellung der beiden Verkehrsgeräusche (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) mit der Ruhebedingung (*Ruhe-24*, vgl. Tabelle 1) deutet sich ein Effekt, im Sinne geringerer Fehlerraten, durch die Reduzierung tieffrequenter Geräuschanteile in Bezug auf die Inhaltsverifikation an.

Im Rahmen einer Garden Path Aufgabe (vgl. Abschnitt 3.5) ergeben sich keine Hinweise auf eine Störwirkung der Verkehrsgeräusche (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) oder auf die Wirksamkeit der Reduzierung des Anteils tiefer Frequenzen im Verkehrsgeräusch. Sprachschall (*Sprecher-dt.-70*, vgl. Tabelle 1) führt zu einer geringfügigen Leistungsbeeinträchtigung.

Auch im Rahmen einer komplexen Textaufgabe (vgl. Abschnitt 3.5) führt lediglich die Darbietung von Sprachschall (*Sprecher-dt.-70*, vgl. Tabelle 1) zu einer Beeinträchtigung bei der Korrektur eines Textes, dem Wiedererkennen von Sätzen sowie dem Beantworten von Textfragen. Die Verkehrsgeräusche wirken sich nicht negativ auf die Aufgabenbearbeitung aus.

Hinsichtlich der Auswirkungen der verschiedenen Hintergrundschallbedingungen auf das subjektive Empfinden und die Befindlichkeit der Probanden (vgl. Abschnitt 3.6.4.2) ist festzuhalten, dass alle Hintergrundschalle im Vergleich zur Ruhebedingung als lästig beurteilt werden. Bei der Bearbeitung des KLTM und des Grammatical Reasoning Test ergeben sich zusätzlich Hinweise auf die Wirksamkeit der Reduzierung tieffrequenter Anteile von Verkehrsgeräuschen im Sinne einer Minderung der empfundenen Lästigkeit der Geräusche.

Die subjektiven Urteile in Bezug auf die empfundene Konzentrationsfähigkeit und Aufgabenschwierigkeit unter den verschiedenen Hintergrundschallbedingungen spiegeln mehrheitlich die Ergebnisse bezüglich der Leistungsdaten wider. Hintergrundgeräusche die die Leistung beeinträchtigen stören auch die berichtete Konzentrationsfähigkeit der Probanden und bedingen einen Anstieg der empfundenen Aufgabenschwierigkeit. Im Widerspruch zu den Leistungsdaten berichten die Probanden im Grammatical Reasoning Test auch über eine Beeinträchtigung der Konzentrationsfähigkeit durch Schienenverkehrsgeräusche. Dieses Ergebnis unterstützt die Annahme, dass es sich beim Ausbleiben einer signifikanten Leistungsminderung um einen Mittelungsartefakt handelt und die Darbietung der Schienenverkehrsgeräusche zu einer Erschwernis der Aufgabenbearbeitung führt. In der lexikalischen Entscheidungsaufgabe berichten die Probanden im Vergleich zur Ruhebedingung unter allen Schallbedingungen über eine Zunahme der Schwierigkeit der Aufgabenbearbeitung, obgleich eine Beeinträchtigung der Leistung nicht nachgewiesen werden kann.

Bezüglich der empfundenen Lautheit der dargebotenen Hintergrundgeräusche wird im Rahmen der lexikalischen Entscheidungsaufgabe auch eine im Vergleich zum nicht modifizierten Verkehrsgeräusch (*LKW-70*, vgl. Tabelle 1) geringere Lautheit des im tieffrequenten Bereich reduzierten Straßenverkehrsgeräuschs (*LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) berichtet.

Obgleich im Rahmen der komplexen Textaufgabe nur Sprachschall eine objektiv nachweisbare Leistungsbeeinträchtigung hervorruft (vgl. Abschnitt 3.5.4.4.2), zeigt sich im Hinblick auf die subjektive Befindlichkeit auch eine Zunahme der empfundenen Beanspruchung durch die beiden eingesetzten Verkehrsschalle (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1). Im direkten Vergleich der beiden Verkehrsschalle ergeben sich keine Unterschiede.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Forschungsverbund <i>Leiser Verkehr</i></b> .....	<b>1</b>
1.1 Aufgabenstellung im Rahmen des Einzelvorhabens 2221 .....	2
1.2 Planung und Durchführung.....	3
<b>2 Wissenschaftlicher Kenntnisstand und Untersuchungsansätze</b> .....	<b>4</b>
2.1 Arbeitsgedächtnis .....	4
2.2 Wirkmechanismen .....	4
2.2.1 Direkte Interferenz .....	4
2.2.2 Steigerung des Arousal .....	5
2.3 Schallstimuli und Einflussgrößen .....	7
2.3.1 Temporal-spektrale Struktur .....	7
2.3.2 Schallpegel .....	8
2.3.3 Tiefe Frequenzanteile .....	8
2.3.4 Kontrollbedingungen.....	10
2.4 Statistische Vorgehensweise.....	11
<b>3 Operationalisierungen, Hypothesen und Ergebnisse</b> .....	<b>12</b>
3.1 Allgemeine Aspekte der durchgeführten Untersuchungen.....	13
3.2 Modul I: Serielles Erinnern .....	13
3.2.1 Theoretischer Hintergrund.....	14
3.2.2 Operationalisierung .....	14
3.2.2.1 Serial Recall: Visuelle Variante .....	14
3.2.2.2 Serial Recall: Auditive Variante .....	14
3.2.3 Hypothesen.....	15
3.2.4 Experimentelle Untersuchungen .....	15
3.2.4.1 Serial Recall (Visuelle Variante): Modifikationen des Pegels und der temporal- spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen .....	15
3.2.4.1.1 Durchführung.....	15
3.2.4.1.2 Ergebnisse.....	16
3.2.4.2 Serial Recall (Auditive Variante): Modifikationen des Pegels und der temporal- spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen .....	17
3.2.4.2.1 Durchführung.....	17
3.2.4.2.2 Ergebnisse.....	18
3.3 Modul II: Inhibition automatisierter Tätigkeiten.....	19
3.3.1 Theoretischer Hintergrund.....	20
3.3.2 Operationalisierung .....	20

3.3.2.1 Stroop Test: Visuelle Variante .....	20
3.3.2.2 Stroop Test: Auditive Variante.....	21
3.3.3 Hypothesen.....	21
3.3.4 Experimentelle Untersuchungen .....	22
3.3.4.1 Stroop Test (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und der temporal- spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen .....	22
3.3.4.1.1 Durchführung.....	22
3.3.4.1.2 Ergebnisse.....	23
3.3.4.2 Stroop Test (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenz- spektrums von Straßenverkehrsgeräuschen.....	25
3.3.4.2.1 Durchführung.....	25
3.3.4.2.2 Ergebnisse.....	25
3.3.4.3 Stroop Test (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenz- spektrums von Schienenverkehrsgeräuschen .....	27
3.3.4.3.1 Durchführung.....	27
3.3.4.3.2 Ergebnisse.....	27
3.3.4.4 Stroop Test (Auditive Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenz- spektrums von Straßenverkehrsgeräuschen.....	29
3.3.4.4.1 Durchführung.....	29
3.3.4.4.2 Ergebnisse.....	30
3.4 Modul III: Kopfrechnen und schlussfolgerndes Denken.....	32
3.4.1 Theoretischer Hintergrund.....	32
3.4.2 Operationalisierung .....	33
3.4.2.1 Konzentrations-Leistungs-Test (KLT): Visuelle Variante .....	33
3.4.2.2 Konzentrations-Leistungs-Test (KLT): Auditive Variante .....	33
3.4.2.3 Grammatical Reasoning Test.....	34
3.4.3 Hypothesen.....	34
3.4.4 Experimentelle Untersuchungen .....	35
3.4.4.1 KLTM (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und der temporal-spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen.....	37
3.4.4.1.1 Durchführung.....	37
3.4.4.1.2 Ergebnisse.....	37
3.4.4.2 KLTM (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen .....	39
3.4.4.2.1 Durchführung.....	39
3.4.4.2.2 Ergebnisse.....	39
3.4.4.3 KLTM (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Schienenverkehrsgeräuschen .....	41
3.4.4.3.1 Durchführung.....	41
3.4.4.3.2 Ergebnisse.....	42



3.4.4.4 KLTM (Auditive Variante): Modifikation des Pegels und der temporal-spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen.....	44
3.4.4.4.1 Durchführung.....	44
3.4.4.4.2 Ergebnisse.....	45
3.4.4.5 Grammatical Reasoning: Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen .....	46
3.4.4.5.1 Durchführung.....	46
3.4.4.5.2 Ergebnisse.....	47
3.4.4.6 Grammatical Reasoning: Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Schienenverkehrsgeräuschen .....	48
3.4.4.6.1 Durchführung.....	48
3.4.4.6.2 Ergebnisse.....	48
3.5 Modul IV: Lesen und Textverstehen.....	49
3.5.1 Theoretischer Hintergrund.....	50
3.5.2 Operationalisierung .....	50
3.5.2.1 Lexikalische Entscheidungsaufgabe .....	50
3.5.2.2 Lesespannentest .....	51
3.5.2.3 Garden Path Aufgabe.....	51
3.5.2.4 Komplexe Textaufgabe.....	52
3.5.3 Hypothesen.....	52
3.5.4 Experimentelle Untersuchungen .....	54
3.5.4.1 Lexikalische Entscheidungsaufgabe: Modifikation des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen .....	54
3.5.4.1.1 Durchführung.....	54
3.5.4.1.2 Ergebnisse.....	55
3.5.4.2 Lesespannentest: Modifikation des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen .....	57
3.5.4.2.1 Durchführung.....	57
3.5.4.2.2 Ergebnisse.....	58
3.5.4.3 Garden Path Aufgabe: Modifikation des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen .....	60
3.5.4.3.1 Durchführung.....	60
3.5.4.3.2 Ergebnisse.....	61
3.5.4.4 Komplexe Textaufgabe: Modifikation des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen .....	62
3.5.4.4.1 Durchführung.....	62
3.5.4.4.2 Ergebnisse.....	63
3.6 Modul V: Subjektives Empfinden und Befindlichkeit .....	65
3.6.1 Theoretischer Hintergrund.....	65
3.6.2 Operationalisierung .....	65

3.6.3 Hypothesen.....	66
3.6.4 Experimentelle Befunde .....	66
3.6.4.1 Durchführung.....	66
3.6.4.2 Ergebnisse.....	67
<b>4 Diskussion und Verwertungsplan .....</b>	<b>76</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>82</b>

## 1 Forschungsverbund *Leiser Verkehr*

Mobilität beschreibt ein wesentliches Merkmal einer modernen globalen Gesellschaft und ist Basis für wirtschaftlichen Erfolg. Eine zwangsläufige Begleiterscheinung des Mobilitätsverhaltens ist ein starkes Verkehrsaufkommen auf den Straßen, den Schienen und in der Luft. Dieser Verkehr erzeugt Lärm, welcher von der Bevölkerung mit steigender Sensibilität wahrgenommen wird, da er die Leistung, Produktivität und Lebensqualität zu beeinträchtigen vermag und auch gesundheitliche Auswirkungen nicht auszuschließen sind. Um trotz steigenden Verkehrsaufkommens eine Zunahme der Lärmbelastung zu vermeiden, sind innovative Konzepte zur Lärmbekämpfung erforderlich. Vor diesem Hintergrund haben sich unter Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) Partner aus Wirtschaft, Forschung und Behörden im Forschungsverbund *Leiser Verkehr* zusammengeschlossen, um unter Berücksichtigung technischer, operationeller und administrativer Erkenntnisse dem Schutz vor Verkehrslärm neue Impulse zu verleihen [<http://www.fv-leiserverkehr.de/>].

Technische Maßnahmen zur Lärminderung umfassen primär die Reduzierung der emittierten Pegel. Dies allein reicht jedoch nicht aus, da Lärmwirkungen wesentlich von weiteren Parametern, wie z.B. der Art der Schallquelle sowie dem Frequenzspektrum und der zeitlichen Struktur der Geräusche abhängen. Miedema und Koautoren (Miedema & Oudshoorn, 2001; Miedema & Vos, 1998) berichten bspw., dass Flugverkehrslärm bei gleichem Pegel ( $L_{den}$ ) in stärkerem Ausmaß als Belästigung erlebt wird als Straßenverkehrslärm und dieser wiederum belästigender empfunden wird als Schienenverkehrslärm. Im Rahmen der Arbeitsgedächtnisforschung ist ferner die Abhängigkeit lärmbedingter Beeinträchtigungen kognitiver Funktionen von der temporal-spektralen Struktur von Hintergrundschallen belegt (z.B. Hughes & Jones, 2001).

Ziel des Forschungsverbunds *Leiser Verkehr* ist es, auf Basis grundlagenwissenschaftlicher Erkenntnisse, Empfehlungen für zielgerichtete, effektive Lärminderungsmaßnahmen in der Praxis sowie Verfahren zur wirkungsorientierten Bewertung von Verkehrsgeräuschen abzuleiten. Damit treten bedarfs- und anwendungsorientierte Forschungsleistungen in den Vordergrund. In den verschiedenen Arbeitskreisen des Forschungsverbunds werden technische Möglichkeiten zur Reduktion des Schienen-, Straßen- und Luftverkehrslärms sowie allgemeine Verfahren und Methoden zur Schallquellenidentifikation, akustischen Simulation und Prognose der Verkehrslärmausbreitung entwickelt. Der Arbeitskreis Lärmwirkung thematisiert Beeinträchtigungen kognitiver Funktionen bei Erwachsenen und Kindern, psychosoziale Lärmwirkungen, wie die erlebte Belästigung (bei längerfristiger Exposition) und akute Lästigkeit (bei kurzfristiger Exposition) sowie Störungen der akustischen Kommunikation und lärmbedingte Schlafstörungen. Dabei handelt es sich um extraaurale Lärmwirkungen. Diese können nach unmittelbar an die Schallexposition

gekoppelten primären Effekten (z.B. Kommunikations- und Schlafstörungen), dadurch vermittelten sekundären Effekten (z.B. Leistungsbeeinträchtigungen, Belästigung) und langfristigen tertiären Effekten (z.B. Bluthochdruck, kardiovaskuläre Erkrankungen) unterschieden werden. Eine ausführlichere Darstellung extraauraler Lärmwirkungen findet sich bei Griefahn (2000). Im Rahmen des Einzelvorhabens 2221 wird speziell die Wirkung verschiedener Verkehrslärmszenarien auf kognitive Leistungen bei Erwachsenen untersucht. Individuelle Erfahrungen und intuitive Erwartungen legen nahe, dass Lärm bei einer Vielzahl kognitiver Tätigkeiten zu stören vermag. Wissenschaftliche Untersuchungen unterstützen diese Annahme. Neben dem subjektiven Empfinden von Belästigung (Miedema & Oudshoorn, 2001; Miedema & Vos, 1998) sind auch negative Auswirkungen auf verschiedene kognitive Verarbeitungsprozesse belegt (Broadbent, 1979; Hughes & Jones, 2001; Hygge, Boman & Enmarker, 2003; Jones, 1999; Jones & Smith, 1992; Jones & Broadbent, 1991; Matthews, Davies, Westerman & Stammers, 2000; Smith, 1993). Als mögliche Wirkmechanismen werden direkte Interferenzen mit kognitiven Verarbeitungsprozessen, Maskierungseffekte, eine Ablenkung der Aufmerksamkeit sowie eine allgemeine Steigerung der Anspannung und daraus resultierende indirekte Beeinflussung von kognitiven Funktionen diskutiert (vgl. Abschnitt 4).

### **1.1 Aufgabenstellung im Rahmen des Einzelvorhabens 2221**

Gemäß der Antragstellung werden im Rahmen des Einzelvorhabens 2221 die Auswirkungen von spezifischen Modifikationen an Verkehrsgeräuschen auf kognitive Funktionen von erwachsenen Probanden erforscht. Ergänzend werden Daten zum subjektiven Empfinden und zur Befindlichkeit der Testpersonen ausgewertet. Die Untersuchungen werden von den Mitarbeitern der Professur für Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitspsychologie der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt in Kooperation mit der Firma SASS durchgeführt. Die Firma SASS leistet dabei die Auswahl und Bereitstellung der Geräuschszenarien.

Unter kognitiven Funktionen versteht man grundlegende Prozesse der menschlichen Informationsverarbeitung, wie Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Gedächtnis sowie Urteils- und Entscheidungsprozesse. Diese kognitiven Funktionen sind wiederum konstituierende Bestandteile komplexerer Verarbeitungsvorgänge, z.B. beim Lesen und Textverstehen. Lärmbedingte Beeinträchtigungen von grundlegenden kognitiven Funktionen sollten sich daher auch in komplexen, alltagsnahen Aufgabenstellungen niederschlagen. Das Ausmaß lärmbedingter Beeinträchtigungen wird von Persönlichkeitsmerkmalen, wie der individuellen Lärmempfindlichkeit beeinflusst. Des Weiteren sind Lärmeffekte wesentlich durch die bei der Aufgabenbearbeitung involvierten kognitiven Funktionen sowie den Schallpegel und die temporal-spektrale Struktur der dargebotenen Geräusche bestimmt. Im

Rahmen von Lärmschutzmaßnahmen ist es nicht möglich auf individuelle Persönlichkeitseigenschaften Einfluss zu nehmen, wohl aber lassen sich schallspezifische Parameter modifizieren. Daher werden im Rahmen des Einzelvorhabens 2221 unter Bezugnahme auf entsprechende theoretische Hintergründe und empirische Befunde (vgl. Abschnitte 2.1 und 2.2) an Verkehrsgeräuschen spezifische Veränderungen des Schallpegels und der temporal-spektralen Struktur vorgenommen (vgl. Abschnitt 2.3) und im Rahmen eines laborexperimentellen Ansatzes hinsichtlich ihrer Wirkung auf verschiedene kognitive Funktionen (vgl. Abschnitt 3) überprüft. Die ermittelten Ergebnisse werden im Hinblick auf Empfehlungen für Lärminderungsmaßnahmen beim aktiven und passiven Schallschutz diskutiert.

## **1.2 Planung und Durchführung**

Die Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Verkehrslärmszenarien auf die kognitive Leistungsfähigkeit, das subjektive Empfinden und die Befindlichkeit erwachsener Probanden erfolgt im Rahmen der Betrachtung verschiedener basaler kognitiver Funktionen sowie komplexer Aufgabenstellungen (vgl. Abschnitt 3). Zu den untersuchten kognitiven Tätigkeiten zählen Gedächtnis- und Kopfrechenaufgaben, logisches Schlussfolgern, Inhibitionsprozesse sowie verschiedene Aufgabenstellungen zum Lesen und Textverstehen. Neben der Art der bei der Aufgabenbearbeitung involvierten kognitiven Funktionen sind der Schallpegel und temporal-spektrale Aspekte eines Geräusches wesentliche Bestimmungsgrößen von Lärmeffekten (vgl. Abschnitt 2). Demgemäß werden an verschiedenen Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen gezielte Modifikationen dieser Parameter vorgenommen und die resultierende Schalle hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Bearbeitung verschiedener Aufgabenstellungen den unveränderten Geräuschen sowie Ruhe und Sprachschallen gegenübergestellt. Der Vergleich mit Ruhebedingungen dient der Quantifizierung der Effekte. Um die Eignung des Untersuchungsansatzes sicherzustellen ist es außerdem notwendig die Wirkung der Verkehrsgeräusche Schallbedingungen gegenüberzustellen, die bekanntermaßen einen Effekt erzielen. Sprachschalle verfügen erfahrungsgemäß über das größte Störpotential. Durch diese Vergleiche können die Untersuchungsergebnisse im Falle des Ausbleibens eines Effekts unter den Verkehrsschallbedingungen und gleichzeitig nachweislicher Wirkung der Sprachschalle gegen eine mangelnde Teststärke abgesichert werden. Unter Berücksichtigung grundagentheoretischer und untersuchungspraktischer Aspekte ergeben sich fünf Arbeitspakete deren Inhalte in Abschnitt 3 eingehend beschrieben werden. Zuvor wird im Rahmen der Darstellung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes, der Untersuchungsansätze und Hypothesen auf das Konstrukt des Arbeitsgedächtnisses (vgl. Abschnitt 2.1) sowie mögliche Lärmwirkungsmechanismen (vgl. Abschnitt 2.2) und daraus

abgeleitete, potentiell wirksame Modifikationen an Verkehrsschallen (vgl. Abschnitt 2.3) eingegangen.

## **2 Wissenschaftlicher Kenntnisstand und Untersuchungsansätze**

### **2.1 Arbeitsgedächtnis**

Das Konstrukt des Arbeitsgedächtnisses beschreibt ein kognitives System, das verschiedene funktionelle Komponenten beinhaltet, mit deren Hilfe eingehende Informationen vorübergehend gespeichert, organisiert, manipuliert und zum weiteren Gebrauch in die bestehende Wissensbasis integriert werden. Zusätzlich beinhaltet das Arbeitsgedächtnis Kontroll- und Steuerungsfunktionen, die es dem Individuum ermöglichen die Aufmerksamkeit auf neuartige oder bestimmte Informationen auszurichten und zugleich irrelevante Informationen zu unterdrücken. Es leistet außerdem die Aktivierung von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis, die für eine gegebene Situation von Bedeutung sind und unterstützt somit die Bewältigung verschiedenster alltäglicher Anforderungen. Man geht davon aus, dass das Arbeitsgedächtnis an einer Vielzahl kognitiver Leistungen, wie z.B. dem Kopfrechnen oder dem Lesen und Textverstehen beteiligt ist (Baddeley, 2000, 2002; Baddeley & Logie, 1999). Im Rahmen des Working Memory Model (Baddeley, 2000, 2002; Baddeley, 1986; Baddeley & Logie, 1999) wird das Arbeitsgedächtnis in drei separate Speichersysteme, nämlich für phonologische (*Phonologische Schleife*), visuell-räumliche (*Visuell-räumlicher Skizzenblock*) und semantische Informationen (*Episodischer Speicher*) sowie eine zentrale Steuerungseinheit (*Zentrale Exekutive*) unterteilt. Die einzelnen Komponenten können bei der Bearbeitung verschiedener Aufgabenstellungen kombiniert zum Einsatz kommen (Baddeley, 2000, 2002), sie verfügen aber nur über eine begrenzte Kapazität. Daher müssen die vorhandenen Ressourcen bei der simultanen Verarbeitung von Informationen aufgeteilt werden. Ist es notwendig Ressourcen zur Bearbeitung einer Nebenaufgabe oder zur Unterdrückung irrelevanter Informationen einzusetzen, stehen diese nicht mehr für die Lösung einer Hauptaufgabe zur Verfügung.

### **2.2 Wirkmechanismen**

#### **2.2.1 Direkte Interferenz**

Eine mögliche Form der Beeinträchtigung kognitiver Funktionen durch Lärm besteht in einer direkten Interferenz zwischen den mentalen Vorgängen bei der Verarbeitung der dargebotenen Schalle und aufgabenspezifischen Leistungen des Arbeitsgedächtnisses, wie sie z.B. im Rahmen des *Irrelevant Sound Effect* belegt ist. Unter dem Irrelevant Sound Effect versteht man eine hintergrundschaallbedingte Beeinträchtigung der Kapazität des verbalen Arbeitsgedächtnisses. Das kurzzeitige Erinnern von Sequenzen sowohl visuell als auch

auditiv präsentierter Stimuli (*Serial Recall Aufgabe*) wird durch die Darbietung bestimmter Schalle im Vergleich zur Aufgabenbearbeitung in ruhiger Umgebung gestört. Dieser Effekt ist zuverlässig nachweisbar obwohl die Probanden dazu angehalten sind, den für die Erinnerungsaufgabe irrelevanten Hintergrundscharll nicht zu beachten. Die wesentliche Bestimmungsgröße für das Ausmaß der durch die Darbietung von Hintergrundscharll zu erwartenden Beeinträchtigung stellt die temporal-spektrale Struktur eines Geräuschs dar. Temporal-spektral stark veränderliche Schalle wie Sprache oder Musik mit ausgeprägten Stakkato-Passagen besitzen im Gegensatz zu gleichförmigen Signalen wie stetigem Breitbandrauschen das größte Störpotential. Man spricht in diesem Zusammenhang vom *Changing State* bzw. *Steady State Charakter* eines Schalls (Hughes & Jones, 2001). Die in der Literatur nachgewiesenen Leistungsminderungen schwanken zwischen 5% bis 50% (Neath, 2000). Die Darbietung des irrelevanten Hintergrundscharlls kann dabei sowohl gleichzeitig mit der Präsentation der zu erinnernden Items als auch danach erfolgen (Macken, Mosdell & Jones, 1999; Norris, Baddeley & Page, 2004). Eine Gewöhnung an die Störung ist nicht möglich (Hellbrück, Kuwano & Namba, 1996; Jones, Macken & Mosdell, 1997). Des Weiteren ist der Irrelevant Sound Effect unabhängig vom Pegel (Ellermeier & Hellbrück, 1998) und der Bedeutungshaltigkeit (Klatte, Kilcher & Hellbrück, 1995; Tremblay, Nicholls, Alford & Jones, 2000) der dargebotenen Schalle. Er kann neben sprachlichen ebenso durch nichtsprachliche Reize und Nichtwörter hervorgerufen werden (Klatte et al., 1995; Salamé & Baddeley, 1982). Auch Verkehrslärm mit starker akustischer Variabilität vermag Leistungen des verbalen Arbeitsgedächtnisses zu beeinträchtigen (Hygge et al., 2003). Die Ursache für das Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect wird im Arbeitsgedächtnis lokalisiert. Im Rahmen des Working Memory Model (vgl. Abschnitt 2.1) werden Interferenzen im verbalen Arbeitsgedächtnis bzw. in der phonologischen Schleife zwischen den zu behaltenden Informationen und dem durch den Hintergrundscharll vermittelten irrelevanten Material als Grund angenommen. Demzufolge ist zu erwarten, dass alle Aufgabenstellungen, die wie die Serial Recall Aufgabe unter Beteiligung des verbalen Arbeitsgedächtnisses gelöst werden, sensitiv gegenüber Störungen durch Schalle mit ausgeprägter temporal-spektraler Variabilität sind.

### **2.2.2 Steigerung des Arousal**

Unter *Arousal* versteht man das allgemeine Erregungsniveau eines Organismus, das sich in einer unspezifischen kortikalen Aktivierung ausdrückt. Sensorische Impulse (z.B. Lärm) vermögen das Arousal zu beeinflussen (Matthews et al., 2000). Bereits zu Beginn des letzten Jahrhunderts wurde das sog. *Yerkes-Dodson Gesetz* formuliert (Yerkes & Dodson, 1908). Dieses postuliert einen umgekehrt U-förmigen Zusammenhang zwischen dem Leistungs- und Erregungsniveau eines Organismus. Des Weiteren wird ein gegensinniges Verhältnis zwischen der Komplexität einer Arbeitsaufgabe und dem zur Bewältigung der

Aufgabenstellung idealen Erregungsniveau angenommen. Demzufolge wirkt sich eine Steigerungen des Arousal bei einfachen Tätigkeiten, wie monotonen Überwachungsaufgaben, zunächst positiv auf die Leistung aus. Bei komplexeren Kontroll-, Planungs- und Inhibitionsaufgaben oder Aufgabenstellungen die den kombinierten Einsatz verschiedener kognitiver Grundfunktionen erfordern, ist im Zuge einer Steigerung des Arousal hingegen eine Beeinträchtigung der Leistung anzunehmen. Als mögliche Erklärung wird in diesem Zusammenhang eine arousalbedingte Einengung bzw. stärkere Selektivität (Easterbrook, 1959) des Aufmerksamkeitsfokus angeführt. Beeinträchtigungen komplexer Aufgabenstellungen sind demnach darauf zurückzuführen, dass zu deren Lösung im Gegensatz zu einfachen Aufgaben meist der geteilte Einsatz der Aufmerksamkeit notwendig ist, welcher aufgrund der arousalbedingten Zunahme der Selektivität bzw. Einengung des Aufmerksamkeitsfokus nicht mehr geleistet werden kann (Easterbrook, 1959). In vergleichbarer Weise geht Hockey (1970) auf Grundlage empirischer Befunde davon aus, dass eine hintergrundschaalbedingte Zunahme des Arousal bei der Bearbeitung von Doppelaufgaben zu einer Umverteilung der Aufmerksamkeitsressourcen und zu einer Bevorzugung der Primäraufgabe bei gleichzeitiger Vernachlässigung der Sekundäraufgabe führt. Als weitere mögliche Folge eines Anstiegs des Arousal wird ein Verlust der Balance zwischen der Geschwindigkeit und der Genauigkeit der Aufgabenbearbeitung diskutiert, welcher sich in einer höheren Bearbeitungsgeschwindigkeit und gleichzeitig steigenden Fehlerrate manifestiert (Kahneman, 1973; Rabbit, 1979). Man spricht in diesem Zusammenhang von einem sog. Speed-Accuracy Trade-Off. Im Rahmen des Working Memory Model (vgl. Abschnitt 2.1) werden die beschriebenen Aufmerksamkeits- und Kontrollprozesse mit der zentralen Exekutive in Zusammenhang gebracht. Sie leistet Steuerungs- und Aufmerksamkeitsfunktionen und scheint sensitiv für Änderungen des individuellen Erregungsniveaus zu sein. Das Arousal kann auf unterschiedliche Weise, z.B. durch die Steigerung des Pegels eines dargebotenen Schalls beeinflusst werden. Des Weiteren scheint die Präsentation von tieffrequentem Schall (bis 250 Hz bzw. 500 Hz) zu einem stärkeren Anstieg des Arousal zu führen als die Darbietung von höherfrequentem Schall. Es existieren Hinweise, wonach Geräusche von 50 Hz und 250 Hz im Vergleich zu 1 kHz bei Schlafuntersuchungen trotz subjektiv gleicher Lautheit ein höheres Erregungsniveau (operationalisiert mittels EEG) hervorrufen (LeVere, Morlock, Thomas & Hart, 1974). Ebenso werden tieffrequente Geräusche bei identischem Pegel als lästiger beurteilt (Berglund, Hassmen & Job, 1996). In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass im Rahmen von Lärmmessungen konventionsgemäß meist A-bewertete Pegel zu Grunde gelegt werden. Die Verwendung unterschiedlicher Filterfunktionen (A-, B-, C-Filter) trägt der Frequenzabhängigkeit des menschlichen Gehörs Rechnung. Die A-Bewertung erscheint im Rahmen von Lärmmessungen im Grunde ungeeignet, da sie die Frequenzabhängigkeit des Gehörs



bei niedrigen Pegeln nachbildet und dadurch tieffrequente Geräuschanteile untergewichtet werden. Dagegen ist jedoch anzunehmen, dass gerade laute und tieffrequente Geräusche, wie Verkehrsschalle, bei komplexen kognitiven Tätigkeiten vermittelt über eine Steigerung des allgemeinen Erregungsniveaus Leistungsbeeinträchtigungen hervorrufen.

## **2.3 Schallstimuli und Einflussgrößen**

Die temporal-spektrale Variabilität, der Pegel und der Anteil tiefer Frequenzen stellen kritische Schallmerkmale für das Zustandekommen von Störwirkungen bezüglich bestimmter kognitiver Funktionen dar. In den nachfolgend vorgestellten Untersuchungen werden an Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen gezielte Modifikationen der genannten Parameter vorgenommen und diese Schalle während der Bearbeitung verschiedener Aufgabenstellungen dargeboten. Die modifizierten Geräusche werden hinsichtlich ihrer beeinträchtigenden Wirkung unveränderten Schallen sowie Sprach- und Ruhebedingungen gegenübergestellt. Die Art der an den Verkehrsgeräuschen durchgeführten Modifikationen wird im Anschluss näher erläutert.

### **2.3.1 Temporal-spektrale Struktur**

Wie berichtet (vgl. Abschnitt 2.2.1), ist im Zusammenhang mit dem Irrelevant Sound Effect die temporal-spektrale Struktur von Schallen die wesentliche Bestimmungsgröße für das Ausmaß der durch die Darbietung von Hintergrundschall zu erwartenden Beeinträchtigung des Arbeitsgedächtnisses. Daher werden Verkehrsgeräuschaufnahmen mit unterschiedlich ausgeprägter Pausenstruktur generiert<sup>1</sup>, um Auswirkungen einer Veränderung der temporal-spektralen Struktur näher zu beleuchten. Die Modifikation der temporal-spektralen Struktur wird anhand unterschiedlicher Verkehrsdichten realisiert. Hierzu werden Einzelaufnahmen von Straßenverkehrsgeräuschen in verschiedenem Umfang aneinander gereiht. Die Simulation einer Verkehrsdichte von 2000 PKW pro Stunde ergibt ein relativ gleichmäßig fließendes Geräusch, wohingegen bei nur 100 PKW pro Stunde ein Geräusch mit erheblich stärker ausgeprägter Pausenstruktur entsteht, das durch deutliche Pegelspitzen und Ruhepausen gekennzeichnet ist. Um den Einfluss des Schallpegels konstant zu halten werden Geräusche mit gleichem Mittelungspegel (60 dB(A)) dargeboten. Zur Kennzeichnung der beiden Schallszenarien werden im Folgenden die Bezeichnungen *2000-60* (2000 PKW pro Stunde bei 60 dB(A)) bzw. *100-60* (100 PKW pro Stunde bei 60 dB(A)) verwendet. Gemäß den beschriebenen theoretischen Hintergründen ist zu erwarten, dass das Geräusch mit stärker ausgeprägter Pausenstruktur (*100-60*) eine größere Beeinträchtigung von Arbeitsgedächtnisleistungen bedingt als der Verkehrsschall mit gleichmäßigerer temporal-spektraler Struktur (*2000-60*).

---

<sup>1</sup> Die Erstellung bzw. Simulation sämtlicher Geräuschszenarien erfolgt durch die Firma SASS

### 2.3.2 Schallpegel

An den eingesetzten Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen werden zudem Modifikationen der Schallpegel vorgenommen, um die Wirkung dieses Parameters auf das allgemeine Erregungsniveau zu überprüfen. Bei zunehmendem Pegel ist mit einem Anstieg des Arousal zu rechnen, in Folge dessen unter Bezugnahme auf das Yerkes-Dodson Gesetz (vgl. Abschnitt 2.2.2) bei komplexen Aufgaben sowie bei Planungs- und Kontrolltätigkeiten Leistungsbeeinträchtigungen zu erwarten sind. Zur Untersuchung der Auswirkungen von Modifikationen des Pegels wird das bereits beschriebene Straßenverkehrsgeräusch mit einer Verkehrsdichte von 2000 Vorbeifahrten pro Stunde eingesetzt. Computergestützt (Artemis 6.0.200, HEAD acoustics GmbH) werden Varianten dieses Schalls mit unterschiedlichen Pegeln generiert, die im Folgenden unter den Bezeichnungen *2000-70* ( $L_{eq} = 70$  dB(A)), *2000-65* ( $L_{eq} = 65$  dB(A)), *2000-60* ( $L_{eq} = 60$  dB(A)), und *2000-50* ( $L_{eq} = 50$  dB(A)) geführt werden.

Im Rahmen der Untersuchung von Schienenverkehrsgeräuschen wird analog vorgegangen. Dabei kommen in schneller Folge (Pause ca. 1-2 Sekunden) aneinander gereihte Aufnahmen von einzelnen Zugvorbeifahrten unterschiedlicher Zugtypen (ICE, Güterzug, RE) zum Einsatz, die bezüglich ihrer Pegelverläufe den Straßenverkehrsschallen vergleichbar sind. Auf diese Weise entstehen Schalle, die nur kurze starke Pegelschwankungen zwischen an- und abschwelenden Vorbeifahrten aufweisen. Dieses Vorgehen wird gewählt, da im Falle der Darbietung vereinzelter Zugvorbeifahrten die Bearbeitung der Testaufgaben zum Großteil in den Pausen zwischen den Vorbeifahrten der Züge und damit unter Ruhe erfolgen würde. In Folge dessen wären die Effekte der Darbietung von Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen kaum vergleichbar. Die Pegel der Schienenverkehrsgeräusche werden ebenfalls computergestützt (Artemis 6.0.200, HEAD acoustics GmbH) variiert. Dadurch entstehen Geräusche mit einem Mittelungspegel von 70 dB(A) und 60 dB(A), die im Folgenden unter den Bezeichnungen *Schiene-70* und *Schiene-60* geführt werden.

### 2.3.3 Tiefe Frequenzanteile

Es werden auch Auswirkungen von Modifikationen des Frequenzspektrums von Verkehrsgeräuschen untersucht. Wie bereits dargelegt wurde, ist anzunehmen, dass tieffrequente Geräusche, vermittelt über eine Steigerung des Arousal, komplexe Aufgaben sowie Planungs- und Kontrolltätigkeiten beeinträchtigen. Straßenverkehrsgeräusche sind in Anfahr-situationen und bei Vorbeifahrten mit einer Geschwindigkeit von 20-50 km/h vornehmlich durch Motoren- und Mündungsgeräusche der Abgasanlage geprägt. Dabei dominieren vor allem tiefe Frequenzanteile in einem Bereich zwischen 50 Hz und 500 Hz (Bisping, 2005; Klingenberg, 1991). Ausgeprägte tiefe Frequenzanteile verleihen Fahrzeuggeräuschen eine brummige Klangcharakteristik. Schienenverkehrsgeräusche zeichnen sich ebenfalls durch

stark ausgeprägte tiefe Frequenzanteile aus. Diese resultieren aus Radschwingungen, Rad-Schiene Interaktionen und Schienen-Schwellenschwingungen (Working Group Railway Noise on the European Commission, 2003). Möglichkeiten zur Reduktion tiefer Frequenzanteile (unter 500 Hz) bestehen von Seiten der Fahrzeugindustrie zum einen durch Eingriffe ins Motormanagement. Dadurch sind bei Pkw Absenkungen um mehrere dB möglich (Klingenberg, 1991). Des Weiteren ließe sich durch Maßnahmen wie den Einsatz von Ausgleichswellen am Motor, die Ausbreitung tiefer Frequenzen über Motor, Getriebe, Karosserie, Motorlager sowie Ansaug- und Abgastrakt um bis zu 6 dB reduzieren (Bisping, 2005). Dadurch ergäbe sich trotz unverändertem A-bewerteten Pegel eine geringere Lautheit in Sone. Auch hinsichtlich des Schienenverkehrslärms sind durch Modifikationen an Schienen und Rädern Absenkungen der Pegel im Frequenzbereich unter 220 Hz denkbar (Working Group Railway Noise on the European Commission, 2003). Um den Nachweis der Wirksamkeit einer Reduzierung tieffrequenter Geräuschanteile als Lärminderungsmaßnahme vor dem Hintergrund der allgemeinen Messvarianz zu gewährleisten, werden in den folgenden Untersuchungen Absenkungen tieffrequenter Geräuschanteile um 12 dB zu Grunde gelegt. Die Wirksamkeit dieser Modifikation vorausgesetzt ist anzunehmen, dass bereits eine technisch realisierbare Absenkung um 6 dB eine erhebliche Verbesserung der Lärmbelastung exponierter Personen darstellt. Die Straßenverkehrsgeräusche werden unterhalb von 500 Hz, die Schienenverkehrsgeräusche unterhalb von 220 Hz jeweils um 12 dB abgesenkt<sup>2</sup>. Diese modifizierten Geräusche werden im Folgenden unter den Bezeichnungen *2000-70-12* (Straßenverkehrsgeräusch mit 2000 Durchfahrten pro Stunde;  $L_{eq} = 70$  dB(A); unterhalb von 500 Hz um 12 dB reduziert) und *Schiene-70-12* (Schienenverkehrsgeräusch;  $L_{eq} = 70$  dB(A); unterhalb von 220 Hz um 12 dB reduziert) geführt. Des Weiteren kommen Simulationen von Ampelstarts mit hohem LKW-Anteil zum Einsatz. Der ungefilterte LKW-Ampelstart wird im Folgenden als *LKW-70* (LKW-Ampelstart,  $L_{eq} = 70$  dB(A)) und die im tieffrequenten Bereich abgesenkte Version als *LKW-70-12* (LKW-Ampelstart,  $L_{eq} = 70$  dB(A); unterhalb von 500 Hz um 12 dB reduziert) bezeichnet. Zur Begründung und Beschreibung der Geräuschauswahl und Filterfunktionen sei auf den Endbericht der Firma SASS verwiesen. Eine Absenkung der tiefen Frequenzanteile führt bei identischem A-bewerteten Pegel zu einer geringeren Lautheit der Geräusche in Sone. Folglich kann im Falle des Nachweises unterschiedlicher Effekte beim Vergleich der unveränderten und der modifizierten Versionen der Verkehrsgeräusche nicht eindeutig entschieden werden, ob diese auf die Lautheit oder das Frequenzspektrum zurückzuführen sind. Aus diesem Grund werden in zwei Experimenten zusätzliche Varianten der Straßenverkehrsgeräusche eingesetzt, anhand derer diese Differenzierung möglich ist. Hierzu wird das unveränderte Straßenverkehrsgeräusch (*2000-70*) computergestützt der

---

<sup>2</sup> FFT-Filterung mit 50% Overlap und 186 ms Fensterlänge

Lautheit des im tieffrequenten Bereich abgesenkten Schalls (*2000-70-12*) angeglichen und in der Untersuchung unter der Bezeichnung *2000-70-abgesenkt* geführt. Umgekehrt wird auch der im tieffrequenten Bereich reduzierte Straßenverkehrsschall (*2000-70-12*) der Lautheit des unveränderten Straßenverkehrsschalls (*2000-70*) angepasst und unter der Bezeichnung *2000-70-12-erhöht* näher untersucht.

### 2.3.4 Kontrollbedingungen

Um die Eignung des Untersuchungsansatzes zu belegen, ist ferner der Vergleich der Wirkung der Verkehrsgeräusche mit Schallbedingungen notwendig, die bekanntermaßen einen Effekt hervorrufen. Sprachschall verfügt erfahrungsgemäß über das größte Störpotential. Daher werden die eingesetzten Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche hinsichtlich ihrer Wirkung muttersprachlichem (*Sprecher-dt.-60*, *Sprecher-dt.-70*) und fremdsprachlichem Schall (*Sprecher-jpn.-60*) sowie Ruhe (*Ruhe-24*, *Ruhe-35*) gegenübergestellt. Das Ausbleiben eines Effekts in den Verkehrsgeräuschbedingungen kann so bei gleichzeitig nachweislich beeinträchtigender Wirkung der Sprachschalle im Vergleich zu Ruhe gegen eine mangelnde Teststärke abgesichert werden.

Tabelle 1 zeigt eine Zusammenschau der im Rahmen der Untersuchungen eingesetzten Geräuschszenarien. Sämtliche Geräusche werden von der Firma SASS erstellt. Zur Begründung der Geräuschauswahl und Filterfunktionen wird daher auf den Endbericht der Firma SASS verwiesen.

**Tabelle 1: Zusammenschau der in den Untersuchungen eingesetzten Schallbedingungen**

Bezeichnung	Beschreibung	L <sub>eq</sub> in dB(A)	Lautheit in Sone
<i>100-60</i>	100 PKW Vorbeifahrten pro Stunde	60	14
<i>2000-50</i>	2000 PKW Vorbeifahrten pro Stunde	50	7
<i>2000-60</i>	2000 PKW Vorbeifahrten pro Stunde	60	15
<i>2000-65</i>	2000 PKW Vorbeifahrten pro Stunde	65	20
<i>2000-65-12</i>	2000 Vorbeifahrten pro Stunde, unter 500 Hz um 12 dB abgesenkt	65	17
<i>2000-70</i>	2000 PKW Vorbeifahrten pro Stunde	70	28
<i>2000-70-12</i>	2000 Vorbeifahrten pro Stunde, unter 500 Hz um 12 dB abgesenkt	70	22

<i>2000-70-abgesenkt</i>	2000 Vorbeifahrten pro Stunde, der Lautheit von 2000-70-12 angepasst	66	22
<i>2000-70-12-erhöht</i>	2000 Vorbeifahrten pro Stunde, unter 500 Hz um 12 dB abgesenkt, der Lautheit von 2000-70 angepasst	73	28
<i>Schiene-60</i>	Diverse Zugvorbeifahrten	60	13
<i>Schiene-70</i>	Diverse Zugvorbeifahrten	70	26
<i>Schiene-70-12</i>	Diverse Zugvorbeifahrten, unter 220 Hz um 12 dB abgesenkt	70	24
<i>LKW-70</i>	LKW-Ampelstartsituation	70	28
<i>LKW-70-12</i>	LKW-Ampelstartsituation unter 500 Hz um 12 dB abgesenkt	70	25
<i>Sprecher-dt.-60</i>	Deutscher Sprecher liest Briefe von Georg Büchner	60	15
<i>Sprecher-dt.-70</i>	Deutscher Sprecher über Wetterphänomene	70	24
<i>Sprecher-jpn.-60</i>	Mitschnitt einer Vorlesung in japanischer Sprache	60	13
<i>Ruhe-24</i>	Ruhepegel Schallkabine	24	0,5
<i>Ruhe-35</i>	Ruhepegel Experimentalraum	35	1,5

## 2.4 Statistische Vorgehensweise

Die statistische Auswertung der durchgeführten Untersuchungen folgt jeweils dem im Anschluss dargestellten Vorgehen. Abweichungen von der beschriebenen Verfahrensweise werden, wenn vorgenommen, in den spezifischen Abschnitten beschrieben. Als abhängige Variablen werden die Fehlerraten und Bearbeitungszeiten der einzelnen Aufgabenstellungen sowie Daten zum subjektiven Empfinden und der Befindlichkeit der Probanden erfasst. Entsprechend üblicher Konvention werden Effekte, deren  $\alpha$ -Fehler Wahrscheinlichkeit kleiner als 5% bzw. 1% ist, als signifikant bzw. hochsignifikant bezeichnet. Die Auswertung erfolgt zunächst stets varianzanalytisch. Dabei wird bei signifikanten Ergebnissen als Kenngröße für die Effektstärke das *partielle*  $\eta^2$ , also das Verhältnis zwischen der auf den Faktor entfallenden Varianz und der Summe aus dieser Varianz und der Fehlervarianz des entsprechenden Faktors, angegeben. Die Homogenität der Fehlervarianzen von between-subject Faktoren wird mittels des *Levene-Tests* überprüft. Bei gleich großem Stichprobenumfang wird auch bei einem signifikanten Ergebnis des Levene-Tests die

varianzanalytische Auswertung fortgesetzt, da das Verfahren in diesem Fall robust gegenüber einer solchen Verletzung der Voraussetzungen für seine Durchführung ist (Roberts & Russo, 1999). Bei ungleichen Stichprobengrößen wird auf den nonparametrischen Kruskal-Wallis Test ausgewichen. Des Weiteren wird zur varianzanalytischen Auswertung bei nicht metrisch skalierten Daten der nonparametrische Friedman-Test eingesetzt. Die Varianzhomogenität von within-subject Faktoren mit mehr als zwei Faktorstufen wird mittels des Mauchly-Test auf Sphärizität geprüft. Stellt sich hierbei ein signifikantes Ergebnis ein, wird nach üblicher Konvention eine Korrektur der Freiheitsgrade der Varianzanalyse nach Greenhouse-Geisser durchgeführt, wenn der entsprechende Referenzwert ( $\epsilon < .75$ ) unterschritten wird. Die weitere Auswertung erfolgt mittels t-Tests für unabhängige oder abhängige Stichproben (bei nicht intervallskalierten Daten mittels Wilcoxon-Test bzw. Mann-Whitney U-Test). Es werden stets die unterschiedlichen Hintergrundschalle der Ruhebedingung gegenübergestellt (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen). Damit ist die Anzahl a priori festgelegter Vergleiche geringer ( $n-1$ ) als die Anzahl der Stufen des Faktors *Schallbedingung* ( $n$ ). Auf eine Korrektur des Alphafehlerniveaus kann in diesem Fall verzichtet werden (Roberts & Russo, 1999). Zusätzliche Vergleiche werden, wenn vorgenommen, an entsprechender Stelle berichtet.

### **3 Operationalisierungen, Hypothesen und Ergebnisse**

In den nachfolgenden Abschnitten werden die im Rahmen der durchgeführten Experimente gewählten Operationalisierungen unter besonderer Berücksichtigung spezifischer Anknüpfungspunkte zum Thema Verkehrslärm beschrieben und darauf aufbauend die Untersuchungshypothesen der einzelnen Arbeitspakete abgeleitet. Jeweils im Anschluss an die spezifischen Themenstellungen erfolgt die Darstellung der zugehörigen experimentellen Untersuchungen und Befunde.

In den Modulen I (Abschnitt 3.2) und II (Abschnitt 3.3) werden Aufgaben vorgestellt, zu deren Lösung spezifische, separierbare kognitive Funktionen notwendig sind, während die in Modul III (Abschnitt 3.4) beschriebenen Aufgabenstellungen des kombinierten Einsatzes dieser kognitiven Funktionen bedürfen. In Modul IV (Abschnitt 3.5) werden sowohl spezifische als auch komplexe kognitive Prozesse des Lesens und Textverstehens thematisiert. Modul V (Abschnitt 3.6) schließt die Betrachtungen mit der Darstellung subjektiv empfundener Lärmwirkungen ab.

Bevor auf die einzelnen Themenkomplexe eingegangen wird erfolgt vorab die Beschreibung allgemeingültiger Aspekte der verschiedenen Untersuchungen.

### **3.1 Allgemeine Aspekte der durchgeführten Untersuchungen**

Die Präsentation der verschiedenen Aufgabenstellungen erfolgt mittels der Experimentiersoftware PsyScope 1.2.5 (Cohen, MacWhinney, Flatt & Provost, 1993) bzw. ERTS (Dr. Beringer, BeriSoft Cooperation), auf einem Laptop (Macintosh iBook G3) oder PC (Pentium I PC, Pentium IV PC). Reaktionen der Probanden werden mit Hilfe der Tastatur, Mikrofon (Sennheiser K3) und Voice Key (Psyscope Button Box, New Micros) oder mit Protokollbögen erfasst. Die Schallstimuli werden mittels Computer (Macintosh iBook G3, Pentium IV PC), DAT-Band (Sony Digital Audio Tape Deck DTC-2E700) oder anhand eines CD Spielers (Sony CDP-103) sowie angeschlossenen Verstärkers (AKAI AM-49) über Kopfhörer (Sennheiser HD 600) oder über Lautsprecher (Surf Sound 30, Westra LAB-501, Genelec 1030A; Genelec 7070A) dargeboten. Die Pegel der Schalle werden mit Hilfe eines künstlichen Ohrs (Brüel & Kjaer 4153) und Schallpegelmessers (Brüel & Kjaer 2231) oder NoiseBook (NoiseBook 2.0, HEAD acoustics GmbH) kalibriert. Die Aufgabenbearbeitung absolvieren die Testpersonen in einer schallarmen Akustikkabine (Industrial Acoustics Company (IAC)) oder in einem ruhig gelegenen Laborraum. Sie sitzen dabei in einem Abstand von ca. 45 cm vor dem Bildschirm. Die Teilnahme erfolgt freiwillig in Reaktion auf Versuchsankündigungen durch Aushänge an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt. Studierende der Fachrichtung Diplom-Psychologie erhalten für ihr Mitwirken eine Bescheinigung über abgeleistete Versuchspersonenstunden, welche im Rahmen des Studiengangs zu erbringen sind. Studierende anderer Fakultäten bzw. Studierende der Psychologie, die keine Teilnahmebescheinigung mehr benötigen, bekommen für ihre Mitarbeit pro Stunde 5 € vergütet. Alle Teilnehmer berichten zum Zeitpunkt der Untersuchung über ein normales bzw. korrigiertes Sehvermögen und über ein normales Hörvermögen.

### **3.2 Modul I: Serielles Erinnern**

Das Arbeitsgedächtnis ist von zentraler Bedeutung für die Bewältigung verschiedenster alltäglicher Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.1). Häufig ist es notwendig serielle Informationen in der richtigen Reihenfolge vorübergehend zu speichern. Beim Behalten einer Telefonnummer bedarf es z.B. des Erinnerns der korrekten Abfolge einzelner Ziffern. Ebenso ist es bspw. beim Textverstehen notwendig, einzelne Satzglieder in der richtigen Reihenfolge zu erinnern, um den Sinn eines Satzes korrekt zu erfassen. Diese Funktion des Arbeitsgedächtnisses kann, wie im Rahmen der Beschreibung des Irrelevant Sound Effect bereits dargestellt wurde (Abschnitt 2.2.1), durch die Darbietung von Hintergrundschall mit ausgeprägter akustischer Variabilität unmittelbar beeinträchtigt werden (Hughes & Jones, 2001). Im Folgenden werden daher die Auswirkungen von Verkehrslärm auf das serielle Erinnern näher beleuchtet.

### **3.2.1 Theoretischer Hintergrund**

Der Irrelevant Sound Effect beschreibt die hintergrundschaallbedingte Beeinträchtigung der Kapazität des verbalen Arbeitsgedächtnisses. Das kurzzeitige Erinnern von Sequenzen sowohl visuell als auch auditiv präsentierter Stimuli wird durch die Darbietung von Geräuschen mit ausgeprägter temporal-spektraler Variabilität im Vergleich zur Aufgabebearbeitung in ruhiger Umgebung gestört. Der Effekt ist unabhängig vom Pegel sowie der Bedeutungshaltigkeit der dargebotenen Hintergrundschaall und außerdem nicht habituierbar (vgl. Abschnitt 2.2.1). Im Rahmen des Working Memory Model (vgl. Abschnitt 2.1) wird der Irrelevant Sound Effect auf Interferenzen im verbalen Arbeitsgedächtnis zwischen den zu behaltenden Informationen und dem durch den Hintergrundschaall vermittelten irrelevanten Material zurückgeführt (vgl. Abschnitt 2.2.1). Da die temporal-spektrale Variabilität von Hintergrundschaallen als Ursache für das Zustandekommen des Irrelevant Sound Effect angesehen wird, sollten auch Verkehrsgeräusche mit entsprechender akustischer Variabilität eine Beeinträchtigung des seriellen Erinnerns hervorrufen. Diese Annahme wird im Folgenden unter Einsatz der bereits vorgestellten Schallszenarien (vgl. Abschnitt 2.3) im Rahmen einer visuellen und auditiven Variante der Serial Recall Aufgabe überprüft.

### **3.2.2 Operationalisierung**

#### **3.2.2.1 Serial Recall: Visuelle Variante**

Die Serial Recall Aufgabe erfordert das serielle Erinnern und die Wiedergabe einer Folge (üblicherweise 6 bis 9) von Ziffern oder Buchstaben. In der visuellen Variante werden die Items den Probanden sukzessive auf einem Bildschirm präsentiert. Nach einem der Darbietung folgenden Behaltensintervall gilt es die Items der Gedächtnisaufgabe in der richtigen Reihenfolge zu reproduzieren. Diese Aufgabenstellung ist äußerst sensitiv gegenüber Störungen durch temporal-spektral veränderliche Hintergrundschaall (Ellermeier & Hellbrück, 1998; Klatt et al., 1995). In der Regel resultiert ein Anstieg der Fehlerrate von 5% bis 50% (Neath, 2000).

#### **3.2.2.2 Serial Recall: Auditive Variante**

Der Irrelevant Sound Effect ist nicht auf die visuelle Präsentation der Gedächtnisaufgabe beschränkt, sondern auch bei auditiver Darbietung nachweisbar (Campbell, Beaman & Berry, 2002; Schlittmeier, 2005). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird daher ebenfalls die Generalisierbarkeit der Wirkung von Verkehrsgeräuschen auf das serielle Erinnern auditiv präsentierter Items untersucht. Dabei ist dafür Sorge zu tragen, dass es sich im Falle des Zustandekommens von Störwirkungen tatsächlich um einen Irrelevant Sound Effect und nicht um einen Artefakt vermehrter Höranstrengung oder um Maskierungseffekte



handelt. Dies kann durch die Kontrolle der Sprachverständlichkeit bei der Darbietung von Hintergrundschallen gewährleistet werden.

### **3.2.3 Hypothesen**

Auf Basis der beschriebenen theoretischen Hintergründe ist davon auszugehen, dass das serielle Erinnern im Rahmen einer Serial Recall Aufgabe, unabhängig von der Darbietungsmodalität (visuell vs. auditiv) der Aufgabenstellung, durch die Präsentation von Hintergrundschallen mit ausgeprägter temporal-spektraler Variabilität beeinträchtigt wird. Folglich ist sowohl bezüglich der visuellen als auch der auditiven Variante der Serial Recall Aufgabe mit einem Anstieg der Fehlerraten unter Darbietung von Sprachschall sowie von Verkehrsgeräuschen mit ausgeprägter temporal-spektraler Variabilität (geringe Verkehrsdichte) zu rechnen. Aufgrund der Unabhängigkeit des Irrelevant Sound Effect vom Pegel der dargebotenen Hintergrundschalle (Ellermeier & Hellbrück, 1998) ist ein arousalbasierter Wirkzusammenhang nicht anzunehmen. Folglich werden keine Effekte durch die Steigerung der Schallpegel sowie durch Modifikationen tiefer Frequenzanteile der Verkehrsgeräusche erwartet.

### **3.2.4 Experimentelle Untersuchungen**

Anhand einer Serial Recall Aufgabe wird der Einfluss von vier verschiedenen Verkehrsgeräuschen (*2000-50*, *2000-60*, *2000-70*, *100-60*) auf das verbale Arbeitsgedächtnis im Vergleich zu einer Ruhe- (*Ruhe-35*) und einer Sprachschallbedingung (*Sprecher-dt.-60*) untersucht. Im Rahmen der Aufgabenstellung werden die Ziffern 1 bis 9 einzeln, in randomisierter Reihenfolge und aufeinander folgend auf dem Bildschirm (visuelle Variante) oder mittels Lautsprecher (auditive Variante) präsentiert. Die Aufgabe der Probanden besteht darin, diese Ziffern nach einem Retentionsintervall von 10 Sekunden in der korrekten Reihenfolge wiederzugeben. Die Reproduktion erfolgt per Mausklick auf einen Zahlenblock. Hierzu werden die Ziffern 1 bis 9 in randomisierter Reihenfolge in einer 3 x 3 Matrix auf dem Bildschirm dargestellt (Schriftgröße: 22 pt). Eine Korrektur ist nach der Eingabe nicht möglich (vgl. Klatte, Lee & Hellbrück, 2002).

#### **3.2.4.1 Serial Recall (Visuelle Variante): Modifikationen des Pegels und der temporal-spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen**

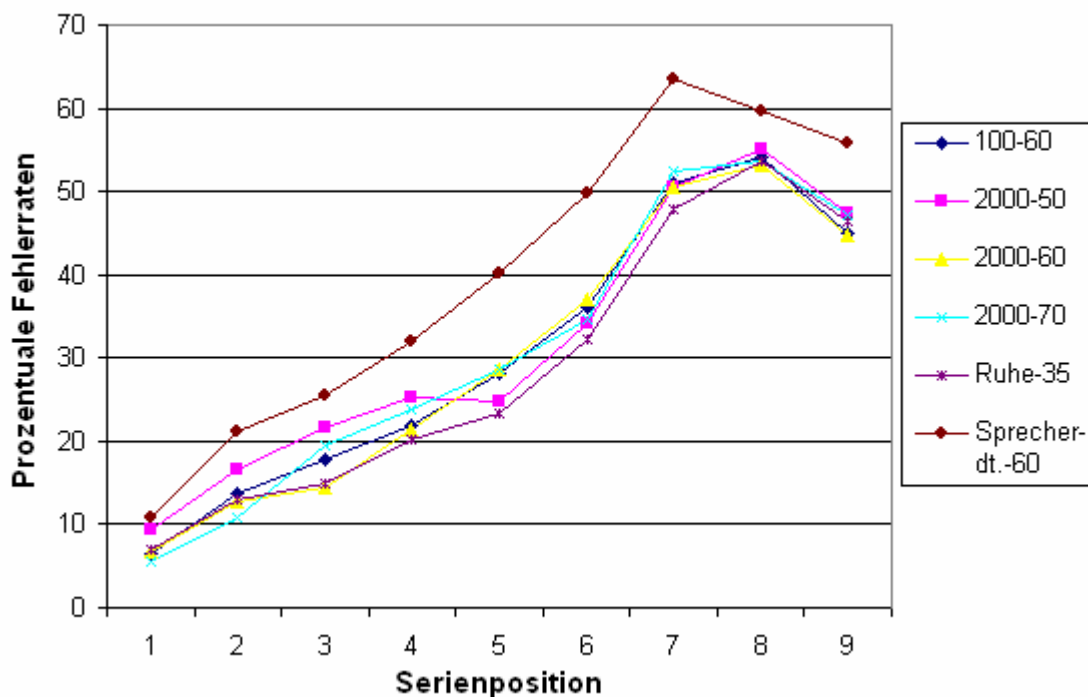
##### **3.2.4.1.1 Durchführung**

Die Untersuchung folgt einem einfaktoriellen Design mit Messwiederholung. Die Stichprobe besteht aus 18 Probanden (14 Frauen; 4 Männer) im Alter zwischen 20 und 39 Jahren ( $Md = 23$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Probanden am Computer (Macintosh iBook; PsyScope 1.2.5) zunächst neun Übungsaufgaben unter Ruhe.

Anschließend werden pro Schallbedingung (2000-50, 2000-60, 2000-70, 100-60) 20 Ziffernfolgen dargeboten (Schriftgröße: 56 pt; Schriftart: Chicago; Darbietungsdauer: 700 ms; Inter-Trial-Intervall: 300 ms). Die einzelnen Ziffern einer Liste folgen unmittelbar aufeinander. Nach jeweils 10 Aufgaben erfolgt eine kurze Pause (10 s). Die Darbietungsreihenfolge der verschiedenen Schallbedingungen ist über die Versuchspersonen ausbalanciert. Die Präsentation erfolgt mittels CD Spieler (Sony CDP-103) über Kopfhörer (Sennheiser HD 600). Die Dauer des Experiments beträgt insgesamt ca. 1.5 Stunden.

### 3.2.4.1.2 Ergebnisse

Die varianzanalytische Auswertung der prozentualen Fehlerraten in Abhängigkeit von den Schallbedingungen belegt einen signifikanten Einfluss des Faktors *Schallbedingung* ( $F(2.9, 48.6) = 5.9; p < .01; \eta^2 = 0.26$ ). Abbildung 1 zeigt die prozentualen Fehlerraten bei der Bearbeitung der visuellen Variante der Serial Recall Aufgabe in Abhängigkeit von der Serienposition der Items und den verschiedenen Schallbedingungen.



**Abbildung 1: Prozentuale Fehlerraten (Mittelwerte) der Serial Recall Aufgabe (visuelle Variante) in Abhängigkeit von der Serienposition der Items und den verschiedenen Schallbedingungen.**

Die weitere Auswertung (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) belegt höhere Fehlerraten unter *Sprecher-dt.-60* im Vergleich zu *Ruhe-35* ( $p < .01$ ). Entgegen der aufgestellten Untersuchungshypothese unterscheidet sich die Leistung in der Verkehrschallbedingung mit geringer Verkehrsdichte (100-60) und damit hoher temporal-spektraler Variabilität nicht signifikant von *Ruhe-35* ( $p = .14$ ). Ein signifikanter Einfluss des Pegels der Verkehrsgeräusche auf die Fehlerraten lässt sich beim Vergleich der

Ruhebedingung mit den unterschiedlich lauten Verkehrsgeräuschen mit jeweils hoher Verkehrsdichte und damit gleichmäßigerer temporal-spektraler Charakteristik erwartungsgemäß nicht nachweisen (2000-70 vs. *Ruhe-35*:  $p = .14$ ; 2000-60 vs. *Ruhe-35*:  $p = .26$ ; 2000-50 vs. *Ruhe-35*:  $p = .15$ ).

Die varianzanalytische Auswertung der zur Antworteingabe notwendigen Bearbeitungszeit führt ebenfalls zu keinem signifikanten Ergebnis ( $F(3, 51.1) = 1.8$ ;  $p = .15$ ). Hinweise auf einen Speed-Accuracy Trade-Off ergeben sich folglich nicht.

Somit ist in der visuellen Variante der Serial Recall Aufgabe lediglich ein Anstieg der Fehlerraten unter Darbietung des Sprachschalls nachweisbar. Entgegen den Erwartungen beeinflusst die anhand der Verkehrsdichte variierte temporal-spektrale Variabilität von Verkehrsgeräuschen die Leistung beim seriellen Erinnern in der vorliegenden Untersuchung nicht. Die vorgenommene Variation der Verkehrsdichte erzeugt offensichtlich keine ausreichende Variabilität der temporal-spektralen Struktur (Changing State Charakter, vgl. Abschnitt 2.2.1).

### **3.2.4.2 Serial Recall (Auditive Variante): Modifikationen des Pegels und der temporal-spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen**

#### **3.2.4.2.1 Durchführung**

Die auditive Variante der Serial Recall Aufgabe stimmt abgesehen von der Präsentation der Aufgabenstellung über Lautsprecher mit der visuellen Variante überein und folgt ebenfalls einem einfaktoriellen Design mit Messwiederholung. Die Aufgabenstellung wird mittels eines vor der Testperson positionierten Lautsprechers (Surf Sound 30) per Computer (Macintosh iBook; PsyScope 1.2.5), der Hintergrundschall mit einem hinter der Testperson aufgestellten Lautsprecher (Westra LAB-501) per CD-Spieler (Sony CDP-103) dargeboten. Durch diese Anordnung wird der Gefahr einer Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse durch einen *Suffix Effekt* vorgebeugt. Darunter versteht man die Reduzierung des sog. *Recency Effect* (bessere Behaltensleistung für das letzte Item einer Liste), wenn nach dem letzten Item der zu erinnernden Liste einer auditiven Gedächtnisaufgabe ein, für die Behaltensaufgabe irrelevantes, sprachliches Suffix, wie z.B. „Ende“ dargeboten wird (Surprenant, LeCompte & Neath, 2000). Durch eine räumlich deutlich trennbare Anordnung und die akustische Unterscheidbarkeit (gegengeschlechtlicher Sprecher) der Items und des potentiellen Suffixes (im Hintergrundschall) wird einem Suffix Effekt entgegengewirkt. Bei den Items der Gedächtnisaufgabe handelt es sich um Aufnahmen<sup>3</sup> einer weiblichen Sprecherin mit einer

---

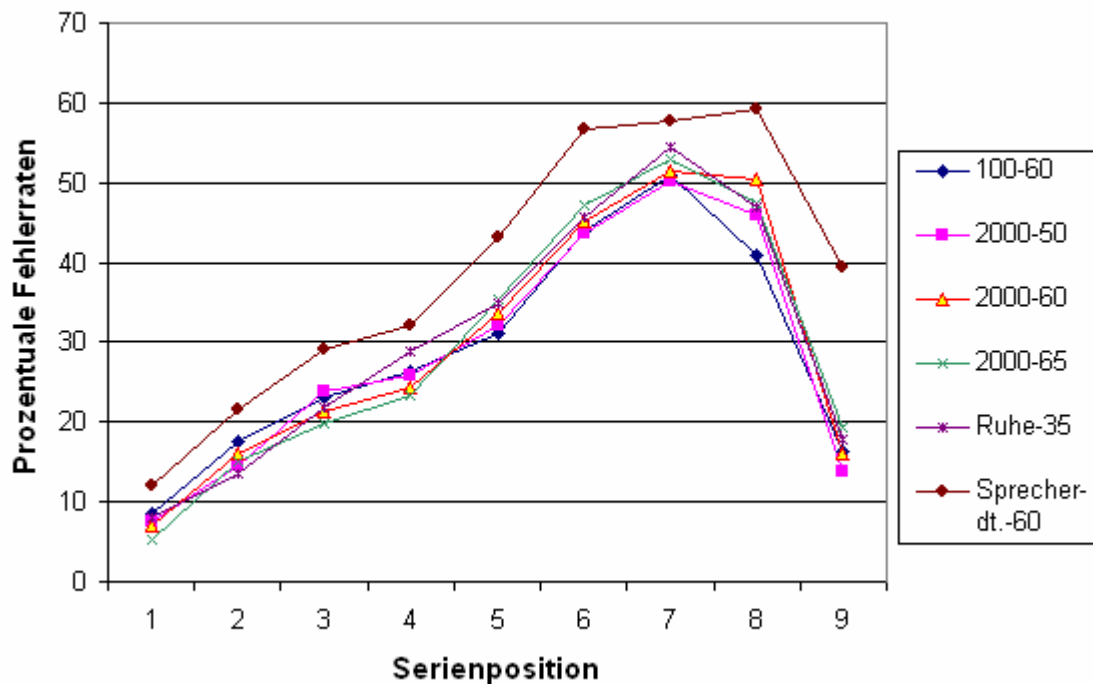
<sup>3</sup> Samplefrequenz: 44,1kHz; Auflösung: 16bit; Aufnahme mit Head Acoustics HRS II.2 (Kunstkopf) und DTC-2E700 (Sony Digital Audio Tape Deck); Bearbeitung mit CoolEdit 2000 (Version 1.0, Syntrillium Software Corporation) und SoundEdit™ 16 (Macromedia)

Dauer zwischen 632 ms und 915 ms, die aufeinander folgend, mit einem Inter-Stimulus-Intervall von einer Sekunde dargeboten werden. In Abweichung zur visuellen Variante der Aufgabenstellung beträgt der mittlere Pegel des lautesten Verkehrsgerausches (*2000-65*) in der auditiven Serial Recall Aufgabe 65 dB(A). Diese Veränderung ist notwendig, um in jedem Fall einen Signal-Rausch-Abstand von mindestens 0 dB(A) zwischen den Items der Gedächtnisaufgabe und den Hintergrundschallbedingungen und damit die Verständlichkeit der Gedächtnisaufgabe, deren Items ebenfalls mit einem mittleren Pegel von 65 dB(A) dargeboten werden, zu gewährleisten (Lazarus, 1986). Alle anderen Hintergrundschallbedingungen stimmen mit den in der visuellen Variante der Aufgabenstellung eingesetzten Schallen überein (*2000-50*, *2000-60*, *100-60*, *Sprecher-dt.-60*, *Ruhe-35*). Ergänzend wird vor jedem Experiment ein Sprachverständlichkeitstest durchgeführt. Dabei werden jeder Versuchsperson alle Items der Gedächtnisaufgabe in unterschiedlicher Reihenfolge dreimal unter den Hintergrundschallbedingungen *2000-65* und *Sprecher-dt.-60* präsentiert. Die Aufgabe der Probanden besteht dabei darin, die Zahlen laut wiederzugeben. Nur bei korrekter Identifikation aller Stimuli wird die Untersuchung fortgesetzt. Die Stichprobe besteht aus 18 Probanden (15 Frauen; 3 Männer) im Alter zwischen 19 und 31 Jahren ( $Md = 21.5$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Probanden zunächst neun Übungsaufgaben unter Ruhe. Anschließend werden unter jeder Schallbedingung (*100-60*, *2000-50*, *2000-60*, *2000-65*, *Sprecher-dt.-60*, *Ruhe-35*) 20 weitere Aufgaben vorgegeben. Nach jeweils 10 Aufgaben erfolgt eine kurze Pause (10 s). Die Darbietungsreihenfolge der verschiedenen Schallbedingungen ist über die Versuchspersonen ausbalanciert. Das Experiment nimmt insgesamt ca. 1.5 Stunden in Anspruch.

### **3.2.4.2.2 Ergebnisse**

Die varianzanalytische Auswertung der prozentualen Fehlerraten unter den Stufen des Faktors *Schallbedingung* belegt einen signifikanten Schalleffekt ( $F(5, 85) = 8.2$ ;  $p < .01$ ;  $\eta^2 = 0.33$ ). Abbildung 2 veranschaulicht die prozentualen Fehlerraten bei der Bearbeitung der auditiven Variante der Serial Recall Aufgabe in Abhängigkeit von der Serienposition der Items und den verschiedenen Schallbedingungen.

Die weitere Auswertung (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) ergibt lediglich bei der Gegenüberstellung des Sprachschalls und der Ruhebedingung einen signifikanten Unterschied (*Sprecher-dt.-60* vs. *Ruhe-35*:  $p < .01$ ; *2000-65* vs. *Ruhe*:  $p = .39$ ; *2000-60* vs. *Ruhe-35*:  $p = .38$ ; *2000-50* vs. *Ruhe-35*:  $p = .18$ ; *100-60* vs. *Ruhe-35*:  $p = .24$ ). Unter *Sprecher-dt.-60* werden demnach signifikant mehr Fehler gemacht als unter *Ruhe-35*.



**Abbildung 2: Prozentuale Fehlerraten (Mittelwerte) der Serial Recall Aufgabe (auditive Variante) in Abhängigkeit von der Serienposition der Items und den verschiedenen Schallbedingungen.**

Die Auswertung der zur Antworteingabe notwendigen Bearbeitungszeit führt zu keinem signifikanten Ergebnis der Varianzanalyse ( $F(2.7, 45.5) = 0.4; p = .76$ ). Folglich rufen die verschiedenen Hintergrundschaallbedingungen keine signifikante Veränderung der Bearbeitungszeit hervor und es existiert kein Hinweis auf einen Speed-Accuracy Trade-Off. Auch in der auditiven Variante der Serial Recall Aufgabe lässt sich demnach im Vergleich zur Aufgabenbearbeitung unter Ruhe lediglich eine Leistungsminderung durch die Darbietung von Sprachschall nachweisen. Das temporal-spektral veränderliche Verkehrsgeräusch verursacht entgegen den Erwartungen keine Beeinträchtigung. Wie bereits angesprochen wurde, scheint die vorgenommene Variation der Verkehrsdichte nicht ausreichend zu sein, um die Variabilität der temporal-spektralen Struktur (Changing State Charakter, vgl. Abschnitt 2.2.1) des Geräusches in einem Ausmaß zu verstärken, das zu einer Leistungsbeeinträchtigung im Sinne des Irrelevant Sound Effekt führt.

### 3.3 Modul II: Inhibition automatisierter Tätigkeiten

Lärm vermag das Erregungsniveau (Arousal) eines Organismus zu erhöhen und dadurch Kontroll-, Planungs- und Inhibitionsaufgaben sowie Aufgabenstellungen die den kombinierten Einsatz verschiedener kognitiver Grundfunktionen erfordern zu beeinträchtigen (vgl. Abschnitt 2.2.2). Im Folgenden werden Wirkungen von Verkehrslärm auf den sog. *Stroop Test* untersucht, welcher die Hemmung automatisierter Abläufe erfordert und dabei des Einsatzes von Kontroll- und Inhibitionsprozessen bedarf. Die Inhibition von automatisierten

Abläufen ist im Alltag besonders in Gefahrensituationen relevant, wenn das Verhalten schnell und flexibel an neue bzw. ungewohnte Umgebungsbedingungen angepasst werden muss.

### **3.3.1 Theoretischer Hintergrund**

Beeinträchtigungen von Kontroll-, Planungs- und Inhibitionsprozessen sowie von Aufgabenstellungen die den kombinierten Einsatz verschiedener kognitiver Grundfunktionen erfordern, durch lauten oder tieffrequent dominierten Verkehrslärm können anhand des Konstrukts des Arousal erklärt werden. Darunter versteht man das allgemeine Erregungsniveau eines Organismus, das sich in einer unspezifischen kortikalen Aktivierung ausdrückt und durch sensorische Impulse (z.B. Lärm) beeinflusst werden kann (Matthews et al., 2000). Es existieren Hinweise, wonach neben dem Pegel von Hintergrundschallen besonders auch tiefe Frequenzanteile von Geräuschen eine Erhöhung des Arousal hervorrufen (LeVere et al., 1974). Vermittelt über eine Einengung bzw. stärkere Selektivität des Aufmerksamkeitsfokus vermag diese Zunahme des Arousal Leistungsbeeinträchtigungen bei Aufgabenstellungen hervorzurufen, zu deren Lösung der geteilte Einsatz der Aufmerksamkeit notwendig ist (Easterbrook, 1959). Dies ist insbesondere bei Kontroll-, Planungs- und Inhibitionsprozessen der Fall. Diese Annahme wird im Folgenden unter Einsatz der bereits vorgestellten Schallszenarien (vgl. Abschnitt 2.3) im Rahmen einer visuellen und auditiven Variante des Stroop Test überprüft.

### **3.3.2 Operationalisierung**

#### **3.3.2.1 Stroop Test: Visuelle Variante**

Beim sog. Stroop Test werden den Testpersonen Farbwörter in unterschiedlicher Schriftfarbe präsentiert. Dabei stimmt die Schriftfarbe entweder mit der Wortbedeutung überein oder ist davon verschieden. Die Probanden sind dazu angehalten nicht das Farbwort vorzulesen sondern die Schriftfarbe zu benennen (Siegrist, 1995; Stroop, 1935). Der als *Stroop Effekt* bezeichnete Befund beschreibt eine Verlängerung der Antwortlatenz bei inkongruenten (Schriftfarbe ist von der Wortbedeutung verschieden) im Vergleich zu kongruenten (Schriftfarbe stimmt mit der Wortbedeutung überein) Stimuluswörtern. Die Aufgabenstellung erfordert die Inhibition einer automatisierten Tätigkeit, nämlich des Lesens der Farbwörter. Dabei handelt es sich um einen Kontroll- bzw. Inhibitionsprozess, welcher im Rahmen des Working Memory Model (vgl. Abschnitt 2.2) dem Wirken der zentralen Exekutive zugeschrieben wird. Die Inhibition automatisierter Tätigkeiten wird durch Hintergrundgeräusche hohen Pegels beeinflusst (Broadbent, 1981; Hartley & Adams, 1974; Smith, Jones & Broadbent, 1981). Allerdings liegen diesbezüglich widersprüchliche Befunde vor. In Abhängigkeit von der konkreten Umsetzung der Aufgabenstellung wird sowohl eine

Zunahme als auch Abnahme der zur Aufgabenbearbeitung notwendigen Bearbeitungszeit berichtet (Dornic, 1982; Hartley & Adams, 1974; Houston & Jones, 1967).

### **3.3.2.2 Stroop Test: Auditive Variante**

Um Aussagen über Schallwirkungen auf die Bearbeitung des Stroop Test unabhängig von der Darbietungsmodalität (visuell vs. akustisch) der Aufgabenstellung treffen zu können wird auch eine auditive Variante des Tests eingesetzt. Es existieren verschiedenen Möglichkeiten zur experimentellen Umsetzung. Es können Aufnahmen der, von einem weiblichen oder männlichen Sprecher vorgetragenen, Worte „Mann“ und „Frau“ dargeboten werden, wobei die Probanden dazu angehalten sind das Geschlecht des Sprechers zu nennen (Green & Barber, 1981; Haub, 1980). Alternativ ist es möglich Aufnahmen der Worte „hoch“ und „tief“ zu präsentieren, die entweder mit hoher oder tiefer Stimme gesprochen werden. Die Aufgabe der Probanden besteht dabei darin die Tonhöhe der Stimme anzugeben (Cohen & Martin, 1975; Mc Clain, 1983). Eine weitere auditive Variante des Stroop Test ist die Darbietung der Worte „rechts“ und „links“ aus den verschiedenen Richtungen, kombiniert mit der Anforderung die Darbietungsrichtung zu nennen (Pieters, 1981). Wie zuvor in Abschnitt 3.1.4.2 ist im Rahmen der auditiven Darbietung der Aufgabenstellung auf die Vermeidung von Maskierungseffekten sowie von Artefakten aufgrund vermehrter Höranstrengung zu achten.

### **3.3.3 Hypothesen**

In Anlehnung an die beschriebenen theoretischen Hintergründe ist anzunehmen, dass tieffrequent dominierte Geräusche sowie Schalle hoher Intensität einen Anstieg des Arousal hervorrufen. Vermittelt über diese Zunahme des Erregungsniveaus und der daraus resultierenden Einengung bzw. höheren Selektivität des Aufmerksamkeitsfokus ist mit einer Beeinträchtigung von Kontroll- und Inhibitionsprozessen zu rechnen. Unabhängig von der Darbietungsmodalität (visuell vs. akustisch) der Aufgabenstellung ist folglich bei der Bearbeitung inkongruenter Items des Stroop Test eine Leistungsbeeinträchtigung (im Sinne steigender Fehlerraten und verlängerter Reaktionszeiten) durch die Darbietung von Verkehrsgeräuschen hoher Intensität zu erwarten. Des Weiteren wird modifizierten, im tieffrequenten Bereich abgesenkten Verkehrschallen ein geringeres Störpotential zugeschrieben als den nicht modifizierten Geräuschen, da erstere einen geringeren Anstieg des Arousal verursachen sollten. Aufgrund des angenommenen, arousalbasierten Wirkmechanismus spielt die temporal-spektrale Struktur der Hintergrundschalle in Rahmen des Stroop Test eine untergeordnete Rolle. Dem Sprachschall sowie dem Verkehrschall mit geringer Verkehrsdichte und damit ausgeprägter temporal-spektraler Variabilität wird folglich keine Störwirkung zugeschrieben.

### **3.3.4 Experimentelle Untersuchungen**

Im Folgenden werden in insgesamt 4 Experimenten die Auswirkungen von Modifikationen der temporal-spektralen Variabilität, Intensität und des Frequenzspektrums von Straßen- (*100-60, 2000-50, 2000-60, 2000-65, 2000-70, 2000-70-12, 2000-70-abgesenkt, 2000-70-12-erhöht*) und Schienenverkehrsgeräuschen (*Schiene-60, Schiene-70, Schiene-70-12*) auf die Bearbeitung einer visuellen und auditiven Variante des Stroop Test im Vergleich zu Sprachschall (*Sprecher-dt.-60*) und einer Ruhebedingung (*Ruhe-35; Ruhe-24*) untersucht.

In der visuellen Variante des Stroop Test besteht die Aufgabe der Probanden darin, auf die Schriftfarbe (gelb, rot, blau, grün) eines visuell dargebotenen Farbwortes mit einem vorher festgelegten und geübten Tastendruck (gelb=g; rot=r; blau=l; grün=ü) zu reagieren. Diese Aufgabenstellung wird durch Inkongruenzen zwischen der Bedeutung des Wortes und seiner Schriftfarbe (z.B. Darbietung des Wortes „blau“ in roter Farbe) erschwert. Nach der Darbietung (Latenzzeit: 500 ms) eines Fixationsstimulus (Dauer: 500 ms) in der Bildschirmmitte werden die Stimuluswörter per Computer (Pentium I PC) ebenfalls mittig präsentiert (Schriftgröße: 48 pt; Dauer: 2000 ms; Inter-Trial-Intervall: 1000 ms).

In der auditiven Variante des Stroop Test werden die Worte „rechts“ und „links“ von der rechten oder linken Seite (Kopfhörer: Sennheiser HD 600; Dauer 400 ms; Inter-Trial-Intervall 500 ms) dargeboten, wobei Inkongruenzen zwischen der verbalen Richtungsinformation und dem Darbietungsort auftreten, die die Aufgabenbearbeitung erschweren.

#### **3.3.4.1 Stroop Test (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und der temporal-spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen**

##### **3.3.4.1.1 Durchführung**

Im ersten der vier Experimente wird die Wirkung von Modifikationen des Pegels und der temporal-spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen geprüft. Die Untersuchung folgt einem zweifaktoriellen Design mit vollständiger Messwiederholung. Die Stichprobe besteht aus 24 Probanden (17 Frauen, 7 Männer) im Alter zwischen 19 und 31 Jahren ( $Md = 23$  Jahre). Es werden sechs verschiedene Schallbedingungen präsentiert (*100-60, 2000-50, 2000-60, 2000-70, Sprecher-dt.-60, Ruhe-35*). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeitet jede Testperson am Computer (Pentium I PC; ERTS) 24 Übungsaufgaben unter Ruhe. Im Anschluss werden dreimal 192 Aufgaben unter jeweils verschiedenen Schallbedingungen präsentiert. Zu einem zweiten Untersuchungstermin werden jeweils weitere 192 Aufgaben unter den verbleibenden Schallbedingungen dargeboten. Die Darbietungsreihenfolge der verschiedenen Schallbedingungen ist über die Versuchspersonen ausbalanciert. Die Schalldarbietung erfolgt mittels DAT-Band (Sony Digital Audio Tape Deck DTC-2E700) sowie Kopfhörer (Sennheiser, HD 600). Insgesamt nimmt das Experiment ca. 2 Stunden in Anspruch.

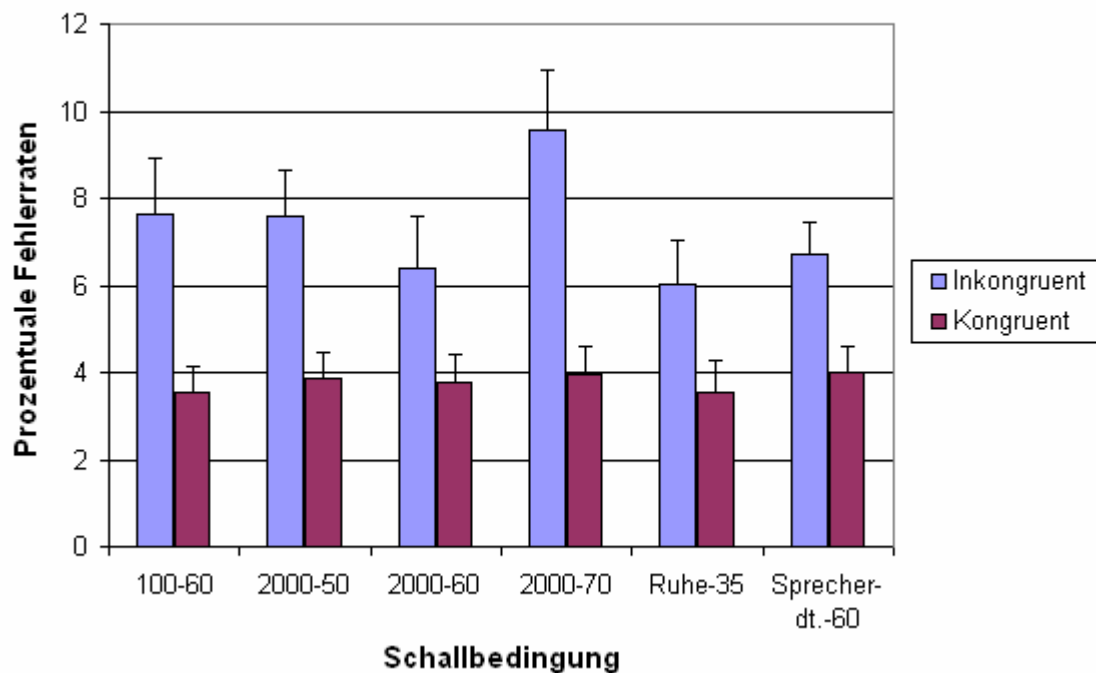


### 3.3.4.1.2 Ergebnisse

Die Auswertung der erhobenen Fehlerraten anhand einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit vollständiger Messwiederholung ergibt einen signifikanten Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(5, 115) = 2.5; p = .03; \eta^2 = 0.10$ ), einen hochsignifikanten Haupteffekt des Faktors *Kongruenz* ( $F(1, 23) = 26.5; p < .01; \eta^2 = 0.54$ ) sowie eine signifikante Wechselwirkung beider Faktoren ( $F(5, 115) = 3.1; p = .01; \eta^2 = 0.12$ ). Abbildung 3 veranschaulicht die prozentualen Fehlerraten in Abhängigkeit von den Schallbedingungen und der Kongruenz der Items. Daraus wird ersichtlich, dass die Variation des Faktors *Schallbedingung* lediglich die Bearbeitung der inkongruenten Items der Aufgabenstellung beeinflusst, wodurch sich auch die signifikante Wechselwirkung erklärt. Die hierauf durchgeführten einfaktoriellen Varianzanalysen am, nach dem Faktor *Kongruenz* geteilten Datensatz, zeigen nur bezüglich der inkongruenten Items einen hochsignifikanten Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(5, 115) = 4.3; p < .01; \eta^2 = 0.16$ ), jedoch nicht hinsichtlich der kongruenten Items ( $F(5, 115) < 1$ ).

Die weitere Auswertung anhand von t-Tests für abhängige Stichproben (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) ergibt signifikante Unterschiede zwischen dem lautesten Verkehrsgeräusch mit hoher Verkehrsdichte und der Ruhebedingung (*2000-70 vs. Ruhe-35*:  $p < .01$ ), ebenso zwischen der Ruhebedingung und den Schallen *2000-50* bzw. *100-60* (*2000-50 vs. Ruhe-35*:  $p = .03$ ; *100-60 vs. Ruhe-35*:  $p = .04$ ). Bezüglich der beiden weiteren Geräusche lässt sich im Vergleich zur Ruhebedingung keine signifikante Leistungsbeeinträchtigung nachweisen (*Sprecher-dt.-60 vs. Ruhe-35*:  $p = .20$ ; *2000-60 vs. Ruhe-35*:  $p = .35$ ; jeweils 1-seitig).

Dies bedeutet, dass die Leistung im Stroop Test durch die Schallbedingungen *2000-70*, *2000-50* sowie *100-60* signifikant gestört wird. Die Betrachtung der Fehlerraten (vgl. Abbildung 3) legt nahe, dass die Leistungsbeeinträchtigung durch das lauteste Verkehrsgeräusch (*2000-70*) deutlich stärker ausgeprägt ist. Um diese Annahme weiter aufzuklären, werden zusätzlich Vergleiche zwischen *2000-70* und allen anderen Schallbedingungen durchgeführt (zweiseitige Testung). Hierbei zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen *2000-70* und *2000-60* ( $p < .01$ ) sowie *Sprecher-dt.-70* ( $p = .04$ ). Im Vergleich zu den anderen beiden Geräuschen ergibt sich kein signifikanter Unterschied, wobei das Signifikanzniveau nur geringfügig überschritten wird (*2000-70 vs. 2000-50*:  $p = .08$ ; *2000-70 vs. 100-60*:  $p = .07$ ).



**Abbildung 3: Prozentuale Fehlerraten im Stroop Test (visuelle Variante) getrennt nach inkongruenten und kongruenten Items unter den verschiedenen Schallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler).**

Um einen Speed-Accuracy Trade-Off als Erklärung für den Befund auszuschließen, werden auch die mittleren Bearbeitungszeiten anhand einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholungen auf den Faktoren *Schallbedingung* und *Kongruenz* ausgewertet. Es zeigt sich nur der erwartete signifikante Haupteffekt des Faktors *Kongruenz* ( $F(1, 23) = 60.8$ ;  $p < .01$ ;  $\eta^2 = 0.73$ ). Die Bearbeitung inkongruenter Items führt zu einer Verlängerung (ca. 100 ms) der Antwortlatenz im Vergleich zu den kongruenten Items. Die Variation des Faktors *Schallbedingung* hat hingegen keine statistisch nachweisbare Wirkung auf die Bearbeitungszeiten im Stroop Test ( $F(5, 115) < 1$ ). Die Interaktion beider Faktoren ist ebenfalls nicht signifikant ( $F(2.1, 48.1) < 1$ ).

Der Stroop Test erweist sich sensitiv gegenüber Störungen durch Verkehrsschall. In Übereinstimmung mit den aufgestellten Untersuchungshypothesen führt jedoch der lauteste Verkehrsschall zur deutlichsten Beeinträchtigung (Zunahme der Fehlerraten). Zwei weitere Schalle (*100-60*, *2000-50*) unterscheiden sich ebenfalls signifikant von der Ruhebedingung, die Mittelwertsunterschiede fallen hier jedoch gering aus. Folglich ist das Ausbleiben eines signifikanten Effekts bezüglich der Schallbedingung *2000-60* vor dem Hintergrund der geringen Mittelwertsunterschiede und der allgemeinen Varianz der Daten zu interpretieren. Die temporal-spektrale Struktur der Schalle scheint bei dieser Aufgabenstellung keine entscheidende Rolle für das Zustandekommen einer Beeinträchtigung zu spielen, da keine

Störwirkung des Sprachschalls nachzuweisen ist. Zudem liegt kein Speed-Accuracy Trade-Off vor.

### **3.3.4.2 Stroop Test (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgläuschen**

#### **3.3.4.2.1 Durchführung**

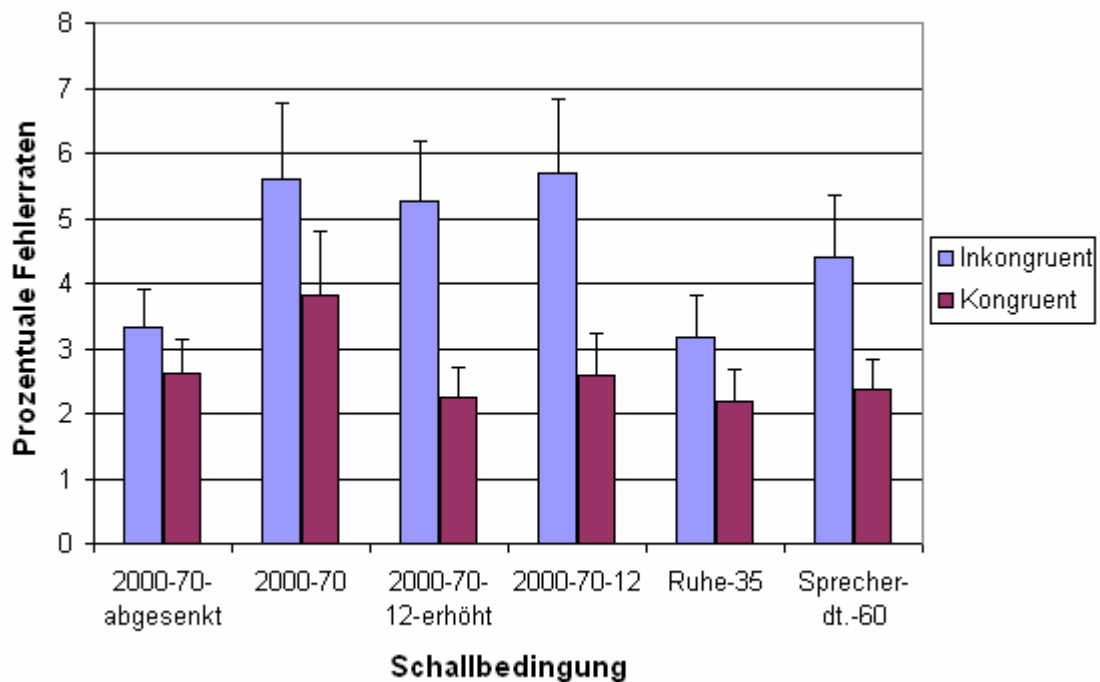
Nachdem eine Beeinträchtigung der Leistung bei der Bearbeitung des Stroop Test insbesondere durch Straßenverkehrsschall hoher Intensität (2000-70) nachgewiesen werden konnte (vgl. Abschnitt 3.2.4.1.2) wird im zweiten Experiment anhand der bereits dargestellten visuellen Variante des Stroop Test untersucht, ob eine Reduzierung tieffrequenter (< 500 Hz) Anteile des Straßenverkehrsgläusches zu einer Minderung der Störwirkung führt. Eine Absenkung der tiefen Frequenzanteile bedingt bei identischem A-bewerteten Pegel eine geringere Lautheit in Sone. Folglich kann im Falle des Nachweises der Wirksamkeit dieser Modifikation nicht eindeutig entschieden werden, ob der Effekt auf die Veränderung des Frequenzspektrums oder der Lautheit zurückzuführen ist, da beide Parameter verändert werden. Um diese Differenzierung leisten zu können werden die Verkehrsgläusche bezüglich ihrer Lautheit und ihres Frequenzspektrums variiert. Das im tieffrequenten Bereich abgesenkte Verkehrsgläusch wird hierzu der Lautheit des unveränderten Straßenverkehrsgläuschs angeglichen. Außerdem wird das unveränderte Straßenverkehrsgläusch der Lautheit des modifizierten Straßenverkehrsgläuschs angepasst. Insgesamt kommen somit sechs verschiedene Schallbedingungen zum Einsatz (2000-70, 2000-70-12, 2000-70-abgesenkt, 2000-70-12-erhöht, Sprecher-dt.-60, Ruhe-35). Die Untersuchung folgt einem zweifaktoriellen Design mit vollständiger Messwiederholung. Die Stichprobe besteht aus 24 Probanden (21 Frauen; 3 Männer) im Alter zwischen 19 und 30 Jahren ( $Md = 21$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeitet jede Testperson am Computer (Pentium I PC; ERTS) 24 Übungsaufgaben unter Ruhe. Im Anschluss werden jeweils 168 Aufgaben unter den verschiedenen Schallbedingungen präsentiert. Die Darbietungsreihenfolge der verschiedenen Schallbedingungen ist über die Versuchspersonen ausbalanciert. Die Schalldarbietung erfolgt mittels DAT-Band (Sony Digital Audio Tape Deck DTC-2E700) und Kopfhörer (Sennheiser HD 600). Insgesamt dauert das Experiment ca. 2 Stunden.

#### **3.3.4.2.2 Ergebnisse**

Die varianzanalytische Auswertung der prozentualen Fehlerraten in Abhängigkeit von den Messwiederholungsfaktoren *Schallbedingung* und *Kongruenz* belegt signifikante Haupteffekte der Faktoren *Schallbedingung* ( $F(3.4, 77.3) = 3.9; p = .01; \eta^2 = 0.15$ ) und *Kongruenz* ( $F(1, 23) = 27.2; p < .01; \eta^2 = 0.54$ ) sowie eine signifikante Interaktion der beiden

Faktoren ( $F(5, 115) = 2.7; p = .02; \eta^2 = 0.11$ ). Abbildung 4 veranschaulicht die prozentualen Fehlerraten bei der Bearbeitung des Stroop Test in Abhängigkeit von den Schallbedingungen und der Kongruenz der Items. Dabei fällt die im Vergleich zu den kongruenten Items deutliche Zunahme der Fehlerraten bei der Bearbeitung der inkongruenten Items unter verschiedenen Hintergrundschallbedingungen auf, wodurch sich auch die signifikante Interaktion erklärt. Die einfaktorielle Auswertung, getrennt nach kongruenten und inkongruenten Items, ergibt bezüglich der Bearbeitung der inkongruenten Items einen signifikanten Einfluss des Faktors *Schallbedingung* ( $F(5, 115) = 4.0; p < .01; \eta^2 = 0.15$ ), hinsichtlich der kongruenten Items ist dieser Effekt nicht nachzuweisen ( $F(3.2, 73.6) = 2.3; p = .08$ ).

Bei der weiteren Auswertung (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) ergeben sich signifikant niedrigere Fehlerraten unter der Ruhebedingung im Vergleich zu den Schallen *2000-70* ( $p < .01$ ), *2000-70-12* ( $p < .01$ ) und *2000-70-12-erhöht* ( $p < .01$ ). Der Vergleich mit der Sprachschallbedingung *Sprecher-dt.-60* liegt auf dem Signifikanzniveau ( $p = .05$ ). Die Fehlerrate unter der Schallbedingung *2000-70-abgesenkt* ( $p = .41$ ) unterscheidet sich hingegen nicht signifikant von der Ruhebedingung.



**Abbildung 4: Prozentuale Fehlerraten im Stroop Test (visuelle Variante) getrennt nach inkongruenten und kongruenten Items unter den verschiedenen Schallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler).**

Die Auswertung der zur Antwortabgabe notwendigen Bearbeitungszeit, lässt nicht auf einen Speed-Accuracy Trade-Off schließen, da die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen auf den Faktoren *Schallbedingung* und *Kongruenz* lediglich einen

signifikanten Haupteffekt des Faktors *Kongruenz* aufzeigt ( $F(1, 23) = 112.1; p < .01; \eta^2 = 0.83$ ). Der Effekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(5, 115) < 1$ ) ist ebenso wie die Interaktion beider Faktoren ( $F(5; 115) = 1.2; p = .33$ ) nicht statistisch bedeutsam.

Die im ersten Experiment nachgewiesene Störwirkung von Verkehrsschall hoher Intensität (2000-70) wird durch die zweite Durchführung des Stroop Test bestätigt. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen ergeben sich zudem Hinweise, dass Leistungsbeeinträchtigungen bei der Bearbeitung des Stroop Test erst bei einem hohen Pegel auftreten. Die tiefen Frequenzanteile von Geräuschen und ihre Lautheit scheinen für das Zustandekommen von Störwirkungen weniger von Bedeutung zu sein. Hierbei muss aber kritisch auf die insgesamt sehr niedrigen Fehlerraten hingewiesen werden. Die Unterschiede liegen zum Teil nur in 1-2 falsch gelösten Aufgaben.

### **3.3.4.3 Stroop Test (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Schienenverkehrsgeräuschen**

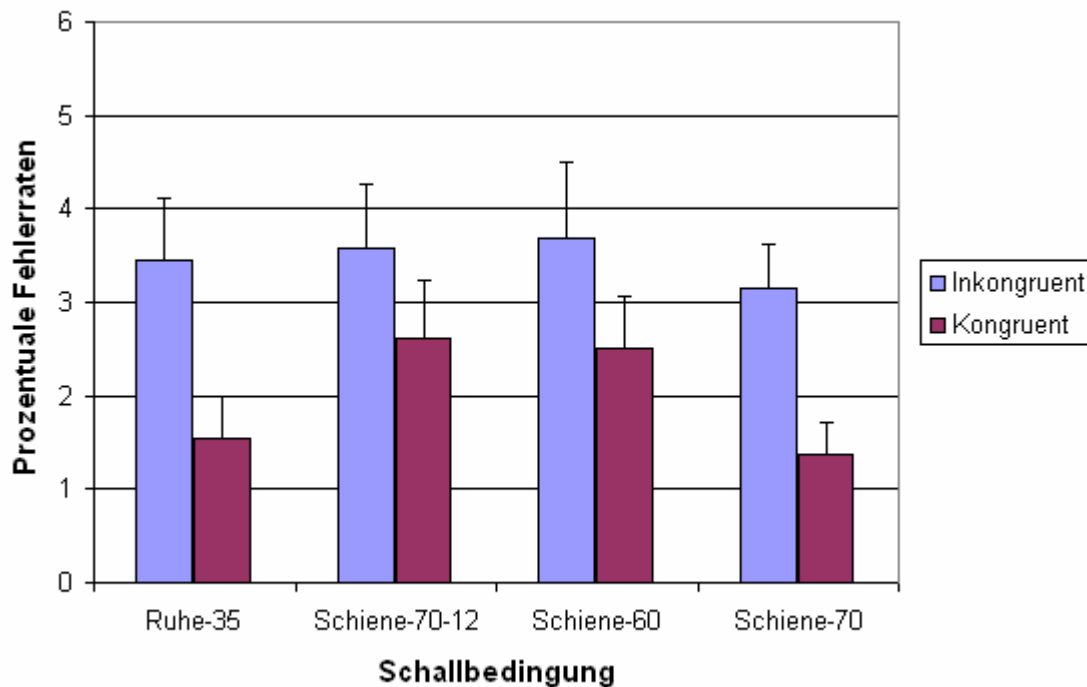
#### **3.3.4.3.1 Durchführung**

Um ebenfalls Aussagen über die Auswirkungen von Schienenverkehrslärm auf Kontroll- und Inhibitionsprozesse im Rahmen des Stroop Test treffen zu können werden im dritten Experiment auch verschiedene Schienenverkehrsgeräusche untersucht. Dabei werden Geräusche mit unterschiedlichen Pegeln sowie Absenkungen tiefer Frequenzanteile ( $< 220$  Hz) im Vergleich zu einer Ruhebedingung (*Schiene-60*, *Schiene-70*, *Schiene-70-12*, *Ruhe-35*) betrachtet. Auf einen Vergleich mit Sprachschall wird aufgrund der geringen Sensitivität des Stroop Tests für Störungen durch Sprachschall in den vorausgehenden Experimenten verzichtet. Das Experiment ist nach einem zweifaktoriellen Design mit Messwiederholungen auf den Faktoren *Schallbedingung* und *Kongruenz* angelegt. Die Stichprobe besteht aus 20 Probanden (13 Frauen, 7 Männer) im Alter zwischen 19 und 29 Jahren ( $Md = 22$  Jahre). Nach schriftlicher Instruktion werden 24 Übungsaufgaben unter Ruhe bearbeitet. Daran anschließend werden unter jeder Schallbedingung jeweils weitere 168 Aufgaben dargeboten. Die Präsentation der verschiedenen Schallbedingungen ist über die Testpersonen ausbalanciert. Die Schalldarbietung erfolgt mittels DAT-Band (Sony Digital Audio Tape Deck DTC-2E700) und Kopfhörer (Sennheiser HD 600). Die Dauer des Experiments beläuft sich auf ca. 1 Stunde.

#### **3.3.4.3.2 Ergebnisse**

Die Analyse der prozentualen Fehlerraten anhand einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit den Messwiederholungsfaktoren *Schallbedingung* und *Kongruenz* belegt lediglich einen signifikanten Haupteffekt des Faktors *Kongruenz* ( $F(1, 19) = 11.1; p < .01; \eta^2 = 0.37$ ). Der Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(3, 57) = 1.4; p = .24$ ) und die Interaktion der

beiden Faktoren sind nicht statistisch bedeutsam ( $F(3, 57) < 1$ ). Eine weitere Betrachtung anhand von Mittelwertsvergleichen entfällt daher. Abbildung 5 zeigt die prozentualen Fehlerraten im Stroop Test in Abhängigkeit von den Schallbedingungen und der Kongruenz der Items.



**Abbildung 5: Prozentuale Fehlerraten im Stroop Test (visuelle Variante) getrennt nach inkongruenten und kongruenten Items unter den verschiedenen Schallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler).**

Die Auswertung der Reaktionszeiten mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit vollständiger Messwiederholung belegt den klassischen Stroop Effekt, d.h. einen Haupteffekt des Faktors *Kongruenz* ( $F(1, 19) = 86.6; p < .01; \eta^2 = 0.82$ ), aber keinen signifikanten Einfluss des Faktors *Schallbedingung* ( $F(3, 57) < 1$ ) und keine signifikante Interaktion ( $F(3, 57) < 1$ ).

Die Darbietung der Schienenverkehrsgeräusche führt somit in der vorliegenden Untersuchung im Gegensatz zu den vorausgehenden Untersuchungen zur Wirkung von Straßenverkehrsgeräuschen zu keiner nachweisbaren Leistungsbeeinträchtigung. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt in den, im Vergleich zum gleichmäßigen Straßenverkehrsgeräusch (2000-70), starken Intensitätsschwankungen der Schienenverkehrsgeräusche begründet. Diese sind darauf zurückzuführen, dass sich die einzelnen Zugdurchfahrten nicht wie beim Straßenverkehr überlagern sondern sukzessive und jeweils getrennt durch Pausen von ein bis zwei Sekunden dargeboten werden. Ein Teil der Aufgabenbearbeitung wird somit bei der Darbietung des Schienenverkehrsgeräuschs in Ruhe gelöst, was möglicherweise zu einer Erleichterung der Bearbeitung der Aufgabenstellung führt.

### 3.3.4.4 Stroop Test (Auditive Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen

#### 3.3.4.4.1 Durchführung

Um Aussagen über die Wirksamkeit von Modifikationen des Pegels und der temporal-spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen unabhängig von der Darbietungsmodalität (visuell vs. akustisch) der Aufgabenstellung treffen zu können wird der Stroop Test auch in einer auditiven Variante (vgl. Abschnitt 3.2.4) dargeboten. Die Aufgabe besteht dabei darin, entweder die auditiv präsentierten Worte „rechts“ bzw. „links“ laut zu wiederholen oder die Seite (rechts bzw. links), von der sie dargeboten werden, zu nennen. Die Ausprägung des Faktors *Kongruenz* wird durch die Übereinstimmung bzw. Nichtübereinstimmung des präsentierten Wortes und der Darbietungsrichtung variiert. Die Anweisung, ob das präsentierte Wort oder die Darbietungsrichtung genannt werden soll, wird den Probanden 1500 ms vor der Präsentation des Stimuluswortes durch eine mittig präsentierte visuelle Aufforderung („Wort“ oder „Richtung“) auf dem Computerbildschirm (Schriftgröße: 24 pt, Schriftart Chicago; Dauer: 500 ms) mitgeteilt. Diese Variation bestimmt die beiden Stufen des Faktors *Antwortart*. Bei den dargebotenen Worten „rechts“ bzw. „links“ handelt es sich um Aufnahmen<sup>4</sup> einer weiblichen Sprecherin mit einer Dauer von 400 ms und einem Mittelungspegel von  $L_{eq} = 65$  dB(A). Die Wiedergabe erfolgt mittels Computer (Macintosh iBook) und Kopfhörer (Sennheiser HD 600), jeweils nur über den rechten oder den linken Kanal. Das Inter-Trial-Intervall beträgt 500 ms. Die insgesamt 5 untersuchten Hintergrundschallbedingungen (*2000-65*, *2000-60*, *2000-65-12*, *Sprecher-dt.-60*, *Ruhe-24*) werden ebenfalls mittels Computer und Kopfhörer präsentiert. Wie in Abschnitt 3.1.4.2.1 ist ein Signal-Rausch-Abstand von mindestens 0 dB(A) zwischen den Items des Stroop Test und den Hintergrundschallbedingungen realisiert. Zusätzlich wird ein Sprachverständlichkeitstest durchgeführt. Dabei gilt es die insgesamt 16-mal dargebotenen Worte „rechts“ bzw. „links“ bei gleichzeitiger Präsentation der lautesten Störgeräusche (*2000-65*, *Sprecher-dt.-60*) zu wiederholen. Nur bei korrekter Identifikation der Stimuli wird die Untersuchung fortgesetzt. Die Verständlichkeit des Stimulusmaterials ist damit gewährleistet. Maskierungseffekte können ausgeschlossen werden. Die Reaktionen der Probanden werden mittels Mikrofon (Sennheiser K3) und Voice Key (Pyscope Button Box, New Micros) registriert sowie zusätzlich vom Versuchsleiter notiert. Der auditive Stroop Test ist nach einem dreifaktoriellen (*Kongruenz*, *Antwortart*, *Schallbedingung*) Design mit vollständiger Messwiederholung

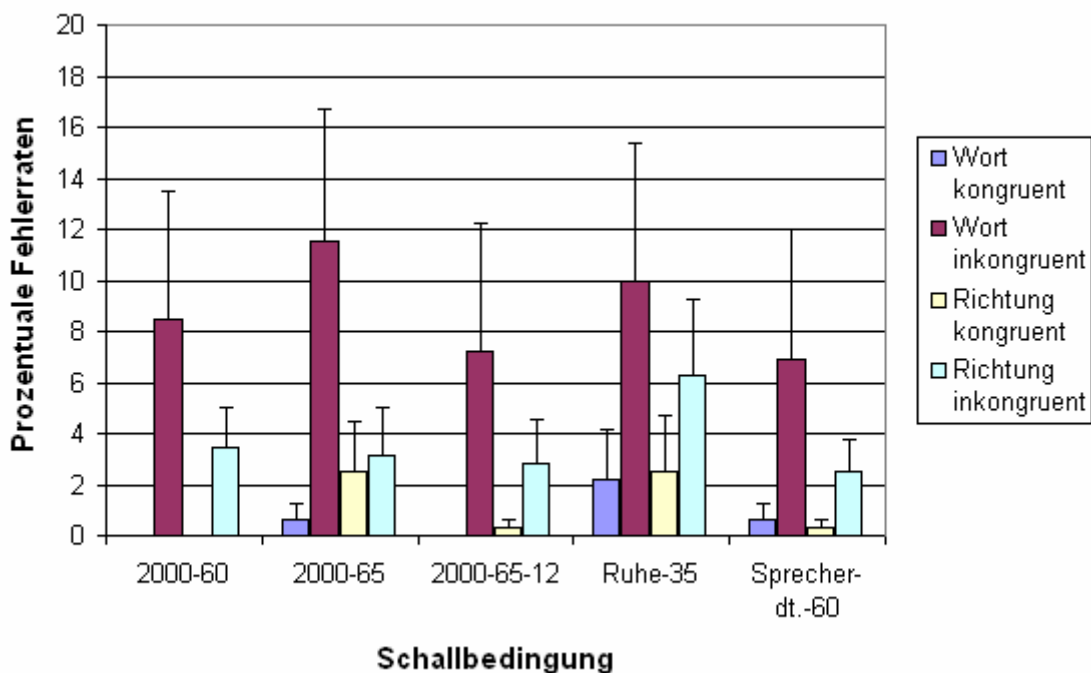
---

<sup>4</sup> Samplefrequenz: 44,1 kHz; Auflösung: 16 bit; Aufnahme mit Head Acoustics HRS II.2 (Kunstkopf) und DTC-2E700 (Sony Digital Audio Tape Deck); Bearbeitung mit CoolEdit 2000 (Version 1.0, Syntrillium Software Corporation) und SoundEdit™ 16 (Macromedia)

konzipiert. Die Stichprobe besteht aus 20 Probanden (19 Frauen, 1 Mann) im Alter zwischen 19 und 27 Jahren ( $Md = 21$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion folgt ein Übungsdurchgang in welchem 12 Items unter *Ruhe-24* bearbeitet werden. Anschließend werden unter jeder Schallbedingung 64 Aufgaben präsentiert. Nach jeweils 16 Aufgaben erfolgt eine kurze Pause. Die Darbietungsreihenfolge der verschiedenen Schallbedingungen ist über die Versuchspersonen ausbalanciert. Das Experiment nimmt insgesamt ca. 1 Stunde in Anspruch.

### 3.3.4.4.2 Ergebnisse

Die Auswertung der prozentualen Fehlerraten anhand einer dreifaktoriellen Varianzanalyse mit vollständiger Messwiederholung führt lediglich hinsichtlich des Faktors *Kongruenz* ( $F(1, 19) = 4.5; p < .05; \eta^2 = 0.19$ ) zu einem signifikanten Ergebnis. Die Haupteffekte der Faktoren *Schallbedingung* ( $F(1.5, 27.8) = 1.2; p = .30$ ) und *Antwortart* ( $F(1, 19) < 1$ ) sowie sämtliche Interaktionen (*Schallbedingung*  $\times$  *Kongruenz*  $\times$  *Antwortart*:  $F(4, 76) = 2.0; p = .10$ ; *Schallbedingung*  $\times$  *Antwortart*:  $F(2.7, 51.1) < 1$ ; *Schallbedingung*  $\times$  *Kongruenz*:  $F(4, 76) = 1.1; p = .36$ ; *Antwortart*  $\times$  *Kongruenz*:  $F(1, 19) = 1.3; p = .26$ ) sind nicht signifikant (vgl. Abbildung 6).

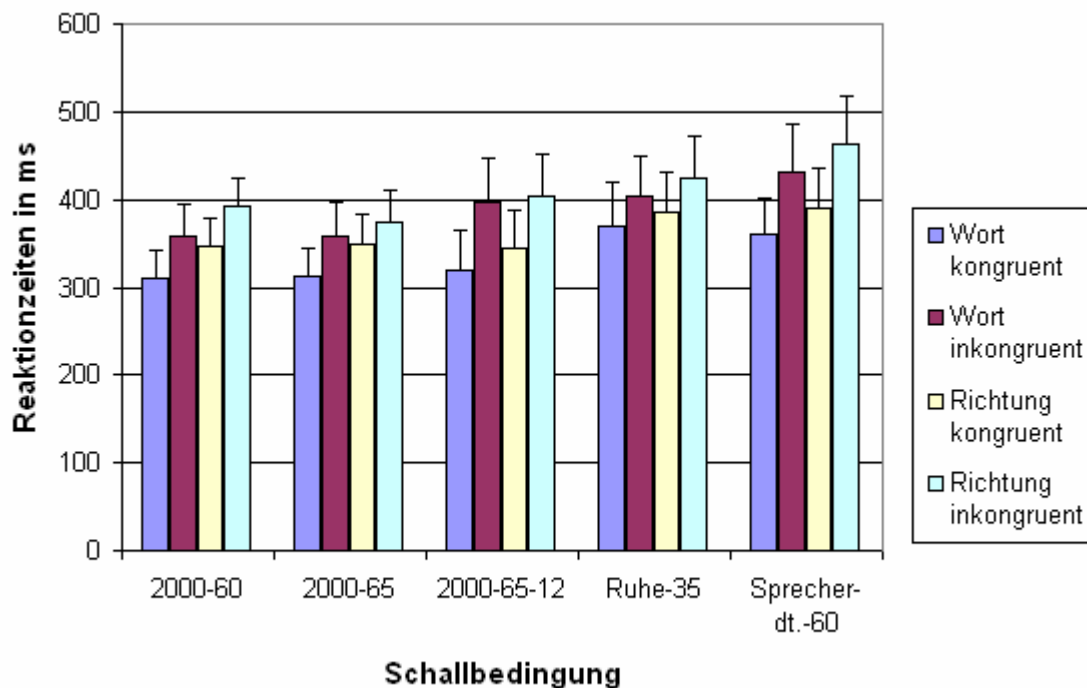


**Abbildung 6: Prozentuale Fehlerraten im Stroop Test (auditive Variante) in Abhängigkeit von der Kongruenz der Items, der geforderten Antwortart und den Schallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler).**

Bei der ebenfalls varianzanalytischen Analyse der mittleren Bearbeitungszeiten ergeben sich ein beinahe signifikanter Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(2.1, 40.1) = 2.8; p =$



.07;  $\eta^2 = 0.13$ ) sowie signifikante Haupteffekte der Faktoren *Antwortart* ( $F(1, 19) = 7.2$ ;  $p < .05$ ;  $\eta^2 = 0.27$ ) und *Kongruenz* ( $F(1, 19) = 23.6$ ;  $p < .01$ ;  $\eta^2 = 0.55$ ). Jedoch ist keine Interaktion signifikant (*Schallbedingung*  $\times$  *Kongruenz*  $\times$  *Antwortart*:  $F(4, 76) < 1$ ; *Schallbedingung*  $\times$  *Kongruenz*:  $F(2.5, 47.2) = 2.3$ ;  $p = .10$ ; *Schallbedingung*  $\times$  *Antwortart*:  $F(4, 76) < 1$ ; *Antwortart*  $\times$  *Kongruenz*:  $F(1, 19) < 1$ ). Aufgrund der statistisch nicht bedeutsamen Interaktionen werden post hoc Einzelvergleiche der Reaktionszeiten zwischen den verschiedenen Stufen des Faktors *Schallbedingung* durchgeführt. Diese belegen signifikant unterschiedliche Bearbeitungszeiten beim Vergleich von *Ruhe-24* mit den nicht modifizierten Verkehrsschallen (*2000-65*, *2000-60*). Allerdings verkürzt sich die Bearbeitungszeit unter Darbietung der Verkehrsschalle (*Ruhe-24* vs. *2000-65*:  $p = .02$ ; *Ruhe-24* vs. *2000-60*:  $p = .02$ ; 2-seitig). Weitere Vergleiche verfehlen hingegen das Signifikanzniveau (*Ruhe-24* vs. *2000-65-12*:  $p = .36$ ; *Ruhe-24* vs. *Sprecher-dt.-60*:  $p = .49$ ; 2-seitig). Abbildung 7 veranschaulicht die Bearbeitungszeiten der auditiven Variante des Stroop Test in Abhängigkeit von den Schallbedingungen, der Kongruenz der Items und der geforderten Antwortart.



**Abbildung 7: Reaktionszeiten im Stroop Test (auditive Variante) in ms in Abhängigkeit von der Kongruenz der Items, der geforderten Antwortart und den Schallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler)**

Die Auswertung belegt einen Schalleffekt, wenngleich dessen Ausprägung unerwartet ist. Die Darbietung der nicht modifizierten Verkehrsschalle führt zu einer Beschleunigung der Bearbeitungszeit bei gleich bleibender Fehlerrate und stellt somit eine Leistungsverbesserung dar. Dieser Effekt ist bezüglich des im tieffrequenten Bereich reduzierten

Geräuschs nicht nachweisbar. Eine mögliche Erklärung für dieses Befundmuster besteht darin anzunehmen, dass die Bearbeitung der Aufgabenstellung keine hohen Ansprüche an die Probanden stellt. Diese Annahme wird durch die allgemein geringen Fehlerraten (0% bis 10%) unterstützt. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass den Probanden jeweils vor der Darbietung der Items eine Anweisung bezüglich des zu beachtenden Stimulusmerkmals gezeigt wird. Sie müssen folglich den Arbeitsauftrag nicht memorieren. In der visuellen Variante stellt das Erinnern des Arbeitsauftrags hingegen ein kritisches Merkmal dar. Der Stroop Effekt ist z.B. stärker ausgeprägt, wenn der Anteil inkongruenter Items reduziert und folglich die Anweisung bezüglich des Umgangs mit inkongruenten Items längere Zeit nicht benötigt wird. Bei der Darbietung eines inkongruenten Stimulus steigt die Bearbeitungszeit in diesem Fall deutlich stärker an (Harvey, 1984). Im Rahmen der Beschreibung des Konstrukts des Arousal (vgl. Abschnitt 2.2.2) wurde bereits dargelegt, dass die Bearbeitung leichter Aufgabenstellungen von einer Steigerung des Arousal profitieren kann, wohingegen komplexe Aufgaben beeinträchtigt werden. Dies wird z.B. anhand einer steigenden Selektivität des Aufmerksamkeitsfokus begründet (Easterbrook, 1959), die bei leichten Aufgabenstellungen eine stärkere Konzentration auf aufgabenrelevante Aspekte bedingt. Demzufolge ist anzunehmen, dass die beiden nicht modifizierten Verkehrsschalle eine Steigerung des Arousal und damit eine Leistungsverbesserung bei der Bearbeitung der scheinbar einfachen Aufgabenstellung hervorrufen. Die Absenkung tiefer Frequenzanteile führt hingegen zu einer geringeren bzw. keiner Zunahme des Arousal. Eine Verbesserung der Leistung bleibt demzufolge aus.

### **3.4 Modul III: Kopfrechnen und schlussfolgerndes Denken**

Häufig ist im Alltag der kombinierte Einsatz kognitiver Grundfunktionen erforderlich. Dies ist z.B. der Fall, wenn Zahlen im Kopf addiert bzw. subtrahiert und dabei auch Zwischenergebnisse behalten werden müssen oder grammatikalisch komplexen Aussagen bzw. Anweisungen Informationen zu entnehmen sind. Diese immer noch als grundlegend aufzufassenden kognitiven Funktionen erfordern das Zusammenwirken von Speicher-, Planungs- und Kontrollfunktionen des Arbeitsgedächtnisses und damit den kombinierten Einsatz der in Abschnitt 3.1 und Abschnitt 3.2 separat untersuchten kognitiven Funktionen. Im Folgenden werden daher nun die Auswirkungen von Verkehrslärm auf einen Rechentest und eine Schlussfolgerungsaufgabe näher betrachtet.

#### **3.4.1 Theoretischer Hintergrund**

Kopfrechnen beinhaltet das kurzfristige Behalten der miteinander zu verrechnenden Zahlen und Zwischenergebnisse sowie die Ausführung und Kontrolle von Rechenoperationen und stellt damit Anforderungen an verbale Speicherprozesse und zentral exekutive Funktionen

des Arbeitsgedächtnisses (Biewald & Schumann-Hengsteler, 1996; Logie, Gilhooly & Wynn, 1994). Dementsprechend ist das Bearbeiten von Kopfrechenaufgaben auch sensitiv gegenüber Störungen durch temporal-spektral veränderliche (Logie & Baddeley, 1987) und laute Geräusche (Maruyama, 1964).

Auch grammatikalische und syllogistische Schlussfolgerungsprozesse erfordern den kombinierten Einsatz von verbalen Speicherprozessen sowie zentral exekutiven Funktionen des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1976; Gilhooly, Logie, Wetherick & Wynn, 1993; Hitch & Baddeley, 1976) und scheinen sensitiv für Störwirkungen durch temporal-spektral stark veränderliche Sprachschalle und Geräusche hoher Intensität zu sein (Dornic & Laaksonen, 1988; Landstroem, Kjellberg & Bystroem, 1995). Diese Annahmen werden im Folgenden unter Einsatz der bereits vorgestellten Schallszenarien (vgl. Abschnitt 2.3) im Rahmen einer visuellen und auditiven Variante des KLT sowie eines visuellen Grammatical Reasoning Test näher untersucht.

### **3.4.2 Operationalisierung**

#### **3.4.2.1 Konzentrations-Leistungs-Test (KLT): Visuelle Variante**

Ein häufig verwendeter, vordergründig zur Untersuchung der Daueraufmerksamkeit entwickelter Kopfrechentest ist der Konzentrations-Leistungs-Test (KLT) von Düker und Lienert (1965). Dabei werden zwei Folgen von jeweils drei positiven oder negativen Zahlen visuell dargeboten. Die Aufgabe der Probanden besteht darin die Items der beiden Ziffernfolgen separat zu addieren bzw. zu subtrahieren, diese Zwischenergebnisse im Gedächtnis zu behalten und nach einer bestimmten Regel miteinander zu verrechnen. Ist das Ergebnis der zweiten Teilaufgabe größer als das der ersten sind beide Werte zu addieren, im umgekehrten Fall ist das Zwischenergebnis der zweiten von dem der ersten Teilaufgabe zu subtrahieren. Diese Aufgabe stellt aufgrund der Notwendigkeit Zwischenergebnisse zu memorieren sowie Berechnungen und Vergleiche vorzunehmen hohe Anforderungen an Speicher- und Kontrollfunktionen des Arbeitsgedächtnisses.

#### **3.4.2.2 Konzentrations-Leistungs-Test (KLT): Auditive Variante**

Ebenso wie in den Abschnitten zuvor soll auch die Wirkung von Hintergrundschall auf den KLT unabhängig von der Darbietungsmodalität (visuell vs. akustisch) der Aufgabe betrachtet werden. Zu diesem Zweck wird eine auditive Variante eines modifizierten KLT eingesetzt, die abgesehen von der auditiven Darbietung der Aufgabenstellung mit der visuellen Variante übereinstimmt. Aufgrund dieser weitestgehenden Übereinstimmung sind keine Unterschiede bezüglich der Auswirkungen von Hintergrundschallen auf die visuelle oder auditive Variante des KLT zu erwarten (vgl. Maruyama, 1964).

### **3.4.2.3 Grammatical Reasoning Test**

Zur Untersuchung von Schlussfolgerungsprozessen bietet sich der Einsatz des sog. Grammatical Reasoning Test (Baddeley, 1968) an. Die englischsprachige Fassung der Aufgabenstellung umfasst die Darbietung der Verben „preceed“ oder „follow“ sowie der Buchstaben A und B. Jeweils einer der beiden Buchstaben geht dem Verb voraus, der andere ist ihm nachgestellt (z.B. A follows B). Des Weiteren werden die Verben im Wechsel zwischen ihrer aktiven oder passiven (follows vs. is followed) sowie affirmativen oder negierenden Form (follows vs. does not follow) präsentiert. Im Anschluss daran werden die Buchstabenfolgen AB bzw. BA dargeboten. Die Aufgabe der Probanden besteht darin zu beurteilen, ob die dargebotene Buchstabenfolge mit der vorausgegangenen sprachlichen Darstellung übereinstimmt. Eine Variante dieses Tests beinhaltet die sog. AGARD STRES Battery (Advisory Group for Aerospace Research and Development, 1989). Dabei handelt es sich um eine Sammlung von Verfahren zur standardisierten Erfassung der Auswirkungen von Stressoren auf geistige Leistungen. Der Grammatical Reasoning Test liegt darin in modifizierter Form vor. Die Verben „preceed“ und „follow“ sind durch die Präpositionen „before“ und „after“ ersetzt. An Stelle der Buchstaben A und B werden Symbole (& \* #) präsentiert. Die daraus resultierende Vereinfachung wird durch eine Erhöhung der Anzahl dargebotener Items kompensiert. Die Probanden sind dazu angehalten die Übereinstimmung einer Symbolfolge (z.B. # & \*) mit zwei zuvor dargebotenen sprachlichen Aussagen (z.B. & after #; & before \*) zu beurteilen.

### **3.4.3 Hypothesen**

Der KLT und der Grammtical Reasoning Test verlangen den kombinierten Einsatz von verbalen Speicherprozessen und zentral exekutiven Funktionen. Unter Bezugnahme auf die in den Abschnitten 2.2.1 und 2.2.2 beschriebenen Wirkzusammenhänge wird erwartet, dass die Leistung in beiden Aufgabenstellungen sensitiv gegenüber Beeinträchtigungen durch temporal-spektral veränderliche und laute Geräusche ist. Temporal-spektral veränderliche Geräusche interferieren mit dem im verbalen Arbeitsgedächtnis gespeicherten Material. Laute Geräusche führen vermittelt über eine Zunahme des Arousal zu einer Beeinträchtigung zentral exekutiver Funktionen. In Folge dessen wird eine Erhöhung der Fehlerraten im KLT und Grammatical Reasoning Test durch die Darbietung des lautesten Verkehrsgeräuschs sowie von Sprachschall und des temporal-spektral veränderlichen Verkehrsgeräuschs erwartet. Den gleichmäßigeren und weniger lauten Verkehrsgeräuschen wird hingegen keine Störwirkung zugeschrieben.

### 3.4.4 Experimentelle Untersuchungen

Im Folgenden werden in insgesamt 6 Experimenten die Auswirkungen von Modifikationen der temporal-spektralen Variabilität, Intensität und des Frequenzspektrums von Straßen- (*100-60, 2000-50, 2000-60, 2000-65, 2000-70, 2000-70-12, 2000-70-abgesenkt, 2000-70-12-erhöht*) und Schienenverkehrsgeräuschen (*Schiene-70, Schiene-70-12*) auf die Bearbeitung einer visuellen und auditiven Variante des KLT sowie auf einen Grammatical Reasoning Test im Vergleich zu mutter- und fremdsprachlichem Schall (*Sprecher-dt.-60, Sprecher-jpn.-60*) und einer Ruhebedingung (*Ruhe-35*) untersucht. Die eingesetzte Variante des KLT ist im Vergleich zum Original (Dueker & Lienert, 1965) modifiziert und wird daher im Folgenden als KLTM bezeichnet. Die Veränderungen zielen auf eine Steigerung des Schwierigkeitsgrades ab. Die Aufgabenstellung beinhaltet drei jeweils dreigliedrige Additions- bzw. Subtraktionsaufgaben, die einer bestimmten Regel folgend zu einem Gesamtergebnis miteinander zu verrechnen sind. Ist das Ergebnis der ersten Teilaufgabe größer als das der dritten, ist das dritte Ergebnis vom ersten zu subtrahieren, andernfalls zu addieren. Das Ergebnis der zweiten Aufgabe wird nach derselben Regel mit dem zuvor errechneten Zwischenergebnis verglichen und verrechnet. Es werden nur einstellige Ziffern aus dem Zahlenraum 1-9 und die entsprechenden Operanden (+/-) dargeboten. Zur Veranschaulichung ist im Folgenden beispielhaft eine Aufgabe dargestellt und das Endergebnis hervorgehoben.

$$(1) 6+3-5= 4$$

$$(2) 3-1+7= 9$$

$$(3) 4-1-1= 2$$

$$(4) (1) > (3) \Rightarrow 4-2= 2$$

$$(5) (2) > (4) \Rightarrow 9-2= \underline{7}$$

In der visuellen Variante der Aufgabenstellung werden die Rechenglieder und Operanden einzeln in der Bildschirmmitte (Schriftgröße: 50 pt; Schriftart: Chicago) eines Laptop (Macintosh iBook, PsyScope) dargeboten. Die Dauer der Ziffernpräsentation bestimmen die Probanden durch Betätigung der Leertaste selbst. Jeweils 300 ms nach dem Tastendruck erscheint die nächste Zahl einer Teilaufgabe. Der Beginn einer neuen Teilaufgabe wird durch zwei, für je 500 ms in der Bildschirmmitte dargebotene, Quadrate angekündigt, wobei das zweite Quadrat kleiner ist als das erste. Im Anschluss daran folgt nach 100 ms die erste Ziffer der Aufgabenstellung. Der Beginn einer Aufgabe ist durch einen Signalton gekennzeichnet (Inter-Trial-Intervall: 500 ms). Das errechnete Endergebnis wird jeweils mittels der Tatstatur erfasst. Dabei ist zuerst die Zehnerstelle und dann die Einerstelle des Ergebnisses einzugeben. Eine Korrektur ist möglich, bis die Antwort durch Betätigung der Returntaste bestätigt und damit auch die Bearbeitungszeit erfasst wird.

Zur Testung der Modalitätsunabhängigkeit (visuell vs. akustisch) der Wirkung von Straßenverkehrsgeräuschen auf die Bearbeitung des KLTM wird wie in den Abschnitten zuvor eine auditive Variante der Aufgabenstellung eingesetzt, die abgesehen von der auditiven Präsentation mit der visuellen Variante übereinstimmt. In der auditiven Variante des KLTM ist der Pegel der lautesten Hintergrundschaallbedingung auf 65 dB(A) im Vergleich zu 70 dB(A) in der visuellen Variante reduziert. Wie in den auditiven Aufgabenstellungen zuvor dient diese Modifikation der Gewährleistung der Sprachverständlichkeit der Stimuli der Aufgabenstellung, welche ebenfalls mit einem Pegel von 65 dB(A) dargeboten werden. Damit ist ein Signal-Rausch-Abstand von mindestens 0 dB(A) gegeben.

Die eingesetzte Version des Grammatical Reasoning Test beinhaltet die Präsentation der affirmativen und negierenden Form der Verben „vorausgehen“ und „nachfolgen“. Das Verb „nachfolgen“ wird zusätzlich bezüglich seiner aktiven und passiven Form variiert. Den Verben wird jeweils ein Symbol (&, \*, #) voran- und nachgestellt. Pro Aufgabe werden jeweils zwei Kombinationen aus Verben und Symbolen (z.B. \* geht & voraus, # wird nicht gefolgt von &) sowie eine Symbolfolge (z.B. # \* &) dargeboten. Die Probanden sind dazu angehalten die Symbolfolge hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den sprachlichen Darstellungen zu beurteilen. Anschließend soll per Tastendruck entschieden werden, ob beide sprachlichen Darstellungen korrekt bzw. falsch sind („Identisch“) oder einer der Sätze korrekt und der andere falsch („Verschieden“) ist. Die Urteilsabgabe erfolgt mittels der beiden Shifttasten (rechts/links) der Computertastatur, welche mit den Beschriftungen „Identisch“ bzw. „Verschieden“ versehen sind. Die im Vergleich zum ursprünglichen Grammatical Reasoning Test (Baddeley, 1968) vorgenommenen Veränderungen zielen auf einer Erhöhung des Schwierigkeitsgrades der Aufgabenstellung ab. Um eine gleichmäßige Schwierigkeitsverteilung zu erhalten werden die einzelnen Aussagesätze verschiedenen Schwierigkeitsstufen zugewiesen. Passive, negierte Sätze (z.B. *& wird nicht von # gefolgt*) sind der Schwierigkeitsstufe 3 zugeordnet. Passive oder negierte Sätze (z.B. *# wird von & gefolgt* oder *\* geht & nicht voraus*) gehören zur Schwierigkeitsstufe 2. Sätze der Schwierigkeitsstufe 1 sind aktive, affirmative Sätze (z.B. *& geht \* voraus*). Um annähernd gleich schwere Aufgaben zu erhalten, werden jeweils Sätze der Schwierigkeitsstufe 1 und 3 sowie 2 und 2 zu einer Teilaufgabe kombiniert. Weiterhin wird bei der Zusammenstellung der Aufgaben auf ein ausgeglichenes Verhältnis von richtigen und falschen Lösungen sowie auf das gleich häufige Vorkommen aller Symbole und Symbolanordnungen geachtet. Es werden auch niemals zwei identische Aussagen zu einer Aufgabe kombiniert. Schließlich ist die Häufigkeit der Anordnung der verschiedenen Aussagen an erster oder an zweiter Stelle einer Aufgabe ausbalanciert. Aus der Gesamtheit möglicher Aufgaben werden anhand dieser Kriterien 50 Aufgaben ausgewählt und im Versuch eingesetzt. Um die Vergleichbarkeit der Aufgabenstellung unter den verschiedenen Hintergrundschaallbedingungen zu gewährleisten

werden diese 50 Aufgaben unter jeder Schallbedingung jeweils in randomisierter Folge zur Bearbeitung vorgelegt.

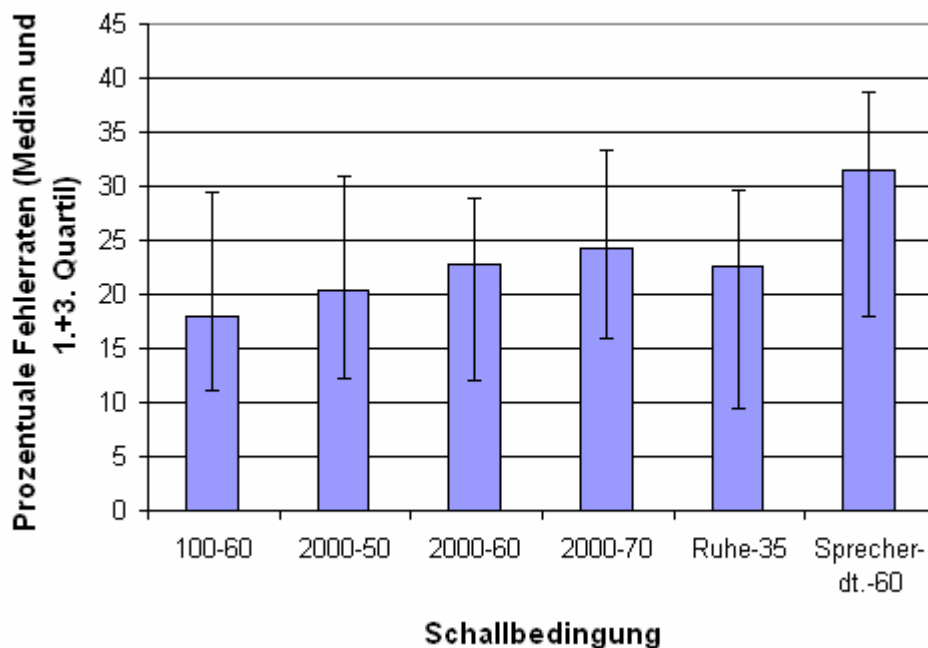
### **3.4.4.1 KLTM (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und der temporal-spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen**

#### **3.4.4.1.1 Durchführung**

Im ersten Experiment werden die Straßenverkehrsgeräusche hinsichtlich ihres Pegels und ihrer temporal-spektralen Variabilität modifiziert und einer Ruhe- sowie Sprachschallbedingung gegenübergestellt (*100-60, 2000-50, 2000-60, 2000-70, Sprecher-dt.-60, Ruhe-35*). Der Versuchsplan ist nach einem einfaktoriellen Messwiederholungsplan angelegt. Die Stichprobe besteht aus 18 Probanden (13 Frauen, 5 Männer) im Alter zwischen 19 und 31 Jahren ( $Md = 23$  Jahre). Der insgesamt dreistündige Versuch ist in zwei experimentelle Sitzungen aufgeteilt. Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Testpersonen beim ersten Termin zunächst zehn Übungsaufgaben unter Ruhe. Im Anschluss wird der KLTM jeweils für eine Dauer von 15 Minuten unter drei der insgesamt 6 Schallbedingungen (*100-60, 2000-50, 2000-60, 2000-70, Sprecher-dt.-60, Ruhe-35*) durchgeführt. Die Probanden sind dazu angehalten während dieser Zeit so viele Aufgaben zu lösen wie möglich. In der zweiten Sitzung wird der KLTM wiederum jeweils für 15 Minuten unter den verbleibenden Schallbedingungen durchgeführt. Die Schalle werden über Kopfhörer (Sennheiser HD 600; Sony Compact Disc Player CDP-103) dargeboten. Die Reihenfolge der Schalldarbietungen ist über die Testpersonen ausbalanciert.

#### **3.4.4.1.2 Ergebnisse**

In die varianzanalytische Auswertung gehen die prozentualen Fehlerraten der Aufgabebearbeitung ein. Da aufgrund unterschiedlicher Grundhäufigkeiten der Anzahl gelöster Aufgaben nicht von einer metrischen Skalierung ausgegangen werden kann, wird hierzu eine nonparametrische Varianzanalyse nach *Friedman* durchgeführt. Diese ergibt einen signifikanten Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $\chi^2 = 11.0$ ;  $df = 5$ ;  $p = .05$ ). Abbildung 8 zeigt die prozentualen Fehlerraten bei der Bearbeitung des KLTM in Abhängigkeit von den verschiedenen Schallbedingungen.



**Abbildung 8: Prozentuale Fehlerraten im KLTM (visuelle Variante) in Abhängigkeit von den Schallbedingungen (Median sowie 1. und 3. Quartil)**

Die weitere Auswertung anhand nonparametrischer (*Wilcoxon Test*) Einzelvergleiche (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) ergibt für den Vergleich zwischen *Ruhe-35* und *Sprecher-dt.-60* einen signifikanten Unterschied ( $p = .02$ ). Der laute Verkehrsschall (*2000-70*) führt entgegen den Erwartungen zu keiner Leistungsbeeinträchtigung ( $p = .23$ ) im Vergleich zu *Ruhe-35*, ebenso keine der anderen Schallbedingungen (*2000-60* vs. *Ruhe-35*:  $p = .45$ ; *2000-50* vs. *Ruhe-35*:  $p = .35$ ; *100-60* vs. *Ruhe-35*:  $p = .20$ ). Eine Trendauswertung der prozentualen Fehlerraten (Trendtest nach Page) unter den Verkehrsschällen mit 2000 Durchfahrten bei 50, 60 und 70 dB(A) ergibt einen signifikant ansteigenden Trend von 50 über 60 zu 70 dB(A) ( $L_{emp} = 229 > L_{tab}(18; 3; 5\%) = 227$ ). Dies spricht für eine Zunahme der Fehlerraten bei steigender Intensität der Verkehrsschalle. Es werden außerdem unter der Schallbedingung 2000-70 signifikant ( $p = .02$ , 1-seitig) mehr Fehler gemacht, als unter der leisen Variante des Schalls (*2000-50*).

Die varianzanalytische Betrachtung der mittleren Bearbeitungszeiten belegt keinen signifikanten Einfluss des Faktors *Schallbedingung* ( $F(5, 85) < 1$ ). Es gibt somit auch keinen Hinweis auf einen Speed-Accuracy Trade-Off.

Die Untersuchung zeigt, dass der gemeinsame Einsatz von verbalen Speicherprozessen und zentral exekutiven Steuerungsfunktionen durch temporal-spektral veränderliche (*Sprecher-dt.-60*) und zumindest im Trend auch durch laute Schalle (*2000-70*) beeinträchtigt werden kann. Der temporal-spektral veränderliche Verkehrsschall bedingt auch in dieser



Untersuchung im Gegensatz zum Sprachschall keine Beeinträchtigung und scheint eine zu geringe temporal-spektrale Variabilität aufzuweisen um eine Störwirkung hervorzurufen.

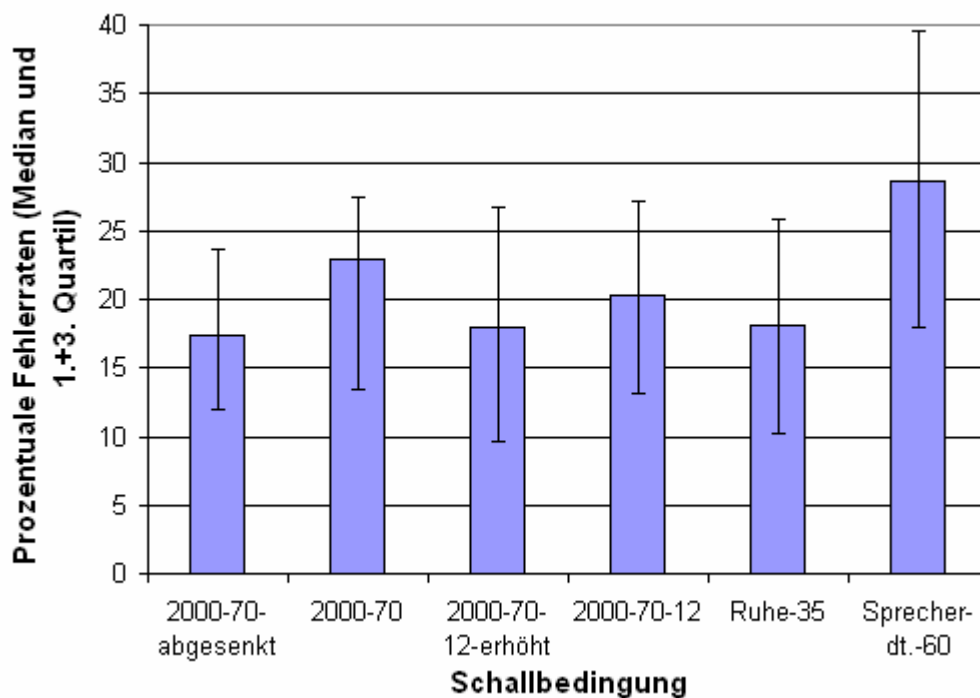
### **3.4.4.2 KLTM (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen**

#### **3.4.4.2.1 Durchführung**

Um zu untersuchen, ob tieffrequente Anteile oder die Lautheit eines Schalls die entscheidenden Faktoren für das Zustandekommen von Störwirkungen sind, werden die Auswirkungen von Modifikationen der Lautheit und des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen auf die Bearbeitung des KLTM untersucht (2000-70, 2000-70-12, 2000-70-abgesenkt, 2000-70-12-erhöht, Sprecher-dt.-60, Ruhe-35). Die Dauer der Aufgabenbearbeitung unter den einzelnen Hintergrundschallbedingungen wird im Vergleich zu Abschnitt 3.3.4.1 auf 10 Minuten verkürzt, so dass der gesamte Versuch in einer Sitzung abgearbeitet werden kann. Das Design ist nach einem einfaktoriellen Messwiederholungsplan konzipiert. Die Stichprobe des insgesamt zweistündigen Versuchs besteht aus 18 Probanden (16 Frauen, 2 Männer) im Alter zwischen 19 und 39 Jahren ( $Md = 23$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Probanden zehn Übungsaufgaben unter Ruhe. Um einer Beeinflussung der Ergebnisse durch Übungseffekte vorzubeugen, erfolgt die Bearbeitung des ersten Versuchsdurchgangs unter Ruhe und wird als Übungsdurchgang nicht in die Auswertung aufgenommen. Anschließend lösen die Probanden unter jeder Schallbedingung jeweils 10 Minuten lang so viele Aufgaben, wie möglich. Die Schalldarbietung erfolgt in balancierter Reihenfolge über Kopfhörer (Sennheiser HD 600; Sony Compact Disc Player CDP-103).

#### **3.4.4.2.2 Ergebnisse**

Die Auswertung anhand einer nonparametrischen Varianzanalyse nach *Friedman* belegt keinen signifikanten Schalleffekt ( $\chi^2 = 6.9$ ;  $df = 5$ ;  $p = .23$ ). Abbildung 9 veranschaulicht die prozentualen Fehlerraten bei der Bearbeitung des KLTM in Abhängigkeit von den Schallbedingungen.



**Abbildung 9: Prozentuale Fehlerraten im KLTM (visuelle Variante) in Abhängigkeit von den verschiedenen Schallbedingungen (Median sowie 1. und 3. Quartil)**

Dennoch werden zur genaueren Betrachtung Einzelvergleiche (*Wilcoxon Test*) vorgenommen. Dabei ergeben sich bei der Gegenüberstellung der Fehlerraten unter *Ruhe-35* und *Sprecher-dt.-60* ( $p < .01$ ; 1-seitig) sowie *Ruhe-35* und *2000-70* ( $p = .06$ ; 1-seitig) signifikante bzw. grenzwertig signifikante Unterschiede. Hingegen unterscheidet sich die Ruhebedingung nicht signifikant von *2000-70-12* ( $p = .24$ ). Alle weiteren Vergleiche sind ebenfalls nicht signifikant (*2000-70-12 erhöht* vs. *Ruhe-35*:  $p = .47$ ; *2000-70 abgesenkt* vs. *Ruhe-35*:  $p = .39$ ). Die Durchführung eines Trendtest (nach Page) belegt einen signifikant ansteigenden Trend bei Betrachtung der Fehlerraten unter *Ruhe-35*, *2000-70-12* und *2000-70* ( $L_{emp} = 226 > L_{tab}(18; 3; 6\%) = 226$ ). Die Leistung unter dem modifizierten Verkehrsschall liegt somit zwischen jener unter Ruhe und dem unmodifizierten Schall. Dieses Ergebnis ist als Hinweis für die Wirksamkeit der Reduzierung tiefer Frequenzanteile von Straßenverkehrsgeräuschen als Lärminderungsmaßnahme zu bewerten, wenngleich im direkten Vergleich zwischen *Ruhe-35*, *2000-70* sowie *2000-70-12* aufgrund geringer Mittelwertsunterschiede keine signifikanten Effekte nachweisbar sind.

Bei der varianzanalytischen Betrachtung der notwendigen Bearbeitungszeit ergibt sich kein signifikanter Schalleffekt ( $F(5, 85) = 1.2$ ;  $p = .31$ ) und damit auch kein Hinweis auf einen Speed-Accuracy Trade-Off.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung bestätigen die bereits in Abschnitt 3.3.4.1.2 aufgezeigte beeinträchtigende Wirkung von Sprachschall und lautem Verkehrsschall (nur grenzwertig bzw. nur im Vergleich zu *2000-50* signifikant) auf die Bearbeitung des KLTM. Die

Pegelreduktion der tiefen Frequenzanteile des Verkehrsschalls führt wie angenommen zu einer Verringerung der Beeinträchtigung, die sich in einem nicht signifikanten Unterschied zwischen der Ruhebedingung und der abgesenkten Verkehrsschallbedingung widerspiegelt. Ob dieser Effekt auf die Reduzierung der Lautheit oder der tiefen Frequenzanteile zurückzuführen ist, lässt sich aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den Fehlerraten unter diesen Bedingungen nicht im Detail klären. Es ist aber anzunehmen, dass sowohl die Lautheit eines Schalls (Hellbrück & Ellermeier, 2004) als auch das Frequenzspektrum (Berglund et al., 1996; LeVere et al., 1974) Einfluss auf die Leistung bei der Bearbeitung des KLTM nehmen.

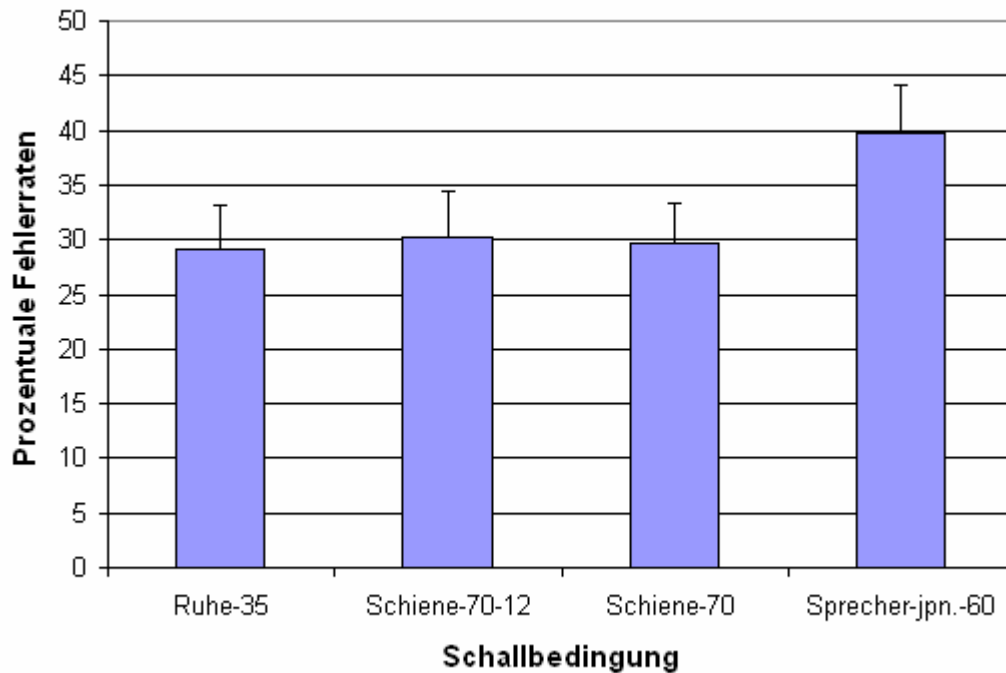
### **3.4.4.3 KLTM (Visuelle Variante): Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Schienenverkehrsgeräuschen**

#### **3.4.4.3.1 Durchführung**

Im Rahmen der dritten Durchführung des KLTM werden die Auswirkungen von verschiedenen Schienenverkehrsgeräuschen (*Schiene-70*, *Schiene-70-12*, *Sprecher-jpn.-60*, *Ruhe-35*) auf die Bearbeitung der Aufgabenstellung untersucht. Als weitere Modifikation wird in dieser Untersuchung nicht die Wirkung von muttersprachlichem Schall zur Kontrolle gegenübergestellt, sondern ein fremdsprachlicher Schall eingesetzt. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die zuvor beschriebenen Wirkungen des Sprachschalls nicht allein auf semantischen sondern auf physikalischen Eigenschaften beruhen. Die Aufgabenstellung ist in dieser Untersuchung im Vergleich zu den vorausgehend eingesetzten Varianten des KLTM leicht modifiziert, da nicht die Dauer der Aufgabenbearbeitung sondern die Anzahl der zu bearbeitenden Aufgaben fixiert ist. Jede Testperson bearbeitet in dem insgesamt zweistündigen Versuch unter jeder Schallbedingung jeweils 24 Aufgaben, die bezüglich der Schwierigkeit und der Anzahl der Additionen bzw. Subtraktionen sowie der notwendigen Zehnersprünge in den Rechnungen ausbalanciert sind. Die Stichprobe besteht aus 20 Probanden (14 Frauen, 6 Männer) im Alter zwischen 19 und 30 Jahren ( $Md = 22$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Testpersonen zunächst 10 Übungsaufgaben unter Ruhe. Der erste Durchgang nach den Übungsaufgaben findet ebenfalls unter Ruhe statt und wird als zusätzlicher Übungsdurchgang nicht ausgewertet. Anschließend bearbeiteten die Testpersonen jeweils 24 Aufgaben unter den verschiedenen Schallbedingungen. Die Darbietung der Hintergrundschalle erfolgt mittels Computer (Pentium IV PC) über Lautsprecher (Genelec 1030A, Genelec 7070A; Standardstereoanordnung) und in interindividuell balancierter Reihenfolge.

### 3.4.4.3.2 Ergebnisse

Die Auswertung der prozentualen Fehlerraten in Abhängigkeit von den Hintergrundschallbedingungen anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung belegt einen signifikanten Schalleffekt ( $F(3, 57) = 7.3; p < .01; \eta^2 = 0.28$ ). Abbildung 10 veranschaulicht die prozentualen Fehlerraten bei der Bearbeitung des KLTM in Abhängigkeit von den Hintergrundschallbedingungen.



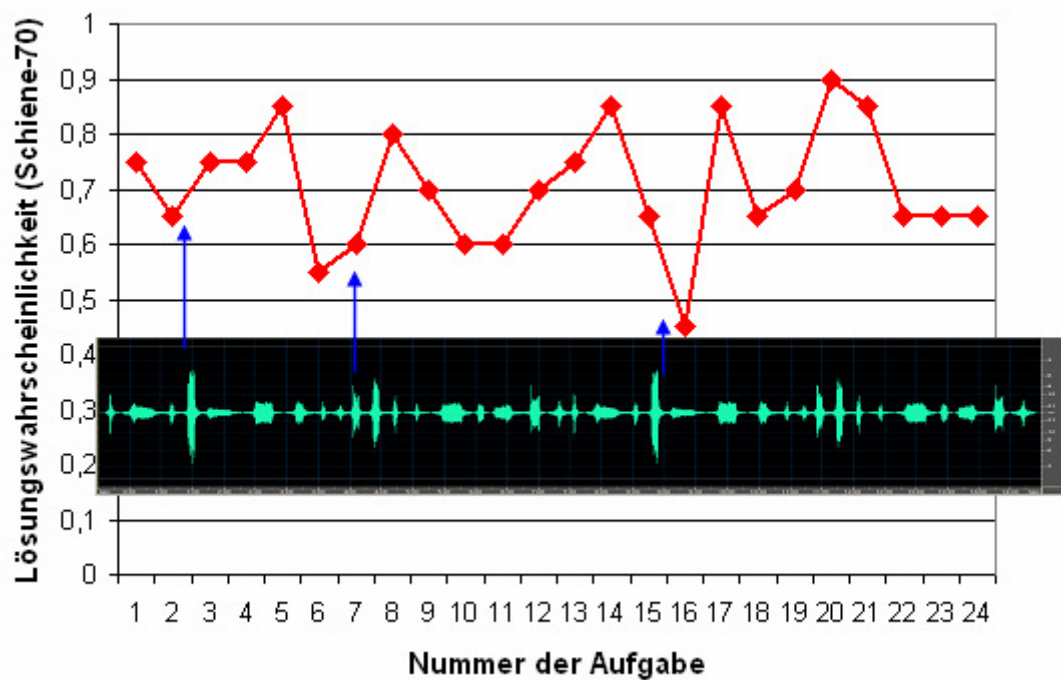
**Abbildung 10: Prozentuale Fehlerraten bei der Bearbeitung des KLTM in Abhängigkeit von den verschiedenen Schallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler)**

Bei der weiteren Analyse (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) zeigt sich eine signifikante Beeinträchtigung der Leistung ( $p < .01$ ) unter Darbietung von fremdsprachlichem Hintergrundschall im Vergleich zur Ruhebedingung. Die Gegenüberstellung der verschiedenen Schienenverkehrsgeräusche mit der Ruhebedingung führt hingegen zu keinem signifikanten Ergebnis (*Ruhe-35* vs. *Schiene-70*:  $p = .44$ ; *Ruhe-35* vs. *Schiene-70-12*:  $p = .36$ ).

Die varianzanalytischen Auswertung der zur Aufgabenbearbeitung notwendigen Bearbeitungszeit ergibt keinen signifikanten Schalleffekt ( $F(3; 57) < 1$ ) und somit auch kein Hinweis auf einen Speed-Accuracy Trade-Off.

Aufgrund der nachgewiesenen Leistungsbeeinträchtigung durch fremdsprachlichen Schall ist davon auszugehen, dass die negativen Auswirkungen von Sprachschall nicht in dessen Bedeutungshaltigkeit begründet sind sondern auf die temporal-spektrale Variabilität zurückzuführen sind. Bei näherer Betrachtung der Wirkung der Schienenverkehrsgeräusche

ergeben sich Hinweise, dass es sich beim Ausbleiben einer signifikanten Leistungsbeeinträchtigung um einen Artefakt der Mittelung der Fehlerraten über die Zeit handelt. Die grafische Darstellung der Leistung in Abhängigkeit vom Pegelverlauf über die Zeit (vgl. Abbildung 11) lässt vermuten, dass bei hohen Pegeln Beeinträchtigungen vorliegen. Einbrüche bezüglich der Lösungswahrscheinlichkeit bei der Darbietung von *Schiene-70* treten in zeitlichem Zusammenhang zu besonders lauten Schallereignissen auf.



**Abbildung 11: Lösungswahrscheinlichkeit des KLTM unter *Schiene-70* und dem zeitlichen Verlauf der Aufgabenbearbeitung. Ergänzend dargestellt ist der Amplitudenverlauf von *Schiene-70* über die Bearbeitungszeit.**

Zugvorbeifahrten zeichnen sich insbesondere durch kurzfristig stark anschwellende Pegel aus. Die vorliegenden Daten weisen darauf hin, dass es während dieser Pegelspitzen zu einer Beeinträchtigung der Leistung kommt. Dieser Annahme muss allerdings durch weitere Untersuchungen z.B. anhand einer an den Pegelverlauf gekoppelten Aufgabendarbietung weiter nachgegangen werden.

### **3.4.4.4 KLTM (Auditive Variante): Modifikation des Pegels und der temporal-spektralen Struktur von Straßenverkehrsgeräuschen**

#### **3.4.4.4.1 Durchführung**

In der auditiven Variante der Aufgabenstellung werden die Ziffern und Operanden der Teilaufgaben des KLTM von vorne über Lautsprecher (Surf Sound 30) präsentiert. Bei den Stimuli handelt es sich um Aufnahmen einer weiblichen Sprecherin<sup>5</sup> mit einer Dauer zwischen 632 ms und 915 ms. Die Geschwindigkeit der Stimulusdarbietung steuern die Probanden per Tastendruck selbst. Jeweils nach Betätigung der Leertaste wird das nächste Glied einer Teilaufgabe präsentiert. Die leiseste Variante des Straßenverkehrsgeräuschs (*2000-50*) wird in dieser Untersuchung nicht eingesetzt, da sich der KLTM diesbezüglich in den vorausgehenden Untersuchungen als nicht sensitiv erwiesen hat. Folglich werden die Effekte von insgesamt 5 verschiedenen Hintergrundschaallbedingungen untersucht (*100-60*, *2000-60*, *2000-65*, *Sprecher-dt.-60*, *Ruhe-35*). Wie zuvor (vgl. Abschnitt 3.1.2.2) wird zur Gewährleistung einer optimalen Sprachverständlichkeit ein Signal-Rausch-Abstand von mindestens 0 dB(A) zwischen den Items des KLTM und den Hintergrundschaallbedingungen realisiert. Zusätzlich wird ein Sprachverständlichkeitstest durchgeführt. Dazu werden die Stimuli der Aufgabenstellung in randomisierter Reihenfolge jeweils dreimal unter den beiden lautesten Hintergrundschaallbedingungen (*2000-65*, *Sprecher-dt.-60*) präsentiert und sind dabei von den Probanden nachzusprechen. Nur bei korrekter Wiedergabe aller Stimuli wird mit der Untersuchung fortgefahren. Der Versuchsplan folgt einem einfaktoriellen Design mit Messwiederholung. Die Stichprobe besteht aus 20 Probanden (17 Frauen, 3 Männer) im Alter zwischen 19 und 43 Jahren ( $Md = 21$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Probanden zehn Übungsaufgaben unter Ruhe. Im Anschluss werden für weitere 10 Minuten Rechenaufgaben unter Ruhe präsentiert. Diese gehen als weiterer Übungsdurchgang nicht in die Auswertung ein. Im Anschluss lösen die Probanden unter jeder Schaallbedingung 10 Minuten lang so viele Aufgaben wie möglich. Die Präsentation der Hintergrundschaall erfolgt mittels eines hinter den Probanden positionierten Lautsprechers (Westra LAB-501, Sony Compact Disc Player CDP-103). Die Reihenfolge der Schaalldarbietung ist dabei über die Testpersonen ausbalanciert. Das errechnete Endergebnis wird von den Probanden laut ausgesprochen und vom Versuchsleiter notiert. Nach der Nennung der Lösung fahren die Testpersonen durch Betätigung der Returnntaste

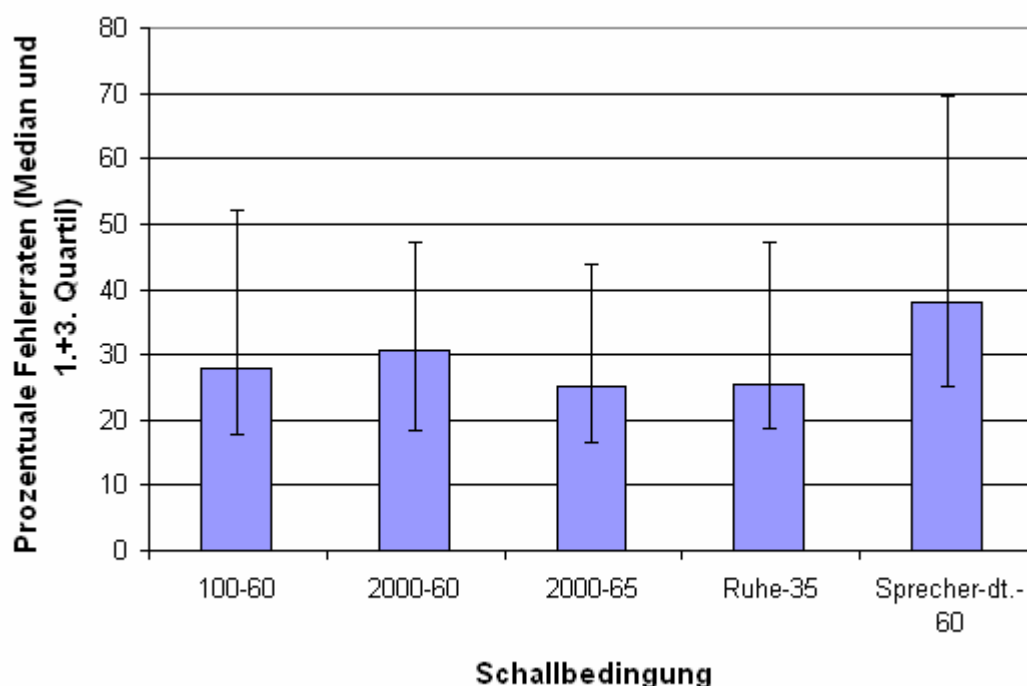
---

<sup>5</sup> Samplefrequenz: 44,1kHz; Auflösung: 16bit; Aufnahme mit Head Acoustics HRS II.2 (Kunstkopf) und DTC-2E700 (Sony Digital Audio Tape Deck); Bearbeitung mit CoolEdit 2000 (Version 1.0, Syntrillium Software Corporation) und SoundEdit™ 16 (Macromedia)

mit der nächsten Aufgabe fort, gleichzeitig dokumentiert der Tastendruck das Ende der Bearbeitungszeit der aktuellen Teilaufgabe. Insgesamt dauert das Experiment ca. 2 Stunden.

#### 3.4.4.4.2 Ergebnisse

Die Auswertung der prozentualen Fehlerraten mittels einer nonparametrischen Varianzanalyse nach *Friedman* ergibt keinen signifikanten Einfluss des Faktors *Schallbedingung* ( $\chi^2 = 5.0$ ;  $df = 4$ ;  $p = .29$ ). Abbildung 12 veranschaulicht die prozentualen Fehlerraten bei der Bearbeitung der auditiven Variante des KLTM in Abhängigkeit von den verschiedenen Schallbedingungen.



**Abbildung 12: Prozentuale Fehlerraten im KLTM (auditive Variante) in Abhängigkeit von den verschiedenen Hintergrundschallbedingungen (Median sowie 1. und 3. Quartil)**

Trotz des Ausbleibens eines signifikanten Effekts in der Varianzanalyse werden zur genaueren Betrachtung Einzelvergleiche (*Wilcoxon Test*) zwischen der Ruhebedingung und den verschiedenen Hintergrundschallen vorgenommen (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen). Dabei ergibt lediglich die Gegenüberstellung des Sprachschalls und der Ruhebedingung einen signifikanten Unterschied ( $p < .01$ ), wobei unter *Sprecher-dt.-60* mehr Fehler gemacht werden als unter *Ruhe-35*. Alle weiteren Vergleiche verfehlen das Signifikanzniveau (*Ruhe-35* vs. *2000-65*:  $p = .28$ ; *Ruhe-35* vs. *2000-60*:  $p = .34$ ; *Ruhe-35* vs. *100-60*:  $p = .45$ ).

Die varianzanalytische Betrachtung der zur Lösung der Aufgaben notwendigen Bearbeitungszeiten belegt keine signifikanten Unterschiede ( $F(4, 76) = 1.2$ ;  $p = .31$ ) und weist somit nicht auf einen Speed-Accuracy Trade-Off hin.

Es ist festzuhalten, dass Sprachschalle die Leistung bei der Bearbeitung sowohl der visuellen als auch der auditiven Variante des KLTM stören. Die Wirkung der Verkehrsgerausche unterscheidet sich insofern, als die in der visuellen Variante der Aufgabenstellung nachgewiesene Störwirkung durch lauten Verkehrsschall in der auditiven Variante nicht nachgewiesen werden kann. Dabei ist jedoch hervorzuheben, dass zwischen dem lautesten Verkehrsgerausche in der visuellen (70 dB(A)) und auditiven (65 dB(A)) Variante des KLTM ein Pegelunterschied von 5 dB(A) vorliegt. Die Ergebnisse deuten auf die Existenz eines kritischen Pegelgrenzwerts hin, dessen Überschreitung zu einer Beeinträchtigung der Leistung im KLTM führt (vgl. auch Maruyama, 1964). Der Verkehrsschall mit einem Pegel von 65 dB(A) scheint in der vorliegenden Aufgabenstellung keinen, für eine Störwirkung ausreichenden, Anstieg des Arousal hervorzurufen.

#### **3.4.4.5 Grammatical Reasoning: Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgerauschen**

##### **3.4.4.5.1 Durchführung**

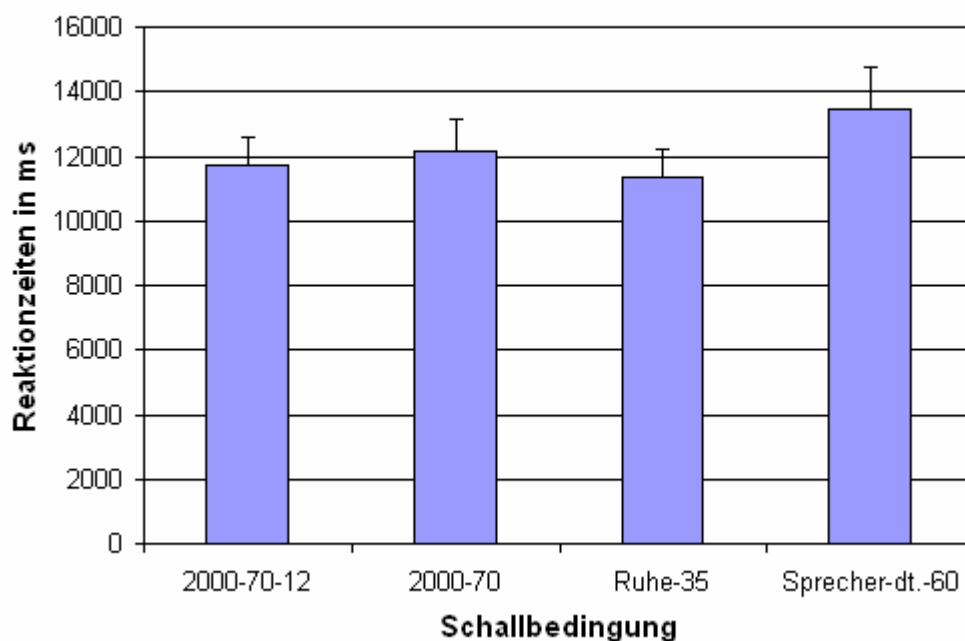
Im folgenden Experiment werden die Auswirkungen von Modifikationen des Pegels und des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgerauschen auf die Bearbeitung eines Grammatical Reasoning Test näher beleuchtet. Da sich im Rahmen der bisher durchgeführten Untersuchungen die Variation der Verkehrsdichte nicht als wirksame Modifikation erwiesen hat, wird diese Maßnahme an dieser Stelle nicht weiter untersucht. Der Ruhebedingung und dem Sprachschall werden hier nur zwei Verkehrsgerausche zum Vergleich gegenübergestellt (*2000-70*, *2000-70-12*, *Sprecher-dt.-60*, *Ruhe-35*). Die Präsentation der Aufgabenstellung erfolgt mittig auf dem Computerbildschirm (Pentium I PC, ERTS). Die einzelnen Glieder der Aufgabe, nämlich die zwei sprachlichen Darstellungen und die zu verifizierende Symbolfolge, werden zeitgleich jeweils separat in einer Zeile dargeboten (Schriftgröße: 16 pt). Im Übungsdurchgang beträgt die maximale Darbietungsdauer 30 s, danach erscheint die Aufforderung beim nächsten Mal schneller zu antworten. Außerdem erhalten die Probanden während der Übung Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Antworten. In den Versuchsdurchgängen wird die Begrenzung der Bearbeitungszeit aufgehoben, ohne die Probanden davon in Kenntnis zu setzen. Das Inter-Trial-Intervall beträgt 500 ms. Die Untersuchung ist nach einem einfaktoriellen Design mit Messwiederholung angelegt und nimmt ca. zwei Stunden in Anspruch. Die Stichprobe besteht aus 20 Probanden (16 Frauen, 4 Männer) im Alter zwischen 19 und 36 Jahren ( $Md = 21.5$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Probanden zuerst 25 Übungsaufgaben unter Ruhe. Darauf folgen weitere 50 Aufgaben unter Ruhe, die allerdings nicht in die Auswertung eingehen. Im Anschluss werden pro Schallbedingung weitere 50 Aufgaben präsentiert. Die Schalldarbietung erfolgt über Kopfhörer (Sennheiser HD 600,



Sony Digital Audio Tape Deck DTC-2E700) und ist bezüglich der Darbietungsreihenfolge der einzelnen Schallbedingungen über die Testpersonen ausbalanciert.

### 3.4.4.5.2 Ergebnisse

Die varianzanalytische Auswertung der prozentualen Fehlerraten ergibt keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit vom Faktor *Schallbedingung* ( $F(3, 57) = 1.7; p = .17$ ). Da jedoch die varianzanalytische Betrachtung der Bearbeitungszeiten ( $F(1.6, 30.2) = 7.1; p = .01; \eta^2 = 0.27$ ) Hinweise auf einen bedeutsamen Einfluss des Faktors *Schallbedingung* und somit auf eine Verlagerung des Schalleffektes auf die Bearbeitungszeiten gibt, werden im Folgenden an Stelle der Fehlerraten die Reaktionszeiten näher betrachtet. Die mittleren Bearbeitungszeiten in Abhängigkeit von den verschiedenen Hintergrundschaallbedingungen sind in Abbildung 13 dargestellt.



**Abbildung 13: Mittlere Reaktionszeiten im Grammatical Reasoning Test in Abhängigkeit von den Schallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler)**

Einzelvergleiche (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen bezüglich einer Verschlechterung der Leistung unter den Hintergrundschaallbedingungen) belegen signifikant längere Bearbeitungszeiten unter *Sprecher-dt.-60* im Vergleich zu *Ruhe-35* ( $p < .01$ ). Ebenso finden sich verlängerte Bearbeitungszeiten bei der Gegenüberstellung von *2000-70* mit *Ruhe-35* ( $p = .01$ ). Unter *2000-70-12* ergibt sich hingegen im Vergleich zur Ruhebedingung keine Verlangsamung ( $p = .08$ ). Da dieser Vergleich beinahe signifikant ausfällt, werden zusätzlich die beiden Verkehrsschalle *2000-70* und *2000-70-12* gegenübergestellt. Dieser Vergleich ist grenzwertig signifikant ( $p = .06$ ). Da zwar hintergrundschaallbedingte Veränderungen der

Bearbeitungszeiten aber keine Beeinflussungen der Fehlerraten vorliegen ist ein Speed-Accuracy Trade-Off auszuschließen. Demnach wirken sich sowohl temporal-spektral veränderlicher Sprachschall als auch das Verkehrsgeräusch hohen Pegels negativ, im Sinne einer Verlangsamung, auf die Leistung im Grammatical Reasoning Test aus. Bezüglich des im tieffrequenten Bereich abgesenkten Straßenverkehrsgeräuschs ist diese Verlangsamung im Vergleich zur Ruhebedingung gerade nicht mehr nachweisbar. Grenzwertig signifikant ( $p = .06$ ) ist allerdings der Unterschied zwischen *2000-70* und *2000-70-12*.

#### **3.4.4.6 Grammatical Reasoning: Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Schienenverkehrsgeräuschen**

##### **3.4.4.6.1 Durchführung**

In einem weiteren Experiment wird die Wirkung der Modifikation des Pegels und des Frequenzspektrums von Schienenverkehrsgeräuschen (*Schiene-70*, *Schiene-70-12*) auf die Bearbeitung des Grammatical Reasoning Test untersucht. Als Kontrollbedingungen werden ein fremdsprachliches Geräusch (*Sprecher-jpn.-60*) und eine Ruhebedingung (*Ruhe-35*) eingesetzt. Die Untersuchung folgt wie zuvor einem einfaktoriellen Design mit Messwiederholung und nimmt ca. 2 Stunden in Anspruch. Die Stichprobe besteht aus 20 Probanden im Alter zwischen 20 und 38 Jahren ( $Md = 22$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Probanden zuerst 25 Übungsaufgaben unter Ruhe. Im Anschluss werden weitere 50 Aufgaben unter Ruhe präsentiert, die nicht die Auswertung eingehen. Daraufhin werden jeweils 50 Aufgaben unter den verschiedenen Schallbedingungen präsentiert. Die Darbietung der verschiedenen Schallbedingung erfolgt über Kopfhörer (Sennheiser HD 600, Sony Digital Audio Tape Deck DTC-2E700) in interindividuell ausbalancierter Reihenfolge.

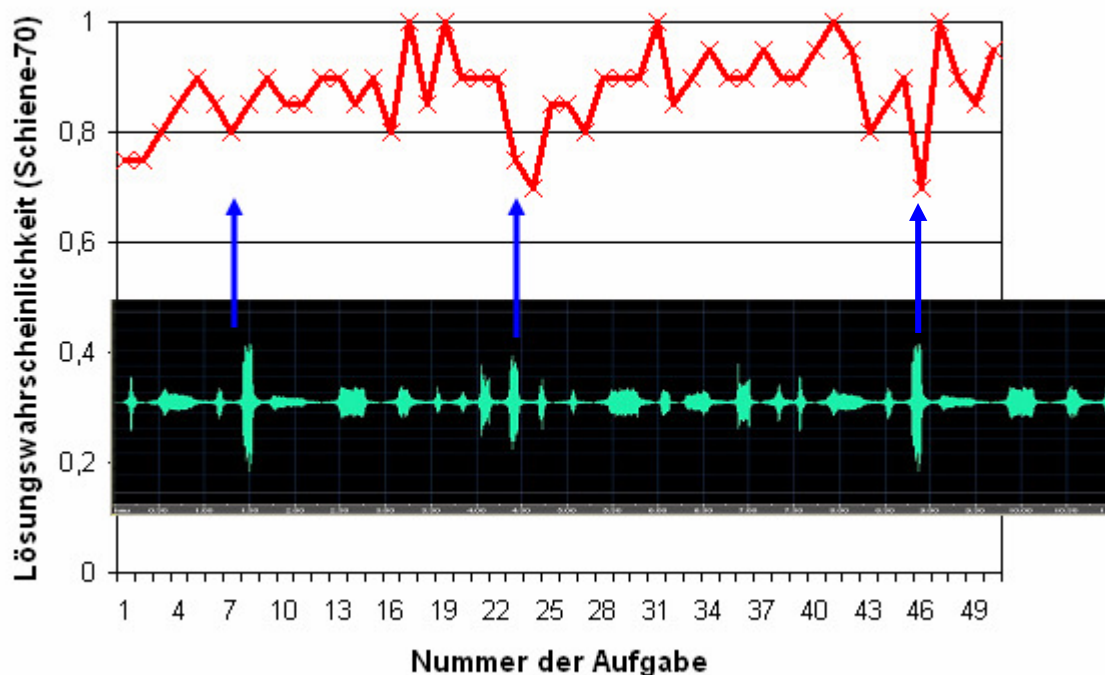
##### **3.4.4.6.2 Ergebnisse**

Die Auswertung der prozentualen Fehlerraten anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ergibt keinen signifikanten Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(3, 57) = 1.0; p = .41$ ).

Bezüglich der zur Lösung der Aufgaben notwendigen Bearbeitungszeit ergibt die varianzanalytische Auswertung ebenfalls keinen signifikanten Effekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(3, 57) < 1$ ).

Die deskriptive Betrachtung der Fehlerraten unter Darbietung des Schienenverkehrsgeräuschs *Schiene-70* in Abhängigkeit vom Pegelverlauf (vgl. Abbildung 13) weist wie schon im KLTM darauf hin, dass laute Schallereignisse Störwirkungen hervorrufen, wenngleich dieser Effekt im Mittel nicht nachweisbar ist. Es ist anzunehmen, dass die Mittelung der Fehlerraten über den gesamten Zeitraum der Aufgabenbearbeitung eine Unterschätzung der

Störwirkung des Schienenverkehrsgeräuschs *Schiene-70* bedingt und bei genauerer Betrachtung von einzelnen Schallereignissen mit hohen Pegeln signifikante Effekte zu erwarten sind. Dem ist hinzuzufügen, dass in Abhängigkeit von der am Arbeitsplatz zu verrichtenden Tätigkeit bereits einzelne Fehler schwerwiegende Konsequenzen nach sich ziehen können.



**Abbildung 13: Lösungswahrscheinlichkeit des Grammatical Reasoning Test unter dem Schall *Schiene-70* und dem zeitlichen Verlauf der Aufgabenbearbeitung. Ergänzend dargestellt ist der Amplitudenverlauf des Schienengeräuschs *Schiene-70* über die Bearbeitungszeit.**

### 3.5 Modul IV: Lesen und Textverstehen

Beim Lesen und Verstehen von Texten handelt es sich um eine beim Wissenserwerb und Umgang mit Informationen notwendige Schlüsselqualifikation, welche beim Arbeiten in Büro- oder Schulumgebungen von zentraler Bedeutung ist. Es besteht die Möglichkeit, dass diese Fähigkeit durch Lärm beeinträchtigt wird. Tatsächlich stört Sprache als Hintergrundschall das Leseverständnis und das Texterinnern (Hygge et al., 2003; Knez & Hygge, 2002; Martin, Wogalter & Forlano, 1988; Oswald, Tremblay & Jones, 2000), das Korrekturlesen (Jones, Miles & Page, 1990) sowie das Lernen von Prosatexten (Banbury & Berry, 1998). Da das Lesen bzw. Textverstehen ebenso wie die Serial Recall Aufgabe (vgl. Abschnitt 2.2.1) sensitiv gegenüber Beeinträchtigungen durch sprachlichen und damit temporal-spektral veränderlichen Hintergrundschall ist, liegt es nahe auch die Beeinflussbarkeit durch Verkehrsschalle von hoher Variabilität näher zu betrachten. Dieses Vorhaben wird zusätzlich

durch einen Befund unterstützt, wonach auch Verkehrslärm das Erinnern von Textinformationen stört (Hygge et al., 2003).

### 3.5.1 Theoretischer Hintergrund

Lesen bzw. Textverstehen ist der Prozess bei dem schriftlichen Äußerungen Bedeutung zugewiesen wird. Man unterscheidet dabei verschieden komplexe Verarbeitungsebenen (vgl. Abbildung 14), nämlich eine Wort-, Satz- und Textebene (Christmann & Groeben, 1999). Zuerst müssen auf der Wortebene Buchstaben bzw. Wörter erkannt und Wortbedeutungen zugewiesen werden (Lexikalischer Zugriff). Auf der Satzebene werden anhand syntaktischer und



Abbildung 14: Schematische Gliederung der Verarbeitungsebenen beim Lesen und Textverstehen.

semantischer Verarbeitungsvorgänge Beziehungen zwischen einzelnen Worten bzw. verschiedenen Wortfolgen hergestellt. Schließlich gilt es auf der Textebene Informationen satzübergreifend zu einem kohärenten Ganzen zusammenzufügen und in die persönliche Wissensbasis zu integrieren. Dem Arbeitsgedächtnis wird beim Lesen und Textverstehen eine zentrale Rolle zugeschrieben. Dort werden Informationen integriert oder zur weiteren Verarbeitung bereitgehalten (Daneman & Carpenter, 1980; Daneman & Merikle, 1996; Haarmann, Davelaar & Usher, 2003; Hacker, Veres & Wollenberger, 1994). Im Rahmen des Working Memory Model werden Lese- und Textverständnisleistungen dem Zusammenwirken verschiedener Komponenten des Arbeitsgedächtnisses zugeschrieben (vgl. Abschnitt 2.1). Insbesondere spielen dabei die zentrale Exekutive sowie der phonologische und der episodische Speicher eine entscheidende Rolle (Baddeley, 2000, 2002, 2003).

### 3.5.2 Operationalisierung

#### 3.5.2.1 Lexikalische Entscheidungsaufgabe

In der psycholinguistischen Forschung wird von der Beteiligung phonologischer Codes an der visuellen Worterkennung ausgegangen. Dies bedeutet, dass auch beim stillen Lesen von Wörtern klangliche Informationen zu deren Identifikation benutzt werden. Um einen klassischen Befund hinsichtlich der Beteiligung phonologischer Prozesse an der visuellen Worterkennung handelt es sich beim sog. Pseudohomophoneffekt (Rubenstein, Lewis & Rubenstein, 1971). Darunter versteht man das Auftreten erhöhter Fehlerraten bzw. verlängerter Reaktionszeiten bei der Zurückweisung von *Pseudohomophonen* im Vergleich

zu *Nichtwörtern* im Rahmen von *lexikalischen Entscheidungsaufgaben*. Nichtwörter sind aussprechbare Buchstabenfolgen, die allerdings weder orthographisch noch phonologisch einem existierendem Wort entsprechen (z.B. Bavn). Bei Pseudohomophonen handelt es sich um aussprechbare Nichtwörter, die lautbildidentisch mit einem tatsächlich existierenden Wort sind (z.B. Baan). Eine lexikalische Entscheidungsaufgabe beinhaltet die Anforderung zu entscheiden, ob es sich bei einem dargebotenen Stimulus um ein Wort oder Nichtwort handelt.

### **3.5.2.2 Lesespannentest**

Von den Autoren Daneman und Carpenter (1980) stammt die sog. *Reading Span Aufgabe*, ein Verfahren zur Messung der textspezifischen Arbeitsgedächtniskapazität. Die Probanden sind dabei dazu angehalten eine steigende Anzahl von Sätzen laut zu lesen und gleichzeitig die Endwörter dieser Sätze zu memorieren. Die maximale Anzahl gelesener Sätze, deren Endwörter korrekt erinnert werden, bestimmt die individuelle Lesespanne (Reading Span) als Maß für die textspezifische Arbeitsgedächtniskapazität. Das Verfahren erfasst zum Lesen und Textverstehen gemeinsam notwendige Speicher- und Verarbeitungsfunktionen des Arbeitsgedächtnisses (Daneman & Carpenter, 1980; Daneman & Merikle, 1996; Hacker, Handrick & Veres, 2002). Von Hacker, Handrick und Veres (2002) stammt der Lesespannentest (LSPT), ein an der Reading Span Aufgabe (Daneman & Carpenter, 1980) orientiertes, deutschsprachiges Verfahren zur Bestimmung der textspezifischen Arbeitsgedächtniskapazität. Ein wesentlicher Unterschied im Vergleich zur Reading Span Aufgabe besteht im LSPT darin, dass nicht nur die Endwörter, sondern auch der Inhalt der dargebotenen Sätze in Form von Schlagworten schriftlich reproduziert werden muss.

### **3.5.2.3 Garden Path Aufgabe**

Um die Bedeutung von Texten zu entschlüsseln, ist es notwendig syntaktische und semantische Relationen zwischen einzelnen Worten zu erfassen. Man nennt diesen Vorgang *Parsing* (Anderson, 2001). Es existieren empirische Befunde, welche auf die Bedeutung des textspezifischen Arbeitsgedächtnisses beim Parsing hinweisen. Probanden mit geringer Arbeitsgedächtniskapazität benötigen bei der Verifikation ambiguer Sätze mehr Zeit und ihnen unterlaufen mehr Fehler, als Testpersonen mit hoher Kapazität (Just & Carpenter, 1992; Vos, Gunter, Schriefers & Friederici, 2001). *Garden Path Sätze* weisen eine vorübergehende Ambiguität auf, die anfänglich zu einer falschen Interpretation des Satzes führt und im weiteren Verlauf korrigiert werden muss. Das folgende Beispiel zeigt eine ambigüe Nebensatzkonstruktion, welche erst durch das Hilfsverb aufgelöst wird. Bis dahin bleibt unklar, welches Nomen die Subjekt- bzw. Objektrolle einnimmt.

*In den Akten war nachzulesen, welche Doktorin die Krankenpfleger gerufen haben.*

Werden im Rahmen von Satzverifikationsaufgaben ambigüe Satzkonstruktionen zur Beurteilung der Richtigkeit bzw. Falschheit der dargebotenen Sätze vorgelegt, ergeben sich im Vergleich zu eindeutigen Satzkonstruktionen verlängerte Lesezeiten und erhöhte Fehlerzahlen (Hemforth & Strube, 1999).

#### **3.5.2.4 Komplexe Textaufgabe**

Der komplexe Vorgang des Lesens und Textverstehens geht über die Identifikation und das Behalten von Wörtern sowie die Herstellung syntaktischer Relationen hinaus und beinhaltet ferner Informationen satzübergreifend zu einem kohärenten Ganzen zusammenzufügen und in die persönliche Wissensbasis zu integrieren. Dieser Vorgang wird im Rahmen einer komplexen Textaufgabe untersucht. An die Probanden werden zwei, für den Büro- bzw. Schulalltag typische, Anforderungen gestellt. Zum einen soll ein Text korrigiert, gleichzeitig aber auch sinnverstehend gelesen werden. Dazu wird ein Text dargeboten, der sowohl orthographische als auch grammatikalische Fehler enthält. Im Anschluss an den Korrektur- und Lesevorgang wird das Verstehen durch inhaltliche Fragen zum Text geprüft. Außerdem wird ein Wiedererkennungstest eingesetzt um die Repräsentation von Textinformationen auf den verschiedenen Repräsentationsebenen (Wort-, Satz-, Textebene) zu untersuchen. Hierzu werden im Anschluss an die Textdarbietung Testsätze präsentiert, die dahingehend zu beurteilen sind, ob sie im zuvor gelesenen Text wortwörtlich enthalten waren oder nicht. Es kommen Testsätze zum Einsatz, die mit dem dargebotenen Text wortwörtlich übereinstimmen (Originalsätze), Paraphrasierungen der vorherigen Sätze darstellen (Paraphrasen), lediglich in inhaltlichem Bezug zu den vorab präsentierten Sätzen stehen (Inferenzsätze) oder sich hinsichtlich Wortlaut und Inhalt vom ursprünglichen Text unterscheiden (negative Sätze). Legt man die Abbildung der Textinformationen auf verschiedenen Repräsentationsebenen zu Grunde, dann ist zu erwarten, dass die Testsätze in Abhängigkeit vom Grad ihrer Übereinstimmung mit der mentalen Repräsentation des Textes unterschiedlich häufig akzeptiert werden, wenn beurteilt werden soll, ob sie im zuvor gelesenen Text wortwörtlich enthalten waren oder nicht. (Beyer, Guthke & Pekrul, 1996; Kintsch, Welsch, Schmalhofer & Zimny, 1990).

#### **3.5.3 Hypothesen**

Im Rahmen der Forschung zum Irrelevant Sound Effect (vgl. Abschnitt 2.2.1) wird davon ausgegangen, dass temporal-spektral stark veränderliche Hintergrundschnalle die Nutzung phonologischer Informationen im Arbeitsgedächtnis beeinträchtigen. Es ist daher anzunehmen, dass auch phonologische Prozesse während des lexikalischen Zugriffs durch Sprachschall und temporal-spektral stark veränderliche Verkehrsgeräusche gestört werden können. In Folge dessen sollte der in der lexikalischen Entscheidungsaufgabe unter Ruhe sowohl hinsichtlich der Fehlerraten als auch bezüglich der Bearbeitungszeiten zu erwartende

Pseudohomophoneffekt durch die Darbietung temporal-spektral veränderlicher Hintergrundschalle beeinflusst bzw. beseitigt werden. Aufgrund der Beteiligung von zentral exekutiven Planungs- und Kontrollfunktionen am Lesen und Textverstehen (vgl. Abschnitt 3.5.1) wird ferner angenommen, dass sich dieser Vorgang sensitiv für Veränderungen des Arousal und damit auch für Reduzierungen tiefer Frequenzanteile erweist (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Beim Lesen und Textverstehen bedarf es des kombinierten Einsatzes von Speicher- und Verarbeitungsfunktionen des Arbeitsgedächtnisses (vgl. Abschnitt 3.5.2.2). Im Rahmen des Irrelevant Sound Effect (vgl. Abschnitt 2.2.1) erweisen sich verbale Speicherprozesse des Arbeitsgedächtnisses sensitiv gegenüber Beeinträchtigungen durch temporal-spektral veränderlichen Hintergrundschall. Es wird daher erwartet, dass temporal-spektral veränderliche Verkehrsgeräusche ebenso wie Sprachschall im Vergleich zur Ruhebedingung die Bearbeitung der beiden Teilaufgaben des eingesetzten Lesespannentests stören. Aufgrund der Beteiligung von zentral exekutiven Verarbeitungsprozessen an der Lösung des Lesespannentests wird ferner ein arousalbasierter Wirkmechanismus und eine geringere Störwirkung des im tieffrequenten Bereich reduzierten Verkehrsschalls angenommen (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Ausgehend von der Bedeutung von Speicher- und Verarbeitungsfunktionen des Arbeitsgedächtnisses beim Parsing (vgl. Abschnitt 3.5.2.4) und der Sensitivität des verbalen Arbeitsgedächtnisses gegenüber Beeinträchtigungen durch temporal-spektral veränderliche Hintergrundschalle (vgl. Abschnitt 2.2.1), wird auch eine Beeinträchtigung der Garden Path Aufgabe durch temporal-spektral veränderliche Verkehrsgeräusche und Sprachschall im Vergleich zu Ruhe angenommen. Ebenso wird auf Grundlage eines arousalbasierten Wirkmechanismus von einer geringeren Störwirkung des im tieffrequenten Bereich reduzierten Verkehrsgeräuschs ausgegangen.

Die Konstruktion mentaler Repräsentationen von Textinformationen wird durch den kombinierten Einsatz der Komponenten des Arbeitsgedächtnisses geleistet (vgl. Abschnitt 3.5.1). Da sich verbale Speicherprozesse des Arbeitsgedächtnisses sensitiv gegenüber Beeinträchtigungen durch temporal-spektral veränderlichen Hintergrundschall zeigen (vgl. Abschnitt 2.2.1) wird erwartet, dass die Verarbeitung von Textinformationen auf Wort-, Satz-, und Textebene durch temporal-spektral veränderliche Verkehrsgeräusche ebenso wie durch Sprachschall im Vergleich zu Ruhe gestört wird. Es sollten mehr Fehler im Text übersehen und weniger inhaltliche Fragen korrekt beantwortet werden. Des Weiteren wird angenommen, dass aufgrund der hintergrundschaallbedingten schlechteren Repräsentation der Textinformationen das Urteilsverhalten der Probanden im Wiedererkennungstest „zufälliger“ wird. Die Akzeptierungshäufigkeiten für die verschiedenen Testsätze sollten sich unter den verschiedenen Hintergrundschaallen signifikant von der Ruhebedingung unterscheiden und sich in Richtung der Ratewahrscheinlichkeit (im gegebenen Fall 50%)

verändern. Aufgrund der Beteiligung von zentral exekutiven Verarbeitungsprozessen am Lesen und Textverstehen wird außerdem wie zuvor ein arousalbasierter Wirkmechanismus und eine geringere Störwirkung des im tieffrequenten Bereich reduzierten Verkehrsgeräuschs angenommen (vgl. Abschnitt 2.2.2).

### **3.5.4 Experimentelle Untersuchungen**

Anhand der zuvor beschriebenen Aufgabenstellungen (Lexikalische Entscheidungsaufgabe, Lesespannentest, Garden Path Aufgabe, komplexe Textaufgabe) wird im Folgenden der Einfluss von zwei Straßenverkehrsgeräuschen (*LKW-70*, *LKW-70-12*) auf verschiedene Prozesse des Lesens und Textverstehens im Vergleich zu einer Ruhe- (*Ruhe-24*) und einer Sprachschallbedingung (*Sprecher-dt.-70*) untersucht.

#### **3.5.4.1 Lexikalische Entscheidungsaufgabe: Modifikation des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen**

##### **3.5.4.1.1 Durchführung**

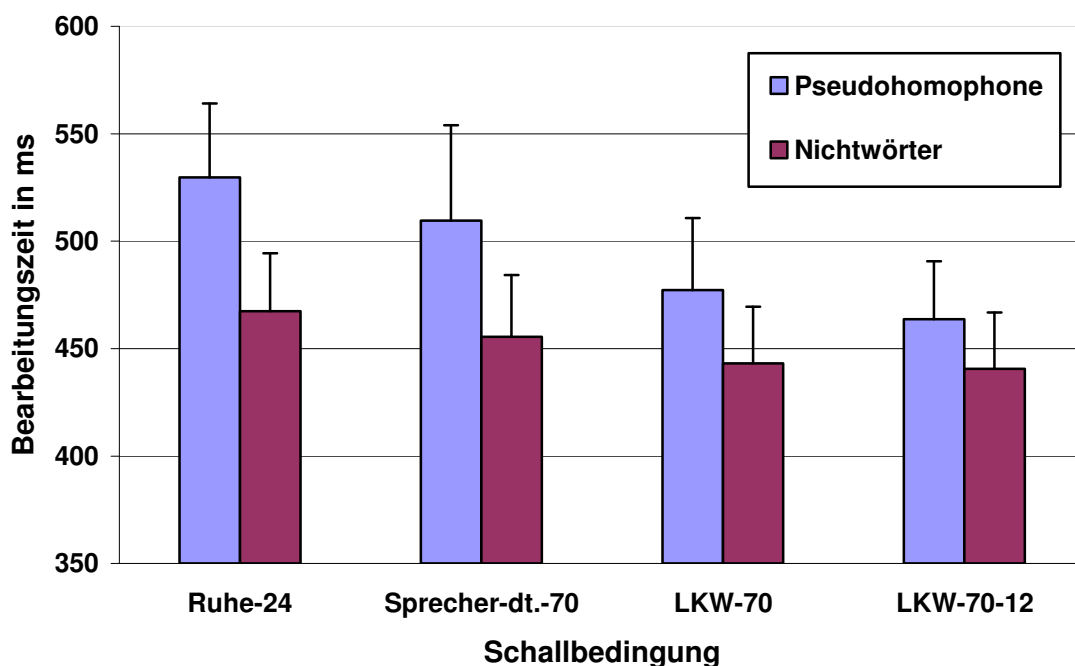
Die Untersuchung beinhaltet die Aufgabenstellung zu entscheiden, ob es sich bei einem dargebotenen Stimulus um ein Wort oder Nichtwort handelt (vgl. Abschnitt 3.5.2.1) und ist nach einem zweifaktoriellen Design mit vollständiger Messwiederholung angelegt. Die Stichprobe besteht aus 20 Probanden (15 Frauen, 5 Männer) im Alter zwischen 20 und 34 Jahren ( $Md = 22$  Jahre). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Probanden am Computer (Macintosh iBook; PsyScope 1.2.5) zunächst 20 Übungsaufgaben unter Ruhe. Die Aufgabe beginnt mit einem kurzen Startintervall, das von Durchgang zu Durchgang zufällig, in Schritten von 100 ms, zwischen 1700 ms und 2300 ms variiert. Auf dieses Startintervall folgt ein in der Bildschirmmitte dargebotener Doppelpunkt (Schriftgröße: 56 pt; Schriftart: Courier New) als Fixationsstimulus. Die Darbietungsdauer des Fixationsstimulus variiert in Schritten zu 25 ms, zwischen 450 ms und 550 ms. Unmittelbar nach dem Ende des Hinweisreizes wird ein Stimulus präsentiert. Die Darbietungsdauer der Buchstabenfolgen variiert in Abhängigkeit von der Anzahl der gezeigten Buchstaben. Dabei werden eine Grundzeit von 140 ms pro Stimulus und zusätzliche 20 ms pro Buchstaben veranschlagt. Die Stimuli (Schriftgröße: 36 pt; Schriftart: Courier New) werden zentral in der Mitte des Bildschirms gezeigt. Die Antworttasten (d/l) sind mit einem Plus- oder Minuszeichen gekennzeichnet. Die Tastenbelegung wird in ausgeglichenem Verhältnis zwischen den Versuchspersonen variiert. Insgesamt werden in vier Durchgängen, zu je 80 Stimuli, 320 Buchstabenfolgen unter den verschiedenen, in balancierter Reihenfolge per Kopfhörer (Sennheiser HD 600; Sony CDP-103) dargebotenen Hintergrundschaallbedingungen (*LKW-70*, *LKW-70-12*, *Sprecher-dt.-70*, *Ruhe-24*) bearbeitet. Die 80 Stimuli in einem Durchgang beinhalten jeweils 20 Pseudohomophone und 20 Nichtwörter sowie 40 korrekte Wörter. Nach



der Bearbeitung von 80 Buchstabenfolgen erfolgt jeweils eine kurze Pause mit dem Wechsel der Hintergrundschaallbedingung. Die Dauer des Experiments liegt bei ca. 30 Minuten.

### 3.5.4.1.2 Ergebnisse

Relevant für die Überprüfung der Wirkung der verschiedenen Hintergrundschaallbedingungen auf die lexikalische Entscheidungsaufgabe ist das Verhältnis der Reaktionszeiten und Fehlerraten bei der Beurteilung der Pseudohomophone im Vergleich zu den Nichtwörtern unter den verschiedenen Schallbedingungen. Der Faktor *Stimulustyp* liegt zweifach, der Faktor *Schallbedingung* vierfach gestuft vor. Die varianzanalytische Auswertung bezüglich der notwendigen Bearbeitungszeiten ergibt signifikante Haupteffekte bezüglich der Faktoren *Stimulustyp* ( $F(1, 19) = 27.08, p < .01, \eta^2 = .59$ ) und *Schallbedingung* ( $F(3, 57) = 3.94, p = .01, \eta^2 = .17$ ), jedoch keine signifikante Interaktion ( $F(2.1, 38.9) = 1.13, p = .34$ ). Abbildung 15 zeigt die notwendigen mittleren Bearbeitungszeiten in der lexikalischen Entscheidungsaufgabe in Abhängigkeit vom Stimulustyp und den Hintergrundschaallbedingungen.



**Abbildung 15: Bearbeitungszeiten in der lexikalischen Entscheidungsaufgabe in Abhängigkeit vom Stimulustyp und den Hintergrundschaallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler).**

Die Beurteilung der Pseudohomophone dauert signifikant länger, als die der Nichtwörter (Pseudohomophone: 495 ms; Nichtwörter: 452 ms). Der Pseudohomophoneffekt ist demnach anhand der ausgewählten Stimuli nachweisbar. Zur weiteren Auswertung werden Mittelwertvergleiche zwischen den, über die beiden Stufen des Faktors *Stimulustyp* gemittelten, Bearbeitungszeiten der verschiedenen Hintergrundschaallbedingungen (*LKW-70*,

*LKW-70-12*, *Sprecher-dt.-70*) und der Ruhebedingung (*Ruhe-24*) durchgeführt (zweiseitige Testung). Ebenso werden die Bearbeitungszeiten bei der Beurteilung der Pseudohomophone und der Nichtwörter innerhalb der einzelnen Schallbedingungen gegenübergestellt (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen). Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den über die Stimulustypen gemittelten Bearbeitungszeiten unter *Ruhe-24* und *LKW-70-12* ( $p < .01$ ) sowie *Ruhe-24* und *LKW-70* ( $p = .01$ ). Das bedeutet, dass in den beiden Verkehrsschallbedingungen schneller gearbeitet wird, als in der Ruhebedingung. Der Unterschied zwischen *Ruhe-24* und *Sprecher-dt.-70* ist nicht signifikant ( $p = .39$ ). Der Vergleich der Bearbeitungszeiten zwischen den Pseudohomophonen und den Nichtwörtern ergibt unter den verschiedenen Hintergrundschaallbedingungen stets signifikante Unterschiede (*Ruhe*:  $p < .01$ ; *Sprecher-dt.-70*:  $p < .01$ ; *LKW-70*:  $p < .01$ ; *LKW-70-12*:  $p = .03$ ). Demnach bleibt der Pseudohomophon-effekt hinsichtlich der Bearbeitungszeiten in den verschiedenen Beschallungssituationen bestehen.

Die varianzanalytische Betrachtung der Fehlerraten ergibt einen hochsignifikanten Haupteffekt des Faktors *Stimulustyp* ( $F(1, 19) = 10.22, p < .01, \eta^2 = .35$ ). Es werden mehr Fehler bei der Bearbeitung der Pseudohomophone gemacht (Pseudohomophone: 5.7%; Nichtwörter: 3.0%), wobei die Fehlerraten allgemein gering ausfallen. Der Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(1.7, 31.4) < 1$ ) sowie die Interaktion zwischen den beiden Faktoren ( $F(3, 57) < 1$ ) erweisen sich nicht als statistisch bedeutsam. Die Gegenüberstellung der Fehlerraten bei der Beurteilung der Pseudohomophone und der Nichtwörter unter den verschiedenen Schallbedingungen ergibt nur bezüglich *LKW-70-12* ( $p < .01$ ) und *LKW-70* ( $p = .04$ ) signifikante Unterschiede. Die Vergleiche in der Ruhe- und der Sprachschallbedingung erreichen nicht das Signifikanzniveau. Dies bedeutet, dass der Pseudohomophoneffekt im Hinblick auf die Fehlerraten in der Ruhebedingung nicht nachzuweisen ist. Dies schwächt die Interpretierbarkeit der berichteten Ergebnisse bezüglich der Fehlerraten im Hinblick auf die Untersuchungshypothesen ab, da angenommen wurde (vgl. Abschnitt 3.5.3), dass die Hintergrundschaallbedingungen die Nutzung phonologischer Informationen beeinträchtigen und damit den Pseudohomophoneffekt reduzieren. Wegen des nicht nachweisbaren Pseudohomophoneffekts in der Ruhebedingung ist eine entsprechende Interpretation der Ergebnisse nicht möglich. Des Weiteren wird aufgrund des Ausbleibens einer signifikanten Beeinträchtigung durch die Verkehrsschalle im Vergleich zu Ruhe an dieser Stelle auf eine grafische Darstellung der Fehlerraten verzichtet.

Insgesamt sind die Auswirkungen der verschiedenen Hintergrundschaallbedingungen auf die lexikalische Entscheidungsaufgabe als gering einzustufen. Phonologische Prozesse der visuellen Worterkennung werden durch die verschiedenen Hintergrundschaallbedingungen nicht in spezifischer Weise beeinflusst. Es ergibt sich lediglich ein Hinweis auf eine leicht

beschleunigte Aufgabenbearbeitung unter den Verkehrsschallbedingungen. Dies mag auf eine Steigerung des allgemeinen Erregungsniveaus durch Verkehrslärm zurückgeführt werden, die allerdings durch eine Modifikation des Anteils tiefer Frequenzen nicht weiter beeinflusst wird.

### **3.5.4.2 Lesespannentest: Modifikation des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen**

#### **3.5.4.2.1 Durchführung**

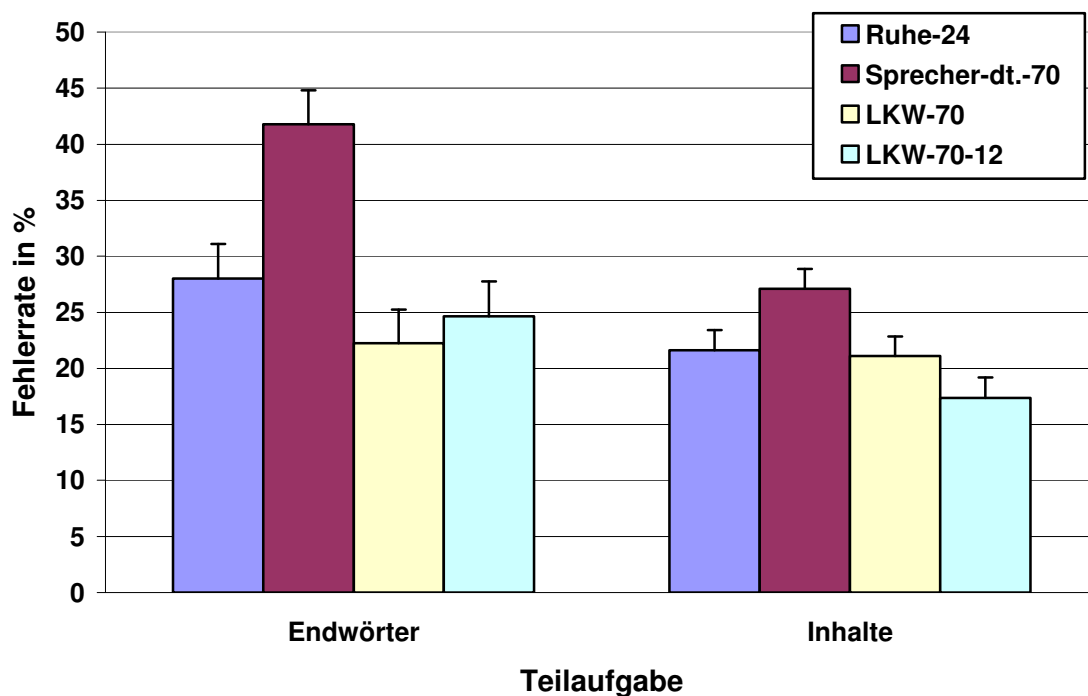
Anhand einer Variante des Lesespannentests werden Leistungen des textspezifischen Arbeitsgedächtnisses unter Darbietung temporal-spektral stark veränderlicher Verkehrsschalle im Vergleich zu einer Ruhe- und einer Sprachschallbedingung untersucht (*LKW-70*, *LKW-70-12*, *Sprecher-dt.-70*, *Ruhe-24*). Die Aufgabe der Probanden (62 Frauen, 18 Männer) im Alter zwischen 19 und 39 Jahren ( $Md = 22$  Jahre) besteht darin, während der Lernphase von jeweils vier seriell nacheinander dargebotenen Sätzen (Schriftgröße: 14 pt; Schriftart: Courier New) sowohl das letzte Wort, als auch den semantischen Gehalt zu memorieren. Die Endwörter sind anschließend im Rahmen der ersten Teilaufgabe handschriftlich zu reproduzieren. In der darauf folgenden Verifikationsphase sollen in der zweiten Teilaufgabe Testsätze hinsichtlich ihrer inhaltlichen Übereinstimmung mit den zuvor gezeigten Sätzen beurteilt werden. Nach der Betätigung der Leertaste beginnt die Aufgabenstellung nach 1500 ms mit der Darbietung des ersten von vier Sätzen einer Satzfolge (Macintosh iBook; PsyScope 1.2.5). Die einzelnen Sätze werden in der Bildschirmmitte für jeweils 5 s präsentiert (Inter-Stimulus-Intervall: 250 ms). Unmittelbar nach der Darbietung von vier Sätzen werden die Probanden am oberen Bildschirmrand aufgefordert die Endwörter der gezeigten Sätze handschriftlich zu reproduzieren und daraufhin durch Betätigung der Leertaste mit der Beurteilung der sinngemäßen Übereinstimmung der Sätze der Verifikationsphase mit denen der Lernphase fortzufahren. Der erste Satz der Verifikationsaufgabe wird 1500 ms nach dem Tastendruck dargeboten. Zur Bewertung der Sätze werden die mit einem Plus- oder Minuszeichen gekennzeichneten Antworttasten (d/l) benutzt (Inter-Stimulus-Intervall: 250 ms). Die Belegung der beiden Antworttasten wird in ausgeglichenem Verhältnis zwischen den Versuchspersonen variiert. Im Anschluss an die Beurteilung des letzten Satzes einer Serie erfolgt für 1500 ms der Hinweis auf den Beginn einer neuen Satzfolge, woraufhin der Versuch automatisch fortgesetzt wird. In einem Übungsdurchgang werden zwei Stimuluskombinationen zu je vier Sätzen präsentiert. Danach werden von jeder der vier unabhängigen Probandengruppen ( $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 20$ ) zwölf Satzfolgen, zu je vier Sätzen, unter einer der vier, per Kopfhörer (Sennheiser HD 600; Sony CDP-103) dargebotenen, Schallbedingungen bearbeitet. Die Dauer des Experiments beträgt ca. 30 Minuten.

### 3.5.4.2.2 Ergebnisse

Die Analyse folgt einem zweifaktoriellen Design mit Messwiederholung (within-subject Faktor: *Teilaufgabe*, 2-stufig; between-subject Faktor: *Schallbedingung*, 4-stufig). Als Kovariate wird die, mittels des LSPT (Hacker et al., 2002) erhobene, individuelle Arbeitsgedächtniskapazität berücksichtigt. Bezüglich der Arbeitsgedächtniskapazität existiert nämlich ein signifikanter Unterschied zwischen den Experimentalgruppen ( $F(3, 76) = 3.46, p = .02, \eta^2 = .12$ ), außerdem weist die Arbeitsgedächtniskapazität signifikante Korrelationen zu den Fehlerraten der Endwortreproduktion ( $r = -.37, p < .01$ , 2-seitig) und der Beurteilung der inhaltlichen Übereinstimmung der Stimulus- und der Testsätze ( $r = -.36, p < .01$ , 2-seitig) auf. Im Hinblick auf die Fehlerraten ergeben sich signifikante Haupteffekte bezüglich der Faktoren *Teilaufgabe* ( $F(1, 75) = 6.40, p = .01, \eta^2 = .08$ ) und *Schallbedingung* ( $F(3, 75) = 10.85, p < .01, \eta^2 = .30$ ) sowie eine signifikante Interaktion der Faktoren *Stimulustyp* und *Schallbedingung* ( $F(3, 75) = 2.94, p = .39, \eta^2 = .11$ ). Die als Kovariate berücksichtigte Arbeitsgedächtniskapazität klärt ebenfalls einen signifikanten Varianzanteil auf ( $F(1, 75) = 30.88, p < .01, \eta^2 = .29$ ). Abbildung 16 zeigt die, um die Wirkung der Kovariate korrigierten, prozentualen Fehlerraten bei der Endwortreproduktion und Inhaltsverifikation des eingesetzten Lesespannentests in Abhängigkeit von den verschiedenen Hintergrundschallbedingungen. Bei der Reproduktion der Endwörter werden mehr Fehler gemacht, als bei der Verifikation der Inhalte (Endwörter: 29,2%; Inhalte: 21,8%).

Die weitere Auswertung (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) ergibt signifikante Unterschiede beim Vergleich der Fehlerraten unter *Ruhe-24* und *Sprecher-dt.-70* im Hinblick auf die Endwortreproduktion ( $p < .01$ ) und die Inhaltsverifikation ( $p < .01$ ). Die Gegenüberstellung der beiden Verkehrsgeschallbedingungen mit der Ruhebedingung führt sowohl bezüglich der Endwortreproduktion (*Ruhe-24* vs. *LKW-70*:  $p = .10$ ; *Ruhe-24* vs. *LKW-70-12*:  $p = .23$ ) als auch hinsichtlich der Inhaltsverifikation (*Ruhe-24* vs. *LKW-70*:  $p = .42$ ; *Ruhe-24* vs. *LKW-70-12*:  $p = .06$ ) zu keinem signifikanten Unterschied.

Dem ist hinzuzufügen, dass der Mittelwertsunterschied zwischen *Ruhe-24* und *LKW-70-12* bezüglich der Inhaltsreproduktion beinahe signifikant ausfällt. Im Gegenzug dazu verfehlt die Gegenüberstellung von *Ruhe-24* und *LKW-70* im Hinblick auf die Endwortreproduktion das Signifikanzniveau nur wenig. Im direkten Vergleich unterscheiden sich die beiden Verkehrsschallbedingungen (*LKW-70* vs. *LKW-70-12*) bei einseitiger Testung in beiden Teilaufgaben nicht signifikant (Endwortreproduktion:  $p = .29$ ; Inhaltsverifikation:  $p = .08$ ). Der tendenziell signifikante Unterschied hinsichtlich der Inhaltsreproduktion kann allerdings als Hinweis für einen Effekt der Reduzierung tieffrequenter Anteile des Straßenverkehrsgeschalls interpretiert werden.



**Abbildung 16: Prozentuale Fehlerraten (korrigiert um Einfluss den Einfluss der Arbeitsgedächtniskapazität) des eingesetzten Lesespannentests in Abhängigkeit von der Teilaufgabe und den Hintergrundschallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler).**

Bezüglich der notwendigen Bearbeitungszeit ergibt die varianzanalytische Auswertung (within-subject Faktor: *Teilaufgabe*, 2-stufig; between-subject Faktor: *Schallbedingung*, 4-stufig) einen signifikanten Haupteffekt des Faktors *Stimulustyp* ( $F(1, 72) = 35,37, p < .01, \eta^2 = .33$ ) sowie eine signifikante Interaktion der Faktoren *Stimulustyp* und *Schallbedingung* ( $F(3, 72) = 2.80, p = .05, \eta^2 = .11$ ), aber keinen Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(3, 72) < 1$ ). Die Endwortreproduktion nimmt mehr Zeit in Anspruch als die Inhaltsverifikation (Endwortreproduktion: 18861 ms; Inhaltsverifikation: 14289 ms). Die signifikante Interaktion ist auf die im Vergleich zu *Ruhe-24* (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) beschleunigten Bearbeitungszeiten bei der Endwortreproduktion unter *Sprecher-dt.-70* ( $p = .04$ ) und *LKW-70* ( $p = .02$ ) zurückzuführen. Der Vergleich von *Ruhe-24* mit *LKW-70-12* fällt nicht signifikant aus ( $p = .12$ ). Ein signifikanter Unterscheid zwischen den beiden Verkehrsschallbedingungen liegt bei einseitiger Testung aber nicht vor ( $p = .23$ ). Bezüglich der Inhaltsverifikation (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) unterscheidet sich keine der Hintergrundschallbedingungen von der Ruhebedingung (*Ruhe-24* vs. *Sprecher-dt.-70*:  $p = .49$ ; *Ruhe-24* vs. *LKW-70*:  $p = .20$ ; *Ruhe-24* vs. *LKW-70-12*:  $p = .10$ ).

Es ist festzuhalten, dass die Darbietung von Sprachschall die Bearbeitung der beiden Teilaufgaben des Lesespannentest im Vergleich zur Ruhebedingung stört. Bei der Gegenüberstellung der beiden Verkehrsschalle mit der Ruhebedingung deutet sich ein

tendenzieller Effekt der Reduzierung tieffrequenter Geräuschanteile in Bezug auf die Inhaltsverifikation an.

### **3.5.4.3 Garden Path Aufgabe: Modifikation des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen**

#### **3.5.4.3.1 Durchführung**

Im Rahmen einer Garden Path Aufgabe wird die Sensitivität des Parsingvorgangs gegenüber der Darbietung von temporal-spektral stark veränderlichen Verkehrsschallen im Vergleich zu einer Ruhe- und einer Sprachschallbedingung untersucht (*LKW-70*, *LKW-70-12*, *Sprecherdt.-70*, *Ruhe-24*). Die Stichprobe besteht aus 96 Probanden (76 Frauen; 20 Männer) im Alter zwischen 19 und 43 Jahren ( $Md = 22$  Jahre), die sich gleichmäßig ( $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 24$ ) auf vier unabhängige Stichproben verteilen. Die Aufgabe der Probanden besteht darin, Wort für Wort präsentierte (Macintosh iBook; PsyScope 1.2.5) Sätze (Schriftgröße: 36 pt, Schriftart: Courier New) unmittelbar nach der Darbietung hinsichtlich ihrer grammatikalischen Richtigkeit zu beurteilen. Jeder Versuchsdurchgang startet mit einer in Schritten zu 100 ms zufällig variierenden Verzögerung zwischen 1700 und 2300 ms. Im Anschluss daran wird in der Bildschirmmitte ein Doppelpunkt (36 pt) als Fixationsstimulus präsentiert, dessen Darbietungsdauer in Schritten zu 25 ms zwischen 450 und 550 ms zufällig variiert. Unmittelbar darauf erfolgt ebenfalls in der Bildschirmmitte die Präsentation des ersten Wortes eines Satzes. Die Darbietungsdauer ist abhängig von der Länge des Wortes. Dabei wird eine Grundzeit von 180 ms veranschlagt, die pro Buchstabe jeweils um 20 ms verlängert wird. Auf diese Weise werden alle Worte eines Satzes in direkter Folge präsentiert. In unmittelbarem Anschluss an das letzte Wort erscheint die Aufforderung den gezeigten Satz bezüglich seiner grammatikalischen Richtigkeit zu beurteilen. Dazu werden auf der linken bzw. rechten Bildschirmseite ein Plus- bzw. Minuszeichen (56 pt) eingeblendet. Zur Bewertung der Sätze werden die mit einem Plus- oder Minuszeichen gekennzeichneten Antworttasten (d/l) benutzt. Die Belegung der beiden Tasten wird in ausgeglichenem Verhältnis zwischen den Versuchspersonen variiert. Das Stimulusmaterial besteht aus 40 grammatikalisch richtigen und 40 falschen Sätzen, die sich in ihrem Satzbau und damit in ihrer Schwierigkeit unterscheiden (Typ I<sup>6</sup>, Typ II<sup>7</sup>, Typ III<sup>8</sup>, Typ IV<sup>9</sup>). Nach einer schriftlichen Instruktion bearbeiten die Probanden zunächst acht Übungssätze. Im Anschluss daran bearbeitet jede Probandengruppe 80 weitere Sätze unter einer der vier per Kopfhörer

---

<sup>6</sup> Grammatikalisch richtige, vorübergehend ambigie Satzkonstruktionen

<sup>7</sup> Grammatikalisch richtige, eindeutige Satzkonstruktionen

<sup>8</sup> Grammatikalisch falsche, eindeutige Satzkonstruktionen

<sup>9</sup> Grammatikalisch falsche, anfangs ambigie Satzkonstruktionen

(Sennheiser HD 600; Sony CDP-103) dargebotenen Schallbedingungen. Die Dauer des Experiments beträgt ca. 30 Minuten.

### 3.5.4.3.2 Ergebnisse

Die varianzanalytische Auswertung folgt einem zweifaktoriellen Design mit Messwiederholung (within-subject Faktor: *Satztyp*, 4-stufig; between-subject Faktor: *Schallbedingung*, 4-stufig). Die Arbeitsgedächtniskapazität wird als Kovariate in der Auswertung berücksichtigt, da diesbezüglich ein signifikanter Unterschied zwischen den Experimentalgruppen existiert ( $F(3, 92) = 2.83, p = .04, \eta^2 = .08$ ) und zusätzlich eine tendenzielle Korrelation zur Gesamtfehlerrate ( $r = -.16, p = .11$ , 2-seitig) vorliegt. Hinsichtlich der Fehlerraten ergeben sich signifikante Haupteffekte bezüglich der Faktoren *Satztyp* ( $F(3, 273) = 6.67, p < .01, \eta^2 = .07$ ) und *Schallbedingung* ( $F(3, 91) = 3.15, p = .03, \eta^2 = .10$ ). Die als Kovariate berücksichtigte Arbeitsgedächtniskapazität klärt ebenfalls einen signifikanten Varianzanteil auf ( $F(1, 91) = 5.34, p = .02, \eta^2 = .06$ ). Die Interaktion der Faktoren *Stimulustyp* und *Schallbedingung* ( $F(9, 273) = 1.16, p = .32$ ) fällt hingegen nicht signifikant aus. Abbildung 17 zeigt die, um die Wirkung der Kovariate korrigierten, prozentualen Fehlerraten bei der Satzverifikation in Abhängigkeit von den Satztypen und Hintergrundschallbedingungen.

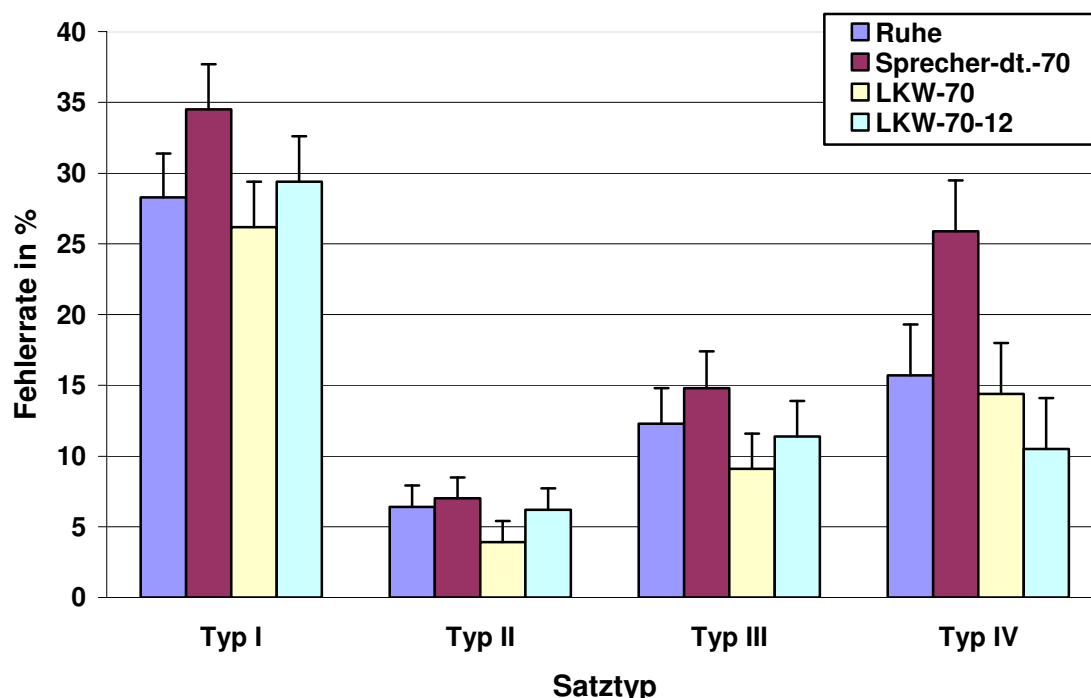


Abbildung 17: Prozentuale Fehlerraten (korrigiert um Einfluss den Einfluss der Arbeitsgedächtniskapazität) der Garden Path Aufgabe in Abhängigkeit von den Satztypen und den Hintergrundschallbedingungen (Mittelwert und Standardfehler).

Der signifikante Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ist auf erhöhte Fehlerraten unter *Sprecher-dt.-70* im Vergleich (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) zu *Ruhe-24* ( $p = .05$ ) zurückzuführen. Die beiden Verkehrsgeräuschbedingungen unterscheiden sich nicht von der Ruhebedingung (*LKW-70* vs. *Ruhe-24*:  $p = .34$ ; *LKW-70-12* vs. *Ruhe-24*:  $p = .47$ ) und bei einseitiger Testung auch nicht voneinander (*LKW-70* vs. *LKW-70-12*:  $p = .34$ ). Im Rahmen der weiteren Auswertung der Fehlerraten (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen), getrennt nach den verschiedenen Satztypen, ergibt sich ausschließlich in Bezug auf Satztyp IV, beim Vergleich von *Sprecher-dt.-70* und *Ruhe-24*, ein signifikanter Unterschied ( $p = .05$ ).

Die varianzanalytische Betrachtung (within-subject Faktor: *Satztyp*, 4-stufig; between-subject Faktor: *Schallbedingung*, 4-stufig) der notwendigen Bearbeitungszeiten belegt signifikante Haupteffekte bezüglich der Faktoren *Satztyp* ( $F(3, 276) = 54.18, p < .01, \eta^2 = .37$ ) und *Schallbedingung* ( $F(3, 92) = 3.17, p = .03, \eta^2 = .09$ ). Die Interaktion beider Faktoren fällt nicht signifikant aus ( $F(9, 276) = 1.71, p = .09$ ). Sprachschall bedingt im Vergleich (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) zur Ruhebedingung eine beschleunigte Aufgabenbearbeitung (*Ruhe-24* vs. *Sprecher-dt-70*:  $p < .01$ ). Im Gegensatz dazu führen die beiden Verkehrsschalle im Vergleich zur Ruhebedingung zu keiner signifikanten Veränderung der notwendigen Bearbeitungszeit (*Ruhe-24* vs. *LKW-70*:  $p = .43$ ; *Ruhe-24* vs. *LKW-70-12*:  $p = .25$ ) und unterscheiden sich bei einseitiger Testung nicht voneinander (*LKW-70* vs. *LKW-70-12*:  $p = .23$ ).

Insgesamt betrachtet ergeben sich im Rahmen der Garden Path Aufgabe keine Hinweise auf eine Störwirkung der Verkehrsschalle oder auf die Wirksamkeit der Reduzierung des Anteils tiefer Frequenzen im Verkehrsgeräusch.

#### **3.5.4.4 Komplexe Textaufgabe: Modifikation des Frequenzspektrums von Straßenverkehrsgeräuschen**

##### **3.5.4.4.1 Durchführung**

Anhand einer komplexen Textaufgabe werden die Effekte von temporal-spektral stark veränderlichen Verkehrsschallen einer Ruhe- und einer Sprachschallbedingung gegenübergestellt (*LKW-70*, *LKW-70-12*, *Sprecher-dt.-70*, *Ruhe-24*). Die Stichprobe besteht vier gleichgroßen ( $n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 24$ ) Probandengruppen mit insgesamt 96 Testpersonen (76 Frauen; 20 Männer) im Alter zwischen 19 und 43 Jahren ( $Md = 22$  Jahre). Die Probanden sind dazu angehalten einen naturwissenschaftlichen Text über die Entstehung von Blitzen zu lesen und während des Lesevorgangs auf orthographische sowie grammatikalische Fehler im Text zu achten. Ebenso soll möglichst der genaue Wortlaut des Textes für einen späteren Wiedererkennungstest memoriert, gleichzeitig aber auch inhaltlich verstehend gelesen werden, um im Anschluss an die Textdarbietung ebenfalls inhaltliche



Fragen zu beantworten. Die Textdarbietung (Schriftgröße: 18 pt; Schriftart: Courier New) erfolgt satzweise (80 Sätze) per Computer (Macintosh iBook; PsyScope 1.2.5). Die Aufgabenstellung beginnt mit der Präsentation des ersten Satzes, gleichzeitig erscheint die Aufforderung (Einblendung eines Plus- und Minuszeichens) den dargebotenen Satz bezüglich seiner orthographischen bzw. grammatikalischen Richtigkeit zu beurteilen. Zur Verifikation der Sätze dienen die mit einem Plus- oder Minuszeichen gekennzeichneten Antworttasten (d/l), deren Belegung in ausgeglichenem Verhältnis zwischen den Versuchspersonen variiert wird. Nach der Urteilsabgabe erscheint (Inter-Stimulus-Intervall: 500 ms) der nächste Satz sowie die Aufforderung zu dessen Beurteilung. Die Lesezeit der einzelnen Sätze ist freigestellt, es gibt aber keine Möglichkeit die Darbietung eines vorangegangenen Satzes zu wiederholen. Nach der vollständigen Präsentation des Textes folgt auf dem Bildschirm die Ankündigung des anschließenden Wiedererkennungstests. Die Probanden müssen dabei entscheiden, ob die dargebotenen Testsätze (60 Sätze) mit den vorher gezeigten Sätzen wortwörtlich übereinstimmen oder nicht. Dazu werden dieselben Antworttasten wie zuvor benutzt. Die Aufforderung zur Beurteilung erfolgt wie in der vorausgegangenen Korrekturaufgabe mittels der Einblendung eines Plus- und Minuszeichens. Nach der Betätigung einer Antworttaste erscheint (Inter-Stimulus-Intervall: 500 ms) jeweils der nächste Satz. Im Anschluss an die Bearbeitung der Testsätze wird auf dem Bildschirm die nachfolgende Aufgabenstellung angekündigt. Dabei gilt es den Text über die Entstehung von Blitzen erneut zu lesen, um dann inhaltliche Fragen zu beantworten. Hierzu wird der gesamte Text, aufgeteilt auf zwei Bildschirmseiten, für insgesamt 15 min zum Lesen dargeboten (Schriftgröße: 14 pt; Schriftart: Courier New). Nach dem Ende der Textdarbietung beantworten die Probanden mittels bereitliegender Fragebögen inhaltliche Fragen zum Text. Die Darbietung der Hintergrundschalle erfolgt per Kopfhörer (Sennheiser HD 600; Sony CDP-103). Die Dauer des Experiments beträgt ca. 70 Minuten.

#### **3.5.4.4.2 Ergebnisse**

Die Auswertung der Korrekturaufgabe erfolgt anhand einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung (within-subject Faktor: *Satztyp*, 2-stufig; between-subject Faktor: *Schallbedingung*, 4-stufig). Dabei ergeben sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors *Satztyp* ( $F(1, 92) = 139.36$   $p < .01$ ,  $\eta^2 = .60$ ) und ein beinahe signifikanter Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(3, 92) = 2.62$   $p = .06$ ,  $\eta^2 = .08$ ). Die Interaktion der beiden Faktoren ist statistisch nicht bedeutsam ( $F(3, 92) = 1.82$ ,  $p = .15$ ). Der Haupteffekt des Faktors *Satztyp* ist auf die größere Anzahl übersehener grammatikalischer Fehler zurückzuführen (übersehene grammatikalische Fehler:  $M = 25,6\%$ ; übersehene orthographische Fehler:  $M = 5,2\%$ ). Der in der Varianzanalyse tendenzielle Schalleffekt ist durch signifikante Mittelwertsunterschiede (zweiseitige Testung) zwischen *Sprecher-dt.-70* und *LKW-70* ( $p = .02$ ) sowie *LKW-70-12* ( $p = .01$ ) bedingt. Im Vergleich (einseitige Testung

aufgrund gerichteter Hypothesen) zu *Ruhe-24* führt *Sprecher-dt.-70* nur zu einem tendenziellen Anstieg der Fehlerraten ( $p = .08$ ). Die Verkehrsschalle unterscheiden sich nicht von *Ruhe* (*Ruhe-24* vs. *LKW-70*:  $p = .23$ ; *Ruhe-24* vs. *LKW-70-12*:  $p = .15$ ) und nicht voneinander (*LKW-70* vs. *LKW-70-12*:  $p = .33$ , 1-seitig). Aufgrund des Ausbleibens einer signifikanten Beeinträchtigung durch die Verkehrsschalle im Vergleich zu *Ruhe* wird an dieser Stelle auf eine grafische Darstellung und weitere Auswertung in Abhängigkeit von den Satztypen verzichtet.

Bezüglich der Bearbeitungszeiten ergibt die Varianzanalyse (within-subject Faktor: *Satztyp*, 2-stufig; between-subject Faktor: *Schallbedingung*, 4-stufig) zwar einen signifikanten Haupteffekt des Faktors *Satztyp* ( $F(1, 92) = 22.22$   $p < .01$ ,  $\eta^2 = .20$ ), dieser ist inhaltlich allerdings zu vernachlässigen, da die Satzlängen der orthographisch und grammatikalisch inkorrekten Sätze nicht kontrolliert wurden. Für die Interpretation des Schalleffekts ist dies nicht von Bedeutung. Bezüglich des Faktors *Schallbedingung* ( $F(3, 92) = 1.91$   $p = .13$ ) stellt sich ebenso wie im Hinblick auf die Interaktion der Faktoren *Satztyp* und *Schallbedingung* ( $F(3, 92) = 1.20$   $p = .32$ ) kein signifikantes Ergebnis ein. Aufgrund des Ausbleibens eines Schalleffekts und einer signifikanten Interaktion wird auf die grafische Darstellung und weitere Analyse verzichtet.

Die Auswertung des Wiedererkennungstests erfolgt ebenfalls nach einem zweifaktoriellen varianzanalytischen Design mit Messwiederholung (within-subject Faktor: *Satztyp*, 4-stufig; between-subject Faktor: *Schallbedingung*, 4-stufig). Dabei zeigen sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors *Satztyp* ( $F(3, 276) = 224.05$   $p < .01$ ,  $\eta^2 = .71$ ) sowie eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Satztyp* und *Schallbedingung* ( $F(9, 276) = 2.19$   $p < .02$ ,  $\eta^2 = .07$ ). Der Haupteffekt des Faktors *Schallbedingung* ( $F(3, 92) = 1.33$   $p = .27$ ) ist hingegen nicht statistisch bedeutsam. Bei genauerer Betrachtung der Daten in Abhängigkeit von den verschiedenen Schallbedingungen und Satztypen (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) ergibt sich lediglich bezüglich der negativen Testsätze (vgl. Abschnitt 3.5.2.4) ein signifikanter Unterschied der Akzeptierungshäufigkeiten zwischen *Sprecher-dt.-70* und *Ruhe-24* ( $p = .01$ ). Die Darbietung der Verkehrsschalle führt im Vergleich zur Ruhebedingung bei keinem Satztyp zu einer Veränderung der Akzeptierungshäufigkeit. Auf eine grafische Darstellung der Ergebnisse wird daher verzichtet.

Hinsichtlich der notwendigen Bearbeitungszeiten ergibt die varianzanalytische Auswertung (within-subject Faktor: *Satztyp*, 4-stufig; between-subject Faktor: *Schallbedingung*, 4-stufig) lediglich einen inhaltlich zu vernachlässigenden Haupteffekt des Faktors *Satztyp* ( $F(3, 276) = 41.32$   $p < .01$ ,  $\eta^2 = .31$ ), jedoch keinen statistisch bedeutsamen Schalleffekt ( $F(3, 92) < 1$ ) und auch keine signifikante Interaktion der beiden Faktoren ( $F(9, 276) < 1$ ). Auf eine weitere Auswertung wird daher verzichtet.

Schließlich werden anhand zweier univariater Varianzanalysen (between-subject Faktor: *Schallbedingung*, 4-stufig) die erreichten Punktwerte bei der Beantwortung der einfachen ( $F(3, 92) < 1$ ) und schwierigen ( $F(3, 92) = 1.67$ ,  $p = .18$ ,  $\eta^2 = .05$ ) Fragen zum Text ausgewertet, wobei sich kein signifikanter Schalleffekt nachweisen lässt. Allerdings ergibt sich bei alleiniger Betrachtung (einseitige Testung aufgrund gerichteter Hypothesen) der schwierigen Fragen ein signifikanter Unterschied zwischen *Sprecher-dt.-70* und *Ruhe-24* ( $p = .02$ ). Die Verkehrsschalle unterscheiden sich nicht von der Ruhebedingung (*Ruhe-24* vs. *LKW-70*:  $p = .38$ ; *Ruhe-24* vs. *LKW-70-12*:  $p = .39$ ) und bei einseitiger Testung auch nicht voneinander (*LKW-70* vs. *LKW-70-12*:  $p = .50$ ). Eine grafische Darstellung entfällt daher.

### **3.6 Modul V: Subjektives Empfinden und Befindlichkeit**

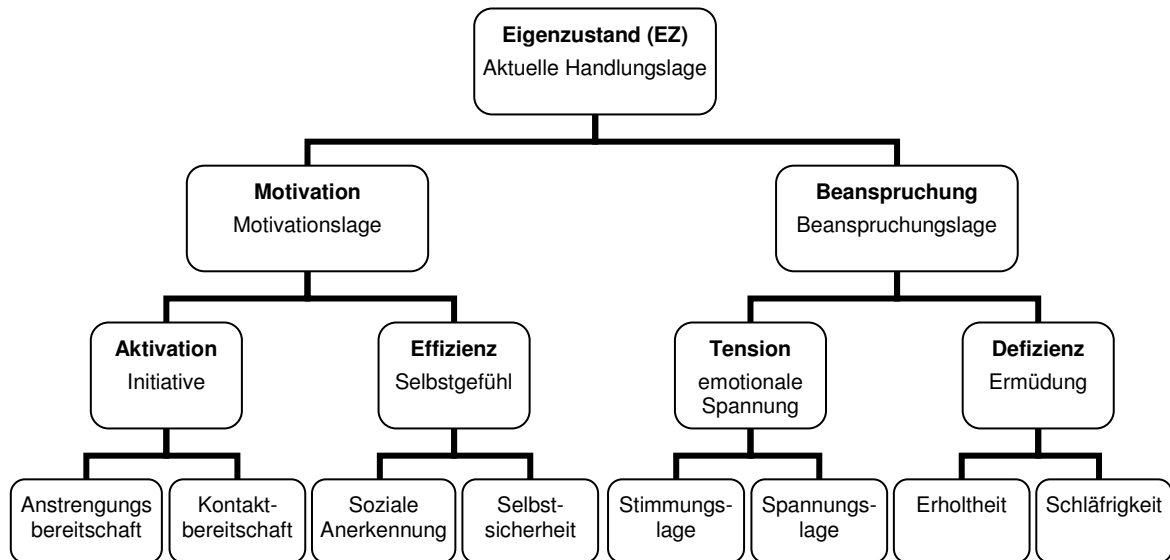
Neben objektiv messbaren Leistungsbeeinträchtigungen spielen im Rahmen der Lärmwirkungsforschung vor allem subjektiv berichtete Störungen und die von den Betroffenen empfundene Belästigung eine wichtige Rolle. Daher werden in den durchgeführten Untersuchungen, ergänzend zu den objektiven Leistungsdaten, subjektive Urteile erhoben und ausgewertet.

#### **3.6.1 Theoretischer Hintergrund**

Bis zu 54% der Angestellten in Büros berichten über Lärm als mitunter heftigstem Störfaktor bei ihrer Arbeit (Sundstrom, Town, Rice & Osborn, 1994), welcher sich auch negativ auf die Arbeitszufriedenheit auswirkt. In einer Untersuchung von Banbury und Berry (2005) geben 99% der Befragten an, durch Lärm in ihrer Konzentration beeinträchtigt zu werden. Vor allem Gespräche von Mitarbeitern und Telefonklingeln werden als störend empfunden (Banbury & Berry, 2005; Sundstrom et al., 1994). Häufig besteht ein Zusammenhang zwischen objektiv nachweisbaren und subjektiv empfundenen Lärmwirkungen (Dornic, 1990).

#### **3.6.2 Operationalisierung**

In den experimentellen Untersuchungen werden Angaben zur empfundenen Lästigkeit, Lautheit, Schwierigkeit, Störwirkung und Konzentrationsfähigkeit erfasst. Im Rahmen der Untersuchungen zum Lesen und Textverstehen wird zusätzlich die subjektive Befindlichkeit der Probanden erhoben. Hierzu wird die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) von Nitsch (1976) eingesetzt. Die EZ-Skala erfasst anhand einer Adjektivliste die situationsabhängige Gesamtbefindlichkeit einer Person zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Adjektive lassen sich insgesamt 14 hierarchisch geordneten Faktoren zuweisen (vgl. Abbildung 18). Anhand der Urteile werden faktorenspezifische Summenwerte gebildet und in Staninewerte transformiert, die zur Beschreibung der momentanen Befindlichkeit herangezogen werden.



**Abbildung 18: Faktorenhierarchie der EZ-Skala (verändert nach Nitsch, 1976, S. 89)**

### 3.6.3 Hypothesen

Aufgrund des angenommenen Zusammenhangs zwischen objektiver Leistungsbeeinträchtigung und subjektiv empfundener Belästigung bzw. Störung (Dornic, 1990) wird erwartet, dass Schalle die die Leistung im Vergleich zu Ruhe stören entsprechend auch das subjektive Empfinden und die Befindlichkeit negativ beeinflussen.

### 3.6.4 Experimentelle Befunde

#### 3.6.4.1 Durchführung

In den Modulen I, II und III werden in an die Aufgabenbearbeitung unter den verschiedenen Hintergrundschallbedingungen anschließenden Zwischenbefragungen anhand eines Fragebogens mit fünfstufigen, verbal codierten Skalen (*außerordentlich – ziemlich – mittelmäßig – kaum – gar nicht*) subjektive Beurteilungen der Lästigkeit und Störwirkung der Hintergrundschalle sowie der Konzentrationsfähigkeit vorgenommen. Im Rahmen von Modul IV wird jeweils vor und nach der Bearbeitung der Testaufgaben anhand einer fünfstufigen Beurteilungsskala die empfundene Lästigkeit (überhaupt nicht – etwas – mittelmäßig – stark – äußerst), Lautheit (sehr leise – leise – mittellaut – laut – sehr laut) und Schwierigkeit (sehr einfach – einfach – mittelmäßig – schwierig – sehr schwierig) der Situation erhoben. Außerdem wird die Befindlichkeit der Probanden anhand der EZ-Skala (Nitsch, 1976) erfasst. Dabei beurteilen die Probanden anhand von 40 Adjektiven jeweils auf einer sechsstufigen monodirektionalen Skala ihre momentane Befindlichkeit. Die Skalenstufen sind numerisch (1-6) und verbal gekennzeichnet (kaum – etwas – einigermaßen – ziemlich – überwiegend - völlig).

### 3.6.4.2 Ergebnisse

Die Auswertung der abgegebenen subjektiven Urteile belegt signifikante Schalleffekte. Die Ergebnisse werden detailliert in den Tabellen 2, 3, 4, 5 und 6 dargestellt.

**Tabelle 2: Vergleich der Wirkung der verschiedenen Hintergrundsallbedingungen auf die von den Probanden empfundene subjektive Störung und Lästigkeit in den Aufgabenstellungen der Module I, II und III. Signifikante Ergebnisse der Mittelwertsvergleiche mittels t-Tests.**

Dimension	Aufgabe	Urteil
<b>Störung / Lästigkeit</b>	Serial Recall visuell (vgl. Abschnitt 3.2.4.1)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-50</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>100-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	Serial Recall auditiv (vgl. Abschnitt 3.2.4.2)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-65</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-50</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>100-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	Stroop Test visuell (vgl. Abschnitt 3.3.4.1)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-50</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>100-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	Stroop Test visuell (vgl. Abschnitt 3.3.4.2)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-12</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-abgesenkt</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-12-erhöht</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	Stroop Test visuell (vgl. Abschnitt 3.3.4.3)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Schiene-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>Schiene-70-12</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>Schiene-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)

Stroop Test auditiv (vgl. Abschnitt 3.3.4.4)	<i>Ruhe-24</i> <	<i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-65</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-65-12</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
KLTM visuell (vgl. Abschnitt 3.4.4.1)	<i>Ruhe-35</i> <	<i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>100-60</i> ( $p = .02$ ; 1-seitig)
KLTM visuell (vgl. Abschnitt 3.4.4.2)	<i>Ruhe-35</i> <	<i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-12</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-abgesenkt</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-12-erhöht</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	<i>2000-70</i> >	<i>2000-70-12</i> ( $p = .02$ ; 1-seitig)
KLTM visuell (vgl. Abschnitt 3.4.4.3)	<i>Ruhe-35</i> <	<i>Sprecher-jpn.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>Schiene-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>Schiene-70-12</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
KLTM auditiv (vgl. Abschnitt 3.4.4.4)	<i>Ruhe-35</i> <	<i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-65</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>100-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
Grammatical Reasoning (vgl. Abschnitt 3.4.4.5)	<i>Ruhe-35</i> <	<i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-12</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
Grammatical Reasoning (vgl. Abschnitt 3.4.4.6)	<i>Ruhe-35</i> <	<i>Sprecher-jpn.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>Schiene-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>Schiene-70-12</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	<i>Schiene-70</i> >	<i>Schiene-70-12</i> ( $p = .08$ ; 1-seitig)

**Tabelle 3: Vergleich der Wirkung der verschiedenen Hintergrundsallbedingungen auf die von den Probanden empfundene subjektive Lästigkeit in den Aufgabenstellungen des Moduls IV. Signifikante Ergebnisse der Mittelwertsvergleiche mittels t-Tests (bzw. Mann-Whitney U-Test).**

<b>Dimension</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Urteil</b>
<b>Lästigkeit</b>	Lexikalische Entscheidungsaufgabe (vgl. Abschnitt 3.5.4.1)	<i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>Ruhe-24</i> < <i>LKW-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>LKW-70-12</i> ( $p < .01$ , 1-seitig)
	Lesespannentest (vgl. Abschnitt 3.5.4.2)	<i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>Ruhe-24</i> < <i>LKW-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>LKW-70-12</i> ( $p = .02$ , 1-seitig)
	Garden Path Aufgabe (vgl. Abschnitt 3.5.4.3)	<i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>Ruhe-24</i> < <i>LKW-70</i> ( $p = .07$ , 1-seitig) <i>LKW-70-12</i> ( $p = .02$ , 1-seitig)
	Komplexe Textaufgabe (vgl. Abschnitt 3.5.4.4)	<i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>Ruhe-24</i> < <i>LKW-70</i> ( $p = .04$ , 1-seitig) <i>LKW-70-12</i> ( $p = .01$ , 1-seitig)

Alle Hintergrundsalle werden im Vergleich zur Ruhebedingung als lästig beurteilt. Im KLTM (vgl. Abschnitt 3.4.4.2) und Grammatical Reasoning Test (vgl. Abschnitt 3.4.4.6) ergeben sich zusätzlich Hinweise, dass die Reduzierung tieffrequenter Anteile von Verkehrsgeräuschen auch zu einer Minderung der empfundenen Lästigkeit der Geräusche führt.

**Tabelle 4: Vergleich der Wirkung der verschiedenen Hintergrundschallbedingungen auf die von den Probanden empfundene subjektive Konzentrationsfähigkeit. Signifikante Ergebnisse der Mittelwertsvergleiche mittels t-Tests.**

<b>Dimension</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Urteil</b>
<b>Konzentration</b>	Serial Recall visuell (vgl. Abschnitt 3.2.4.1)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	Serial Recall auditiv (vgl. Abschnitt 3.2.4.2)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-65</i> ( $p = .05$ ; 1-seitig)
	Stroop Test visuell (vgl. Abschnitt 3.3.4.1)	<i>Ruhe-35</i> < <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	Stroop Test visuell (vgl. Abschnitt 3.3.4.2)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-12</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-abgesenkt</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70-12-erhöht</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	Stroop Test visuell (vgl. Abschnitt 3.3.4.3)	keine signifikanten Ergebnisse
	Stroop Test auditiv (vgl. Abschnitt 3.3.4.4)	keine signifikanten Ergebnisse
	KLTM visuell (vgl. Abschnitt 3.4.4.1)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p = .02$ ; 1-seitig)
	KLTM visuell (vgl. Abschnitt 3.4.4.2)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p = .04$ ; 1-seitig)
	KLTM visuell (vgl. Abschnitt 3.4.4.3)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-jpn.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig)
	KLTM auditiv (vgl. Abschnitt 3.4.4.4)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-65</i> ( $p = .03$ ; 1-seitig)
	Grammatical Reasoning (vgl. Abschnitt 3.4.4.5)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-dt.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>2000-70</i> > <i>2000-70-12</i> ( $p = .05$ ; 1-seitig)
	Grammatical Reasoning (vgl. Abschnitt 3.4.4.6)	<i>Ruhe-35</i> < <i>Sprecher-jpn.-60</i> ( $p < .01$ ; 1-seitig) <i>Schiene-70</i> ( $p = .01$ ; 1-seitig) <i>Schiene-70-12</i> ( $p = .02$ ; 1-seitig)



Die subjektiven Urteile bezüglich der in den Modulen I, II und III zur Aufgabenbearbeitung unter den verschiedenen Hintergrundsallbedingungen notwendigen Konzentration spiegeln mehrheitlich die Ergebnisse im Hinblick auf die Leistungsdaten wider. Hintergrundgeräusche die die Leistung beeinträchtigen stören auch die berichtete Konzentrationsfähigkeit der Probanden. Im Rahmen der Serial Recall Aufgabe (vgl. Abschnitte 3.2.4.1. und 3.2.4.2) ergeben sich zusätzlich Hinweise, dass das Arbeiten unter Darbietung lauter Straßenverkehrsgeräusche (*2000-70*, *2000-65*) ebenso wie unter Sprachschall (*Sprecher-dt.-60*) eine vermehrte Konzentration erfordert, auch wenn die Straßenverkehrsgeräusche keine unmittelbare Leistungsbeeinträchtigung hervorrufen. Im Stroop Test führen laute Straßenverkehrsgeräusche (vgl. Tabelle 4) ebenfalls zu einer Beeinträchtigung der Konzentrationsfähigkeit. Die in den Leistungsdaten nachweisbare geringere Störwirkung des Straßenverkehrsgeräuschs *2000-70-abgesenkt* findet sich in den subjektiven Urteilen zur Konzentrationsfähigkeit nicht wider. In Entsprechung zu den Leistungsdaten ergeben sich im Stroop Test keine negativen Auswirkungen der Schienenverkehrsgeräusche auf die berichtete Konzentrationsfähigkeit der Probanden. Die subjektiven Urteile zur Konzentrationsfähigkeit unter den verschiedenen Hintergrundsallbedingungen während der Bearbeitung des KLTM entsprechen weitestgehend den Befunden bezüglich der Leistungsdaten. Sprachschall (*Sprecher-dt.-60*) und das laute Straßenverkehrsgeräusch (*2000-70*) beeinträchtigen die zur Aufgabenbearbeitung notwendige Konzentration. Das im tieffrequenten Bereich reduzierte Straßenverkehrsgeräusch (*2000-70-12*) stört die empfundene Konzentrationsfähigkeit hingegen im Vergleich zu Ruhe nicht. Im Grammatical Reasoning Test führen Sprachschall (*Sprecher-dt.-60*) und das laute Straßenverkehrsgeräusch (*2000-70*) zu einer Beeinträchtigung der Konzentrationsfähigkeit. Des Weiteren zeigt sich ein Effekt der Reduzierung tieffrequenter Anteile im Straßenverkehrsgeräusch (*2000-70-12*) im Vergleich zum nicht modifizierten Straßenverkehrsgeräusch (*2000-70*). Im Gegensatz zu den Leistungsdaten berichten die Probanden auch über eine Beeinträchtigung der Konzentrationsfähigkeit durch Schienenverkehrsgeräusche.

**Tabelle 5: Vergleich der Wirkung der verschiedenen Hintergrundsallbedingungen auf die von den Probanden empfundene subjektive Schwierigkeit in den Aufgabenstellungen des Moduls IV. Signifikante Ergebnisse der Mittelwertvergleiche mittels t-Tests.**

<b>Dimension</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Urteil</b>
<b>Schwierigkeit</b>	Lexikalische Entscheidungsaufgabe (vgl. Abschnitt 3.5.4.1)	<i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>Ruhe-24</i> < <i>LKW-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>LKW-70-12</i> ( $p < .01$ , 1-seitig)
	Lesespannentest (vgl. Abschnitt 3.5.4.2)	<i>Ruhe-24</i> < <i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig)
	Garden Path Aufgabe (vgl. Abschnitt 3.5.4.3)	keine signifikanten Ergebnisse
	Komplexe Textaufgabe (vgl. Abschnitt 3.5.4.4)	<i>Ruhe-24</i> < <i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig)

Im Rahmen von Modul IV berichten die Probanden in Bezug auf die empfundene Schwierigkeit der Aufgabenbearbeitung unter den verschiedenen Hintergrundsallbedingung über eine Zunahme der Schwierigkeit der lexikalischen Entscheidungsaufgabe unter allen Schallbedingungen im Vergleich zur Ruhebedingung, obgleich eine Beeinträchtigung der Leistung nicht nachgewiesen werden kann. Im Lesespannentest und in der komplexen Textaufgabe wird in Entsprechung zu den Leistungsdaten eine Zunahme der Aufgabenschwierigkeit unter Darbietung von Sprachschall berichtet.

**Tabelle 6: Vergleich der Wirkung der verschiedenen Hintergrundschallbedingungen auf die von den Probanden empfundene subjektive Lautheit in den Aufgabenstellungen des Moduls IV. Signifikante Ergebnisse der Mittelwertsvergleiche mittels t-Tests.**

<b>Lautheit</b>	Lexikalische Entscheidungsaufgabe  (vgl. Abschnitt 3.5.4.1)	<i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>Ruhe-24</i> < <i>LKW-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>LKW-70-12</i> ( $p < .01$ , 1-seitig)
		<i>LKW-70</i> > <i>LKW-70-12</i> ( $p < .05$ , 1-seitig)
	Lesespannentest  (vgl. Abschnitt 3.5.4.2)	<i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>Ruhe-24</i> < <i>LKW-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>LKW-70-12</i> ( $p < .01$ , 1-seitig)
	Garden Path Aufgabe  (vgl. Abschnitt 3.5.4.3)	<i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>Ruhe-24</i> < <i>LKW-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>LKW-70-12</i> ( $p < .01$ , 1-seitig)
	Komplexe Textaufgabe  (vgl. Abschnitt 3.5.4.4)	<i>Sprecher-dt.-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>Ruhe-24</i> < <i>LKW-70</i> ( $p < .01$ , 1-seitig) <i>LKW-70-12</i> ( $p < .01$ , 1-seitig)

Im Hinblick auf die subjektiven Urteile zur empfundenen Lautheit der dargebotenen Hintergrundschallbedingung berichten die Probanden im Rahmen der lexikalischen Entscheidungsaufgabe in Modul IV über eine im Vergleich zur nicht modifizierten Version (*LKW-70*) geringere Lautheit des im tieffrequenten Bereich reduzierten Straßenverkehrsgeräuschs (*LKW-70-12*).

In Ergänzung zu den in den Tabellen 2, 3, 4, 5 und 6 dargestellten Ergebnissen wird abschließend auf Änderungen der Befindlichkeit in Abhängigkeit von den verschiedenen Hintergrundschallbedingungen im Rahmen der Bearbeitung der komplexen Textaufgabe eingegangen.

Die Analyse belegt für die Mehrheit der verschiedenen Urteilsdimensionen signifikante Schalleffekte. Die Ergebnisse werden in den Tabellen 7 und 8 entsprechend der Faktorenstruktur der EZ-Skala dargestellt und in den Abbildungen 19 und 20 veranschaulicht.

Tabelle 7: Ergebnisse der paarweisen Gegenüberstellung der Urteile unter den verschiedenen Schallbedingungen (*Sprecher-dt.-70*, *LKW-70*, *LKW-70-12*) und der Ruhebedingung (*Ruhe-24*) im Rahmen der komplexen Textaufgabe in Abhängigkeit von den Urteilsdimensionen der EZ-Skala.

<b>Motivation</b>			
<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i>			
<b>Aktivation (Initiative)</b>		<b>Effizienz (Selbstgefühl)</b>	
<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i>		<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i> <i>LKW-70 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>	
<b>Anstrengungs- bereitschaft</b>	<b>Kontaktbereitschaft</b>	<b>Soziale Anerkennung</b>	<b>Selbstsicherheit</b>
<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>	<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .05</i> <i>LKW-70-12 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>	<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>	<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i> <i>LKW-70-12 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>

Tabelle 8: Ergebnisse der paarweisen Gegenüberstellung der Urteile unter den verschiedenen Schallbedingungen (*Sprecher-dt-70*, *LKW-70*, *LKW-70-12*) und der Ruhebedingung (*Ruhe-24*) im Rahmen der komplexen Textaufgabe in Abhängigkeit von den Urteilsdimensionen der EZ-Skala.

<b>Beanspruchung</b>			
<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i> <i>LKW-70 vs. Ruhe: p &lt; .05</i> <i>LKW-70-12 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>			
<b>Tension (Emotionale Spannung)</b>		<b>Defizienz (Ermüdung)</b>	
<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i> <i>LKW-70-12 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>		<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i> <i>LKW-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i>	
<b>Stimmungslage</b>	<b>Spannungslage</b>	<b>Erholtheit</b>	<b>Schläfrigkeit</b>
<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>	<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i> <i>LKW-70-12 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>	<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i> <i>LKW-70 vs. Ruhe: p &lt; .05</i> <i>LKW-70-12 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>	<i>Sprecher-dt.-70 vs. Ruhe: p &lt; .05</i> <i>LKW-70 vs. Ruhe: p &lt; .01</i> <i>LKW-70-12 vs. Ruhe: p &lt; .05</i>

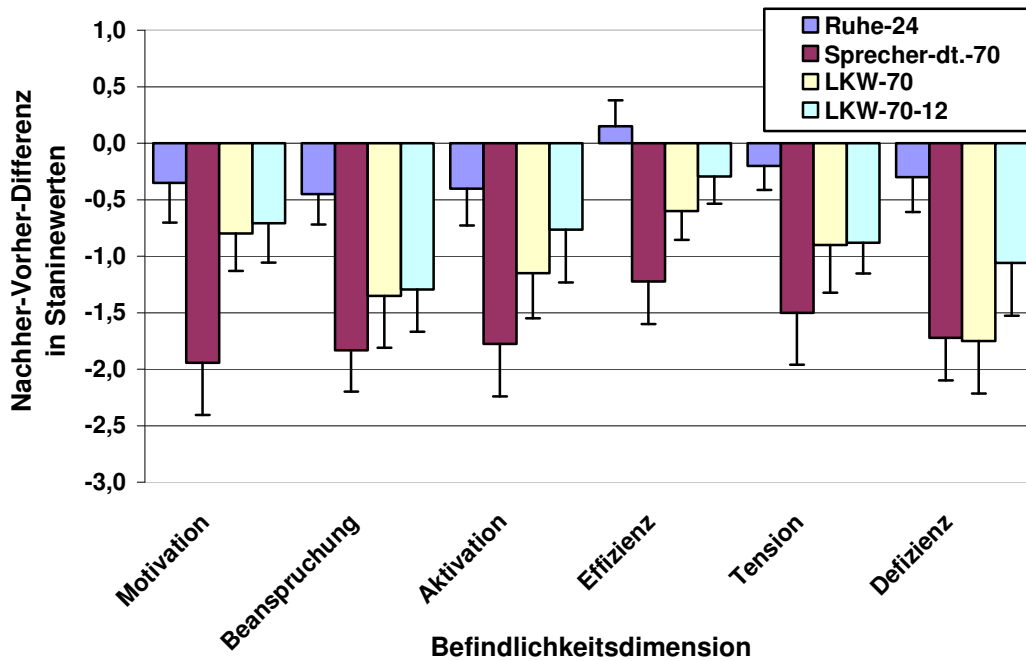


Abbildung 19: Differenzen (Mittelwert und Standardfehler) der nach und vor der Bearbeitung der komplexen Textaufgabe anhand der EZ-Skala abgegebenen subjektiven Urteile in Abhängigkeit von den Schallbedingungen und Urteilsdimensionen ( $n_1 = 20, n_2 = 18, n_3 = 20, n_4 = 17$ ). Dargestellt sind die Faktoren der ersten beiden Hierarchiestufen der EZ-Skala. Negative Differenzen beschreiben eine Verschlechterung der Befindlichkeit bezüglich der jeweils relevanten Urteilsdimension, positive Differenzen kennzeichnen eine Verbesserung.

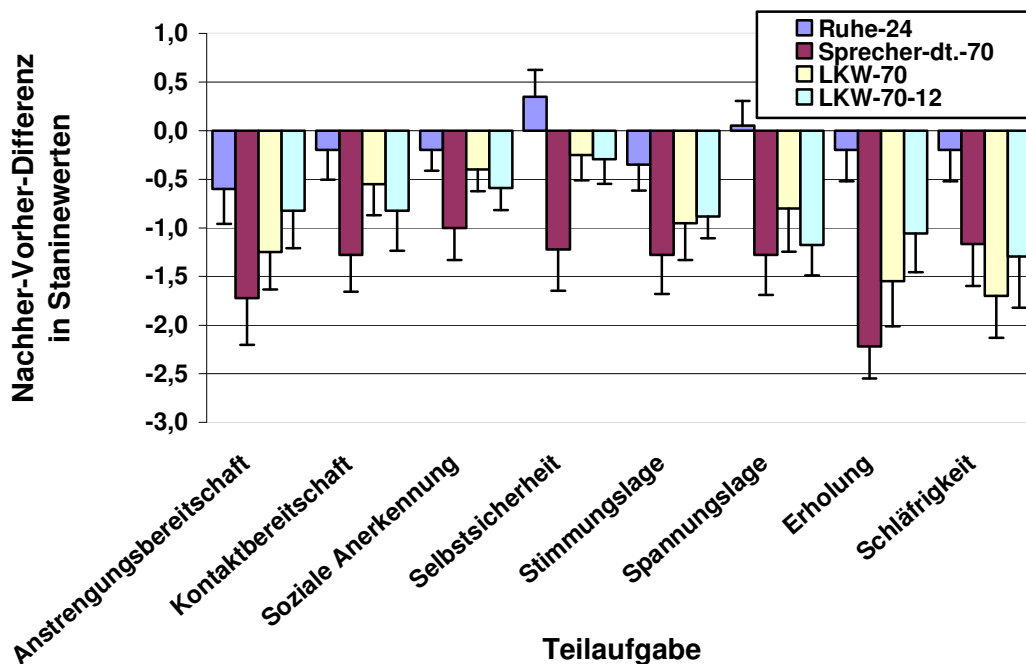


Abbildung 20: Differenzen (Mittelwert und Standardfehler) der nach und vor der Bearbeitung der komplexen Textaufgabe anhand der EZ-Skala abgegebenen subjektiven Urteile in Abhängigkeit von den Schallbedingungen und Urteilsdimensionen ( $n_1 = 20, n_2 = 18, n_3 = 20, n_4 = 17$ ). Dargestellt sind die Faktoren der dritten Hierarchiestufe der EZ-Skala. Negative Differenzen beschreiben eine Verschlechterung der Befindlichkeit bezüglich der jeweils relevanten Urteilsdimension, positive Differenzen kennzeichnen eine Verbesserung.

Wenngleich im Rahmen der komplexen Textaufgabe nur Sprachschall eine objektiv nachweisbare Leistungsbeeinträchtigung hervorruft (vgl. Abschnitt 3.5.4.4.2), zeigt sich im Hinblick auf die subjektive Befindlichkeit auch eine Zunahme der empfundenen Beanspruchung durch die beiden Verkehrsschalle. Im direkten Vergleich der beiden Verkehrsschalle ergeben sich keine Unterschiede. Es ist jedoch festzuhalten, dass im Gegensatz zu den Leistungsdaten auf subjektiver Ebene bei längerer Aufgabenbearbeitung Beeinträchtigungen durch die Verkehrsschalle nachweisbar sind. Es ist anzunehmen, dass es den Probanden gelingt eine lärmbedingte Beeinträchtigung der Leistung vorübergehend durch Mehranstrengung zu kompensieren, was sich aber in einer Verschlechterung der Befindlichkeit im Sinne einer stärkeren Erschöpfung niederschlägt. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass sich die Lärmexposition im Alltag gewöhnlich über mehrere Stunden erstreckt und nicht nur, wie im gegebenen Experiment, über 70 Minuten. Ein zusätzlicher Erkenntnisgewinn ist daher im Rahmen von Untersuchungen zu erwarten, welche lang andauernde Arbeitssituationen unter gleichzeitiger Beschallung simulieren. In diesem Zusammenhang wäre auch mit zunehmenden Leistungsbeeinträchtigungen im Rahmen komplexer Aufgabenstellung durch die Darbietung von Verkehrsgeräuschen zu rechnen.

#### **4 Diskussion und Verwertungsplan**

Im Rahmen des vorliegenden Untersuchungsberichts werden in insgesamt fünf Modulen Auswirkungen von Verkehrsgeräuschen und spezifischen Modifikationen an Verkehrsgeräuschen auf Speicher-, Planungs- und Kontrollfunktionen des Arbeitsgedächtnisses sowie Prozesse des Lesens und Textverstehens untersucht. Die Operationalisierung erfolgt mittels einer Serial Recall Aufgabe (vgl. Abschnitt 3.2), eines Stroop Test (vgl. Abschnitt 3.3), eines modifizierten Konzentrations-Leistungs-Test (KLTM, vgl. Abschnitt 3.4) sowie eines Grammatical Reasoning Test (vgl. Abschnitt 3.4). Ferner werden eine lexikalische Entscheidungsaufgabe, ein Lesespannentest, eine Garden Path Aufgabe und eine komplexe Textaufgabe eingesetzt (vgl. Abschnitt 3.5). Ergänzend zu testspezifischen Leistungsdaten werden Daten zum subjektiven Empfinden und der Befindlichkeit erfasst (vgl. Abschnitt 3.6).

Die Serial Recall Aufgabe (mit visueller und auditiver Itemvorgabe) erweist sich generell sensitiv für Beeinträchtigungen durch Sprachschall (vgl. Abschnitt 3.2). Eine Störwirkung der Verkehrsgeräusche kann hingegen nicht aufgezeigt werden. Dies ist möglicherweise auf die im Vergleich zu Sprachschall geringe temporal-spektrale Variabilität der eingesetzten Verkehrslärmaufnahmen zurückzuführen. Sprachschalle interferieren aufgrund ihrer ausgeprägten temporal-spektralen Variabilität (Changing State Charakter, vgl. Abschnitt 2.2.1) mit Speicherfunktionen des verbalen Arbeitsgedächtnisses. Die vorgenommene Variation der Verkehrsdichte (100 vs. 2000 Vorbeifahren pro Stunde) bedingt offensichtlich keine ausreichende Variabilität der temporal-spektralen Struktur, um eine Leistungs-

beeinträchtigung hervorzurufen. Eine Störwirkung lauter Verkehrsgeräusche mit geringer temporal-spektraler Variabilität ist unter Verwendung der Serial Recall Aufgabe erwartungsgemäß nicht nachzuweisen (vgl. Abschnitt 3.2.3).

Im Stroop Test, dem KLTM und dem Grammatical Reasoning Test bedingt die Darbietung von lautem Verkehrsschall (2000-70, vgl. Tabelle 1) eine signifikante Leistungsbeeinträchtigung. Diese wird auf eine Erhöhung des allgemeinen Erregungszustands bzw. Arousal zurückgeführt (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Entgegen den Erwartungen führt lauter Verkehrsschall (2000-65, vgl. Tabelle 1) in den auditiven Versionen des KLTM und des Stroop Test nicht zu einer Leistungsbeeinträchtigung. Als mögliche Erklärung hierfür ist die Absenkung des Mittelungspegels des lautesten Verkehrsgeräuschs um 5 dB(A) im Vergleich zu den visuellen Varianten beider Tests anzusehen. Diese Maßnahme ist allerdings zur Gewährleistung der Sprachverständlichkeit notwendig. Der geringere Pegel ist mit einem geringeren Anstieg des Arousal in Beziehung zu setzen, folglich bleibt eine Beeinträchtigung aus (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Die Reduzierung tieffrequenter Geräuschanteile (2000-70-12, vgl. Tabelle 1) des lauten Verkehrsgeräuschs (2000-70, vgl. Tabelle 1) führt im Rahmen des Stroop Test zu keiner Abnahme der Störwirkung. Im KLTM bedingt diese Maßnahme hingegen eine Minderung der Leistungsbeeinträchtigung. Während das nicht modifizierte Verkehrsgeräusch im Vergleich zur Ruhebedingung das Leistungsniveau herabsetzt, ist bei der Darbietung des im tieffrequenten Bereich reduzierten Verkehrsgeräuschs keine Störwirkung mehr nachweisbar. Auch unter Einsatz des Grammatical Reasoning Test führt die Reduzierung tieffrequenter Geräuschanteile (2000-70-12, vgl. Tabelle 1) des lauten Verkehrsschalls (2000-70, vgl. Tabelle 1) zu einer Abnahme der Störwirkung. Im Gegensatz zur Darbietung des nicht modifizierten Verkehrsgeräuschs verursacht die Präsentation des im tieffrequenten Bereich reduzierten Geräuschs im Vergleich zu Ruhe keine Beeinträchtigung. Dieser Befund wird auf eine geringere Erhöhung des Arousal durch die modifizierten, weniger „brummigen“ Geräusche zurückgeführt (vgl. Abschnitt 2.2.2).

Die eingesetzten Schienverkehrsgeräusche (*Schiene-70*, *Schiene-70-12*, vgl. Tabelle 1) rufen in keiner der untersuchten Aufgabenstellungen (Stroop Test, KLTM, Grammatical Reasoning Test) eine signifikante Störwirkung hervor. Dieses Ergebnis stellt allerdings möglicherweise einen Mittelungsartefakt dar. Betrachtet man die Leistung in Abhängigkeit vom Pegelverlauf der dargebotenen Schalle ergeben sich Hinweise für eine Leistungsbeeinträchtigung durch laute Schallereignisse. Diese Annahme bedarf jedoch weiterer Prüfung, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wegen des damit verbundenen großen Aufwandes nicht zu leisten war.

Im Rahmen der Untersuchung von Prozessen des Lesens und Textverstehens ergeben sich geringfügige Hinweise auf die Wirksamkeit der Absenkung tiefer Frequenzanteile von Straßenverkehrsgeräuschen (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) als Lärminderungsmaßnahme. Bei der Bearbeitung einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe (vgl. Abschnitt 3.5) führen weder die Darbietung von Hintergrundsprechen (*Sprecher-dt.-70*, vgl. Tabelle 1) noch von Straßenverkehrsgeräuschen (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) zu der erwarteten Beeinflussung phonologischer Prozesse der visuellen Worterkennung. Es ergibt sich lediglich ein Hinweis auf eine leichte Beschleunigung der Aufgabenbearbeitung unter den Verkehrsgeräuschen, die allerdings durch eine Modifikation des Anteils tiefer Frequenzen nicht weiter beeinflusst wird. Im Lesespannentest (vgl. Abschnitt 3.5) führt die Darbietung von Sprachschall (*Sprecher-dt.-70*, vgl. Tabelle 1) im Vergleich zur Ruhebedingung zu einer signifikanten Beeinträchtigung von Speicher- und Verarbeitungsfunktionen des Arbeitsgedächtnisses. Beim Vergleich der beiden Verkehrsschalle (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) mit der Ruhebedingung deutet sich ein Effekt, im Sinne geringerer Fehlerraten, durch die Reduzierung tieffrequenter Geräuschanteile in Bezug auf die Inhaltsverifikation an. In der Garden Path Aufgabe (vgl. Abschnitt 3.5) ergeben sich hingegen keine Hinweise auf eine Störwirkung der Verkehrsschalle (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) oder auf die Wirksamkeit der Reduzierung des Anteils tiefer Frequenzen im Verkehrsgeräusch. Sprachschall (*Sprecher-dt.-70*, vgl. Tabelle 1) führt hier zu einer geringfügigen Leistungsbeeinträchtigung. Auch im Rahmen einer komplexen Textaufgabe (vgl. Abschnitt 3.5) führt lediglich die Darbietung von Sprachschall (*Sprecher-dt.-70*, vgl. Tabelle 1) zu einer Beeinträchtigung bei der Korrektur eines Textes, dem Wiedererkennen von Sätzen sowie der Beantwortung von Textfragen. Die Verkehrsschalle wirken sich nicht negativ auf die Aufgabenbearbeitung aus.

Die Befunde in Bezug auf objektive Leistungsdaten werden durch den Nachweis von hintergrundschallbedingten Beeinträchtigungen subjektiver Empfindungen und der Befindlichkeit ergänzt. Dabei ergeben sich ebenfalls Hinweise auf die Wirksamkeit der vorgenommenen Modifikationen an den Verkehrsgeräuschen. Alle Hintergrundgeräusche werden im Vergleich zur Ruhebedingung als lästig beurteilt. Im KLTM und im Grammatical Reasoning Test führt die Reduzierung tieffrequenter Anteile von Verkehrsgeräuschen (*2000-70-12*, *Schiene-70-12*, vgl. Tabelle 1) zu einer Minderung der empfundenen Lästigkeit der Geräusche. Hinsichtlich der berichteten Konzentrationsfähigkeit und empfundenen Aufgabenschwierigkeit spiegeln die subjektiven Urteile überwiegend die Ergebnisse in den Leistungsdaten wider. Hintergrundgeräusche die die Leistung beeinträchtigen stören auch die berichtete Konzentrationsfähigkeit der Probanden und bedingen einen Anstieg der empfundenen Aufgabenschwierigkeit. Vereinzelt weichen die subjektiven Urteile der Probanden vom Ergebnismuster in den Leistungsdaten ab. Während in den Untersuchungen



keine Leistungsbeeinträchtigung durch Schienenverkehrsgeräusche nachgewiesen werden kann, berichten die Probanden im Grammatical Reasoning Test über eine Beeinträchtigung der Konzentrationsfähigkeit durch Schienenverkehrsgeräusche. Dieses Ergebnis unterstützt die Annahme, dass es sich beim Ausbleiben einer signifikanten Leistungsminderung um einen Mittelungsartefakt handelt und die Darbietung der Schienenverkehrsgeräusche zu einer Erschwernis der Aufgabenbearbeitung führt. In der lexikalischen Entscheidungsaufgabe ruft die Darbietung aller Hintergrundschaallbedingungen eine Zunahme der wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit hervor, während sich in den Leistungsdaten keine Beeinträchtigung zeigt. Des Weiteren wird das im tieffrequenten Bereich abgesenkte Straßenverkehrsgeräusch (*LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) von den Probanden im Vergleich zum nicht modifizierten Geräusch (*LKW-70*, vgl. Tabelle 1) als leiser empfunden. In der komplexen Textaufgabe lässt sich eine deutliche Beeinträchtigung der Befindlichkeit im Sinne einer stärkeren Beanspruchung und Erschöpfung der Probanden sowohl durch Sprachschall (*Sprecher-dt.-70*), als auch durch die beiden Straßenverkehrsgeräusche (*LKW-70*, *LKW-70-12*, vgl. Tabelle 1) nachweisen, obgleich nur der Sprachschall auch eine Beeinträchtigung der Leistung hervorruft. Die Ergebnisse bezüglich der Leistungsdaten werden demnach weitgehend durch die Urteile zum subjektiven Empfinden sowie zur Befindlichkeit der Probanden unterstützt. Die teils gegebene Divergenz mag darauf zurückgeführt werden, dass die Probanden der wahrgenommenen lärmbedingten Beeinträchtigung durch Mehranstrengung begegnen und sie damit vorerst kompensieren. Es ist jedoch anzunehmen, dass diese vermehrte Anstrengung längerfristig zu einer Verschlechterung der Befindlichkeit sowie zu einer stärkeren Beanspruchung führt und nicht unbegrenzt aufrechterhalten werden kann, so dass im weiteren Verlauf Leistungseinbrüche resultieren.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass im Rahmen der vorliegenden Untersuchungsreihe Beeinträchtigungen unterschiedlicher kognitiver Funktionen sowie des subjektiven Empfindens und der Befindlichkeit durch Verkehrgeräusche nachgewiesen werden können. Als entscheidender Faktor für das Zustandekommen von Störwirkungen erweist sich die Lautstärke von Hintergrundgeräuschen. Ein  $L_{eq}$  von 70 dB(A) wirkt sich negativ auf die Aufgabenbearbeitung aus und ist folglich im Kontext der Bearbeitung kognitiver Aufgabenstellungen als zu hoch einzuschätzen. Eine frequenzspezifische Reduktion des Pegels bewirkt bei kognitiven Tätigkeiten die sowohl Konzentration als auch kurzzeitiges Behalten von Informationen bei Entscheidungsvorgängen einschließen eine Verbesserung. Der Nachweis der Wirksamkeit der Reduzierung von tieffrequenten Geräuschanteilen als Lärminderungsmaßnahme gelingt allerdings lediglich in drei von insgesamt acht Aufgabenstellungen. Zudem fallen die Effekte gering aus. Empfehlungen für technische Modifikationen an Fahrzeugen zur Absenkung tieffrequenter Geräuschanteile werden daher auf Basis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht ausgesprochen.

Es ist aber hervorzuheben, dass die nachgewiesenen Beeinträchtigungen trotz des zum Teil geringen quantitativen Ausmaßes in der Praxis keinesfalls zu vernachlässigen sind, zumal die eingesetzten Aufgabenstellungen grundlegende kognitive Funktionen operationalisieren, welche wiederum konstituierende Bestandteile komplexer Verarbeitungsvorgänge sind. Das Behalten von Zahlenfolgen im Rahmen der Serial Recall Aufgabe, die Inhibition automatisierter Tätigkeiten im Stroop Test, das Kopfrechnen im KLTM und die Schlussfolgerungsaufgabe des Grammatical Reasoning Test bilden exemplarisch Speicher-, Planungs- und Kontrollfunktionen ab, welche ein wesentlicher Bestandteil des menschlichen Denkens und Handelns sind. Demnach ist jede geistige Tätigkeit, die Konzentration, kurzzeitiges Merken oder Entscheidungen auf Basis von im Arbeitsgedächtnis memorierten Inhalten erfordert Gegenstand einer potentiellen Beeinträchtigung, sei es bei der Arbeit oder beim Studium. Insbesondere im Rahmen anspruchsvoller Tätigkeiten können bereits geringfügige Leistungsbeeinträchtigungen schwerwiegende Konsequenzen und Fehlentscheidungen zur Folge haben. Im Kontext des Umgangs mit Wissen und komplexen Informationen ist daher anzustreben, arbeitsbezogene Rahmenbedingungen stets störungsfrei zu gestalten.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse unterstützen die Annahme, dass kognitive Speicher- und Verarbeitungsprozesse durch Verkehrsgeräusche beeinträchtigt werden und dass Art und Umfang der Störungen von aufgaben- und schallspezifischen Charakteristika abhängig sind. Im Rahmen komplexer Aufgabenstellungen wie dem Lesen und Textverstehen ist anzunehmen, dass die Probanden der wahrgenommenen lärmbedingten Beeinträchtigung durch Mehranstrengung begegnen und sie damit vorerst kompensieren. Diese vermehrte Anstrengung führt allerdings zu einer Verschlechterung der Befindlichkeit sowie zu einer stärkeren Beanspruchung, so dass bei längerer Aufgabenbearbeitung Leistungseinbrüche zu erwarten sind.

Die Untersuchungsergebnisse liefern Hinweise auf Möglichkeiten zur zielgerichteten und wirkungsorientierten Modifikation von Verkehrsgeräuschen. Die Reduzierung tieffrequenter Anteile sowie des Pegels von Verkehrsgeräuschen führt sowohl auf der Leistungsebene als auch hinsichtlich des subjektiven Empfindens zu einer Erleichterung bei der Bearbeitung unterschiedlicher Aufgabenstellungen, wenngleich die Effekte gering ausgeprägt sind. Es ergeben sich außerdem Hinweise, dass insbesondere im zeitlichen Zusammenhang zu besonders lauten Schallereignissen von einer Beeinträchtigung der Leistung auszugehen ist. Ein Effekt der Modifikation der temporalen Struktur von Verkehrsgeräuschen anhand der Verkehrsdichte kann in der vorliegenden Untersuchung nicht nachgewiesen werden. Dabei ist allerdings zu betonen, dass neben der Variation der Verkehrsdichte weitere Faktoren existieren die die temporale Struktur von Verkehrsgeräuschen beeinflussen. In diesem Zusammenhang gilt es zwischen der Mikro- und Makrostruktur von Geräuschen zu

unterscheiden. Die Mikrostruktur bezieht sich auf einzelne Schallereignisse und wird z.B. durch deren Pegelvariation bestimmt. Die Makrostruktur ist hingegen durch die Verteilung, Dichte und Qualität von Schallereignissen im tageszeitlichen Verlauf charakterisiert. Die eingesetzten Geräusche stellen nur einen Ausschnitt möglicher Geräuscheszenarien dar und verfügen offensichtlich über eine zu geringe temporal-spektrale Variabilität um auf diese Weise eine Beeinträchtigung der Leistung hervorzurufen. Die Untersuchungen belegen jedoch die Eignung des verfolgten Untersuchungsansatzes und der eingesetzten Aufgabenstellungen, zumal sich die Mehrzahl der Testaufgaben sensitiv für Störungen durch die Kontrollbedingung (Sprachschall) sowie bestimmte Verkehrsgeräusche erweist. Damit steht eine Reihe lärmsensitiver Testverfahren zur Verfügung, mit deren Hilfe weitere Verkehrsgeräusche hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf kognitive Leistungen von Erwachsenen beleuchtet werden können. Dabei ist an die Untersuchung von Veränderungen im Verkehrsmanagement, z.B. in Form der Gegenüberstellung der Verkehrsgeräusche im Kreisverkehr und herkömmlichen Kreuzungsverkehr zu denken oder an die Untersuchung von Schienenverkehrsgeräuschen, die aus der unterschiedlichen Zusammensetzung von Zügen mit Wagons unterschiedlichen Radabstands und der Ausstattung mit verschiedenen Bremssystemen resultieren. Ferner ergeben sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen Hinweise, dass insbesondere bei längerfristiger Exposition mit einer zunehmenden Beeinträchtigung des Empfindens und der Befindlichkeit zu rechnen ist, so dass insbesondere im Rahmen der Untersuchung von lang andauernden Aufgabenstellungen, die einen ganzen Arbeitstag unter gleichzeitiger Beschallung simulieren, von einem zusätzlichen Erkenntnisgewinn auszugehen ist.

## Literaturverzeichnis

- Advisory Group for Aerospace Research and Development. (1989). *Human performance assessment methods*. Neuilly-sur-Seine, France: Author.
- Anderson, J. R. (2001). *Kognitive Psychologie* (Vol. 3). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Baddeley, A. D. (1968). A three-minute reasoning test based on grammatical transformation. *Psychonomic Science*, 10, 341-342.
- Baddeley, A. D. (1976). *The psychology of memory*. New York: Basic Books.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2002). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7(2), 85-97.
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189-208.
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). The Multiple-Component Model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models Of Working Memory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Banbury, S., & Berry, D. C. (1998). Disruption of office-related tasks by speech and office noise. *British Journal of Psychology*, 89, 499-517.
- Banbury, S. P., & Berry, D. C. (2005). Office noise and employee concentration: Identifying causes of disruption and potential improvements. *Ergonomics*, 48(1), 25-37.
- Berglund, B., Hassmen, P., & Job, S. R. F. (1996). Sources and effects of low frequency noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 99(5), 2985-3002.
- Beyer, R., Guthke, T., & Pekrul, U. (1996). Repräsentation von Textwissen im menschlichen Gedächtnis. *Zeitschrift für Psychologie*, 204(3), 199-232.
- Biewald, C., & Schumann-Hengsteler, R. (1996). *Arbeitsgedächtnisprozesse bei mentaler Addition und Multiplikation: die phonologische Schleife*. Eichstaett: Universität, Entwicklungs- und Pädagogische Psychologie.
- Bisping, R. (2005). *Psychometrische und akustische Analyse von Kraftfahrzeug-Geräuschen*. Dortmund: GfA-Press.
- Broadbent, D. E. (1979). Human performance and noise. In C. M. Harris (Ed.), *Handbook of noise control*. New York: McGraw Hill.
- Broadbent, D. E. (1981). Effects of moderate levels of noise on human performance. In I. V. Tobias & E. D. Schubert (Eds.), *Hearing Research and Theory* (Vol. 1, pp. 165-186). New York: Academic Press.
- Campbell, T., Beaman, C. P., & Berry, D. C. (2002). Auditory memory and the irrelevant sound effect: Further evidence for changing-state disruption. *Memory*, 10(3), 199-214.

- Christmann, U., & Groeben, N. (1999). Psychologie des Lesens. In B. Franzmann, K. Hasemann, D. Löffler & E. Schön (Eds.), *Handbuch Lesen* (pp. 145-223). München: Saur.
- Cohen, G., & Martin, M. (1975). Hemispheric differences in an auditory Stroop test. *Perception and Psychophysics*, *17*, 79-83.
- Cohen, J. D., MacWhinney, B., Flatt, M., & Provost, J. (1993). PsyScope: A new graphic interactive environment for designing psychology experiments. *Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers*, *25*(2), 257-271.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, *19*(4), 450-466.
- Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, *3*(4), 422-433.
- Dornic, S. (1982). *Semantic interference as a function of arousal*. Stockholm: Department of Psychology, Stockholm University.
- Dornic, S. (1990). *Noise and information processing: Findings, trends, and issues*. Stockholm: Department of Psychology, Stockholm University.
- Dornic, S., & Laaksonen, T. (1988). A repetitive reasoning task based on simple spatial relations. *Perceptual and Motor Skills*, *66*(2), 589-590.
- Dueker, H., & Lienert, G. A. (1965). *Konzentrations-Leistungs-Test K-L-T (2. Auflage)*. Goettingen: Hogrefe.
- Easterbrook, J. A. (1959). The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior. *Psychological Review*, *66*, 183-201.
- Ellermeier, W., & Hellbrück, J. (1998). Is level irrelevant in "irrelevant speech"? Effects of loudness, signal-to-noise ratio, and binaural unmasking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*(5), 1406-1414.
- Gilhooly, K. J., Logie, R. H., Wetherick, N. E., & Wynn, V. (1993). Working memory and strategies in syllogistic-reasoning tasks. *Memory and Cognition*, *21*(1), 115-124.
- Green, E. J., & Barber, P. J. (1981). An auditory Stroop effect with judgments of speaker gender. *Perception and Psychophysics*, *30*, 459-466.
- Griefahn, B. (2000). Noise-induced extraaural effects. *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, *21*(6), 307-318.
- Haarmann, H. J., Davelaar, E. J., & Usher, M. (2003). Individual differences in semantic short-term memory capacity and reading comprehension. *Journal of Memory and Language*, *48*(2), 320-345.
- Hacker, W., Handrick, S., & Veres, T. (2002). *Lesespannentest*. Dresden: TU Dresden Eigenverlag.

- Hacker, W., Veres, T., & Wollenberger, E. (1994). Verarbeitungskapazität für Text: Ergebnisse der Entwicklung eines deutschsprachigen Prüfverfahrens des Arbeitsgedächtnisses. *Zeitschrift für Psychologie*, 202(4), 295-320.
- Hartley, L. R., & Adams, R. G. (1974). Effect of noise on the stroop test. *Journal of Experimental Psychology*, 102(1), 62-66.
- Harvey, N. (1984). The Stroop effect: Failure to focus attention or failure to maintain focusing? *Quarterly Journal of experimental Psychology*, 36 A, 89-115.
- Haub, E. (1980). *Bedeutung der hemisphaerischen Asymmetrie bei der Verarbeitung akustischer Signale*. München: Dissertation.
- Hellbrück, J., & Ellermeier, W. (2004). *Hören*. Göttingen: Hogrefe.
- Hellbrück, J., Kuwano, S., & Namba, S. (1996). Irrelevant background speech and human performance: Is there long-term habituation? *J. Acoust. Soc. Jpn.*, 17(5), 239-247.
- Hemforth, B., & Strube, G. (1999). Syntaktische Struktur und Sprachperzeption. In A. Friederici (Ed.), *Sprachrezeption, Enzyklopädie der Psychologie, Serie "Sprache"* (Vol. 2, pp. 243-270). Göttingen: Hogrefe.
- Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (1976). Verbal reasoning and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 28, 603-621.
- Hockey, G. R. (1970). Effect of loud noise on attentional selectivity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22(1), 28-36.
- Houston, B. K., & Jones, T. M. (1967). Distraction and Stroop Color-Word Performance. *Journal of Experimental Psychology*, 74(1), 54-56.
- Hughes, R., & Jones, D. M. (2001). The intrusiveness of sound: Laboratory findings and their implications for noise abatement. *Noise & Health*, 4(13), 51-70.
- Hygge, S., Boman, E., & Enmarker, I. (2003). The effects of road traffic noise and meaningful irrelevant speech on different memory systems. *Scandinavian Journal of Psychology*, 44(1), 13-21.
- Jones, D. (1999). The cognitive psychology of auditory distraction: The 1997 BPS Broadbent Lecture. *British Journal of Psychology*, 90, 167-187.
- Jones, D., & Smith, A. P. (1992). *Handbook of Human Performance* (Vol. 1). London: Academic Press.
- Jones, D. M., & Broadbent, D. E. (1991). Human performance and noise. In C. M. Harris (Ed.), *Handbook of acoustical measurements and noise control* (pp. 24.21-24.24). New York: McGraw-Hill.
- Jones, D. M., Macken, W. J., & Mosdell, N. M. (1997). The role of habituation in the disruption of recall performance by irrelevant sound. *British Journal of Psychology*, 88, 549-564.

- Jones, D. M., Miles, C., & Page, J. (1990). Disruption of proofreading by irrelevant speech: Effects of attention, arousal or memory? *Applied Cognitive Psychology, 4*, 89-108.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review, 99*(1), 122-149.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Kintsch, W., Welsch, D., Schmalhofer, F., & Zimny, S. (1990). Sentence memory: A theoretical analysis. *Journal of Memory and Language, 29*(2), 133-159.
- Klatte, M., Kilcher, H., & Hellbrück, J. (1995). Wirkung der zeitlichen Struktur von Hintergrundschaall auf das Arbeitsgedächtnis und ihre theoretischen und praktischen Implikationen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 42*, 517-544.
- Klatte, M., Lee, N., & Hellbrück, J. (2002). Effects of irrelevant speech and articulatory suppression on serial recall of heard and read materials. *Psychologische Beiträge, 44*(2), 166-186.
- Klingenberg, H. (1991). *Automobil - Meßtechnik, Band A: Akustik*. Berlin: Springer-Verlag.
- Knez, I., & Hygge, S. (2002). Irrelevant speech and indoor lighting: Effects of cognitive performance and self-reported affect. *Applied Cognitive Psychology, 16*(6), 709-718.
- Landstroem, U., Kjellberg, A., & Bystroem, M. (1995). Acceptable levels of tonal and broadband repetitive and continuous sounds during the performance of nonauditory tasks. *Perceptual & Motor Skills, 81*(3), 803-816.
- Lazarus, H. (1986). Ein Modell zur sprachlichen Kommunikation unter Störbedingungen und deren Bewertung. *Rundfunktech. Mitteilungen, 30*(2), 59-72.
- LeVere, T. E., Morlock, G. W., Thomas, L. P., & Hart, F. D. (1974). Arousal from sleep: The differential effect of frequencies equated for loudness. *Physiology & Behavior, 12*(4), 573-582.
- Logie, R. H., & Baddeley, A. D. (1987). Cognitive Processes in Counting. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 13*(2), 310-326.
- Logie, R. H., Gilhooly, K. J., & Wynn, V. (1994). Counting on working memory in arithmetic problem solving. *Memory and Cognition, 22*(4), 395-410.
- Macken, W. J., Mosdell, N., & Jones, D. (1999). Explaining the Irrelevant-Sound Effect: Temporal Distinctiveness or Changing State? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 25*(3), 810-814.
- Martin, R. C., Wogalter, M. S., & Forlano, J. G. (1988). Reading Comprehension in the Presence of Unattended Speech and Music. *Journal of Memory and Language, 27*, 382-398.
- Maruyama, K. (1964). Studies on influences of train noise upon school children: VI: GSR during mental calculations. *Tohoku Psychologica Folia, 23*(1-2), 20-25.

- Matthews, G., Davies, D. R., Westerman, S. J., & Stammers, R. B. (2000). *Human performance: Cognition, stress and individual differences*. Hove: Psychology Press.
- Mc Clain, L. (1983). Stimulus-response compatibility affects auditory Stroop interference. *Perception and Psychophysics*, *33*, 266-270.
- Miedema, H. M. E., & Oudshoorn, C. G. M. (2001). Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental health perspectives*, *109*(4), 409-416.
- Miedema, H. M. E., & Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, *104*.
- Neath, I. (2000). Modeling the effects of irrelevant speech on memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*(3), 403-423.
- Nitsch, J. R. (1976). Die Eigenzustandsskala. Ein Verfahren zur hierarchisch mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung. In J. Nitsch & J. Udris (Eds.), *Beanspruchung im Sport* (pp. 81-102). Bad Homburg: Limpert.
- Norris, D., Baddeley, A. D., & Page, M. P. A. (2004). Retroactive Effects of Irrelevant Speech on Serial Recall From Short-Term Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *30*(5), 1093-1105.
- Oswald, C., Tremblay, S., & Jones, D. M. (2000). Disruption of comprehension by the meaning of irrelevant sound. *Memory*, *8*(5), 345-350.
- Pieters, J. M. (1981). Ear asymmetry in an auditory spatial Stroop task as a function of handedness. *Cortex*, *17*, 369-379.
- Rabbit, P. (1979). Current Paradigms and Models in Human Information Processing. In V. Hamilton & D. M. Warburton (Eds.), *Human Stress and Cognition* (pp. 115-140). Chichester: John Wiley & Sons.
- Roberts, M. J., & Russo, R. (1999). *A student's guide to analysis of variance*. London: Routledge.
- Rubenstein, H., Lewis, S. S., & Rubenstein, M. A. (1971). Evidence for phonemic recoding in visual word recognition. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, *Vol. 10*(6), 645-657.
- Salamé, P., & Baddeley, A. (1982). Disruption of Short-Term Memory by Unattended Speech: Implications for the Structure of Working Memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, *21*, 150-164.
- Schlittmeier, S. (2005). *Arbeitsgedächtnis und Hintergrundschall. Gibt es einen Irrelevant Sound Effect bei auditiv präsentierten Items?* Berlin: Logos Verlag.
- Siegrist, M. (1995). Reliability of the Stroop test with single-stimulus presentation. *Perceptual and Motor Skills*, *81*, 1295-1298.



- Smith, A. P. (1993). Recent advances in the study of noise and human performance. In M. Vallet (Ed.), *Noise & Man '93* (Vol. 3, pp. 293-300). Arcueil Cedex: INRETS.
- Smith, A. P., Jones, D. M., & Broadbent, D. E. (1981). The effects of noise on recall of categorized lists. *British Journal of Psychology*, *72*, 299-316.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*, 643-662.
- Sundstrom, E., Town, J. P., Rice, R. W., & Osborn, D. P. (1994). Office noise, satisfaction, and performance. *Environment and Behavior*, *26*(2), 195-222.
- Surprenant, A. M., LeCompte, D. C., & Neath, I. (2000). Manipulations of irrelevant information: Suffix effects with articulatory suppression and irrelevant speech. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *53A*(2), 325-348.
- Tremblay, S., Nicholls, A. P., Alford, D., & Jones, D. M. (2000). The Irrelevant Sound Effect: Does Speech Play a Special Role? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, *26*(6), 1750-1754.
- Vos, S. H., Gunter, T. C., Schriefers, H., & Friederici, A. D. (2001). Syntactic parsing and working memory: The effects of syntactic complexity, reading span, and concurrent load. *Language and Cognitive Processes*, *16*(1), 65-103.
- Working Group Railway Noise on the European Commission. (2003). *Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *J. comp. Neurol. Psychol.*, *18*, 459-482.